

EDITORA
UCL

Revista UCL

REVISTA ELETRÔNICA

TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO 2023/1



FACULDADE
UCL

DIRIGENTES

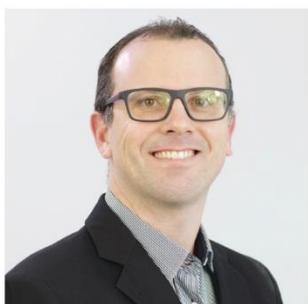
MEMBROS DA MANTENEDORA



Maria Ângela Loyola de Oliveira



Carlos Alberto Souza de Oliveira



Bruno Loyola Del Caro



Sandro Madureira Lobato

DIRETORA ACADÊMICA

Maria Ângela Loyola de Oliveira, DSc

DIRETOR

Paulo Vitor Bruno Onezorge



Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca da UCL - Faculdade do Centro Leste, Serra, ES, Brasil

R454 Revista UCL: Revista Eletrônica de Trabalhos de Conclusão de Curso 2023/1
[recurso eletrônico] / Faculdade UCL. ano 3, v. 5. n.1 (jan. /jul. 2023) –
Serra-ES: Faculdade UCL, 2023.

Periodicidade: semestral.

Publicação digital.

Disponível em: <http://editora.ucl.br/index.php/revista-tcc/index>

1. Educação. 2. Ensino Superior. 3. Trabalho de Conclusão de curso.
4. Faculdade UCL. 5. Engenharia. 6. Arquitetura. 7. Sistemas de
Informação. I. Título. II. Curso.

CDU 378

Apresentação da Revista de TCC



A educação superior confere ao indivíduo a habilidade de analisar, criticar e construir novos saberes, manifestando-se por meio de diferentes formas, entre elas a elaboração de teses e a criação de objetos de estudo.

A presente edição da Revista UCL de Trabalhos de Conclusão de Curso busca proporcionar à comunidade acadêmica da Faculdade UCL a oportunidade de conectar conhecimento técnico e científico. Isso é alcançado por meio da exposição de artigos elaborados por estudantes, sob a orientação de professores, ao término de suas trajetórias acadêmicas.

Os trabalhos apresentados nas áreas de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia, Gestão e Informática, nas páginas subsequentes, abordam temas de profunda relevância, evidenciando o conhecimento adquirido ao longo do período de formação. Além disso, representam a evolução da pesquisa científica e tecnológica.

Dessa maneira, é com grande satisfação que compartilhamos a 5ª edição da Revista UCL - Trabalhos de Conclusão de Curso. Esperamos que, caro leitor, tenha uma experiência singular e inovadora ao explorar o vasto campo do conhecimento apresentado. Desejamos a todos uma excelente leitura!

Paulo Vitor Bruno Onezorge

Expediente

Revista Eletrônica de Trabalhos de Conclusão de Curso.

Todos os direitos reservados. A reprodução de qualquer parte da obra, por qualquer meio, sem autorização da editora, constitui violação da LDA 9.610/98.

UCL – Faculdade do Centro Leste

ES-010, Km 06 - Manguinhos, Serra - ES, 29173-087 CEP 29.017-950 Tel.: (27) 3434-0100

E-mail: contato@ucl.br

Coordenação Editorial: Antônio Márcio Mendonça do Carmo.

Conselho Editorial: Aline Silva Sauer, André Luiz Amaral, Fabiano Correa da Silva, Fabiola Loyola Provedel Toscano, Lucas Antonio Silveira Silva, Zirlene Effgen.

Direção Executiva: Paulo Vitor Bruno Onezorge.

Procuradora Institucional: Karla Loyola de Oliveira.

Projeto Gráfico, editoração e formatação: Saulo Lobatto.

Responsável Técnico: Roger Gomes .

Bibliotecária Responsável: Cleydmara Santos.

Sumário

Administração - PROPOSTA ESTRATÉGICA DE CAPTAÇÃO DE RECURSOS PÚBLICOS PARA O TERCEIRO SETOR:	7
Engenharia Biomédica - DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA REABILITAÇÃO DE MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO JOGOS SÉRIOS.....	29
Engenharia Civil - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO DE CIMENTO TERNÁRIO COM CINZA VOLANTE E FILER CALCÁRIO	48
Engenharia de Computação - ARQUITETURAS DESCENTRALIZADAS DE DADOS: DATA MESH, UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.....	70
Engenharia de Controle de Automação - IMPLEMENTAÇÃO DO PROTOCOLO OPC PARA CONTROLE EM UMA PLANTA DIDÁTICA	89
Engenharia de Produção - VARIÁVEIS QUE IMPACTAM NA PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE PICKING EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO	112
Engenharia Elétrica - IMPACTOS NA PARAMETRIZAÇÃO DA PROTEÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM A CONEXÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	134
Engenharia Mecânica - ANÁLISE DE FALHAS PARA GARANTIR A PRECISÃO DE UMA MANDRILHADORA CNC	156
Engenharia Química - APLICAÇÃO DE MODELOS QUIMIOMÉTRICOS PARA ESTIMAR DBO E DQO EM ESGOTOS.....	179
Sistemas de Informação - PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL APLICADA A COMENTÁRIOS DE FEEDBACK E AVALIAÇÃO DE MELHORIA INSTITUCIONAL	198

ADMINISTRAÇÃO

**PROPOSTA ESTRATÉGICA DE CAPTAÇÃO
DE RECURSOS PÚBLICOS PARA O TERCEIRO
SETOR:**

Um estudo de caso no Centro Cultural Eliziário Rangel.



Revista UCL

PROPOSTA ESTRATÉGICA DE CAPTAÇÃO DE RECURSOS PÚBLICOS PARA O TERCEIRO SETOR: Um estudo de caso no Centro Cultural Eliziário Rangel.

*Strategic Proposal for Capturing Public Funds for the third sector: A case study at the
Eliziário Rangel Cultural Center.*

Geyzamara Ferreira Martins
Graduando
Administração
geyzamaramartins@ucl.br

Lidiamara Araujo Gani
Graduando
Administração
lidiamaragani@ucl.br

Luciene Santana
Orientador
Faculdade UCL
lucienesantana@ucl.br

RESUMO

Objetivo: O objetivo geral deste trabalho é identificar de forma estratégica as possíveis fontes de captação de recursos públicos para um centro cultural do terceiro setor.

Como objetivos específicos, busca-se identificar qual o papel do setor cultural na sociedade; explicar a importância da governança para o terceiro setor; analisar como é feito o planejamento estratégico financeiro no terceiro setor e identificar as formas atuais de financiamento para o setor cultural através de recursos do poder público.

Método: Quanto aos objetivos a pesquisa pode ser classificada como descritiva, quanto aos procedimentos a pesquisa pode ser classificada como Estudo de Caso, Pesquisa Bibliográfica e Pesquisa Documental.

Resultado: Conclui que este estudo pretendeu reconhecer a necessidade de ampliar as pesquisas no campo do terceiro setor. Além disso, destaca-se a relevância do estudo para o Centro Cultural em análise, pois demonstrou o significativo potencial financeiro que pode ser alcançado por meio de leis de incentivo à cultura. Ao projetar um aumento de até dez vezes na receita obtida por meio desses mecanismos, em relação ao maior valor já arrecadado pela instituição, o estudo destaca a importância desses recursos para a realização de ações artísticas e manutenção das atividades do Centro Cultural.

PALAVRAS-CHAVE: Terceiro Setor. Captação de Recursos Públicos. Leis de Incentivo à Cultura.

ABSTRACT

Objective: The general objective of this work is to strategically identify the possible sources of raising public funds for a third sector cultural center.

As specific objectives, we seek to identify the role of the cultural sector in society; explain the importance of governance for the third sector; analyze how strategic financial planning is carried out in the third sector and identify current forms of financing for the cultural sector through public power resources.

Method: As for the objectives, the research can be classified as descriptive, as for the procedures, the research can be classified as Case Study, Bibliographic Research and Documentary Research.

Result: It concludes that this study intended to recognize the need to expand empirical research in the field of the third sector. In addition, the relevance of the study for the Cultural Center under analysis is highlighted, as it demonstrated the significant financial potential that can be achieved through culture incentive laws. By projecting an increase of up to ten times in the revenue obtained through these mechanisms, in relation to the highest amount ever collected by the institution, the study highlights the importance of these resources for carrying out artistic actions and maintaining the activities of the Cultural Center.

KEYWORDS: Third sector. Public Fundraising. Culture Incentive Laws.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, o terceiro setor tem desempenhado um papel fundamental na promoção da justiça social e na busca por um mundo mais inclusivo e igualitário, essas organizações têm como principal objetivo promover o bem-estar social, a cidadania ativa e a participação da sociedade civil na busca por soluções para problemas sociais desenvolvendo atividades de interesse público e atuando como intermediários entre os setores público e privado com iniciativas de interesse coletivo e desempenhando um papel essencial durante crises, como evidenciado pela sua atuação direta durante a pandemia do coronavirus disease 2019 ou também chamada Covid-19 (BEZERRA, 2022).

O estudo realizado pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas - FIPE (2023) sobre a "Contribuição Econômica do Terceiro Setor" evidencia a importância desse setor na sociedade contemporânea, a pesquisa ressalta não apenas a participação direta do terceiro setor com 4,27% do valor adicionado ao produto interno bruto (PIB) brasileiro tendo como ano base 2015, gerando mais de 6 milhões de empregos, com um multiplicador de valor de produção no setor cultural de 1,60 (ou seja, para cada R\$ 1,00 investido, o setor artístico proporcionou um retorno de R\$ 0,60 à economia), como traz também os efeitos indiretos provenientes das relações comerciais com outros setores da economia, esses números demonstram a relevância do terceiro setor e sua capacidade de impulsionar a economia nacional.

Em pesquisa ao Mapa das Organizações da Sociedade Civil (Mapa OSC), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2023), podemos observar que apesar dos avanços da mobilização civil e dos crescentes números de novas instituições culturais do terceiro setor nos últimos anos, essa realidade ainda não é homogênea em todo território brasileiro, pois das 29 mil organizações sociais na área da cultura registradas, menos de 2% dessas entidades culturais estão localizadas no Estado do Espírito Santo, com apenas 473 registros. A situação é ainda mais restrita no município da Serra no Espírito Santo, onde são encontradas apenas 30 organizações culturais registradas, esses números revelam os desafios e a necessidade do fortalecimento das instituições culturais do terceiro setor na região capixaba (IPEA, 2023).

Frequentemente, as organizações do Terceiro Setor (em especial as do setor cultural), enfrentam desafios financeiros devido à falta de recursos estáveis e à dependência de financiamentos externos, em que lidam com complexidades regulatórias, engajamento de voluntários e múltiplas partes interessadas. Os gestores culturais que ora atuam em várias áreas dentro do projeto, por vezes, têm que conciliar seu papel com outras atividades profissionais particulares de forma a garantir seu sustento individual, devido à escassez de recursos da organização, o que dificulta o acesso ao mundo das regras, editais e critérios necessários para a manutenção e o desenvolvimento dos projetos sociais (PIPA, 2023).

Diante desse contexto surge o problema da pesquisa: **Quais as possíveis fontes de captação de recursos públicos para uma organização cultural do terceiro setor?**

O objetivo geral deste trabalho é: identificar de forma estratégica as possíveis fontes de captação de recursos públicos para um centro cultural do terceiro setor.

Como objetivos específicos, busca-se: identificar qual o papel do setor cultural na sociedade; analisar como é feito o planejamento estratégico financeiro no terceiro setor e identificar as formas atuais de financiamento para o setor cultural através de recursos do poder

público. É parte de um estudo de caso de forma a apresentar uma proposta estratégica de captação de recursos públicos para o Centro Cultural Eliziário Rangel (CCER), analisando como é feito atualmente e com base nos dados coletados estabelecer outras possíveis fontes de captação de recursos destinadas as entidades culturais do terceiro setor.

A importância desse estudo reside no reconhecimento da necessidade de ampliar os estudos empíricos sobre o terceiro setor, bem como na disseminação de informações sobre captação de recursos públicos. Além disso, espera-se contribuir para a sociedade ao apresentar as possíveis fontes de financiamento para instituições culturais do terceiro setor, visando garantir a continuidade de suas ações e promover o desenvolvimento artístico e social.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Terceiro Setor

Albuquerque (2006) indaga que o conceito de terceiro setor ainda é pouco discutido pelo meio acadêmico e enfrenta grandes dificuldades em ser debatido dentro das disciplinas clássicas, ele complementa afirmando que historicamente a expressão terceiro setor ainda é recente e surge de diferentes termos em diferentes locais, tendo origem nos Estados Unidos também reconhecido pelos termos setor voluntário ou organizações sem fins lucrativos; na Inglaterra com as expressões caridades e filantropia; na Europa com a expressão organização não-governamentais (ONGs) e na América Latina e no Brasil se utiliza atualmente o termo organização da sociedade civil.

Salamon e Anheire (1997) ao comparar os diferentes conceitos e termos usados para definir o terceiro setor propõe uma definição estrutural/operacional que compartilha de cinco características comuns ao conjunto de instituições do terceiro setor, sendo elas:

- **Formais:** uma organização pode ser definida como formal, quando esta demonstra algum tipo de institucionalização, seja por meio do registro público de suas atividades, seja por outras formas que sustentem sua existência formal, como encontros periódicos, representantes oficialmente reconhecidos ou outras formas de regularidade organizacional.
- **Privadas:** organizações que estão claramente separadas do Estado em termos institucionais. Neste projeto, organizações sem fins lucrativos não fazem parte da estrutura governamental, nem são dirigidas por conselhos compostos principalmente por representantes do governo.
- **Não Distributivas de Lucros:** caso a organização tenha excedentes econômicos, é estritamente proibido repassá-los de qualquer maneira aos sócios ou membros, devendo ser direcionados exclusivamente para a continuidade e aprimoramento das atividades principais da organização.
- **Auto-Gestão:** organizações são dotadas da capacidade intrínseca de exercer controle pleno e efetivo sobre todas as etapas e aspectos relacionados à gestão de suas atividades. Essa autonomia abrange desde a formulação de estratégias e planos operacionais até a implementação, monitoramento e avaliação de suas ações. Em outras palavras, elas detêm o poder decisório sobre a administração e direção de suas operações, garantindo a autonomia e a responsabilidade pela condução de suas atividades de forma independente e

adequada aos seus objetivos e missão.

- **Voluntárias:** a participação voluntária é um elemento fundamental, podendo ocorrer tanto nas atividades desenvolvidas pela organização quanto em sua gestão e direção.

No final do século XX, no Brasil, ocorreu o movimento de publicização dos serviços públicos, fortalecendo o terceiro setor, essa mudança consistiu na transferência de atividades antes realizadas exclusivamente pelo Estado para organizações sem fins lucrativos, permitindo a participação da sociedade civil na governança e fornecimento desses serviços essenciais, como saúde, educação, assistência social e cultura, em busca de maior eficiência e qualidade na prestação dos mesmos (AGU, 2019).

Voltolini (2019) ressalta que o terceiro setor possui uma natureza heterogênea e complexa, diante disso, é essencial reconhecer que fundações ou institutos de responsabilidade social de grandes corporações devem adotar abordagens de gestão distintas em relação a instituições filantrópicas de menor porte, uma vez que essas organizações diferem em termos de composição, tamanho, estrutura organizacional, finalidade e modo de operação, essa diversidade representa um desafio para os diversos atores envolvidos no terceiro setor, como profissionais, ativistas, pesquisadores e doadores.

2.2 Planejamento Estratégico do Terceiro Setor

O primeiro passo no planejamento estratégico é uma análise detalhada do ambiente externo e interno da organização, isso envolve a avaliação de tendências sociais, políticas e econômicas que podem afetar o desempenho de uma organização, bem como o exame de seus recursos internos, capacidades e competências, de acordo com Mintzberg et al. (2005), essa análise fornece uma compreensão panorâmica do ambiente e das capacidades organizacionais, identificando oportunidades e ameaças.

Uma ferramenta possível de análise do ambiente para elaboração do planejamento estratégico é a SWOT ou também conhecida como FOFA em que avalia o ambiente interno da organização levantando como **força** os pontos fortes que se destacam na instituição e **fraqueza** como o que se faz necessário melhorar dentro da organização. Já avaliando o ambiente externo é realizado um levantamento das **oportunidades** do mercado assim como as **ameaças** enfrentadas pela organização no desenvolvimento de suas atividades (CHIAVENATO, 2003).

Com base na análise do ambiente, a organização deve definir sua missão, visão e valores, sendo que a missão representa o propósito central da organização; a visão descreve o futuro desejado e os valores orientam o comportamento e a tomada de decisão da organização, esses fundamentos são essenciais para orientar o planejamento estratégico e alinhar as ações de uma organização com seus fundamentos (KAPLAN e NORTON, 2008).

A partir da análise e definição estratégica, a organização deve estabelecer objetivos claros e mensuráveis que pretende atingir, tais objetivos devem estar alinhados com a missão e visão da organização, e devem ser específicos, mensuráveis, atingíveis, relevantes e com prazos claros (DRUCKER, 2020).

O próximo passo é desenvolver uma estratégia que a organização irá utilizar para atingir os objetivos declarados, apresentando estratégias que podem incluir parcerias com

outras organizações; diversificar as fontes de financiamento; desenvolver programas específicos de forma a expandir o alcance da organização, tais escolhas dessas estratégias devem ser baseadas nas capacidades e recursos da organização, bem como nas oportunidades identificadas durante a análise ambiental (BRYSON, 2004).

A organização deve ter mecanismos de avaliação e monitoramento para medir o impacto de suas atividades e programas, a fim de garantir que estejam alinhados com sua missão e objetivos, e esses mecanismos são fundamentais para obter informações valiosas sobre a eficácia e eficiência das iniciativas, identificar aprendizados significativos sobre o trabalho realizado e tomar decisões embasadas no monitoramento contínuo que permitem acompanhar o progresso, ajustar estratégias quando necessário e otimizar os resultados alcançados, e ao adotar uma abordagem de avaliação e monitoramento sólida, a organização fortalece sua capacidade de criar um impacto positivo e direcionar seus recursos de forma mais efetiva no terceiro setor (DRUCKER, 2012).

A implementação efetiva da estratégia requer alocação de recursos, clarificação de responsabilidades e estabelecimento de indicadores de desempenho durante a implementação e monitoramento, estabelecendo o progresso em direção às metas, monitorando regularmente e sendo ajustado conforme necessário, logo o processo de aprendizado e a flexibilidade são elementos chave desta fase, permitindo à organização adaptar-se à mudança e melhorar continuamente as suas operações (MINTZBERG, AHLSTRAND e LAMPEL, 2005).

O planejamento estratégico está intrinsecamente ligado ao conceito de governança das organizações, no que diz respeito à estrutura de governança da organização, abrangendo órgãos de governança, como o conselho de administração, e mecanismos de prestação de contas perante a comunidade, financiadores e beneficiários, portanto esses elementos são essenciais para assegurar a transparência, a responsabilidade e a efetividade da organização do terceiro setor, dessa forma a governança estabelece diretrizes, define políticas e toma decisões estratégicas, garantindo a gestão adequada e a conformidade com os princípios e valores da organização, devendo o planejamento estratégico financeiro atender na prestação de contas a prática fundamental que promove a transparência e a confiança, permitindo que as partes interessadas avaliem o desempenho da organização e sua capacidade de cumprir sua missão e objetivos (MACHADO FILHO, 2020).

2.3 Instituições Culturais Do Terceiro Setor - Gestão e Desafios

Bezzerra (2022) argumenta que o caráter de emergência da pandemia da Covid-19, reconstrói e fortalece a mobilização junto à sociedade civil de forma a ampliar a compreensão dos direitos culturais e garantir efetividade do proposto no artigo 5º da Constituição Federal de 1988, ressaltou as fragilidades e potências das instituições culturais do terceiro setor que é vital e está em constante transformação junto à sociedade desempenhando um papel essencial na busca pela justiça social, na defesa dos direitos e na promoção de uma sociedade mais inclusiva e igualitária.

Costa (2021) conceitua gestão cultural como o conjunto de ações que garantem a eficácia e eficiência das atividades culturais na promoção do bem-estar social, nesse sentido, é importante considerar que o conceito de gestão, geralmente associado ao contexto empresarial, não deve ser dissociado do entendimento ampliado de cultura, sendo necessário,

portanto, priorizar práticas que viabilizem as potencialidades culturais nos territórios e desvincular a produção cultural de atividades turísticas e mercadológicas, para fortalecer a sociabilidade e promover uma maior aproximação com os espaços coletivos na construção do território.

Ramos (2023) relata que se faz necessário distinguir a terminologia de políticas culturais como princípios, meios e fins responsáveis por nortear as ações culturais, enquanto a gestão cultural busca equilibrar aspectos artísticos, culturais e econômicos disponíveis para execução dos princípios fins, portanto a gestão cultural faz parte do processo da política cultural. O autor ainda ressalta a importância da qualificação profissional como uma preocupação coletiva dentro da temática gestão cultural, com isso pode-se concluir que o papel que o gestor cultural desempenha é de grande relevância a sociedade, promovendo a diversidade, o acesso à cultura e a preservação do patrimônio cultural, no entanto, é necessário superar os desafios financeiros, fortalecer a governança e estabelecer parcerias eficazes para garantir a continuidade e o impacto positivo das organizações culturais (RAMOS, 2023).

Assim é necessário considerar as dificuldades apresentadas na prática desse novo campo profissional, indo além da definição conceitual de gestão cultural, pois a fragilidade da terminologia ainda pouco discutida em trabalhos acadêmicos, vem de encontro com a dificuldade de atrelar ferramentas gerenciais de controle e gestão as realidades das instituições culturais, evidenciando assim a necessidade da profissionalização do setor cultural (ALBURQUERQUE, 2006).

De acordo com Voltolini (2019), reaparece atualmente, no âmbito da ciências da administração, a gestão do terceiro setor, com o desafio partindo da afirmativa que organizações do terceiro setor não são empresas e nem devem se comportar como tal, evitando conflitos com valores e práticas que vão de encontro à sua finalidade, assim como não é razoável rejeitar fundamentos úteis da gestão apenas por preconceito ou falta de informação, uma vez que esses princípios podem ser aplicados mesmo em um campo de conhecimento aparentemente antagônico, diante da urgência por resultados e da necessidade de construir a sustentabilidade de suas ações das organizações da sociedade civil, reforçando portanto a profissionalização da gestão sem descaracterizar a atividade- fim, que no caso de centros culturais é a cultura.

Além disso, o terceiro setor enfrenta desafios únicos que exigem um planejamento estratégico adequado a falta de recursos financeiros estáveis e a dependência de financiamentos externos e doações, pois as organizações do terceiro setor frequentemente se deparam com dificuldades ao equilibrar suas necessidades financeiras com a prestação de serviços e o cumprimento de suas missões sociais, tendo que lidar com complexidades regulatórias, engajamento de voluntários e uma ampla gama de partes interessadas no trabalho da organização, entre os desafios destacam a importância do planejamento estratégico para orientar as ações e garantir o sucesso sustentável de uma organização (VOLTOLINI, 2019).

2.4 Fontes de Recursos Financeiros para Setor Cultural

Segundo Carneiro (2012) a colaboração e parcerias estratégicas desempenham um papel fundamental no terceiro setor pois, ao estabelecer parcerias com organizações do setor público, empresas privadas, organizações internacionais e outras entidades da sociedade civil, o terceiro setor amplia suas oportunidades de impacto e fortalece sua capacidade de alcançar

objetivos compartilhados. Essas parcerias possibilitam a combinação de recursos, conhecimentos e experiências, resultando em sinergias positivas e maior eficácia na abordagem de questões sociais complexas, logo ao trabalhar de forma colaborativa, o terceiro setor potencializa seu alcance e contribui de maneira significativa para a construção de uma sociedade mais justa e equitativa (CARNEIRO, 2012).

De acordo com uma pesquisa preliminar realizada em 2021 pela Iniciativa PIPA, constatou que 90% das organizações pertencentes a coletivos, movimentos e organizações de base favelada e periférica enfrentam dificuldades para obter financiamento, e aproximadamente um terço dessas organizações gera menos de 5 mil reais por ano. A pesquisa também revelou que 54% das iniciativas dependem de recursos próprios da equipe para funcionar e dessas, 40% destacaram que o maior desafio enfrentado pela instituição é remunerar sua equipe, que são os responsáveis por transformar a realidade com suas próprias mãos. Esses dados ilustram a precariedade e a urgência que permeiam a atuação dos coletivos, movimentos e organizações periféricas, grupos que contribuem para promover pequenas revoluções cotidianas em suas comunidades e territórios (PIPA, 2023).

No novo Decreto nº 11.453/23, assinado publicamente durante o Ato Pelo Direito à Cultura, traz normas unificadas que impulsionam celeridade e transparência nos processos, uniformizando a execução dos recursos de forma descentralizada entre os entes federativos, flexibilizando os mecanismos de fomento à cultura brasileira. O presidente do Fórum Nacional de Secretários e Dirigentes Estaduais de Cultura, Fabrício Noronha, correlaciona a descentralização do recurso anunciado pelo MinC (Ministério da Cultura), com o reforço ao setor cultural no cenário estadual e municipal na geração de emprego e renda e no fortalecimento dos territórios pela efetiva aplicação dos recursos através de editais, chamamentos, licitações, parcerias entre outros possíveis vínculos com os gestores culturais (NORONHA, 2023).

Um aspecto importante a ser destacado é que os gestores de projetos sociais frequentemente enfrentam a necessidade de atuar em diversas áreas, devido à escassez de recursos para a manutenção dos projetos e para atender às necessidades individuais dos trabalhadores. Isso cria uma situação em que o acesso ao mundo das regras, editais e critérios se torna praticamente inacessível para aqueles que dedicam grande parte de seu tempo ao trabalho e à gestão de projetos sociais, culturais, ambientais, entre outros (PIPA, 2023). No Quadro 1 é apresentado de forma concisa os objetivos, beneficiários e fontes de financiamento de leis que estão associadas ao incentivo à cultura, também conhecidas como leis de captação, no cenário nacional e também estadual, sendo uma delas a Lei de Incentivo à Cultura Capixaba (LICC) aplicada no estado do Espírito Santo (ES), onde está localizado o Centro Cultural Elizário Rangel (CCER).

Quadro 1 – Leis de Incentivo à Cultura no Brasil

Lei	Objetivo Principal	Beneficiários	Fontes de Financiamento
Programa Nacional de Apoio à Cultura (Pronac), também conhecida como Lei Rouanet Lei nº 8.313/ (1991).	Incentivar e financiar projetos culturais por meio de renúncia fiscal e captação de recursos junto a empresas e pessoas físicas.	Produtores, gestores e fazedores de cultura e espaços culturais.	Troca de incentivos fiscais pelos Patrocínios Privados.
Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil (MROSC) Lei nº 13.019/ (2014).	Estabelecer diretrizes para a atuação das Organizações da Sociedade Civil (OSC), definindo suas formas de parceria com o Estado, o regime jurídico, a transparência e a prestação de contas.	Organizações da Sociedade Civil (OSC).	Parcerias com o Poder Público.
Lei de Incentivo à Cultura Capixaba (LICC) Lei nº 11.246/ (2021).	Impulsionar a cultura no estado do Espírito Santo, estabelecendo diretrizes e controlando o financiamento de projetos culturais por meio de renúncia fiscal.	Produtores, gestores e fazedores de cultura e espaços culturais do Espírito Santo.	Troca de incentivos fiscais pelos Patrocínios Privados.
Lei Aldir Blanc 2 Lei nº 14.150/ (2021).	Sua primeira versão de caráter emergencial, visava apoiar o setor cultural durante a pandemia COVID- 19, é reformulada e instituída na segunda versão como Política Nacional de Fomento a Cultura disponibilizando recursos financeiros para artistas, espaços culturais e outros profissionais da área.	Produtores, gestores e fazedores de cultura e espaços culturais.	Recursos/Fundos vindos da União.
Lei Paulo Gustavo Lei Complementar nº 195/(2022).	Promover a inclusão social, a valorização da diversidade cultural e o fortalecimento de iniciativas de adesão à cultura, que visem combater e mitigar os efeitos sociais e econômicos da pandemia da Covid-19 sobre o setor cultural.	Produtores, gestores e fazedores cultura e espaços culturais.	Fundo Setorial Audiovisual (MinC - Ministério da Cultura).

