

Revista Ubiquidade

Revista Ubiquidade

Data de publicação Julho/2025

Copyright © 2025 UniAnchieta

Expediente

A revista Ubiquidade é uma publicação semestral vinculada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação do UniAnchieta, exclusivamente eletrônica, que pretende divulgar contribuições originais, teóricas ou empíricas, relacionadas às áreas de Tecnologia de Informação e Comunicação (TICs) e está aberta para trabalhos científicos de pesquisadores nacionais ou internacionais.

O envio de trabalhos para apreciação, assim como o pedido de informações, pode ser feito por meio do endereço: ubiquidade@anchieta.br

Editor

Prof. Dr. Juliano Schimiguel (UniAnchieta)

Conselho Editorial

Prof.a Dra. Aline Brum Loreto, Universidade Federal de Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS)/RS

Prof.a Dra. Cecília Sosa Arias Peixoto, Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC), Campinas/SP

Prof. Dr. Carlos Adriano Martins, Unicid - Universidade Cidade de São Paulo, São Paulo/SP

Prof. Dr. Hélio Rosetti Júnior, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória/ES

Prof. Dra. Jane Garcia de Carvalho, Unicid - Universidade Cidade de São Paulo, São Paulo/SP

Prof. Dr. Josney Freitas Silva, UEMG - Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Frutal/MG

Prof. Dr. Juliano Schimiguel, UniAnchieta e Univ. Cruzeiro do Sul

Prof. Me. Juliano Silva Marçal, Centro Universitário Anchieta, Jundiaí/SP

Prof. Dr. Luciano Soares Pedroso, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Teófilo Otoni/MG

Prof.a Dra. Lucy Mirian Campos Tavares Nascimento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Formosa/GO

Prof. Dr. Marcelo Eloy Fernandes, Universidade Nove de Julho, São Paulo/SP

Prof. Ma. Nádia Vilela Pereira, IFTO — Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas

Prof. Dr. Vivaldo José Breternitz, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo/SP

Prof.a Dra. Viviane Sartori, Universidad Europea del Atlántico (Uniatlantico), Salamanca, Espanha

Ubiquidade / Centro Universitário Anchieta – V.8, N.1, 2025 – Jundiaí: Unianchieta, 2025.

Semestral

ISSN 2236-9031

1. Ciência da Computação. 2. Sistemas de Informação. 3. Sistemas de Computação e Teleinformática.

CDU: 004(05)

Catálogo na Publicação

Bibliotecária Responsável – Elizabete Alves – CRB-8/3589.

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19/02/1998. É permitida a reprodução e distribuição desta obra, desde que para fins educacionais e integralmente mantidas as informações autorais. É vedado seu uso comercial, sem prévia autorização, por escrito, dos autores e da Editora.

Prefácio

Neste número V.8, N.1 (2025) - Jan/Jul, da Revista Ubiquidade, trazemos artigos importantes, de pesquisadores com significativa atuação no mercado e na academia. Podemos citar autores destas instituições: Universidade Cruzeiro do Sul (São Paulo/SP), Centro Universitário Anchieta (Unianchieta), Universidade Nove de Julho (UNINOVE), Instituto Federal de São Paulo – IFSP (Campus Campinas), Prefeitura de São Paulo, entre outros.

No artigo “Aplicação de Perceptron de Múltiplas Camadas na Detecção de SPAM: Revisitando Estratégias com Inteligência Artificial Clássica”, o autor Souza, aplica o modelo Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP) para detectar mensagens de spam, utilizando um conjunto de 3.349 e-mails reais. Foram extraídos atributos simples dos campos “assunto”, “remetente” e “cabeçalho”, e a rede foi treinada com o algoritmo Backpropagation. Os resultados demonstraram acurácia de 91,13%, superando modelos como Naïve Bayes e AdaBoost. Mesmo com recursos computacionais modestos, o MLP apresentou desempenho competitivo, validando sua aplicação em cenários restritos.

O artigo “Inteligência Artificial e Realidade Aumentada para Reconhecimento de Padrões”, de Santana, Souza, Tonet e Valdo, visa o desenvolvimento de um aplicativo que combina Inteligência Artificial (IA) e Realidade Aumentada (RA) para reconhecimento de padrões. Utilizando CNNs, Deep Learning e TensorFlow Lite, o sistema realiza detecção de objetos, OCR e conta com Text-To-Speech (TSS) para interação. Desenvolvido no Android Studio, possui interface intuitiva com três telas principais, processando imagens e textos em tempo real. Com o modelo MobileNet, foi treinado usando mais de 800 imagens por objeto, rotuladas em condições variadas, com o auxílio do Roboflow.

O artigo “Esteganografia para Compartilhamento Seguro de Arquivos: Encapsulamento de Dados em Imagens”, de Albino, Souza, Almeida, Soares e Valdo, apresenta um estudo onde visa ocultar informações em imagens, focando nas redes sociais. Aborda também os desafios da esteganografia, como as alterações de cores dos pixels em imagens JPEG durante a compressão. Além disso, discute bibliotecas de processamento de imagem e ferramentas de criptografia que complementam a esteganografia para garantir a segurança da informação. Por fim, apresenta um software prático usando LSB para compartilhar arquivos com segurança em redes sociais, com testes em diferentes plataformas.

Já no artigo intitulado “Utilização da Computação em Nuvem e sua Contribuição na Redução do Efeito Estufa e Combate ao Aquecimento Global”, de Curtolo e Peixoto, busca-se compreender como a migração para a nuvem, aliada a práticas de TI verde, contribui para o combate ao aquecimento global. A metodologia inclui uma análise de estudos de caso de empresas que implementaram práticas sustentáveis em suas operações na nuvem. Em seguida, são examinados relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia

(Google e AWS) para identificar as estratégias adotadas para reduzir emissões de CO₂ e melhorar a eficiência energética.

O artigo “O Uso da Plataforma Matific no Ensino de Matemática: Benefícios, Desafios e Impactos na Aprendizagem”, de Silva, Santos, Araújo e Pinto, teve como objetivo analisar o uso da plataforma digital Matific no Ensino de Matemática, por meio de uma revisão sistemática da literatura, destacando seus benefícios, desafios e impactos na aprendizagem. A metodologia envolveu a identificação, seleção e análise de publicações acadêmicas relevantes, publicadas entre 2014 e 2024, que abordam a aplicação da ferramenta em contextos educacionais.

Finalmente, o artigo “O Uso de TICs na Educação: Modelagem 3D e Robótica Educacional com a Plataforma TinkerCad”, de Lucca, Schimiguel, Fernandes e Gaspar, aborda o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação na educação, destacando a plataforma online Tinkercad como ferramenta pedagógica. O objetivo do trabalho é demonstrar os benefícios da integração da modelagem 3D e robótica educacional alinhado à Base Nacional Comum Curricular, que enfatiza o letramento tecnológico e a formação científica. A ferramenta Tinkercad permite modelagem 3D, simulações de circuitos que combinam eletrônica e programação, promovendo a aprendizagem ativa, defendidas como estratégias de ensino.

Sumário

APLICAÇÃO DE PERCEPTRON DE MÚLTIPLAS CAMADAS NA DETECÇÃO DE SPAM: REVISITANDO ESTRATÉGIAS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL CLÁSSICA (Edson Melo de Souza) 7

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E REALIDADE AUMENTADA PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES (Gustavo Monte Sião de Santana, Lívia Mastrangelo de Souza, Yasmin Alba Tonet, Clayton Augusto Valdo) 28

ESTEGANOGRAFIA PARA COMPARTILHAMENTO SEGURO DE ARQUIVOS: ENCAPSULAMENTO DE DADOS EM IMAGENS (Gabriel Albino, Guilherme Souza, Pedro Almeida, Vinícius Soares, Clayton Augusto Valdo) 46

UTILIZAÇÃO DA COMPUTAÇÃO EM NUVEM E SUA CONTRIBUIÇÃO NA REDUÇÃO DO EFEITO ESTUFA E COMBATE AO AQUECIMENTO GLOBAL (Vítor André Curtolo, Cecília Sosa Arias Peixoto) 66

O USO DA PLATAFORMA MATIFIC NO ENSINO DE MATEMÁTICA: BENEFÍCIOS, DESAFIOS E IMPACTOS NA APRENDIZAGEM (Diana Rodrigues da Silva, Marcio Eugen Klingenschmid Lopes dos Santos, Marcus Vinícius Pereira de Araújo, Marcelo Vianello Pinto) 93

O USO DE TICs NA EDUCAÇÃO: MODELAGEM 3D E ROBÓTICA EDUCACIONAL COM A PLATAFORMA TINKERCAD (Wagner de Oliveira Lucca, Juliano Schimiguel, Vera Maria Jarcovis Fernandes, Eliana Alves Gaspar) 105

APLICAÇÃO DE PERCEPTRON DE MÚLTIPLAS CAMADAS NA DETECÇÃO DE SPAM: REVISITANDO ESTRATÉGIAS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL CLÁSSICA

APPLICATION OF MULTI-LAYER PERCEPTRON IN SPAM DETECTION: REVISITING STRATEGIES WITH CLASSICAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Edson Melo DE SOUZA

prof.edson.melo@gmail.com

Departamento de Informática

Universidade Nove de Julho - UNINOVE

Resumo

O crescimento do envio de e-mails não solicitados (spam) compromete a produtividade e a segurança em ambientes corporativos. Este estudo visa aplicar o modelo Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP) para detectar mensagens de spam, utilizando um conjunto de 3.349 e-mails reais. Foram extraídos atributos simples dos campos “assunto”, “remetente” e “cabeçalho”, e a rede foi treinada com o algoritmo Backpropagation. Os resultados demonstraram acurácia de 91,13%, superando modelos como Naïve Bayes e AdaBoost. Mesmo com recursos computacionais modestos, o MLP apresentou desempenho competitivo, validando sua aplicação em cenários restritos. Conclui-se que o MLP é uma alternativa eficaz e didática para tarefas de classificação binária, sobretudo em contextos com limitações de infraestrutura e para fins educacionais em aprendizado de máquina.

Palavras-Chave

spam, redes neurais, inteligência artificial, correio eletrônico.

Abstract

The increasing volume of unsolicited email (spam) affects productivity and security in corporate settings. This study applies the Multi-Layer Perceptron (MLP) model to spam detection using a dataset of 3,349 real emails. Simple features from the “subject,” “sender,” and “header” fields were extracted, and the network was trained using the Backpropagation algorithm. Results showed 91.13% accuracy, outperforming models such as Naïve Bayes and AdaBoost. Despite limited computational resources, the MLP delivered competitive performance, validating its use in constrained environments. It is concluded that MLP remains an effective and educational alternative for binary classification tasks, especially in scenarios with infrastructural limitations or in introductory machine learning contexts where interpretability and simplicity are also important considerations.

Keywords

spam, neural networks, artificial intelligence, email.

INTRODUÇÃO

O correio eletrônico (e-mail) permanece como uma das principais ferramentas de comunicação no contexto corporativo e pessoal, devido à sua acessibilidade, baixo custo e abrangência global (SAHAMI *et al.*, 2021). No entanto, essas mesmas qualidades tornam o e-mail um alvo recorrente para o envio de mensagens não solicitadas em massa, conhecidas como spam. Este tipo de conteúdo compromete a produtividade dos usuários, sobrecarrega infraestruturas de rede e representa um risco significativo à segurança da informação, frequentemente associado à disseminação de *phishing*, malware e tentativas de fraude (FERRARA *et al.*, 2020).

Para combater o spam, uma variedade de abordagens tem sido proposta ao longo dos anos, incluindo técnicas baseadas em listas negras, heurísticas e, mais recentemente, algoritmos de aprendizado de máquina (WEI; NGUYEN, 2022). Dentre os métodos clássicos de classificação, destacam-se os modelos Naïve Bayes, Support Vector Machines (SVM) e Redes Neurais Artificiais (RNAs). Embora técnicas modernas como os Transformers e RNAs profundas tenham alcançado desempenho superior em diversas tarefas, modelos mais simples continuam sendo relevantes, sobretudo em aplicações com restrições computacionais ou para fins educacionais.

Estudos recentes como o de Samarthrao e Rohokale (2022), destacam a eficácia de abordagens híbridas que combinam regras heurísticas com aprendizado de máquina para detecção de spam, enquanto soluções baseadas em BERT (DEVLIN *et al.*, 2019) são exploradas para classificação semântica avançada. No entanto, essas técnicas exigem recursos significativos, limitando sua aplicação em sistemas legados.

Este artigo apresenta um estudo de caso que aplica o Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP) para detecção de spam em e-mails reais coletados em um ambiente corporativo. A proposta avalia a eficácia do modelo a partir de atributos sintáticos e semânticos simples extraídos dos campos do e-mail, buscando validar a capacidade do MLP em classificar mensagens como legítimas ou indesejadas com base em padrões reconhecíveis.

2 DEFINIÇÕES DE E-MAIL E SPAM

O E-mail ou Correio Eletrônico é um método que permite compor, enviar e receber mensagens através de sistemas eletrônicos de comunicação. O termo e-mail é aplicado tanto aos sistemas que utilizam a internet e são baseados no protocolo SMTP (*Simple Mail Transport Protocol*) (POSTEL, 1982), como aqueles sistemas conhecidos como intranets, que permitem a troca de mensagens dentro de uma empresa ou organização e são, normalmente, baseados em protocolos proprietários.

O envio e recebimento de uma mensagem de e-mail são realizados através de um sistema de correio eletrônico, o qual é composto de programas de computador que suportam a funcionalidade de gerir papéis de cliente e de um ou mais servidores de e-mail que, através de um endereço lógico – IP ou *Internet Protocol* – conseguem transferir uma mensagem de um usuário para outro. Estes sistemas utilizam protocolos que permitem o tráfego de mensagens de um remetente para um ou mais destinatários que possuem computadores conectados à internet.

O formato do e-mail está definido nas RFCs 2822, e 2045 a 2049 que são conhecidas como MIME. Mensagens de e-mail consistem basicamente de duas seções principais:

- **Cabeçalho (*header*)** – É estruturado em campos que contém os dados do remetente, destinatário, assunto e outras informações sobre a mensagem;
- **Corpo (*body*)** – Contém o texto da mensagem.
- O delimitador entre o corpo e o cabeçalho de uma mensagem é uma linha em branco.

Um e-mail típico pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1. Estrutura típica de um e-mail.

```
From: John Doe <markov@example.com>
Sender: Teddy Markov <mjones@machine.example>
To: Smith Anderson <smitha@example.net>
Subject: Festival
Date: Fri, 12 Nov 2004 04:52:06 -0600
Message-ID: <1234@local.machine.example>

This is a message just to say hello.
```

Pela facilidade de manipulação e baixo custo operacional, o e-mail facilita a disseminação do *spam*, termo usado para referir-se aos e-mails não solicitados (RAO *et al.*, 2021), que geralmente são enviados para um grande número de pessoas. Quando o conteúdo é exclusivamente comercial, esse tipo de mensagem é denominado de UCE (*Unsolicited Commercial E-mail*).

Dentre os problemas relacionados ao *spam* podem-se citar os conteúdos impróprios; prejuízos financeiros; não recebimento de mensagens legítimas; perda de tempo com lixo eletrônico e perda de produtividade. Já entre as modalidades de *spam* destacam-se:

- **Correntes (*chain letters*)**: São os textos solicitando que a mensagem seja repassada para a sua lista de contatos;
- **Boatos (*hoaxes*)** e lendas urbanas: Mensagens com o objetivo de fomentar um determinado boato;
- **Propagandas**: Oferecer, sem autorização do destinatário, um produto ou serviço;
- **Códigos maliciosos (*phishing*)**: Mensagens com o objetivo de roubar informações do usuário, como senhas, números de cartão de crédito etc.

Para que um e-mail seja classificado como *spam*, este deve apresentar características que possam diferenciá-lo das mensagens legítimas. A grande dificuldade encontrada nessa identificação está nos atributos que o compõe, pois, um e-mail legítimo pode ser entendido como *spam*, dependendo do método de classificação.

Entre as mensagens consideradas como *spam* e as consideradas legítimas, encontram-se os falso-positivos e os falsos-negativos. Os falso-positivos são as mensagens legítimas classificadas como *spam*, já os falso-negativos são mensagens de *spam* classificadas como legítimas. A literatura apresenta diversas técnicas para

detecção de spam, entretanto, o maior desafio é o de reduzir o número de falso-positivos, pois uma filtragem incorreta pode acarretar na perda de uma mensagem legítima.

2.1 Processo de Descoberta de Conhecimento e Mineração de Dados – KDD (*Knowledge Discovery and Data Mining*)

O processo de descoberta de conhecimento em bases de dados, conhecido como KDD (*Knowledge Discovery in Databases*), refere-se à extração de conhecimento útil, novo e compreensível a partir de grandes volumes de dados. Esse processo é composto por múltiplas etapas interativas e cíclicas, que vão desde a seleção e pré-processamento dos dados até a interpretação dos resultados extraídos por algoritmos de mineração (FAYYAD *et al.*, 1996; HAN *et al.*, 2022).

De forma geral, o KDD pode ser dividido em três grandes fases:

- **Pré-processamento**, onde os dados brutos são limpos, transformados e organizados em formatos compatíveis com as técnicas de mineração;
- **Mineração de dados**, na qual são aplicados algoritmos de aprendizado de máquina ou estatística para identificar padrões ou modelos relevantes;
- **Pós-processamento**, responsável por validar, interpretar e apresentar os resultados de forma compreensível, incluindo a visualização e a geração de relatórios (ZAKI; MEIRA JR., 2020).

A natureza iterativa do processo permite que, caso os resultados não atendam às expectativas, as fases anteriores sejam revisitadas para reformulação dos atributos ou escolha de novas abordagens. Essa característica é essencial em domínios dinâmicos como o combate ao spam, onde a evolução constante das técnicas de camuflagem exige adaptação contínua dos modelos preditivos (CHANDOLA *et al.*, 2009; DOU *et al.*, 2020).

No contexto da detecção de spam, o KDD se mostra especialmente relevante, pois permite identificar padrões linguísticos, comportamentais e estruturais em mensagens eletrônicas, que muitas vezes passam despercebidos em abordagens manuais ou heurísticas simples. A capacidade de extrair atributos discriminantes e ajustar modelos de forma automática contribui diretamente para o aumento da eficácia de sistemas de filtragem inteligentes.

3 REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos computacionais inspirados na estrutura e funcionamento do cérebro humano. Sua principal característica é a capacidade de aprender a partir de dados e generalizar esse conhecimento para novos exemplos, tornando-as eficazes em tarefas como classificação, regressão, previsão e reconhecimento de padrões (GOODFELLOW *et al.*, 2016).

Uma RNA é composta por unidades de processamento denominadas neurônios artificiais, mostrado na Figura 1, que são organizadas em camadas interconectadas. Cada neurônio realiza uma operação simples: recebe estímulos de entrada, pondera esses estímulos com base em pesos sinápticos, aplica uma função de ativação e transmite a saída para os neurônios da camada seguinte (HAYKIN, 2009).

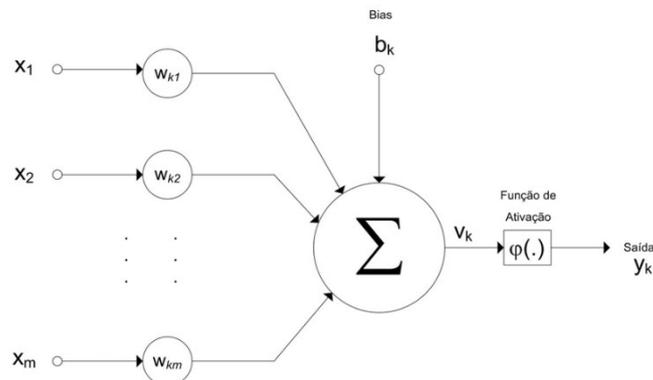
A capacidade de aprendizado das RNAs depende do ajuste adequado dos pesos dessas conexões. Durante o treinamento supervisionado, um conjunto de dados rotulado é utilizado para guiar o processo de correção dos erros da rede, permitindo que os pesos sejam ajustados iterativamente. O desempenho do modelo é validado com base em sua habilidade de gerar saídas corretas para dados não vistos anteriormente.

Diversos tipos de funções de ativação podem ser utilizadas para modelar o comportamento não linear dos neurônios, como a função logística (sigmoide), a tangente hiperbólica (*tanh*) e a ReLU (*Rectified Linear Unit*), esta última amplamente empregada em arquiteturas modernas por sua simplicidade computacional e eficácia no treinamento de redes profundas (GLOROT *et al.*, 2011; RIZO; CANATO, 2020).

Embora as RNAs profundas, como as redes convolucionais (CNNs) e as redes recorrentes (RNNs), tenham ampliado as fronteiras do aprendizado de máquina em áreas como visão computacional e processamento de linguagem natural, modelos clássicos como o Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP) continuam sendo amplamente utilizados em tarefas de menor complexidade, em ambientes com restrições computacionais ou em aplicações educacionais (WEI; NGUYEN, 2020).

Neste contexto, a aplicação de um modelo MLP para detecção de spam oferece uma solução viável, eficaz e didática, ao mesmo tempo em que permite explorar conceitos fundamentais das redes neurais, como propagação direta, retropropagação do erro e ajuste dos pesos sinápticos.

Figura 2. Modelo de um Neurônio Artificial.



Fonte: HAYKIN, 2001.

Após o modelo de McCulloch-Pitts, surgiram outras abordagens, dando flexibilidade aos pesos e maior capacidade à Rede Neural; através dos neurônios com funções de ativação não-lineares, das arquiteturas com mais de uma camada e algoritmos apropriados para alterar os pesos sinápticos. De forma geral, nos neurônios artificiais, os seguintes elementos estão envolvidos:

- **Estímulos de entrada (x):** Valores apresentados à rede;
- **Conjunto de sinapses (w):** Ligações entre neurônios. Cada ligação possui um valor (peso), que representa a sua força: os estímulos de entrada são multiplicados pelos respectivos pesos de cada ligação, podendo gerar um sinal tanto positivo (excitatório) quanto negativo (inibitório);
- **Combinador Linear (Σ):** Executa o somatório dos sinais produzidos pelo produto entre os pesos sinápticos e as entradas fornecidas ao neurônio. Em outras palavras, é o integrador dos sinais que chegam ao neurônio. A saída do neurônio é definida pelo seu valor de ativação calculado mediante

a Equação 1:

- **Saída (Y):** É o valor de resposta da rede.

$$v_k = \sum_{j=1}^m W_{kj} x_j + b_k \quad (1)$$

Equação (1)

Onde:

v é o campo local induzido do neurônio k ;

w são os pesos das conexões do neurônio k ;

x é o valor de cada um dos m estímulos que chegam ao neurônio k ;

b é o valor do bias que tem a função de aumentar ou diminuir a entrada líquida da função de ativação.

As Funções de Ativação fornecem o valor da saída de um neurônio em termos de campo local induzido.

3.1 Funções de Ativação

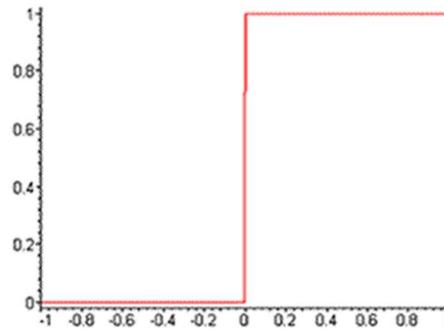
A Função Limiar ou *Heaviside* é referenciada na literatura para o modelo de McCulloch-Pitts. Ela possui a característica de “tudo-ou-nada”, ou seja, assume o valor 1 se o campo local induzido de um neurônio é positivo, e 0 caso seja negativo. A Função Limiar é expressa por meio da Equação 2:

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{se } v_k \geq 0; \\ 0, & \text{se } v_k < 0; \end{cases}$$

Equação (2)

Nos neurônios construídos com essa função, a saída y será igual a 0, caso o valor de ativação v seja negativo e 1 nos casos em que o valor de ativação seja positivo. O limiar de ativação pode ser observado na Figura 3.

Figura 3: Função Limiar de Ativação. Fonte: LNCC.



A Função Sigmoide que, ao contrário da função limiar, pode assumir todos os valores entre 0 e 1 também pode ser utilizada como função de ativação. A sua representação mais utilizada é a função logística, definida pela Equação 3:

$$y_k = \frac{1}{1 + e(-av)}$$

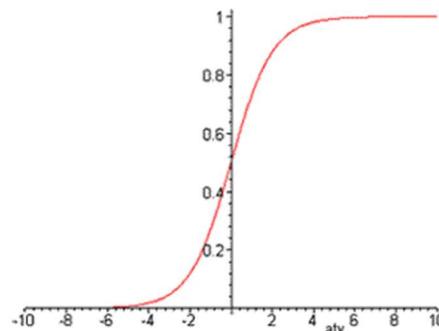
Equação (3)

Onde:

- a é o parâmetro de inclinação da função sigmoide;
- v é o valor de ativação do neurônio.

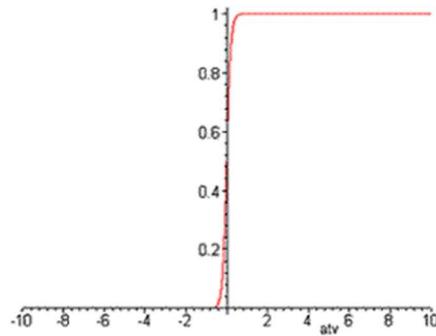
Na Figura 4 é mostrada a plotagem da função sigmoide.

Figura 4: Função Sigmoide. Fonte: LNCC.



Quando o valor do parâmetro é aumentado, tendendo ao infinito, esta função comporta-se como uma função de limiar, observada na Figura 5.

Figura 5: Função Sigmoide $-a$ tendendo ao ∞ . Fonte: LNCC.



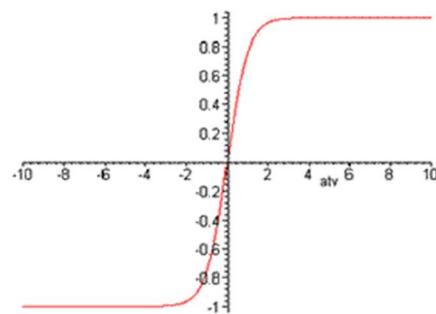
A Tangente Hiperbólica também pode ser utilizada como função de ativação. Como a função logística, também possui forma de “s”, assumindo valores entre 1 e -1, sendo representada pela Equação 4, onde v é o valor de ativação da unidade.

$$\delta(v) = \tanh(v)$$

Equação (4)

Na Figura 6 pode-se visualizar o comportamento da Função Tangente Hiperbólica.

Figura 6: Função Tangente Hiperbólica.



Fonte: LNCC.

3.2 Processo de Aprendizagem em Redes Neurais

Para que uma RNA possa fornecer resultados convenientes é necessário que a mesma passe por uma fase de treinamento, onde seus pesos são ajustados de forma que ela se adapte aos diferentes estímulos de entrada. Durante a fase de treinamento, ocorre o seu aprendizado. Há vários processos de aprendizado, os quais, de forma geral, podem ser classificados em:

- **Aprendizado Supervisionado:** É fornecida uma referência do objetivo a ser alcançado. Um exemplo de processo de Aprendizado Supervisionado é o Aprendizado por Correção de Erro.
- **Aprendizado Não-Supervisionado:** Neste caso não é fornecida nenhuma referência externa. Podemos citar como exemplo o processo de Aprendizado Competitivo e o Aprendizado Hebbiano.

Entre os diversos modelos de RNAs, o do tipo Perceptron foi o pioneiro nesta área. Simples e de fácil implementação, utiliza neurônios do tipo McCulloch Pitts. Limitada à classe de problemas linearmente separáveis, pode, no entanto, ser utilizada em tarefas de classificação simples.

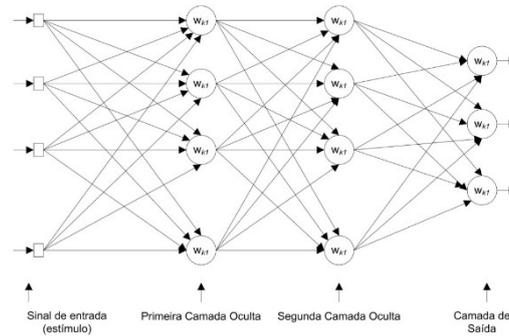
O Perceptron, proposto por Rosenblatt, é composto pelo neurônio de McCulloch Pitts, com Função de Limiar e Aprendizado Supervisionado (ROSENBLAT; PAPERT, 2021). Sua arquitetura consiste em uma camada de entrada e uma camada de saída. A limitação desta RNA se encontra na reduzida gama de problemas que consegue tratar, ou seja, na classificação de conjuntos linearmente separáveis.

3.3 Modelo Perceptron de Multi-Camadas

O Perceptron de Multi-Camadas é uma extensão do Perceptron simples, capaz de trabalhar com problemas não-linearmente separáveis (RAMCHOUN *et al.*, 2016). Este avanço foi possível através da utilização de, pelo menos, uma camada entre a camada de entrada e a camada de saída. Estas camadas intermediárias, conhecidas como camadas ocultas, trabalham como um reconhecedor de características, que ficam armazenadas nos pesos sinápticos.

O algoritmo de treinamento mais utilizado para esse modelo é o "Backpropagation" (LILLICRAP *et al.*, 2020), um tipo de Aprendizado Supervisionado por Correção de Erro. A modelagem da arquitetura de uma rede Perceptron Multi-Camadas, Figura 7, envolve a escolha da quantidade de camadas e o número de unidades em cada camada. Destacam-se para esse modelo alguns aspectos importantes: (i) escolha do número de unidades de entrada; (ii) definição da função de ativação que irá direcionar o comportamento da rede; (iii) codificação da camada de saída e a formatação da resposta da rede.

Figura 7: Grafo arquitetural de um perceptron de múltiplas camadas.



Fonte: HAYKIN, 2001.

Outros parâmetros devem ser escolhidos, referentes ao treinamento tais como taxa de aprendizado e o conjunto de treinamento. A respeito do conjunto de treinamento devem ser estudados os dados relevantes, os quais destaquem as características que devem realmente ser “aprendidas” pela rede. O processamento de cada unidade é influenciado pelo processamento efetuado pelas unidades das camadas anteriores. Cada camada desempenha um papel específico, como segue:

- **Camada de Entrada:** Receptora de estímulos;
- **Primeira Camada Oculta:** Cada unidade desta camada define uma reta no espaço de decisão, refletindo características dos padrões apresentados;
- **Segunda Camada Oculta:** Combina as retas definidas pela camada anterior, formando regiões convexas onde o número de lados é definido pelo número de unidades da camada anterior, conectados a unidade desta camada;
- **Camada de Saída:** Combina as regiões formadas pela camada anterior, definindo o espaço de saída da rede.

As camadas intermediárias da rede são como detectores de características, as quais serão representadas, internamente, através dos pesos sinápticos.

3.4 Algoritmo Backpropagation

Backpropagation é o algoritmo para treinamento de redes Multicamadas mais difundido, sendo constituído de duas fases: propagação e retropropagação (LILLICRAP *et al.*, 2020).

Na fase de propagação, após ser apresentado o padrão de entrada, a resposta de uma unidade é propagada como entrada para as unidades na camada seguinte, até a camada de saída, onde é obtida a resposta da rede e o erro é calculado. Na retropropagação os pesos são recalculados desde a camada de saída até a camada de entrada, ou seja, no sentido contrário da apresentação. Durante a fase treinamento apresenta-se um conjunto formado pelo par “entrada para a rede” e “valor desejado para resposta” a entrada. A saída será comparada ao valor desejado e será computado o erro global da rede, que influenciará na correção dos pesos no passo de retropropagação, apesar de não haver garantias que a rede forneça uma solução ótima para o problema.

Os passos do algoritmo Backpropagation são descritos a seguir:

- 1- **Inicialização:** Inicializa os pesos sinápticos e o bias (b) aleatoriamente, com valores no intervalo $[-1, 1]$;
- 2- **Apresentação dos padrões de treinamento:** Treinamento "on-line" - Para cada exemplo do conjunto de treinamento, efetue os passos 3 e 4. Treinamento "em lote": Para cada "época" do conjunto de treinamento, efetue os passos 3 e 4.
- 3- **Computação adiante (Propagação):** Depois de apresentado o exemplo do conjunto de treinamento $T = \{x(n), d(n)\}$, sendo $x(n)$ a entrada apresentada à rede e $d(n)$ a saída desejada, calcula o valor da ativação v_j por meio da Equação 5:

$$y_k = \frac{1}{1 + e(-av)}$$

Equação (5)

Para o cálculo da saída y da unidade k , utilizando a função sigmoide, como no exemplo, utilize a saída das unidades de uma camada como entradas para a seguinte, até a última camada. A saída das unidades da última camada será a resposta da rede.

- 4- **Calcula o Sinal de Erro:** Fazendo a saída $y_j = O_j(n)$, será $O_j(n)$ a resposta da rede. Calcule o sinal de erro de acordo com a Equação 6:

$$e_j(n) = d_j(n) - O_j(n)$$

Equação (6)

Onde: $d_j(n)$ é a saída desejada com resposta para cada unidade na interação (n). Este sinal de erro será utilizado para computar os valores dos erros das camadas anteriores e fazer as correções necessárias nos pesos sinápticos.

- 5- **Computação para trás (Retropropagação):** Calcule os erros locais, d , para cada unidade, desde a camada de saída até a de entrada. O gradiente local é definido pelas equações 7 e 8.

$$\delta_j(n) = e_j(n) O_j(n) (1 - O_j(n))$$

Equação (7)

Para unidade da camada de saída ou,

$$\delta_j(n) = O_j(n) (1 - O_j(n)) \sum \delta_k W_{kj}$$

Equação (8)

Para as unidades das demais camadas, onde:

- $O_j(i-O_j)$ é a função de ativação diferenciada em função do argumento. Valor de ativação;
- δ_k é o erro das unidades da camada anterior, conectadas a unidade;
- w_{kj} são os pesos das conexões com a camada anterior.

Após o cálculo dos erros de cada unidade, calcule o ajuste dos pesos de cada conexão segundo a regra delta generalizada e atualize os pesos segundo a Equação 9:

$$\Delta w_{kj}(n+1) = \alpha w_{kj}(n) + \eta \delta_j y_j$$

Equação (9)

Para os cálculos dos ajustes dos pesos faça, Equação 10:

$$w(n+1) = w(n) + \Delta w_{kj}(n)$$

Equação (10)

Para atualizar os pesos sinápticos onde:

- α - é a constante de momento, quando $\alpha=0$, esta função funciona como a regra delta comum;
- η - é a taxa de aprendizado;
- y_j - é a saída produzida pela unidade j .

6- Interação: Refaça os itens 3, 4 e 5 referentes à propagação, cálculo do erro e retropropagação, apresentando outros estímulos de entrada, até que sejam satisfeitas as condições de treinamento; as quais podem ser: o erro da rede está baixo, sendo pouco alterado durante o treinamento; o número máximo de ciclos de treinamento foi alcançado.

3.5 Correção de Erro

O erro de uma Rede Neural pode ser calculado como a diferença entre a saída real gerada pela rede e a saída desejada, fornecida em um ensino supervisionado a partir da equação 11:

$$e_k = d_k - y_k$$

Equação (11)

Onde, para um estímulo k :

- e_k – sinal de erro;
- d_k – saída desejada apresentada durante o treinamento;
- y_k – saída real da rede após a apresentação do estímulo de entrada.

Durante o aprendizado supervisionado, portanto, os erros vão sendo calculados sucessivamente, até que cheguem a um valor satisfatório, definido a priori. Sendo assim, surge uma curva de erros, a qual está diretamente relacionada à natureza do modelo de neurônio utilizado.

Se a rede é formada por unidades lineares, como no modelo de McCulloch-Pitts, na superfície de erro será encontrada um único valor mínimo. Por outro lado, se a rede é constituída por unidades não-lineares, podem ser encontrados diversos valores mínimos chamados de mínimos locais, além do mínimo global.

O processo de Aprendizado por Correção de Erros utiliza algoritmos para caminhar sobre a curva de erros, com o intuito de alcançar o menor valor de erro possível, o mínimo global. Muitas vezes, o algoritmo não alcança este mínimo global, atingindo o que chamamos de mínimo local. Caso este erro alcançado seja desfavorável, é necessário recomeçar o processo de aprendizado.

Para a correção do erro, os pesos da rede devem ser ajustados, de forma a aproximar a saída real à desejada. De acordo com a Regra Delta de Aprendizado, apresentada a seguir, tal ajuste dependerá do próprio erro calculado; do valor do estímulo de entrada que é “transmitido” pelo peso a ser ajustado; e também da taxa de aprendizado, a qual se relaciona à cautela com que a curva de erros é percorrida. Para um dado estímulo k , no passo de treinamento n , aplica-se a Equação 12:

$$\Delta w_{ji} = \eta e_k(n) x_j(n)$$

Equação (12)

Onde:

- $\Delta w_{ji}(n)$ – Valor de ajuste a ser acrescentado ao peso w_{ji} ;
- η – Taxa de aprendizado;
- $e_k(n)$ – Valor do erro;
- $x_j(n)$ – Valor do estímulo.

O valor do peso será calculado como descrito na Equação (13).

$$w(n+1) = w(n) + \Delta w_{kj}(n)$$

Equação (13)

Portanto, pode-se utilizar a Regra Delta para corrigir os valores dos pesos, minimizando a função de erro e , também conhecida como Função de Custo, Equação 14:

$$\mathcal{E}(n) = \frac{1}{2} e^2(n)$$

Equação (14)

Onde:

- $\mathcal{E}(n)$ é o erro da rede no passo n do treinamento;
- e^2 é o valor da função de custo no passo n do treinamento.

4 MATERIAS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram selecionadas 5.437 mensagens de correio eletrônico em uma empresa de médio porte com a colaboração de 9 funcionários, onde, após uma filtragem manual por relevância e exclusão de referências cruzadas, obteve-se um total de 3.349 mensagens sendo 1.645 consideradas legítimas e 1.704 como spam.

Embora o conjunto de dados utilizado neste estudo (3.349 e-mails) seja limitado em comparação com bases públicas maiores, como o dataset Enron-Spam (aproximadamente 50.000 mensagens), ele reflete características específicas de ambientes corporativos reais. Essa abordagem é válida para cenários onde a coleta de dados é restrita devido a políticas de privacidade ou recursos computacionais limitados. Trabalhos futuros explorarão a ampliação da base de dados com mensagens públicas e técnicas de *data augmentation* (MAHARANA *et al.*, 2022) para validar a generalização do modelo.

Os algoritmos de extração e tratamento dos dados foram inicialmente desenvolvidos em linguagem ANSI C, utilizando o compilador GNU/GCC e a biblioteca REGEX em ambiente Linux/Ubuntu. Essa escolha visou garantir maior controle sobre a manipulação textual e sobre o desempenho computacional durante a fase de pré-processamento. Contudo, vale destacar que atualmente existem bibliotecas de alto nível, como *scikit-learn*, *TensorFlow* e *PyTorch*, que oferecem maior produtividade e simplicidade na implementação de Redes Neurais Artificiais (LIU, 2020). O uso de tecnologias mais recentes pode facilitar a reprodutibilidade e a expansão deste estudo, tornando-o mais acessível para fins educacionais e profissionais.

Através do KDD, foram extraídas as palavras do campo “Assunto” para compor uma lista de restrições. Tais palavras foram elencadas de acordo com o grau de aparição nas mensagens apontadas como *spam*. Na segunda etapa foram extraídos os endereços de e-mail com base na RFC 822 [Request for Comments: 822, 1982], seguidos da verificação da presença de imagens contidas no *header* da mensagem.

4.1 Pré-processamento dos Atributos

Após a análise dos dados brutos obtidos, estes foram submetidos a um algoritmo que efetuou o tratamento e a separação dos caracteres alfanuméricos por meio de uma lista definida pela relevância dos mesmos. Os caracteres selecionados foram:

$$\{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o,p,q,r,s,t,u,v,x,y,z,-,_{}\}$$

Para obter-se uma boa performance e homogeneidade dos dados, todos os caracteres foram convertidos para caixa baixa, objetivando um menor esforço do algoritmo no processamento.

Após esta fase, foram efetuadas análises estatísticas a fim de consolidar os padrões a serem utilizados nos estudos com a RNA. Determinou-se que a utilização de percentuais da ocorrência de aparição dos caracteres sobre o total de caracteres que compõe o endereço do e-mail, assim como o campo “Assunto”, era de grande relevância para o estudo. Desta forma, foram efetuados os cálculos dos percentuais através de um algoritmo aplicado sobre os dados brutos conhecidos. Tais informações foram obtidas mediante a aplicação da Equação 15:

$$f(c_i) = \frac{\sum_{i=1}^t c_i}{T}$$

Equação (15)

Onde:

- f é o percentual do i -ésimo caractere sendo analisado;
- c_i é o i -ésimo caractere analisado;
- $T = t$ é o total de caracteres do endereço de e-mail ou do assunto.

A partir dos percentuais obtidos pela Equação 15, foi possível qualificar os atributos para compor a base de dados. São eles:

- Atributos sobre o endereço do e-mail
 - 1 - Percentual de números;
 - 2 - Percentual de letras estrangeiras;
 - 3 - Percentual de palavras restritas.
- Atributos sobre o header do e-mail
 - 4 - Presença de Imagem (atribui-se o valor 0.12, caso encontrada);
- Atributos sobre o assunto do e-mail
 - 5 - Percentual de palavras estrangeiras;
- Atributo de Qualificação
 - 6 - Classificações da mensagem (0 para normal e 1 para spam).

O próximo passo foi efetuar os testes através de uma RNA supervisionada MLP (*Multi Layer Perceptron*) treinada com o algoritmo Backpropagation.

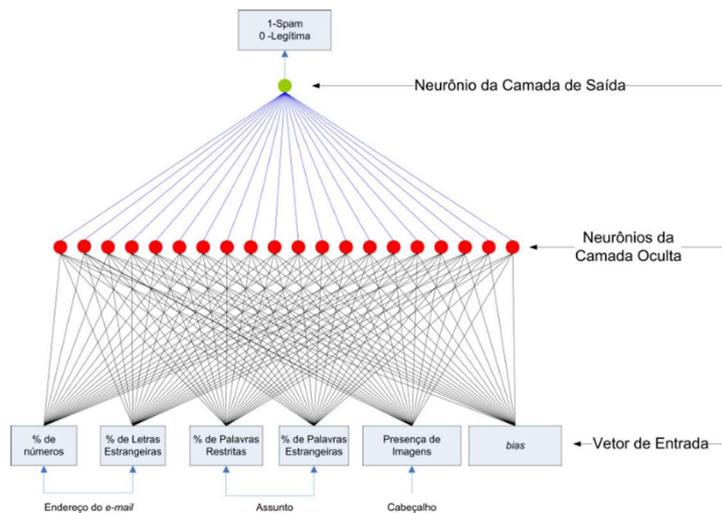
4.2 Arquitetura MLP Utilizada

Para o desenvolvimento do trabalho, foi adotado o modelo MLP. Este modelo destaca-se entre os outros clássicos reconhecidos pela literatura por sua implementação ser relativamente fácil e seus resultados geralmente demonstrarem ser satisfatórios.

O treinamento do MLP foi realizado com os seguintes hiperparâmetros: taxa de aprendizado de 0,002, função de ativação sigmoide nas camadas ocultas e saída, e validação cruzada com 10 *folds*. Os pesos sinápticos foram inicializados aleatoriamente no intervalo $[-1, 1]$, e o processo foi interrompido quando o erro de validação não diminuía por 20 épocas consecutivas (*early stopping*).

A arquitetura final (6 neurônios de entrada, 20 na camada oculta e 1 na saída) foi selecionada após testes com diferentes configurações, priorizando a relação entre complexidade e desempenho.

Figura 8: Arquitetura MLP utilizada. Fonte: O autor.



Conforme pode ser visto na Figura 8, o vetor de entrada é composto por 6 elementos. Esses elementos são os 5 atributos extraídos dos e-mails os quais podem qualificar um e-mail como *spam* ou legítimo, além do bias.

4.3 Treinamento da Rede MLP

O conjunto de dados obtido através do pré processamento foi submetido à RNA para treinamento e aprendizagem da rede em 3 situações diferentes, ou seja, os valores estipulados para o erro nos treinamentos foram: 0.001, 0.002 e 0.003. Os resultados dos treinamentos são apresentados na Tabela 1. Para o treinamento da rede foram utilizadas 1.704 mensagens sem duplicidades internas e ajustadas para submissão. O tempo de treinamento para o valor 0.001 foi de 2 minutos. Para os outros dois, 6 e 8 segundos, respectivamente. Para o erro 0.001, o tempo gasto não apresentou relevância, pois o processo foi efetuado apenas 1 vez, como é de característica das RNAs.

Tabela 1: Convergência em épocas.

Erro Inicial	Épocas	Erro Final
0.001	4.589	0.000769
0.002	113	0.001953
0.003	7	0.002917

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o treinamento da Rede Neural Artificial com o algoritmo Backpropagation, o modelo foi avaliado utilizando um novo conjunto de 1.645 mensagens previamente classificadas como legítimas ou spam. O mesmo processo de pré-processamento aplicado aos dados de treinamento foi replicado neste conjunto de teste, garantindo consistência na entrada dos atributos.

Os resultados obtidos demonstraram desempenho satisfatório, com alta taxa de acerto na classificação das mensagens. A média de erro quadrático manteve-se estável ao longo das execuções, mesmo sem convergência absoluta em todas as instâncias, o que é aceitável em modelos com estruturas simples como o MLP. O tempo médio de resposta para a classificação de cada mensagem variou entre 0,1 e 0,2 segundos, indicando viabilidade para aplicações com demanda em tempo real, desde que com volume moderado de requisições.

A Tabela 2 apresenta a comparação da acurácia do modelo MLP com algoritmos clássicos de aprendizado supervisionado amplamente utilizados na literatura, como Naïve Bayes, AdaBoost e C4.5. Observa-se que o MLP alcançou uma taxa de acerto de 91,13%, superando os modelos Naïve Bayes (89,74%) e AdaBoost (82,85%), e ficando atrás apenas do C4.5 (96,11%). Em relação aos erros de classificação, o MLP apresentou 4,10% de falsos positivos e 4,77% de falsos negativos.

Esses resultados confirmam que, mesmo diante de abordagens mais sofisticadas disponíveis atualmente, como árvores de decisão otimizadas ou redes neurais profundas, a arquitetura MLP continua sendo uma

opção eficaz para tarefas de classificação binária simples, especialmente quando se deseja um equilíbrio entre desempenho, interpretabilidade e baixo custo computacional (WEI; NGUYEN, 2020).

Tabela 2. Resultados Obtidos com MLP vs. Literatura.

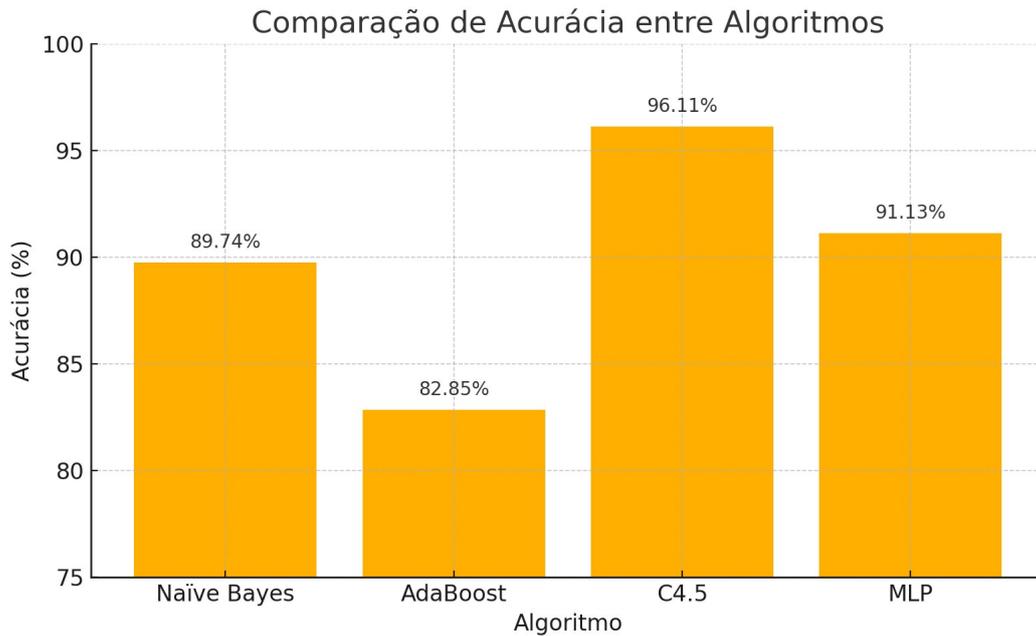
Algoritmo	Acurácia	Precision (Spam)	Recall (Spam)	F1-Score (Spam)	Falso Positivo	Falso Negativo
Naïve Bayes	89,74%	0,88	0,85	0,86	-	-
AdaBoost	82,85%	0,81	0,79	0,80	-	-
C4.5	96,11%	0,97	0,96	0,96	-	-
MLP	91,13%	0,92	0,90	0,91	4,10%	4,77%

Fonte: WALLACE e NIEVOLA, 2004.

Além da acurácia, métricas como Precision, recall e F1-Score foram calculadas para avaliar o desempenho do MLP em detalhes, mostrados na Tabela 2. O modelo apresentou um F1-Score de 0,91 para a classe spam, indicando equilíbrio entre precisão e recall. No entanto, a taxa de falsos negativos (4,77%) permanece superior à de falsos positivos (4,10%), destacando a necessidade de ajustes futuros para reduzir a liberação de mensagens indesejadas. Apesar da classificação dos falso-positivos e falso-negativos estarem acima dos outros algoritmos utilizados, ainda assim o resultado é expressivo em vista ao tamanho da amostra e simplicidade de implementação.

Na Figura 9 é mostrada a comparação entre a acurácia dos algoritmos Naïve Bayes, AdaBoost, C4.5 e MLP, com base nos resultados do estudo.

Figura 9. Comparação entre a acurácia dos algoritmos Naïve Bayes, AdaBoost, C4.5 e MLP.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou a aplicação de um modelo de Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP) na tarefa de detecção de spam em e-mails, utilizando atributos simples extraídos de mensagens reais coletadas em ambiente corporativo. A proposta buscou validar a eficácia do MLP em cenários reais com restrições de dados, como ambientes corporativos onde a coleta de grandes volumes de e-mails é limitada por políticas de privacidade.

A arquitetura adotada demonstrou ser eficaz, com boa taxa de acerto na classificação das mensagens, mesmo com um conjunto limitado de variáveis e recursos computacionais modestos. O treinamento supervisionado com algoritmo Backpropagation foi capaz de ajustar os pesos sinápticos da rede de forma eficiente, permitindo ao modelo aprender padrões relevantes na diferenciação entre mensagens legítimas e mensagens de spam. Os resultados obtidos foram comparáveis, e em alguns casos superiores, aos de métodos tradicionais como Naïve Bayes e AdaBoost, conforme indicado na literatura.

Embora técnicas mais avançadas de aprendizado profundo, como redes convolucionais e modelos baseados em transformadores, ofereçam maior precisão em cenários complexos, o MLP continua sendo uma alternativa válida para aplicações com restrições de processamento ou voltadas ao ensino de fundamentos em aprendizado de máquina.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se o tamanho reduzido do conjunto de dados utilizado, o que pode restringir a generalização dos resultados obtidos. Para pesquisas futuras, recomenda-se a utilização de bases de dados mais amplas e representativas, como o Enron-Spam Dataset ou coleções de mensagens provenientes de plataformas corporativas, obtidas mediante consentimento, a fim de avaliar a robustez do modelo em diferentes contextos.

Como direções para trabalhos futuros, sugere-se a expansão do corpus de mensagens, a incorporação de atributos semânticos extraídos do conteúdo textual e a experimentação com arquiteturas de rede mais sofisticadas. Ademais, a aplicação de técnicas híbridas de seleção de atributos, aliadas a métodos de ensemble learning, poderá fortalecer a abordagem proposta, contribuindo para o desenvolvimento de modelos mais eficazes na detecção automatizada de mensagens indesejadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEVLIN, J.; CHANG, M. W.; LEE, K.; TOUTANOVA, K. BERT: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, v. 1, p. 4171-4186, jun. 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1810.04805.
- DOU, Y.; MA, G.; YU, P. S.; XIE, S. Robust spammer detection by Nash reinforcement learning. In: *ACM SIGKDD INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY & DATA MINING (KDD)*, 2020. Anais [...], 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2006.06069.
- FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery in databases. *AI Magazine*, v. 17, n. 3, p. 37–54, 1996.
- FERRARA, E.; VAROL, O.; DAVIS, C.; MENCZER, F.; FLAMMINI, A. The rise of social bots. *Communications of the ACM*, v. 62, n. 6, p. 96-104, 2020. DOI: 10.1145/2818717.
- GLOROT, X.; BORDES, A.; BENGIO, Y. Deep sparse rectifier neural networks. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND STATISTICS*, 15., 2011. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 2011. p. 315–323. Disponível em: <https://proceedings.mlr.press/v15/glorot11a/glorot11a.pdf>. Acesso em: 1 mai. 2025.
- GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. *Deep learning*. Cambridge: MIT Press, 2016.
- HAN, J.; PEI, J.; KAMBER, M. *Data mining: concepts and techniques*. 4. ed. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2022.
- HAYKIN, S. *Neural networks and learning machines*. 3. ed. New Jersey: Pearson, 2009.
- LILLICRAP, Timothy P.; SANTORO, Adam; MARRIS, Luke; AKERMAN, Colin J.; HINTON, Geoffrey. Backpropagation and the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 21, n. 6, p. 335-346, 2020. DOI: 10.1038/s41583-020-0277-3.
- LIU, Yuxi Hayden. *Python machine learning by example: build intelligent systems using Python, TensorFlow 2, PyTorch, and Scikit-Learn*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2020.
- MAHARANA, Kiran; MONDAL, Surajit; NEMADE, Bhushankumar. A review: data pre-processing and data augmentation techniques. *Global Transitions Proceedings*, v. 3, n. 1, p. 91-99, 2022. DOI: 10.1016/j.gltp.2022.04.020.
- RAMCHOUN, Hassan; GHANOU, Youssef; ETTAOUIL, Mohamed; IDRISSE, Mohammed Amine Janati. Multilayer perceptron: architecture optimization and training. 2016. DOI: 10.1145/3090354.3090427.
- RAO, S.; VERMA, A. K.; BHATIA, T. A review on social spam detection: challenges, open issues, and future directions. *Expert Systems with Applications*, v. 186, 115742, 2021. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115742.

RIZZO, Igor Vilela; CANATO, Robson Leandro Carvalho. Inteligência artificial: funções de ativação. *Prospectus*, v. 2, n. 2, 2020. ISSN 2674-8576.

ROSENBLATT, F.; PAPERT, S. *Perceptron*. v. 9, abr. 2021.

SAHAMI, M.; DUMAIS, S.; HECKERMAN, D.; HORVITZ, E. A Bayesian approach to filtering junk e-mail. *Machine Learning*, v. 43, n. 1, p. 98–112, 2021.

SAMARTHRAO, K. V.; ROHOKALE, V. M. A hybrid meta-heuristic-based multi-objective feature selection with adaptive capsule network for automated email spam detection. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, v. 6, n. 3, p. 497-521, 2022. DOI: 10.1007/s41315-021-00217-9.

VASWANI, A. *et al.* Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, v. 30, 2017. DOI: 10.48550/arXiv.1706.03762.

ZAKI, M. J.; MEIRA JR., W. *Data mining and machine learning: fundamental concepts and algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2020.

WEI, F.; NGUYEN, T. A lightweight deep neural model for SMS spam detection. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NETWORKS, COMPUTERS AND COMMUNICATIONS (ISNCC)*, 2020, [S. l.]. Anais [...]. Piscataway: IEEE, 2020. p. 1-6. DOI: 10.1109/ISNCC49221.2020.9297350.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E REALIDADE AUMENTADA PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND AUGMENTED REALITY FOR PATTERN RECOGNITION

Gustavo Monte Sião DE SANTANA

gu.santana1296@gmail.com

Ciência da Computação, Centro Universitário Padre Anchieta

Lívia Mastrangelo DE SOUZA

livia.mastrangelods@gmail.com

Ciência da Computação, Centro Universitário Padre Anchieta

Yasmin Alba TONET

Yasmintonet1@gmail.com

Ciência da Computação, Centro Universitário Padre Anchieta

Clayton Augusto VALDO

clayton.valdo@anchieta.br

Ciência da Computação, Centro Universitário Padre Anchieta

Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um aplicativo que combina Inteligência Artificial (IA) e Realidade Aumentada (RA) para reconhecimento de padrões. Utilizando CNNs, Deep Learning e TensorFlow Lite, o sistema realiza detecção de objetos, OCR e conta com Text-To-Speech (TSS) para interação. Desenvolvido no Android Studio, possui interface intuitiva com três telas principais, processando imagens e textos em tempo real. Com o modelo MobileNet, foi treinado usando mais de 800 imagens por objeto, rotuladas em condições variadas, com o auxílio do Roboflow, garantindo precisão e leveza. O protótipo reconhece objetos como maçanetas, cadeiras, faixas de pedestres e textos, sendo ideal para acessibilidade, educação e automação, demonstrando o impacto positivo da IA e RA na inclusão social.

Palavras-Chave: Realidade Aumentada, Inteligência Artificial, Redes Neurais Convolucionais, Deep Learning, Text-To-Speech, Reconhecimento Ótico de Caracteres.

Abstract

This article presents the development of an application that integrates Artificial Intelligence (AI) and Augmented Reality (AR) for pattern recognition. Using CNNs, Deep Learning, and TensorFlow Lite, the system performs object detection, OCR, and includes a Text-To-Speech (TTS) feature for interaction. Developed in Android Studio, it features an intuitive interface with three main screens, processing images and texts in real-time. Powered by the MobileNet model, it was trained with over 800 images per object, labeled under varying conditions, using Roboflow to ensure accuracy and efficiency. The prototype recognizes objects such as doorknobs, chairs, pedestrian crossings, and texts, making it ideal for accessibility, education, and automation, demonstrating the positive impact of AI and AR on social inclusion.

Keywords: Augmented Reality, Artificial Intelligence, Convolutional Neural Networks, Deep Learning, Text-To-Speech, Optical Character Recognition

INTRODUÇÃO

Para entender a história da tecnologia no Brasil, é essencial destacar a relação próxima que ela tem com os eventos acadêmicos. No início da década de 1960, o país teve expressivo avanço em relação ao hardware de computação. Em 1961, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) desenvolveu o que mais tarde foi considerado o primeiro computador brasileiro, nomeado 'Zezinho'. Até o final daquela década, as principais universidades do país já contavam com seus centros de computação, chamados de "Centro de Processamento de Dados" (WAZLAWICK; JUNIOR, 2021).

Nesse contexto acadêmico, as tecnologias de Inteligência Artificial (IA) e Realidade Aumentada (RA) surgem como os novos marcos da inovação. O surgimento da Inteligência Artificial pode ser visto como um marco tecnológico que traz implicações significativas para a sociedade. Na década de 1950, essa ideia começou a tomar forma e, em 1956, pesquisadores como John McCarthy e Marvin Minsky, da universidade estadunidense Massachusetts Institute of Technology (MIT), traçaram como objetivo o desenvolvimento de máquinas que fossem capazes de replicar o comportamento humano, resolver problemas e tomar decisões (LUG, 2023).

A Realidade Aumentada, por sua vez, é uma inovação mais recente que, se integrada com a IA, é capaz de criar experiências imersivas. Essa integração é visível principalmente no setor de varejo, na qual esse recurso permite com que os clientes interajam com produtos de interesse antes de realizar uma compra. Além disso, empresas têm utilizado a combinação de IA e RA em treinamentos, oferecendo dessa forma simulações de caráter mais realista e educacional (BOTPRESS, 2023).

O Reconhecimento de Padrões é um campo de estudo mais amplo dentro da Inteligência Artificial e Machine Learning. Esse se baseia na extração de dados e na identificação de similaridades ou divergências em padrões, transformando-as em conhecimentos úteis, com aplicações como reconhecimento facial e detecção de objetos. Essa tecnologia tem ganhado popularidade por possibilitar com que sistemas tomem decisões complexas sem nenhuma intervenção humana. Além disso, ele desempenha um papel fundamental no Processamento de Linguagem Natural (PLN), onde as máquinas coletam informações e aprendem a entender a estrutura e o significado da linguagem humana, reconhecendo normas em textos (BICKHAM, 2023).

A proposta deste artigo é desenvolver um aplicativo capaz de realizar o reconhecimento de padrões físicos e apresentá-los através da realidade aumentada, sendo uma solução eficiente e que automatize a identificação

de moldes em diversas áreas, principalmente em objetos simples do dia a dia como portas, escadas, sinalizações e textos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Baseado nos conceitos apresentados, fundamentou-se uma proposta de desenvolvimento de um aplicativo de reconhecimento de padrões físicos com o uso da realidade aumentada, automatizando a identificação de moldes. A partir dessa ideia, realizou-se uma extensa pesquisa sobre tecnologias que, em conjunto, possibilitam e enriquecem a construção do aplicativo.

Redes Neurais Convolucionais (CNNs)

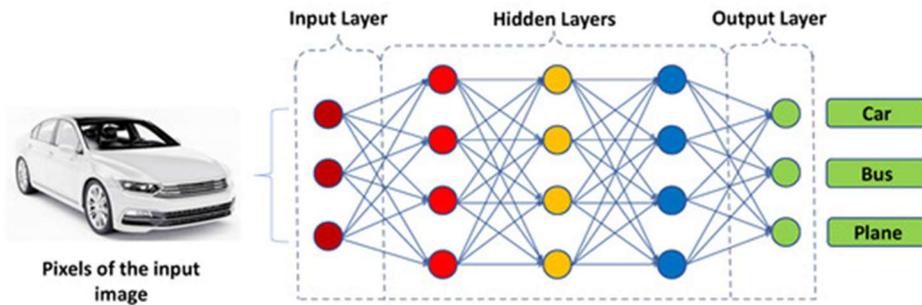
Segundo Krichen (2023), as Redes Neurais Convolucionais (CNNs) são amplamente empregadas em tarefas de reconhecimento de imagem. Elas consistem em camadas convolucionais que extraem atributos relevantes, seguidas de hierarquias totalmente conectadas para prever resultados. O treinamento da CNN envolve numerosos conjuntos de dados rotulados, na qual a rede aprende a vincular as características coletadas com etiquetas correspondentes por meio de retro propagação. Após o treinamento, ela pode classificar novos objetos, atribuindo o rótulo com a maior probabilidade de acerto.

Nos últimos anos, a aprendizagem automática evoluiu com o desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais (RNA), inspiradas no funcionamento do cérebro humano e superando abordagens tradicionais em diversas tarefas. Como observam O'shea e Nash (2015), as CNNs, projetadas especificamente para o reconhecimento de padrões em imagens, mantêm a estrutura básica das RNAs, contudo, otimizando o processamento visual ao codificar características diretamente em sua arquitetura. Isso as confere mais acuracidade na computação de dados ópticos e reduz a quantidade de parâmetros necessários, tornando-as mais simples e eficazes.

As CNNs foram inicialmente propostas por Kunihiko Fukushima em 1988, apesar da limitação de seu uso pelo poder computacional da época. Na década de 1990, entretanto, Yann LeCun e colaboradores aplicaram algoritmos de aprendizado baseados em gradientes às CNNs, obtendo sucesso na classificação de dígitos manuscritos. Estas tecnologias se destacam principalmente por otimizar o processamento de modelos 2D e 3D, operando com menos parâmetros que redes totalmente conectadas (ALOM et al., 2019).

A Figura 1 abaixo apresenta um exemplo da estrutura de CNN simplificada para a rotulação de objetos. A entrada, uma imagem de um automóvel, passa pela primeira camada oculta (input), na qual os filtros extraem características como arestas e texturas. Esse processo se repete por várias hierarquias, extraíndo atributos cada vez mais complexos, até o nível final (output), no qual é gerado uma distribuição de probabilidade sobre as classes — carro, ônibus ou avião. A categoria com maior probabilidade é então selecionada e os pesos dos filtros são ajustados via retro propagação, minimizando o erro entre a previsão e o resultado real.

Figura 1. Representação do processamento em camadas ocultas das CNNs (KRICHEN, 2023).



Uma CNN tipicamente é composta por diversos níveis, cada um desempenhando uma função específica. Dentre as principais camadas estão: Convolutional, Pooling, Activation, Batch Normalization, Dropout e Fully Connected. Além dessas camadas básicas, algumas CNNs incorporam gradações especializadas para capturar dependências mais complexas nos dados. CNNs recorrentes (RCNN), por exemplo, introduzem hierarquias recorrentes para lidar com pendências temporais nas sequências de entrada. Já em CNNs com Long Short-Term Memory (LSTM), são empregados níveis para aprender dependências de longo prazo, otimizando o desempenho em tarefas sequenciais (KRICHEN, 2023).

Krichen (2023) também observa que as CNNs são altamente adequadas para tarefas que envolvem a análise de informações visuais, como classificação de imagens, detecção de objetos e segmentação. Isto se dá devido a sua capacidade de identificar representações hierárquicas de dados ópticos, nas quais características de baixo nível são combinadas para formar propriedades mais complexas e abstratas, permitindo ao modelo reconhecer padrões multifacetados e realizar previsões precisas. Adicionalmente, as CNNs são competentes com elementos sequenciais como reconhecimento de fala (Speech-to-text) e Processamento de Linguagem Natural (PNL), aproveitando estruturas espaciais ou temporais nos dados. No reconhecimento de voz, por exemplo, as camadas convolucionais podem extrair características fonéticas de uma sequência de fotogramas. Alternativamente, em PNL essas hierarquias podem captar o significado e as relações entre palavras no texto de entrada, otimizando o desempenho de ambas as áreas.

Deep Learning (DL)

Segundo Minar e Naher (2018), o Deep Learning é uma área de Machine Learning que se baseia em Redes Neurais Profundas, compostas por gradações para estudo de representações hierárquicas de dados. Cada camada da rede transforma os conteúdos de nível inferior em superior, abstraindo conceitos mais complexos. Isso permite que essas redes aprendam diretamente, e em quantidades abundantes de informações, sem a necessidade de intervenção manual para a extração de características, o que é essencial em tarefas como visão computacional, reconhecimento de fala e processamento de linguagem natural.

Emmert-Streib et al. (2020) apontam que, no contexto da aprendizagem profunda, uma propriedade comum a todos os modelos é a capacidade de realizar o que se denomina aprendizagem de representações ou de características. Isso significa que o mecanismo não trabalha diretamente com os dados em sua forma bruta, mas adquire novas e melhores representações a partir deles. É importante destacar que esse processo ocorre em várias etapas, mediante múltiplas camadas ocultas, com cada uma aplicando transformações nas informações em diferentes níveis.

De acordo com Emmert-Streib et al. (2020), outro aspecto relevante dos mecanismos de aprendizagem profunda é a natureza não linear das transformações realizadas entre as camadas, ampliando a capacidade

expressiva do modelo. Além disso, essas representações não são programadas manualmente, mas aprendidas diretamente a partir dos dados de treino, conferindo uma flexibilidade significativa aos modelos.

O aumento da capacidade computacional, especialmente com o uso de Unidades de Processamento Gráfico (GPUs), desempenhou um papel crucial no desenvolvimento prático do Deep Learning (DL). Graças ao poder de processamento paralelo das GPUs, foi possível acelerar significativamente a execução de operações em redes neurais profundas, permitindo a manipulação de volumes de dados massivos e a realização de cálculos complexos em um período mais curto. Ademais, avanços em algoritmos de otimização tornaram o treinamento de redes neurais mais competentes, viabilizando sua aplicação em larga escala (MINAR; NAHER, 2018).

As CNNs estão intimamente conectadas ao DL, se beneficiando deste aprendizado de padrões complexos para extrair automaticamente características em várias camadas, o que as torna uma das arquiteturas mais eficientes em visão computacional, como destaca Younesi (2024). Os avanços em aprendizado profundo desempenham um papel essencial no aprimoramento das Redes Neurais Convolucionais, permitindo sua aplicação em problemas de alta complexidade. Essas inovações tornaram as CNNs modelos mais robustos, capazes de lidar eficientemente com grandes volumes de dados (MINAR; NAHER, 2018).

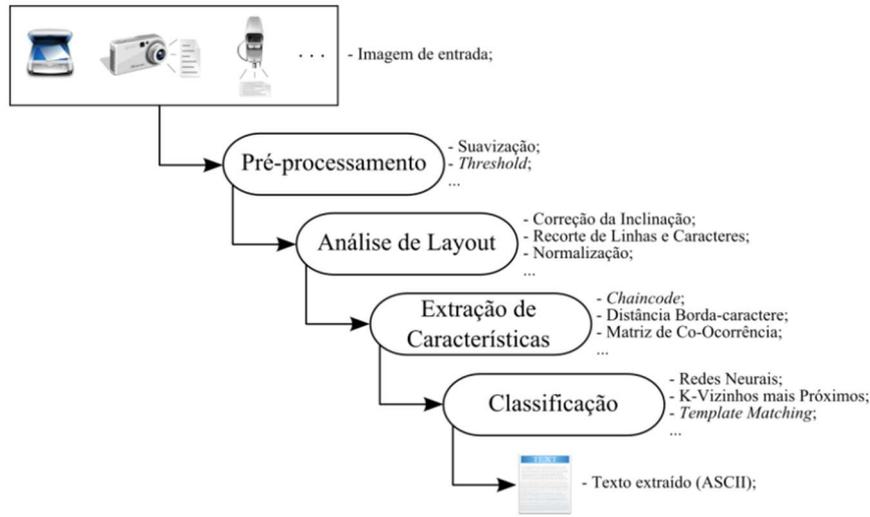
Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR)

Uzai (2018) discorre sobre como a capacidade cognitiva humana para processamento de informações visuais é impressionante. Em segundos é possível não apenas entender dinâmicas de cor, perspectiva e profundidade dos elementos apresentados como também identificar os dados coletados e atribuir contexto ao conjunto observado. Diante deste mecanismo orgânico tão complexo à disposição, a ânsia para não somente replicar como também refinar e ampliar suas habilidades no meio computacional não é novidade.

Segundo Folter (2022), em meados de 1950, esforços foram realizados para automação do processamento de materiais documentados em papel para o meio digital, sem a necessidade de transcrição intermediária. Entretanto, foi o pioneiro Ray Kurzweil, em 1974, que formalizou a ferramenta capaz de reconhecer textos em fontes impressas e vocalizá-los via aprendizado de máquina, desenvolvido para acessibilidade para pessoas com deficiência visual, aponta IBM (2024). Desde então, a tecnologia denominada como Reconhecimento Óptico de Caracteres — ou, do inglês, como é popularmente referida, Optical Character Recognition (OCR) — foi extremamente aprimorada, sendo um recurso apto a discernir e converter textos, símbolos e padrões contidos em imagens para documentos editáveis, seja em escrita impressa ou manuscrita (FARIAS, 2023).

A figura 2 abaixo expõe de forma simples o fluxo de conversão do sistema OCR para processar imagens de forma legível à máquina. O primeiro estágio se baseia na aquisição de uma base de evidências fotográficas contendo os objetos-alvo para computação, variando em cores, iluminação, contraste, distância e tamanho da fonte, com o intuito de simular as pluralidades de diferentes ambientes (DE OLIVEIRA, PITERI E ARTERO, 2016).