Fonte: Elaborado pelas autoras adaptado das Leis Nacionais e Estadual (ES) de Incentivo à Cultura (2023)

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa possui como objetivo geral **identificar de forma estratégica as possíveis fontes de captação de recursos públicos para um centro cultural do terceiro setor.**

Quanto a metodologia a pesquisa pode ser classificada como descritiva, que segundo Gil (2012) é uma abordagem que busca descrever características, fenômenos ou relações existentes em determinado contexto. Esse tipo de pesquisa tem como finalidade principal a obtenção de informações detalhadas e precisas sobre o tema em estudo, permitindo uma

compreensão mais aprofundada dos aspectos observados. A pesquisa descritiva é essencial para fornecer uma base sólida de dados e evidências que podem ser utilizados no desenvolvimento de estratégias, tomadas de decisão e formulação de políticas.

Quanto aos procedimentos a pesquisa pode ser classificada como Estudo de Caso, Pesquisa Bibliográfica, Pesquisa Documental. Estudo de caso, pois foi realizado uma análise a partir da coleta de dados, oriundo de entrevistas, observações e documentos sobre um local específico; Pesquisa bibliográfica na qual foram levantados e analisadas publicações científicas já existentes sobre o tema em questão, com o intuito de embasar teoricamente o estudo; se trata também de uma pesquisa documental por envolver análises de leis, regulamentos e decretos obtendo informações bases para a pesquisa (GIL, 2012).

3.1 Coleta de Dados

A Instituição escolhida para o Estudo de Caso foi o Centro Cultural Eliziário Rangel (CCER). O levantamento sobre captação de recursos públicos para uma instituição cultural do terceiro setor foi realizado com fichamentos (resumos) das principais fontes de captação de recursos públicos já captados pelo CCER. E, foi delimitado concentrar os estudos em recursos públicos uma vez que corresponde a principal fonte de renda da instituição, sendo em 2023 responsável por 80% da sua receita. Outras fontes de renda da organização estão distribuídas em 1% de doações; 3% de concessão de uso do espaço para atividades culturais e 16% de recursos próprios provenientes das contribuições pagas pelas oficinas ofertadas. A coleta dos dados foi feita através de contato direto com o local, revisão literária e documentos legais.

De acordo com a demanda do CCER e a fim de expandir sua captação de recursos através da participação em editais com base em diferentes leis de incentivo cultural foi apresentado como objetivo ampliar sua captação de recursos para o ano de 2024 com um aumento de mais de 10 vezes do valor capturado em 2021 (ano de maior receita da instituição), propondo ao passo de ação adequar os projetos já existentes na organização as normas e regras dos editais lançados pelas leis de incentivo à cultura estabelecendo indicadores de desempenho por meio da nota avaliada do projeto apresentado no processo de seleção e avaliação da banca de curadores dos editais.

4. ESTUDO DE CASO: CENTRO CULTURAL ELIZIÁRIO RANGEL

O Centro Cultural Eliziário Rangel (CCER) foi selecionado como o local de estudo de caso para este artigo. Localizado no bairro São Diogo II, na Serra/ES, essa associação cultural sem fins lucrativos está em pleno funcionamento desde novembro de 2016. O CCER tem como objetivo principal a promoção, difusão e democratização de ações artísticas e culturais na sociedade serrana e capixaba. Ao longo do tempo, o CCER (Figura 1) tem se destacado como um espaço multicultural de referência, sendo o único no município da Serra a apresentar essas características. Além disso, o centro abriga um teatro, sendo o pioneiro na cidade a oferecer esse tipo de estrutura. Suas atividades, programas e projetos culturais e artísticos são desenvolvidos de forma contínua e abrangem diversas linguagens. O CCER recebeu o reconhecimento pelo trabalho desenvolvido ao ser nomeado como Utilidade Pública Municipal pela Câmara de Vereadores da Serra publicado em setembro de 2021 na Lei 5.356. Com um público médio mensal de 5 mil visitantes presenciais, o centro cultural é aberto ao

público em geral de segunda-feira a sábado, das 8:00h às 21:00h, com entrada gratuita (TVE, 2022).

Assim é o Centro Cultural

- Com quatro pavimentos, a instituição é dividida em onze espaços de arte e cultura batizados com nomes da História da Insurreição de Queimado.



Figura 1 – CCER. Dossiê (CCER, 2022)

No que diz respeito às instalações físicas, o CCER (Figura 2) conta com uma edificação de quatro pisos/andares, totalmente adaptada e adequada às atividades que são realizadas no local. Se destacam o teatro, com capacidade para 80 pessoas e equipado com um tablado de madeira, iluminação cênica e sonorização, além de uma sala multiuso voltada para linguagens do corpo, dança e audiovisual. O centro também possui uma galeria de arte para exposições temporárias, uma biblioteca com um acervo físico de 8 mil exemplares, uma biblioteca virtual com mais de 20 mil exemplares, incluindo audiolivros para pessoas com baixa visão e/ou não alfabetizadas, e uma residência artística para experiências e intercâmbios culturais planejados. O CCER ainda oferece um espaço de convivência denominado Praça 849, um terraço multiuso com um projeto de observação astronômica e um mirante com uma vista panorâmica da cidade (CCER, 2022).



Figura 2 – Os espaços dentro do CCER. Dossiê (CCER, 2022)

A estrutura organizacional do CCER tem como componentes na diretoria executiva: Presidente, com formação de mestre em psicologia institucional; Vice-presidente, que é mestre em filosofia; Diretora Secretária, graduada em biblioteconomia e Diretora Tesoureira, graduada em administração. No conselho fiscal são três conselheiros, com formação de bacharel em direito e produção audiovisual; mestre em administração pública; e economista e mestre em filosofia. Na equipe soma-se uma coordenadora artística, duas estagiárias de administração e biblioteconomia, 18 oficinas voluntários, 15 artistas residentes em dois grupos de teatro, 35 prestadores de serviços comunitários que auxiliam nas atividades diárias além de uma agência de comunicação e uma contabilidade especializada no terceiro setor.

O CCER possui parcerias com outros 16 espaços culturais formando o Coletivo de Espaços Culturais Independentes do ES a COOP, uma iniciativa em prol de mobilizar e articular políticas públicas não competitivas e mais efetivas para o crescimento do cenário cultural. Outras importantes parcerias ou redes de apoio e articulação com a cidade se faz junto ao CRAS – Centro de Atenção Psicossocial, CAPS – Centro de Referência da Assistência Social, CRJ – Centro de Referência da Juventude, Centro POP – Centro de Referência Especializado para População em Situação de Rua no Município de Serra, Vepema – Vara de Execução das Penas e Medidas Alternativas, Secretaria de Educação da Serra além das Secretarias de Cultura do Município de Serra e Estado ES entre outras. Dessa forma, o CCER representa o primeiro e único empreendimento cultural e artístico de grande magnitude na cidade de Serra, tornando-se objeto de estudo deste trabalho.

4.1 Missão, Visão e Valores estratégicos do CCER

O Centro Cultural Eliziário Rangel possui como:

- **Missão:** promover e difundir ações artísticas e culturais na sociedade capixaba;
- **Visão:** ser uma instituição cultural de referência na intersecção de linguagens artísticas e culturais democratizando o acesso aos bens culturais à sociedade capixaba;
- **Valores:** pautados na consciência social, democracia, diversidade, pluralidade, liberdade, autonomia e responsabilidade (CCER, 2022).

5. RESULTADOS ENCONTRADOS

5.1 Análise SWOT (FOFA)

As autoras utilizaram a ferramenta de análise SWOT para apresentar o cenário da instituição CCER. Essa análise permitiu identificar os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças que impactam a organização. Os resultados estão apresentados no Quadro 2, oferecendo uma visão abrangente do contexto em que a instituição se encontra.

Quadro 2 – Análise SWOT do CCER

Análise dos Cenários - CCER			
Forças	Oportunidades	Fraquezas	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> - Se destaca como um espaço multicultural de referência, sendo o único no município da Serra a apresentar essas características; - O reconhecimento pelo trabalho desenvolvido ao ser nomeado como Utilidade Pública Municipal pela Câmara de Vereadores da Serra; - Qualificação profissional por parte dos gestores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ser um espaço multicultural diferenciando das 30 organizações culturais registradas na região; - Diversidade nas formas de captação de recursos públicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desafios financeiros devido à falta de recursos estáveis e à dependência de financiamentos externos; - Se faz necessário fortalecer os princípios da governança na organização. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade de firmar convênios com instituições culturais do terceiro setor voltadas a manutenção e funcionamento do espaço e não somente de projeto; - Complexidade e as particularidades entre as diferentes formas de captação de recursos que envolve um mundo de regras, editais e critérios que hora podem se conflitar entre si.

Fonte: Elaborado pelas autoras adaptado de Chiavenato (2003)

Em resumo, a organização CCER possui pontos fortes significativos, como seu caráter multicultural e reconhecimento local. Há oportunidades a serem exploradas, principalmente no que

diz respeito à captação de recursos públicos. Sendo importante tentar solucionar as fraquezas, como os desafios financeiros e a necessidade de fortalecer a governança interna. A conscientização das ameaças, como a baixa visibilidade do setor e a complexidade das regras de captação de recursos, permite que a organização tome medidas proativas para superá-las e alcançar maior sucesso e impacto em suas atividades culturais.

5.2 Análise das Parcerias

No Quadro 3 de análise de Parcerias, são correlacionados os parceiros que possuem potencial para aumentar as chances de captação de recursos públicos e conseqüentemente a receita, compartilhando recursos, promovendo o cenário artístico, financiando as atividades do CCER, além das parcerias estratégicas que visam aumentar o impacto social do financiamento público. Muitas vezes, os editais exigem até contrapartidas sociais e uma visão para fortalecer a economia local. As parcerias podem abranger várias estratégias, desde a elaboração coletiva de projetos até a atuação como representante jurídico de artistas e profissionais cujos projetos já foram aprovados em editais. Além disso, é possível estabelecer compartilhamentos ou parcerias diretas com financiadores.

Quadro 3 – Análise de Parcerias do CCER

Análise das Redes – CCER				
Parceiros	Compartilhamento de Recurso	Novas Fontes de Financiamento	Aumento do Impacto Social	Promoção Artística Cultural
Produtores e Fazedores de cultura	x	x		x
COOP	x	x		x
Vepema		x	x	
Redes (CRAS CAPS CRJ Centro Pop)			x	
Secretaria de Educação	x		x	
Secretaria de Cultura da Serra	x	x		
Secretaria de Cultura do ES	x	x		
Ministério de Cultura		x		

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023)

No terceiro setor, a colaboração e as parcerias estratégicas desempenham um papel de extrema importância. Ao estabelecer parcerias com organizações do setor público, empresas privadas e outras entidades da sociedade civil, o terceiro setor não apenas amplia suas oportunidades de impacto, mas também fortalece sua capacidade de alcançar objetivos compartilhados. Essas colaborações proporcionam um ambiente propício para a criação de soluções inovadoras, o compartilhamento de recursos e conhecimentos, além de potencializar o alcance de resultados significativos na promoção do bem-estar social e na construção de comunidades mais justas e sustentáveis.

5.3 Metas e objetivos para captação de recursos públicos

Com o objetivo de expandir a captação de recursos públicos por meio da participação em editais baseados em diferentes leis de incentivo cultural foi elaborado o Quadro 4, propondo metas e objetivos que a Instituição pode alcançar por meio da captação de recursos públicos e consequentemente como uma possível resposta para o problema de pesquisa.

Quadro 4 – Meta e objetivo para o CCER

Meta e Objetivos - CCER	
Problema de pesquisa	Solução proposta
Quais as possíveis fontes de captação de recursos públicos para uma instituição cultural do terceiro setor?	Captar recursos apresentando os projetos maiores da instituição nos editais lançados com base nas leis 8313/1991 (Rouanet); lei 11.246/2021 (LICC) e a lei complementar 195/2022 (Lei Paulo Gustavo). E mantendo os projetos menores sendo captados com base na lei 13.019/2014 (MROSC) e na segunda versão da Lei Aldir Blanc (Lei nº 14.150/2021).
Metas proposta	Objetivo proposto
Apresentar pelo menos um projeto ainda no ano de 2023, nos editais lançados com base nas leis 8313/1991 (Rouanet); lei 11.246/2021 (LICC) e a lei complementar 195/2022 (Lei Paulo Gustavo), assim como, nos editais lançados com base na lei 13.019/2014 (MROSC) e na segunda versão da Lei Aldir Blanc (Lei nº 14.150/2021).	Ampliar sua captação de recursos para 2024 com um aumento de mais de 10 vezes do valor capturado em 2021.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2023)

5.4 Captação de recursos públicos - Situação atual e Situação proposta para o CCER

A proposta apresentada segue apenas como um modelo a ser melhorado, expandido e aperfeiçoado pela equipe de captação de recursos do CCER, seguindo suas estratégias de diferenciação na adequação dos projetos maiores as oportunidades oferecidas pela Lei Rouanet (Lei 8.313/1991), Lei de Incentivo à Cultura Criativa (Lei 11.246/2021) e a Lei Paulo Gustavo (Lei Complementar 195/2022). Já nos projetos menores buscar recursos com base na Lei 13.019/2014 (Marco Regulatório das Organizações da Sociedade Civil) e a segunda versão da Lei Aldir Blanc (Lei nº 14.150/2021). Essa estratégia visa aumentar significativamente o valor captado em 2024 em relação a 2021, podendo chegar a R\$ 1.450.000,00, representando um crescimento de mais de 10 vezes, que representa uma demanda do CCER.

Para garantir o recebimento dos recursos no ano subsequente, é comum que os editais sejam lançados até o final do ano. No entanto, é necessário aprimorar o modelo de plano de ação, de modo a estabelecer um roteiro mais detalhado e adequado às características de cada edital a ser submetido. Nesse sentido, cada etapa do plano de ação deve ser atribuída a um responsável, levando em consideração o grau de prioridade, o prazo final da ação de acordo com os cronogramas dos editais, além do indicador de acompanhamento da ação.

O Gráfico 1 reúne os dados coletados, apresentando o relatório de tendência na captação de recurso pelas leis de incentivo à cultura realizado pelo Centro Cultural Eliziário Rangel nos últimos seis anos (de 2018 a 2023) e com uma projeção proposta futura para o ano de 2024.

Gráfico 1 – Captação de Recursos atual e proposta para o CCER



Fonte: Elaborado pelas autoras (2023)

O gráfico 1 não apresenta valores nos anos de 2018 e 2019, pois o MROSC, que é a lei que regula as relações públicas com as organizações de terceiro setor, traz como regra para captação de recurso a exigência mínima de 1 ano para captar recursos municipais; 2 anos para recursos estaduais e 3 anos para captar recursos federais. Como a prefeitura do município de Serra não realizou nenhum lançamento de edital ou chamamento público em 2019 para a área da cultura, não houve receitas na captação de recurso.

Vale ressaltar que apesar da instituição ter sua inauguração em 18 de novembro de 2016, foi somente em janeiro de 2018 que conseguiu o registro formal da Associação Centro Cultural Eliziário Rangel (CCER), devido aos altos encargos e despesas com a contabilidade, cartório, prefeitura, corpode bombeiro enfim os passos burocráticos para obtenção do registro.

O CCER inicia sua experiência na captação de recursos em 2020, quando apto a captar recursos estaduais, alcança a receita de R\$ 72.000,00 depositados somente em setembro, após a assinatura do termo de parceria por meio dos editais culturais lançados no final do ano de 2019.

Mas o ano de 2020 também traz outro marco, agora mundial a pandemia da COVID-19. O setor cultural foi um dos primeiros segmentos a ser impactado quando por meio do Decreto 4599-R publicado em 17 de março de 2020, o Governo do Estado do ES impede o

funcionamento das suas atividades culturais. Foi quando se inicia uma grande mobilização da sociedade civil cultural para aprovação em caráter emergencial da Lei Aldir Blanc, sendo o CCER o articulador e mobilizador das Web conferências estadual do Espírito Santo e municipal da Serra, convocando os fazedores de cultura capixaba à discutir e entender o que até então era apenas um projeto de lei e que necessitava de pressão política para aprovação.

A aprovação da Lei Aldir Blanc possibilitou ao CCER uma receita de R\$ 65.000,00 em 2021. Mas devido os esforços com a articulação política para aprovação da lei e pelas incertezas do mercado ocasionada pela pandemia da COVID-19, não foram publicados editais e nem chamamento público para ações culturais no final de 2020 o que garantiria outras receitas para o início do ano subseqüente. Se soma a receita de 2021 já no final do ano, os projetos divulgados e aprovados por editais divulgados pela SECULT/ES o valor de R\$ 84.000,00.

A receita de R\$ 59.000,00 em 2022 vem parte da aprovação de um projeto no edital lançado de 2021 e quase metade desse valor é referente ao pagamento retido de 20% (vinte por cento) do valor dos projetos aprovados pelo edital em 2019. Já em 2023 a receita de R\$ 60.000,00 vem do termo de convênio assinado com a prefeitura de Serra.

Com a proposta de ampliar sua captação de recursos apresentando os projetos maiores da instituição nos editais lançados com base nas leis 8313/1991 (Rouanet); lei 11.246/2021 (LICC) e a lei complementar 195/2022 (Lei Paulo Gustavo). E mantendo os projetos menores sendo captados com base na lei 13.019/2014 (MROSC) e na segunda versão da Lei Aldir Blanc (Lei 14.150/2021). Proporcionando assim um aumento de mais de 10 vezes do valor capturado em 2021, podendo chegara R\$ 1.450.000,00.

5.5 Plano de Ação

Como os editais são lançados normalmente até o final do ano de forma a receberem os recursos somente no ano subseqüente, o Quadro 5 estabelece a relação do objeto proposto com passos de ação, indicadores de desempenho, direcionamento do responsável, grau de prioridade, o prazo final da ação com um indicador de acompanhamento.

Quadro 5 – Plano de ação - CCER

Plano de Ação					
Objetivo proposto: ampliar sua captação de recursos para 2024 com um aumento de mais de 10 vezes do valor capturado em 2021.					
Ação	Indicadores de Desempenho	Responsável	Prioridade	Prazo	Status
Adequar e submeter os projetos as normas e regras dos editais lançados pelas leis de incentivo à cultura.	A nota recebida pelo projeto durante o processo de seleção avaliado pela banca de curadores dos editais.	Equipe de captação de	<input type="radio"/> Baixa <input type="radio"/> Média <input checked="" type="radio"/> Alta	30/11/2023	<input type="radio"/> Analisado <input checked="" type="radio"/> Em andamento <input type="radio"/> Concluído

O quadro 5, Plano de Ação - CCER, foi elaborado como um modelo podendo ser detalhado e adaptado às particularidades de cada edital a ser submetido. Os prazos devem ser alinhados com as datas estipuladas nos cronogramas das respectivas fontes de recursos públicos. O prazo mencionado no quadro acima serve como exemplo, estabelecendo o prazo final de inscrição de projetos para o LICC/ES sendo um marco para alcançar o objetivo estabelecido até o ano de 2024.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as referências de Costa (2021) e Voltolini (2019), infere-se que a gestão cultural desempenha um papel fundamental na promoção do bem-estar social por meio da eficácia e eficiência das atividades culturais. É crucial entender que o conceito de gestão está intrinsecamente ligado ao entendimento ampliado de cultura. Priorizar práticas que valorizem as potencialidades culturais nos territórios, desvinculando a produção cultural de atividades turísticas e mercadológicas, fortalecer a sociabilidade e promover uma maior conexão com os espaços coletivos na construção do território.

No contexto da gestão do terceiro setor, conforme abordado por Voltolini (2019), é importante reconhecer que as organizações do terceiro setor não devem ser tratadas como empresas tradicionais, evitando conflitos com valores e práticas contrárias à sua finalidade. No entanto, também é essencial considerar que os princípios da gestão podem ser aplicados para a construção da sustentabilidade das ações do CCER, sem descaracterizar sua atividade-fim.

Esta pesquisa teve como objetivo geral **identificar de forma estratégica as possíveis fontes de captação de recursos públicos para um centro cultural do terceiro setor** e para isso propôs-se como possível solução a participação da instituição em editais lançados com base em diferentes leis e os projetos de maior escala. Para isso foram direcionados para editais com base nas leis 8313/1991 (Rouanet), 11.246/2021 (LICC) e complementar 195/2022 (Lei Paulo Gustavo), enquanto os projetos de menor porte foram direcionados para editais baseados na lei 13.019/2014 (MROSC) e na segunda versão da Lei Aldir Blanc (Lei 14.150/2021).

Com o objetivo de ampliar a captação de recursos para 2024, buscando um aumento superior a 10 vezes em relação ao valor captado em 2021 que representa uma demanda do centro cultural, a meta proposta é apresentar pelo menos um projeto em editais que seguem as leis mencionadas anteriormente. Frequentemente, essa captação requer contrapartidas sociais e visa fortalecer a economia local e as parcerias com outras instituições podem envolver diversas estratégias, desde a elaboração coletiva de projetos até a atuação como representante jurídico de artistas e profissionais cujos projetos já foram aprovados em editais. Além disso, é possível estabelecer compartilhamentos ou parcerias diretas com o Poder Público. Ao criar uma rede com outros espaços culturais, o CCER fortalece o cenário econômico e aumenta o impacto social de forma positiva, em colaboração com os centros de acolhimento da cidade.

Também foi possível identificar através da Análise SWOT que o CCER possui pontos fortes significativos, como sua natureza multicultural e reconhecimento local. Existem oportunidades a serem exploradas, especialmente no que diz respeito à captação de recursos públicos. No entanto, é importante tentar solucionar as fraquezas, como os desafios

financeiros e a necessidade de fortalecer a governança interna. A conscientização das ameaças, como a baixa visibilidade do setor e a complexidade das regras de captação de recursos, permite que a organização tome medidas proativas para superá-las e alcançar maior sucesso e impacto em suas atividades culturais.

Dessa forma, este estudo pretendeu reconhecer a necessidade de ampliar a pesquisa no campo do terceiro setor. Além disso, destaca-se a relevância do estudo para o Centro Cultural emanálise, pois demonstrou o significativo potencial financeiro que pode ser alcançado por meio das leis de incentivo à cultura. Ao projetar um aumento de até dez vezes na receita obtida por meio desses mecanismos, em comparação ao maior montante já captado pela instituição, o estudo evidencia a importância desses recursos para a realização de ações artísticas e a manutenção das atividades do Centro Cultural.

REFERÊNCIAS

AGU, Advocacia G. D. U. 1 vídeo (2:23 min). AGU explica - Terceiro Setor. **Publicado pelo canal Advocacia Geral da União AGU**, 2019.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=U5sWpSKoZdk>. Acesso em: 21 março 2023.

ALBURQUERQUE, Antônio C. C. D. **Terceiro Setor: história e gestão de organizações**. São Paulo: Summus, 2006.

Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Terceiro_setor/XjTZ2ZRtnUUC?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=%22terceiro+setor%22+historia&printsec=frontcover. Acesso em: 25 maio 2023.

BEZERRA, Tony G. **A emergência do Sistema Nacional de Cultura**. Curitiba: Editora e Livraria Appris, 2022. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/A_Emerg%C3%Aancia_do_Sistema_Nacional_de_Cul/79teEAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=setor+cultural&printsec=frontcover. Acesso em: 25 maio 2023.

BRASIL. LEI Nº 8.313, DE 23 DE DEZEMBRO DE 1991. **Institui o Programa Nacional de Apoio à Cultura (Pronac) e dá outras providências**, Brasília, 23 dez 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18313cons.htm. Acesso em: 28 mai 2023.

BRASIL. LEI Nº 13.019, DE 31 DE JULHO DE 2014. **O regime jurídico das parcerias entre a administração pública e as organizações da sociedade civil**, Brasília, 31 jul 2014. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/113019.htm. Acesso em: 28 mai 2023.

BRASIL. LEI Nº 14.150, DE 12 DE MAIO DE 2021. **Estender a prorrogação do auxílio emergencial a trabalhadores e trabalhadoras da cultura e para prorrogar o prazo de utilização de recursos pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios**, Brasília, 10 jun 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14150.htm. Acesso em: 28 mai 2023.

BRASIL. LEI COMPLEMENTAR Nº 195, DE 8 DE JULHO DE 2022. **Altera a Lei nº 8.313, de**

de dezembro de 1991, para atribuir outras fontes de recursos ao Fundo Nacional da Cultura(FNC)., Brasília, 08 jul 2022. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp195.htm. Acesso em: 30 mai 2023.

BRYSON, M. J. **Strategic planning for public and nonprofit organizations: a guide to strengthening and sustaining organizational achievement.** Tradução de tradução nossa. 3. ed. ed. SanFrancisco: John Wiley & Sons, 2004.

CARNEIRO, Murilo. **Administração de organizações: teorias e lições práticas.** São Paulo: EditoraAtlas, 2012.

CCER, Centro C. E. R. Dossiê CCER. **Mapa Cultural do Espírito Santo**, [2022?]. Disponível em: https://mapa.cultura.es.gov.br/files/space/525/dossi%C3%8A_ccer.pdf. Acesso em: 26 maio 2023.

CHIAVENATO, Idalberto. **Planejamento Estratégico.** 12º reimpressão. ed. Rio de Janeiro: ElsevierEditora,2003.Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Planejamento_estrat%C3%A9gico/35aw-p0MOJ4C?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=analise+swot+chiavenato&printsec=frontcover.

Acesso em: 05jun 2023.

COSTA, MARIA A. N. **Qual o caminho do Brasil?:** instituições, culturais e políticas no Século

XXI. Curitiba: Appris Editora, v. 1º edição, 2021. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Qual_o_Caminho_do_Brasil_Institui%C3%A7%C3%B5

[es/691BEAAAQBAJ?hl=ptBR&gbpv=1&dq=%22Gest%C3%A3o+Cultural%22+conceito&pg=PT 252&printsec=frontcover](https://www.google.com.br/books/edition/Qual_o_Caminho_do_Brasil_Institui%C3%A7%C3%B5es/691BEAAAQBAJ?hl=ptBR&gbpv=1&dq=%22Gest%C3%A3o+Cultural%22+conceito&pg=PT%252&printsec=frontcover). Acesso em: 21 maio 2023.

DRUCKER, Peter F. **Managing the Non-Profit Organization: practices and principles.**

Tradução

nossa. New York: Taylor & Francis, 2012. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Managing_the_Non_Profit_Organization/i5US1_LrjmwC?hl=pt-BR&gbpv=1. Acesso em: 15 maio 2023.

DRUCKER, Peter F. **The Essential Drucker.** Tradução nossa. [S.l.]: Editora Taylor & Francis, 2020.Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/The_Essential_Drucker/SOvkDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=0&kptab=overview. Acesso em: 15 maio 2023.