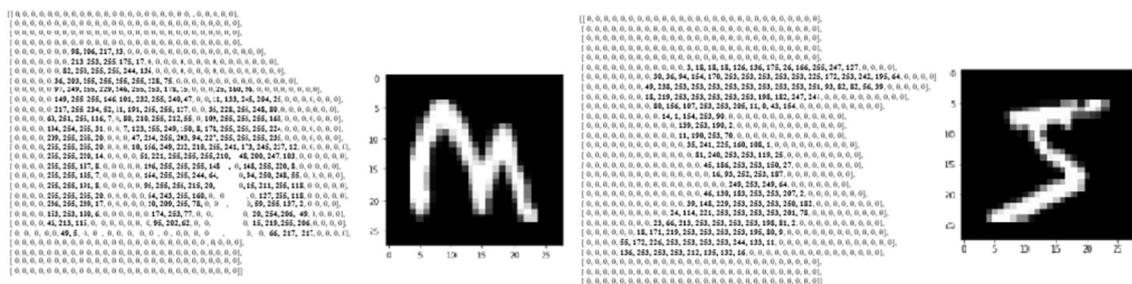
Figura 2. Esquema figurativo das etapas de processamento em um sistema OCR (DE OLIVEIRA, PITERI E ARTERO, 2016).



Farias (2023) explica que, a fim de potencializar a acuracidade e eficiência na detecção de padrões, aumentar a legibilidade e riqueza de detalhes é uma etapa substancial. Nesse sentido, o pré-processamento objetiva auxiliar na diferenciação entre as áreas de interesse e os demais elementos em tela, mediante estratégias como o aumento de resolução (upscaling) por densidade de pontos por polegadas (DPI), conversão para escala monocromática cinza, limiarização (threshold), redução de ruídos e/ou granulação por suavização.

Após a minimização de possíveis defeitos visuais, a fase de análise de layout e segmentação utiliza técnicas de detecção de bordas para determinar o ângulo de inclinação da foto e efetuar a rotação para melhor reconhecimento. A partir disso, um mapeamento em linhas e colunas indica a distribuição de objetos na composição. Mediante esta subdivisão, é possível isolar os caracteres e normalizar a quantidade de píxeis por matriz na escala da imagem, conforme ilustrado na figura 3. A reconhecimento é orientada da esquerda para a direita, de cima a baixo (DE OLIVEIRA, PITERI E ARTERO, 2016; ENUCOMPI, 2023).

Figura 3. Exemplos de matrizes de píxeis normalizadas da letra m e número 5, respectivamente (ENGETECH, 2021).



De acordo com De Oliveira, Piteri e Artero (2016) e Enucompi (2023), no processo de extração de características, diversas metodologias relacionadas à quantificação de atributos individuais são aplicadas

com o propósito de agrupar propriedades relevantes para o reconhecimento e associação de padrões. O produto desta operação é um vetor numérico que descreve as particularidades gravadas durante o aprendizado de máquina. Alicerçado nisso se inicia a classificação, na qual a cada ciclo de identificação destes conjuntos, estes são então confrontados com os anteriores por intermédio de estruturas de CNN para determinar o grau de similaridade entre os objetos já conhecidos e as novas amostras.

Text-To-Speech (TTS)

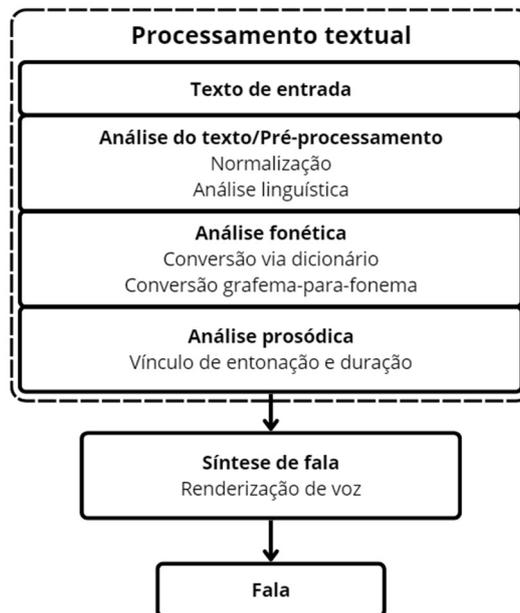
Pant et al. (2018) destacam que a comunicação verbal é uma das formas mais assertivas para troca de informação, evitando possíveis interpretações equivocadas, situações que são mais recorrentes em outros meios de interação digital, como a visual — via imagens ou ilustrações — ou escrita, como por mensagens e e-mails. Com a conveniência proporcionada pela era tecnológica, é natural que a ideia de incorporar esta eficiência ao ambiente computacional se tornasse uma necessidade. Embora existam precursores relacionados que datam desde o século XVIII, foi somente em 1968, no laboratório Eletrotécnico no Japão, que Noriko Umeda desenvolveu o primeiro sistema formalizado de Text-To-Speech (TTS) para a língua inglesa (WEITZMAN, 2022).

Esta tecnologia pode ser definida como a produção computacional de sentenças enunciadas baseadas em entradas de texto digital, possuindo uma gama de utilidades em áreas como aprendizado linguístico, serviços de telecomunicação, indústria de jogos e brinquedos, pesquisas acadêmicas e no auxílio de pessoas com distúrbios motores. A diferença fundamental entre TTS e outros sistemas de saída de áudio — os chamados Voice Response Systems — reside em sua habilidade de automatizar a síntese de novas palavras, sem a limitação de um grupo de vocabulário pré-estabelecido (DUTOIT, 1997).

Diferente da curva de aprendizado humano, composta por indicativos de pronúncia, mesmo para palavras novas, por conta da bagagem acumulada de variáveis de voz como fonemas, fluência, entonação e afinação, máquinas TTS dependem de um sistema de avaliações críticas para gerar a estruturação da fala (PANT et al., 2018).

Seguindo o esquema apresentado na figura 4, o fluxo se inicia com a entrada do texto digital, seja ele originado de dispositivos de entrada (inputs), scanners ou, semelhantemente ao empregado neste estudo, por meio de um sistema de Reconhecimento Óptico de caracteres. A análise dos trechos informados se inicia pela identificação de pontuações e formatações de parágrafo, organizando posteriormente as sentenças em listas lógicas e desmembrando-as em grupos de números, abreviações, acrônimos e sinais. Após a normalização, é realizada uma série de verificações linguísticas para sintaxe, semântica, morfologia e pragmática, a fim de facilitar a articulação e possíveis inconsistências textuais nos estágios subsequentes (DUTOIT, 1997; KATADE ET AL., 2023).

Figura 4. Representação gráfica simplificada do processamento realizado por sistemas TTS (KATADE ET AL., 2023).



Dutoit (1997) e Katade et al. (2023) explicam que após finalizada a etapa de pré-processamento, estabelece-se a transcrição fonética dos objetos de entrada. Esta composição sonora pode ser estruturada mediante duas abordagens: a orientada a dicionário ou a regra. A primeira, como o nome indica, baseia-se apenas nas definições de pronúncia documentadas em dicionários, apoiando-se em flexões morfofonêmicas para prever como serão vocalizadas ressalvas não registradas. Apesar de ocupar consideravelmente menor espaço no processamento, esta estratégia é mais propensa a apresentar inconsistências audíveis, tomando um carácter mais robótico. Em contraposição a isso, a regra grafema-para-fonema, por sua vez, foca em atribuir à fala a maior quantidade de individualidade sonora, aderindo regras de exceção para cada uma das palavras.

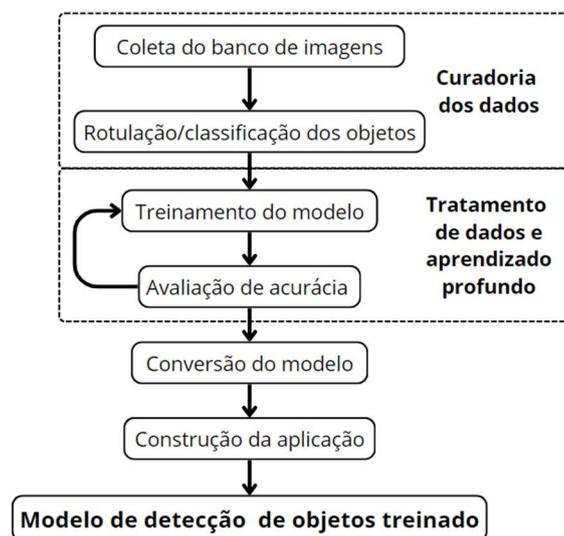
Independentemente do método utilizado, as amostras textuais são então processadas sílaba a sílaba por funções prosódicas como afinação, volume, duração de fala por sílaba, análise tônica e átona. A entonação possui um grande papel no contexto e intenção de uma frase, logo, a sofisticação computacional para mímica destas características verbais atribui à comunicação um tom muito mais natural e familiar aos usuários (DUTOIT, 1997; KATADE et al., 2023).

A síntese vocal pode ser entendida como o processo de produção artificial de fala humana. Essa é uma das etapas mais importantes do desenvolvimento, pois determina como o processamento será apresentado e, conseqüentemente, seu desempenho. Com isso em mente, os dados tratados previamente passam então por três técnicas fundamentais. A primeira, síntese articulada, foca na simulação biológica da fala. Já a integração dos formantes é responsável por agrupar os componentes acústicos em bases perimétricas. Por fim, a renderização pode ser baseada em: exemplares de fala pré-gravados; formantes, que simulam cordas vocais humanas; e a concatenação, que consolida as unidades de som mediante modelos sílaba a sílaba. O resultado deste encadeamento de etapas resulta na saída de dados em áudio (KATADE et al., 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

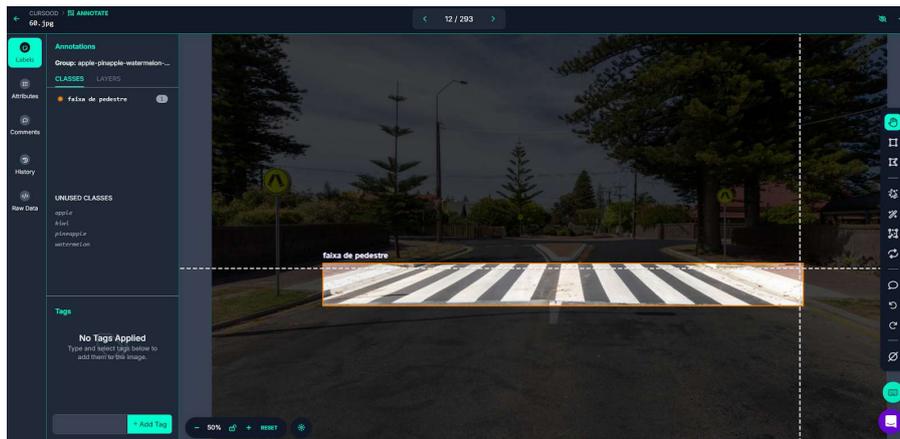
Como evidência prática deste artigo foi desenvolvida uma aplicação que, mediante um modelo treinado de aprendizado profundo, é capaz de identificar em tempo real textos e objetos pré-selecionados como maçanetas, cadeiras e faixas de pedestre. Explanando a estrutura de processos apresentada na figura 5, a primeira etapa baseia-se na coleta de dados de interesse em diversos ambientes e condições de visualização, por meio de conteúdos online, fotos ou vídeos de autoria própria, ou manipulação de bancos pré-existentes conforme comentado por Asif (2024). A fim de garantir uma eficiência satisfatória nos passos posteriores, englobou-se ao menos 500 imagens de natureza diferente para cada um dos itens.

Figura 5. Representação do fluxo geral desenvolvido no projeto.



Diferente do reconhecimento de categorias, que classifica fotografias em sua totalidade e indica apenas a presença ou não do objeto alvo, a detecção de objetos é capaz de, além de identificar, localizar também sua posição relativa na cena. Todavia, para alcançar tal resultado o modelo deve passar pela rotulação, passagem em que cada um dos conteúdos do banco recebe uma anotação assinalando a classe que o mesmo representa, em adição a visualização da delimitação do elemento em cena, como exemplificado na figura 6. Existem diversas ferramentas disponíveis para esta finalidade, contudo, aos fins desta composição foi utilizado o framework de visão computacional Roboflow.

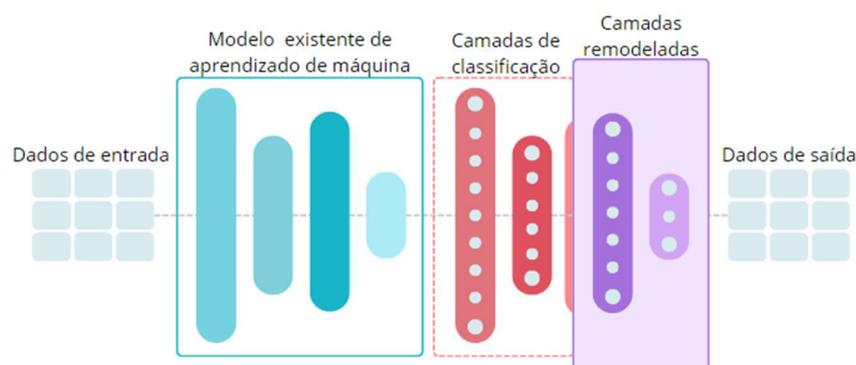
Figura 6. Captura de tela exemplificando processo de rotulação no Roboflow.



Asif (2024) discorre que uma vez completa a rotulação, o conjunto de dados deve então ser segregado em três pastas distintas para treinamento, validação e testes, respeitando balanceamento de 80% para o primeiro e 10% às demais. Adicionalmente, a plataforma Roboflow disponibiliza uma série de ferramentas para ampliar evidências, gerando novas imagens a partir das já catalogadas pela alteração de propriedades como tamanho, contraste e rotação. Posto isso, um arquivo de extensão zip é gerado com todas as fotos e anotações em XML.

A capacitação do modelo foi constituída por um algoritmo desenvolvido na linguagem de programação Python, fornecido publicamente pelo Google em servidor online (Google Colab). Este ambiente, aliado principalmente à biblioteca MediaPipe Model Maker, está respaldado no conceito de aprendizagem por transferência para simplificar o processamento dos data sets. Consoante o informativo no Criador de modelos do MediaPipe (2024), ao invés de processá-los a partir do zero, é reutilizada grande parte dos métodos aplicados em modelos de detecção já fundamentados em milhares de imagens, recriando as camadas de saída para se adequar ao novo conjunto personalizado. Esta abordagem, demonstrada na figura 7, é consideravelmente mais rápida e eficiente, sendo a versão mais recente e avançada para treinar protótipos para dispositivos de ponta.

Figura 7. Representação da arquitetura de aprendizado por transferência utilizada no Model Maker.



A remodelação e treinamento ocorre mediante um poderoso mecanismo denominado TensorFlow lite. Este framework de código aberto otimiza o aprendizado de máquina para dispositivos de baixa latência, proporcionando compatibilidade e compactabilidade de recursos entre os arquivos gerados e aplicações mobile, sem a necessidade de conexão com a internet ou perda de dados, pois não há fluxo direto com um servidor online (TENSORFLOW [...], 2021).

Priorizando a exatidão e padronização do protótipo, o aprendizado de máquina trabalha alicerçado em três parâmetros, conforme figura 8. Visando otimizar recursos, alguns processos são realizados simultaneamente, e o `batch_size`, o primeiro destes valores, simboliza justamente o número de imagens que serão agrupadas a cada lote de apreciação. O `learning_rate`, por sua vez, visa controlar a métrica de acuracidade dos ciclos de estudo. Distintivamente, o `epoch` diz respeito a quantidade de vezes que o banco de dados será processado pelo algoritmo. Estabelecidas estas definições, são configuradas as opções específicas do modelo de detecção reaproveitado, sendo nesta circunstância aplicada uma versão do MobileNet, um modelo de rede neural leve e eficiente projetado para dispositivos com capacidade computacional limitada. Por último, a função `create` desencadeia o fluxo de aprendizado conforme as propriedades informadas (ASIF, 2024).

Figura 8. Código fonte utilizado para definir os parâmetros de treino do modelo.

```
hparams = object_detector.HParams(batch_size=8, learning_rate=0.3, epochs=50, export_dir='exported_model')
options = object_detector.ObjectDetectorOptions(
    supported_model=object_detector.SupportedModels.MOBILENET_V2,
    hparams=hparams
)
model = object_detector.ObjectDetector.create(
    train_data=train_data,
    validation_data=val_data,
    options=options)
```

Asif (2024) especifica dois conceitos para validação do desempenho em DL, a precisão média e a intersecção sobre o valor da união. A primeira busca avaliar o desempenho do modelo estimando a conformidade dos resultados com os padrões conhecidos. A intersecção sobre o valor da união, em contrapartida, analisa o índice de sobreposição entre a área identificada pelo protótipo na imagem e a classe de teste validada. Ambas as metodologias quantificam as previsões em um intervalo de 0 a 1, sendo o último correspondente ao valor máximo. Através da biblioteca COCO, o exemplar foi ciclicamente examinado e realimentado ao treinamento, atualizando os valores dos parâmetros. Atingindo resultados satisfatórios, o arquivo pôde então ser exportado com a extensão `tflite` para próxima etapa de desenvolvimento.

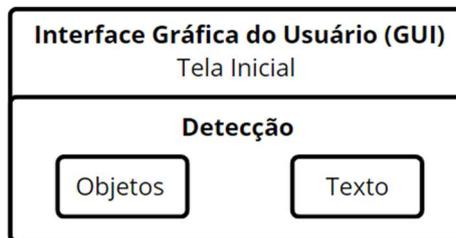
Focando na eficiência para edição de código e versionamento mobile, a construção da aplicação fundamentou-se no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) conhecido como Android Studio. Estruturam-se três telas para abranger todas as funcionalidades propostas, seguindo o layout na figura 9 abaixo.

Figura 9. Layout das telas implementadas no aplicativo.



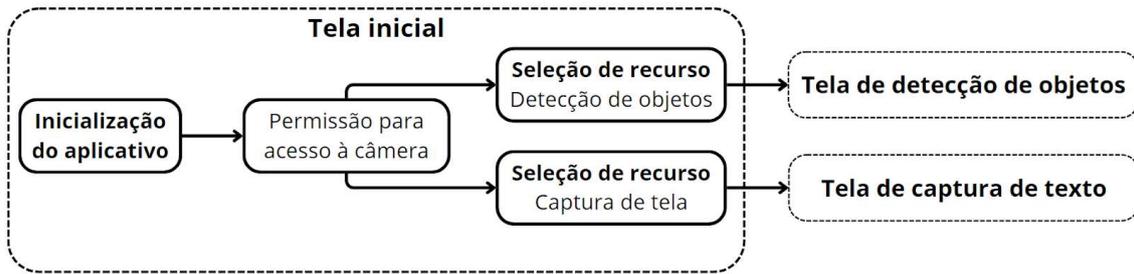
No concerne ao fluxo de arquitetura lógica do aplicativo, a figura 10 apresentada abaixo elucida a elaboração técnica do código, desenvolvido primordialmente em Java. Priorizando o esclarecimento quanto aos processos executados no desenho da aplicação, anexou-se a este capítulo somente os trechos de maior relevância ao assunto discorrido.

Figura 10. Representação figurativa da arquitetura desenvolvida no projeto.



A tela principal, apresentada na figura 11, serve como ponto inicial para seleção das subsequentes, apresentando destaque em relação às decisões estéticas do projeto, como o uso de cores contrastantes, facilitando a visualização dos campos escritos, em adição ao logo, artifício essencial para identidade visual. Tanto a seleção do recurso de detecção de objetos quanto a de captura de texto desencadeiam a ativação da câmera, distinguindo-se ao nível de design apenas em campos específicos como o botão para captar imagens.

Figura 11. Esquema apresentando os recursos da tela inicial.



A primeira configuração realizada refere-se ao mecanismo mais substancial da aplicação, o acesso à câmera. Isto não apenas por ser uma autorização que deve ser explicitamente acordada por parte do usuário, como também pelo fato de que os artifícios programados dependem dessa visualização. A figura 12 aborda algumas destas especificações para compatibilidade, definindo a necessidade da permissão, a necessidade de uma câmera no dispositivo e funcionalidade mínima de autofoco.

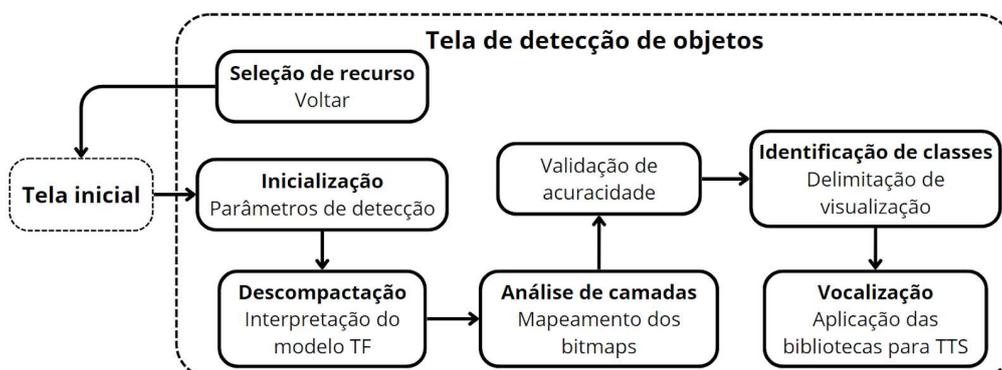
Figura 12. Exemplo de pré-requisitos relacionados ao uso da câmera.

```

<uses-permission android:name="android.permission.CAMERA" />
<uses-feature android:name="android.hardware.camera" />
<uses-feature android:name="android.hardware.camera.autofocus" />
  
```

A fim de compreender o desenho do mecanismo de detecção de objetos exposto na figura 13, deve-se ter em mente que seu uso em tempo de execução é extremamente dinâmico. Por conta disso, são definidas algumas propriedades antes da inicialização para evitar sobrecargas, como limite de itens reconhecidos simultaneamente, cores para diferenciação de planos e porcentagem de acurácia mínima para vocalização.

Figura 13. Esquema apresentando os recursos da tela de detecção de objetos.



Além disso, o trecho contido na figura 14 abaixo é responsável por inicializar o rastreador a partir do momento em que o usuário é direcionado à esta tela. Este realiza ainda algumas declarações como o

percentual de precisão para identificação — o que se refere a no mínimo 80% neste caso — uso da GPU e a nomeação do modelo que será descompactado e interpretado pelo TensorFlow.

Figura 14. Inicializador do processo de detecção de objetos.

```

tracker = new MultiBoxTracker( context: this);
objectDetectorHelper = new ObjectDetectorHelper( threshold: 0.8f, ObjectDetectorHelper.MAX_RESULTS_DEFAULT, ObjectDetectorHelper.DELEGATE_CPU,
modelNames: "objetos.tflite", RunningMode.IMAGE, getApplicationContext(), objectDetectorListener: this);
}

```

O próximo passo então é o mapeamento das fotografias bitmaps coletadas e alimentadas ao protótipo para treinamento. Segundo a imprensa da Universidade Federal do Ceará (2024), bitmaps são formatos de imagem que armazenam suas informações em matrizes de pixels. Este mapeamento percorre as camadas de aprendizado com intuito de comparar as classes treinadas com os objetos visíveis em tela. Ao obter uma correspondência de precisão satisfatória, os recursos Text-To-Speech são ativados e a lista resultante de itens detectados é utilizada como base para criação de novos objetos, que serão delimitados pelas caixas de marcação em tela, como demonstra a figura 15. Vale ressaltar que, ao ser chamado, o TTS pode definir as preferências de idioma consoante a linguagem nativa da máquina ou manualmente.

Figura 15. Mapeamento Bitmap para detecção de objetos.

```

public ResultBundle detectImage(Bitmap image) { 1 usage
    if (runningMode != RunningMode.IMAGE || objectDetector == null) {
        return null;
    }

    long startTime = SystemClock.uptimeMillis();
    MPOImage mpImage = new BitmapImageBuilder(image).build();
    ObjectDetectionResult objectDetectionResult = objectDetector.detect(mpImage);

    if (objectDetectionResult != null) {
        long inferenceTimeMs = SystemClock.uptimeMillis() - startTime;
        List<ObjectDetectionResult> results = new ArrayList<>();
        results.add(objectDetectionResult);

        if (!objectDetectionResult.detections().isEmpty()) {
            String detectedCategory = objectDetectionResult.detections().get(0).categories().get(0).categoryName();
            String speechText = detectedCategory;
            textToSpeech.speak(speechText, TextToSpeech.QUEUE_FLUSH, params: null, utteranceId: null);
        }

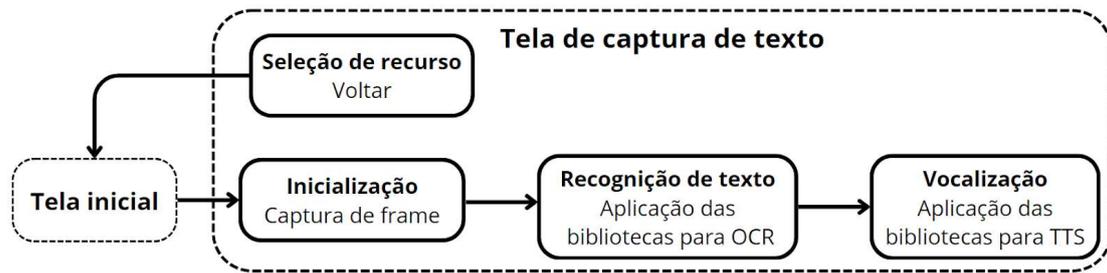
        return new ResultBundle(results, inferenceTimeMs, image.getHeight(), image.getWidth());
    }

    return null;
}

```

A tela para captura de textos na figura 16, em contrapartida, apresenta uma leitura vocalizada em tempo real baseada em frames e, por conta disso, pode apresentar dificuldade caso o percentual de detecção não seja relativamente estável. Com o intuito de assegurar a eficácia desta funcionalidade, um botão para captura de frames foi adicionado, evitando assim o acúmulo de informações processadas simultaneamente.

Figura 16. Inicializador do processo de captura de textos.



A figura 17 descreve o evento engatilhado após o clique, que chama a função `captureImage()` a fim de realizar a coleta de uma cena estática a partir da visualização em câmera. Seguindo esta dinâmica, a biblioteca para computação do OCR é ativada através do comando `recognizeText(inputImage)`, que já inclui tratamento de erros em casos de falhas na captura ou reconhecimento de caracteres. Caso o processo seja bem-sucedido, uma função para enfileirar os recursos de TTS é inicializada e reproduz o texto alimentado.

Figura 17. Código fonte para captura e processamento de texto baseado em frames.

```

private void captureImage() { 1 usage
    imageCapture.takePicture(ContextCompat.getMainExecutor(context), new ImageCapture.OnImageCapturedCallback() {
        @Override 3 usages
        public void onCaptureSuccess(@NonNull ImageProxy image) {
            super.onCaptureSuccess(image);
            InputImage inputImage = InputImage.fromMediaImage(image.getImage(), image.getImageInfo().getRotationDegrees());
            recognizeText(inputImage);
            image.close();
        }

        @Override
        public void onError(@NonNull ImageCaptureException exception) {
            super.onError(exception);
            Toast.makeText(context, LeituraActivity.this, text: "Erro ao capturar imagem", Toast.LENGTH_SHORT).show();
        }
    });
}
  
```

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As facilidades e possibilidades que a Inteligência Artificial e Realidade Aumentada representam em conjunto são extremamente transformadoras. Algumas tecnologias selecionadas, como Redes Neurais Convolucionais, Aprendizado Profundo, Reconhecimento Ótico de Caracteres e Text-To-Speech, quando aliadas ao desenvolvimento de melhorias têm o potencial de enriquecer aplicações diversas, variando desde recursos de acessibilidade para pessoas no espectro da deficiência visual, vigilância para segurança em lojas e fábricas, desempenho de trabalho, análise de tráfego, contagem de multidões até a detecção de anomalias e padrões de foco de doenças em áreas como saúde e agropecuária.

O estudo se utilizou de um modelo de aprendizado de máquina adaptado, capaz de treinar um novo protótipo com base no banco com alimentação de imagens verificadas e classificadas. Após estabilizar sua acuracidade, o modelo foi então incorporado pelo código da aplicação mobile, no qual realizou tanto a adição de

elementos gráficos, como interface das telas, e o processamento deste modelo em si, englobando, por exemplo, permissões de câmera, inicialização de bibliotecas e APIs para reconhecimento de itens, vocalização de classes e textos identificados.

Entretanto, a implementação enfrentou alguns empecilhos a serem superados em próximas análises do tema, com destaque a dificuldades relacionadas à padronização de qualidade nas imagens para aprendizado e incompatibilidade do aplicativo com sistemas operacionais iOS.

Para futuros desenvolvimentos, indicam-se melhorias como a integração do aplicativo com dispositivos externos, permitindo, por exemplo, a leitura auxiliada para pessoas com deficiência visual mediante câmeras estáveis estabilizadas no usuário, eliminando a necessidade do direcionamento do celular para identificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOM, Md Zahangir; TAHA, Tarek M.; YAKOPCIC, Chris; WESTBERG, Stefan; SIDIKE, Paheding; NASRIN, Mst Shamima; HASAN, Mahmudul; VAN ESSEN, Brian C.; AWWAL, Abdul A. S.; ASARI, Vijayan K. *Computer Science & Engineering. A State-of-the-Art Survey on Deep Learning Theory and Architectures*, [s. l.], 5 mar. 2019. DOI <https://doi.org/10.3390/electronics8030292>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/3/292>. Acesso em: 23 out. 2024.

ANAIS DO ENCONTRO UNIFICADO DE COMPUTAÇÃO DO PIAUÍ (ENUCOMPI), 2023, Piauí. *Uso de Reconhecimento Óptico de Caracteres para Extração de Textos em Imagens de Redações [...]*. [S. l.: s. n.], 19/10/2023. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/enucompi/article/view/26617>. Acesso em: 19 out. 2024.

BICKHAM, Barbara. *The Future of AI: How Pattern Recognition is Driving Innovation in Machine Learning*. [S. l.], 29 dez. 2023. Disponível em: <https://www.trailyn.com/the-future-of-ai-how-pattern-recognition-is-driving-innovation-in-machine-learning/>. Acesso em: 26 set. 2024.

COMUNIDADE, BootPress. *Guia definitivo da Inteligência Artificial (IA) e da Realidade Aumentada (RA)*. [S. l.], 23 set. 2023. Disponível em: <https://botpress.com/pt/blog/ultimate-guide-to-artificial-intelligence-ai-and-augmented-reality-ar>. Acesso em: 24 set. 2024.

DE OLIVEIRA, Helder; PITERI, Marco; ARTERO, Almir. Desenvolvimento de uma Plataforma de Software para o Reconhecimento Óptico de Caracteres. *CNMAC — Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, [s. l.], 10 mar. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/266317024_Desenvolvimento_de_uma_Plataforma_de_Software_para_o_Reconhecimento_Optico_de_Caracteres. Acesso em: 19 out. 2024.

DUTOIT, Thierry. High-quality text-to-speech synthesis: an overview. *JOURNAL OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS*, [s. l.], 1 jan. 1997. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/High-quality-text-to-speech-synthesis-%3A-an-overview-Dutoit/36cb0e3d47a76bc1e87529cbb2fd965a37ade12a>. Acesso em: 20 out. 2024.

EMMERT-STREIB, Frank; YANG, Zhen; FENG, Han; TRIPATHI, Shailesh; DEHMER, Matthias. Machine Learning and Artificial Intelligence. *An Introductory Review of Deep Learning for Prediction Models With Big Data*, [s. l.], 27 fev. 2020. DOI <https://doi.org/10.3389/frai.2020.00004>. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2020.00004/full>. Acesso em: 24 out. 2024.

ENCONTRO DE GESTÃO E TECNOLOGIA (ENGETECH), 2021, São Paulo. *RECONHECIMENTO ÓPTICO DE CARACTERES E TRANSCRIÇÃO DE TEXTOS MANUSCRITOS [...]*. [S. l.: s. n.], 24/11/2021. Disponível em: https://www.fateczl.edu.br/engetec/engetec_2021/4_EnGeTec_paper_167.pdf. Acesso em: 19 out. 2024.

FARIAS, WALISSON. *APERFEIÇOANDO O RECONHECIMENTO ÓPTICO DE CARACTERES EM IMAGENS DE DOCUMENTOS PESSOAIS*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) (Bacharelado) - Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande, [S. l.], 2023. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/34848>. Acesso em: 19 out. 2024.

FOLTER, Rodrigo. *O que é OCR? | Reconhecimento ótico de caracteres*. [S. l.], 7 jun. 2022. Disponível em: <https://canaltech.com.br/internet/o-que-e-ocr-reconhecimento-otico-de-caracteres/>. Acesso em: 19 out. 2024.

JUNIOR, Deógenes; WAZLAWICK, Raul. *Histórico de Eventos de Computação no Brasil*. [S. l.], 16 mar. 2021. Disponível em: <https://horizontes.sbc.org.br/index.php/2021/03/historico-de-eventos-de-computacao-no-brasil/>. Acesso em: 24 set. 2024.

KATADE, Gopal *et al.* Review on Text to Speech Synthesizer. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, [s. l.], 1 jun. 2023. Disponível em: <https://ijsrst.com/paper/11180.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

KRICHEN, Moez. Department of Information Technology. *Convolutional Neural Networks: A Survey*, [s. l.], 28 jul. 2023. DOI <https://doi.org/10.3390/computers12080151>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-431X/12/8/151>. Acesso em: 24 out. 2024.

LUG, Andre. *Introdução à criação da inteligência artificial*. [S. l.], 21 mai. 2023. Disponível em: <https://andrelug.com/a-evolucao-da-inteligencia-artificial-do-pioneirismo-a-aplicacao-contemporanea/>. Acesso em: 24 set. 2024.

MINAR, Matiur Rahman; NAHER, Jibon. Machine Learning. *Recent Advances in Deep Learning: An Overview*, [s. l.], 21 jul. 2018. DOI <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.08169>. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1807.08169>. Acesso em: 24 out. 2024.

O que é reconhecimento ótico de caracteres (OCR)? [S. l.], 12 jul. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/optical-character-recognition>. Acesso em: 19 out. 2024.

O'SHEA, Keiron; NASH, Ryan. Neural and Evolutionary Computing; Machine Learning; Computer Vision and Pattern Recognition. *An Introduction to Convolutional Neural Networks*, [s. l.], 2 dez. 2015. DOI <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.08458>. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1511.08458>. Acesso em: 23 out. 2024.

PANT, Navya *et al.* *Speech to text and text to speech recognition systems: A review*. IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), [s. l.], 17 mar. 2018. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/87530288/E2002013643.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

PENG, Kelly. *A Tale of Two Technologies: How AI and AR Tech Are Changing Our World*. [S. l.], 11 ago. 2023. Disponível em: <https://www.dataversity.net/a-tale-of-two-technologies-how-ai-and-ar-tech-are-changing-our-world/>. Acesso em: 26 set. 2024.

Qual a diferença entre imagens bitmaps e vetoriais? [S. l.], 1 mar. 2016. Disponível em: <https://imprensa.ufc.br/pt/duvidas-frequentes/diferenca-entre-imagens-bitmaps-e-vetoriais/>. Acesso em: 2 nov. 2024.

TRAIN Custom Object Detection Models in Tensorflow Lite format and build Android Apps using Java and Kotlin | Android ML. [S. l.], 1 set. 2024. Disponível em: <https://www.udemy.com/course/train-object-detection-models-for-android-java-kotlin/?couponCode=KEEPLARNING>. Acesso em: 28 set. 2024.

TENSORFLOW Lite. [S. l.], 9 jan. 2021. Disponível em: <https://www.tensorflow.org/lite/guide?hl=pt-br>. Acesso em: 2 nov. 2024.

UZAI, LUIS. *RECONHECIMENTO ÓPTICO DE CARACTERES MANUSCRITOS USANDO REDES NEURAS CONVOLUCIONAIS.* 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) (Bacharelado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ee8add21-69d4-44cf-bb37-d46b92536ba9/content>. Acesso em: 19 out. 2024.

WEITZMAN, Tyler. *A short history of text to speech.* [S. l.], 27 jun. 2022. Disponível em: <https://speechify.com/blog/history-of-text-to-speech/>. Acesso em: 20 out. 2024.

YOUNESI, Abolfazl; ANSARI, Mohsen; FAZLI, MohammadAmin; EJLALI, Alireza; SHAFIQUE, Muhammad; HENKEL, Jorg. *Neural and Evolutionary Computing; Machine Learning. A Comprehensive Survey of Convolutions in Deep Learning: Applications, Challenges, and Future Trends,* [s. l.], 28 fev. 2024. DOI <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.15490>. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2402.15490>. Acesso em: 23 out. 2024.

ESTEGANOGRAFIA PARA COMPARTILHAMENTO SEGURO DE ARQUIVOS: ENCAPSULAMENTO DE DADOS EM IMAGENS

STEGANOGRAPHY FOR SECURE FILE SHARING: DATA ENCAPSULATION INTO IMAGES

Gabriel ALBINO

gabrielalbino@hotmail.com

Ciência da Computação, UniAnhietá

Guilherme SOUZA

guilhermesouza1670@gmail.com

Ciência da Computação, UniAnhietá

Pedro ALMEIDA

pedroborelialmeida@gmail.com

Ciência da Computação, UniAnhietá

Vinicius SOARES

viniciussoaresanjos@gmail.com

Ciência da Computação, UniAnhietá

Clayton Augusto VALDO

clayton.valdo@anchieta.br

Ciência da Computação, UniAnhietá

Resumo

A esteganografia é a prática de esconder mensagens em arquivos comuns. Surgida na Grécia em 440 a.C., evoluiu até técnicas digitais modernas, como a modificação do bit menos significativo (LSB) e manipulação de transformações de cosseno discreto (DCT). Este estudo visa ocultar informações em imagens, focando nas redes sociais. Aborda também os desafios da esteganografia, como as alterações de cores dos pixels em imagens JPEG durante a compressão. Além disso, discute bibliotecas de processamento de imagem e ferramentas de criptografia que complementam a esteganografia para garantir a segurança da informação.

Por fim, apresenta um software prático usando LSB para compartilhar arquivos com segurança em redes sociais, com testes em diferentes plataformas.

Palavras-Chave

Esteganografia; Redes Sociais; Segurança da Informação; LSB; DCT.

Abstract

Steganography is the practice of hiding messages in ordinary files. It originated in Greece in 440 BC and has evolved into modern digital techniques, such as least significant bit (LSB) modification and discrete cosine transform (DCT) manipulation. This study aims to hide information in images, focusing on social networks. It also addresses the challenges of steganography, such as pixel color changes in JPEG images during compression. In addition, it discusses image processing libraries and cryptography tools that complement steganography to ensure information security. Finally, it presents practical software using LSB to securely share files on social networks, with tests on different platforms.

Keywords

Steganography; Social Networks; Information Security; LSB; DCT.

INTRODUÇÃO

Este trabalho visa tratar o uso da esteganografia em redes sociais, um ambiente repleto de visibilidade onde manter uma informação oculta pode ser difícil. Segundo Klaid, Samanta e Khan (2021), esteganografia é um método de ocultar uma mensagem dentro de arquivos normais. Devido a este processo, os arquivos servem como portadores de comunicação oculta. Dessa forma, a principal dificuldade de design da esteganografia é a não detectabilidade, isto é, a percepção de que, quando o segredo está oculto, ninguém suspeitará dele.

Segundo Klaid, Samanta e Khan (2021), a esteganografia se tornou conhecida pelo uso de malwares. Todavia, dados informam que antes de 440 a.C., o povo da Grécia já utilizava essa prática. Os gregos reais raspavam a cabeça dos escravos e tatuavam mensagens secretas em seus crânios. Posteriormente, esperavam que o cabelo do escravo crescesse novamente antes de enviá-los ao destino, de forma que os inimigos não conseguissem identificar o que havia sido feito.

“Com o advento da utilização dos computadores, [...] ocorre também com esteganografia o aumento por seu interesse. O que antes se restringia a textos e tintas invisíveis ganha, agora, novas possibilidades com a esteganografia digital. Pode-se usar desde os meios mais comuns como imagem, vídeo e áudio até os mais surpreendentes como, por exemplo, descritores de arquivos e superbloco de sistemas de arquivos.” (ANDERSON; NEEDHAM; SHAMIR, 1998 apud ALBUQUERQUE, 2008)

Frente os avanços tecnológicos, o uso da esteganografia continuou permeando práticas e ocupando espaço no meio virtual. Tendo como foco o uso de imagens para transmitir uma mensagem, verifica-se que existem preocupações com o formato mais usado em redes sociais, o JPE. Para Schaathun (2012 apud Polachini, 2022) este formato de imagem tem como característica a compressão com perda que descarta dados não essenciais ao sistema visual humano, visando reduzir o tamanho do arquivo da imagem. Dessa forma, técnicas de esteganografia no domínio espacial não podem ser utilizadas diretamente em arquivos desse formato.

O presente artigo, visa transmitir arquivos de forma oculta em arquivos de mídia nas redes sociais. À vista disso, o software desenvolvido neste trabalho possibilita que diferentes pessoas façam a gravação ou leitura de estego-objetos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como mencionado anteriormente, embora seja possível utilizar diversos tipos de arquivos para esteganografia, este estudo se concentra no uso de imagens para delimitar o campo de pesquisa. De acordo com Julio, Brazil e Albuquerque (2007), as imagens são a mídia de cobertura mais popular para esteganografia, podendo ser armazenadas em formato bitmap direto (como BMP) e formato comprimido (como JPEG). Em razão disso, considera-se plausível fundamentar o funcionamento de um arquivo de imagem.

Formatos de Imagem

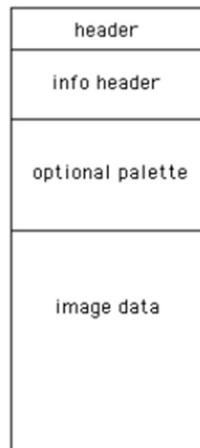
Morkel, Eloff e Oliver (2005) explicam que, para um computador, uma imagem é uma coleção de números que representam diferentes intensidades de luz em todas as suas partes. Essa representação numérica forma uma grade que conhecemos como pixels. Na internet, a maioria das imagens é representada por uma grade retangular de pixels, onde cada pixel está associado a uma cor.

“Existem dois formatos principais para imagens de computador: raster [conhecido também como bitmap], baseado em pontos coloridos, que são quase sempre armazenados em uma matriz retangular e geralmente são compactados tão próximos que pontos individuais não são mais distinguíveis, e vetor, baseado em linhas, círculos e outros elementos ‘primitivos’ que normalmente cobrem uma área considerável e são facilmente distinguíveis uns dos outros. Muitas imagens podem ser representadas em qualquer formato; de fato, qualquer imagem baseada em vetor pode ser aproximada por uma imagem raster (muitos pontos).” (ROELOFS, 1999)

- BMP

Os arquivos BMP são divididos em 3 ou 4 partes. A primeira é o cabeçalho (header), seguido pela seção de informações (info header). Caso a imagem seja indexada por cor haverá uma parte de paleta (optional palette) e, por fim, os dados de pixel (image data). A posição dos dados da imagem em relação ao início do arquivo está contida no cabeçalho. A largura e altura, tipo de compactação e número de cores ficam armazenadas no cabeçalho de informações, conforme dito por Bouke (1998). Tal estrutura pode ser observada na Figura 1.

Figura 1. Estrutura BMP (BOUKER, 1998)



- JPEG

Como dito por Mike Pound no vídeo JPEG [...] (2005), um ponto importante sobre o JPEG é que ele não é um formato propriamente dito. O JPEG é um método de compressão. No geral os arquivos são na realidade JFIFs (JPEG File Interchange Format), que trabalham como wrappers dos dados compactados. Sendo assim, ao se referir a um arquivo JPEG, na realidade estamos nos referindo a um arquivo JFIF.

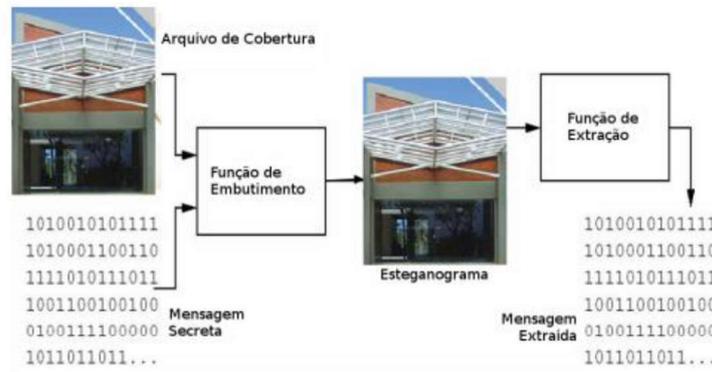
A compressão do JPEG é vantajosa pelo fato do ser humano não distinguir tão bem as cores quanto os tons de cinza. Assim como mudanças de alta frequência na intensidade da imagem. Pound, no vídeo JPEG [...] (2005), afirma que pedaços com tais frequências, como um arbusto ao fundo da imagem, podem ser borrados e não haverá diferença visual a não ser que se utilize o zoom.

“Então, para começar, falaremos apenas sobre os aspectos de cor do JPEG. [...] O que fazemos primeiro é mudar o espaço de cor. Nós o transformamos no espaço de cor Y-cb-cr. [...] O que estamos tentando fazer com Y-cb-cr é separar a luminosidade de uma imagem para que a intensidade de cada pixel forme a cor real. Depois de convertermos, fazemos o downsample e, essencialmente, reduzimos a quantidade de cor em nossa imagem. Então, aplicamos uma transformação discreta de cosseno, [...] E por fim a quantizamos, que é a parte com perdas real da compressão JPEG. Então, nós a codificamos e esse é o nosso arquivo.” (JPEG [...], 2015)

Algoritmos de Esteganografia

Como citado por Possatti et al. (2019), no contexto atual, a esteganografia é a prática de esconder um arquivo digital dentro de outro. Assim, um arquivo é o arquivo de cobertura (cover-message ou carrier-medium) e o outro é um segredo que se deseja esconder, chamado de dado embutido ou embedded data. Após a inserção do dado embutido na mensagem de cobertura, se obtém o estego-objeto ou esteganograma. Arquitetura representada na Figura 2.

Figura 2. Arquitetura genérica de um sistema de esteganografia. (POSSATTI et al., 2019)

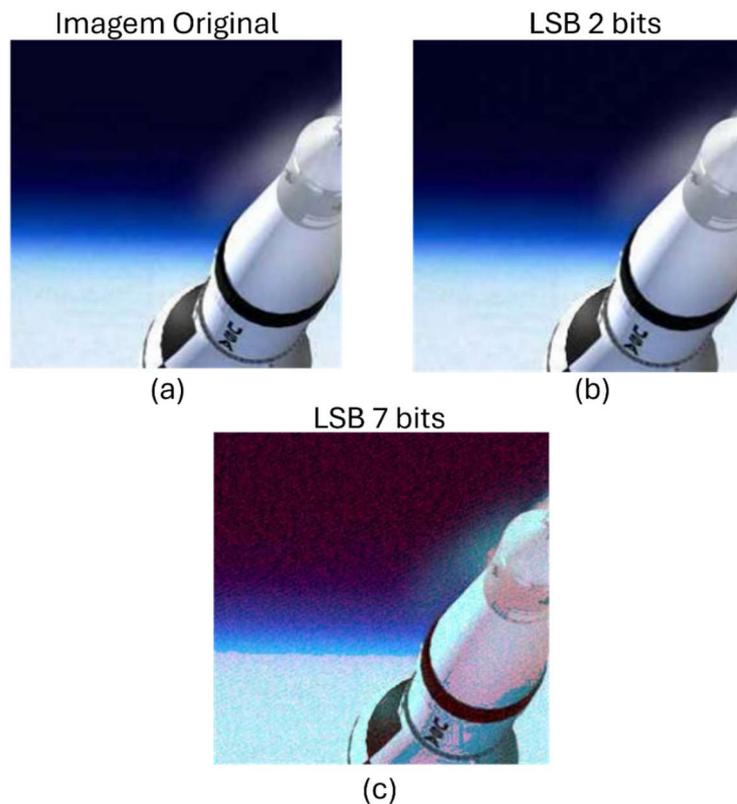


- LSB (Least Significant Bit)

A tática LSB é a mais comum em imagem de bitmap, tomando vantagem da estrutura da imagem para esconder a informação desejada. Em consonância com Albuquerque (2008), a estrutura de uma imagem, matematicamente, pode ser vista por 3 matrizes onde cada célula possui um valor que varia de 0 a 255, conhecido como RGB. Assim, o olho humano não consegue perceber alterações mínimas nos tons das cores em imagens, como uma variação de 1 na tonalidade azul.

Segundo Albuquerque (2008), o LSB consiste, basicamente, em modificar o bit menos significativo de uma das bandas de cor (R, G ou B) de uma célula da matriz de imagem com a finalidade de inserir a mensagem. Dentro do processo existem versões que utilizam 1, 2 ou n bits para gerar a estego-imagem. Posto isso, quanto maior o número de bits, maior o impacto na visualização da imagem e sua capacidade de armazenamento, como mostrado na Figura 3. Ademais, Albuquerque (2008) cita o baixo custo computacional como uma das características do LSB, especialmente em caso que utilizam apenas 1 bit, o que mantém uma alta fidelidade a imagem original. A modificação de apenas 1 bit garante uma dificuldade muito grande para se notar a diferença entre as imagens a 'olho nu'.

Figura 3. Exemplo LSB adaptado de (ALBUQUERQUE, 2008)



Com o baixo custo computacional surgem desvantagens. Com base no texto de Albuquerque (2008), destacam-se dois pontos principais: 1. a limitação na capacidade de armazenamento, que geralmente utilizam 1 bit por pixel, exigindo 8 pixels para armazenar um único caractere (ou, em versões modificadas, 3 bits por pixel); 2. por ser uma técnica simples e pioneira, existem muitos algoritmos capazes de detectar seu uso e extrair a mensagem oculta através de técnicas estatísticas de estegoanálise.

Albuquerque (2008) ressalta que ainda existem as versões cíclica – na qual o bit menos significativo a ser modificado é alternado entre as bandas de maneira cíclica – e com salto – em que um salto de pixels é feito entre cada bloco de n bits inseridos, sendo n a quantidade dos bits LSB escolhido no algoritmo.

- Algoritmos e Transformações

“As técnicas de esteganografia baseadas em algoritmos e transformações conseguem tirar proveito de um dos principais problemas da inserção no canal LSB que é a compressão. Para isso são utilizadas: a transformada de Fourier discreta, a transformada de cosseno discreta e a transformada Z.” (GONZALEZ; WOODS, 2002 apud JULIO; BRAZIL; ALBUQUERQUE, 2007)

Para Julio, Brazil e Albuquerque (2007) dados escondidos no domínio de transformação são mais robustos, espalhados pela imagem e possuem resistência contra o processamento de sinal. No geral, as técnicas são conhecidas pela sua sofisticação no mascaramento de informações, entretanto, a sofisticação não implica diretamente em maior robustez a ataques.

Ainda no trabalho de Julio, Brazil e Albuquerque (2007), algoritmos baseados em transformações, no geral, aplicam uma transformação em blocos de 8x8 pixel na imagem. Cada bloco tem seus coeficientes mais redundantes ou de menor importância selecionados e posteriormente recebem a mensagem secreta. Este processo ocorre através da atribuição da mensagem e cada coeficiente.

- Jsteg

Como definido por Polachini (2022), JSteg é um algoritmo utilizado em imagens JPEG baseando-se no domínio de frequência. Como o JPEG é um formato de imagem com perda que descarta dados não essenciais para os seres-humanos com o objetivo de reduzir o tamanho do arquivo da imagem, técnicas de esteganografia no domínio espacial (LSB na matriz de cor), não podem ser diretamente aplicadas. O processo de compressão com perda ocorre em blocos de 8x8 de cada componente cor. Cada bloco de pixel é mapeado através da Transformada de Cosseno Discreta bidimensional, resultando em um bloco 8x8 de coeficientes DCT.

“O algoritmo de esteganografia JSteg consiste em realizar a substituição de bits menos significativos dos coeficientes DCT de forma a não causar mudança perceptível quando a imagem é convertida para o domínio espacial.” (SHEISI; MESGARIAN; RAHMANI, 2012 apud POLACHINI, 2022)

- Transformada de Cosseno Discreta (DCT)

Segundo Julio, Brazil e Albuquerque (2022), DCT é uma sigla do inglês Discrete Cosine Transform que em português significa Transformada de Cosseno Discreta. Essa é baseada em cossenos, utilizada no processamento digital de imagens e compressão de dados. O valor da função da DCT de um vetor p de pixels de comprimento n é:

$$G_f = \frac{1}{2} C_f \sum_{t=0}^{n-1} p_t \cos\left(\frac{(2t+1)f\pi}{2n}\right),$$

$$\text{onde: } C_f \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & f = 0 \\ 1, & f > 0 \end{cases} \text{ para } f = 0, 1, \dots, n-1.$$

Julio, Brazil e Albuquerque (2007) explicam que a matriz dessa transformada é composta por vetores ortonormais, caracterizando-a como uma matriz de rotação. Essa transformada é amplamente utilizada na compressão de dados, pois concentra a maior parte da informação nos primeiros elementos do vetor, otimizando o armazenamento e facilitando a quantização dos valores para compressão com ou sem perdas.

Seguindo com o trabalho de Julio, Brazil e Albuquerque (2022) é dito que, os dados transformados podem ser recuperados realizando a operação inversa, conhecida como IDCT (Inverse Discrete Cosine Transform) dada pela fórmula abaixo. A maioria das compressões de imagens e vídeos usa a DCT do vetor p com tamanho $n = 8$.

$$p_t = \frac{1}{2} \sum_{j=0}^{n-1} C_f G_j \cos\left(\frac{(2t+1)j\pi}{2n}\right), \text{ para } t = 0, 1, \dots, n-1.$$

“Sabendo que os pixels de uma imagem têm correlação com seus vizinhos nas duas dimensões da imagem, e não apenas em uma dimensão, a DCT para ser usada na compressão de imagens também deve ser uma transformada bidimensional. A fórmula para uma matriz (ou seja, uma imagem) p de tamanho $n \times n$ é:” (JULIO; BRAZIL; ALBUQUERQUE, 2007).

$$G_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2n}} C_i C_j \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} y = 0^{n-1} p_{xy} \cos\left(\frac{(2t+1)j\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2t+1)j\pi}{2n}\right), \text{ para } 0 \leq i, j \leq n-1;$$

$$\text{onde } C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & f = 0 \\ 1, & f > 0 \end{cases}$$

“Essa transformada pode ser considerada como uma rotação (ou duas rotações consecutivas, uma em cada dimensão), ou ainda como uma base ortogonal em um espaço vetorial de n dimensões. A recuperação dos dados transformados pode ser feita usando a transformação inversa, conhecida como IDCT bidimensional:” (JULIO; BRAZIL; ALBUQUERQUE, 2007).

$$p_{xy} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \cos\left(\frac{(2t+1)j\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2t+1)j\pi}{2n}\right)$$

Para Julio, Brazil e Albuquerque (2007), similarmente à transformada unidimensional, a transformada bidimensional gera uma matriz na qual os coeficientes mais significativos se concentram no canto superior esquerdo, enquanto os coeficientes de menor valor se acumulam na extremidade oposta. Essa característica facilita tanto o armazenamento de dados quanto a quantização em casos de compressão com perdas.

- Algoritmo F5

De acordo com Qiao et al. (2015 apud Possatti et al., 2019), o F5 foi desenvolvido com base no método utilizado pelo JSteg, inicialmente denominado F3. Mesmo que o JSteg tenha resistência a ataques visuais e boa capacidade esteganográfica, o algoritmo não é resistente a ataques estatísticos, característica que também afetou o F3. Em resposta a essas vulnerabilidades, foi desenvolvida uma versão chamada F4, que obteve como objetivo corrigir esses problemas. Posteriormente, o F5 foi desenvolvido para aprimorar a eficiência de embutimento e a distribuição das alterações.

Como dito por Possatti et al. (2019), a vulnerabilidade do JSteg a ataques decorre da substituição de bits, criando uma dependência entre coeficientes que diferem apenas no LSB e igualando suas frequências. O algoritmo F3 corrige essa falha evitando a substituição de bits. Em vez disso, o F3 decrementa o valor absoluto

do LSB do coeficiente quando este não coincide com o bit a ser embutido. Por exemplo, ao embutir o bit 1 no coeficiente 0000111, nenhuma alteração é feita. No entanto, ao embutir o bit 1 no coeficiente 0000110, o coeficiente é decrementado para 0000101, ajustando o LSB para o valor 1.

Possatti et al. (2019) explica que o algoritmo F4 aprimora o F3 ao corrigir a fraqueza conhecida como "shrinkage". Para isso, mapeia os coeficientes negativos com o valor esteganográfico invertido, onde coeficientes negativos pares representam um bit 1 e coeficientes negativos ímpares representam um bit 0, ao contrário do F3. O F4 opera da mesma forma que o F3 sobre os coeficientes positivos, resultando em um histograma que não difere significativamente do histograma de uma imagem original.

No que diz respeito ao F5, ele melhora dois aspectos do F4: 1. a eficiência do embutimento e a distribuição uniforme das alterações no esteganograma, ao aumentar a eficiência do embutimento, menos alterações são feitas nos coeficientes da imagem. 2. A distribuição uniforme das alterações torna mais difícil a detecção por técnicas de esteganálise, uma vez que as alterações não se concentram em uma única parte da imagem. O algoritmo F5 inicialmente permuta todos os coeficientes e, em seguida, começa o embutimento na sequência de coeficientes permutados. A permutação depende de uma chave derivada da senha usada, permitindo ao receptor, com a chave correta, repetir a permutação e ler a mensagem. Esse processo de permutação é eficiente devido à sua complexidade linear.

Bibliotecas de Processamento de Imagem

Como dito por Albuquerque (2008), o que anteriormente se restringia a textos e tintas invisíveis ganha, agora, novas possibilidades com a esteganografia digital. Os métodos mais comuns são variações de técnicas de modificação do bit menos significativo (LSB) devido ao baixo custo computacional requerido. Dessa forma, é necessário o uso de ferramentas para manipulação das imagens e aplicação dos algoritmos.

- GDI+

"GDI+ é a parte do sistema operacional Windows que fornece gráficos vetoriais bidimensionais, imagens e tipografia. O GDI+ melhora o GDI (a Interface de Dispositivo Gráfico incluída em versões anteriores do Windows) adicionando novos recursos e otimizando os recursos existentes. A interface de classe gerenciada GDI+ (um conjunto de wrappers) faz parte do .NET Framework, um ambiente para criar, implantar e executar XML Web Services e outros aplicativos." (SANTOS; GEORGE, 2023)

- OpenCV

"OpenCV (Open Source Computer Vision Library) é uma biblioteca de software de visão computacional e aprendizado de máquina de código aberto. OpenCV foi construído para fornecer uma infraestrutura comum para aplicações de visão computacional e para acelerar o uso da percepção de máquina nos produtos comerciais. [...] A biblioteca tem mais de 2.500 algoritmos otimizados, que inclui um conjunto abrangente de algoritmos clássicos e de última geração de visão computacional e aprendizado de máquina. [...] Possui interfaces C++, Python, Java e MATLAB e suporta Windows, Linux, Android e Mac OS." (OPENCV, 2024)

- AForge.NET

"AForge.NET é uma estrutura C# de código aberto projetada para desenvolvedores e pesquisadores nas áreas de Visão Computacional e Inteligência Artificial - processamento de imagens, redes neurais, algoritmos

genéticos, lógica fuzzy, aprendizado de máquina, robótica etc. [...] A estrutura é fornecida não apenas com diferentes bibliotecas e suas fontes, mas também com muitos aplicativos de exemplo, que demonstram o uso desta estrutura, e com arquivos de ajuda de documentação, que são fornecidos no formato HTML Help.” (AFORGE.NET, 2012)

Ferramenta de Criptografia

A segurança de uma mensagem não pode ser garantida somente com a esteganografia, já que, como dito por Olivera (2007), a esteganografia é a arte de esconder uma mensagem, enquanto a criptografia é a arte de cifrar uma mensagem. Apesar de ambas terem a intenção de proteger uma informação, os princípios são bem diferentes. Na criptografia, a existência da mensagem é conhecida, mas não o conteúdo. Com esteganografia há incerteza da existência de uma mensagem.

Silva (2017) destaca que a transmissão de uma mensagem pode estar sujeita a várias ameaças, incluindo interceptação, alteração, fabricação de mensagens falsas e interrupção da transmissão. A criptografia atua na proteção das três primeiras ameaças. Contudo, a interrupção da transmissão se mantém como um risco e possibilita o avanço gradual da esteganografia.

Tendo como exemplo a situação citada por Klaib, Samanta e Khan (2021), onde um remetente visa compartilhar informações através de canais públicos com um destinatário, mesmo na presença de um invasor. O remetente utiliza uma mensagem de cobertura para enviar o segredo ao destinatário sem que o invasor perceba. Em vez de interromper a transmissão, o intruso pode tentar encontrar alguma mensagem no texto enviado.

Silva (2017) também explica que o Processamento Digital de Imagens (PDI), a criptografia e a esteganografia podem ser combinados para garantir a confidencialidade das informações. Visto que a criptografia torna o conteúdo de uma mensagem secreto, impedindo que pessoas não autorizadas tenham acesso a esse conteúdo.

- **OpenSSL**

“A biblioteca de software OpenSSL é um kit de ferramentas robusto, de nível comercial e completo para criptografia de uso geral e comunicação segura. É desenvolvido sob a missão OpenSSL com o apoio da OpenSSL Foundation e OpenSSL Corporation. A biblioteca de software OpenSSL da versão 3.0 é licenciada sob a licença Apache, o que significa que é gratuito obtê-la e usá-la para fins comerciais e não comerciais, sujeita a algumas condições de licença simples.” (OPENSSL, 2024)

O Uso Negativo da Esteganografia

Cardoso et al. (2010) aponta que o ciberespaço é repleto de diversos aspectos atraentes ao usuário, como mensagens, sites, vídeos, links, imagens sedutoras, ofertas de produtos gratuitos e notícias de acontecimentos reais. Não obstante, por trás dessas informações aparentemente inofensivas, pode haver a presença de vírus e outras formas de informações maliciosas, utilizando a técnica conhecida como esteganografia.

Além disso, segundo Cardoso et al. (2010), a esteganografia, como qualquer outra técnica, pode ser usada tanto para atividades legais e ilegais. Muitos criminosos aproveitam programas de esteganografia disponíveis

na internet para esconder fotos das vítimas em objetos aparentemente inofensivos, como imagens, vídeos e músicas, a fim de evitar a detecção em caso de apreensão dos dispositivos de armazenamento onde essas fotos se encontram.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

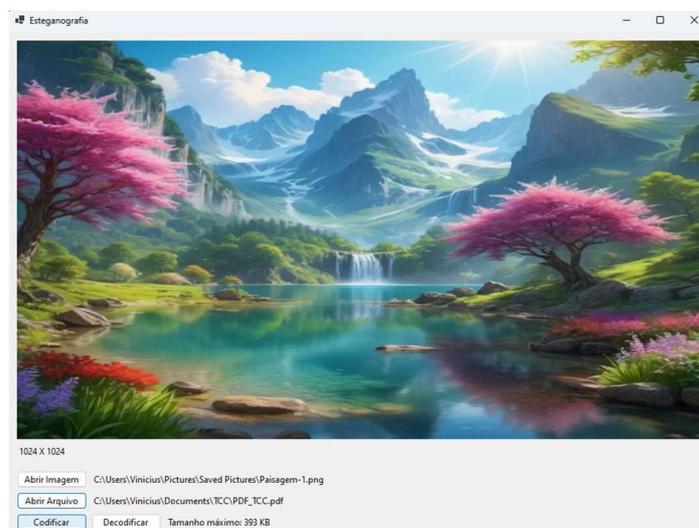
Inicialmente, é importante demonstrar como o programa é estruturado para leitura e gravação dos arquivos usados no processo de esteganografia. Dividimos o programa em três partes distintas que atuam em conjunto para entregar o estego-objeto e/ou o arquivo extraído de um estego-objeto. A Figura 4 demonstra que para o processo de gravação é possível usar qualquer tipo de imagem no processo de leitura somente PNGs são aceitos.

Figura 4. Estrutura do projeto



O carregamento da imagem modifica principalmente a interface do usuário. Ao escolher uma imagem, essa é exibida na tela em conjunto de suas dimensões e tamanho máximo do arquivo segredo a ser embutido. Caso queira inserir um segredo codificado, é possível selecionar qual o arquivo a ser embutido. Para casos de decodificação o usuário deverá seguir somente com a seleção da imagem. Tal interface é apresentada na Figura 5.

Figura 5. Interface do Projeto



Gravação

O processo de gravação usa a técnica de LSB para implantação dos bits do arquivo segredo. Antes de tudo o arquivo é convertido em vetor de bytes e tal vetor é somado a um outro com mais 8 bytes de tamanho. Dessa forma podemos usar os 4 primeiros bytes para dizer ao processo de decodificação qual a quantidade de bytes que ele precisa resgatar e mais 4 para salvar a extensão do arquivo.

Como a tática do LSB modifica os bits do canal RGB toda imagem de cobertura é convertida em bitmap dentro do programa, por esse motivo a saída sempre será um PNG. O programa passa por cada pixel da esquerda para direita e modifica o último bit de cada faixa de cor de acordo com o byte inserido. No caso de acabar com os bytes e a imagem ainda possuir pixels não utilizados o loop é cortado como demonstrado no código da Figura 7.

Figura 7. Inserção no canal RGB

```
private Bitmap LSB(Bitmap img, byte[] dataBytes)
{
    int dataIndex = 0;
    for (int i = 0; i < img.Width; i++)
    {
        for (int j = 0; j < img.Height; j++)
        {
            if (dataIndex < dataBytes.Length * 8)
            {
                Color pixel = img.GetPixel(i, j);

                // Inserir o bit do arquivo nos menores bits significativos dos componentes R, G e B
                int bitIndex = dataIndex % 8;
                int byteIndex = dataIndex / 8;
                byte bit = (byte)((dataBytes[byteIndex] >> (7 - bitIndex)) & 1);

                int r = (pixel.R & 0xFE) | ((bit >> 2) & 1);
                int g = (pixel.G & 0xFE) | ((bit >> 1) & 1);
                int b = (pixel.B & 0xFE) | (bit & 1);

                img.SetPixel(i, j, Color.FromArgb(r, g, b));
                dataIndex++;
            }
            else
            {
                break;
            }
        }
    }
    return img;
}
```

Com a imagem totalmente gerada inicia-se o processo de salvamento do estego-objeto. Como dito anteriormente a imagem foi convertida para Bitmap logo a única maneira de salvar disponível é de formatos com esta base, sem ela não é possível manipular a banda de cor da forma como foi feito. A Figura 8 demonstra que o resultado só pode ser salvo em PNG.

Figura 8. Processo de gravação do resultado

```
// Salva a imagem com o arquivo embutido
SaveFileDialog saveFile = new SaveFileDialog
{
    Filter = "PNG Image (*.png)|*.png",
    InitialDirectory = @"C:\Users\Guilherme\Desktop"
};

if (saveFile.ShowDialog() == DialogResult.OK)
{
    string savePath = saveFile.FileName;
    img.Save(savePath, System.Drawing.Imaging.ImageFormat.Png);
    MessageBox.Show("Arquivo embutido com sucesso!");
}
```

Neste processo não é necessário o uso de nenhuma biblioteca adicional além das já disponíveis no C#. Sendo principal a `System.Drawing.Imaging` que permite salvar a imagem resultante como PNG após todas as modificações.

Decodificação

No processo de decodificação, realizamos o inverso do processo de codificação. Isso significa que, ao colocar um PNG temos a leitura do LSB na matriz de cor. Este processo reverso consiste em ler todos os bits menos significativos e montar um vetor de bytes. Logo após é realizada a extração dos 4 primeiros bytes para delimitar o tamanho dos arquivos a serem resgatado. Com isso é feita a extração da extensão do arquivo e convertida em texto. Por fim, o conteúdo do arquivo é resgatado e uma caixa de diálogo é aberta para salvar o arquivo já com a extensão correta. Processo exibido na Figura 9.

Figura 9. Extração via LSB

```
// Recuperar o comprimento do arquivo dos primeiros 4 bytes
int fileLength = BitConverter.ToInt32(dataBytes, 0);

// Verificar se fileLength é razoável
if (fileLength < 0 || fileLength > dataBytes.Length - 8)
{
    MessageBox.Show("Erro ao recuperar o arquivo: comprimento dos dados não é válido.");
    return;
}

// Verificar se temos bytes suficientes para a extensão e o conteúdo do arquivo
if (dataBytes.Length < 8 + fileLength)
{
    MessageBox.Show("Erro ao recuperar o arquivo: o comprimento dos dados não é suficiente.");
    return;
}

// Recuperar a extensão do arquivo dos próximos 4 bytes
fileExtension = Encoding.UTF8.GetString(dataBytes, 4, 4).Trim('\0');

// Recuperar o conteúdo do arquivo
byte[] fileBytes = new byte[fileLength];
Array.Copy(dataBytes, 8, fileBytes, 0, fileLength);

// Salvar o arquivo extraído
SaveFileDialog saveFile = new SaveFileDialog
{
    Filter = $"Arquivo Recuperado (*.{fileExtension})|*.{fileExtension}",
    DefaultExt = fileExtension,
    InitialDirectory = @"C:\Users\UserName\Desktop"
};
```

A extração do tamanho do arquivo passa por uma checagem para garantir que o valor resgatado esteja dentro dos parâmetros possíveis, sendo eles: o tamanho do arquivo é menor que o da imagem menos os 8 bytes do programa e o tamanho do arquivo mais os bytes da extensão é menor do que a imagem. Com tais verificações prontas a extensão pode ser extraída e usada para criar o arquivo.

Teste e Resultados

Para realizar os testes no programa utilizamos um arquivo PNG de 1024X1024 com tamanho original de 1.22MB. O arquivo segredo inserido na imagem é uma cópia da versão atual deste trabalho, um PDF de 327KB. Após realizada a codificação do PDF o arquivo resultante é um PNG de 1024X1024 com tamanho de 2MB, as duas imagens podem ser vistas na Figura 10.

Figura 10. Demonstração imagem original e estego-objeto



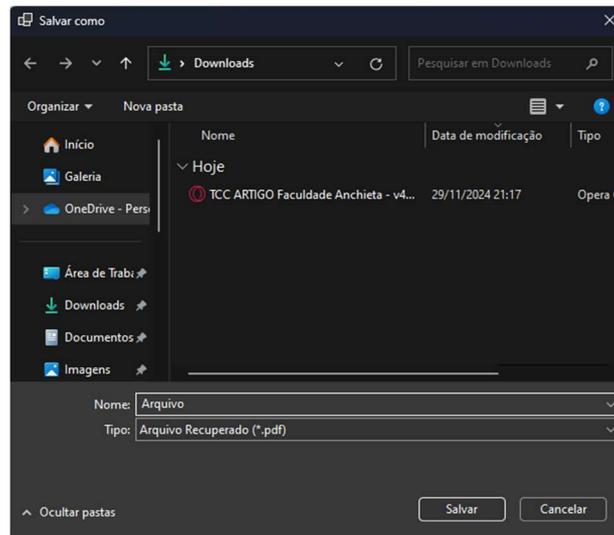
Como é possível perceber, ambas as imagens parecem idênticas a olho nu, alcançando assim o objetivo de qualquer estego-objeto. Essa imagem será utilizada para espalhar o nosso arquivo segredo. As redes utilizadas serão o Discord, um mensageiro utilizado pelo público de jogos eletrônicos, WhatsApp e Instagram.

- Discord

Ao publicar uma imagem no Discord, um preview é gerado como mostrado na figura 11. Qualquer usuário com acesso a este canal pode realizar o download da imagem em seu computador. Ao baixá-la o arquivo resultante possui os mesmos 2MB do estego-objeto enviado indicando que a imagem não passou por qualquer tipo de modificação no envio. Executar o módulo de leitura na imagem resulta em uma janela para salvar um PDF demonstrado na Figura 12. O PDF resultante pode ser aberto e exibe corretamente o PDF original.