ESPIRITO SANTO. Lei 11.246 de 2021 - alterou a Lei n. 7.000 de 2001 - LICC.

Autoriza a concessão de crédito outorgado de ICMS equivalente ao valor destinado por contribuinte do imposto a projetos culturais credenciados pelos órgãos da administração pública estadual, Vitória, 08 abr 2021. Secult. Disponível em:

<https://secult.es.gov.br/Media/Secult/002/Lei%2011.246%20de%202021%20%20alterou%20a%20Lei%20n.%207.000%20de%202001%20-%20LICC.pdf>. Acesso em: 28 mai 2023.

FIPE, Fundação I. D. P. E. A importância do terceiro setor para o PIB no Brasil. **Sitawi**, 2023. Disponível em: https://sitawi.net/wp-content/uploads/2023/03/miolo_terceirosetor-resumo-web2003.pdf. Acesso em: 24 março 2023.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4º ed. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

IPEA. **Mapa OSC**. IPEA, 2023. Disponível em: <https://mapaosc.ipea.gov.br/>. Acesso em: 14 maio 2023.

KAPLAN, S. R.; NORTON, P. D. **The execution premium: linking strategy to operations for competitive advantage**. Tradução nossa. Boston: Harvard Business, 2008. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/The_Execution_Premium/SJCbjFDGFSUC?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=The+Execution+Premium:+Linking+Strategy+to+Operations+for+Competitive+Advantage&printsec=frontcover. Acesso em: 10 maio 2023.

MACHADO FILHO, Pinheiro C. **Responsabilidade social e governança: o debate e as implicações: responsabilidade social, instituições, governança e reputação**. São Paulo: Cengage, 2020. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Responsabilidade_social_e_governan%C3%A7a_o/VtUKEAAAQBAJ?hl=ptBR&gbpv=1&dq=governan%C3%A7a+corporativa+terceiro+setor&printsec=frontcover. Acesso em: 20 maio 2023.

MINTZBERG, H.; AHLSTRAND, B.; LAMPEL, J. **Strategy Safari: a guided tour through the wilds of strategic management**. Tradução nossa. New York: Free Press, 2005. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Strategy_Safari/zOMIuP4ZS5gC?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=Strategy+Safari:+A+Guided+Tour+Through+the+Wilds+of+Strategic+Management&printsec=frontcover. Acesso em: 10 maio 2023.

NORONHA, Fabricio. Uma oportunidade histórica para a cultura brasileira. **Congresso em foco**, 2023. Disponível em: <https://congressoemfoco.uol.com.br/area/pais/uma-oportunidade-historica-para-a-cultura-brasileira/>. Acesso em: 24 março 2023.

PIPA, Iniciativa. Periferias e Filantropia - As barreiras de acesso aos recursos no Brasil. **Mapa OSC**

- **IPEA**, 2023. Disponível em: <https://mapaosc.ipea.gov.br/arquivos/posts/4131-2023periferias.pdf>. Acesso em: 26 maio 2023.

RAMOS, Bárbara H. A. **Gestão Cultural em movimento**. São Paulo: Editora Dialética, 2023. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=w6W9EAAAQBAJ&newbks=0&printsec=frontcover>

r&pg=PT6&dq=%22Gest%C3%A3o+Cultural%22+defini%C3%A7%C3%A3o&hl=pt-BR&source=newbks_fb&redir_esc=y#v=onepage&q=%22Gest%C3%A3o%20Cultural%22%20de+fini%C3%A7%C3%A3o&f=false. Acesso em: 21 maio 2023.

SALAMON, M. L.; ANHEIRE, K. H. **Defining the nonprofit sector:** a cross-national analysis. Tradução de tradução nossa. New York: Manchester University Press, 1997. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Defining_the_Nonprofit_Sector/ffY_NY3EpYcC?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=.+In+search+of+the+nonprofit+sector+I:+the+question+of+definitions.&pg=PA+99&printsec=frontcover. Acesso em: 20 maio 2023.

TVE, E. S. 1 vídeo (2:38 min), Centro Cultural Eliziário Rangel oferece diversas atividades gratuitas para população. **Publicado pelo canal TVE Espírito Santo**, 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=levjs7dfzoU>. Acesso em: 29 maio 2023.

VOLTOLINI, Ricardo (. **Terceiro setor:** planejamento e gestão. 4ª edição. ed. São Paulo: SENAC, 2019. Disponível em:

https://www.google.com.br/books/edition/Terceiro_setor/aSOsDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=planejamento+estrat%C3%A9gico+para+terceiro+setor&printsec=frontcover.

Acesso em: 25 maio 2023.

ENGENHARIA BIOMÉDICA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA
PARA REABILITAÇÃO DE MEMBROS
SUPERIORES UTILIZANDO JOGOS SÉRIOS**



Revista UCL

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA REABILITAÇÃO DE MEMBROS SUPERIORES UTILIZANDO JOGOS SÉRIOS

Development of an upper-limb rehabilitation platform using serious games

Iamara Boecher B. Correia

Graduanda

Engenharia Biomédica

iamarabbc@ucl.br

Renata Ribeiro Rego

Graduanda

Engenharia Biomédica

renataribeirorego@ucl.br

Leticia Araújo Silva

Orientadora

Faculdade UCL

leticia.araujo@ucl.br

A lista completa com informações de autoria está no final do artigo

RESUMO

Objetivo: O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma plataforma para aprimorar a coordenação motora fina de membros superiores através de jogos sérios. Como objetivos específicos, tem-se: o desenvolvimento de um jogo sério e um controle com comunicação sem fio, que seja leve, de baixo custo e fácil utilização.

Método: Desenvolveu-se uma plataforma composta por um microcontrolador de baixo custo (modelo ESP-32) e um acelerômetro (modelo MPU-6050) para receber e processar os dados provenientes do acelerômetro e transmiti-los por meio de comunicação sem fio (Wi-Fi) para controlar um jogo sério desenvolvido na plataforma Unity. O jogo consiste em quatro labirintos que devem ser resolvidos movimentando o personagem através dos movimentos das mãos.

Resultado: O teste piloto da plataforma foi conduzido com um grupo de 12 indivíduos saudáveis. Durante o teste, foram utilizados questionários de usabilidade, como a Escala de Usabilidade do Sistema (*System Usability Scale*, SUS) que obteve a pontuação de 88,75 e o Questionário de Usabilidade de Sistemas Pós-Estudo (*Post Study System Usability Questionnaire* - PSSUQ) que obteve a média de 1,46, além da avaliação dos movimentos associados à habilidade motora fina.

Conclusões: Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a plataforma obteve resultados favoráveis nas escalas de usabilidade, conforme relatado pelos jogadores. Sendo assim o presente trabalho obteve êxito no desenvolvimento de uma plataforma para aprimorar a coordenação motora fina dos membros superiores através de jogos sérios. A integração dos jogos sérios no processo de reabilitação oferece benefícios significativos, como a promoção de uma melhor qualidade de vida e a estimulação cognitiva dos pacientes.

PALAVRAS-CHAVE: Reabilitação. Jogos Sérios. Membros Superiores. Baixo Custo.

ABSTRACT

Objective: The main objective of this work is to develop a platform to improve the fine motor coordination of upper limbs through serious games. As specific objectives, we have: the development of a serious game and a control with wireless communication, which is light, low cost and easy to use.

Methods: A platform composed of a low-cost microcontroller (model ESP-32) and an accelerometer (model MPU-6050) was developed to receive and process data from the accelerometer and transmit them via wireless communication (Wi-Fi) to control a serious game developed on the Unity platform. The game consists of four mazes that must be solved by moving the character through hand movements.

Results: The pilot test of the platform was conducted with a group of 12 healthy individuals. During the test, usability questionnaires were used, such as the System Usability Scale (SUS) which obtained a score of 88.75 and the Post Study System Usability Questionnaire (PSSUQ) which obtained an average of 1.46, in addition to the evaluation of movements associated with fine motor skills.

Conclusions: Based on the results obtained, it was concluded that the platform obtained favorable results in the usability scales, as reported by the players. Therefore, the present work was successful in the development of a platform to improve the fine motor coordination of the upper limbs through serious games. The integration of serious games in the rehabilitation process offers significant benefits, such as promoting a better quality of life and cognitive stimulation of patients.

KEYWORDS: Rehabilitation. Serious Game. Upper-Limb. Low Cost.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Ao longo dos últimos anos, tem-se observado através do Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) um aumento significativo no número de pessoas com deficiência, principalmente em relação à deficiência motora. Em 2013, o Brasil contava com 2.635.852 pessoas com deficiência física de todos os tipos, já em 2019, esse número subiu para 5.456.842 pessoas, considerando apenas pessoas com deficiência de membro superior (IBGE, 2013, 2019). Esses dados mostram que há mais indivíduos que têm dificuldades para realizar um ou mais movimentos com os membros superiores.

Os Membros Superiores (MMSS) têm um papel fundamental no desenvolvimento pessoal, uma vez que são responsáveis por várias funções como alcançar objetos com precisão, aplicar pressão e manusear objetos com destreza (KAPANDJI, 2000). O adequado grau de amplitude de movimento dos MMSS torna isso possível (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2010), no entanto, diversas patologias podem interferir no correto funcionamento dos MMSS, comprometendo a independência do indivíduo em atividades cotidianas (SANTOS et al., 2017). Algumas das patologias citadas anteriormente são o Acidente Vascular Cerebral (AVC), a doença de Parkinson e a Paralisia Cerebral (PC), que afetam até mesmo atividades normalmente consideradas triviais, como tomar banho, escrever e escovar os dentes (SANTOS et al., 2017).

As consequências do comprometimento dos MMSS devem ser incluídas como objetivos terapêuticos da reabilitação. Existem diversas modalidades de tratamento (reabilitação) para MMSS, que dependem da região anatômica a ser tratada. Nos últimos anos, os Jogos Sérios (JS) para reabilitação motora têm se destacado como uma opção viável, oferecendo vantagens como flexibilidade de horário e local, além de feedback remoto do tutor (CORREA; KINTSCHNER; BLASCOVI-ASSIS, 2019).

Os JS têm como objetivo não apenas entreter, mas também oferecer benefícios para a saúde, educação, engenharia e política (KOUTSIANA et al., 2020). O uso de JS na reabilitação pode aumentar a motivação dos usuários, o engajamento na atividade e o aprendizado (AL-RAYES et al., 2022).

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma plataforma para reabilitação de MMSS utilizando JS. Para alcançá-lo devemos atingir os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um JS utilizando a plataforma Unity;
- Utilizar um sensor de acelerômetro (MPU-6050) para controlar o JS;
- Utilizar um protocolo de comunicação sem fio (Wi-Fi) para o controle;
- Integrar o JS desenvolvido com o controle e o protocolo de comunicação;
- Avaliar a usabilidade da plataforma de acordo com a opinião dos usuários.

1.3. Justificativa

Considerando o atual cenário de utilização de plataformas de reabilitação de MMSS por meio de JS, o interesse em desenvolver este trabalho foi motivado pela escassez de estudos que utilizam JS sem o uso de sensores comerciais. Além disso, o considerável número de pessoas com deficiência de MMSS em 2019, conforme censo do IBGE de 2019, revela que há 5.456.842 indivíduos com essa condição (IBGE, 2019). Isso ressalta a importância de explorar novas abordagens para melhorar a reabilitação e a qualidade de vida dessas pessoas.

Os problemas relacionados à plataforma para reabilitação de MMSS utilizando JS vão desde utilização de videogames pré-existentes, que é limitado às restrições do sensor comercial, até custo elevado desse tipo de serviço. Uma técnica comum na reabilitação de MMSS é o uso de sensores comerciais, como o Xbox™ Kinect e o Nintendo™ Wii (KOUTSIANA et al., 2020). No entanto, isso pode ser desvantajoso, pois o uso desses sensores fica limitado às suas restrições, podendo haver baixa qualidade na captação de movimentos específicos (KOUTSIANA et al., 2020).

Em contrapartida, o uso de um equipamento criado especificamente para reabilitação leva em consideração a limitação motora de cada usuário, tornando sua utilização mais fácil para mais pacientes. O acelerômetro é um sensor comumente utilizado no desenvolvimento de equipamentos, mas geralmente é combinado com outros tipos de sensores em projetos mais complexos (KOUTSIANA et al., 2020; SONG et al., 2022; HERRERA-LUNA et al., 2019).

Do mesmo modo que o estudo realizado por Borges et al. (2021) utilizou o jogo "Vazamentos" juntamente com o videogame Xbox 360 para promover a reabilitação de pacientes que sofreram AVC. No entanto, esse tipo de abordagem de reabilitação é adequado apenas para uma faixa limitada de pacientes, pois exige grau 1 ou 2 de espasticidade nos MMSS para que possam executar os exercícios propostos no jogo.

O estudo de Bôas et al. (2014) abordou o impacto da terapia virtual na reabilitação motora do MMSS de crianças hemiparéticas - que possuem um lado do corpo paralisado. Nesse estudo, jogos de tênis, beisebol, boxe e golfe do videogame Nintendo Wii foram incorporados ao programa de reabilitação. No entanto, alguns pacientes enfrentaram dificuldades para segurar o controle do videogame, o que levou à necessidade de adaptar o dispositivo com uma faixa elástica contornando a mão do paciente durante os jogos, proporcionando maior segurança e eficácia durante as sessões de terapia.

Alguns exemplos de pesquisas utilizando controle de criação própria - ou o uso de dispositivos comumente utilizados no dia a dia - inclui a pesquisa de Silva et al. (2021), que utiliza uma luva de látex com os sensores, criado a partir do Raspberry Pi 4. Um obstáculo desse controle é o uso de fios para a conexão dos componentes. Também há o artigo de Pinheiro, Sousa e Segundo (2020) que utiliza o acelerômetro do celular para controlar o JS (desenvolvido na plataforma Unity), porém por utilizar o acelerômetro do celular não irá trabalhar no ponto específico que o paciente precisa, já que será um produto genérico.

Além disso, há o estudo por Alexandre, Postolache e Girão (2019) que utiliza um controle que foi desenvolvido com sensores inerciais de Unidade de Medida Inercial (IMU, do inglês *Inertial Measurement Unit*) de 9 eixos, juntamente sensores de força, resultando em um JS capaz de analisar o movimento da cabeça - com um acoplado em uma tiara - e o movimento das mãos com as forças e flexão dos dedos. Neste caso o JS também foi feito pela plataforma Unity e utiliza realidade virtual (ALEXANDRE; POSTOLACHE; GIRAO, 2019).

Outra pesquisa, realizada por Baluz et al. (2022) utiliza as imagens da webcam para controlar um jogo, de forma que o fisioterapeuta (ou outro profissional de saúde) controle a dificuldade do JS.

Diante disso, a proposta do presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é de criar uma plataforma de baixo custo de JS que seja divertido para o usuário, de forma que ele se sinta inclinado a continuar o tratamento, e um controle que seja confortável e leve com comunicação sem fio (Wi-Fi) que possibilite movimentos sem limitações e os dados do jogo (pontuações e dados do sensor) fiquem armazenados para posterior avaliação do fisioterapeuta.

Adicionalmente, o projeto possui uma característica diferenciada ao integrar a reabilitação motora com um dispositivo inovador. Esse dispositivo conta com uma pulseira ajustável, permitindo sua adaptação a diferentes tamanhos de mãos. Além de ser compacto, higiênico, reutilizável e versátil, podendo ser utilizado tanto na mão esquerda quanto na mão direita. Em adição a abordar a reabilitação motora, o JS de labirinto desenvolvido no projeto engloba diversas funções cognitivas essenciais, como atenção, memória, velocidade de processamento, planejamento, tomada de decisão, resolução de problemas e flexibilidade cognitiva. Essa abordagem multidimensional torna o projeto uma ferramenta fundamental não apenas para a reabilitação motora, mas também para a reabilitação neuropsicológica e o desenvolvimento cognitivo (ROSSINI; MACEDO; TEOBALDO, 2015; SOUZA; FRANÇA; CAMPOS, 2006).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Movimento Motor Fino

A capacidade de manusear as mãos e os dedos para realizar tarefas do dia a dia é influenciada por vários elementos, como a anatomia, sensibilidade tátil, coordenação, movimento, destreza e força. Essa habilidade manual requer a coordenação de movimentos finos e grossos, sendo desenvolvidos por meio de aprendizado, treinamento e experiência (DESROSIERS et al., 1997). Dessa forma, a mão em conjunto com os dedos desempenha um papel extremamente importante no corpo humano, pois é responsável por uma ampla gama de atividades completamente distintas. Essas atividades variam desde movimentos delicados e precisos, como cumprimentar alguém, segurar objetos de diferentes formatos e pesos, escrever, até tarefas mais complexas, como abotoar uma camisa. A versatilidade e destreza da mão e dos dedos permitem que executemos uma infinidade de ações essenciais para o nosso cotidiano (FOLETTTO, 2017).

A habilidade motora fina refere-se à capacidade de manipular objetos utilizando a ponta dos dedos. Envolve a coordenação precisa e rápida dos músculos, ossos e nervos dos dedos ao manipular objetos pequenos (KANESHIRO, 2023). Para realizar movimentos finos e coordenados, é necessário um alto nível de refinamento e controle (DESROSIERS et al., 1997).

A habilidade e controle motor fino podem ser influenciados por vários fatores, como idade, sexo, doenças e lesões do Sistema Nervoso Central (SNC), problemas na coluna vertebral, nervos, músculos ou articulações. Quando os movimentos finos são afetados, podem surgir dificuldades em atividades simples do dia a dia, como escovar os dentes, dobrar roupas, segurar objetos, entre outros. Essas dificuldades podem impactar a autonomia e a qualidade de vida das pessoas, destacando a importância de cuidados e intervenções adequadas para melhorar a função motora fina (FOLETTTO, 2017).

2.2. Jogos Sérios

O conceito de JS surgiu em 1970, quando foi introduzido pela primeira vez no livro "*Serious Games*" de Clark Abt (ABT, 1970). Assim como dito por Rocha (2015): "Embora no livro se aborde principalmente em jogos de cartas e de tabuleiro, a definição fornecida para jogos sérios permanece atual e continua a ser aceita: "(...) esses jogos têm um propósito educacional específico e bem pensado e não se destinam a ser usados principalmente para o divertimento". Essa definição destaca que os JS têm como principal objetivo fornecer ensinamentos e promover o aprendizado dos jogadores em diferentes áreas, como treinamento, formação profissional e tratamentos, diferenciando dos jogos puramente recreativos (DE MORAIS, 2010).

Os JS são projetados para aproveitar as quatro características fundamentais de um jogo: objetivo, regras, sistema de feedback e participação voluntária. Essas características são aplicadas de forma a tornar a reabilitação do paciente uma experiência lúdica, estimulante e capaz de promover o progresso do tratamento sem perceber o caráter terapêutico. Visto que o processo de reabilitação muitas vezes pode ser desestimulante devido aos exercícios repetitivos e monótonos, o que pode resultar em um tratamento falho (BALISTA, 2013).

Comumente, os JS desenvolvidos para reabilitação fazem uso de interfaces naturais, o que significa que a interação com o JS ocorre de maneira intuitiva e sem a necessidade de um grande esforço de aprendizado por parte do paciente. Essa abordagem permite que o paciente compreenda e execute os movimentos de forma mais fácil e permite que o profissional da área acompanhe facilmente o progresso do paciente (SILVA et al., 2012).

No campo da saúde, os JS desempenham um papel significativo, pois têm a capacidade de incorporar um elemento de entretenimento no tratamento terapêutico tradicional. Isso motiva os pacientes a desenvolver suas habilidades para progredir nos diferentes níveis do JS. Além disso, os JS fornecem uma ferramenta para acompanhar a evolução do paciente (FARIAS; DE OLIVEIRA; ROSSITO, 2014).

3. SISTEMA PROPOSTO



Figura 1. Diagrama funcionamento plataforma. (a) sensor para detecção de movimento. (b) decodificação do movimento pelo Unity através da comunicação Wi-Fi. (Autoria Própria)

Na Figura 1, é apresentado o esquema do sistema proposto para a reabilitação da habilidade motora fina. O sistema é composto por três blocos principais: um sensor para aquisição e transmissão de dados, uma etapa de decodificação do sinal recebido para controle e um JS (Seção 3.2).

3.1. Aquisição de Dados

3.1.1. Hardware

Os dados do movimento da mão do usuário são obtidos através do sensor de acelerômetro. O sensor utilizado no presente trabalho é um MPU-6050, que possui três eixos de acelerômetro e três eixos de giroscópio. Sua transmissão de dados possui uma frequência de 1 kHz a partir do protocolo de comunicação I2C.

Com os dados de aceleração adquiridos pelo MPU-6050, utilizou-se a IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino para programar um ESP-32 para possibilitar a comunicação entre o controle e o Unity. Dentro desta programação foi utilizada uma biblioteca que emprega a técnica FIFO (*First In, First Out*) para que os dados possam ser lidos na mesma ordem que são enviados pelo microcontrolador. Os dados de aceleração são enviados em formato de vetor (aa_x , aa_y , aa_z) por Wi-Fi para o Unity e no *script* de movimentação do “personagem” os dados são filtrados e convertidos em comandos. Para que a comunicação ocorra sem atrasos, a taxa de transmissão da comunicação deve ser feita em 9600 bits por segundo. É importante destacar que a seleção do MPU6050 e ESP-32 foi baseada nos seguintes motivos: o baixo custo dos componentes, a capacidade de desenvolver uma estrutura mais leve e compacta, e a capacidade de transmissão de dados sem fio.

3.1.2. Unity

A plataforma escolhida para a elaboração do JS foi a Unity, que fornece uma amplitude de ferramentas para desenvolvimento de jogos e possui uma versão gratuita para estudantes (PINHEIRO; SOUSA; SEGUNDO, 2020). O Unity possibilita o desenvolvimento de diversos tipos de jogos (2D, 3D, FPS etc.), o projeto deste JS foi desenvolvido de forma 2d, utilizando a linguagem C# para programar.

No *script* referente a movimentação do “*player*” foi utilizado o vetor de aceleração enviado pelo ESP32 por Wi-Fi. Cada componente do vetor é individualizado e passado para uma nova variável (x , y e z). O valor recebido nas novas variáveis deve ser atenuado para que o movimento do “*player*” não fique muito rápido. Uma maneira comum de fazer isso com os dados do acelerômetro é dividir o valor enviado pelo sensor e utilizar uma constante de modificador de velocidade. Dessa forma as variáveis x , y e z recebem o valor do sensor dividido por 250:

$$x = \frac{aa_x}{250} \quad (1)$$

$$y = \frac{aa_y}{250} \quad (2)$$

$$z = \frac{aa_z}{250} \quad (3)$$

O valor 250 foi utilizado para calibrar a sensibilidade do controle, de forma que ele não se mova tão rapidamente nem tão lentamente.

Outras três variáveis (*dirX*, *dirY* e *dirZ*) são criadas para incluir o modificador de velocidade:

$$dirX = x * \text{modificador de velocidade} \quad (4)$$

$$dirY = y * \text{modificador de velocidade} \quad (5)$$

$$dirZ = z * \text{modificador de velocidade} \quad (6)$$

O modificador de velocidade utilizado vale 0,5. Esse valor foi definido para que o módulo da velocidade não fique constante nem se altere muito subitamente.

A velocidade do “*player*” é dada pela seguinte equação:

$$\text{velocidadeX} = \text{velocidadeX} + dirX \quad (7)$$

$$\text{velocidadeY} = \text{velocidadeY} + dirY \quad (8)$$

$$\text{velocidadeZ} = \text{velocidadeZ} + dirZ \quad (9)$$

Utilizando esse método, a velocidade do “*player*” sempre dependerá da inclinação do controle pelo usuário. Por ser um jogo 2D, apenas dois eixos são necessários para a movimentação do “*player*”, na posição utilizada do acelerômetro, os eixos são o Y e Z, logo as variáveis utilizando X foram negligenciadas. A decisão dos eixos utilizados se deu pela posição do sensor no protótipo da pulseira, na posição utilizada o eixo X não possuem significado para o JS.

3.2. JS Desenvolvido

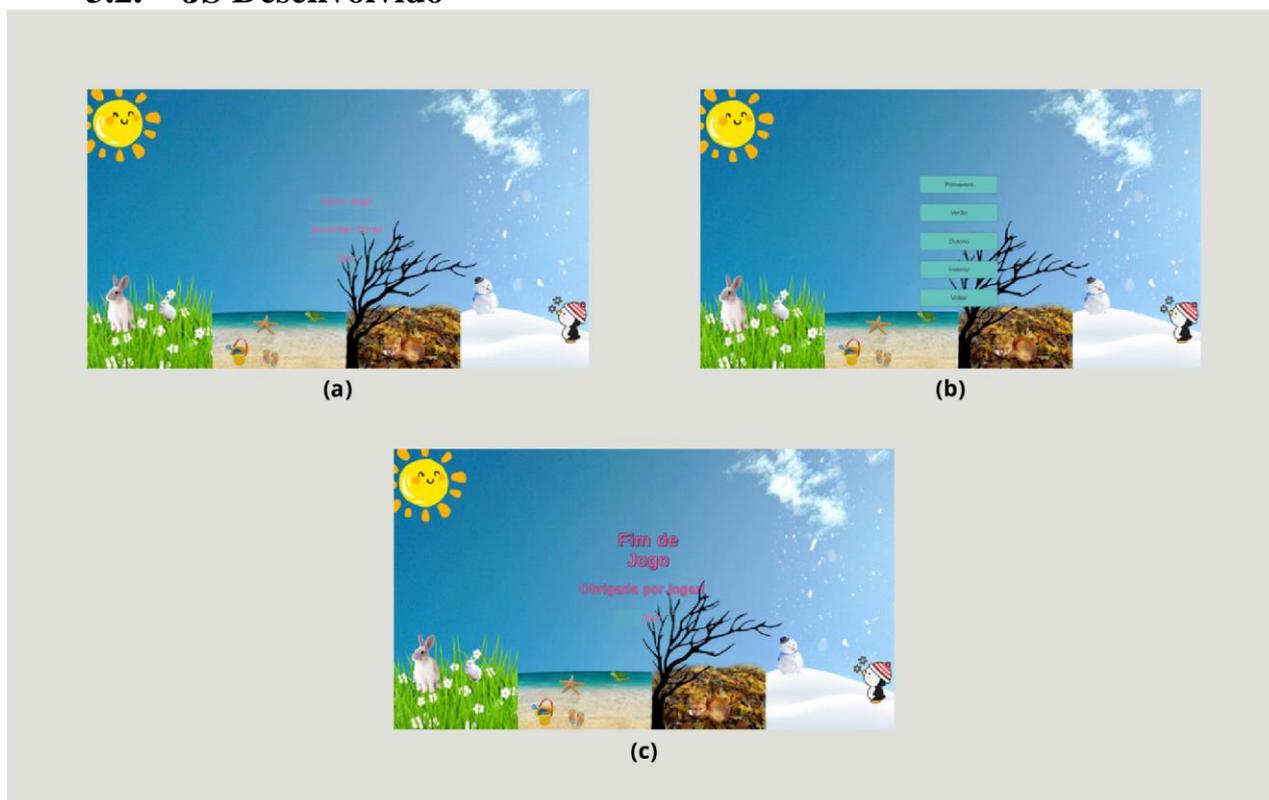


Figura 2. Interface do JS. (a) Menu Inicial. (b) Escolher Nível. (c) Fim de Jogo. (Autoria Própria)

O JS foi desenvolvido na plataforma Unity e consiste em 4 níveis de labirinto de dificuldades diferentes em que o jogador explora por meio do movimento das mãos, assim ajudando a desenvolver ou aprimorar a habilidade motora fina das mãos. O JS possui um menu inicial com as opções de “Novo Jogo”, “Escolher Nível” e “Sair” (Figura 2 (a)), onde o usuário pode, respectivamente, jogar começando no nível inicial, escolher o nível desejado para jogar (Figura 2(b)) ou sair do jogo (fechar a janela).