Figura 11. Publicação Discord



Figura 12. Decodificação Discord

- WhatsApp

Imagens enviadas no WhatsApp exibem um preview igualmente ao Discord, exemplificado na figura 13. O Download desta imagem resulta em um arquivo JPG com 228KB isso significa que uma grande compressão foi utilizada. Ao tentar ler este arquivo com o método LSB o programa retorna erro pois os bytes encontrados no início da imagem resultam em um tamanho de arquivo maior do que o disponível. Uma forma de contornar a conversão é enviar a imagem como um documento, resultando na visualização da figura 14. O download desta visualização retorna o estego-objeto original.

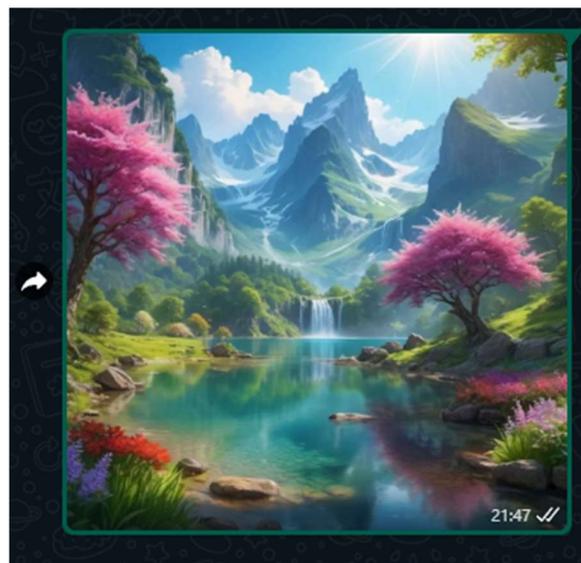
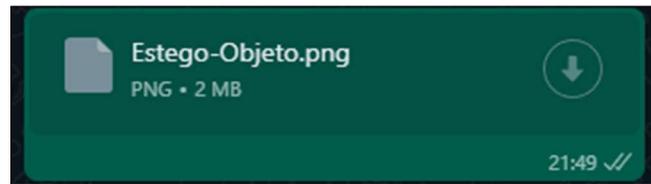
Figura 13. Publicação WhatsApp

Figura 14. Alternativa WhatsApp

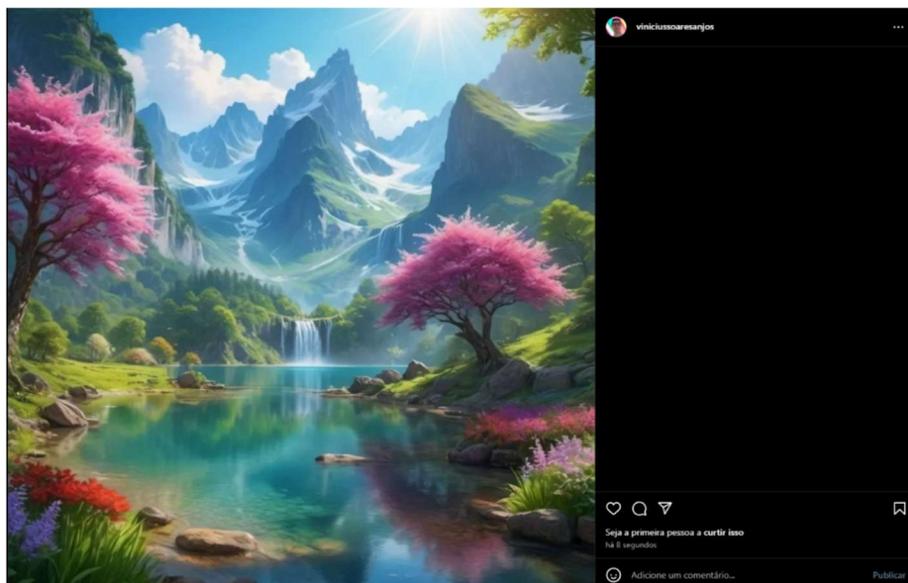


O PDF resultante do download da visualização da figura 15 pode ser aberto e exibe corretamente o PDF original.

- Instagram

Imagens publicadas no Instagram sofrem do mesmo problema do WhatsApp. Ao postar uma imagem ela é convertida para JPEG resultando em uma imagem de 1080X1080 com 220KB. Realizar a decodificação em tal imagem gera um erro de overflow na criação do vetor de bytes do arquivo segredo. O uso do Instagram e redes semelhantes se torna impossível pelo motivo dessa conversão. A publicação pode ser vista na figura 15.

Figura 15. Publicação Instagram



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como exemplo os mensageiros WhatsApp e Discord, podemos enviar a imagem gerada e quem a recebe pode ler o arquivo secreto. Contudo, redes como Facebook e Instagram transformam automaticamente o PNG em JPEG o que distorce os bits e corrompe o arquivo secreto.

À vista disso, o uso de redes sociais para compartilhamento de arquivos é possível com certas exceções. Redes que permitem o compartilhamento de arquivos sem conversão automática possibilitam que o processo de esteganografia permaneça na imagem até seu destino, como no caso o Discord e WhatsApp.

Para redes sociais focadas na distribuição de imagem, como Facebook e Instagram não será possível utilizar o programa gerado. Arquivos de imagem passam por compressão ao serem convertidos para JPEG como explicado na fundamentação deste trabalho, essa compressão é com perda o que resulta na alteração dos valores da matriz RGB. Por esse motivo o compartilhamento não funciona na versão atual de nossa aplicação.

Como proposta para trabalhos futuros, deixamos a implementação por completo da técnica de JSteg ou F5 o que abriria espaço para compartilhamento do estego-objeto nas redes mencionadas no parágrafo anterior. Como encontrado durante nossas pesquisas, tais técnicas não manipulam o domínio espacial da imagem, resultando em uma codificação já embutida na compressão do arquivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AForge.NET. *AForge.NET Framework*. [S. l.], 2012. Disponível em: <<https://www.aforgenet.com/framework/>>. Acesso em: 25 out. 2024.

ALBUQUERQUE, Rafael Bezerra. *Esteganografia: Análise de Algoritmos Baseada em Comparação entre Imagens*. Orientador: Carlos Alexandre Barros de Mello. 2008. 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação) - Escola Politécnica de Pernambuco, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://www.ecomp.poli.br/ListaTCC/20082/TCC_Rafael-Esteganografia_vf.pdf>. Acesso em: 19 out. 2024.

BOURKE, Paul. *BMP Image Format*. 1998. Disponível em: https://www.ubytujsa.sk/files/BMP_files.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

CARDOSO, Nágila Magalhães; HASHIMOTO, Yuri Campos; SILVA, Keith Maila Domingos; MAIA, Anderson Trindade. Redes sociais a nova arma do crime cibernético: O efeito do uso da engenharia social e da esteganografia. In: *THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FORENSIC COMPUTER SCIENCE*. [S. l.: s. n.], 2010. p. 195-201. Disponível em: <<http://icofcs.org/2011/ICoFCS2011-PP23.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2024.

JPEG 'files' & Colour (JPEG Pt1)- Computerphile. Direção: Sean Riley. Gravação de Sean Riley. University of Nottingham: [s. n.], 2005. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=n_uNPbdenRs. Acesso em: 5 dez. 2024.

JULIO, Eduardo Pagani; BRAZIL, Wagner Gaspar; ALBUQUERQUE, Célio Vinicius Neves. *Esteganografia e suas Aplicações*. In: PIRMEZ, Lucj; DELICATO, Flávia Coimbra; CARMO, Luiz Fernando Rust da Costa. *Minicursos do VII Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*. [S. l.: s. n.], 2007. cap. 2, p. 54-102. Disponível em: <<http://www.dcc.ic.uff.br/~celio/papers/minicurso-sbseg07.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2024.

KLAIB, Mohammad Fadel Jamil; SAMANTA, Debabrata; KHAN, Mohammad Zubair. *Social Media and Steganography: Use, Risks and Current Status*. [S. l.], 2 nov. 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9599677>>. Acesso em: 26 set. 2024.

MORKEL, T; ELOFF, JHP; OLIVIER, MS. AN OVERVIEW OF IMAGE STEGANOGRAPHY. *In*: FIFTH ANNUAL INFORMATION SECURITY SOUTH AFRICA CONFERENCE (ISSA2005), 2005, Sandton, África do Sul. *Proceedings* [...]. [S. l.: s. n.], 2005. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30900669/stegoverview-libre.pdf?1392204634=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAn_overview_of_image_steganography.pdf&Expires=1731689802&Signature=NEjUmRy98UMJDR-mMlB~DU97Hc4thjjMrzC5GqQqtu30fTWh0XX~UQQ0BRKYkXTvrLP4DTjHyHenF9b1nXud~nLCXU8dBL2JzWF~tLYqnuquyyDXBkTEjZ78lZr39ilxqzFaq7xzkzUu1nkO8dRD05SSPNO10IEYvPxTJEa6TRFj0Wd7Np19SE~L5Q0vJPS882PfnXxsh0cFVJD4LkilZK5ki9v4hXwjA~4alW9X0XexyyzBr1gJemU8u30~asjuOR9p7y79nOTegcLGghvrAX~tduxOZzpJVxD99eH0r8Q8c-rOli~OPLIA8A6j-7B-ZMmrb1l1~kKqijYy-n82A__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em: 15 nov. 2024.

OLIVEIRA, Fábio Borges. *Análise da segurança de criptografia e esteganografia em seqüências de imagens*. Orientador: Renato Portugal & Jauvane Cavalcante de Oliveira. 2007. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) - Laboratório Nacional de Computação Científica, [S. l.], 2007. Disponível em: <<https://www.lncc.br/~borges/doc/dissertação.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2024.

OPENCV. *Sobre o Código Gerenciado no GDI+*. [S. l.], 2024. Disponível em: <<https://opencv.org/about/>>. Acesso em: 25 out. 2024.

OPENSSL. *OpenSSL - Library*. [S. l.], 2024. Disponível em: <<https://openssl-library.org>>. Acesso em: 25 out. 2024.

POLACHINI, Matehus Esquinelato. *Deteção de Esteganografia em Imagens Utilizando Aprendizado de Máquina*. Orientador: Kelton Augusto Pontara da Costa. 2022. 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, [S. l.], 2022. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/0a78a27f-9a40-4bde-9390-d4658458a682/content>>. Acesso em: 19 out. 2024.

POSSATTI, Lucas Caetano; FILHO, Gilberto Neves Sudré; RESENDO, Leandro Colombi; ANDRADE, Jefferson Oliveira; KOMATI, Karin Satie. *Um Estudo de Técnicas de Esteganálise em Estego-Imagens com Texto Embutido com LSB*. *Brazilian Journal of Development*, [S. l.], v. 5, n. 10, p. 20702-20738, 20 out. 2019. DOI 10.34117/bjdv5n10-251. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/3964/3745>>. Acesso em: 19 out. 2024.

ROELOFS, Greg. *PNG: The Definitive Guide*. [S. l.]: O'Reilly & Associates, Inc., United States, 1999. 321 p. ISBN 1565925424.

SANTOS, Brittany; GEORGE, Andy. *Sobre o Código Gerenciado no GDI+*. *In*: MICROSOFT. Elementos Gráficos e Desenhos nos Windows Forms. [S. l.], 18 out. 2023. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/desktop/winforms/advanced/about-gdi-managed-code?view=netframeworkdesktop-4.8>>. Acesso em: 25 out. 2024.

SILVA, João Paulo de Freitas Costa. *Criptografia e esteganografia aplicadas a imagens digitais*. Orientador: Leandro Carlos de Souza. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, [S. l.], 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/ac01e233-e187-4a06-b0a4-1cfc58235402/content>>. Acesso em: 19 out. 2024.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Primeiramente, agradecemos ao nosso orientador, Prof. Me. Clayton Valdo e coordenador de curso Vanderlei lenne, pelo suporte, paciência e valiosas orientações durante todo o processo. À nossas famílias, por todo o amor, compreensão e apoio incondicional, especialmente nos momentos mais desafiadores. Agradecemos também aos amigos, pelo encorajamento e companhia nos momentos de descontração. Por fim, agradeço a todas as instituições e pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

**UTILIZAÇÃO DA COMPUTAÇÃO EM NUVEM E SUA CONTRIBUIÇÃO NA REDUÇÃO DO EFEITO ESTUFA E
COMBATE AO AQUECIMENTO GLOBAL**

UTILIZATION OF CLOUD COMPUTING AND ITS CONTRIBUTION TO REDUCING THE GREENHOUSE EFFECT
AND COMBATING GLOBAL WARMING

Vitor André CURTOLO

vitorandrecurtulo2014@gmail.com

Instituto Federal São Paulo, Campus Campinas

Cecilia SOSA ARIAS PEIXOTO

cecilia.sosa@ifsp.edu.br

Instituto Federal São Paulo, Campus Campinas

Resumo

A convergência entre computação em nuvem e TI verde surge como um paradigma inovador na era digital. Este trabalho busca compreender como a migração para a nuvem, aliada a práticas de TI verde, contribui para o combate ao aquecimento global. A metodologia inclui uma análise de estudos de caso de empresas que implementaram práticas sustentáveis em suas operações na nuvem. Em seguida, são examinados relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia (Google e AWS) para identificar as estratégias adotadas para reduzir emissões de CO₂ e melhorar a eficiência energética. Os resultados mostram que a computação em nuvem, quando aliada a tecnologias sustentáveis, não só otimiza a infraestrutura de TI, mas também reduz significativamente o impacto ambiental das operações.

Palavras-Chave

Tecnologias Sustentáveis em TI; TI Verde; Sustentabilidade; Uso Eficiente de Recursos Computacionais.

Abstract

The convergence between cloud computing and green IT emerges as an innovative paradigm in the digital age. This study aims to understand how migration to the cloud, combined with green IT practices, contributes to combating global warming. The methodology includes an analysis of case studies from companies that have implemented sustainable practices in their cloud operations. Subsequently, sustainability reports from major technology companies (Google and AWS) are examined to identify strategies adopted to reduce CO₂ emissions and improve energy efficiency. The results show that cloud computing, when combined with sustainable technologies, not only optimizes IT infrastructure but also significantly reduces the environmental impact of operations.

Keywords

Sustainable IT Technologies; Green IT; Sustainability; Efficient Use of Computational Resources.

INTRODUÇÃO

A computação em nuvem e a TI verde emergiram como paradigmas complementares na era digital, com potencial significativo para transformar o setor de tecnologia da informação e comunicação (TIC). A computação em nuvem, definida como a entrega de serviços de computação, incluindo servidores, armazenamento, bancos de dados, rede, software e análises pela Internet (“a nuvem”), tem revolucionado a forma como as empresas e indivíduos gerenciam e acessam recursos tecnológicos (MELL; GRANCE, 2011).

Ao permitir a escalabilidade e a flexibilidade, a computação em nuvem oferece uma alternativa eficiente em termos de custo e desempenho em relação à infraestrutura de TI tradicional. De acordo com Berl *et al.* (2010), data centers otimizados para computação em nuvem podem ser significativamente mais eficientes em termos energéticos. Paralelamente, a TI verde, descrita por Murugesan (2008) como um conjunto de práticas que reduzem o impacto ambiental dos produtos de TI, representa uma abordagem complementar na busca pela sustentabilidade.

A TI verde, refere-se a práticas e tecnologias que visam minimizar os impactos ambientais da produção, uso e descarte de produtos de tecnologia. Isso inclui a adoção de medidas para reduzir o consumo de energia, a emissão de gases de efeito estufa e o desperdício eletrônico (MURUGESAN, 2008). A integração desses conceitos tem ganhado destaque à medida que as organizações buscam não apenas melhorar a eficiência operacional, mas também cumprir com metas de sustentabilidade ambiental.

A computação em nuvem pode ser vista como uma facilitadora crucial para a TI verde. Ao centralizar recursos em grandes data centers otimizados, a computação em nuvem permite uma utilização mais eficiente da energia e recursos. Estudos indicam que a migração para a nuvem pode reduzir significativamente o consumo energético e as emissões de carbono associadas à operação de data centers privados (BALIGA *et al.* 2011). Além disso, os provedores de serviços em nuvem estão cada vez mais investindo em tecnologias de energia renovável e práticas de eficiência energética para tornar suas operações mais sustentáveis.

Este trabalho tem como objetivo explorar a interseção entre a computação em nuvem e a TI verde, destacando os benefícios ambientais proporcionados pela adoção dessas práticas. Por meio da análise de estudos de caso e de pesquisas recentes, serão investigadas as principais estratégias utilizadas para reduzir a pegada ecológica de organizações que utilizam a computação em nuvem. A metodologia adotada envolve a revisão de literatura e a análise de dados documentados em estudos anteriores, buscando evidenciar os impactos da computação em nuvem e a sustentabilidade do setor de TI.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Computação em Nuvem

Segundo o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), a Computação em Nuvem é definida como um modelo que permite acesso facilitado e sob demanda, de qualquer lugar, a um conjunto compartilhado de recursos computacionais, como redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços. Esses recursos podem ser provisionados rapidamente e liberados com um nível reduzido de gerenciamento ou interação direta com o fornecedor do serviço (MELL; GRANCE, 2011). Entre os benefícios que podem ser obtidos por meio da Computação em Nuvem destacam-se a redução de custos, a economia de energia e a rápida implantação.

O modelo de nuvem é caracterizado pelo autoatendimento sob demanda que envolve capacidades de computação, como tempo de servidor e armazenamento em rede, sem necessitar da interação humana com cada prestador de serviço. O amplo acesso à rede é disponibilizado e acessado por meio de plataformas-cliente heterogêneas independente da capacidade de processamento. Os recursos de computação - armazenamento, processamento, memória e largura de banda de rede - são agrupados para atender vários consumidores com diferentes recursos físicos e virtuais que são atribuídos conforme a demanda. A capacidade liberada é elástica para que se ajuste à escala da demanda e os sistemas otimizam e controlam de forma automática o uso dos recursos.

A computação em nuvem pode ser categorizada em três principais modelos de serviço: *Software as a Service* (SaaS), *Platform as a Service* (PaaS) e *Infrastructure as a Service* (IaaS). Cada um desses modelos oferece diferentes níveis de controle e gerenciamento dos recursos, permitindo que as organizações escolham a solução mais adequada às suas necessidades. Além disso, a computação em nuvem pode ser implementada em diferentes modelos de implantação, como nuvens públicas, privadas e híbridas, cada uma com suas próprias vantagens e desafios (ARMBRUST *et al.*, 2010).

1.1 Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural essencial para a manutenção da vida na Terra, pois garante que o planeta mantenha temperaturas adequadas para a existência de diversos ecossistemas. Esse processo ocorre quando determinados gases na atmosfera, conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), capturam a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre e a reemitem de volta, aquecendo o planeta. Entre os principais gases de efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os clorofluorocarbonos (CFCs) (PACHAURI; MEYER, 2014). A preocupação com o efeito estufa intensificou-se com a Revolução Industrial, período que marcou o aumento significativo das atividades humanas que emitem GEE, como a queima de combustíveis fósseis, a agricultura intensiva e o desmatamento. Dentre essas atividades e outras, têm contribuído para um aumento substancial na concentração desses gases na atmosfera, resultando em um aquecimento global sem precedentes (NASA SCIENCE, 2024).

O aumento da temperatura média global tem consequências severas para o meio ambiente e a humanidade. Entre os impactos mais notáveis estão a elevação do nível do mar, o derretimento de geleiras e calotas polares, alterações nos padrões de precipitação, e eventos climáticos extremos mais frequentes e

intensos, como furacões, secas e inundações Hansen *et al.* (2006). Esses efeitos não apenas ameaçam a biodiversidade e os ecossistemas, mas também têm implicações econômicas e sociais significativas, afetando a segurança alimentar, a saúde pública e a infraestrutura.

Estudos científicos indicam que a mitigação do efeito estufa requer ações coordenadas a nível global para reduzir as emissões de GEE e promover práticas sustentáveis. A adoção de tecnologias limpas, a transição para fontes de energia renovável e a implementação de políticas públicas voltadas para a preservação ambiental são algumas das medidas necessárias para enfrentar esse desafio (Masson-Delmotte, 2018).

1.2 Aquecimento Global

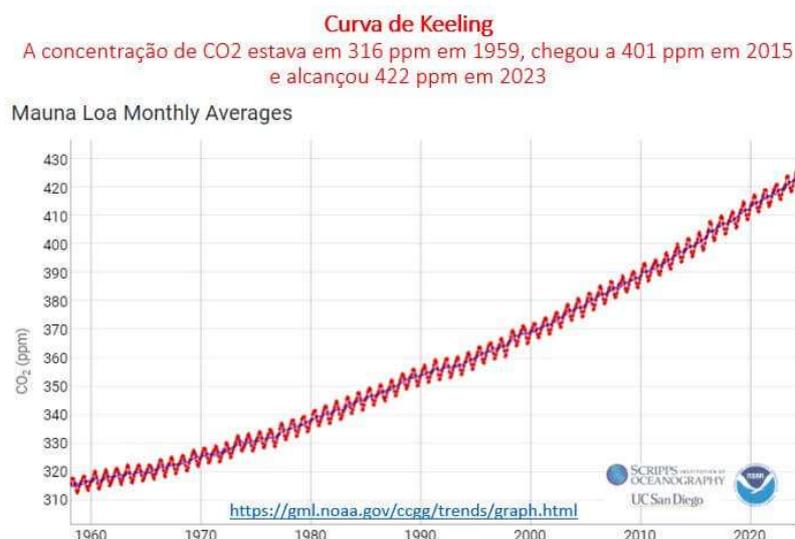
O debate sobre as mudanças climáticas frequentemente se concentra nos termos utilizados para descrever a gravidade e a natureza dos impactos ambientais causados pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Tradicionalmente, o termo "aquecimento global" tem sido amplamente utilizado para descrever o aumento gradual da temperatura média da Terra, resultante da concentração crescente de GEE na atmosfera. No entanto, à medida que os efeitos das mudanças climáticas se tornam mais severos e imediatos, alguns cientistas e ativistas sugerem que o termo "ebulição global" pode ser mais apropriado para capturar a urgência e a magnitude do problema.

Este fenômeno tem sido documentado extensivamente desde a Revolução Industrial, com a queima de combustíveis fósseis e outras atividades humanas contribuindo significativamente para a elevação dos níveis de CO₂ e outros GEE na atmosfera (HANSEN *et al.*, 2006). As consequências do aquecimento global são bem conhecidas: derretimento de geleiras, elevação do nível do mar, acidificação dos oceanos e mudanças nos padrões climáticos globais, incluindo eventos climáticos extremos como furacões, secas e inundações (Pachauri; Meye, 2014).

A humanidade está a poucos anos de presenciar um cenário em que as mudanças climáticas não apenas aquecem o planeta de maneira gradual, mas também provocam mudanças catastróficas e abruptas nos sistemas climáticos da Terra. Enfatiza a possibilidade de alcançar pontos de inflexão irreversíveis, onde mudanças rápidas e intensas podem ocorrer, levando a condições climáticas extremas que desafiam a capacidade de adaptação das sociedades humanas e dos ecossistemas naturais (LENTON *et al.*, 2019).

1.3 Emergência Climática

Em 1958, o cientista Charles Keeling instalou o primeiro equipamento para medir as concentrações de CO₂ na atmosfera no topo do vulcão Mauna Loa. Isso permitiu a medição direta da concentração de gases de efeito estufa (GEE) usando dados confiáveis. A série da curva de Keeling mostra que a concentração média anual de CO₂ na atmosfera era de 316 ppm em 1959. Em 2015, ano do Acordo de Paris, aumentou para 401 ppm e chegou a 422 ppm em 2023, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Curva de Keeling

Fonte: <https://www.ecodebate.com.br>

A curva de Keeling mostra um crescimento exponencial incomum. Nunca houve uma concentração superior a 420 ppm de CO₂ na atmosfera nos últimos 14 milhões de anos (ALVES, 2024). O artigo "*Toward a Cenozoic history of atmospheric CO₂*", publicado na revista acadêmica Science em 8 de dezembro de 2023, afirma que a última vez que a atmosfera registrou 420 partes por milhão (ppm) de dióxido de carbono foi entre 14 e 16 milhões de anos atrás, quando a Groenlândia não era gelada e os antepassados mais próximos da humanidade (hominídeos) ainda não existiam. A pesquisa recente indica que essa concentração elevada de dióxido de carbono é muito mais antiga do que os 3 a 5 milhões de anos relatados por estudos anteriores (ALVES, 2024).

Quando o Acordo de Paris foi discutido em 2015, o objetivo era reduzir as emissões de gases de efeito estufa e reduzir o ritmo de aumento da concentração de CO₂ na atmosfera. Por outro lado, o Acordo de Paris fixou um limite máximo de 2°C para a temperatura média global.

O IPCC, um grupo que reúne os principais cientistas climáticos do mundo, trabalhou com base em uma solicitação dos governos para avaliar como os efeitos de um aumento de 1,5°C variam de 2°C e o que deve ser alterado nas emissões de gases de efeito estufa em cada situação.

Sua pesquisa mostra que mesmo com 1,5 graus Celsius de aquecimento, o planeta enfrentará graves impactos climáticos, e os efeitos pioram significativamente com 2 graus Celsius. A temperatura média global já aumentou cerca de 1°C, e até 2030, o orçamento de carbono será esgotado para um cenário de 1,5°C.

Na Figura 2, produzida pela WRI Brasil (*World Resources Institute*), se pode aferir o quão significativo pode ser o aumento de 0,5 °C na temperatura média global.

Figura 2. Diferença entre aumento de 1,5°C e 2°C (1)



Fonte: Adaptação de Levin (2018)

Na figura 3 é possível analisar que as temperaturas médias e extremas aumentarão em cenários de aquecimento de 2°C ou 1,5°C. Isso se aplica a todas as áreas habitadas do mundo. Por exemplo, se o clima

aumentasse 1,5°C, quase 14% da população global seriam expostas a ondas de calor intensas pelo menos uma vez a cada cinco anos. Em contraste, se o aquecimento fosse de 2°C, 37% da população mundial seria exposta a ondas de calor intensas pelo menos uma vez a cada cinco anos. Sob 2°C de aquecimento no Mediterrâneo e na África Austral, o risco de aumento da magnitude e frequência de secas é significativamente maior do que sob 1,5°C (LEVIN, 2018).

Figura 3. Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (2)



Fonte: Adaptação de Levin (2018)

O aquecimento acelerará a transformação dos ecossistemas. Por exemplo, com um aquecimento de 2°C, é projetado que 13% da área terrestre experimentará mudanças ou transformações de biomas. As tundras podem se transformar em florestas, por exemplo. Esse risco é reduzido para 4% da área terrestre em 1,5°C (LEVIN, 2018).

METODOLOGIA

Este trabalho utilizou uma metodologia qualitativa de natureza exploratória e descritiva (GIL 2008), fundamentada em revisão de literatura, análise de estudos de caso e de relatórios de sustentabilidade. A revisão bibliográfica permitiu contextualizar os conceitos de computação em nuvem e TI verde, identificando práticas e tecnologias sustentáveis com base em fontes acadêmicas e técnicas.

A análise de estudos de caso investigou a adoção da computação em nuvem por empresas de diversos setores, avaliando os impactos em termos de eficiência energética e redução de emissões. Já a análise de relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia buscou compreender como elas implementam práticas de TI verde em suas operações e influenciam o setor.

Por fim, uma análise comparativa sintetizou os dados coletados, identificando padrões, desafios e melhores práticas na relação entre computação em nuvem e sustentabilidade ambiental.

RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir das análises conduzidas neste trabalho. As seções a seguir abordarão a análise dos estudos de caso, a avaliação dos relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia, bem como uma análise comparativa que visa destacar os principais insights e tendências identificados.

- **Análise de Estudos de Caso**

Na primeira etapa dos resultados, foi abordada a análise de estudos de caso já consolidados e publicados sobre práticas de TI verde. Esses estudos fornecem uma base sólida para compreender os benefícios e desafios que envolvem a adoção de tecnologias sustentáveis no ambiente corporativo.

- ***Análise Estudo de Caso 1***

O estudo realizado por Salles *et al.* (2016) foca em práticas de TI verde aplicadas em ambientes corporativos para melhorar a sustentabilidade e reduzir o impacto ambiental das operações de TI. A pesquisa examina a implementação de práticas como a virtualização de máquinas, digitalização de documentos, controle de impressões, descarte responsável de resíduos eletrônicos, e outras iniciativas voltadas para otimização energética e redução de emissões de carbono.

O estudo de caso destaca empresas que, ao adotar essas práticas, alcançaram benefícios significativos, como a redução do consumo de energia, diminuição de custos operacionais, e prolongamento do ciclo de vida de equipamentos. Ao mesmo tempo, o estudo aborda as dificuldades enfrentadas, como o alto custo inicial de implementação e a resistência dos colaboradores em aderir a novas práticas sustentáveis.

A tabela 1 apresenta a análise de estudo de caso de Salles et al. desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Tabela 1. Análise Estudo de Caso de Salles et. al (2016)

Práticas implantadas	Benefícios alcançados	Dificuldades enfrentadas
Virtualização de máquinas: Redução no número de servidores físicos, utilizando virtualização para aumentar a eficiência energética.	Redução do consumo de energia: Maior eficiência energética, diminuindo os custos de operação. Segurança e eficiência operacional: A virtualização aumentou a segurança e agilidade das operações.	Alto custo inicial: Investimento elevado em infraestrutura e consultoria especializada. Resistência à mudança: Funcionários enfrentaram dificuldades para se adaptar a novas tecnologias.
Modernização do parque tecnológico: Substituição de monitores CRT por LCD e adoção de equipamentos mais eficientes	Redução de custos operacionais: Equipamentos mais eficientes reduziram o consumo de energia.	
Digitalização de documentos: Armazenamento de arquivos digitais, reduzindo o uso de papel.	Redução do consumo de papel: Economias significativas com a eliminação de impressões desnecessárias.	Necessidade de planejamento: Definição de ferramentas de controle e metas claras foi um desafio.
Controle de impressões e impressões conscientes: Utilização de eco fontes e monitoramento de impressões.	Redução de custos com impressões: A impressão consciente diminuiu o consumo de tinta e papel.	Resistência dos funcionários: Mudança de hábitos de impressão foi um obstáculo.
Adoção de tecnologias VoIP e central telefônica: Redução de custos com telefonia.	Redução de custos com telefonia: Adoção de VoIP trouxe uma redução significativa das despesas de comunicação	Investimento inicial elevado: Implementação de VoIP demandou recursos financeiros consideráveis.
Descarte correto de equipamentos eletrônicos: Política de descarte sustentável de resíduos eletrônico	Redução do impacto ambiental: A destinação adequada de resíduos eletrônicos minimizou os impactos ambientais.	Complexidade do processo de descarte: Logística e conformidade com normas ambientais foram desafios.
Reutilização de papel e peças de equipamentos: Aproveitamento de materiais recicláveis.	Aumento do ciclo de vida dos produtos: Prolongou a utilização de recursos e diminuiu o desperdício.	Planejamento de logística de reciclagem: Gerenciamento de materiais recicláveis foi um processo complexo.

Fonte: Resultados originais da pesquisa

- **Análise Estudo de Caso 2**

O estudo de Pinto *et al.* (2021) aborda o alto consumo de energia dos data centers e seus impactos ambientais, principalmente pela emissão de gases de efeito estufa gerada no processo de produção de energia elétrica. O objetivo do trabalho é destacar as vantagens tecnológicas da TI verde aplicadas à sustentabilidade desses centros de processamento de dados. Ao implementar práticas de TI verde, três grandes empresas conseguiram reduzir o consumo de energia em seus data centers, tornando suas operações mais ecologicamente corretas.

Por meio da análise de dados dessas empresas, o estudo de caso apresenta práticas específicas de TI verde que contribuem para a eficiência energética e para a sustentabilidade, sem comprometer a capacidade e o uso intensivo da informação nesses ambientes. A pesquisa mostra como tecnologias modernas e sustentáveis podem diminuir o impacto ambiental dos data centers, oferecendo um caminho para a integração da TI verde em grandes infraestruturas tecnológicas.

A tabela 2 apresenta a análise de estudo de caso de Pinto *et al.*, (2021) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Tabela 2. Análise Estudo de Caso de Pinto et. al (2021)

Práticas implantadas	Benefícios alcançados	Dificuldades enfrentadas
LOCAWEB		
Construção do maior Data Center verde da América Latina.	Redução de 30% no consumo de energia.	Investimento inicial significativo para a construção e implementação das tecnologias
Utilização de computação em nuvem nos datacenters:	Redução de 30% na emissão de CO2. Acesso dos dados facilitado. Redução de custo com infraestrutura.	Necessidade de mudança cultural e adaptação à nova tecnologia.
Sistema de free-cooling.	Economia de até 40% no consumo energético.	Manutenção e monitoramento contínuo das novas tecnologias.
ALGAR TECH		
Implementação de sistema fotovoltaico.	Economia de R\$ 125 mil por ano.	Alto custo inicial de R\$ 2 milhões para a instalação do sistema fotovoltaico.
Primeiro call center e Data Center verde da América Latina.	Geração de 450 MWh/ano, suficiente para alimentar 150 residências.	Necessidade de certificação e adequação às normas para obter o Selo Solar.

	Neutralização da emissão de CO2 equivalente ao plantio de 1600 árvores.	
DELL EMC		
Iniciativas de eficiência energética (contenção de corredores quentes e frios).	Economia de US\$ 4,3 milhões por ano.	Aumento inicial do uso de energia durante a implementação de novas tecnologias.
Uso de nitrogênio líquido para otimização de processos.	Redução de 6,5 toneladas de CO2.T	Necessidade de treinamento e adaptação da equipe para novas práticas e tecnologias.
Data Center virtual 100% eficiente em uso de energia.	Redução de 129 mil m ³ de água por ano.	Desafios na integração de sistemas antigos com novas tecnologias sustentáveis.

Fonte: Resultados originais da pesquisa

- **Análise Estudo de Caso 3**

O estudo realizado por Lunardi *et al.* (2014) explora a crescente preocupação mundial com problemas ambientais, esgotamento de recursos não renováveis e desenvolvimento sustentável, destacando o papel que a área de TI desempenha tanto no problema quanto na solução. Com a conscientização dos gestores sobre o impacto ambiental da tecnologia, as práticas de TI verde foram adotadas nas organizações com o objetivo de reduzir o desperdício e aumentar a eficiência operacional dos sistemas.

O trabalho consiste em uma pesquisa exploratória-descritiva, baseada na análise de 202 publicações, incluindo artigos, estudos de caso, entrevistas e sites institucionais, entre 2006 e 2011. Os dados permitiram identificar e categorizar as principais práticas de TI verde, como a consolidação de servidores, uso de equipamentos eficientes, reciclagem de componentes e campanhas de conscientização. Os benefícios observados incluem redução de custos, menor consumo de energia, diminuição da emissão de gases e melhorias na imagem institucional das empresas.