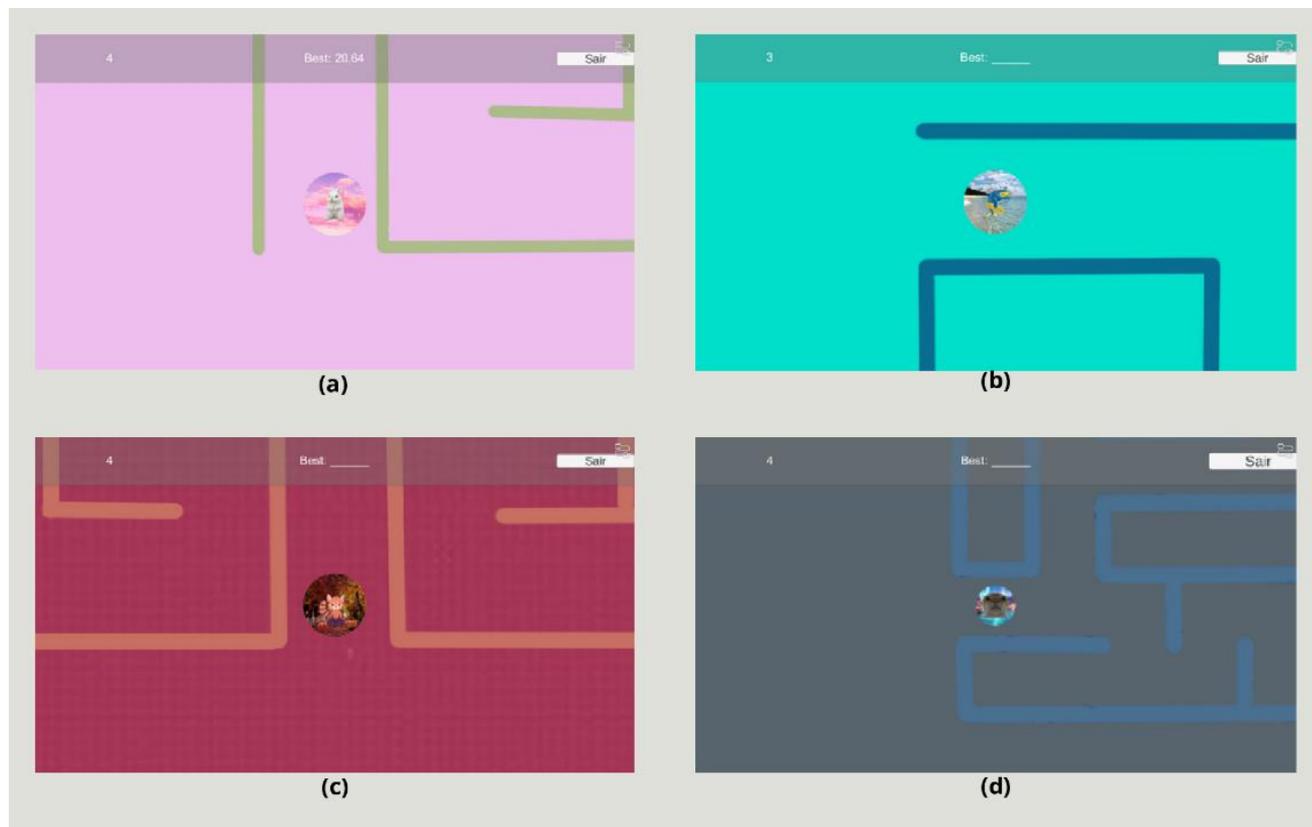


Figura 3. Interface do JS por níveis. (a) Primavera. (b) Verão. (c) Outono. (d) Inverno. (Autoria Própria)

A interface é baseada nas estações do ano, o nível inicial é baseado na primavera (Figura 3(a)), é o menor labirinto para que o usuário possa se habituar com a movimentação do controle. Assim que o jogador finaliza o labirinto ele passa para o nível seguinte, neste caso o verão (Figura 3(b)), com uma dificuldade um pouco maior. A estação do outono (Figura 3(c)) novamente tem um nível de dificuldade maior, levando em consideração o tamanho do labirinto. O último nível é o inverno (Figura 3(d)), que consiste na maior imagem de labirinto e que requer mais controle na movimentação das mãos e maior raciocínio para que o usuário encontre a saída. Cada nível inicia automaticamente após completar o nível anterior.

Na tela do JS (Figura 3) é possível ver uma barra na parte superior da tela que contém um cronômetro medindo o tempo que o jogador está gastando no nível atual, o tempo mais baixo pontuado naquele nível e um botão “Sair” que retorna para o menu inicial.

Assim que o jogador finaliza o nível 4 (inverno), o jogo exibe uma tela de fim de jogo com um agradecimento e um botão para sair do jogo (Figura 2(c)).

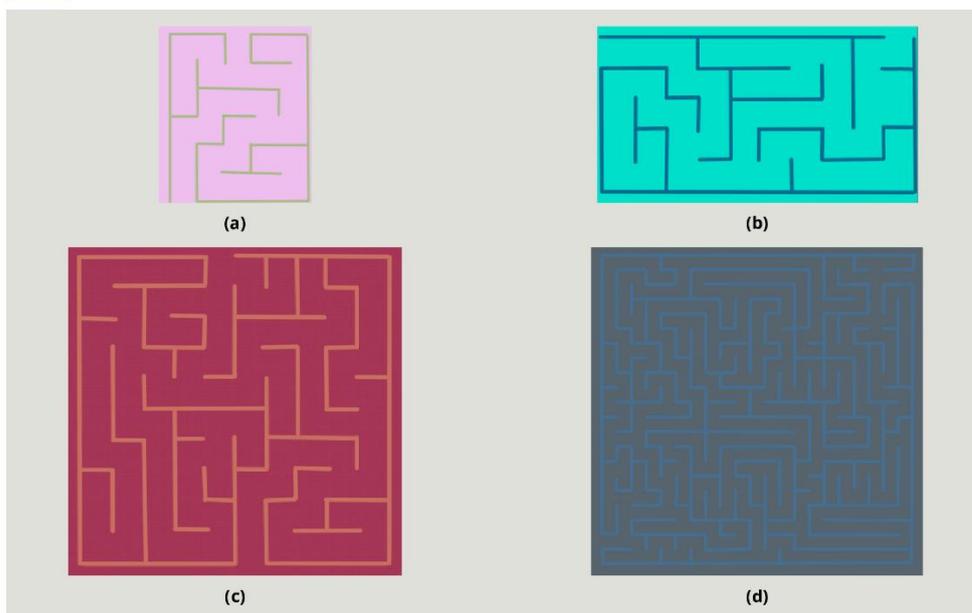


Figura 4. Interface dos labirintos por níveis. (a) Primavera. (b) Verão. (c) Outono. (d) Inverno. (Autoria Própria)

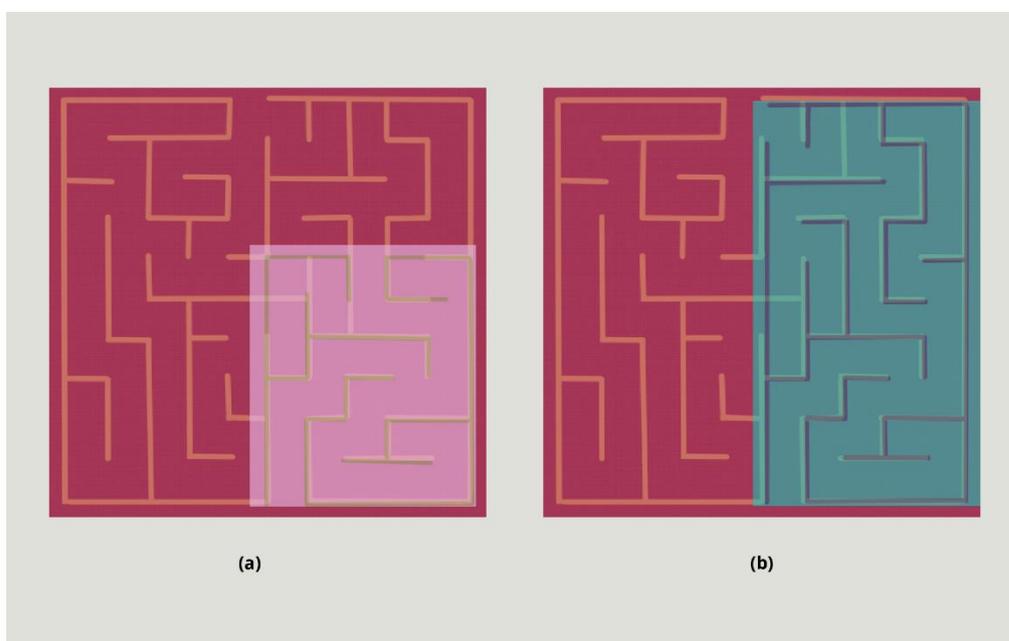


Figura 5. Disposição dos três primeiros níveis. (a) Primavera. (b) Verão. (Autoria Própria)

O nível de dificuldade foi definido pelo tamanho do labirinto e a facilidade de resolver cada um, levando em consideração que um labirinto maior (com mais curvas) necessitará de mais movimentos com o MMSS. A Figura 4 ilustra cada labirinto do JS.

Os três primeiros níveis consistem em um mesmo labirinto, utilizando partes diferentes da imagem para fornecer níveis de dificuldade diferentes (Figura 5).

3.3. Estrutura Física

A Figura 1(a) mostra uma pulseira ajustável que incorpora o MPU-6050 e o ESP-32. A pulseira é colocada no dorso da mão, próximo à cabeça do metacarpo do IV dedo, podendo ser utilizado tanto para a mão esquerda quanto para a direita. A estrutura foi projetada para ser adaptável a diferentes pessoas, usando uma faixa elástica e velcro para ajustar o tamanho da pulseira. Para garantir que o sensor fique fixo e estável, foram utilizados dois elásticos costurados na pulseira, para encaixar o controle. Dessa forma, minimizando a possibilidade de interferência causada por instabilidade na posição do sensor.

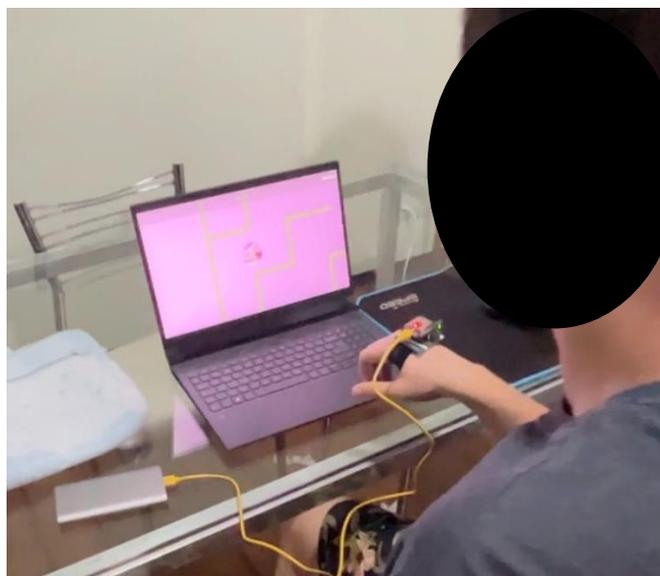


Figura 6. Sistema final sendo testado por usuário. (Autoria Própria)

A comunicação com o JS é por meio da rede Wi-Fi, assim é possível incorporar ao controle uma bateria fixa, mas para o presente trabalho foi utilizado uma bateria portátil para a alimentação do sensor. A escolha da bateria portátil se deu para manter o controle leve e pequeno, visto que as outras opções disponíveis iriam aumentar o tamanho e peso do controle.

3.4. Avaliação

Para a avaliação do sistema proposto, 12 pessoas sem limitações de movimentos em MMSS (saudáveis) foram selecionadas para testar o JS. A Tabela 1 detalha as características dos participantes, considerando gênero, idade e lado dominante (destro ou sinistro).

Tabela 1– Características dos participantes.

Característica	Indivíduos saudáveis (N = 12)
Gênero (feminino/masculino)	6/6
Lado dominante (sinistro/destro)	0/12
Idade (média ± DP)	24,67 ± 12,24

Fonte: Autoria Própria

O teste consistiu em jogar na plataforma com o intuito de encontrar a saída de cada labirinto no menor tempo possível. Todos os participantes jogaram e preencheram um formulário enviado pelo Google Forms e 4 dos 12 usuários tiveram suas pontuações avaliadas para esse estudo piloto.

O formulário adotado para avaliar a plataforma baseou-se no nível de motivação e engajamento dos usuários com o JS. Para essa avaliação, foram utilizadas duas escalas: a Escala de Usabilidade do Sistema (*System Usability Scale* - SUS) - uma das escalas de usabilidade mais utilizadas para testes - e o Questionário de Usabilidade de Sistemas Pós-Estudo (*Post Study System Usability Questionnaire* - PSSUQ) - escala criada pela IBM para testar usabilidade de sistemas (BROOKE, 1996; LEWIS, 2018; LEWIS, 1995).

Na escala SUS, os voluntários atribuíram pontuações de 1 a 5 para cada pergunta, em que 1 indicava total discordância com a afirmação e 5 indicava total concordância.

Quanto à escala PSSUQ, um questionário padronizado com 16 itens foi utilizado, no qual os participantes puderam pontuar de 1 ("Concordo totalmente") a 7 ("Discordo totalmente"), sendo 4 considerado neutro. É possível dividir a escala PSSUQ em três subcategorias: Usabilidade do Sistema (SYSUSE) – questões 1 a 6; Qualidade da Informação (INFOQUAL) – questões 7 a 12; e Qualidade da Interface (INTERQUAL) – questões 13 a 15.

3.5. Análise de Dados

A análise de dados consistiu em avaliar os resultados dos testes descritos na seção anterior (Seção 3.4), a pontuação do jogo considerada foi o tempo gasto em cada nível pelos usuários e a pontuação do formulário foi calculada para cada escala individualmente. O tempo é uma variável importante para a avaliação do usuário pois, é esperado que, à medida que o tratamento avança, o jogador tende a se habituar com a plataforma, de maneira que os movimentos sejam mais precisos e o tempo gasto no nível seja menor.

Para a escala PSSUQ, a métrica utilizada foi a média das pontuações atribuídas às 16 questões. Nesta escala, menores pontuações (mais próximas de 1) são consideradas boas enquanto médias mais próximas de 7 são consideradas de pior usabilidade.

Quanto à escala SUS, sua pontuação final foi calculada considerando a paridade das questões:

$$T = 2,5[(\sum_{\text{ímpar}} p - 1) + (\sum_{\text{par}} 5 - p)], \quad (10)$$

A escala SUS não ocorre de forma linear, ou seja, média (50%) da escala não é representada pela pontuação 50, mas sim por 68. Pontuações acima desta média significam boa usabilidade (Lewis, 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Doze voluntários saudáveis participaram dos testes preliminares com a finalidade de avaliar a plataforma proposta. Os resultados percentuais de cada escala do formulário estão presentes na Tabela 2 (SUS) e Tabela 3 (PSSUQ).

Considerando a escala de usabilidade SUS, sua pontuação foi de $T = 88,52$, que caracteriza uma boa usabilidade. Apenas um dos usuários avaliou a plataforma com uma pontuação abaixo da média (65), sendo que 8 usuários deixaram uma pontuação acima de 90.

A média da escala PSSUQ foi de 1,46, o que também qualifica uma boa usabilidade da plataforma. Cada uma das subcategorias também obtiveram um desempenho positivo, sendo a pontuação do SYSUSE = 1,44, do INFOQUAL = 1,56 e do INTERQUAL = 1,33.

Durante os testes foi sugerido a inversão do controle vertical por alguns participantes, além da possibilidade de controlar a sensibilidade do controle através de um menu, aspectos que podem ser incluídos em trabalhos futuros.

Tabela 2 – Resultados do questionário SUS

Escala de Usabilidade do Sistema	Discordo				Concordo
	1	2	3	4	5
Acho que gostaria de usar este sistema com frequência.	8,3%	8,3%	0%	33,3%	50%
Achei o sistema desnecessariamente complexo.	66,7%	16,7%	8,3%	0%	8,3%
Achei o sistema fácil de usar.	0%	8,3%	0%	33,3%	58,3%
Acho que precisaria do apoio de um técnico para poder utilizar este sistema.	66,7%	16,7%	8,3%	8,3%	0%
Achei que as várias funções neste sistema estavam bem integradas.	0%	0%	0%	16,7%	83,3%
Eu pensei que havia muita inconsistência neste sistema.	83,3%	8,3%	0%	0%	8,3%
Eu imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar esse sistema muito rapidamente.	0%	0%	0%	8,3%	91,7%
Achei o sistema muito complicado de usar.	83,3%	0%	8,3%	0%	8,3%
Eu me senti muito confiante usando o sistema.	0%	0%	0%	16,7%	83,3%
Eu precisava aprender muitas coisas antes de poder usar esse sistema.	75%	16,7%	0%	0%	8%

Fonte: Autoria Própria

Tabela 3 – Resultados do questionário PSSUQ

Questionário de Usabilidade Pós-estudo do Sistema	Concordo					Discordo		N/A
	1	2	3	4	5	6	7	
No geral, estou satisfeito com a facilidade de usar este sistema.	75%	16,7%	0%	0%	8,3%	0%	0%	0%
Era simples de usar este sistema.	83,3%	16,7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Consegui concluir as tarefas e cenários rapidamente usando este sistema.	50%	25%	16,7%	8,3%	0%	0%	0%	0%
Eu me senti confortável usando este sistema.	58,3%	33,3%	0	8,3%	0%	0%	0%	0%
Foi fácil aprender a usar este sistema.	83,3%	8,3%	8,3%	0%	0%	0%	0%	0%
Acredito que poderia me tornar produtivo rapidamente usando este sistema.	66,7%	33,3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
O sistema deu mensagens de erro que me disseram claramente como corrigir problemas.	0%	0%	8,3%	8,3%	8,3%	0%	25%	50%
Sempre que cometi um erro ao usar o sistema, pude recuperar fácil e rapidamente.	66,7%	16,7%	8,3%	0%	8,3%	0%	0%	0%
As informações (como ajuda on-line, mensagens na tela e outras documentações) fornecidas com este sistema eram claras.	25%	8,3%	0%	25%	0%	0%	0%	41,7%
Foi fácil encontrar as informações que eu precisava.	66,7%	8,3%	0%	8,3%	0%	0%	0%	16,7%
As informações foram eficazes para me ajudar a concluir as tarefas e os cenários.	58,3%	16,7%	0%	8,3%	0%	0%	0%	16,7%
A organização das informações nas telas do sistema foi clara.	50%	16,7%	8,3%	0%	0%	0%	0%	25%
A interface deste sistema era agradável.	83,3%	16,7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Gostei de usar a interface deste sistema.	83,3%	0%	16,7%	0%	0%	0%	0%	0%
Este sistema tem todas as funções e capacidades que espero que tenha.	75%	8,3%	8,3%	8,3%	0%	0%	0%	0%
No geral, estou satisfeito com este sistema.	75%	8,3%	16,7%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: Autoria Própria

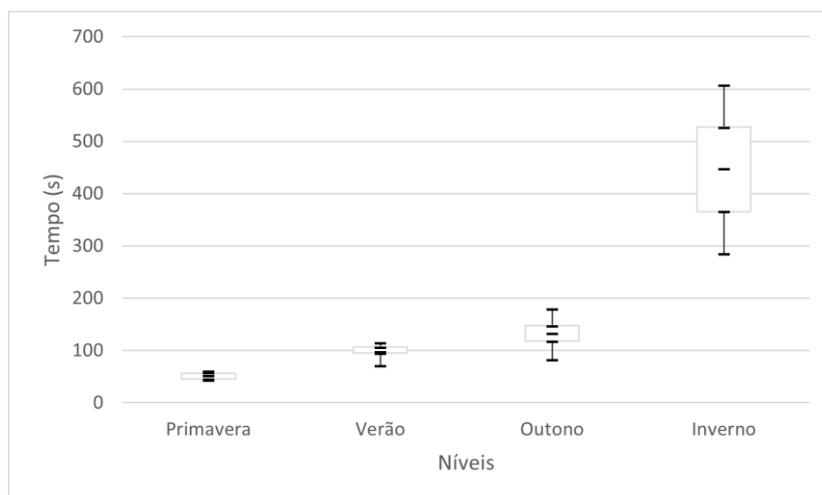
Tabela 4 – Comparação com outros estudos (BORGES et al., 2021; BÔAS et al., 2014; SILVA et al., 2021; PINHEIRO et al., 2020; ALEXANDRE; POSTOLACHE; GIRAO, 2019; BALUZ et al., 2022)

Artigo	Descrição	Diferencial do presente trabalho em relação ao artigo mencionado
Efeitos da Terapia Virtual na Função Motora do Membro Superior Parético de Paciente Pós Acidente Vascular Encefálico (BORGES et al., 2021)	Avaliou o efeito da Técnica de Realidade Virtual na função motora do membro superior parético após AVC. Utilizando o jogo "Vazamentos" com o videogame Xbox 360, porém o paciente precisa ter grau 1 ou 2 de espasticidade nos MMSS para executar os exercícios propostos no jogo.	Este artigo utilizou controle comercial, ao contrário da presente plataforma, em que foi desenvolvido um controle personalizado de baixo custo que é adequado para vários tipos de pacientes.
Efeito da Terapia Virtual na Reabilitação Motora do Membro Superior de Crianças Hemiparéticas (BÔAS et al., 2014)	Verificou o efeito da Terapia Virtual nas habilidades motoras do membro superior de crianças com hemiparesia. Aplicando jogos de tênis, beisebol, boxe e golfe do videogame Nintendo Wii, entretanto alguns paciente enfrentaram dificuldades para segurar o controle do videogame.	Este artigo também utilizou controle comercial, ao contrário deste TCC que desenvolveu um controle próprio incluindo uma pulseira ajustável, que permite sua adaptação a diferentes tamanhos de mãos. Além disso, o controle é leve, compacto, higiênico, confortável e versátil.
Desenvolvimento de um Jogo Sério com Uso de Luva Eletrônica para Estimulação da Coordenação Motora Fina (SILVA et al., 2021)	Apresentou o processo de desenvolvimento de um jogo sério controlado por uma luva eletrônica de baixo custo integrada a um dispositivo Raspberry PI 4 e verificar sua aplicabilidade na reabilitação da função manual de pessoas com PC. O controle apresenta alguns fios de comunicação.	A plataforma proposta no atual trabalho utiliza apenas um fio de comunicação, conectado à bateria recarregável, para carregar o ESP32. Além disso, o dispositivo possui uma pulseira ajustável, permitindo sua adaptação a diferentes tamanhos de mãos.
Um jogo sério para auxiliar pessoas com síndrome de down no desenvolvimento da motricidade fina das mãos (PINHEIRO et al., 2020)	Desenvolveu um jogo sério com o propósito de auxiliar no processo de aperfeiçoamento da motricidade fina em crianças com síndrome de down. Utilizando o acelerômetro do celular para controlar o jogo.	Comparando com Pinheiro et al. (2020), o diferencial do atual dispositivo é o uso do acelerômetro MPU-6050, que proporciona uma precisão superior ao capturar o ponto específico necessário para o paciente. Isso garante um controle mais preciso e eficaz do dispositivo.
Physical Rehabilitation based on Smart Wearable and Virtual Reality Serious Game (ALEXANDRE; POSTOLACHE; GIRAO, 2019)	O sistema proposto inclui um par de luvas e uma faixa para cabeça (tiara) com sensores de força e um IMU de 9 eixos de liberdade. A comunicação é feita por bluetooth para controlar o jogo sério com realidade virtual. Uma Web API é utilizada para armazenar e processar os dados obtidos pelos sensores.	O diferencial comparando com este artigo é que a luva pode não ser acessível a todos, a depender do tamanho das mãos do paciente, a luva também pode ser considerada não higiênica. O fato deste trabalho utilizar a visão de realidade virtual utilizando uma "tiara" pode dificultar o uso em pacientes que não tem muito controle postural cervical.
Motor Rehabilitation of Upper Limbs Using a Gesture-Based Serious Game: Evaluation of Usability and User Experience (BALUZ et al., 2022)	Desenvolveu um jogo sério para reabilitação motora de membros superiores, eles chamam esse JS de Rehabilitate Game (RG). O jogo utiliza machine learning como ferramenta de visão computacional para capturar os gestos do paciente por uma webcam.	Neste artigo, o dispositivo (computador) a ser utilizado possui pré requisitos - precisa de uma <i>Webcam</i> . A plataforma do presente trabalho não possui pré-requisitos além do <i>Wi-Fi</i> .

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 4 apresenta uma comparação entre a plataforma criada neste TCC com outras plataformas utilizando JS para reabilitação de MMSS. Os principais diferenciais deste trabalho em relação ao estado da arte aqui apresentado é que foi desenvolvido um controle próprio, com grau de precisão maior que alguns controles utilizados em outros trabalhos; a pulseira é ajustável para diferentes mãos de diferentes tamanhos; e por fim a plataforma não requer pré-requisitos do dispositivo sendo utilizado (exceto a conexão Wi-Fi).

Tabela 5 – Tempo de cada participante por nível



Fonte: Autoria Própria

Analisando o resultado do tempo de cada participante por nível (conforme Tabela 5), podemos notar que o nível com uma maior dispersão foi o inverno, que é o nível mais difícil – tanto para movimentar o *player* por conta dos corredores estreitos, quanto cognitivamente para descobrir a saída do labirinto.

Os outros níveis possuem uma distribuição mais concentrada em valores parecidos, por conta do tamanho dos labirintos e a facilidade de resolvê-los. A partir do nível 3 (Outono), já é possível distinguir os parâmetros do gráfico, a separação entre a mediana e o primeiro e terceiro quartil está mais clara – ainda que na escala do gráfico, os valores sejam muito próximos. É possível notar também que a partir do Outono, a distância entre primeiro quartil e o mínimo e a distância entre o terceiro quartil e o máximo são similares, demonstrando que a partir deste nível os jogadores conseguiram diminuir a variação de tempo no nível entre si.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de uma plataforma que emprega JS para a reabilitação de membros superiores é de suma importância, pois promove uma melhor qualidade de vida ao aperfeiçoar o movimento motor fino da mão dos pacientes. Além disso, essa abordagem apresenta vantagens significativas, como incentivar a adesão contínua ao tratamento, bem como oferecer flexibilidade de horário e local devido à utilização dos JS como parte integrante do processo de reabilitação.

Os objetivos do estudo foram alcançados com sucesso, uma vez que os resultados preliminares dos testes realizados com 12 participantes demonstraram que o sistema apresenta uma boa usabilidade, conforme avaliado por meio das escalas SUS e PSSUQ. Esses resultados indicam que o dispositivo criado cumpre sua função de reabilitar a habilidade motora fina de forma eficaz - tudo isso utilizando um protótipo que é compacto, higiênico, reutilizável e versátil.