A Tabela 3 apresenta a análise de estudo de caso de Lunardi *et al.* (2014) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Tabela 3. Análise Estudo de Caso de Lunardi et. al (2014)

Práticas implantadas	Benefícios alcançados	Dificuldades enfrentadas
Consolidação de servidores: consiste em usar apenas uma máquina física com diversas máquinas virtuais, sendo uma para cada servidor.	Redução de custos operacionais. Redução do consumo de energia. Economia de espaço.	Altos investimentos iniciais. Necessidade de modernização constante.
Consolidação de desktops: uso de terminais do tipo thin client, onde os usuários são conectados a um servidor central que realiza todo o processamento sem que haja perda para o usuário final	Economia de quase 80% em relação a uma estação de trabalho normal.	
Modernização do datacenter: Aquisição de data centers verdes, com foco em eficiência energética.	Economia de energia. Redução da necessidade de expansão da infraestrutura para lidar com demanda energética e resfriamento.	
Uso de energias renováveis Aproveitamento do calor e da água	Redução de custos Redução da emissão de gases	Alto custo de implementação Acesso limitado a fontes de energia renováveis. Dificuldade de integração com os datacenters.
Uso de equipamentos mais eficientes Substituição de monitores CRT por LCD Eliminação de componentes nocivos	Redução de custos Maior ciclo de vida dos produtos Redução do lixo eletrônico	Necessidade de investimento em novos equipamentos Resistência à mudança de tecnologia
Sistemas de gerenciamento de energia Aplicativos eficientes	Redução do consumo de energia Redução de custos	Necessidade de treinamento e adaptação dos usuários Integração com sistemas existentes

Fonte: Resultados originais da pesquisa

- **Análise Estudo de Caso 4**

O estudo realizado por Trivedi *et al.* (2014) explora a crescente preocupação com o impacto ambiental da infraestrutura de tecnologia da informação (TI) e como a computação em nuvem pode oferecer soluções sustentáveis. Destaca os benefícios da computação em nuvem, incluindo a redução do consumo de energia em até 95% e a diminuição do desperdício eletrônico, ao mesmo tempo em que aborda as dificuldades de implementação dessas práticas.

Por meio de exemplos de grandes empresas de tecnologia, como Microsoft e Google, o estudo ilustra a transformação do modelo de negócios tradicional para um modelo baseado em serviços, enfatizando a importância da eficiência energética e da sustentabilidade. O artigo conclui que, embora a computação em nuvem represente um avanço significativo em direção a uma TI mais ecológica, a verdadeira sustentabilidade será alcançada somente quando essas infraestruturas virtualizadas forem alimentadas por fontes de energia renováveis.

A tabela 4 apresenta a análise de estudo de caso de Trivedi *et al.* (2014) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Tabela 4. Análise Estudo de Caso de Trivedi *et. al* (2014)

Práticas implantadas	Benefícios alcançados	Dificuldades enfrentadas
Virtualização: Uso de múltiplas máquinas virtuais em um único servidor físico para otimizar recursos.	Redução do consumo de energia em até 95%. Melhor utilização dos recursos físicos, permitindo que múltiplas máquinas virtuais operem em um único servidor.	Complexidade na transição de servidores físicos para um ambiente virtualizado. Necessidade de habilidades técnicas específicas para configuração e gestão.
Centralização de Recursos: Criação de infraestruturas de nuvem privadas para gestão eficiente	Menor necessidade de manutenção e gestão de infraestrutura local.	Investimentos significativos em hardware e software para criar uma infraestrutura de nuvem privada. Mudança cultural necessária nas organizações para adotar um modelo de gerenciamento centralizado.
Mudança de Modelo de Custo: Transição de CapEx para OpEx, permitindo pagamento apenas pelo uso	Redução de custos de utilidade em até 90% para estações de trabalho. Maior flexibilidade financeira para as empresas.	Desafios na adaptação de empresas que estão acostumadas a investimentos de longo prazo em infraestrutura.

Redução de Resíduos Eletrônicos: Minimização do uso de hardware local e desperdício.	Minimização do uso de hardware local e desperdício de equipamentos. Redução do desperdício geral devido ao consumo de poder computacional como serviço.	Implementação de novas políticas de descarte e reciclagem pode ser desafiadora. Necessidade de compromisso com a compra de equipamentos mais sustentáveis.
Uso de Fontes de Energia Renováveis	Potencial para reduzir o impacto ecológico geral devido a resíduos de TI, consumo de energia e emissões de carbono.	Dependência de fontes de energia renováveis pode não ser viável em todas as regiões. Necessidade de investimentos em infraestrutura para suportar energia renovável.

Fonte: Resultados originais da pesquisa

- **Análise Comparativa dos Estudos de Caso**

Na segunda etapa foi realizada uma análise comparativa entre os estudos de casos abordados com o intuito de relacionar os dados apurados (Tabela 5).

Tabela 5. Tabela da Análise Comparativa

Estudo de Caso	Práticas Implementadas	Benefícios Alcançados	Dificuldades Enfrentadas
SALLES et al. (2016)	-Virtualização de Máquinas: Redução de servidores físicos através da virtualização para melhorar eficiência energética.	-Redução do Consumo de Energia: Diminuição dos custos de operação com maior eficiência energética. -Segurança e Eficiência Operacional: Maior segurança e agilidade nas operações.	-Alto Custo Inicial: Investimento elevado em infraestrutura e consultoria especializada.
PINTO et al. (2021)	-Construção de Data Center Verde: Maior data center verde da América Latina. -Uso de Computação em Nuvem: Data center virtual com eficiência energética.	-Redução de 30% no Consumo de Energia e Emissões de CO2. -Redução de Custos com Infraestrutura: Redução significativa de água e custos. -Facilidade de Acesso a Dados.	-Integração Complexa de Sistemas Antigos: Desafios para integrar tecnologias sustentáveis. -Alto Investimento Inicial: Custo elevado para construção e implementação.

LUNARDI et al. (2014)	-Consolidação de Servidores e Desktops: Uso de terminais <i>thin clients</i> e servidores centralizados. -Modernização de Data Center: Foco em eficiência energética.	-Redução de Custos Operacionais e Consumo de Energia: Redução de quase 80% em relação às estações tradicionais. - Economia de Espaço e Infraestrutura: Menor necessidade de expansão para resfriamento e demanda energética.	-Alto Custo de Implementação. - Limitação de Acesso a Fontes Renováveis: Dificuldade em obter fontes de energia limpa. -Dificuldades de Integração com Data Centers Existentes
TRIVEDI et al. (2014)	-Virtualização: Múltiplas máquinas virtuais em um único servidor físico. -Centralização de Recursos: Criação de nuvens privadas	- Redução de Consumo de Energia em até 95%. - Melhor Utilização de Recursos: Otimização de servidores e menor necessidade de manutenção local.	-Complexidade na Transição para Ambientes Virtuais: Necessidade de habilidades técnicas e mudanças organizacionais. -Investimento Significativo em hardware e software.

Fonte: Resultados originais da pesquisa

A seguir, será apresentada uma análise comparativa das informações obtidas a partir dos estudos de caso selecionados. Essa análise tem como objetivo sintetizar as práticas de TI verde e computação em nuvem adotadas pelas empresas.

Presença da Computação em Nuvem: A Computação em Nuvem está Presente: Todos os estudos de caso demonstram práticas que envolvem a utilização da computação em nuvem ou a virtualização, uma tecnologia essencial para a construção de infraestruturas de nuvem. A computação em nuvem, em particular a virtualização de equipamentos e a concentração de recursos, é crucial para melhorar a eficiência energética e diminuir a pegada de carbono em todas as situações examinadas. O uso de centros de dados verdes e infraestruturas virtualizadas foi frequente, com efeitos diretos na diminuição de energia e emissões, o que está em consonância com as metas do estudo de analisar o papel da nuvem na sustentabilidade.

Benefícios em Sustentabilidade e Eficiência Energética: As vantagens mais frequentes incluem a diminuição do uso de energia e a redução das emissões de carbono. Em particular, a pesquisa de Trivedi *et al*, (2014) revela uma diminuição de até 95% no uso de energia através da virtualização, ao passo que Pinto *et al*, (2021) obtiveram uma diminuição de 30% nas emissões de CO₂. As empresas, além de economizar energia, conseguiram diminuir os gastos operacionais e aprimorar a eficácia dos recursos. Estes achados apoiam a ideia de que a computação em nuvem auxilia na diminuição do efeito estufa ao fomentar a sustentabilidade.

Dificuldades Comuns na Implementação: Os desafios identificados incluíram o elevado custo inicial para a implementação de tecnologias em nuvem e a exigência de uma mudança cultural. Vários estudos também destacaram a complexidade na integração com sistemas antigos e a necessidade de competências técnicas

específicas para administrar a infraestrutura em nuvem. Esses obstáculos sugerem que, apesar da computação em nuvem proporcionar vantagens ambientais e operacionais relevantes, sua aplicação requer investimentos sólidos e um planejamento minucioso.

Validação dos Objetivos do Trabalho: Os estudos de caso examinados comprovam que a computação na nuvem e práticas correlatas, como a virtualização e a centralização de recursos, auxiliam na sustentabilidade das operações de TI, contribuindo para a diminuição do consumo de energia e das emissões de CO₂. A avaliação indica que, ao diminuir a quantidade de servidores físicos e implementar tecnologias eficazes, as organizações não só aprimoram sua eficácia operacional, como também colaboram para a atenuação das alterações climáticas. Isso confirma a meta do estudo de que a computação em nuvem contribui para o combate ao aquecimento global e a diminuição do efeito estufa. Essa análise comparativa evidencia que, embora a computação em nuvem enfrente barreiras como o custo e a necessidade de adaptação cultural, os benefícios ambientais e operacionais reforçam seu papel como uma solução viável e eficaz para promover a TI Verde e contribuir para a sustentabilidade global.

Viabilidade financeira de utilização da computação em nuvem: A adoção da computação em nuvem vai além de uma prática sustentável, ela também gera benefícios econômicos significativos para as empresas. De acordo com Lacy *et al* (2020), migrar para a nuvem sustentável permite que as empresas não apenas atinjam objetivos financeiros, mas também reduzam os custos totais de propriedade em cerca de 30-40%, graças à flexibilidade de cargas de trabalho, melhor utilização dos servidores e consumo de energia mais eficiente. Em suas próprias operações, a Accenture transferiu 95% de suas aplicações para a nuvem, gerando US\$ 14,5 milhões em benefícios nos primeiros três anos e economizando US\$ 3 milhões anuais devido ao dimensionamento correto dos serviços utilizados (Lacy *et al*, 2020). Além da economia direta, a sustentabilidade é um ponto crucial para o sucesso futuro das empresas. O estudo “UNGC-Accenture Strategy CEO” mostra que 99% dos CEOs de grandes empresas acreditam que questões ambientais são vitais para o sucesso a longo prazo. Adotar práticas sustentáveis, como a computação em nuvem, fortalece a reputação da empresa e a torna mais competitiva no mercado. De fato, empresas com elevados índices de desempenho ambiental, social e de governança (ESG) têm margens operacionais superiores, com um desempenho anual de até 4,7 vezes maior do que aquelas com baixos índices de ESG, o que demonstra a vantagem financeira da sustentabilidade (Lacy *et al*, 2020). De acordo com Rodrigues; Galdino; Antunes Neto (2021), em um estudo que analisou a aplicação de computação em nuvem em empresas que pequeno e médio porte, foi constatado que em diversos setores, como startups, instituições de ensino e empresas de tecnologia, reportaram benefícios financeiros e operacionais ao adotar serviços de nuvem, tornando essa prática uma solução estratégica para a modernização e eficiência empresarial. Um dos exemplos destacados é o de uma startup de estampas de camisetas, que reduziu seus custos operacionais em 40%, além de obter melhorias em desempenho e escalabilidade. Em um ambiente de testes com nuvem privada, constatou-se que a implantação dessa modalidade trouxe benefícios relacionados a custos, segurança e uso consciente de recursos. Já uma instituição de ensino superior observou que, ao migrar para serviços de nuvem pública, foi possível alcançar vantagens em custos e escalabilidade, embora a segurança fosse inferior em comparação a sistemas locais. Três pequenas empresas identificaram economias significativas em manutenção e implementação ao migrar para a nuvem. No Porto Digital, a maioria das empresas incubadas já utilizam a nuvem, com benefícios evidentes em redução de custos e incentivo à inovação. Em Santa Catarina, 95% das empresas de tecnologia adotaram serviços de nuvem, destacando acessibilidade e baixo custo como principais vantagens (RODRIGUES; GALDINO; ANTUNES NETO, 2021). Esses estudos reforçam que a migração

para a computação em nuvem é economicamente viável e benéfica para empresas de pequeno porte. A adoção dessa tecnologia não só reduz custos, mas também melhora a eficiência e permite que as empresas se concentrem em seus objetivos estratégicos, tornando-se mais competitivas e sustentáveis no mercado atual.

- **Análise dos Relatórios de Sustentabilidade**

Nessa etapa, foi realizada uma análise dos relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia (Big Techs) que adotaram soluções de computação em nuvem com foco na sustentabilidade.

- ***Apurações do Relatório de Sustentabilidade da Google de 2024***

A análise dos dados coletados do relatório de sustentabilidade da Google evidencia o papel crucial da computação em nuvem e da inteligência artificial (IA) para impulsionar práticas sustentáveis e reduzir a pegada de carbono dos data centers.

1. Eficiência Energética e Infraestrutura dos Data Centers

A Google investiu significativamente na **otimização de seus data centers** para melhorar a eficiência energética. Em 2023, a média de *Power Usage Effectiveness* (PUE) dos data centers da Google foi de 1,10, comparado à média da indústria de 1,58. Esse índice indica que, para cada unidade de energia consumida em tarefas de TI, apenas 0,10 unidades adicionais são utilizadas, demonstrando um compromisso com uma infraestrutura otimizada e com baixo desperdício energético. A implementação de **processadores eficientes** como o Google Axion, que são até 60% mais eficientes que instâncias tradicionais, reforça ainda mais a eficiência da infraestrutura em nuvem.

2. Redução do Consumo Energético com IA e Otimização

A Google utiliza IA para maximizar a eficiência energética em suas operações. Com **modelos de IA otimizados** para o uso eficiente de hardware, a empresa reduziu a energia necessária para treinar modelos de IA em até 100 vezes e as emissões de CO₂ associadas em até 1.000 vezes. Além disso, **algoritmos de IA** são aplicados em sistemas de controle de energia, como os termostatos inteligentes Nest, que ajudaram os usuários a economizar mais de 20 bilhões de kWh em 2023, promovendo uma redução significativa no consumo de energia.

3. Integração de Energias Renováveis

A Google tem como objetivo alcançar 100% de energia livre de carbono em todas as suas operações até 2030. Em 2023, 64% da energia utilizada em seus data centers já era proveniente de fontes renováveis. A empresa não só adquire energia limpa, como também investe em **inovações energéticas**, incluindo projetos de geotermia avançada e tecnologias de eletricidade limpa. Esses esforços demonstram o compromisso com uma **infraestrutura neutra em carbono**, sustentada por fontes de energia renováveis.

4. Colaboração e Compartilhamento de Dados para Sustentabilidade

A Google desenvolveu o **Data Commons**, uma plataforma que organiza dados de sustentabilidade para que governos e organizações possam acessar informações relevantes e tomar decisões informadas sobre emissões e eficiência energética. Parcerias estratégicas com o setor privado, como a colaboração com a Engie para otimizar operações e identificar consumidores potenciais de energia solar, ampliam o impacto das práticas de TI verde adotadas.

5. Aplicação de IA para Mitigação de Impactos Ambientais

A Google também aplica IA em soluções práticas para a sustentabilidade. Exemplos incluem o **Google Maps**, que sugere rotas de menor impacto para veículos, reduzindo em 2,9 milhões de toneladas métricas as emissões de gases de efeito estufa (GEE) desde 2021. Outro exemplo é o **modelo de IA para previsão de inundações**, que permite prever desastres com até sete dias de antecedência, ajudando as comunidades a responderem rapidamente e mitigando o impacto ambiental.

6. Compromisso com Economia Circular e Sustentabilidade em Produtos

Além de buscar eficiência operacional, a Google adota práticas alinhadas ao conceito de economia circular, que se baseia em minimizar o desperdício, maximizar a reutilização de recursos e criar ciclos fechados de materiais para prolongar sua utilidade. Como parte desse compromisso, a empresa estabeleceu a meta de desviar 90% dos resíduos gerados em seus data centers de aterros sanitários. Em 2023, 29% desses centros já haviam atingido o objetivo. Por meio da reutilização e reaproveitamento de componentes de servidores, a Google promove a sustentabilidade, estendendo o ciclo de vida dos equipamentos e reduzindo a necessidade de novos recursos.

- **Apurações do Relatório de Sustentabilidade da Google de 2023**

1. Eficiência Energética dos Data Centers

A Google tem investido em tornar seus data centers altamente eficientes. Em média, um data center operado pelo Google é mais de 1,5 vezes mais eficiente em consumo energético em comparação aos data centers típicos. Isso é alcançado por meio de servidores de alto desempenho, controle automatizado de temperatura e iluminação, além de técnicas avançadas de resfriamento que otimizam o uso da energia.

2. Redução do Consumo Energético com IA

A empresa aplicou práticas que reduzem o consumo de energia necessário para treinar modelos de IA em até 100 vezes e as emissões associadas em até 1.000 vezes. Isso demonstra um compromisso da Google em minimizar o impacto ambiental de suas operações na nuvem, especialmente no treinamento de IA, que é altamente intensivo em energia.

3. Uso de Energia Limpa

O Google definiu uma meta ambiciosa de operar seus data centers e escritórios com energia 100% livre de carbono até 2030. Esse objetivo envolve investimentos em fontes de energia renovável e em tecnologias que otimizam o uso de energia limpa, ajudando a reduzir ainda mais as emissões de CO₂ associadas aos serviços de nuvem.

4. Ferramentas de Otimização para Clientes

Por meio do Google Cloud, a empresa oferece ferramentas como o **Active Assist**, que utiliza aprendizado de máquina para identificar cargas de trabalho não utilizadas e otimizar recursos, permitindo que clientes reduzam suas emissões de carbono ao otimizar o uso da nuvem em tempo real.

5. Carbon Sense Suite

A **Carbon Sense Suite** da Google inclui produtos como o **Carbon Footprint**, que ajudam os clientes a monitorar, reportar e reduzir as emissões de carbono associadas ao uso dos serviços em nuvem. Essa suíte oferece visibilidade e transparência no impacto ambiental das operações, incentivando práticas de TI verde.

6. Colaboração com Parceiros para Sustentabilidade

A Google colabora com parceiros em setores como energia, transporte e agricultura para ajudar a alcançar metas de sustentabilidade. Essas parcerias envolvem o uso de tecnologias da Google para rastrear emissões, prever riscos climáticos e otimizar cadeias de suprimento, promovendo uma abordagem integrada à sustentabilidade.

7. Dados e Análises Geoespaciais para Ações Climáticas

Ferramentas como o **Google Earth Engine** e o **Environmental Insights Explorer** permitem análises de dados ambientais em grande escala, ajudando cidades e organizações a planejar ações de combate ao aquecimento global. Esses recursos são utilizados para monitorar fontes de emissão e desenvolver estratégias de mitigação de carbono.

8. Inovações Tecnológicas para Sustentabilidade na Nuvem

A Google está continuamente investindo em tecnologias de nuvem que não apenas otimizam operações, mas também ajudam a mitigar os impactos das mudanças climáticas. A aplicação de IA para prever eventos climáticos extremos e otimizar operações em tempo real são exemplos de como a empresa utiliza inovação para reduzir emissões.

9. Impacto na Cadeia de Suprimentos

A Google está comprometida em engajar seus fornecedores para que adotem práticas de energia renovável e reduzam suas próprias emissões. Essa abordagem busca promover a sustentabilidade em toda a cadeia de suprimentos, assegurando que as metas ambientais se estendam a parceiros comerciais.

10. Relatórios e Transparência

A participação ativa da Google em iniciativas como o **Carbon Disclosure Project (CDP)** reforça o compromisso da empresa com a transparência e o engajamento em práticas de redução de carbono, motivando outras empresas a aderirem a padrões semelhantes.

- **Apurações do Relatório de Sustentabilidade da AWS de 2023**

1. Eficiência Energética em Data Centers

Tecnologias de Resfriamento Sustentáveis: A AWS utiliza sistemas de resfriamento por ar livre e resfriamento evaporativo, aproveitando o ar externo e água para manter a temperatura dos servidores, o que reduz a dependência de sistemas de resfriamento energeticamente intensivos.

Chips Eficientes: Com o lançamento do Graviton4, a AWS introduziu chips que reduzem o consumo de energia em até 50% comparado aos modelos anteriores, além de melhorar o desempenho computacional.

2. Transição para Energia Renovável

Meta de 100% Energia Renovável: A AWS atingiu a meta de operar com 100% de eletricidade renovável em suas operações globais antes do prazo de 2030, com investimentos significativos em energia solar e eólica.

Investimento em Projetos de Energia Limpa: A AWS financiou 513 projetos de energia renovável, dos quais 243 são de energia solar e eólica, que além de abastecer suas operações, também fornecem energia limpa para comunidades locais.

3. Redução de Emissões na Cadeia de Suprimentos

Parcerias com Fornecedores para Descarbonização: A AWS colabora com fornecedores para estabelecer metas de redução de emissões, um aspecto essencial para diminuir a pegada de carbono total da empresa.

Amazon Sustainability Exchange: Através dessa plataforma, a AWS compartilha recursos e melhores práticas, promovendo uma abordagem colaborativa para atingir metas de sustentabilidade no setor.

4. Inovação e Uso de Inteligência Artificial

Otimização de Recursos com IA: A AWS usa inteligência artificial para otimizar o uso de energia e recursos, incluindo o dimensionamento eficiente de embalagens para reduzir desperdícios e melhorar a logística.

Monitoramento em Tempo Real: Com tecnologias de IoT, a AWS monitora e ajusta o consumo de água e energia em tempo real, o que permite corrigir ineficiências rapidamente.

5. Compromisso com a Sustentabilidade

Neutralidade de Carbono: A Amazon se comprometeu a alcançar a neutralidade de carbono até 2040, com esforços abrangentes em data centers, logística e construção sustentável.

Economia Circular: A AWS implementa práticas de economia circular, incluindo o reaproveitamento de equipamentos e a escolha de materiais com menor pegada de carbono para suas instalações.

6. Gestão Hídrica e Sustentabilidade

Objetivo de Ser "Positiva em Água": A AWS almeja se tornar positiva em água até 2030, devolvendo mais água do que consome para as comunidades, através de projetos de reabastecimento hídrico e uso de água reciclada em suas operações.

A AWS exemplifica como a computação em nuvem, combinada com práticas sustentáveis e inovação tecnológica, pode contribuir substancialmente para a sustentabilidade ambiental. Ao investir em eficiência energética, transição para fontes renováveis, e colaboração com a cadeia de suprimentos, a AWS avança na promoção de uma economia mais sustentável e na redução de sua pegada de carbono. Esses pontos reforçam o papel da computação em nuvem como uma aliada no combate às mudanças climáticas.

◦ Análise Geral dos Relatórios de Sustentabilidade

A avaliação dos relatórios de sustentabilidade de gigantes da tecnologia, como Google e AWS, destaca a importância vital da computação em nuvem para a sustentabilidade e a diminuição da emissão de carbono. As duas companhias evidenciam um compromisso constante com a eficiência energética, a utilização de energias renováveis, a economia circular e o avanço em tecnologias de inteligência artificial com o objetivo de diminuir o impacto ambiental de suas atividades.

Os data centers da Google e AWS foram concebidos para serem extremamente eficazes. Por exemplo, o Google exibe um índice de Eficiência no Uso de Energia (PUE) de 1,10, superando a média do setor e destacando seu empenho em reduzir o desperdício energético. A AWS aplica sistemas de resfriamento avançados, tais como resfriamento a ar livre e evaporativo, que se valem do ar externo e da água para diminuir a demanda por sistemas convencionais e altamente energéticos. Adicionalmente, a AWS criou chips de computação, como o Graviton4, que diminuem o uso de energia em até 50% em comparação aos chips anteriores, sem prejudicar o rendimento.

A dedicação à energia renovável é um dos alicerces dessas estratégias. A Google trabalha com 64% de energia sem carbono e tem como meta alcançar 100% até 2030. Por outro lado, a AWS atingiu o objetivo de operar com 100% de energia renovável em 2023, sete anos antes do prazo estipulado. As duas companhias fazem grandes investimentos em energia solar e eólica, com centenas de projetos que não só atendem às suas atividades, mas também geram energia limpa para as comunidades onde estão inseridas.

As duas companhias utilizam inteligência artificial em suas operações para otimizar a eficiência. O Google diminuiu consideravelmente a energia requerida para treinar modelos de Inteligência Artificial,

enquanto a AWS emprega IA para aprimorar o uso de energia e acompanhar recursos em tempo real, possibilitando modificações que minimizam o desperdício. Também é crucial a cooperação com fornecedores e parceiros. Por exemplo, a AWS promove o engajamento de fornecedores em práticas de descarbonização e divulga suas práticas sustentáveis através do Amazon Sustainability Exchange, expandindo o efeito positivo para além de suas operações internas.

Outro aspecto importante é a dedicação à economia circular. O Google tem como meta mover 90% dos resíduos de seus centros de dados para fora dos aterros sanitários e incentiva o reaproveitamento de peças de servidores para estender a durabilidade dos aparelhos. A AWS também implementa práticas de economia circular, reciclando equipamentos e optando por materiais de construção de baixo impacto ambiental, evidenciando uma gestão consciente do uso de recursos.

Em última análise, a transparência é um valor crucial para ambas as companhias, que colaboram em projetos como o Carbon Disclosure Project (CDP), revelando minuciosamente suas práticas e progressos na área de sustentabilidade. A AWS assume publicamente o compromisso de alcançar a neutralidade de carbono até 2040, intensificando sua dedicação à diminuição das emissões e a um futuro mais sustentável.

Estes relatórios de sustentabilidade demonstram como a computação em nuvem pode ser uma ferramenta eficaz na diminuição das emissões de CO₂ e na luta contra as alterações climáticas. A união de práticas de eficiência energética, mudança para energias renováveis, aplicação de inteligência artificial e economia circular possibilita que companhias como Google e AWS não só diminuam sua pegada de carbono, mas também estimulem outras entidades a implementarem práticas de tecnologia verde. Essas táticas destacam a importância da computação em nuvem na formação de uma economia sustentável e no progresso rumo a um futuro com responsabilidade ambiental.

- **Recomendações para Adoção Sustentável de Computação em Nuvem**

Ao proporcionar escalabilidade e flexibilidade, a computação em nuvem se estabeleceu como um instrumento crucial para a transformação digital e sustentável. No entanto, para potencializar suas vantagens ambientais e econômicas, é imprescindível implementar práticas que estejam em conformidade com os princípios da TI verde.

Esta seção fornece sugestões fundamentadas em pesquisas e práticas notadas em grandes empresas e relatórios de sustentabilidade, com a finalidade de guiar as empresas na implementação de soluções sustentáveis de nuvem computacional.

1. Alinhar a Estratégia Empresarial com Práticas Sustentáveis

As empresas devem integrar metas de sustentabilidade em suas estratégias organizacionais, promovendo o uso responsável da computação em nuvem. Como sugerido por Murugesan (2008), práticas como a redução do consumo de energia e o uso de tecnologias verdes devem ser incorporadas desde o planejamento até a execução. Além disso, indicadores de desempenho ambiental, como a pegada de carbono e o consumo energético, devem ser monitorados regularmente para garantir alinhamento com os objetivos sustentáveis.

2. Escolher Provedores Comprometidos com Sustentabilidade

Estudos indicam que provedores como Google Cloud, AWS têm liderado esforços para operar data centers com energia 100% renovável, reduzindo as emissões de carbono em até 80% em relação a data centers locais (HAIG, 2021).

Assim, priorizar provedores com certificações ambientais, como a ISO 14001, e acesso a ferramentas de monitoramento de emissões, como o "Carbon Footprint Tool" da Google, é fundamental para alcançar práticas de TI verde.

3. Implementar Virtualização e Consolidação de Recursos

A virtualização é um dos pilares da computação em nuvem e permite a utilização eficiente de recursos físicos, reduzindo o consumo energético e o desperdício eletrônico (TRIVEDI *et al.*, 2014).

De acordo com estudos de Trivedi *et al.* (2014), a consolidação de servidores em ambientes virtualizados pode diminuir o consumo de energia em até 95%. Organizações devem priorizar a adoção dessa prática para maximizar a eficiência dos recursos computacionais.

4 Capacitação e Mudança Cultural

A transição para uma infraestrutura sustentável depende da preparação dos profissionais. Segundo Lacy *et al.* (2020), organizações que investem em treinamento para práticas de TI verde observam maior adesão interna e resultados operacionais mais eficientes. Além disso, promover uma mudança cultural que valorize a sustentabilidade é essencial para o sucesso dessas iniciativas.

5. Investir em Pesquisa e Desenvolvimento

A inovação contínua é essencial para superar os desafios ambientais associados ao setor de TI. Como apontado por Google (2024), o uso de IA para otimizar o consumo de energia e prever demandas futuras é uma área promissora. Essa abordagem permite que data centers ajustem dinamicamente a alocação de recursos, reduzindo o desperdício e promovendo a eficiência energética.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão deste trabalho destaca o papel da computação em nuvem na promoção da sustentabilidade ambiental e na redução dos impactos do aquecimento global. Através da análise dos estudos de caso, observou-se que a implementação de serviços de computação em nuvem em diversas empresas contribuiu para a redução do consumo energético e das emissões de CO₂. Essas iniciativas não apenas ajudaram a reduzir a pegada de carbono, mas também otimizaram o uso de recursos, reduziram custos operacionais e melhoraram a eficiência geral dos processos de TI. A migração para a nuvem possibilitou ainda uma redução na necessidade de hardware físico, diminuindo o desperdício eletrônico e reforçando o compromisso com a sustentabilidade.

Entre os desafios comuns enfrentados pelas empresas na adoção da computação em nuvem, destacam-se o alto custo inicial de implementação e a complexidade de integrar sistemas legados com as novas infraestruturas de nuvem. Além disso, a mudança cultural e a necessidade de profissionais com habilidades técnicas específicas para gerenciar a infraestrutura em nuvem foram obstáculos recorrentes. Essas dificuldades, embora impactantes, demonstram a necessidade de um planejamento estratégico e de investimentos em capacitação para uma adoção bem-sucedida de práticas de TI verde.

A análise dos relatórios de sustentabilidade da Google e da AWS, principais provedores de serviços de computação em nuvem e TI, revelou que essas empresas investem de maneira significativa em medidas voltadas para a sustentabilidade. A Google, por exemplo, estabeleceu uma meta ambiciosa de operar com 100% de energia livre de carbono até 2030, enquanto a AWS já atingiu esse objetivo, investindo em centenas de projetos de energia renovável, incluindo energia solar e eólica. Ambas as empresas implementam práticas inovadoras, como o uso de tecnologias de resfriamento avançadas, desenvolvimento de chips energeticamente eficientes e uso de IA para otimização de consumo, além de promoverem a economia circular ao reutilizarem componentes de seus data centers.

A conclusão geral é que, ao adotar serviços de nuvem de provedores comprometidos com práticas de sustentabilidade, as empresas não só contribuem para a redução de sua própria pegada de carbono, mas também apoiam, de forma indireta, o compromisso ambiental desses fornecedores. Assim, a escolha de provedores que seguem rigorosamente diretrizes de sustentabilidade torna-se fundamental para maximizar os benefícios ambientais da computação em nuvem. Essa escolha representa um impacto positivo que vai além das operações internas, contribuindo para um ecossistema tecnológico mais responsável.

Essas pequenas conquistas, como a economia de energia e a redução das emissões de CO₂, representam avanços fundamentais na luta contra o aquecimento global. Cada redução mínima no consumo energético ou na emissão de gases de efeito estufa, embora pareça pequena em escala individual, contribui de forma acumulativa para o enfraquecimento do efeito estufa. Como o aquecimento global é um fenômeno complexo e abrangente, combatê-lo exige uma soma de esforços contínuos em todas as áreas – das pequenas mudanças tecnológicas às grandes transformações industriais.

Por fim, o estudo propõe a adoção de melhores práticas para a implementação de atividades sustentáveis em TI, com um foco específico na computação em nuvem. Recomenda-se o desenvolvimento de políticas que incentivem a eficiência energética, a redução de emissões e a utilização de energias renováveis em data centers. Ao fortalecer esses compromissos, empresas de todos os setores poderão não apenas melhorar seu desempenho operacional e econômico, mas também contribuir para um futuro mais sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMAZON WEB SERVICES, *Amazon Sustainability Report*. 2023 [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.aboutamazon.com/2023-amazon-sustainability-report.pdf>. Acesso em 10 set. 2024.
- ARMBRUST, M. et al. *A view of cloud computing*. *Communications of the ACM*, v. 53, n. 4, p. 50–58, 2010. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1721654.1721672>. Acesso em 7 jul. 2024.
- BALIGA, J. et al. *Green cloud computing: Balancing energy in processing, storage, and transport*. *Proceedings of the IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers*, v. 99, n. 1, p. 149–167, 2011. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5559320>. Acesso em 5 ago. 2024.
- BERL, A. et al. *Energy-efficient cloud computing*. *The computer journal*, v. 53, n. 7, p. 1045–1051, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/46116227_Energy-Efficient_Cloud_Computing.
- GOOGLE. *Google's 2023 Environmental Report*. 2023 [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.google/reports/google-2023-environmental-report/>. Acesso em 15 out. 2024.
- GIL, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. [s.l.]. Atlas, 2008. Disponível em: <https://ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9nicas-de-pesquisa-social.pdf>. Acesso em 05 dez. 2024.
- GOOGLE. *Google's 2023 Environmental Report*. 2023 [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.google/reports/google-2023-environmental-report/>. Acesso em 15 out. 2024.
- GOOGLE. *Google's 2024 Environmental Report*. 2024 [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.google/reports/google-2024-environmental-report/>. Acesso em 15 out. 2024.
- HANSEN, J. et al. *Global temperature change*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 103, n. 39, p. 14288–14293, 2006. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0606291103>. Acesso em 18 jun. 2024.
- LACY, P. et al. *O verde por trás de cloud*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/manual/r3/pdf/pdf-139/Accenture-O-verde-por-tras-de-Cloud.pdf>. Acesso em 9 nov. 2024.
- LENTON, T. M. et al. *Climate tipping points - too risky to bet against*. *Nature*, v. 575, n. 7784, p. 592–595, 2019. Disponível em: https://eplanning.blm.gov/public_projects/nepa/109410/20017600/250023584/Lenton_2019m_Tipping_points--too_risky_to_bet_against.pdf. Acesso em 08 out. 2024.
- LEVIN, K. *Half a degree and a world apart: the difference in climate impacts between 1.5°C and 2°C of warming*. World Resources Institute, 8 de outubro de 2018. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/half-degree-and-world-apart-difference-climate-impacts-between-15c-and-2c-warming>. Acesso em: 14 ago. 2024.
- LUNARDI, G. L.; SIMÕES, R.; FRIO, R. S. *TI Verde: uma análise dos principais benefícios e práticas utilizadas pelas organizações*. *REAd*, v. 20, n. 1, p. 1–30, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/read/a/8KzGRQsrSPnDWRfWpcqbgFy/?lang=pt#>. Acesso em 25 out. 2024.

- MELL, P. M.; GRANCE, T. *The NIST definition of cloud computing*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2011. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>. Acesso em 12. Jul. 2024.
- MURUGESAN, S. Harnessing green IT: *Principles and practices*. IEEE Xplore, v. 10, n. 1, p. 24–33, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4446673>. Acesso em 12 jun. 2024.
- NASA SCIENCE. *The Causes of Climate Change*. 2024 Disponível em: <<https://science.nasa.gov/climate-change/causes/>>. Acesso em: 6 nov. 2024.
- PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (ed.). *Climate change 2014: synthesis report*. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Acesso em 30 jun. 2024.
- PINTO, M. F. M.; DE CAMPOS, P. K.; DE AZEVEDO, V. R. *Sustentabilidade de data centers com o uso da ti-verde*. Revista Científica e-Locução, v. 1, n. 20, p. 18, 2021. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucacao/article/view/420>. Acesso em 15 nov. 2024.
- RODRIGUES, G. C.; GALDINO, L. R.; ANTUNES NETO, J. M. *Application of Cloud Computing in small and medium-sized enterprises: Systematic review*. Revista Prospectus, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.5558981>. Acesso em 25 nov. 2024.
- SALLES, A. C. et al. Tecnologia da Informação Verde: *Um Estudo sobre sua Adoção nas Organizações*. Revista de Administração Contemporânea, v. 20, n. 1, p. 41–63, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/3fWDvfM53dCn7YYSm5vn3yb/#>. Acesso em 20 nov. 2024.
- TRIVEDI, Rajender; SHARMA, Rajani. *Case study on environmental impact of cloud computing*. IOSR Journal of Computer Engineering, v. 16, n. 2, p. 81-86, 2014. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Vol16-issue2/Version-6/M016268186.pdf>. Acesso 22 nov. 2024.

O USO DA PLATAFORMA MATIFIC NO ENSINO DE MATEMÁTICA: BENEFÍCIOS, DESAFIOS E IMPACTOS NA APRENDIZAGEM

THE USE OF THE MATIFIC PLATFORM IN MATHEMATICS EDUCATION: BENEFITS, CHALLENGES, AND IMPACTS ON LEARNING

Diana Rodrigues da SILVA

diana_rodriguesdasilva@yahoo.com.br

Universidade Cruzeiro do Sul

Marcio Eugen Klingenschmid Lopes dos SANTOS

marcioeugen@gmail.com

Universidade Cruzeiro do Sul

Marcus Vinícius Pereira de ARAÚJO

mvinicius.araujo@gmail.com

Universidade Cruzeiro do Sul

Marcelo Vianello Pinto

marcelo.vianello@gmail.com

Universidade Cruzeiro do Sul

Resumo

Este estudo teve como objetivo analisar o uso da plataforma digital Matific no ensino de Matemática, por meio de uma revisão sistemática da literatura, destacando seus benefícios, desafios e impactos na aprendizagem. A metodologia envolveu a identificação, seleção e análise de publicações acadêmicas relevantes, publicadas entre 2014 e 2024, que abordam a aplicação da ferramenta em contextos educacionais. Os resultados indicam que o Matific contribui para o engajamento e a motivação dos alunos, promovendo o desenvolvimento de habilidades cognitivas e socioemocionais, como raciocínio lógico, resolução de problemas, autonomia e colaboração. No entanto, sua implementação enfrenta desafios importantes, como a insuficiência de infraestrutura tecnológica e a falta de formação docente adequada. A revisão também evidenciou lacunas na literatura, especialmente a escassez de estudos empíricos de longo prazo que avaliem os impactos do uso da plataforma na aprendizagem matemática. Conclui-se que o Matific

representa uma ferramenta promissora para a inovação pedagógica no ensino de Matemática, cuja efetividade depende de políticas públicas de apoio, formação continuada de professores e integração estruturada ao currículo escolar.

Palavras-Chave: Matific; Ensino de matemática; Engajamento dos alunos; Tecnologia educacional.

Abstract

This study aimed to analyze the use of the digital platform Matific in Mathematics education through a systematic literature review, highlighting its benefits, challenges, and impacts on learning. The methodology involved the identification, selection, and analysis of relevant academic publications, published between 2014 and 2024, that address the use of the platform in educational contexts. The results indicate that Matific contributes to student engagement and motivation, promoting the development of cognitive and socio-emotional skills such as logical reasoning, problem-solving, autonomy, and collaboration. However, its implementation faces significant challenges, such as insufficient technological infrastructure and the lack of adequate teacher training. The review also revealed gaps in the literature, especially the lack of long-term empirical studies assessing the impacts of using the platform on mathematics learning. It is concluded that Matific represents a promising tool for pedagogical innovation in Mathematics education, whose effectiveness depends on public policies, continuous teacher training, and structured integration into the school curriculum.

Keywords: Matific platform; Mathematics education; Student engagement; Educational technology.

INTRODUÇÃO

A educação matemática é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento cognitivo e acadêmico dos estudantes, sendo essencial para o raciocínio lógico e a resolução de problemas cotidianos (SANTOS, 2017). Tradicionalmente, o ensino dessa disciplina tem representado um desafio para educadores, uma vez que envolve a abstração de conceitos frequentemente distantes da realidade dos alunos. Como consequência, muitos estudantes consideram a matemática monótona, sobretudo quando os conteúdos são transmitidos por meio de aulas expositivas, repetitivas e desmotivadoras (FELIPPE, 2022).

Diante desse cenário, torna-se urgente repensar práticas pedagógicas e adotar tecnologias educacionais que promovam a inovação no ensino da matemática. Nesse contexto, plataformas digitais como o Matific vêm ganhando destaque ao proporem o uso de jogos e atividades interativas para tornar o aprendizado mais acessível, dinâmico e atrativo (PORTELA et al., 2024).

Matific é uma plataforma educacional digital adotada por escolas de diferentes níveis de ensino com o propósito de oferecer uma abordagem mais envolvente e eficaz para a aprendizagem matemática. Por meio de atividades lúdicas e jogos educativos, a ferramenta busca facilitar a compreensão de conceitos fundamentais da disciplina, ao mesmo tempo em que estimula a autonomia e a motivação dos alunos. Apesar do crescente uso de recursos tecnológicos na educação matemática, ainda são limitados os estudos que investigam de forma aprofundada o impacto do Matific no desempenho acadêmico dos estudantes (FILHO; RAMO; MEIRA, 2019).

Diante disso, esta pesquisa tem como propósito realizar um mapeamento sistemático da literatura existente sobre o uso do Matific no ensino de matemática, visando compreender o que tem sido discutido na academia sobre sua aplicação, eficácia e contribuições para a aprendizagem.

O objetivo principal deste estudo é analisar, por meio de uma revisão sistemática, as pesquisas relacionadas ao uso da plataforma Matific no ensino da matemática, identificando seus impactos, vantagens e limitações no contexto educacional.

Os objetivos específicos são:

1) Revisar estudos acadêmicos que abordam o uso do Matific nas séries iniciais do ensino fundamental;

2) Identificar os benefícios e desafios enfrentados na implementação da plataforma no ambiente escolar;

3) Analisar metodologias pedagógicas associadas ao uso do Matific, como a aprendizagem ativa e a gamificação

4) Avaliar os impactos da plataforma no desempenho acadêmico e na motivação dos alunos para aprender matemática.

Apesar do crescente interesse por plataformas digitais no campo educacional, verifica-se uma lacuna na produção acadêmica referente ao impacto específico do Matific no ensino de matemática. Assim, a questão norteadora deste estudo é: Quais são os efeitos do uso da plataforma Matific na aprendizagem dos alunos, especialmente no que se refere à compreensão de conceitos matemáticos e ao desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas?

Parte-se da hipótese de que o uso do Matific contribui positivamente para o desempenho acadêmico dos estudantes, favorecendo a assimilação de conceitos matemáticos e promovendo maior engajamento com a disciplina. Além disso, acredita-se que a abordagem lúdica e interativa da plataforma seja eficaz na inclusão de alunos com diferentes estilos e ritmos de aprendizagem, possibilitando uma educação mais personalizada.

A relevância deste estudo reside em oferecer uma visão abrangente sobre o uso do Matific no ensino da matemática, contribuindo tanto para o avanço da pesquisa acadêmica quanto para a prática pedagógica. Ao identificar os benefícios e desafios relacionados à plataforma, esta investigação pode auxiliar educadores e gestores escolares na tomada de decisões mais embasadas quanto à adoção de tecnologias educacionais no currículo escolar.

REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão de literatura busca inicialmente contextualizar os desafios do ensino tradicional da matemática, abordando em seguida a inserção de tecnologias digitais na educação e, por fim, apresentando estudos específicos sobre a plataforma Matific e suas contribuições para a aprendizagem.

Ensino Tradicional da Matemática e Seus Desafios

A educação constitui elemento essencial para a formação dos indivíduos, sendo por meio dela que o cidadão pode alcançar maiores patamares sociais e desenvolver seu senso crítico. Nesse contexto, a matemática assume papel central, visto que está presente em diversas atividades cotidianas, especialmente diante da crescente utilização de tecnologias no dia a dia. Por essa razão, a matemática compõe a base da formação educacional do indivíduo.

Contudo, muitos estudantes percebem o ensino de matemática como algo desestimulante, uma vez que frequentemente é conduzido por meio de metodologias tradicionais, centradas na exposição de conteúdos e na repetição de exercícios, o que pode tornar as aulas maçantes (FELIPPE, 2022). Para Costa (2015), ensinar matemática representa um desafio, tanto pela escolha das metodologias adequadas quanto pelo desinteresse dos estudantes. A autora afirma que a escolha metodológica exige responsabilidade, pois deve considerar as particularidades dos conteúdos e as necessidades dos alunos.

Esse desinteresse, segundo Costa (2015), está relacionado, em muitos casos, à utilização de práticas pedagógicas que não dialogam com os interesses dos estudantes, refletindo a distância entre as percepções de professores e alunos sobre a disciplina. A autora ressalta que: “O professor imagina que seus alunos terão o mesmo prazer que ele tem ao lidar com a Matemática. No entanto, nem sempre o aluno consegue vê-la do mesmo modo, e por isso não a compreende” (COSTA, 2015, s.p.).

De forma semelhante, Boeri (2009, p. 155) argumenta que: “O professor tem imenso prazer com a matemática, delicia-se imaginando seus alunos a brincar com a matemática que ele adora. Entretanto, postos lado a lado com a matemática, qual é a atitude dos alunos? Nada! Não entendem, não perguntam.”

Com isso, os educandos acabam por desenvolver uma percepção distorcida da matemática, compreendendo-a como uma disciplina inacessível. Isso ocorre porque o ensino ainda se baseia fortemente na memorização de fórmulas e procedimentos desvinculados da realidade, o que contribui para sentimentos de medo e frustração. A consequência direta é o aumento da evasão escolar e da repetência, especialmente no ensino médio (COSTA, 2015).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) orientam que o ensino da matemática deve considerar o contexto sociocultural do aluno, aproximando os conteúdos dos problemas do cotidiano. Propõem, ainda, o uso de recursos lúdicos, concretos e da história da matemática, promovendo práticas investigativas que incentivem a autonomia e o pensamento crítico (BRASIL, 1998).

Nesse sentido, Gómez-Granell (2006, p. 275) destaca: “[...] se queremos ensinar Matemática de forma significativa, o primeiro que deveremos conhecer são os usos e as funções que o conhecimento matemático cumpre em nossa sociedade e situar a aprendizagem dos conceitos e procedimentos matemáticos no contexto de tais usos e funções.”

Conforme Kline (2017, p. 125), a escola precisa acompanhar as transformações sociais e tecnológicas, uma vez que as tecnologias da informação modificam não apenas a forma de comunicação, mas também os modos de pensar, trabalhar e decidir.

Entretanto, o ensino tradicional persiste, caracterizado por práticas expositivas e descontextualizadas. Para Santos (2017), a dificuldade em conectar os conteúdos à realidade dos estudantes torna a matemática desinteressante, prejudicando o desenvolvimento do raciocínio lógico. Felipe (2022) ressalta que a ausência de práticas inovadoras resulta em aulas desmotivadoras, perpetuando o insucesso escolar na disciplina.

Tecnologias Digitais no Ensino de Matemática

As tecnologias digitais modificaram profundamente as formas de interação, comunicação e aprendizagem. Atualmente, não se pode pensar em trabalho ou estudo sem o uso da internet e dos recursos tecnológicos.

No ensino da matemática, essas tecnologias oferecem oportunidades para tornar o processo de aprendizagem mais significativo, especialmente por meio da utilização de computadores, softwares e recursos online. Segundo Valente (2019, p. 3), a construção do conhecimento ocorre quando: “o aluno tem que buscar novos conteúdos e estratégias para incrementar o nível de conhecimento que já dispõe sobre o assunto que está sendo tratado via computador.”

A crescente presença das tecnologias no cotidiano dos estudantes tem motivado educadores a buscar metodologias que integrem recursos digitais ao ensino da matemática (BORBA; PENTEADO, 2021). Todavia, esse movimento exige reflexão sobre como utilizar adequadamente essas ferramentas para promover a compreensão dos conceitos matemáticos.

Muitos alunos questionam a utilidade de memorizar fórmulas, uma vez que podem facilmente acessá-las por meio de dispositivos digitais. Por outro lado, alguns professores demonstram resistência ao uso da tecnologia, por acreditarem que ela reproduz atividades que poderiam ser feitas no papel. Essa tensão evidencia a necessidade de uma mediação pedagógica consciente e eficaz.

Grando (2014) ressalta que as tecnologias não devem ser utilizadas como metodologia única, mas sim como complemento a outras estratégias, como jogos, resolução de problemas, modelagem matemática e o uso da história da matemática.

A adoção de tecnologias digitais tem sido considerada uma alternativa para enfrentar os desafios do ensino tradicional. Segundo Portela et al. (2024), plataformas digitais e jogos educativos tornam o aprendizado mais ativo e envolvente, facilitando a compreensão dos conteúdos. Para Moran (2015), essas tecnologias permitem a personalização do ensino, respeitando o ritmo de cada aluno. Nesse contexto, a gamificação tem se destacado como metodologia eficaz para aumentar o engajamento dos estudantes (PERES; LIMA; SILVA, 2020).

Matific e suas Contribuições para a Aprendizagem

O Matific é uma plataforma digital voltada ao ensino da matemática, que oferece jogos e atividades interativas baseados em uma abordagem lúdica e adaptativa. Seu principal diferencial está na personalização das tarefas, adequando o nível de dificuldade ao progresso de cada aluno.

De acordo com Larkin e Lowrie (2019), o uso do Matific promove um engajamento significativo dos estudantes ao transformar conceitos abstratos em experiências concretas. A plataforma incentiva a resolução de problemas, o pensamento crítico e a criatividade, alinhando-se às abordagens de aprendizagem ativa e significativa.

Outro ponto de destaque do Matific é sua capacidade de personalização, que, conforme Hattie (2009), é um dos fatores mais relevantes para o sucesso acadêmico. A plataforma fornece feedback imediato e ajusta automaticamente o nível das atividades, permitindo que os alunos avancem em seu próprio ritmo e facilitando intervenções pedagógicas mais eficazes.

Além dos aspectos cognitivos, o Matific contribui para o desenvolvimento de habilidades socioemocionais, como a autoconfiança e a persistência. Segundo Boaler (2016), a matemática

frequentemente gera ansiedade nos estudantes, o que impacta negativamente no desempenho escolar. Combinando desafios e elementos de gamificação, a plataforma estimula os alunos a superarem dificuldades e valorizarem suas conquistas, promovendo uma mentalidade de crescimento (DWECK, 2006).

Ademais, o Matific favorece o desenvolvimento do raciocínio lógico e da capacidade de generalização, competências essenciais para uma aprendizagem sólida. Larkin e Lowrie (2019) argumentam que a compreensão relacional — a habilidade de conectar conceitos e aplicá-los em diferentes contextos — é fundamental para uma aprendizagem duradoura.

No entanto, a implementação da plataforma enfrenta obstáculos. Santos e Pereira (2022) destacam que a ausência de formação adequada para os professores e a precariedade da infraestrutura escolar, como a falta de internet e de dispositivos, são barreiras significativas à adoção efetiva do Matific.

METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, cujo objetivo é investigar como a plataforma Matific tem sido abordada em estudos acadêmicos voltados ao ensino da Matemática. A revisão sistemática é uma abordagem metodológica que busca identificar, selecionar, organizar e analisar criticamente publicações relevantes, proporcionando uma visão abrangente e fundamentada sobre determinado tema. No presente estudo, pretende-se identificar os principais resultados, contribuições, lacunas e desafios relacionados ao uso do Matific em contextos educacionais.

Os procedimentos foram planejados e executados de forma rigorosa, com detalhamento das etapas de busca, seleção, análise e extração dos dados. A busca foi realizada entre fevereiro e março de 2025 nas bases de dados Scopus, Web of Science, SciELO e Google Acadêmico, escolhidas por sua relevância e abrangência no contexto da produção científica nacional e internacional. Foram utilizados os seguintes descritores, combinados com operadores booleanos: “Matific” AND “ensino de matemática”, “Matific” AND “educação matemática”, “Matific” AND “tecnologia educacional” e “Matific” AND “gamificação”. Os termos foram aplicados em português, considerando o foco em produções de países lusófonos, e as buscas abrangeram os campos de título, resumo e palavras-chave. Em ferramentas como o Google Acadêmico, foram utilizadas aspas para buscas exatas, a fim de refinar os resultados.

Foram definidos critérios claros de inclusão e exclusão. Incluíram-se publicações acadêmicas, como artigos científicos, dissertações, teses e trabalhos apresentados em eventos, publicadas entre os anos de 2014 e 2024. Esse intervalo foi definido por abranger desde os primeiros registros significativos do uso da plataforma até os estudos mais atuais, oferecendo um panorama atualizado da literatura sobre o tema. Os estudos deveriam estar redigidos em língua portuguesa, com o intuito de mapear a produção científica relacionada à realidade educacional de países lusófonos, especialmente o Brasil. Foram considerados apenas trabalhos que tratassem de forma significativa a utilização do Matific no ensino da Matemática, seja na prática pedagógica, na análise de impactos na aprendizagem, nas metodologias associadas ou na avaliação de aspectos como desempenho acadêmico e motivação dos estudantes.

Foram excluídos trabalhos duplicados, publicações que apenas mencionavam a plataforma de maneira superficial e textos de natureza opinativa, jornalística ou comercial, sem fundamentação científica ou metodológica. A seleção dos estudos seguiu duas etapas: inicialmente, realizou-se a leitura de títulos e resumos para triagem preliminar dos estudos potencialmente relevantes. Em seguida, os textos completos dos estudos selecionados foram lidos integralmente para verificar a pertinência com os objetivos da

pesquisa. A ferramenta utilizada foi um fluxograma adaptado do modelo PRISMA, documentando o percurso dos estudos ao longo da revisão.

Para complementar o fluxograma PRISMA e facilitar a compreensão do processo de seleção dos estudos, os dados quantitativos foram organizados na Tabela 1:

Etapa	Scopus	Web of Science	SciELO	Google Acadêmico	Total
Estudos identificados na busca inicial	36	29	22	30	117
Estudos após remoção de duplicatas	96	–	–	–	96
Estudos excluídos na triagem de títulos e resumos	–	–	–	–	61
Estudos lidos na íntegra	35	–	–	–	35
Estudos excluídos após leitura completa	–	–	–	–	17
Estudos incluídos na análise final	–	–	–	–	18

Essa apresentação em tabela visa oferecer maior transparência e clareza quanto ao número de estudos avaliados em cada etapa da revisão.

De cada estudo selecionado foram extraídas informações como autores, ano de publicação, tipo de publicação, nível de ensino abordado, objetivos, metodologia, principais resultados, benefícios e desafios mencionados, e conclusões. A análise dos dados seguiu uma abordagem qualitativa, com base na Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2011), visando compreender como o Matific tem contribuído para o ensino e a aprendizagem da Matemática, quais os principais obstáculos enfrentados em sua implementação e quais impactos são relatados nos estudos revisados.

Os dados foram organizados em categorias temáticas emergentes, como engajamento e motivação discente, desenvolvimento de habilidades matemáticas, metodologias pedagógicas associadas, formação docente e desafios de infraestrutura.

Embora esta revisão tenha seguido procedimentos rigorosos, reconhece-se a existência de limitações, como a dependência dos descritores utilizados na busca, a exclusão de estudos em outros idiomas e o acesso restrito a determinadas bases de dados. Ainda assim, acredita-se que os resultados obtidos possam contribuir de forma significativa para o debate acadêmico e para a reflexão crítica sobre o uso de tecnologias digitais no ensino da Matemática.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da revisão sistemática realizada, foi possível identificar benefícios, desafios, metodologias pedagógicas associadas e impactos do uso da plataforma Matific no ensino da Matemática, com especial

atenção ao seu uso nas séries iniciais e seus efeitos sobre o desempenho e a motivação dos alunos. Diversos estudos apontam que o Matific favorece o engajamento e a compreensão de conceitos matemáticos por meio de atividades interativas.

Almeida e Soares (2021) identificaram que a plataforma contribui para a aprendizagem de conteúdos abstratos ao apresentar desafios em formatos lúdicos e visuais. Essa abordagem permite uma experiência de aprendizagem mais significativa, especialmente nos anos iniciais do ensino fundamental, conforme indicado por Portela et al. (2024) e Carmagnani (2017).

Filho, Ramo e Meira (2019) destacaram que o Matific promove a personalização do ensino, oferecendo desafios adaptados ao ritmo de aprendizagem dos estudantes. Essa característica favorece a inclusão de alunos com diferentes perfis cognitivos, além de incentivar a autonomia e a autorregulação da aprendizagem.

Quanto ao desenvolvimento da resolução de problemas, Attard (2017) demonstrou que a gamificação presente no Matific estimula o raciocínio lógico por meio de situações-problema envolventes, promovendo um ambiente propício à construção de conhecimento matemático. De forma semelhante, Costa e Ribeiro (2023) verificaram que os alunos são desafiados a pensar de forma independente, fortalecendo a criatividade e o pensamento crítico.

Além dos efeitos sobre os alunos, há também impactos positivos na prática docente. Segundo Pereira (2019), o Matific oferece ferramentas que auxiliam no planejamento pedagógico, como atividades estruturadas e relatórios de desempenho, permitindo aos professores identificar lacunas de aprendizagem. Mendes et al. (2022) acrescentam que o uso da plataforma está alinhado às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), estimulando práticas inovadoras no ensino da Matemática.

Estudos como os de Ordones e Ferneda (2022) e Rodrigues e Inaguazo (2022) demonstraram que o Matific é especialmente eficaz nas séries iniciais, promovendo maior engajamento entre alunos que anteriormente apresentavam dificuldades na disciplina. A utilização de jogos digitais com representações visuais contribuiu para a motivação, facilitando a compreensão de conteúdos como frações e operações básicas. Portela et al. (2024) também observaram resultados positivos no desempenho dos estudantes em tarefas que exigem pensamento lógico e aplicação de conceitos matemáticos.

Nos estudos revisados, observou-se a associação do Matific a metodologias pedagógicas que valorizam a aprendizagem ativa, o uso de jogos educativos, a resolução de problemas e a mediação docente intencional. A abordagem da plataforma está em consonância com os princípios da teoria sociocultural de Vygotsky (1978), que destaca a importância da interação social no desenvolvimento cognitivo. Além disso, as propostas pedagógicas também se alinham às ideias de D'Ambrosio (1996), que defendem a utilização de metodologias criativas e contextualizadas para o ensino da Matemática.

Aprofundando-se nas implicações teóricas, os resultados desta revisão evidenciam a relevância do Matific como um recurso alinhado à perspectiva construtivista da aprendizagem, que considera o estudante como agente ativo na construção do próprio conhecimento. Ao propiciar um ambiente interativo e responsivo, a plataforma promove experiências de aprendizagem consistentes com os princípios de Piaget, ao favorecer a assimilação e acomodação de novos conteúdos por meio da ação e experimentação.

Do ponto de vista da Educação Matemática, o uso da tecnologia digital como ferramenta mediadora, conforme apontado por Ponte et al. (2003), assume papel central ao articular conceitos matemáticos a situações concretas e visuais, contribuindo para a formação de um pensamento matemático mais estruturado, significativo e contextualizado.

A plataforma também reforça os fundamentos da Teoria da Aprendizagem Multirrepresentacional, ao utilizar simultaneamente linguagem simbólica, visual e interativa, promovendo uma experiência que atende a diferentes estilos de aprendizagem. Em consonância com os estudos de Duval (2003), o Matific favorece a conversão e coordenação entre registros de representação semiótica (como gráficos, números e figuras), aspecto essencial para o desenvolvimento da compreensão conceitual em Matemática.

Além disso, os achados revelam que o uso da plataforma pode representar uma ponte entre os campos da Tecnologia Educacional e da Didática da Matemática, reforçando a necessidade de formação docente que integre ambos os saberes. O Matific, quando utilizado com intencionalidade pedagógica, exemplifica uma prática pedagógica inovadora que vai além do uso instrumental da tecnologia, contribuindo para uma ressignificação do papel do professor e das estratégias de ensino.

Apesar dos benefícios, alguns desafios ainda limitam o uso pleno da plataforma. Dias (2023) ressaltou que muitos professores carecem de formação contínua para incorporar tecnologias educacionais em suas práticas, o que compromete a efetividade da ferramenta. Ferreira e Almeida (2022) enfatizaram a importância de um planejamento pedagógico adequado para que o Matific esteja alinhado ao currículo escolar. A simples adoção da ferramenta, sem intencionalidade didática, não garante sucesso educacional. A infraestrutura tecnológica também se revelou um entrave. Santos et al. (2019) mencionaram a falta de acesso à internet e a dispositivos digitais, especialmente em escolas públicas, como um dos principais obstáculos à implementação da plataforma. Santos e Fernandes (2023) ainda destacaram que alunos com pouca familiaridade com tecnologia podem enfrentar dificuldades iniciais, o que reforça a necessidade do papel mediador do professor nesse processo.

A revisão evidenciou ainda a ausência de estudos longitudinais que avaliem os efeitos do uso da plataforma Matific ao longo do tempo. Embora Portela et al. (2024) apresentem resultados promissores em curto prazo, ainda é necessário investigar o impacto contínuo da ferramenta sobre o desempenho acadêmico e a permanência dos ganhos de aprendizagem em diferentes contextos educacionais.

Apesar dos avanços observados nos estudos revisados, uma lacuna importante ainda persiste na literatura: a escassez de pesquisas empíricas de longo prazo que investiguem os efeitos sustentados do uso do Matific no processo de ensino-aprendizagem da matemática. A maioria das investigações identificadas nesta revisão adota delineamentos de curto prazo, com foco em análises pontuais do desempenho ou da motivação dos alunos em contextos específicos e limitados temporalmente. Essa ausência compromete a compreensão mais robusta dos impactos duradouros da plataforma, tanto no desenvolvimento cognitivo dos estudantes quanto na transformação das práticas pedagógicas. Para a pesquisa educacional, essa lacuna aponta para a necessidade de conduzir estudos longitudinais que acompanhem os estudantes ao longo de vários anos escolares, possibilitando a avaliação do progresso contínuo, da retenção de conceitos matemáticos e da evolução das habilidades de resolução de problemas. No âmbito da prática pedagógica, a falta desses dados dificulta a tomada de decisões mais fundamentadas por parte de educadores e gestores quanto à adoção sustentada da ferramenta no currículo escolar. Tais estudos longitudinais, entretanto, apresentam desafios metodológicos relevantes, como a manutenção da amostra ao longo do tempo, o controle de variáveis externas (como mudanças curriculares, perfil docente ou contexto socioeconômico) e a necessidade de instrumentos avaliativos consistentes e comparáveis em diferentes momentos. Enfrentar esses desafios é fundamental para consolidar uma base empírica sólida que sustente a eficácia do Matific em termos de aprendizagem significativa, equidade educacional e inovação no ensino da Matemática.

LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Embora esta revisão sistemática tenha seguido critérios metodológicos rigorosos, algumas limitações devem ser consideradas. A primeira diz respeito à restrição linguística, uma vez que apenas estudos publicados em língua portuguesa foram incluídos. Essa escolha visou mapear a produção científica em contextos lusófonos, especialmente no Brasil, mas pode ter levado à exclusão de pesquisas relevantes produzidas em outros idiomas, o que limita a generalização dos achados em âmbito internacional.

Outra limitação está relacionada à seleção de descritores e aos operadores booleanos utilizados nas buscas. Apesar do cuidado na definição dos termos (“Matific” AND “ensino de matemática”, entre outros), é possível que variações na terminologia usada por autores em suas publicações tenham feito com que alguns estudos relevantes não fossem identificados.

Além disso, o acesso restrito a bases de dados pagas pode ter interferido na abrangência da busca. Embora tenham sido utilizadas bases de grande relevância (Scopus, Web of Science, SciELO e Google Acadêmico), há outras fontes que poderiam conter trabalhos pertinentes, mas que não foram incluídas por limitações de acesso institucional.

Esses fatores, em conjunto, podem ter influenciado o número e o perfil dos estudos selecionados para compor o corpus final, impactando os resultados da análise.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão sistemática buscou responder à seguinte questão norteadora: quais os benefícios, desafios e impactos do uso da plataforma Matific no ensino da Matemática? Com base nos 18 estudos analisados, conclui-se que o Matific representa uma ferramenta pedagógica inovadora, com forte potencial para transformar a prática do ensino da Matemática, especialmente nos anos iniciais do ensino fundamental.

Entre os principais benefícios identificados, destacam-se: o aumento do engajamento e da motivação dos alunos, a personalização da aprendizagem de acordo com o ritmo individual, o desenvolvimento de competências como raciocínio lógico, autonomia e resolução de problemas, e o apoio ao planejamento pedagógico por parte dos docentes. A plataforma, ao utilizar recursos de gamificação e interatividade, contribui para uma aprendizagem mais significativa e alinhada às diretrizes curriculares como a BNCC.

No entanto, a revisão também evidenciou desafios importantes, como a falta de formação continuada para os professores, a carência de infraestrutura tecnológica em escolas públicas e a necessidade de maior intencionalidade pedagógica no uso da ferramenta. Outro ponto crítico é a ausência de estudos longitudinais, o que limita a compreensão dos efeitos duradouros do Matific sobre o desempenho acadêmico dos alunos.

Como implicação prática, os resultados reforçam a importância de investimentos em políticas públicas voltadas à formação docente e à inclusão digital, a fim de ampliar as condições de uso eficaz da plataforma nas escolas. Além disso, recomenda-se que as instituições de ensino incorporem o Matific de forma planejada, alinhando seu uso aos objetivos de aprendizagem previstos nos currículos.

Para pesquisas futuras, sugere-se a realização de estudos de longo prazo, com diferentes populações escolares e contextos socioculturais, além de investigações que comparem o desempenho de alunos usuários da plataforma com grupos de controle. Também seria relevante analisar o impacto do Matific em outras

etapas da educação básica, como o ensino médio, e em disciplinas correlatas, como a Educação Financeira e a Estatística.

Em síntese, quando integrado de forma crítica e contextualizada, o Matific pode contribuir significativamente para uma educação matemática mais inclusiva, eficaz e alinhada às exigências do século XXI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.; SOARES, T. O uso da plataforma Matific no ensino da Matemática. *Revista de Educação Matemática*, v. 18, n. 2, p. 115–132, 2021.

ATTARD, C. The influence of teacher-student relationships on mathematics engagement. *Mathematics Education Research Journal*, v. 29, n. 4, p. 487–500, 2017.

BOALER, J. *Mathematical mindsets: unleashing students' potential through creative math, inspiring messages and innovative teaching*. San Francisco: Jossey-Bass, 2016.

BOERI, R. O prazer e o ócio: uma reflexão sobre o ensino de Matemática. *Revista Educação Matemática em Revista*, v. 14, n. 33, p. 155–170, 2009.

BORBA, M. C.; PENTEADO, M. G. *Informática e Educação Matemática*. 6. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2021.

CARMAGNANI, A. D. Gamificação e ensino da Matemática: a plataforma Matific em destaque. *Educação Matemática em Revista*, v. 23, n. 3, p. 76–91, 2017.

COSTA, R. A. Dificuldades no ensino da Matemática: desafios e possibilidades. *Revista Diálogo Educacional*, v. 15, n. 45, p. 375–390, 2015.

COSTA, V. M.; RIBEIRO, A. G. Desenvolvimento do raciocínio lógico com o uso de jogos digitais. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 14, n. 1, p. 85–102, 2023.

D'AMBROSIO, U. *Educação matemática: da teoria à prática*. São Paulo: Papyrus, 1996.

DIAS, M. F. Formação de professores para o uso de tecnologias no ensino da Matemática. *Revista Brasileira de Educação Matemática*, v. 28, n. 3, p. 55–68, 2023.

DWECK, C. S. *Mindset: a nova psicologia do sucesso*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2006.

FERREIRA, L. C.; ALMEIDA, S. R. Desafios da integração curricular de plataformas digitais. *Cadernos de Educação*, v. 40, n. 2, p. 213–229, 2022.

FILHO, A. M.; RAMO, L. S.; MEIRA, P. L. Tecnologias adaptativas no ensino da Matemática. *Revista Brasileira de Tecnologias Educacionais*, v. 7, n. 1, p. 102–118, 2019.

GÓMEZ-GRANELLI, P. Matemática significativa e os usos sociais do conhecimento matemático. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, v. 8, n. 2, p. 275–287, 2006.

GRANDO, R. C. O uso de jogos no ensino de Matemática. *Boletim de Educação Matemática*, v. 28, n. 50, p. 25–46, 2014.

HATTIE, J. *Visible learning: a synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. New York: Routledge, 2009.

KLINE, M. *O fracasso da matemática moderna*. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 2017.

- LARKIN, K.; LOWRIE, T. Exploring the affordances of a new digital technology for enhancing student engagement and learning in primary school mathematics. *Mathematics Education Research Journal*, v. 31, n. 2, p. 129–147, 2019.
- MENDES, C. A. et al. Práticas inovadoras e tecnologias digitais no ensino de Matemática. *Revista Científica de Educação Matemática*, v. 11, n. 1, p. 89–106, 2022.
- MORAN, J. M. O papel das tecnologias digitais na educação contemporânea. *Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância*, v. 13, n. 2, p. 33–49, 2015.
- ORDONES, M. M.; FERNEDA, E. Plataforma Matific como facilitadora da aprendizagem matemática. *Revista Eletrônica Saberes da Educação*, v. 13, n. 1, p. 25–42, 2022.
- PCN – PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS. Matemática: ensino fundamental. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- PEREIRA, M. R. O uso do Matific na prática pedagógica: possibilidades e limitações. *Cadernos de Educação Matemática*, v. 17, n. 2, p. 42–60, 2019.
- PERES, L.; LIMA, R.; SILVA, D. Gamificação no ensino da Matemática: análise de plataformas digitais. *Revista Educação e Tecnologia*, v. 17, n. 2, p. 123–140, 2020.
- PORTELA, D. C. et al. Impactos da plataforma Matific na aprendizagem matemática: uma revisão integrativa. *Revista Brasileira de Educação Básica*, v. 9, n. 1, p. 88–107, 2024.
- RODRIGUES, J. F.; INAGUAZO, M. L. A utilização de jogos digitais para o ensino de frações: uma experiência com o Matific. *Revista Práxis Educacional*, v. 18, n. 1, p. 112–130, 2022.
- SANTOS, A. R. A contextualização da Matemática no ensino básico. *Revista Ensino e Pesquisa em Educação Matemática*, v. 15, n. 2, p. 144–158, 2017.
- SANTOS, G. M. et al. Barreiras estruturais à adoção de tecnologias digitais na educação pública. *Revista Educação Pública em Debate*, v. 19, n. 3, p. 213–227, 2019.
- SANTOS, R. T.; FERNANDES, B. M. Desafios na transição para o ensino digital: a perspectiva dos alunos. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 21, n. 1, p. 65–80, 2023.
- VALENTE, J. A. O uso do computador no processo ensino-aprendizagem: uma abordagem construtivista. *Revista Educação e Tecnologia*, v. 10, n. 1, p. 1–14, 2019.
- VYGOTSKY, L. S. A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. São Paulo: Martins Fontes, 1978.

O USO DE TICS NA EDUCAÇÃO: MODELAGEM 3D E ROBÓTICA EDUCACIONAL COM A PLATAFORMA TINKERCAD

THE USE OF ICT IN EDUCATION: 3D MODELING AND EDUCATIONAL ROBOTICS WITH THE TINKERCAD PLATFORM

Wagner de Oliveira LUCCA

wagnerlucca@gmail.com

Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática

Universidade Cruzeiro do Sul

Juliano SCHIMIGUEL

schimiguel@gmail.com

Universidade Cruzeiro do Sul

Centro Universitário Anchieta

Vera Maria Jarcovis FERNANDES

vera.fernandes@cruzeirosul.edu.br

Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática

Universidade Cruzeiro do Sul

Eliana Alves GASPAR

elianna.lucca@gmail.com

Licenciada em Artes Visuais

Prefeitura de São Paulo

Resumo

O presente artigo aborda o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação na Educação, destacando a plataforma online Tinkercad como ferramenta pedagógica. O objetivo deste artigo é demonstrar os benefícios da integração da modelagem 3D e robótica educacional alinhado à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que enfatiza o letramento tecnológico e a formação científica. A ferramenta Tinkercad

permite modelagem 3D, simulações de circuitos que combinam eletrônica e programação, promovendo a aprendizagem ativa, defendidas como estratégias de ensino. A metodologia utilizada é bibliográfica e documental sobre a ferramenta Tinkercad. Algumas possibilidades mostram um resultado esperado, que é a redução de lacunas de aprendizagens quanto ao entendimento de assuntos técnicos, que em muitas vezes se tornam abstratos aos alunos, diante da falta de aplicação prática destes conceitos. Alguns autores que norteiam esta pesquisa, tais como (BENDER, 2014), (BERGMANN; SAMS, 2012), (CUNHA et al., 2024), (MARTINS, 1993), (MORAN, 2000), (PRENSKY, 2001), (SANTOS, 2023), (SCHIMIGUEL, 2021) e (SILVA; BLIKSTEIN, 2020) reforçam as reflexões aqui discutidas.