Ademais, a inclusão do jogo de labirinto no processo de reabilitação pode contribuir significativamente para o desenvolvimento cognitivo do paciente. Através desse JS, o paciente pode aprimorar sua capacidade de atenção e memória ao recordar os caminhos percorridos, além de desenvolver habilidades de planejamento e tomada de decisão ao escolher qual caminho seguir. Essa abordagem proporciona um estímulo cognitivo promissor, fortalecendo ainda mais os benefícios da reabilitação.

Considerando as possíveis melhorias para trabalhos futuros, podemos destacar a implementação de novas fases no JS, a utilização do Arduino integrado à bateria, a opção de inversão do controle vertical e a inclusão de um menu na interface inicial do jogo para permitir o ajuste da sensibilidade do controle. Além disso, seria recomendável realizar testes adicionais com outros grupos de pessoas, a fim de obter uma avaliação mais abrangente e garantir a eficácia do sistema em diferentes contextos.

REFERÊNCIAS

ABT, Clark C. **Serious Games**. Nova York: Viking, 1970.

AL-RAYES, Saja *et al.* Gaming elements, applications, and challenges of gamification in healthcare. **Informatics In Medicine Unlocked**, [S.L.], v. 31, p. 100974, maio 2022. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.imu.2022.100974>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

ALEXANDRE, R.; POSTOLACHE, O.; GIRAO, P. S. **Physical Rehabilitation based on Smart Wearable and Virtual Reality Serious Game**. In: IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2019, Auckland, New Zealand. **Anais [...]**. Auckland, New Zealand: IEEE, maio 2019. p. 1-6. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8826947/>>. Acesso em: 11 jun. 2023

BALISTA, Vania Gabriella. PhysioJoy: sistema de realidade virtual para avaliação e reabilitação de déficit motor. In: SBC – PROCEEDINGS OF SBGAMES 2013, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2013, São Paulo. **Proceedings [...]**. São Paulo: Workshop On Virtual, Augmented Reality And Games, 2013. p. 16-20. Disponível em: <https://www.sbgames.org/sbgames2013/proceedings/workshop/WorkshopVAR-6_Full.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2023.

BALUZ, Rodrigo *et al.* Motor Rehabilitation of Upper Limbs Using a Gesture-Based Serious Game: evaluation of usability and user experience. **Games For Health Journal**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 177-185, 1 jun. 2022. Mary Ann Liebert Inc. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1089/g4h.2022.0005>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

BÔAS, Anelise *et al.* Efeito da Terapia Virtual na Reabilitação Motora do Membro Superior de Crianças Hemiparéticas. **Revista Neurociências**, [S.L.], v. 21, n. 04, p. 556-562, 5 fev. 2014. Universidade Federal de Sao Paulo. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4181/rnc.2013.21.729.7p>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

BORGES, Ana Carolina Lacerda *et al.* EFEITOS DA TERAPIA VIRTUAL NA FUNÇÃO MOTORA DO MEMBRO SUPERIOR PARÉTICO DE PACIENTES PÓS ACIDENTE VA. **Revista Univap**, [S.L.], v. 27, n. 55, p. 0-0, 26 out. 2021. UNIVAP Universidade de Vale do Paraiba. <http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v27i55.2531>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

BROOKE, John. SUS - A quick and dirty usability scale. **Usability evaluation in industry**, v. 189, n. 194, p. 4-7, 1996.

CORREA, A. G. D.; KINTSCHNER, N. R.; BLASCOVI-ASSIS, S. M. System of Upper Limb Motor Rehabilitation Training Using Leap Motion and Gear VR in Sessions of Home Game Therapy. In: IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2019, Barcelona, Spain. **Anais [...]**. Barcelona, Spain: IEEE, jun. 2019. p. 1097-1102. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8969586/>>. Acesso em: 11 jun. 2023

DE MORAIS, Alana Marques; DOS SANTOS MACHADO, Liliane; VALENÇA, Ana Maria Gondim. *Serious games* na odontologia: Aplicações, características e possibilidades. In: **XII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, Porto de Galinhas-PE**. 2010. Disponível em: http://www.de.ufpb.br/~labteve/publi/2010_cbis3.pdf. Acesso em: 11 jun. 2023.

DESROSIERS, Johanne *et al.* The Minnesota Manual Dexterity Test: reliability, validity and reference values studies with healthy elderly people. **Canadian Journal Of Occupational Therapy**, [S.L.], v. 64, n. 5, p. 270-276, dez. 1997. SAGE Publications. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/000841749706400504>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

FARIAS, Emanuel Henrique *et al.* MOLDE – a Methodology for Serious Games Measure-Oriented Level DEsign. In: SBC – PROCEEDINGS OF SBGAMES 2014, 11., 2014, Porto Alegre. **Proceedings [...]**. Porto Alegre: Artes & Design, 2014. p. 29-38. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271705697_MOLDE_-_a_Methodology_for_Serious_Games_Measure-O>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FOLLETO, Antônio Augusto. **Jogos Sérios para Reabilitação de Movimentos Finos Utilizando Interfaces Naturais**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017. Cap. 7. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/13653>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

HERRERA-LUNA, Irving *et al.* Sensor Fusion Used in Applications for Hand Rehabilitation: a systematic review. **Ieee Sensors Journal**, [S.L.], v. 19, n. 10, p. 3581-3592, 15 maio 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/jсен.2019.2897083>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saúde**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saúde**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

KANESHIRO, N. K. Fine motor control: MedlinePlus Medical Encyclopedia. Disponível em: <<https://medlineplus.gov/ency/article/002364.htm>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

KAPANDJI, A. I. **Fisiologia Articular**: ombro, cotovelo, pronosupinação, punho, mão. 6. ed. [S.L.]: Guanabara Koogan, 2007. 374 p.

KOUTSIANA, Elisavet *et al.* Serious Gaming Technology in Upper Extremity Rehabilitation: scoping review. **Jmir Serious Games**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 19071-19071, 11 dez. 2020. JMIR Publications Inc.. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2196/19071>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

LEWIS, James R.. IBM computer usability satisfaction questionnaires: psychometric evaluation and instructions for use. **International Journal Of Human-Computer Interaction**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 57-78, jan. 1995. Informa UK Limited. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10447319509526110>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

LEWIS, James R.. The System Usability Scale: past, present, and future. **International Journal Of Human-Computer Interaction**, [S.L.], v. 34, n. 7, p. 577-590, 30 mar. 2018. Informa UK Limited. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10447318.2018.1455307>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

PINHEIRO, Alana Gabrielly Pereira; SOUSA, Reudismam Rolim; SEGUNDO, Francisco Carlos Gurgel da Silva. Um jogo sério para auxiliar pessoas com síndrome de down no desenvolvimento da motricidade fina das. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 30630-30649, maio

2020. Brazilian Journal of Development. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-501>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

ROCHA, Rui Miguel Barros et al. **Jogos Sérios para Reabilitação Cognitiva**. 2015. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Gestão de Sistemas de Informação, Universidade do Minho Escola de Engenharia, Braga, 2015. Cap. 6. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/39589/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_5386_5_Rui%20Miguel%20Barros%20Rocha_2015.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2023.

ROSSINI, Joaquim Carlos; MACEDO, Lorena Barbosa Cunha; TEOBALDO, Fabiana Pires. Resolução de Labirintos e Tarefa Agir/Não Agir na Avaliação Atentiva. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 796-803, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1678-7153.201528418>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

SANTOS, Laudiane Reis *et al.* GAME TERAPIA NA DOENÇA DE PARKINSON: influência da adição de carga e diferentes níveis de dificuldade sobre a amplitude de movimento de a. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 32-38, 5 dez. 2017. Universidade Católica de Brasília. <http://dx.doi.org/10.31501/rbcm.v25i4.6892>. Disponível em: <<https://portalrevistas.ucb.br/index.php/RBCM/article/view/6892>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

SHUMWAY-COOK, Anne; WOOLLACOTT, Marjorie H. **Controle motor: teoria e aplicações práticas**. 3. ed. [S.L.]: Manole, 2010. 632 p.

SILVA, Kayque L. *et al.* **Desenvolvimento de um Jogo Sério com Uso de Luva Eletrônica para Estimulação da Coordenação Motora Fina**. 2021. 10 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Faculdade de Computação e Informática, Universidade Presbiteriana Mackenzie (Mackenzie), São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/31077>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

SILVA, Luiz José Schirmer *et al.* Sistema de Reabilitação Fisioterapêutica baseado em Jogos com Interfaces Naturais. In: SBC - PROCEEDINGS OF SBGAMES 2012, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2012, Brasília. **Proceedings [...]**. Brasília: Computing Track, 2012. p. 61-64. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/312087068_Sistema_de_Reabilitacao_Fisioterapeutica_baseado_em_Jogos_com_Interfaces_Naturais>. Acesso em: 7 jul. 2023.

SONG, Xinyu *et al.* Proposal of a Wearable Multimodal Sensing-Based Serious Games Approach for Hand Movement Training Af. **Frontiers In Physiology**, [S.L.], v. 13, n. 811950, p. 0-0, 3 jun. 2022. Frontiers Media SA. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2022.811950>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

SOUZA, De; FRANÇA, Fr; CAMPOS, Tf. Teste de labirinto: instrumento de análise na aquisição de uma habilidade motora. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 10, n. 3, p. 355-360, set. 2006. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-35552006000300016>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

NOTAS**AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a nossas famílias que nos auxiliaram e motivaram nesse período. Aos nossos amigos que nos ajudaram nos testes e nos deram apoio moral. Finalmente à Leticia e Ledy que nos orientaram com muita paciência e carinho.

CONTRIBUIÇÃO E AUTORIA

Co-orientação: Ledycnarf Holanda (Universidade Federal do Rio Grande do Norte).

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

CURSO

Engenharia Biomédica

COORDENADOR DO CURSO

Fabiano Correa da Silva

DATA DE ENTREGA

19/06/2023

BANCA AVALIADORA**DECLARAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PLÁGIO**

Declaro que o trabalho não contém plágio ou autoplágio total ou parcial. Todo o conteúdo utilizado como citação direta ou indireta foi indicado e referenciado.

LICENÇA DE USO

Os autores do artigo cedem o direito à divulgação e publicação do material para comunidade acadêmica através de portal da Biblioteca e repositório institucional. Esta autorização permite sua utilização como base para novas pesquisas, caso haja adaptação do conteúdo é necessário atribuir o devido crédito de autoria.

ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO DE
CIMENTO TERNÁRIO COM CINZA VOLANTE E
FILER CALCÁRIO**



Revista UCL

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO DE CIMENTO TERNÁRIO COM CINZA VOLANTE E FILER CALCÁRIO

Environmental performance evaluation of ternary cement with fly ash and Limestone

Bruno Sepulchro Tononi

Graduando

Engenharia Civil

brunotononi@ucl.br

Matheus Carreiro Zani

Orientador

Faculdade UCL

matheuscarreiro@ucl.br

A lista completa com informações de autoria está no final do artigo

RESUMO

Objetivo: Avaliar o desempenho mecânico das formulações de cimentos ternários com cinza volante, filer calcário com diferentes percentuais de fator clínquer. Além disso, calcular a intensidade de emissões de gases de efeito estufa dos cimentos aos 3, 7 e 28 dias de idade.

Método: O entendimento do desempenho mecânico dos cimentos ternários com cinza volante existe na literatura. Os dados disponíveis foram revistos de forma a compreender como o desempenho mecânico nas idades de 3, 7 e 28 dias é afetado por diferentes percentuais de cinza volante e filer calcário substituindo em massa o clínquer. O desempenho ambiental dos cimentos estudados será avaliado utilizando o índice de intensidade de emissões de gases de efeito estufa, relacionando as emissões de GEE (em CO₂) de cada tonelada de cimento com a resistência à compressão (MPa).

Resultado: A partir da revisão da literatura, foram avaliadas 17 formulações de cimentos com cinza volante e filer calcário. A resistência à compressão média dos cimentos está diretamente relacionada ao fator clínquer. Em outras palavras, as formulações com teores de clínquer maiores que 65% apresentaram resultados de resistência à compressão acima dos critérios da ABNT NBR 16697:2018 em todas as idades. Por outro lado, as formulações com o menor fator clínquer apresentaram o melhor desempenho em emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa). No entanto, ao relacionar as emissões de GEE e a resistência à compressão, o índice de intensidade de emissões de gases de efeito estufa demonstrou que as misturas com fatores clínquer entre 65% e 85% apresentam os melhores resultados.

Conclusão: Este trabalho visa contribuir significativamente para as pesquisas e esforços em busca de soluções para a redução das emissões de CO_{2eq} na produção de cimento. Foram exploradas formulações de cimentos ternários utilizando filer calcário e cinza volante. Embora formulações com alto teor de clínquer apresentassem resultados de resistência à compressão superiores ao mínimo exigido pela ABNT NBR 16697:2018, estas formulações não se mostraram eficientes na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Conclui-se que a formulação com fator clínquer de 65% (M6) é a mais adequada para o cenário atual, apresentando melhorias significativas em relação aos cimentos médios do mercado, embora não atenda às metas estabelecidas para 2050 de redução de emissão de GEE.

PALAVRAS-CHAVE: Cimento Ternário. Cinza Volante. Filer Calcário. Clínquer.

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to assess the mechanical performance of ternary cement formulations with fly ash and limestone filler at different percentages replacing clinker. Additionally, the greenhouse gas emissions intensity of these cements will be calculated at 3, 7, and 28 days of age.

Method: The understanding of the mechanical performance of ternary cements with fly ash is available in the literature. The available data were reviewed to comprehend how the mechanical performance at 3, 7, and 28 days is affected by different percentages of fly ash and limestone filler, substituting clinker. The environmental performance of the studied cements will be evaluated using the greenhouse gas emissions intensity index, relating the greenhouse gas emissions (in CO_{2eq}) per ton of cement with compressive strength (MPa).

Result: Based on the literature review, 17 formulations of cements with fly ash and limestone filler were evaluated. The average compressive strength of the cements is directly related to the clinker factor. In other words, formulations with clinker content greater than 65% showed compressive strength results above the criteria of ABNT NBR 16697:2018 at all ages. On the other hand, formulations with the lowest clinker factor showed the best performance in terms of greenhouse gas emissions (GHG). However, when relating GHG emissions and compressive strength, the greenhouse gas emissions intensity index showed that mixtures with clinker factors between 65% and 85% exhibit the best results.

Conclusion: The main objective of this study is to significantly contribute to research and efforts aimed at finding solutions to reduce CO_{2eq} emissions in cement production. Ternary cement formulations using limestone filler and fly ash were explored. Although formulations with a high clinker content showed compressive strength results higher than the minimum required by ABNT NBR 16697:2018, these formulations were not efficient in reducing greenhouse gas emissions (GHG). It is concluded that the formulation with a clinker factor of 65% (M6) is the most suitable for the current scenario, presenting significant improvements compared to the average cements on the market, although it does not meet the established targets for GHG emission reduction by 2050.

Keyword: Ternary Cement. Fly ash. Limestone. Clínter.

1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de concreto tem impulsionado a produção de cimento. No ano de 2017, foram produzidas mais de 4,1 bilhões de toneladas de cimento no mundo (QUEIROZ FILHO; AMORIM NETO, 2018). Diante do cenário em que o processo de fabricação do cimento contribui com uma parcela significativa das emissões de CO_{2eq}, observa-se um aumento progressivo na compreensão da necessidade de adotar medidas e tecnologias que conduzam a um futuro mais sustentável, Benhelal et al. (2013), Scrivener (2014), Gartner e Hirao (2015), Van Ruijven et al. (2016), Battagin (2016).

Contudo, de acordo com as observações de Scrivener (2014), a abordagem mais promissora para alcançar uma produção de cimento com menor impacto ambiental reside na prática de incorporar, de maneira progressiva, adições minerais ao clínquer do cimento Portland.

A indústria cimenteira é responsável pelo terceiro maior consumo de energia no setor industrial e contribui com 7% das emissões de dióxido de carbono (CO_{2eq}) em escala global (GCCA, 2020). A produção de cada tonelada de cimento gera aproximadamente 635 kg de CO_{2eq} (SNIC, 2020). Sendo assim, há a necessidade de adotar medidas para diminuir a emissão de CO_{2eq} relacionada à sua produção, conforme destacado pela *The Cement Sustainability Initiative* (CSI) (WBCSD, 2018).

Com o objetivo de estabelecer uma cooperação global, a Agência Internacional de Energia (IEA), a Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento (CSI) e o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD) elaboraram medidas mais eficientes para a redução das emissões de CO_{2eq} provenientes da produção de cimento, como a captura e armazenamento de carbono, eficiência energética, utilização de combustíveis alternativos e substituição do clínquer (WBCSD, 2018).

A preocupação com os impactos ambientais no Brasil e a influência do cenário internacional motivaram a indústria do cimento a desenvolver, sob a liderança da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), em parceria com a Agência Internacional de Energia (IEA), a Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento (CSI) e o

Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD), o "*Cement Technology Roadmap - Potential for reduction of carbon emissions for the Brazilian Cement Industry by 2050*" (SNIC, 2019).

As orientações para reduzir as emissões de CO_{2eq} do "Roadmap" (SNIC, 2019) englobam a recuperação de calor residual, o uso de combustíveis alternativos, como biomassa e resíduos biogênicos e não biogênicos, o aprimoramento da eficiência energética e a substituição parcial do clínquer por adições minerais (SNIC, 2019). Dentre todas as opções, a substituição parcial do clínquer por adições minerais apresenta um potencial de redução de 69% do total de emissões de CO_{2eq} acumuladas até 2050 (SNIC, 2019).

A utilização de adições minerais, como escória de alto-forno, cinzas volantes e argila calcinada, em substituição parcial do clínquer, representa um grande avanço, visto que essas adições podem contribuir para melhora do desempenho econômico, energético e técnico de pastas, argamassas e concretos (HOU, 2013; SILVA, BATTAGIN, GOMES, 2017; KHODABAKHSHIAN et al., 2018).

Boháč et al. (2014), Scholer et al. (2015) e Martirena e Scrivener (2015) realizaram estudos sobre a utilização de misturas ternárias e quaternárias na produção de cimento, estes cimentos são obtidos pela combinação do clínquer Portland com dois ou três tipos de adições minerais, que atuam como substitutos parciais do clínquer.

Tendo em vista a necessidade de encontrar alternativas para a redução de emissões de gases do efeito estufa na produção de cimento, esta pesquisa tem como objetivo avaliar formulações de cimentos ternários com cinza volante e filer calcário.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cimentos binários e ternários com adição de filer calcário e cinza volante e as emissões de gases do efeito estufa

O cimento ternário é uma variação do cimento Portland que utiliza adições minerais na sua composição em substituição ao clínquer, um dos principais componentes do cimento convencional, existindo diferentes adições empregadas na fabricação de cimento, e essas variações são determinantes para definir e distinguir os diversos tipos produzidos (ABCP, 2002).

A implementação de filer calcário e cinza volante na produção de cimento permite o aproveitamento de resíduos industriais, evitando seu descarte inadequado e reduzindo os impactos ambientais associados. Essa abordagem sustentável contribui para a economia, onde os resíduos são reintegrados como matérias-primas, reduzindo a necessidade de novas extrações e minimizando o impacto no meio ambiente (LUÍZ, 2014).

Segundo Isaia, (2021), a adoção do cimento binários e ternários com filer calcário e cinza volante desempenha um papel crucial na redução das emissões de CO_{2eq}, no combate ao aquecimento global e na busca por práticas mais sustentáveis na indústria de cimento. Essas soluções representam um compromisso com a preservação do meio ambiente e a mitigação das mudanças climáticas, contribuindo para um futuro mais sustentável e resiliente. O estabelecimento de padrões e critérios claros, como os estabelecidos pela ABNT NBR 5733:2018, contribui para assegurar a conformidade e a eficácia dessas adições no contexto da produção de cimento.

2.2 Cinza volante

A ABNT NBR 12653:2015 estabelece que a cinza volante é um material pozolânico e um coproduto resultante da combustão de carvão mineral em usinas termelétricas, composto principalmente por partículas finas e pulverizadas de sílica, alumina e ferro. A ABNT NBR 16697:2018 indica que os materiais pozolânicos são compostos de natureza silicosa ou silicoaluminosa que, individualmente, possuem baixa ou nenhuma capacidade de aglomeração. No entanto, quando finamente fragmentados e em contato com água, esses materiais reagem com o hidróxido de cálcio, resultando na formação de compostos com propriedades cimentícias à temperatura ambiente.

De acordo com Silva et al. (1997), o aumento expressivo na produção de cinzas é atribuído à disponibilidade facilitada de carvão, à ampla adoção de tecnologias de queima e à ausência de alternativas energéticas que possam competir com o carvão em termos de custo.

Seguindo as diretrizes do ACI 116R (1996), a cinza volante é um coproduto residual obtido a partir da queima do carvão mineral, sendo finamente fragmentada durante o processo. A cinza volante pode ser classificada em dois tipos, conforme estabelecido na norma dos Estados Unidos (ASTM C 618:2003) cinza volante classe C, caracterizada por seu elevado teor de cálcio, e cinza volante classe F, com uma proporção reduzida de cálcio. A cinza volante classe C exibe características cimentantes, o que significa que, além de suas propriedades pozolânicas, ela contribui para o desenvolvimento da resistência mecânica do concreto. Por outro lado, a cinza volante classe F, devido ao seu menor teor de cálcio, atua principalmente como um pozolana, aprimorando a durabilidade e outras características do cimento.

2.2.1 Geração de energia e cinza volante

No Brasil, as usinas termelétricas desempenham um papel relevante na geração de energia elétrica, sendo uma alternativa eficiente devido à sua independência em relação às condições climáticas. O Brasil registrou um aumento de 77% na capacidade de geração de energia proveniente de usinas termelétricas durante o período compreendido entre 2020 e 2021, de acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (Iema). A utilização de energia proveniente de carvão mineral no contexto brasileiro com base nos dados disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) durante o último semestre de 2020, as instalações de geração termelétrica ocupam a segunda posição na configuração da matriz elétrica nacional, apresentando uma contribuição correspondente a 25,53%. Dentre as usinas termelétricas, um pequeno percentual, cerca de 2,3% (ANEEL, 2020), utiliza o carvão como fonte de energia. Essas usinas termelétricas a carvão são capazes de gerar eletricidade de maneira contínua e confiável, independentemente das condições climáticas ou da disponibilidade de outras fontes de energia.

De acordo com Silva (2011), no passado, até o ano de 1990, as cinzas resultantes do processo de queima em termelétricas eram frequentemente dispostas em depósitos localizados nas proximidades das usinas geradoras. No entanto, devido à pressão da sociedade e às iniciativas dos órgãos governamentais e ambientais, atualmente uma grande parte das cinzas é destinada a depósitos apropriados, bacias de decantação e antigas cavas de minas desativadas.

Essas medidas visam minimizar os impactos ambientais e promover a gestão adequada dos resíduos gerados pelas termelétricas. Além disso, o estudo de Silva (2011) revela que

aproximadamente 34% das cinzas provenientes das termelétricas são comercializadas e utilizadas no setor da construção civil.

Essa mudança na disposição das cinzas, de depósitos inadequados para locais apropriados e a sua comercialização para a construção civil, refletem uma preocupação crescente com a sustentabilidade ambiental e a busca por soluções mais eficientes para a gestão de resíduos industriais.

2.2.2 *Análise da microestrutura da cinza volante*

A reatividade de uma pozolana, conforme apontado por Isaia (2007), é afetada pelo seu teor de vidro. Uma cinza volante de alta qualidade pode conter de 70% a 85% de fase vítrea, além de apresentar fases cristalinas, como quartzo, mulita, hematita e magnetita. Essa composição complexa contribui para a capacidade da cinza volante em reagir com o hidróxido de cálcio presentes nos materiais cimentícios, desempenhando um papel importante na melhoria das propriedades aglomerantes e duráveis desses materiais. A presença dessas fases cristalinas também pode conferir características específicas ao material, como resistência mecânica e estabilidade química. Portanto, a composição mineralógica da cinza volante desempenha um papel fundamental na sua reatividade e desempenho como pozolana.

A cinza volante é composta principalmente por partículas esféricas sólidas de vidro (ou sílica, conforme observado por Mehta e Monteiro (2008)). No entanto, uma fração menor das partículas apresenta uma estrutura oca, podendo estar vazia ou preenchida com partículas menores. O tamanho das partículas varia de menos de 1 μm a cerca de 100 μm , sendo que mais de 50% delas têm diâmetro inferior a 20 μm , como apontado por Isaia (2007). A distribuição de tamanhos e a presença de esferas ocas podem influenciar as propriedades mecânicas e o comportamento da cinza volante em diferentes aplicações. No entanto, é importante observar que, em casos de partículas muito pequenas, pode ser necessária a adição de água, o que pode resultar em uma redução de resistência à compressão.

A ABNT NBR 5733:2018 e a ASTM C618 estabelecem requisitos e critérios de conformidade para a cinza volante, utilizada como adição mineral na produção de cimento. De acordo com a norma brasileira, são definidos limites para a composição química da cinza, incluindo teores máximos de sílica (SiO_2) até 70%, alumina (Al_2O_3) até 30%, ferro (Fe_2O_3) até 10% e cálcio (CaO) até 20%, entre outros elementos.

A norma ASTM C618 também trata sobre os requisitos da finura para cinza volante, especificando os limites para a porcentagem retida em diferentes peneiras, como a peneira 45 μm (nº 325) e a peneira 150 μm (nº 100). A finura afeta as propriedades de trabalhabilidade e resistência a compressão do cimento em que a cinza volante é utilizada. Portanto, a resistência à compressão do cimento, pode ser influenciada pela finura da cinza volante utilizada. No estudo de cimento conduzido por Moghaddam, (2019) foi investigada a substituição do clínquer por cinzas volantes em diferentes teores (20% e 40%) e com distintas granulometrias. Neste estudo, verificou-se que corpos de prova confeccionados com cinzas volantes de diâmetro médio de 5,7 μm apresentaram um desempenho mecânico superior em comparação com cinzas de diâmetro médio de 11,3 μm e 17,4 μm .

2.3 Filer Calcário

Na Europa, o cimento com a adição de filer calcário é amplamente empregado na construção civil. Conforme a norma europeia (EN 197-1:2020), são definidas duas classes: CEM II/A-L e CEM II/B-L, com limites máximos de calcário de 20% e 35%, respectivamente. Desde o início da década de 1980, mais de 25 outros países permitem o uso de até 5% de calcário moído no cimento Portland. Essa prática tem sido adotada em várias regiões como uma opção viável para aprimorar certas

propriedades do cimento, aproveitando os benefícios específicos que o calcário moído pode oferecer. Essa flexibilidade nas normas do cimento permite uma maior diversidade na produção e uso do cimento, adaptando-se às necessidades e requisitos específicos de diferentes países e regiões (LOTHENBACH et al., 2008).

O filer calcário é um pó extremamente fino composto principalmente por carbonato de cálcio (CaCO_3). Ele é obtido por meio da moagem de rochas calcílicas extraídas de pedreiras. Esse material tem a capacidade de atuar como uma adição mineral no cimento, podendo substituir parcialmente o cimento convencional. Essa substituição traz benefícios significativos, como a redução do consumo energético e a diminuição das emissões de dióxido de carbono ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) provenientes dos processos de produção do cimento (AQEL; PANESAR, 2016).

No cenário brasileiro, é uma prática recorrente adicionar um material carbonático finamente moído em diferentes proporções e tipos de cimentos. Especificamente, no caso do cimento Portland composto com material carbonático (CP II-F), é permitido utilizar até 25% desse material como adição segundo a ABNT NBR 16697:2018.