Palavras-Chave

TICs; Tinkercad; modelagem; robótica; educação.

Abstract

This article examines the use of Information and Communication Technologies (ICT) in education, with a particular focus on the online platform Tinkercad as a pedagogical tool. The objective is to demonstrate the benefits of integrating 3D modeling and educational robotics in alignment with the Brazilian Common Core Curriculum (BNCC), which emphasizes technological literacy and scientific education. Tinkercad offers functionalities such as 3D modeling and circuit simulations that combine electronics and programming, fostering active learning—an approach promoted as an effective teaching strategy. The methodology employed is based on bibliographic and documentary research related to the Tinkercad platform. The findings suggest that this integration can help bridge learning gaps, particularly in understanding technical subjects that often appear abstract to students due to the lack of practical application of these concepts. Several authors underpin this research, including (BENDER, 2014), (BERGMANN; SAMS, 2012), (CUNHA et al., 2024), (MARTINS, 1993), (MORAN, 2000), (PRENSKY, 2001), (SANTOS, 2023), (SCHIMIGUEL, 2021) and (SILVA; BLIKSTEIN, 2020), whose works support the discussions presented herein.

Keywords

ICT; Tinkercad; modeling; robotics; education.

INTRODUÇÃO

Atualmente o papel do educador é cada vez mais desafiador, principalmente se tratando das exigências impostas pela sociedade e educação moderna. É comum as diretrizes básicas se modificarem para acompanhar as mudanças tecnológicas da sociedade, bem como o público composto por nossos discentes, nativos digitais, conforme (PRENSKY, 2001), se tornaram muito mais questionadores e exigentes do que a décadas atrás.

Metodologias inovadoras são bem-vindas para contribuir e melhorar o processo de ensino-aprendizagem, como muitos autores apoiam. O uso de sala invertida, por exemplo, de acordo com (BERGMANN; SAMS, 2012), permite uma postura muito mais ativa e engajada por parte do aluno, transformando suas atitudes e permitindo que ele possa trilhar seu percurso de saber formulando suas próprias hipóteses e construindo novos conhecimentos durante este processo.

Além disso, outros autores, como (SCHIMIGUEL, 2021) e (MORAN, 2000), falam do uso das

Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) como ferramentas valiosas em sala de aula para promover o conhecimento, que é justamente o foco principal deste artigo que propõe demonstrar o uso de simuladores, baseados em ferramentas de "Computer Aided Design" ou em português Design Assistido por Computador (CAD), para o aprendizado de modelagem 3D e Robótica Educacional.

Educação e tecnologia estão diretamente relacionadas, conforme podemos observar nas legislações vigentes do país. Segundo a Constituição Federal (BRASIL, 1988), o artigo 205, temos a referência de que é dever da educação preparar o indivíduo não somente para a sociedade, mas também para o mercado de trabalho. Sabemos que nas últimas décadas o mercado de trabalho vem carecendo de mão de obra especializada com conhecimento em diversas áreas de tecnologia, tais como programação, robótica, entre outras. Ainda citando a Constituição Federal, (BRASIL, 1988), observamos o artigo 214 em seus incisos III, IV e V, que estabelecem o plano nacional de educação que possui como meta e estratégias de implementação a melhoria da qualidade do ensino, a formação para o trabalho e a promoção humanística, científica e tecnológica do País.

Partindo de um documento mais abrangente como a Constituição Federal e direcionarmos nossa atenção em documentos norteadores mais específicos da educação, como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) que define o conjunto das competências específicas e habilidades da educação básica em todas as etapas e a progressão das aprendizagens observamos apontamentos que corroboram com a proposta desta pesquisa. A BNCC, (BRASIL, 2018), estabelece competências e habilidades essenciais para a formação do estudante, incluindo o letramento tecnológico, ensino de ciências, física e matemática, e metodologias ativas. Em algumas competências gerais deste documento constatamos, orientações claras quanto exercitar a curiosidade intelectual e promover a investigação científica no aluno. Também observamos que a BNCC recomenda que tecnologias digitais sejam utilizadas de forma crítica, valorizando a diversidade e resolução de problemas, integradas com o uso de raciocínio lógico e tecnologias de ponta, como, por exemplo, a robótica.

Chegamos a um senso comum que a legislação brasileira reforça a importância de um ensino que contemple o pleno exercício da cidadania, o letramento tecnológico, o ensino de robótica e ciências, o aprendizado técnico e o uso de metodologias inovadoras. Tanto a Constituição Federal quanto a BNCC destacam a necessidade de preparar os estudantes para os desafios do mundo contemporâneo, incluindo as inovações tecnológicas e científicas.

Diante deste cenário, este artigo se propõe a demonstrar a utilização de ferramentas tecnológicas, como apoio em sala de aula, para desenvolvimento de projetos na área educacional e robótica, integrando a teoria da base comum, como, por exemplo, física e matemática, aplicada em projetos práticos. Também como proposta deste trabalho, reforçamos a ideia do uso de metodologias ativas, conforme (CUNHA *et al.*, 2024), colaborando que o aluno deve vivenciar a ciência e explorar as possibilidades, permitindo que os conhecimentos sejam assimilados de forma mais eficiente dentro de cenários reais que façam sentido, ao invés de trabalhá-los somente de forma teórica.

É o caso da plataforma online Tinkercad, desenvolvida pela empresa Autodesk, bastante conhecida pelas suas ferramentas para uso técnico, disponibilizada de forma gratuita ao público entusiasta. Esta ferramenta, de acordo com (AUTODESK, 2025a), é um simulador, que possui o objetivo de criação de modelos tridimensionais de forma bastante intuitiva, mesmo para usuários iniciantes, com pouco tempo de aprendizado, pois sua interface é bastante simples. O Tinkercad é bastante utilizado para desenvolvimento de projetos educacionais ou no ensino de robótica, permitindo que alunos e professores desenvolvam modelos complexos que posteriormente possam ser fabricados em impressoras 3D.

Esta ferramenta permite facilitar o entendimento de conceitos de geometria espacial, design 3D, eletrônica e programação, promovendo a aprendizagem ativa e de forma acessível.

Acreditamos que este artigo contribuirá para a área da educação, demonstrando possibilidades aos educadores para trabalhar de forma mais prática e efetiva, permitindo melhorar o processo de ensino-

aprendizagem, utilizando metodologias inovadoras, como modelagem 3D, robótica educacional e TICs como estratégias de ensino dentro da sala de aula.

METODOLOGIAS ATIVAS

A escola atual deve buscar alternativas para que os alunos possam construir os conhecimentos necessários para uma formação básica. Podemos observar no cenário da atualidade uma tendência tecnológica mundial que ultrapassa os portões da escola.

Unir tecnologias como as TICs no currículo escolar é um desafio da educação e dos professores, que buscam na formação continuada novas metodologias para aplicar na sala de aula. As metodologias ativas, conforme (CUNHA *et al.*, 2024), são estratégias pedagógicas, utilizadas com foco na aprendizagem, com enfoque problematizador, centrada no aluno protagonista e construtor de sua aprendizagem. A utilização de metodologias ativas na sala de aula desde o ensino fundamental até o ensino médio pode facilitar a aprendizagem de maneira diferenciada da aula convencional.

Podemos elencar várias metodologias ativas como a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) que, segundo (BENDER, 2014), é uma forma de ensino em que os alunos selecionam um problema do mundo real ou uma questão motriz e trabalham em equipe (cooperação), aprendendo conteúdos acadêmicos para encontrar a resolução deste problema. Assim, para unir o currículo, os professores podem trabalhar com vários projetos (ABP) durante o ano, tornando os alunos produtores de conhecimento. Outra metodologia ativa é a “sala de aula invertida”, na qual o que é estudado em casa, online e na escola são trocados, unindo teoria e prática, com discussões que acontecem na sala de aula, conforme (CUNHA *et al.*, 2024), de modo que o aluno seja protagonista deste processo de ensino-aprendizagem.

Além dessas metodologias já citadas, temos ainda, segundo (CUNHA *et al.*, 2024), a gamificação, estudo de caso, ensino híbrido (Blended Learning, BL), resolução de problemas, mapas conceituais entre outros. Estes modelos são foco de estudos de vários autores e pesquisadores que estão escrevendo artigos e livros sobre como essas metodologias são aplicadas e o que elas estão produzindo na sala de aula e seus respectivos resultados no processo de ensino-aprendizagem.

ROBÓTICA EDUCACIONAL

A experiência coletiva com a robótica permite que o aluno aprenda experimentando, a partir do uso de tecnologias, dos protótipos, de análises, do pensamento investigativo, comparações, da utilização de softwares e de um ensino contextualizado.

Conforme (SILVA; BLIKSTEIN, 2020), “A robótica, assim como as demais tecnologias educacionais, por si só não produz conhecimento, mas pode ser tornar uma estratégia pedagógica com grande potencial para a construção do conhecimento.” Essa estratégia pode mediar a aquisição e inter-relação dos conhecimentos (competências e habilidades que os alunos devem aprender) com a tecnologia, possibilitando a construção dos conhecimentos por meio de levantamento de hipóteses, do aprender fazendo e promovendo o protagonismo estudantil.

Segundo (MARTINS, 1993), um robô é formado pelas partes mecânica, hidráulica, elétrica, parte informática e eletrônica. Essas partes são subsistemas e o autor relaciona com o corpo humano e seus sistemas, que precisa de tudo funcionando em perfeito estado para um bom uso ou resultado. Ainda prossegue abordando a manipulação e motorização nos robôs, que se referem ao movimento de levantar, posicionar objetos e produzir força.

A robótica é uma tecnologia, uma ciência, que investiga e analisa os robôs. Na robótica educacional, há uma relação ou mediação entre o uso de robôs, ou plataformas robóticas e o processo de ensino-aprendizagem em consonância com (SILVA; BLIKSTEIN, 2020).

Alguns artefatos robóticos, como sensores, motores, plataformas, softwares de programação de robôs, possibilitam novos projetos e a construção de conhecimentos. Uma tecnologia que veio para expandir os projetos com a robótica educacional foi a impressora 3D, que permite a impressão de diversos protótipos e objetos.

A tecnologia está ligada à transformação, criação, a uma necessidade humana para melhorar um processo. O desenvolvimento tecnológico que envolve automação e robótica estão presentes no mercado de trabalho atual, deste modo, a escola deve preparar os estudantes para exercer as atividades tecnológicas neste mercado. Assim, temos cursos técnicos atrelados ou não ao ensino médio que visam formar alunos que serão profissionais que realizarão análises, manutenção em sistemas, programadores, enfim, profissionais que trabalharão com tecnologia. Esses cursos tecnológicos estão ligados às TICs e buscam formar os estudantes com uma base humanística e tecnológica.

TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TICs) NA EDUCAÇÃO

A educação requer mudanças e as tecnologias telemáticas¹ começam a ser investidas na educação (MORAN, 2000). Porém, aliar o processo de ensino-aprendizagem com esses recursos tecnológicos é um grande desafio da escola e do professor. Para (MORAN, 2000), o equilíbrio entre planejamento e criatividade deve fazer parte do cotidiano da escola, se adaptando ao imprevisto e sendo flexível. O autor usa o termo “espaço-temporal” e diz que a escola deve ser aberta à pesquisa e à comunicação. Ainda de acordo com (MORAN, 2000), para que o aluno possa aprender, os conhecimentos devem fazer parte do contexto pessoal, intelectual e emocional dele.

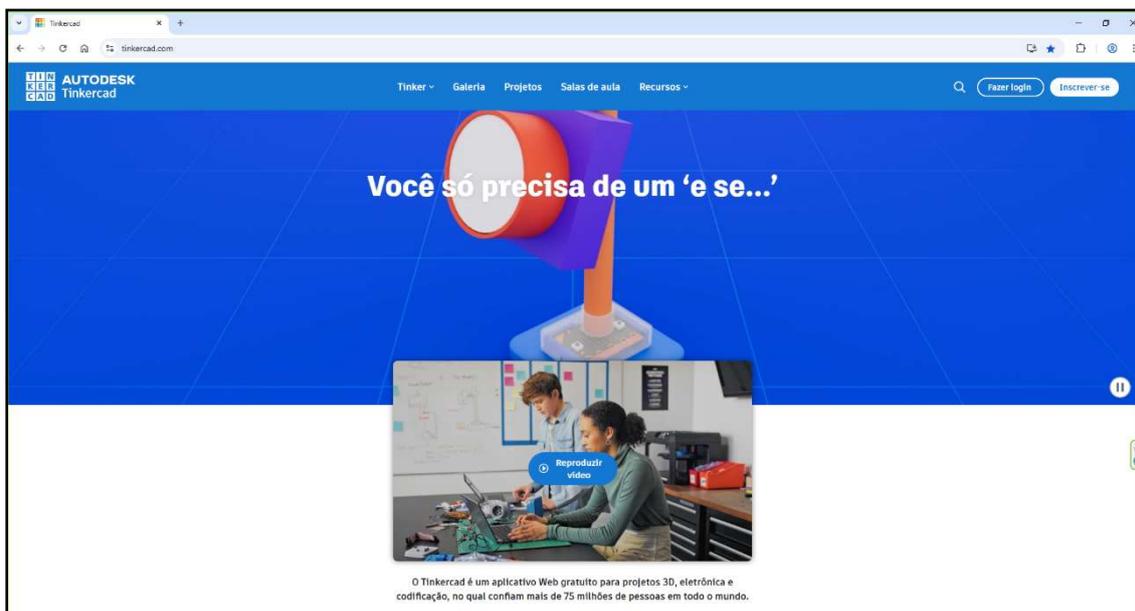
As tecnologias disponíveis possibilitam pensar em variáveis como o número de alunos por turma, apoio institucional, duração das aulas e espaço (físico ou virtual) para a execução das aulas. Em consonância com (MORAN, 2000), utilizar a internet como espaço virtual de “encontro e divulgação” entre o professor e o aluno pode favorecer as trocas e aquisição de conhecimento. Pode-se utilizar ferramentas da internet, fóruns, softwares, plataformas educacionais e e-mails para envio de trabalhos, pesquisas, análises, criações, etc.

A metodologia utilizada neste artigo se baseia na bibliografia documental sobre a ferramenta Tinkercad, apoiada em outros autores que defendem o uso de metodologias ativas e TICs para propiciar a melhoria do ensino-aprendizagem.

A utilização das TICs possibilita as aulas presenciais e a distância com o uso da internet e plataformas educacionais, como a plataforma online Tinkercad, observada na Figura 1, que está atrelada a estes conceitos de uso de tecnologias na educação, associando com conteúdo de exatas contidos na BNCC.

¹ Telemática: Segundo (INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ - IFCE, 2025) o termo telemática se refere ao conjunto de tecnologias da informação e da comunicação, resultante da junção entre os recursos das telecomunicações, da eletrônica e da informática.

Figura 4. Imagem da plataforma Tinkercad - Fonte: <https://www.tinkercad.com/>



Modelagem 3D

A partir da modelagem 3D de projetos de sólidos geométricos, é possível realizar a prototipação e virtualização destes objetos tridimensionais antes da produção física, favorecendo testes de design, melhorias e evitando tanto falhas de projeto, quanto perda de tempo, materiais e financeiras.

A modelagem 3D, segundo (AUTODESK, 2025b), pode ser definida como “o processo que usa softwares para criar uma representação matemática de um objeto ou forma tridimensional.”, sendo assim, esses objetos denominados “modelos 3D”, podem ser utilizados em vários projetos em setores da indústria, mídias, tecnologia e educação, em uma ampla gama de utilizações que exijam protótipos para estudo ou fabricação.

Durante a construção destes modelos tridimensionais nas ferramentas de modelagem, temos a possibilidade de exercitar vários conceitos matemáticos como: geometria plana, geometria espacial, coordenadas, matrizes, ângulos, arestas, etc. Combinando formas geométricas básicas tais como cubos, cilindros, pirâmides, hexágonos entre outros e alterando suas dimensões é possível criar formas complexas conforme a necessidade do projeto, que como dito anteriormente pode ser utilizado apenas para um estudo de design, estudo volumétrico ou até ser construído por impressoras 3D.

Atualmente temos um amplo leque em relação a softwares de modelagem 3D, que atende a maioria das necessidades. Podemos elencar entre as ferramentas mais conhecidas: Blender, Autodesk Inventor, Fusion 360, Autocad, Freecad, 3D Builder, OpenScad, entre outros.

Muitas destas ferramentas são proprietárias de código-fonte fechado e pagas, o que pode ser uma barreira para usuários entusiastas com poucos recursos, no entanto, a ferramenta Tinkercad apresentada, vem justamente a resolver este problema, permitindo a elaboração de projetos de forma simples, com foco na educação. Este artigo se propõe apresentar esta ferramenta e sugerir seu uso para modelagem 3D, projetos de eletrônica que exigem ambientes de simulação e programação com fins de automação.

Aliar a modelagem 3D com o uso da robótica educacional pode ser um desafio viável conforme expresso neste artigo através do uso da plataforma Tinkercad como ferramenta pedagógica na educação de alunos do ensino fundamental ao médio. Exemplos disso, conforme (SILVA; BLIKSTEIN, 2020), foi o projeto

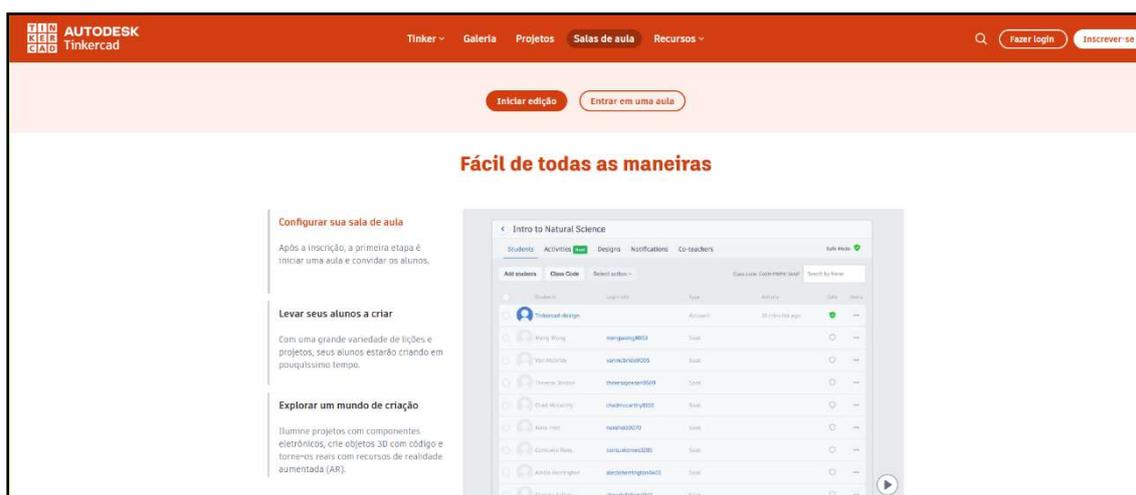
Jabuti Edu, que após adquirir uma impressora 3D reformulou o protótipo do chassi do robô utilizado como uma plataforma livre educacional.

FERRAMENTA TINKERCAD

Nesta sessão veremos com maiores detalhes as funcionalidades e possibilidades que a ferramenta Tinkercad pode proporcionar a professores e alunos integrados em ambientes de educação, sejam eles presenciais, remotos ou híbridos.

Segundo o próprio fabricante da plataforma online Tinkercad, (AUTODESK, 2025a) o uso desta ferramenta traz uma série de possibilidades e benefícios ao professor. Após realizar cadastro, de forma totalmente gratuita, o usuário terá acesso a todas as funcionalidades da plataforma como, por exemplo, criar salas de aula, onde é possível adicionar alunos, a estas turmas e posteriormente compartilhar projetos, para servirem de base para estudo de cenários, conforme a Figura 2 ilustra a seguir.

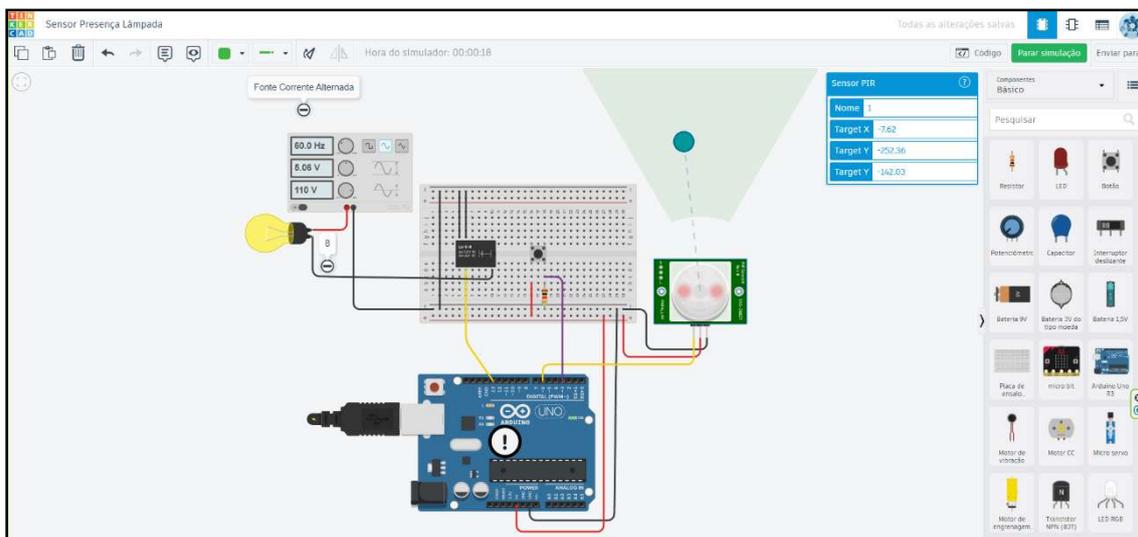
Figura 5. Criação de sala de aula e cadastro de alunos - Fonte: <https://www.tinkercad.com/>



Conforme destacado por (SANTOS, 2023), a utilização de simuladores educacionais pode potencializar a aprendizagem ao permitir que os estudantes explorem conceitos de forma prática e interativa integrados a conceitos de física, como eletricidade.

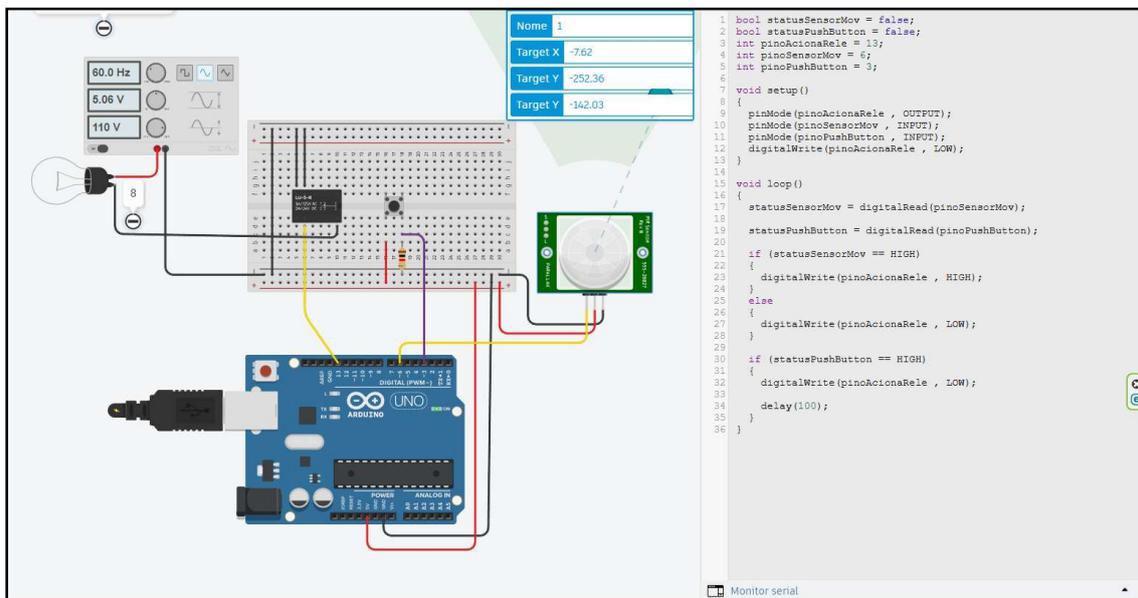
A Figura 3 exemplifica um projeto baseado em controle automatizado de iluminação residencial integrado com sensor de movimento, que pode ser desenvolvido e aplicado com as turmas, voltado a elétrica contida na BNCC, o qual pode ser simulado previamente no ambiente virtual antes da montagem física. Essa abordagem possibilita aos alunos compreenderem melhor os conceitos envolvidos, minimizando erros e otimizando o tempo de aula prática.

Figura 6. Simulação de projetos de eletrônica- Fonte: do próprio autor



Além disto, estes projetos contêm elementos de programação, que podem ser trabalhados em turmas de cursos técnicos, como Desenvolvimento de Sistemas, Física – parte eletrônica, entre outros, conforme demonstrado na Figura 4, onde observamos o código de programação realizado em C++² para controle do projeto de iluminação por sensor de presença anteriormente comentado.

Figura 7. Código de programação do projeto de iluminação - Fonte: do próprio autor



² C++: De acordo com (ARDUINO FOUNDATION, 2025) e (PACIEVITCH, 2025), o C++ é uma linguagem de programação de nível médio, baseada na linguagem C, desenvolvida por Bjarne Stroustrup na década de 80, e é a opção padrão para programar placas baseadas em Arduino.

Ressaltamos que, dentro do ambiente de simulação Tinkercad, podemos trabalhar vários conceitos de física, como proposta da BNCC, que são: criar cenários de circuitos elétricos, trabalhar as grandezas básicas da elétrica, entender o conceito de tensão, aplicações de conceito de corrente elétrica e resistência utilizando os componentes eletrônicos disponíveis na plataforma. Também podemos trabalhar análise de malhas, capacitância, diodos, transistores, motores de escova, servos motores, circuitos integrados (CIs), etc. Os temas não são limitados somente a elétrica, pois temos muitos componentes disponíveis, como, por exemplo, o sensor ultrassônico HC-SR04, do qual serve como base para trabalharmos conceitos de ondulatória, mais precisamente frequência, período, efeito Doppler ³.

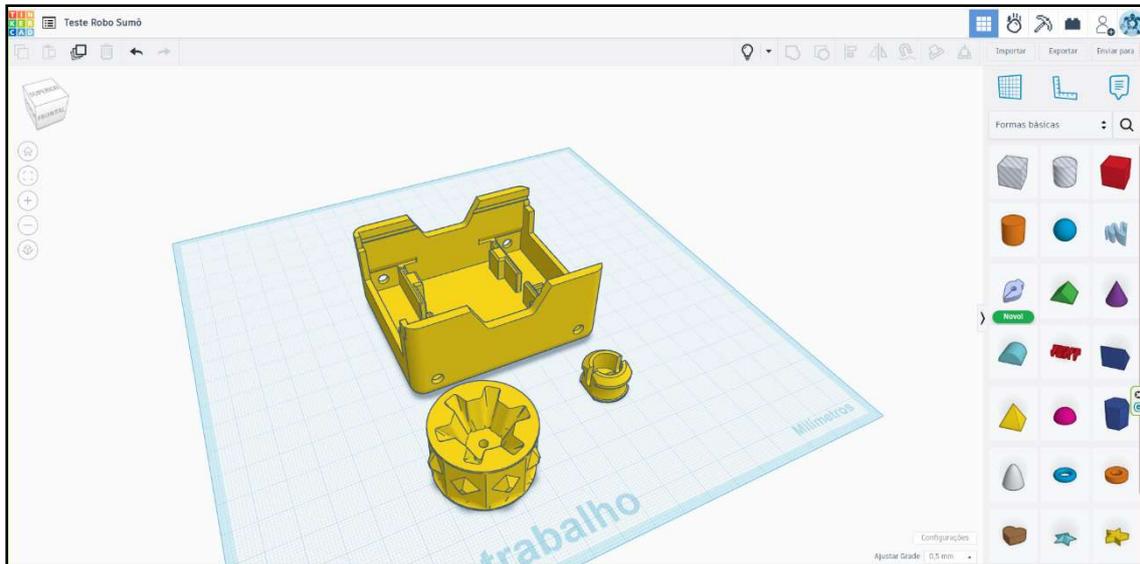
O ambiente também conta com placas de plataformas de embarcados, como Arduino e Microbit, para trabalhar programação de automação e robótica educacional. Estas placas de circuito possibilitam que sejam desenvolvidos vários projetos como, por exemplo, um simulador de semáforo que embora simples, permite aos alunos desenvolver conceitos de lógica de programação, princípios de elétrica básica (tensão e corrente elétrica, resistência, ligações de circuitos em série e paralelo) além de possibilitar o desenvolvimento de habilidades de construção da maquete, permitindo que o aluno aprenda com suas observações e tire conclusões quando erros forem cometidos. Nestes casos é papel do professor mostrar que na construção de um projeto alguns erros podem ser cometidos por falta de experiência, pois isso faz parte do aprendizado e que embora o aluno possa entender isso como algo ruim, o erro nos leva a reflexão e a busca de novas abordagens para alcançar os objetivos, fazendo com que ele ganhe novas experiências.

Como visto, as possibilidades são inúmeras, contando com a criatividade do professor que pode adequar estes cenários de estudo às suas necessidades educacionais. O ambiente Tinkercad está em constante evolução e aprimoramento, garantindo novas possibilidades ao longo do tempo.

Continuando com as possibilidades desta plataforma, de acordo com (AUTODESK, 2025a), temos, conforme ilustrado na Figura 5, a possibilidade de modelagem 3D para projetos de robótica ou com fins educacionais, sejam eles quais forem dentro desta linha de produção de modelos tridimensionais.

³ Efeito Doppler: Conforme (UFRGS, 2025), para uma fonte que se aproxima de um observador, as ondas que ela emite são captadas pelo observador com um comprimento de onda menor do que o da onda emitida. Quando a velocidade da fonte é de afastamento, o observador recebe ondas de maior comprimento de onda. A este efeito chamamos de Efeito Doppler.

Figura 8. Modelagem de estrutura para robô esteira - Fonte: do próprio autor



Observamos na Figura 6, um exemplo destes projetos modelados, onde a estrutura de um robô foi modificada para atender às necessidades de um projeto específico e posteriormente exportado em um formato de arquivo reconhecido por impressoras 3D, para poder ser confeccionado.

É possível observarmos também do lado direito de opções um menu contendo diversas formas geométricas tridimensionais básicas, das quais podem ser utilizadas e combinadas para este processo de modelagem de projetos novos ou modificações de projetos pré-existentes, tornando esta ferramenta um verdadeiro “canivete suíço”⁴, permitindo expandir projetos e adaptá-los conforme as especificações.

⁴ Canivete suíço: No texto, o termo “canivete suíço” está sendo usado na forma conotativa, associando as várias funcionalidades úteis do software à ferramenta canivete, que também possui várias utilizações.

Figura 9. Estrutura robótica confeccionada em impressora 3D (Fonte: do próprio autor)



A plataforma Tinkercad, de acordo com (AUTODESK, 2025a), possui documentação e tutoriais que podem acelerar o aprendizado, permitindo que em pouco tempo o usuário possa se familiarizar com o ambiente, criando projetos cada vez mais ricos em detalhes, sejam eles voltados para eletrônica ou para construção de modelos tridimensionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propõe explorar os benefícios da integração da modelagem 3D e robótica educacional alinhado à Base Nacional Comum Curricular (BNCC) principalmente no ensino de física e matemática, baseada na plataforma online Tinkercad para melhora do processo de ensino-aprendizagem, fazendo com que os alunos tenham mais engajamento e possam vivenciar na prática experiências que irão prepará-los para o mercado de trabalho, enfatizando o letramento tecnológico e a formação científica.

Outro resultado esperado, a partir desta pesquisa, está ligado à redução de lacunas de aprendizagens em relação ao entendimento de assuntos técnicos, que em muitas vezes se tornam abstratos aos alunos, diante da falta de aplicação prática destes conceitos.

A pesquisa traz o que é a robótica educacional e sua importância na educação atual, diante do mercado de trabalho e sociedade mais digitais, apontando autores que sustentam essa estratégia pedagógica.

Dentro dessa perspectiva tecnológica, o texto está estruturado na importância das TICs no processo

de ensino-aprendizagem e aponta metodologias ativas para aproximar o aluno à escola, construindo uma aprendizagem ativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO FOUNDATION. **Arduino / C++ / Arduino Documentation**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/guides/arduino-c/>. Acesso em: 18 maio 2025.

AUTODESK, Inc. **Software de modelagem 3D**. [S. l.], 2025b. Disponível em: <https://www.autodesk.com/br/solutions/3d-modeling-software>. Acesso em: 20 maio 2025.

AUTODESK, Inc. **Tinkercad**. [S. l.], 2025a. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>. Acesso em: 12 maio 2025.

BENDER, William N. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. Porto Alegre: Penso, 2014.

BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day**. Washington, DC: International Society for Technology in Education, 2012.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/>. Acesso em: 29 jan. 2025.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 29 jan. 2025.

CUNHA, Marcia Borin Da *et al.* **Metodologias Ativas: Em busca de uma caracterização e definição**, [s. l.], v. 40, Educação em Revista, p. e39442, 2024.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ - IFCE. **Tecnologia em Telemática**. [S. l.], 2025. Disponível em: https://ifce.edu.br/taua/campus_taua/cursos/superiores/tecnologicos/telematica. Acesso em: 14 maio 2025.

MARTINS, Agenor. **O que é robótica**. São Paulo: Brasiliense, 1993.

MORAN, José Manuel. **Ensino e aprendizagem inovadores com tecnologias**, [s. l.], v. 3, n. 1, Informática na educação: teoria & prática, 2000. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/InfEducTeoriaPratica/article/view/6474>. Acesso em: 13 maio 2025.

PACIEVITCH, Yuri; Infoescola. **C++ - Linguagem de Programação**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.infoescola.com/informatica/cpp/>. Acesso em: 18 maio 2025.

PRENSKY, Marc. **Digital Natives, Digital Immigrants Part 1**, [s. l.], v. 9, n. 5, On the Horizon, p. 1–6, 2001.

SANTOS, Douglas Cristiano. **A utilização do Tinkercad como proposta metodológica para aprendizagem significativa de eletricidade**. 2023. Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31905>.

SCHIMIGUEL, Juliano. **Metodologias Ativas, Tecnologias da Informação no Ensino-Aprendizagem e Ensino Remoto Emergencial (ERE)**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2021.

SILVA, Rodrigo Barbosa e; BLIKSTEIN, Paulo. **Robótica Educacional: experiências inovadoras na educação brasileira**. Porto Alegre: Penso, 2020.

UFRGS, Instituto de Física. **Efeito Doppler**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/doppler.htm>. Acesso em: 21 maio 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, Professor Dr. Juliano Schimiguel e Professora Dr. Vera Maria Jarcovis Fernandes, pelo constante aprendizado e orientação ao longo deste trabalho. Ao amigo Juliano Ratusznei, expresse minha gratidão pelas valiosas contribuições oferecidas durante a elaboração deste artigo. Agradeço, em especial, à minha esposa, Eliana Alves Gaspar, por sua participação contínua em meus projetos. Sua visão sensível e humanística, oriunda das artes visuais, complementa minha formação técnica e amplia significativamente nossas reflexões conjuntas, enriquecendo o desenvolvimento das ideias com novas e criativas perspectivas.