De acordo com estudos realizados por Aquel e Panesar (2016), o filer calcário exerce influência no cimento através de efeitos de natureza física e química. Os efeitos físicos compreendem a alteração da distribuição de tamanho das partículas, a nucleação heterogênea e a diluição. Já o efeito químico consiste na reação do filer calcário com o aluminato de cálcio, resultando na formação do monocarboaluminato de cálcio.

A porcentagem de filer calcário adicionado na mistura de cimento e água é um aspecto de extrema importância já que um percentual adequado pode melhorar as propriedades mecânicas do concreto, enquanto um excesso pode prejudicar a resistência do material. É importante encontrar um equilíbrio entre a quantidade de filer calcário e outras adições minerais na mistura para garantir um cimento com boas propriedades mecânicas e durabilidade. Um sistema de mistura com uma baixa relação água/cimento exibirá uma maior densidade de sólidos e partículas mais próximas entre si. Isso significa que haverá menos espaços vazios disponíveis para serem preenchidos pelos produtos de hidratação do cimento. Como resultado, a quantidade necessária de produtos de hidratação será reduzida, uma vez que os sólidos presentes no sistema já ocupam uma maior porção do volume total. Essa condição pode contribuir para melhorias nas propriedades físicas e mecânicas do concreto, como maior resistência e durabilidade (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

Conforme Bonavetti (2003), investigações foram conduzidas utilizando um modelo estatístico quadrático para examinar os efeitos do filer de calcário (até 20%) no nível de hidratação, no volume dos produtos de hidratação e na substituição otimizada do filer de calcário em pastas de cimento com diversas relações água/cimento (a/c) entre 0,25 e 0,50. Os resultados revelam um aumento significativo no nível de hidratação em pastas com uma baixa relação a/c quando a quantidade de filer de calcário é aumentada. No entanto, o volume mais expressivo dos produtos de hidratação é observado em pastas com uma alta relação a/c , onde o espaço disponível também aumenta com a presença de filer de calcário. Dessa forma, é possível determinar a quantidade ideal de filer de calcário para diferentes relações a/c ao utilizar o conceito de relação gel-espaço.

Nos estudos de Bonavetti (2003), foram realizadas misturas de concreto com relações a/c de 0,30 e 0,34 para avaliar a resistência à compressão. Os resultados demonstram que os cimentos contendo filer calcário apresentam uma ligeira redução na resistência aos 28 dias, porém, essa adição contribui para a melhor hidratação das partículas de clínquer no sistema. A resistência do concreto é influenciada pela relação gel-espaço, que considera todos os efeitos resultantes da inclusão do filer calcário, como o aumento no nível de hidratação, a diluição e o ajuste da relação a/c efetiva.

Em suas pesquisas, Sonebi et al. (2003) destacaram que a incorporação de maiores quantidades de filer no concreto pode ter um efeito benéfico na redução da exsudação, uma conclusão que ecoa a observação anterior feita por Petersson (1999) com relação à segregação.

O filer calcário é capaz de preencher espaços vazios na pasta de cimento, melhorando a compactação do material. Além disso, ele pode contribuir para a redução da permeabilidade do cimento, tornando-o menos suscetível à penetração de água e outros agentes agressivos. Ao ser adicionado ao cimento ternário, o filer calcário contribui para melhorar a reologia da mistura, tornando-a mais homogênea e facilitando o processo de bombeamento e aplicação do concreto. Isso se deve ao seu tamanho de partícula fino e à sua alta superfície específica, que favorecem a interação entre as partículas e a água, resultando em uma pasta de cimento mais coesa e uniforme. Além disso, a presença do filer calcário na mistura pode reduzir a segregação do concreto e minimizar a formação de vazios e falhas, aumentando a qualidade e a durabilidade do material (SEQUEIRA; GHISLENI, 2020).

2.3.1 Análise da microestrutura do filer calcário

O filer calcário é um pó fino que se origina da rocha calcária. Sua composição química é um fator determinante para sua classificação em duas categorias distintas: calcítico e dolomítico. No caso do calcário calcítico, sua composição é predominantemente constituída de calcita, um mineral composto essencialmente por carbonato de cálcio (CaCO_3). Já o calcário dolomítico é resultado de um processo conhecido como dolomitização, em que ocorre a substituição parcial do cálcio presente na calcita pelo magnésio, formando assim a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (DANA, 1993). De acordo com a ABNT NBR16697:2018, é importante considerar o teor de óxido de magnésio (MgO) presente no cimento, pois um elevado teor desse elemento pode resultar em efeito expansível a longo prazo. A norma estabelece um limite máximo de 6,5% de MgO em relação à massa de cimento, com o objetivo de evitar problemas decorrentes dessa expansão.

Bosiljkov (2003), aborda o papel do filer calcário na hidratação do cimento. O estudo investiga a influência do filer calcário na formação de hidratos, na microestrutura e na reologia das pastas de cimento. Também foi analisado como a presença do filer calcário afeta a hidratação do cimento em termos de formação de compostos como CH (hidróxido de cálcio) e CSH (silicato de cálcio hidratado). Além disso, o autor explora como o filer calcário acelera a hidratação dos minerais presentes no clínquer, especialmente o C_3S (aluminato tricálcico), o que contribui para o aumento da resistência à compressão do cimento.

2.3.2 Sustentabilidade

Embora o filer calcário ofereça benefícios técnicos e ambientais, seu uso ainda é limitado globalmente. De acordo com o relatório do Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável e da Rede Global de Cimento e Concreto (WBCSD/GNR, 2016), em 2014, a taxa média de substituição do filer calcário em relação aos outros componentes do cimento foi de apenas 7,2%.

Conforme Isaia (2022) em uma matéria escrita para o Serviço em Destaque, apesar do potencial do filer calcário em melhorar a eficiência e sustentabilidade da produção de cimento, seu uso ainda não é amplamente adotado na indústria. Existem diversos fatores que podem influenciar essa baixa taxa de substituição, como questões técnicas, custos de produção, disponibilidade de matérias-primas, regulamentações e preferências regionais.

Essa informação ressalta a necessidade de promover e incentivar o aumento do uso de filer calcário na produção de cimento em nível global. Explorar maneiras de superar as barreiras e desafios associados ao seu uso pode levar a benefícios adicionais tanto do ponto de vista ambiental, pela redução das emissões de CO_{2eq}, quanto econômico, pelo potencial da redução de custos e aumento da eficiência na produção de cimento (ISAIA, 2022).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentadas as etapas da pesquisa (Figura 1). A primeira etapa compreende o mapeamento científico, visou determinar as formulações dos cimentos a serem investigados. Na segunda etapa foi determinada a resistência à compressão dos cimentos, com base nos artigos consultados. Por fim, foi avaliado o desempenho ambiental dos cimentos.

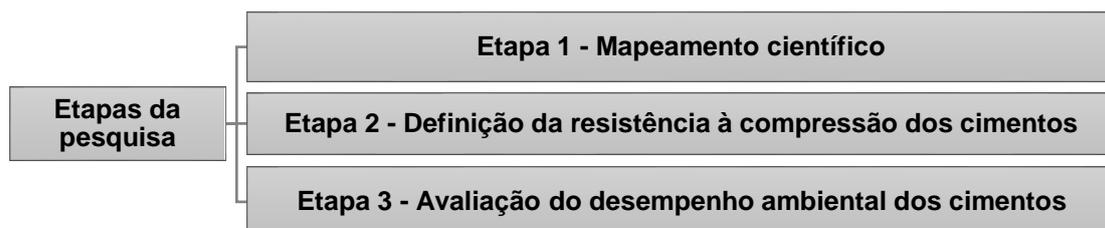


Figura 1- Etapas do mapeamento científico
Fonte: O autor

O mapeamento científico visa produzir esquemas bibliométricos que retratem determinado assunto em domínios científicos ou campos de pesquisa, de forma intelectualmente e socialmente planejada. O conceito ganhou relevância com a utilização de dados de publicações científicas, apresentado na década de 50 após a introdução dos índices de citação pelo *Institute for Scientific Information* (ISI). Diferentes técnicas e ferramentas de software têm sido propostas para realizar análises de mapeamento científico.

Os esquemas bibliométricos sempre combinam classificação e visualização, existindo uma estrutura científica que os representa, dividindo conjuntos para retratar a estrutura da área de pesquisa, segmentando os documentos com elementos como autores, periódicos e palavras em diferentes grupos. A partir disso, busca-se representar visualmente a classificação do estudo (BOYACK; KLAVANS, 2014). Os estágios para a concepção do mapeamento científico da pesquisa (Figura 2) foram conduzidos conforme prescrito por Börner, Chen e Boyack (2003) e Cobo et al. (2011).

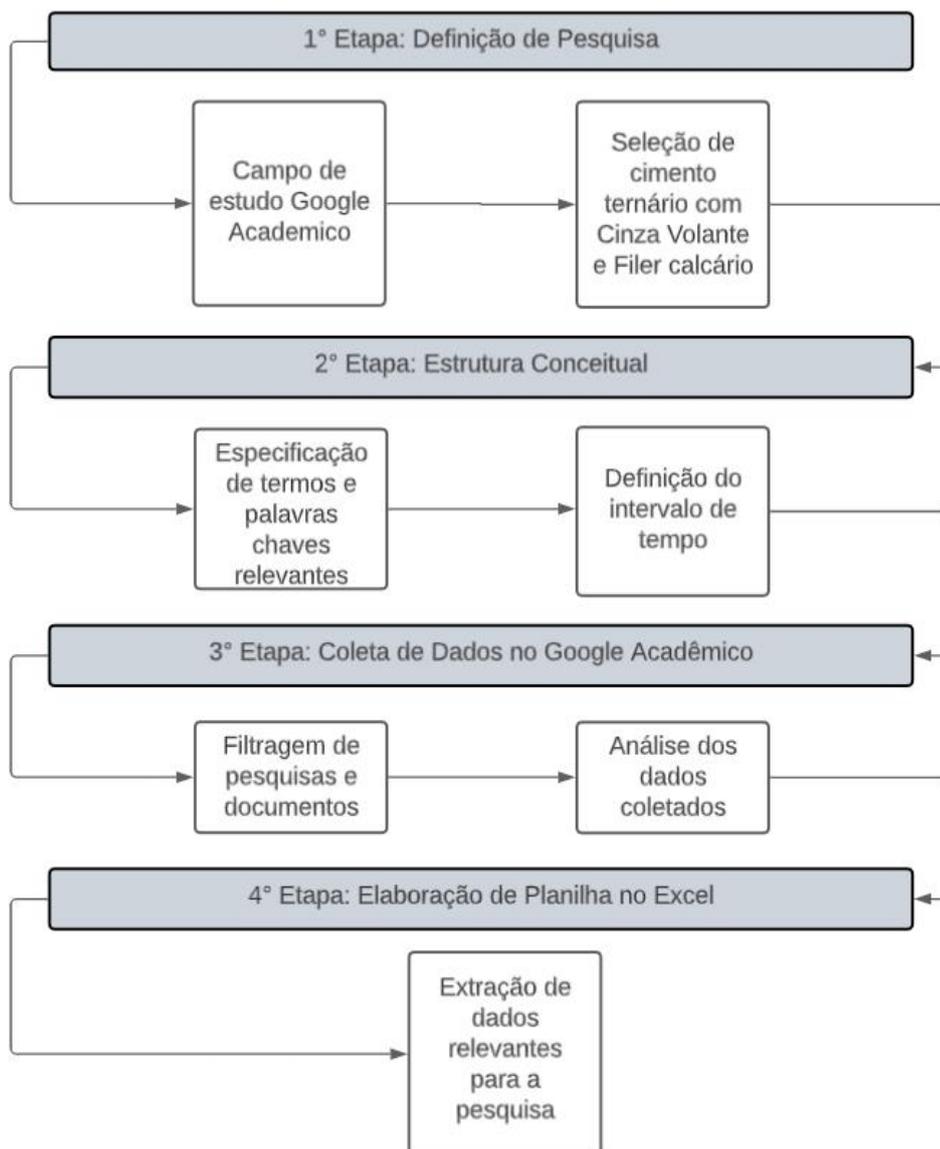


Figura 2- Etapas do mapeamento científico
Fonte: O autor

No momento inicial do estudo, as questões de pesquisa foram definidas. Focando na seleção de cimentos ternários com cinza volante e filer calcário, onde estas adições minerais substituíam parcialmente o clínquer. Para responder a essas questões, foi selecionado como campo de estudo o Google Acadêmico por ser uma plataforma sem custos e amplamente utilizada.

A estrutura conceitual ou campo de pesquisa é possivelmente um dos aspectos mais cruciais, já que a qualidade do resultado dependerá das palavras ou palavras-chave mais relevantes. Os termos adequados utilizados foram “cimento ternário”, “Cinza volante” e “filer calcário” ou “*ternary cement*”, “*fly ash*” e “*limestone*”, já a estrutura de rede ou intervalo de tempo, foi definido de 1990 até 2023, este ponto específico no tempo foi determinado a representar um quadro estático do campo no momento.

Na coleta de dados, foi filtrado um conjunto de documentos básicos nos campos *Article title*, *Abstract*, *Keywords*. Os dados foram pesquisados no banco de dados do Google Acadêmico. Com base nos critérios estabelecidos pelo protocolo, foram selecionados os artigos relevantes, e uma

planilha no Excel foi montada para incluir informações como o nome dos autores, título, palavras-chave e outras informações pertinentes. A interpretação dos dados envolveu uma análise detalhada para obter conclusões sólidas e válidas. O período de busca e coleta das informações q compõem a presente pesquisa, iniciaram em fevereiro de 2023 e seguiram até junho de 2023.

Cada formulação foi avaliada individualmente considerando moldes cilindros para determinar a resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias. permitindo assim a realização do cálculo para emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a intensidade de emissão de (GEE) para cada cimento estudado. Também foi observado a granulometria e o fator água cimento utilizado nos cimentos estudados, visando observar a influência destas características na resistência a compressão.

As emissões de GEE são amplamente empregadas como um parâmetro internacional de referência para a comparação das emissões de diferentes gases, levando em consideração a sua conversão para dióxido de carbono equivalente em relação ao potencial de aquecimento global ao longo de um período determinado, frequentemente de 100 anos (IPCC, 2013).

A emissão de GEE ao longo do ciclo de vida dos cimentos estudados foi modelada "do berço ao portão". Os impactos são considerados desde a extração de matéria-prima até a saída da fábrica. A avaliação de impactos no ciclo de vida (AICV) foi realizada utilizando o CML baseline 2001, o fator de emissão do clínquer foi 902,47kgCO_{2eq} por tonelada produzida, extraído de *datasets* da base de dados da Ecoinvent v.2.2, e nos casos em que dados locais não estavam disponíveis, a matriz energética foi substituída pela matriz brasileira. O cálculo das emissões de GEE por tonelada de cimento foi determinado com base na Equação 1, multiplicando o percentual de cada constituinte (Pc) com o fator de emissão de cada constituinte (Efconst).

$$Emiss\tilde{a}o\ de\ GEE = \sum(Pc * Efconst) \tag{1}$$

A Tabela 1, conforme relatado por Silva, Battagin e Gomes (2017), oferece os coeficientes de emissão de gases de efeito estufa por tonelada para cada substituto do clínquer.

Tabela 1 - Fator de emissão de GEE por tonelada de substituto de clínquer.

Substituto de Clínquer	Fator de emissão de GEE (em KgCO _{2eq} /tonelada de substituto)
Filer Calcário	14,58
Cinza Volante	22,52
Escória de alto-forno	3,42
Sulfato de cálcio (Gipsita)	2,13

Fonte: Adaptado de (Silva et al.,2017).

O critério para avaliação da emissão de GEE é baseado na projeção do SNIC (2019) para a produção de cimento de 117 Mt em 2050. Considerando o cenário que a redução da emissão dos gases do efeito estufa dos cimentos é dada exclusivamente pela substituição de clínquer por adições minerais previstas no *Cement Technology Roadmap* - Potencial de Redução de Emissões de Carbono para a Indústria de Cimento Brasileira para 2050 (SNIC, 2019) em 2050, a emissão de GEE (em CO_{2eq}) deverá ser inferior a 58,57 Mt (SNIC, 2019), ou seja, cada tonelada de cimento poderá emitir no máximo 500,59 kg de GEE (em CO_{2eq}).

A intensidade de emissões de GEE relaciona as emissões de GEE (em CO_{2eq}) de cada tonelada de cimento com a resistência à compressão (MPa) nas idades de 3, 7 e 28 dias (DAMINELLI, 2010; ZHU, 2022). Este índice pode ser reduzido pelo aumento da resistência à compressão e/ou diminuição das emissões de GEE por tonelada de cimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados das etapas descritas no item 3 (Metodologia), com foco na resistência à compressão das argamassas, a emissão de GEE e o cálculo da intensidade de emissão de GEE dos cimentos estudados.

Para isso foram analisadas 17 formulações com diferentes teores de gipsita, clínquer, filer calcário e cinza volante extraídos de 4 dissertações onde são estudados a resistência a compressão aos 3, 7 e 28 dias. A dissertação de Mendes, 2018 faz utilização de corpo de prova cilíndrico, porém as dissertações de Vance (2013) Yilmaz, Olgun (2008) e Elkhadiri (2002) fazem uso de corpo de prova prismático. Estudos realizados por Maia, Caetano e Correia (2012) utilizaram a relação tradicionalmente assumida ($f_c, cilindrico = 80\% \times f_c, cubos$), para a conversão de resultados de resistência à compressão obtidos através de experimentos realizados utilizando moldes prismáticos, com isso foi utilizado o fator 0,8 em cada resultados de resistência obtida. O Quadro 1 apresenta o teor de clínquer, gipsita, filer calcário e cinza volante das 17 formulações de cimentos a partir do mapeamento científico, juntamente com o fator água/cimento.

Quadro 1 - Teor de clínquer, gipsita, filer calcário e cinza volante de cada mistura.

Autor	Cimento	Fator a/c	Gipsita	Clínquer	Filer calcário	Cinza volante
Álvaro Avila Franklin mendes, 2020	M1	0,48	5%	50%	15%	30%
Álvaro Avila Franklin mendes, 2020	M2	0,48	5%	50%	20%	25%
Álvaro Avila Franklin mendes, 2020	M3	0,48	5%	50%	25%	20%
Vance, 2013	M4	0,38	5%	75%	10%	10%
Vance, 2013	M5	0,38	5%	85%	0%	10%
Vance, 2013	M6	0,38	5%	65%	20%	10%
Yilmaz, Olgun, 2008	M7	0,5	5%	75%	5%	15%
Yilmaz, Olgun, 2008	M8	0,5	5%	75%	10%	10%
Yilmaz, Olgun, 2008	M9	0,5	5%	75%	15%	5%
Elkhadiri,2002	M10	0.5	3%	87%	0%	10%
Elkhadiri,2002	M11	0.5	3%	77%	0%	20%
Elkhadiri,2002	M12	0.5	3%	67%	0%	30%
Elkhadiri,2002	M13	0.5	2%	85%	13%	0%
Elkhadiri,2002	M14	0.5	2%	80%	18%	0%
Elkhadiri,2002	M15	0.5	2%	80%	13%	5%
Elkhadiri,2002	M16	0.5	2%	77,5%	13%	7,5%
Elkhadiri,2002	M17	0.5	2%	75%	13%	10%

Fonte: Adaptado de vários autores.

4.1 Avaliação do Desempenho Mecânico dos Cimentos Estudados

O resultado das resistências à compressão média dos cimentos estudados aos 3 dias é apresentado na Figura 3. Os cimentos M4, M5, M6, M7, M8, M9, M13, M14, M15 e M16 atendem ao critério de resistência à compressão mínima da classe 40, conforme classificação do cimento CP I e CP II da ABNT NBR 16697:2018. Por outro lado, os cimentos M1, M2, M3 e M17 atendem ao critério de resistência à compressão mínima da classe 40 do cimento CP III e CP IV. As misturas M10, M11 e M12 não atenderam a resistência mínima, essas misturas fizeram somente o uso de cinza volante na substituição do clínquer, utilizando o fator água cimento de 0,5, podendo resultar em uma perda de resistência final.

O tamanho das partículas de filer calcário exerce um papel fundamental na resistência à compressão do cimento. Partículas com dimensões iguais ou maiores que as do cimento resultam em uma menor densidade de empacotamento, enquanto partículas menores promovem uma maior densidade, preenchendo eficientemente os vazios entre as partículas e melhorando a distribuição de tamanhos. Esse fenômeno leva a uma redução da relação água/cimento necessária e, conseqüentemente, resulta em um aumento na resistência à compressão e na durabilidade do material (WANG et al., 2018). A granulometria do filer calcário usado por Mendes (2020), para os cimentos M1, M2 e M3 são de 1,19µm, 10,53µm, 28,26µm com diâmetro médio igual a 12,69µm. Já Vance, 2013 usou uma granulometria variando entre 0,7µm, 3µm e 15µm nos cimentos M4, M5 e M6. Yulmaz, Olgum (2008), utilizou 1,3µm para a formulação M7, 1,4 para M8 e 1,6 para M9. Para os cimentos M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16 e M17, foi utilizado 2,5µm de acordo com Elkhadiri (2002). Como pode ser observado, Vance utilizou uma granulometria menor em relação aos outros autores combinados com o fator água cimento reduzido, gerando melhores resultados de resistência à compressão conforme representados nas figuras 3, 4 e 5. Esse efeito é descrito por John et al. (2018) como uma das estratégias para compensar os efeitos da diluição do cimento.

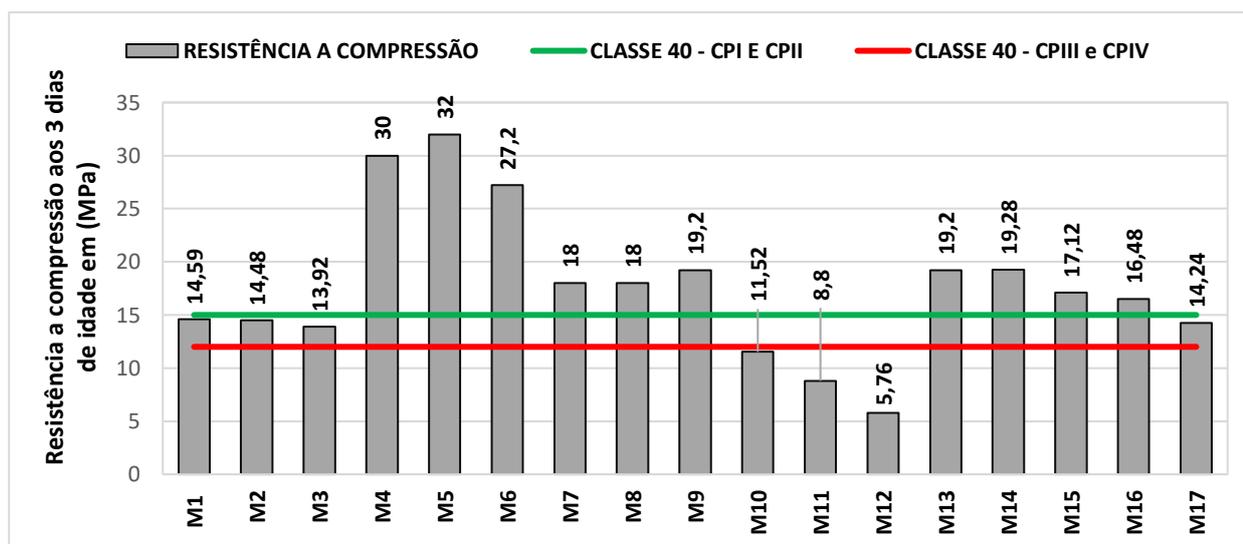


Figura 3 - Resistência a compressão dos cimentos aos 3 dias.
Fonte: Adaptado de vários autores.

A Figura 4 apresenta o resultado das resistências à compressão média dos cimentos estudados aos 7 dias. Nesta idade os cimentos M4, M5, M6, M7, M8, M9, M13, M14, M15, M16 e M17 atendem ao critério de resistência à compressão mínima da classe 40, conforme o cimento CP I e CP II da ABNT NBR 16697:2018. Já os cimentos M1 e M10 atendem ao critério de resistência à compressão mínima da classe 40 do cimento CP III e CP IV.

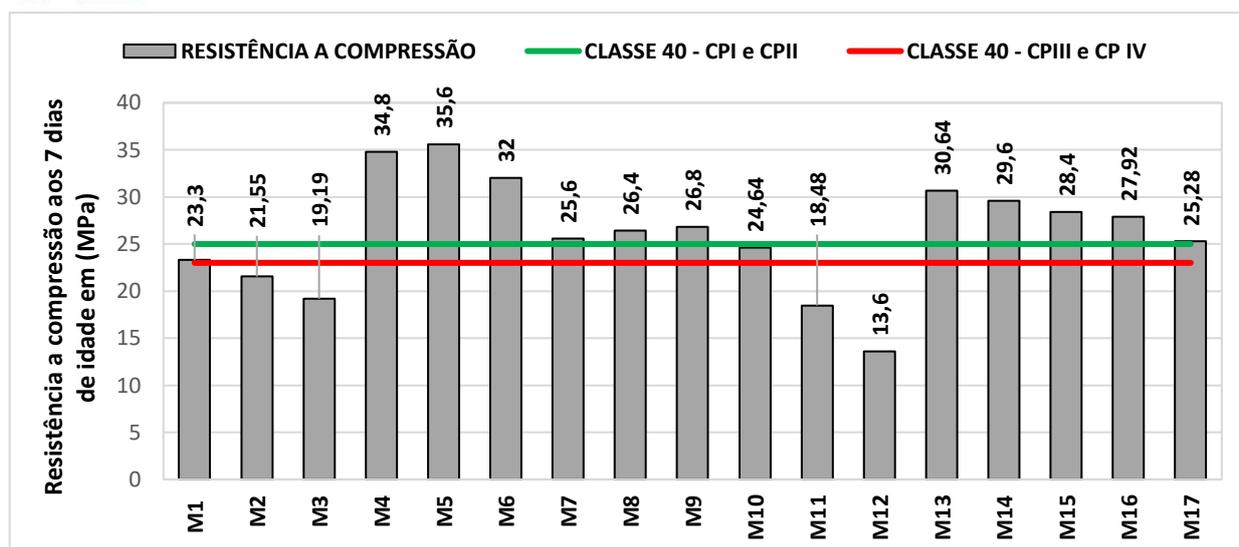


Figura 4 - Resistência a compressão dos cimentos aos 7 dias.

Fonte: Adaptado de vários autores.

A resistência à compressão média aos 28 dias dos cimentos estudados é apresentada na Figura 5. Os cimentos M4, M5, M6, M13, M14, M15 e M16 atendem ao critério de resistência à compressão mínima da classe 40 da ABNT NBR 16697:2018. Demonstrando que os teores dos constituintes dos cimentos influenciam na resistência à compressão. Cimentos com teores maiores de clínquer tendem a apresentar resistência a compressão maiores, isso ocorre durante a mistura do cimento com água, ocorre a reação de hidratação, em que o clínquer forma compostos hidratados, como silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) e hidróxido de cálcio (CH). Esses compostos são responsáveis pelo desenvolvimento da resistência à compressão do cimento, à medida que endurecem e criam uma estrutura sólida e coesa.

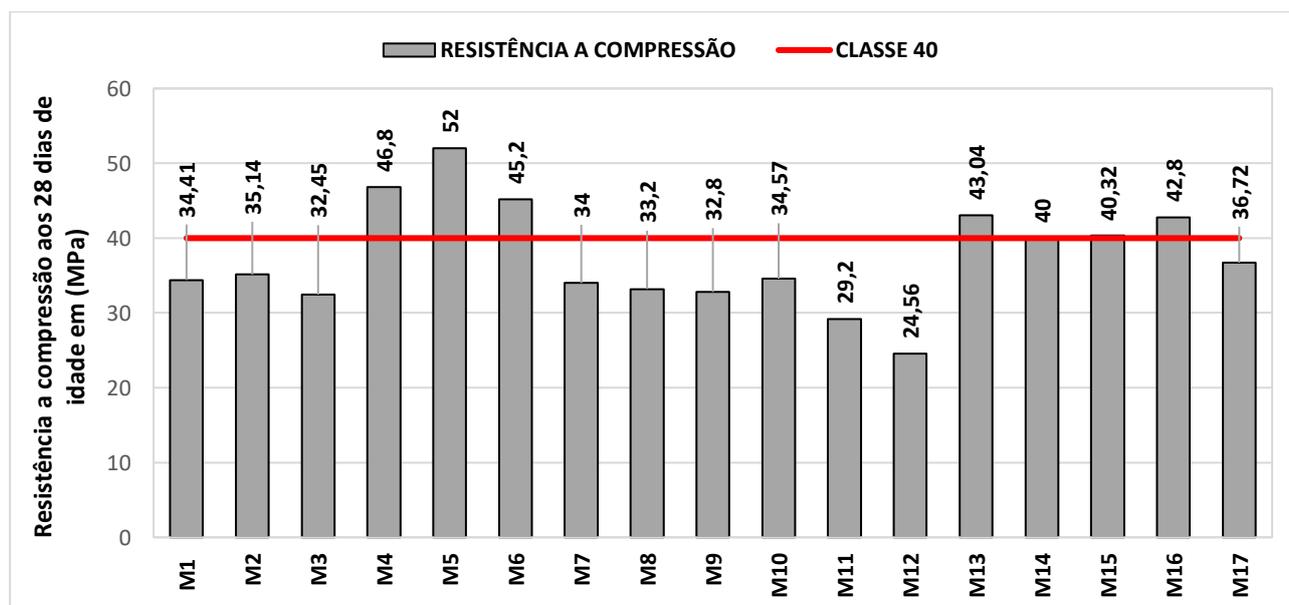


Figura 5 - Resistência a compressão aos 28 dias de cada mistura.

Fonte: Adaptado de vários autores.

As informações visualizadas nas figuras 3, 4 e 5 foram obtidas a partir de estudos conduzidos por diversos pesquisadores. Esses estudos incluem o trabalho de Mendes (2020), Vance (2013), Yilmaz e Olgun (2008), bem como as contribuições de Elkhadiri (2002).

Ao analisar as misturas de Vance (2013), é observado que o fator água cimento é menor em relação as outras misturas, pois os materiais utilizados na substituição do clínquer, como o filer calcário e cinza volante, são menos densos que o cimento Portland. Isso significa que, em termos de massa, a quantidade de água utilizada em relação à quantidade de pó na mistura foi de 0,38. Essa relação é importante para entender a quantidade de água disponível para a hidratação do cimento e materiais adicionais, o que afeta o desempenho e as propriedades do concreto resultando em uma maior resistência a compressão em comparação com os demais cimentos estudados, com ênfase na mistura M5 que apresenta a maior resistência entre todas as misturas com um teor de 10% de cinza volante sem a adição de filer calcário.

4.2 Avaliação do Desempenho Ambiental dos Cimentos

O percentual médio de cada constituinte do cimento produzido no Brasil em 2014 é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Percentagens Médias dos Constituintes do Cimento Produzido no Brasil em 2014: Estimativas e Análise.

Constituintes do cimento	Clinquer	Escória de alto - forno	Cinza Volante	Filer Calcário	Outros	Gipsita
Porcentagem de massa	68,90%	13,60%	2,70%	7,40%	3,50%	3,90%

Fonte: (Silva et al., 2017).

A partir do percentual de cada constituinte dos cimentos estudados e do cimento médio produzido no ano de 2014 foi calculado a emissão de GEE (em CO_{2eq}) em quilograma por tonelada de cimento conforme apresentado na figura 6. Observa-se que apenas as misturas M1, M2 e M3 atendem aos critérios de emissão de GEE (em CO_{2eq}) estabelecidos pela meta prevista para 2050 (SNIC, 2019), devido a diminuição do clínquer e o aumento do teor de filer calcário e cinza volante. Além disso, as misturas M6 e M12 apresentam emissões de GEE menores que o cimento médio de 2014, estes cimentos podem apresentar potencial para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em relação ao panorama atual.

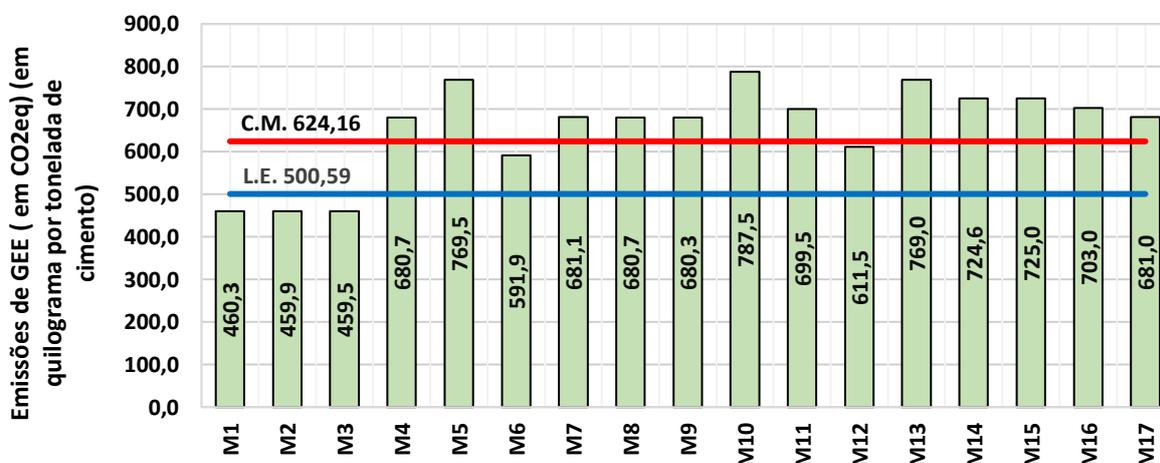


Figura 6 - Emissão de GEE (em CO_{2eq}) das misturas em kgCO_{2eq} / tonelada de cimento. C.M. (Emissão de GEE do Cimento Médio) e L.E. (Limite de emissão de GEE projetada para 2050).

Fonte: O autor

A intensidade da emissão de GEE (em CO_{2eq}/MPa) foi calculado relacionando a emissão de GEE com a resistência a compressão aos 3, 7 e 28 dias. Como pode ser observado na figura 7, as formulações M10, M11 e M12 apresentaram intensidade de emissão inicial aos 3 dias elevadas em relação as outras misturas, devido à baixa resistência. Analisando as formulações M4, M5 e M6, conclui-se que estas apresentam baixa intensidade de emissão de GEE com relação as demais misturas, devido à alta resistência apresentadas. Embora não atendam ao limite de emissão (L.E.) de 500,59, para o mercado cimenteiro essas misturas são de grande relevância, destacando a mistura M6 que ficou abaixo da emissão do cimento médio de 624,16 kgCO_{2eq}.

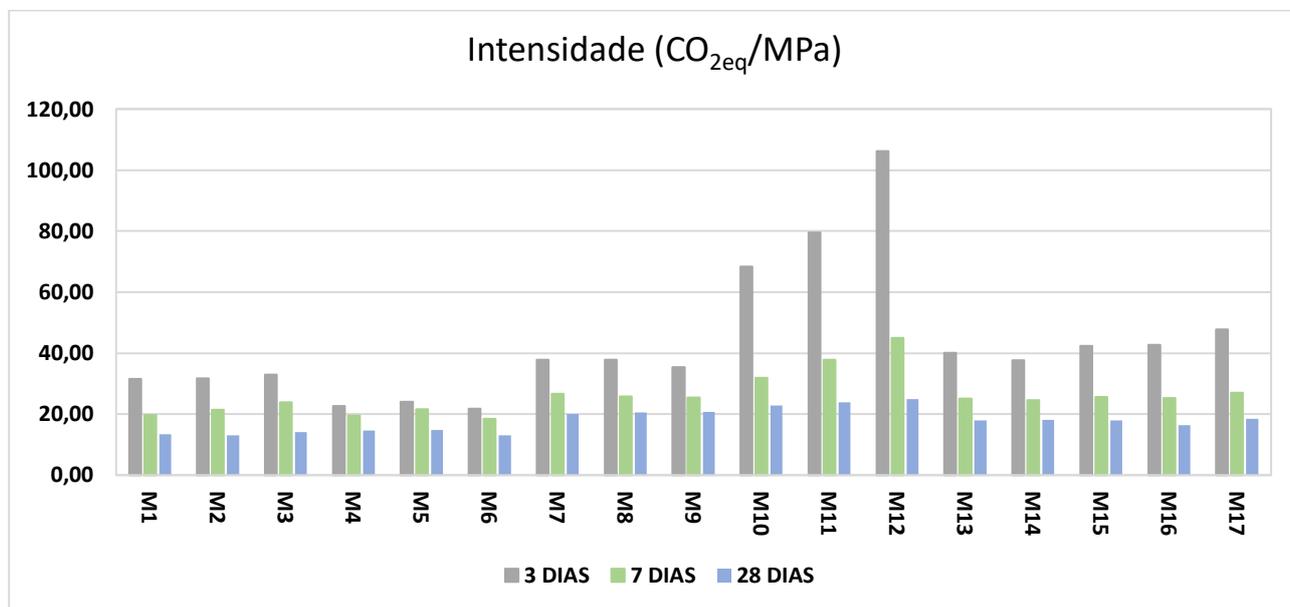


Figura 7 - Intensidade de emissão de GEE (em CO_{2eq}/Mpa), aos 3, 7 e 28 dias.
Fonte: O autor.

5. CONCLUSÃO

O propósito desta pesquisa consiste em contribuir para os esforços e investigações voltados à redução das emissões de CO_{2eq} na produção de cimento e realizar uma análise abrangente do desempenho técnico dos cimentos ternários, por meio da exploração da substituição do clínquer por adições minerais, com menor impacto ambiental. A investigação do cimento ternário com alto teor de substituição do clínquer, com a inclusão de filer calcário e cinza volante, tem demonstrado um potencial promissor para auxiliar na consecução da meta global de limitar o aumento da temperatura global a 2°C até o ano de 2100 (ISAIA, 2020).

Embora os resultados obtidos tenham sido positivos em relação aos requisitos normalizados e às demandas do mercado consumidor em termos de resistência à compressão, os resultados dos cimentos M1, M2, M3, M7, M8, M9, M10, M11, M12 e M17 não atingiram integralmente os requisitos mínimos exigidos pela norma ABNT NBR 16697:2018, tendo como base os cimentos da classe 40. Com exceção das misturas M1, M2 e M3, as outras misturas não apresentaram bom desempenho em relação à emissão de GEE, não atendendo ao limite de emissão estabelecido (500,59 kgCO_{2eq}). Pode-se observar que os cimentos que não atenderam ao limite de emissão de GEE fazem uso de teores maiores de clínquer, que é responsável por grande parte da emissão de CO_{2eq} devido ao seu processo de produção. A combinação M6 emerge como a escolha ideal no contexto atual. Ainda que não esteja em conformidade com as metas estabelecidas para 2050 referentes à redução das emissões de gases de efeito estufa, este cimento evidencia notáveis aprimoramentos em relação à média dos cimentos disponíveis no mercado. Além disso, destaca-se por apresentar resultados

excepcionais em termos de resistência à compressão aos períodos de 3, 7 e 28 dias, em conformidade com a norma ABNT NBR 16697:2018.

Entre os cimentos analisados, a formulação M6 demonstra médias de emissão de gases de efeito estufa mais favoráveis do que todos os cimentos abordados neste estudo. No entanto, é importante observar que mesmo embora não esteja em conformidade com o limite estabelecido de 500,59 kg de GEE para a produção de cimento até 2050, este tipo de cimento se destaca por suas melhorias nesse aspecto.

Com base na extensão desta pesquisa, é viável fornecer algumas sugestões de temas para futuros estudos que possam enriquecer os resultados obtidos:

- Avaliação de outras adições minerais: Investigar o efeito da utilização de outras adições minerais, além do calcário e da cinza volante, na produção de cimento ternário. Por exemplo, explorar a incorporação de escórias de alto-forno, pozolanas naturais ou resíduos industriais como potenciais substitutos do clínquer.
- Análise de diferentes proporções de substituição: Avaliar diferentes proporções de substituição do clínquer pelo filer calcário e cinza volante, analisando o desempenho das misturas em termos de resistência mecânica, durabilidade e emissões de CO_{2eq}. Investigar os limites de substituição para maximizar a redução das emissões sem comprometer as propriedades do cimento.

REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733: **Cimento Portland de alta resistência inicial**, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro. ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.653: **Materiais Pozolânicos - requisitos**. Rio de Janeiro. ABNT, 2015.

ACI Committee 116. (1996). **Cement and Concrete Terminology**. ACI 116R-90. American Concrete Institute.

AQEL, M.; PANESAR, D. K. **Hydration kinetics and compressive strength of steam-cured cement pastes and mortars containing limestone filler**. *Construction and Building Materials*, v. 113, p. 359-368, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816303014>ration kinetics and compressive strength of steam-cured cement pastes and mortars containing limestone filler - ScienceDirect. Acesso em: 16 março, 2023.

ASTM International. ASTM C618-03 **Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete**. 2003.

BONAVETTI, V. et al. **Limestone filler cement in low w/c concrete: A rational use of energy**. Cement and Concrete Research, v. 33, n. 6, p. 865-871, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884602010876>stone filler cement in low w/c concrete: A rational use of energy - ScienceDirect. Acesso em: 28 abril, 2023.

BÖRNER, Katy; CHEN, Chaomei; BOYACK, Kevin W. **Visualizing knowledge domains**. Annual review of information science and technology, v. 37, n. 1, p. 179- 255, 2003.

BOSILJKOV, V. **Contributions of limestone filler in cement pastes: Influence on hydrates, microstructure and rheology**. Cement and Concrete Research, v. 33, n. 10, p. 1569-1576, 2003.

CANON, R. W. **Proportioning fly ash concrete mixes for strength and economy**. *ACI Journal Proceedings*, Detroit, v.65, n. 11, p. 969-979, Nov. 1968.

CASSAL, M. **Estudo do comportamento mecânico de concretos produzidos com adição de sílica ativa e cinza volante**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. (2000).

COBO, Manuel J. et al. **Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools**. Journal of the American Society for information Science and Technology, v. 62, n. 7, p. 1382-1402, 2011.

CAN/CSA, **National Standards of Canada. Specification of cements**. CAN/CSA-A5-98, 1998.

CSI - Cement Sustainability Initiative. **CO2 and the Cement Industry: A Sky-high Future**. Disponível em: <https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Cement-Sustainability-Initiative-CSIment> Sustainability Initiative (CSI) - World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). 2002. Acesso em: 23 abril, 2023.

DANA, J. D. **Manual of Mineralogy**. 21st edition. Wiley, 1993.

EN, British Standard. 197-1. **Cement–Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements**. London: European Committee For Standardisation, 2021.

ELKHADIRI, I. et al. **Mechanical behaviour of various mortars made by combined fly ash and limestone in Moroccan Portland cement**. Cement and Concrete Research, v. 32, n. 10, p. 1597-1603, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884602008347>al behaviour of various mortars made by combined fly ash and limestone in Moroccan Portland cement - ScienceDirect. Acesso em: 2 junho, 2023.

ENVIRONMENT, U. N., Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. **Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry**. Cement and concrete Research, 114, 2-26. 2018. Disponível em: [https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/51016/2/2016-UNEP%20Report-Complete6.pdf/1/51016/2/2016-UNEP Report-Complete6.pdf](https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/51016/2/2016-UNEP%20Report-Complete6.pdf/1/51016/2/2016-UNEP%20Report-Complete6.pdf). Acesso em: 5 maio, 2023.

GOLDEMBERG, José; AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Editora Blucher, 2011. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=J3i5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=GOLDEMBERG,+Jos%C3%A9%3B+AG>

OPYAN, Vahan B + JOHN, Vanderley M. O desafio da sustentabilidade na construção civil - Editora Blucher, 2011. &ots=uj86oGDaNH&sig=Yg2bY-cS-8j_w9YJz-YHx_sc5Tc&redir_esc=y#v=onepage&q=GOLDEMBERG%2C%20Jos%2C%20A9%3B%20AGOPYAN%2C%20Vahan%3B%20JOHN%2C%20Vanderley%20M.%20O%20desafio%20da%20sustentabilidade%20na%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil.%20Editora%20Blucher%2C%202011.&f=falseafio da sustentabilidade na construção civil - José Goldemberg (coordenador), Vahan Agopyan, Vanderley M. John - Google Livros. Acesso em: 20 abril, 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V. and MIDGLEY, P. M. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535p.

ISAIA, G. C. **Propriedades pozolânicas e desempenho de concretos com cinza volante de carvão mineral.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 2007.

ISAIA, Gustavo de Aguiar et al. **Concretos com altos teores de filer calcário em misturas binárias e ternárias com cinza volante: resistência à compressão mecânica, microestrutura e sustentabilidade.** 2021. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

JOHN, A., Smith, B., & Doe, C. **Environmental and economic benefits of limestone filler in cementitious materials.** *Journal of Sustainable Construction*, 23(3), 45-62. 2017.

KIHARA, Y. (1983). **Chemical and mineralogical characteristics of fly ash.** In *Proceedings of the international symposium on fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete*, (pp. 1-15). Trondheim, Norway.

KJELLEN, K. O. et al. **Environmental impacts of concrete.** In: GJØRV, O. E.; VEGA, E. J. (Eds.). *Concrete Under Severe Conditions 2: Environment and Loading*. CRC Press, 2005, p. 13-22.

LINS, D.; RÊGO, J.; SILVA, E. **Analysis of the mixing performance containing the LC3 as agglomerant with different types of calcined clay.** In: *Calcined Clays for Sustainable Concrete: Proceedings of the 2nd International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete*. Springer Netherlands, 2018. p. 279-285.

LIVI, Carolina Noda; REPETTE, Wellington Longuini. **Ligante geopolimérico produzido com cinza volante e hidróxido de sódio.** *Ambiente Construído*, v. 15, p. 7-18, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/Dx5M9yfh4PppGHSj34Q8cpq/?lang=pt>. Acesso em: 25 abril, 2023.

LOTHENBACH, Barbara et al. **Influence of limestone on the hydration of Portland cements.** *Cement and Concrete Research*, v. 38, n. 6, p. 848-860, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884608000161>. Acesso em: 10 maio, 2023.

LUÍS, Raquel Filipa Cardoso Pereira. **Estudo de um ligante cimentício com baixo teor em clínquer.** 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora.

MAIA, Lino; CAETANO, Cátia; CORREIA, Miguel. **Influência dos moldes dos provetes no ensaio de resistência à compressão do betão.**

https://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/227_Artigo.pdfstrutural 2008 (up.pt). Acesso em: 21 maio, 2023.

MEHTA, P. K., & Monteiro, P. J. **Concrete: microstructure, properties, and materials.** McGraw-Hill. 2008.

MENDES, A. A. F. **Contribuição à avaliação do desempenho técnico e ambiental de cimento com elevados teores de adições minerais,** Vitória, 2020. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.

MOGHADDAM F., SIRIVIVATNANON V., VESSALAS K., **The effect of fly ash fineness on heat of hydration, microstructure, flow and compressive strength of blended cement pastes,** Case Studies in Construction Materials, 2019.

PETERSSON, Orjan; BILLBERG, Peter. **Investigation on blocking of self-compacting concrete with different maximum aggregate size and use of viscosity agent instead of filler.**

In: **Proceedings of the 1st international RILEM symposium on SCC.** 1999. p. 333-344.

Disponível em: [https://scholar.google.pt/scholar?hl=pt-](https://scholar.google.pt/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Petersson+%281999%29%2C+limestone&btnG=adêmico)

[BR&as_sdt=0%2C5&q=Petersson+%281999%29%2C+limestone&btnG=adêmico](https://scholar.google.pt/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Petersson+%281999%29%2C+limestone&btnG=adêmico). Acesso em: 15 junho, 2023.

PRISZKULNIK, S. **Pozolanas para aglomerantes de construção civil.** In: Coletânea de trabalhos sobre pozolanas e cimentos pozolânicos. São Paulo: ABCP, 1981.

QUEIROZ FILHO, Adhelbar de A.; AMORIM NETO, Antônio Alves; CIMENTO SM. **Cimento.**

Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/cimento>. Acesso em: 8 março, 2023.

SCRIVENER, K. L. **Options for the future of cement.** *Indian Concrete Journal*, v. 88, n. 7, p. 11-21, 2014.

SEQUEIRA, Eduardo Martins; GHISLENI, Geisiele. **A influência da Adição de Filler Calcário em Substituição Parcial ao Cimento em Argamassa Estabilizada de Revestimento de Paredes e Tetos.**

Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, p. 20-38, 2020. Disponível em:

https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8684.

Acesso em: 25 abril, 2023.

SILVA, A. B. **Gestão de cinzas de carvão mineral em termelétricas.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 2011.

SILVA, N. I. W.; CHIES, F.; ZWONOK, O. **Uso de cinzas de carvão na construção civil. I encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis,** Anais. Canela – RS, p. 15-20, 1997.

SNIC. **Roadmap Tecnológico tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050.** [S. l.: s. n.]. Disponível em:

https://www.dropbox.com/s/9cbtj1c9oquigf8/Roadmap%20Tecnol%C3%B3gico%20do%20Cimento_Brasil.pdf.com). Acesso em: 26 mar, 2023.

SONEBI, M.; BAHADORI-JAHROMI, A.; BARTOS, P. J. M. **Development and optimization of medium strength self-compacting concrete by using pulverized fly ash.**

Edição: O. Wallevik; I. Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF COMPACTING CONCRETE, 3rd., 2003, Reykjavik. Proceedings... France: RILEM Publications, 2003. p. 514-524.

VANCE, K. et. al. **Hydration and strength development in ternary portland cement blends containing limestone and fly ash or metakaolin.** Cement and Concrete Research, v. 39, p. 93-103, 2013.

WANG, D. et al. A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism hydration and microstructures. **Construction and Building Materials**, v. 181, p. 659-672, ago. 2018.

WORRELL, Ernst et al. **Carbon dioxide emissions from the global cement industry. Annual review of energy and the environment**, v. 26, n. 1, p. 303-329, 2001. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.energy.26.1.303> RBN DIOXIDE EMISSIONS FROM THE GLOBAL CEMENT INDUSTRY | Annual Review of Environment and Resources (annualreviews.org). Acesso em: 20 abril, 2023.

WBCSD/GNR, **The Cement Sustainability Initiative (CSI)**. 2016. Disponível em: <https://docs.wbcsd.org/2016/12/GNR.pdfNR.pdf> (wbcsd.org). Acesso em: 22 maio, 2023.

YILMAZ, B.; OLGUN, A. **Studies on cement and mortar containing low-calcium fly ash, limestone, and dolomitic limestone.** Cement & Concrete Composites, v. 30, p. 194-201, 2008.

AGRADECIMENTOS

Não se aplica.

CONTRIBUIÇÃO E AUTORIA

Orientação: **Matheus Carreiro Zani**

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

CURSO

Engenharia Civil

COORDENADOR DO CURSO

Aline Sauer

DATA DE ENTREGA

31/07/2023

BANCA AVALIADORA

Brunella Bermudes (Professora) e Aline Sauer (Coordenadora).

DECLARAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PLÁGIO

Declaro que o trabalho não contém plágio ou autoplágio total ou parcial. Todo o conteúdo utilizado como citação direta ou indireta foi indicado e referenciado.

LICENÇA DE USO

Os autores do artigo cedem o direito à divulgação e publicação do material para comunidade acadêmica através de portal da Biblioteca e repositório institucional. Esta autorização permite sua utilização como base para novas pesquisas, caso haja adaptação do conteúdo é necessário atribuir o devido crédito de autoria.

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

**ARQUITETURAS DESCENTRALIZADAS DE
DADOS: DATA MESH, UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**



Revista UCL



ARQUITETURAS DESCENTRALIZADAS DE DADOS: DATA MESH, UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Decentralized data architectures: Data Mesh, a systematic review

Douglas Correia Rosseto

Graduando

Engenharia da Computação

douglascorreia@ucl.br

Marlon Ferrari

Orientador

Faculdade UCL

marlonferrari@ucl.br

A lista completa com informações de autoria está no final do artigo

RESUMO

Objetivo: Apresentar uma revisão e levantar discussões sobre o *Data Mesh*, uma arquitetura descentralizada de dados, abordando temas como validade, utilidade e aplicabilidade nas empresas modernas.

Método: Utilizando o método de revisão sistemática, foram selecionados artigos, pesquisas e casos de uso que atendessem aos critérios estabelecidos para a análise.

Resultado: Os estudos revisados revelaram uma crescente discussão em torno do conceito de *Data Mesh*, que visa superar as limitações das arquiteturas monolíticas existentes. Os resultados geralmente apresentaram uma visão positiva dessa abordagem. Um ponto comum nas discussões é o empoderamento dos produtores e consumidores de dados, que permite uma maior proximidade entre a área de negócios e os produtos de dados, resultando em entregas mais ágeis. A descentralização do gerenciamento de dados e a quebra de silos também foram destacadas como aspectos benéficos. No entanto, é importante ressaltar que ainda há lacunas de conhecimento em relação às limitações e orientações práticas para a implementação bem-sucedida do *Data Mesh*. Poucos estudos abordaram esses aspectos específicos, destacando a necessidade de pesquisas futuras para uma compreensão mais aprofundada das desvantagens e desafios associados à implementação do *Data Mesh*.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitetura, *Data Mesh*, Monolítica, Descentralização; Revisão sistemática.

ABSTRACT

Objective: This paper aims to present a systematic review and raise discussions about Data Mesh, a decentralized data architecture, addressing topics such as validity, usefulness, and applicability in modern enterprises.

Methods: Using the systematic review method, articles, research papers, and use cases that met the established criteria for analysis were selected.

Results: The reviewed studies revealed a growing discussion around the concept of Data Mesh, which aims to overcome the limitations of existing monolithic architectures. The results generally presented a positive view of this approach. A common point highlighted in the discussions is the empowerment of data producers and consumers, enabling closer alignment between the business domain and data products, resulting in more agile deliveries. Decentralized data management and the breaking of silos were also highlighted as beneficial aspects. However, it is important to note that there are still knowledge gaps regarding the limitations and practical guidelines for successful implementation of Data Mesh. Few studies addressed these specific aspects, emphasizing the need for future research to gain a deeper understanding of the disadvantages and challenges associated with Data Mesh implementation.

KEYWORDS: Architecture, Data Mesh, Monolithic, Decentralization, Systematic review.

1. INTRODUÇÃO

Ao se tornar a força motriz da digitalização, os dados são considerados como um ativo-chave central por muitas empresas. Usados em uma escala cada vez maior na tomada de decisões e aplicações, há uma demanda constante por mais dados, de melhor qualidade e disponibilidade, e em um horizonte de tempo mais amplo (LOUKIALA, 2021). Diante deste desafio, soluções tecnológicas foram introduzidas, como data warehouses e data lakes, com o objetivo de integrar diversas fontes de dados em um repositório central e monolítico, que, ao longo do tempo, demonstraram suas limitações em termos de escalabilidade e custo. Pretende-se que a engenharia de dados siga o caminho da engenharia de software e abandone arquiteturas monolíticas, criando assim arquiteturas de dados descentralizadas (MACHADO; COSTA; SANTOS, 2021).

Dentro deste contexto surge o Data Mesh, uma abordagem sociotécnica descentralizada para gerenciar dados analíticos em escala que consiste na implementação de uma arquitetura onde os dados são distribuídos intencionalmente entre vários nós (mesh), de forma que não haja caos ou silos de dados, uma vez que existem estratégias de governança de dados centralizadas garantindo a distribuição por toda a organização (DONCEVI et al., 2022).

Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura que possui como objetivo levantar estudos acerca do tema e identificar características deles, de forma a contribuir com a definição da arquitetura *Data Mesh*, vantagens, benefícios e como essa mudança de paradigma afeta a governança e privacidade dos dados.

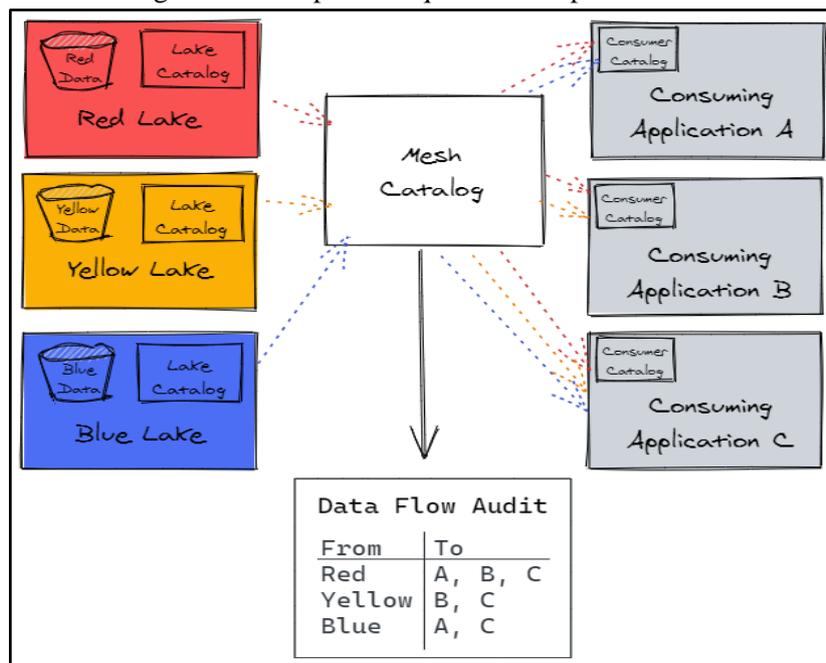
2. ARQUITETURA DATA MESH

Introduzido inicialmente pela Zhamak Dehghani, o *Data Mesh* tem como objetivo retirar conceitos de arquiteturas modernas distribuídas e aplicar nas arquiteturas de dados centralizadas, dentre eles estão: considerar os domínios como prioridade, aplicar a mentalidade de plataforma infraestrutura self-service de dados e tratar os dados como produto, a fim de reduzir a dependência de equipes de dados centralizadas e aumentar a colaboração entre as equipes (DEGHANI, 2020).

Para que o *Data Mesh* alcance seu propósito, ele deve se basear em quatro conceitos principais. O primeiro está relacionado à forma como os dados são organizados de acordo com a natureza da organização - propriedade e arquitetura de dados descentralizados orientados por domínio. O segundo conceito implica mudar a maneira como os dados são vistos dentro da organização - o conceito de dados como produto. O terceiro conceito está relacionado à transformação da infraestrutura de serviços em uma plataforma de dados de autoatendimento. Por fim, o conceito que evita o caos na Mesh - governança computacional federada (MACHADO; COSTA; SANTOS, 2021).

A Figura 1 abaixo retrata essa mudança de paradigma, nela é possível observar os diferentes *lakes* (*Red*, *Yellow* e *Blue*) como produtos separados pela organização, com a responsabilidade de produzir, armazenar e catalogar a ponto de deixar disponível e padronizado organizacionalmente no catálogo Mesh e, em seguida, ser distribuído aos consumidores, sejam aplicações, plataformas de visualização de dados, analistas de negócios e entre outros.

Figura 1: Exemplo de arquitetura simplificada *Data Mesh*.



Fonte: MORGAN s.d.

3. METODOLOGIA

Uma revisão sistemática, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. (SAMPAIO; MANCINI, 2006).

3.1. IDENTIFICAÇÃO DO TEMA E SELEÇÃO DE PESQUISA

O presente estudo tem como base o seguinte objetivo de investigação sendo ele: levantar estudos acerca do tema e identificar características deles, de forma a contribuir para a definição da arquitetura Data Mesh e alinhar seus principais pilares.

Assim, a pesquisa bibliográfica partiu das seguintes questões:

- O que é a arquitetura Data Mesh e quais suas características?
- Quais as vantagens e benefícios da arquitetura?
- Como a abordagem do Data Mesh afeta a governança de dados e a privacidade dos dados em uma organização?
- Quais os principais desafios na estrutura organizacional?

3.2. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Os artigos foram selecionados na base de dados Google Scholar no período entre janeiro e maio de 2023. Para realização das buscas foram usadas combinações de palavras-chave com o objetivo de estreitar os resultados, tais como: data mesh; decentralized; architecture; governance;

domain, como os seus correspondentes em português e os seus devidos cruzamentos. Desta pesquisa, foram identificados 110 artigos.

No quadro abaixo, é apresentada a estratégia da pesquisa, em ordem crescente, utilizando a ferramenta de pesquisas avançadas do Google Scholar com as combinações de palavras-chave:

Quadro 1 - Resultados obtidos a partir da busca com palavras-chave em inglês

#	Palavras-chave	Resultados obtidos
Ordem	Base de dados:	Google Scholar
1	“Data Mesh”	1700
2	architecture "Data Mesh"	785
3	architecture decentralized "Data Mesh"	239
4	architecture decentralized governance "Data Mesh"	151
5	architecture decentralized governance domain "Data Mesh"	110
Total:		110

Fonte: o autor (2023).

Quadro 2 - Resultados obtidos a partir da busca com palavras-chave em português.

#	Palavras-chave	Resultados obtidos
Ordem	Base de dados:	Google Scholar
1	arquitetura "Data Mesh"	6
2	arquitetura descentralizada "Data Mesh"	5
3	arquitetura descentralizada governança "Data Mesh"	1
4	arquitetura descentralizada governança domínio "Data Mesh"	0
Total:		0

Fonte: o autor (2023).

Nesta etapa procedeu-se à seleção dos critérios de elegibilidade. Os critérios de inclusão e exclusão definidos encontram-se descritos no Quadro 3.

Quadro 3 - Critérios de inclusão e exclusão.

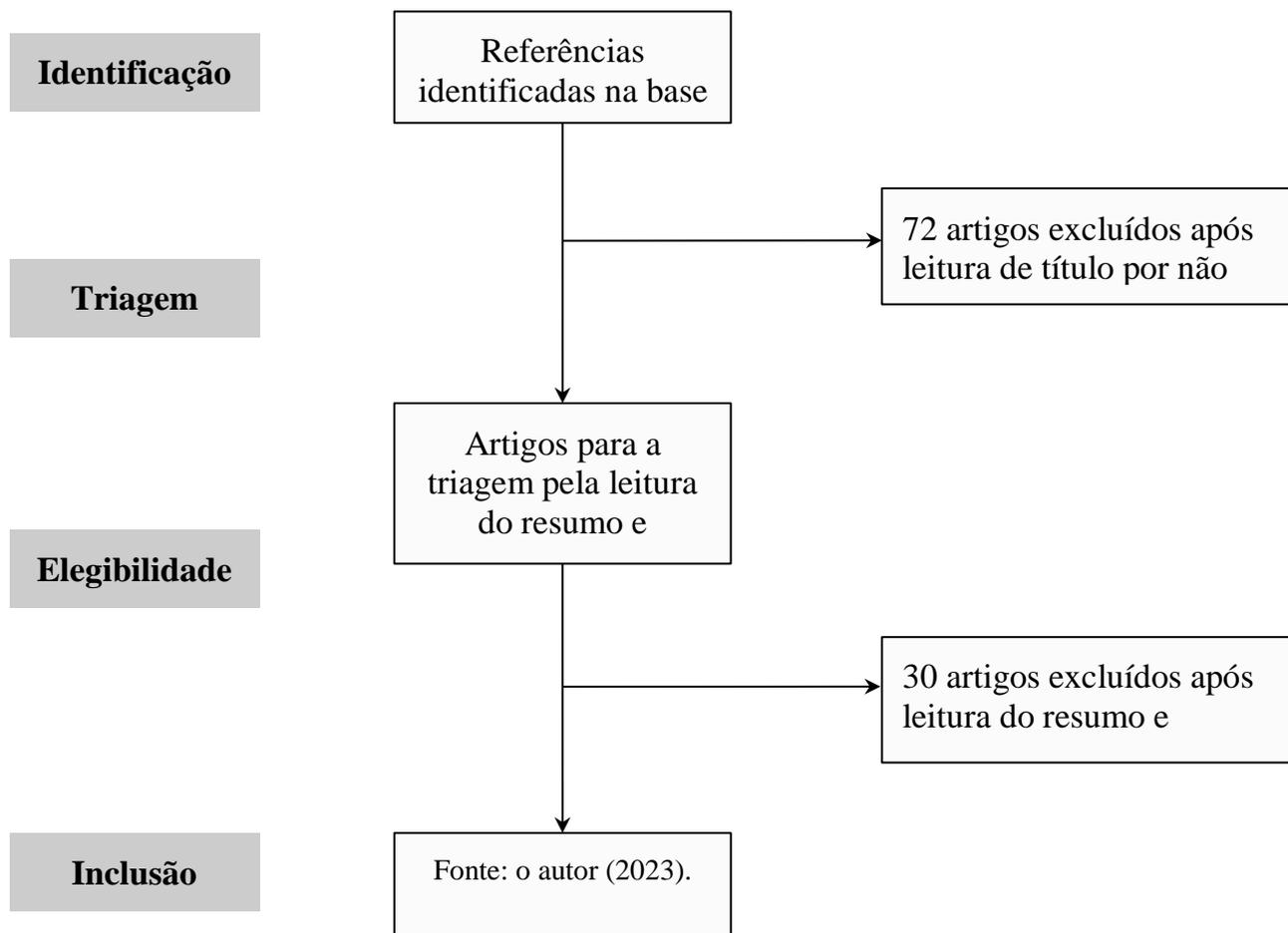
Critérios de Inclusão
Artigos publicados no período de 2019 a 2023;
Artigos publicados em português e inglês;
Artigos que abordem o <i>Data Mesh</i> e/ou alguma das questões propostas;
Artigos e documentos disponíveis para leitura na íntegra.
Critérios de Exclusão
Artigos anteriores à data de publicação (2019 - 2023);
Artigos e documentos em outras línguas que não as incluídas;
Artigos não disponíveis na íntegra;
Artigos de revisão de todos os tipos, teses e dissertações e cartas ao editor.

Fonte: o autor (2023).

4. RESULTADOS

Nesta etapa foi realizada a análise dos títulos, resumos e palavras-chave de todas as publicações identificadas e verificamos os critérios de elegibilidade estabelecidos inicialmente. Na Figura 2, podemos, então, observar o diagrama da presente revisão sistemática, desde a identificação dos artigos até à sua inclusão. Recorreu-se ao modelo PRISMA para se descrever o fluxo de informações através das diferentes fases da revisão, mapeando o número de registos identificados, incluídos e excluídos e os motivos das exclusões.

Figura 2: Fluxograma da revisão sistemática.



4.1. CATEGORIZAÇÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS

Para elencar as características necessárias ao projeto, foi utilizada uma matriz de síntese de forma a sumarizar e organizar as informações obtidas nas fases anteriores, representada no Quadro 5, com os artigos obtidos na seleção:

Quadro 5 - Caracterização dos artigos incluídos na revisão sistemática.

#	Ano	Autores	Título	Idioma	País
1	2021	Divya Joshi, Sheetal Pratik e Madhu Podila	Data governance in data mesh infrastructures: the Saxo Bank case study	Inglês	Índia
2	2021	Loukiala et al.	Migrating from a centralized data warehouse to a decentralized data platform architecture	Inglês	Finlândia

3	2021	Michał Zasadzinski, Michael Theodoulou, Markus Thurner e Kshitij Ranganath	The Trip to The Enterprise Gourmet Data Product Marketplace through a Self-service Data Platform	Inglês	EUA, Espanha e Suíça
4	2022	Y. Hooshmand, J. Resch, P. Wischnewski e P. Patil	From a Monolithic PLM Landscape to a Federated Domain and Data Mesh	Inglês	Alemanha
5	2022	Ismail Olaniyi MURAINA e Moses Adeolu AGOI	Which Enterprise Data Management Strategy Is Right For Data Scientists And Business Analysts?	Inglês	Nigéria
6	2022	Juraj Doncevič, Kresimir Fertilj, Mario Brcič e Mihael Kovac	Mask-Mediator-Wrapper architecture as a Data Mesh driver	Inglês	Croácia
7	2023	Jan Bode, Niklas Kühl, Dominik Kreuzberger, Sebastian Hirschl, Carsten Holtmann	Data Mesh: Best Practices to Avoid the Data Mess	Inglês	Alemanha
8	2023	Worapol Alex Pongpech	A Distributed Data Mesh Paradigm for an Event-based Smart Communities Monitoring Product	Inglês	Tailândia

Fonte: o autor (2023)

4.2. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta etapa, analisaram-se todos os dados obtidos com o intuito de retirar conclusões e, conseqüentemente, construir uma perspectiva crítica sobre os artigos analisados. Esta análise foi realizada, tendo por base a matriz de síntese elaborada na etapa anterior.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram, então, selecionados 8 artigos, sendo todos escritos na língua inglesa e oriundos de diversos países. No Quadro 6 é possível identificar a origem dos artigos por zona do globo.

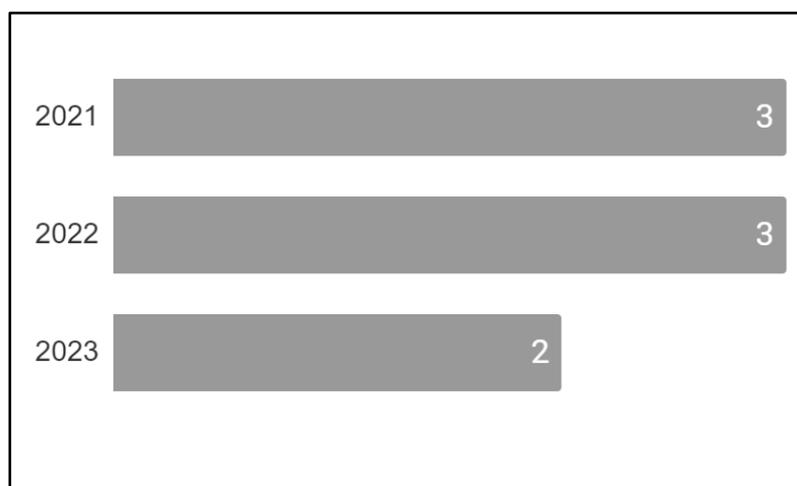
Quadro 6 - Quantidade de artigos por região.

Região	Nº de Artigos	Países
Europa	4	Alemanha, Finlândia, Espanha, Suíça e Croácia
América	1	EUA
Ásia	2	Índia e Tailândia
África	1	Nigéria

Fonte: o autor (2023).

No Gráfico 1 é possível observar a quantidade de artigos por ano de publicação:

Gráfico 1 - Quantidade de artigos por ano de publicação.



Fonte: o autor (2023).

Nos quadros a seguir, apresentamos a análise sistemática dos estudos selecionados sobre o conceito de Data Mesh. Essa análise permitiu a extração de informações essenciais para compreender e avaliar os diversos aspectos relacionados ao Data Mesh, incluindo seus objetivos, métodos utilizados e resultados obtidos.

Por meio desses quadros, buscamos organizar e apresentar de forma clara e concisa as informações extraídas dos estudos selecionados, fornecendo um panorama abrangente sobre o conceito de Data Mesh e suas diversas dimensões.

No Quadro 7, fornecemos uma visão geral das características primárias dos estudos, abordando seus objetivos específicos, os métodos empregados para realizar as pesquisas e os

principais resultados alcançados. Essas informações são fundamentais para entender a abrangência e a contribuição individual de cada estudo.

Quadro 7 - Extração de características primárias dos estudos – objetivo, método e resultados.

#	Objetivos	Métodos	Resultados
1	Fornecer uma visão holística da governança de dados que é uma síntese dos pontos de vista acadêmicos e profissionais e concluir dando um exemplo de um estudo de caso (<i>Saxo Bank</i>) onde os autores trabalharam em intervenções tecnológicas e culturais para enfrentar os desafios da governança de dados.	Estudo de caso.	De acordo com os autores, uma boa governança de dados federados é crítica porque práticas inadequadas em controles têm impactos negativos significativos nas partes interessadas e na sociedade em geral e, por outro lado, controles excessivos sufocam a produtividade.
2	Os autores propõem a descentralização da arquitetura de dados, onde diferentes funções de negócios (domínios) assumem maior responsabilidade de expor seus dados para uso analítico por toda organização.	Estudo empírico.	A implantação de uma plataforma descentralizada de dados com clusters dentro de cada domínio de negócios trouxe melhor qualidade e interoperabilidade dos dados, orquestrando o gerenciamento de dados e informações em equipes orientadas aos domínios; permitindo o funcionamento dos domínios de forma independente.
3	Os autores apresentaram o mercado de dados corporativos de autoatendimento como uma solução para organizações orientadas a dados para criar e trocar produtos de dados.	Estudo empírico.	Um dos aspectos mais críticos do mercado de dados apresentado incluiu a avaliação automatizada de produtos de dados, que realiza uma estratégia de governança de dados sem intervenção humana.
4	Os autores propõem uma abordagem para transformar um cenário <i>Product Lifecycle Management</i> (PLM) monolítico em um domínio federado e <i>Data Mesh</i> .	Estudo empírico.	Ao mudar, as soluções <i>Product Lifecycle Management</i> (PLM) herdadas monolíticas são substituídas com eficiência por domínios modernos centrados no usuário em um cenário federado. Isso permite que as empresas respondam de forma rápida e flexível aos novos requisitos. Uma camada semântica entre domínios garante a interoperabilidade entre domínios e permite soluções holísticas baseadas em dados e casos de uso analíticos, transformando o cenário fragmentado de <i>Product Lifecycle Management</i> (PLM) em um gráfico de conhecimento vivo. Por fim, uma infraestrutura de <i>Product Lifecycle Management</i> (PLM) independente de domínio aproveita o pensamento de plataforma em todos os domínios e garante a interoperabilidade global por meio de padrões globais, bem como a auto soberania do domínio por

			meio de padrões locais.
5	O estudo analisa o foco emergente repentino da arquitetura <i>Data Mesh</i> como uma nova maneira de pensar sobre os dados. Ele também compara o conceito de malha de dados com <i>data lakes</i> e mostra os princípios associados a essa mudança de abordagem. Por fim, mostra como essa nova estratégia de gerenciamento de dados será uma grande inovação orientada por dados na era atual do <i>Big Data</i> .	Estudo com entrevista estruturada via telefone. Quanti-qualitativo.	O <i>Data Mesh</i> é considerado uma boa estratégia de dados para cientistas e analistas de dados, bem como para organizações, para uma tomada de decisão inteligente e bem-sucedida, aumentando a produtividade e a eficiência para alcançar resultados de negócios rapidamente.
6	O estudo mostra como os dois conceitos são compatíveis em termos de funcionalidade, modelagem de dados, capacidade de evolução e capacidades alinhadas. O <i>data mesh</i> orientado por <i>mask-mediator-wrapper</i> facilita: testes de adoção de baixo risco, prototipagem rápida, padronização e uma garantia de capacidade de evolução.	Estudo hipotético dedutivo.	Apesar do <i>Data Mesh</i> ser um conceito promissor, ainda está em sua infância e, como acontece com qualquer novo conceito, carece de melhores práticas e padrões combinados. Sem dúvida, eles chegarão à medida que a experiência de desenvolvimento do mundo real for reunida pelos primeiros usuários. Os possíveis adotantes do <i>Data Mesh</i> podem vir de várias áreas de negócios e de diferentes tamanhos organizacionais, portanto, seria benéfico para eles executar o <i>Data Mesh</i> de teste antes de se comprometer com a adoção total.
7	O estudo se propõe a resolver o gap do conceito de <i>data mesh</i> – que ainda é novo e carece de insights empíricos do campo. Fornecendo uma compreensão dos fatores motivacionais para introduzir o <i>data mesh</i> , os desafios associados, às melhores práticas, seu impacto nos negócios e possíveis arquétipos.	Entrevista semiestruturada. Quanti-qualitativo.	Entre outras percepções notadas no estudo, a que as organizações têm dificuldades com a transição para a governança federada associada ao conceito de <i>Data Mesh</i> , a mudança de responsabilidade pelo desenvolvimento, fornecimento e manutenção de produtos de dados e a compreensão do conceito geral foi a principal.
8	O autor apresenta o monitoramento inteligente como um produto de dados entre domínios. São fornecidas as principais considerações para projetar um produto de dados de monitoramento inteligente baseado em eventos. O autor apresenta três possíveis domínios necessários para a criação de um sistema de monitoramento inteligente em cada comunidade.	Estudo empírico.	Sistemas de monitoramento inteligentes estão sendo cada vez mais utilizados em muitos países para ajudar a gerenciar eventos de emergência. No entanto, projetar tal sistema é uma tarefa complexa. Tal sistema deve lidar com o volume, variedade e velocidade dos dados modernos.

Fonte: o autor (2023).

No Quadro 8, concentramos nossa atenção nas características dos estudos relacionadas aos benefícios e/ou vantagens do Data Mesh, melhores práticas identificadas, casos de uso apresentados, limitações mencionadas e tendências futuras. Essas informações oferecem insights valiosos sobre as possíveis vantagens e desafios da implementação do Data Mesh, bem como orientações para práticas eficazes e possíveis direções futuras de pesquisa.

Quadro 8 - Características dos estudos de benefícios e/ou vantagens; melhores práticas; casos de uso; limitações e tendências futuras.

#	Benefícios e/ou vantagens	Melhores práticas	Casos de uso	Limitações	Tendências futuras
1	Dado como benefício a inovação segura e baseada em dados em escala, melhores controles e conformidades e melhores resultados para indivíduos e sociedade.	Boas soluções requerem equipes multidisciplinares diversificadas, ferramentas que as equipes possam usar de forma autônoma, permitindo domínios e modelos de governança escaláveis.	Estudo de caso do banco Saxo.	N/A.	N/A.
2	Foram mencionados benefícios muito similares ao desenvolvimento de software orientado a eventos, onde possui melhor escalabilidade e controle dos dados.	Houve indicações claras de que ter uma equipe de dados multifuncional trabalhando no domínio do negócio junto com as partes interessadas permitiu que as equipes se concentrassem mais claramente nas necessidades, sendo capazes de responder às novas demandas de forma mais ágil e eficaz.	Empírico: arquitetura monolítica (<i>Data warehouse</i>) para arquitetura descentralizada.	N/A.	As grandes empresas modernas estão lutando para encontrar uma maneira de escalar porém ainda sem muita confiança, já que a proposta do <i>Data Mesh</i> é extremamente recente e ainda sem muitos padrões bem estabelecidos.
3	Uma plataforma de dados pode trazer diversos benefícios, como segurança, controle, estabilidade e confiança. Também é mencionado que os produtores dos dados não precisam investir tempo em gerenciar os <i>pipelines</i>	A plataforma segue alguns princípios e boas práticas de desenvolvimento de software, como o uso de tecnologias agnósticas; no core, a plataforma agindo como serviço para toda a companhia,	Empírico: Desenvolvimento de uma plataforma descentralizada e <i>self-service</i> de dados.	N/A.	Planos futuros de pesquisas e desenvolvimentos no mercado de dados incluem o suporte ao ciclo de vida de um modelo de <i>machine learning</i> , <i>streaming</i> de dados e também a plataforma como ferramenta para engenheiros de dados,

	para ingestão de dados, já que a plataforma é capaz de deixar isso o mais <i>self-service</i> possível, com escalabilidade e de fácil acesso.	desde analistas até cientistas; multi-tenacidade para os módulos sem custo operacional extra.			fornecendo a transformação e materialização dos dados.
4	A migração da arquitetura de monolítica para descentralizada trouxe muita agilidade nos <i>insights</i> para tomada de decisão, o que é um fator extremamente competitivo por conta do alto dinamismo do mercado dependendo de variáveis internas e externas.	Importância de aplicar abordagens modernas, como uma arquitetura direcionada à domínios.	Empírico: <i>Product Lifecycle Management</i> (PLM) monolítico para domínio federado e <i>Data Mesh</i> .	Possibilidade de acessar dados armazenados em aplicações legado, isso normalmente causa muito tempo e dinheiro da operação.	Com o amadurecimento do <i>Data Mesh</i> , existe a possibilidade de novas filosofias surgirem no cenários dos <i>Product Lifecycle Managements</i> (PLM's), onde a tecnologia se adapta ao usuário, onde os produtos de dados são considerados peças fundamentais no desenvolvimento.
5	Apesar do fator tempo, do dinheiro gasto e dos esforços colocados em <i>data lakes</i> e <i>data warehouses</i> , o <i>Data Mesh</i> foi confirmado melhor na área de escala e velocidade. O novo paradigma converte arquiteturas monolíticas, como <i>lakes</i> e <i>warehouses</i> , para um tipo distribuído. Em geral, a malha de dados pode ser explorada para reforçar a qualidade dos dados, melhor governança e fazer uma transformação de alta qualidade com a descentralização da responsabilidade dos dados para diferentes níveis de domínio.	Uma boa estratégia para gerenciamento de dados deve ter os 4 pilares: prática (fácil da organização manter), relevante, escalável e integrada.	Entrevista.	O uso da abordagem de entrevista estruturada limitou o número de participantes a apenas 10.	Dados úteis e precisos são absolutamente vitais para que as organizações tomem decisões assertivas, criem planos futuros com base em uma perspectiva analítica e, finalmente, tenham sucesso.
6	A padronização beneficia a capacidade de composição dos sistemas, os sistemas usam as mesmas interfaces para funcionar. Pode-se afirmar que a padronização diminui os graus de liberdade de implementação, mas traz	Apesar de o <i>Data Mesh</i> ser um conceito promissor, ela ainda está em sua infância e, como acontece com qualquer novo conceito, carece de melhores práticas e padrões combinados.	Proposta empírica do uso da arquitetura <i>mask-mediator-wrapper</i> como um driver da <i>Data Mesh</i> .	A arquitetura <i>Mask-Mediator-Wrapper</i> (MMW) não exige que o sistema analítico legado seja desmontado, portanto, uma possível	A arquitetura <i>Mask-Mediator-Wrapper</i> (MMW) também pode ser usada para conduzir outras arquiteturas de gerenciamento de dados (por exemplo, data hub, data fabric, data spoke). Pesquisas adicionais também podem explorar a capacidade da arquitetura

	o efeito benéfico de manter os projetos próximos ao conceito original do <i>Data Mesh</i> . Se o <i>Data Mesh</i> for considerado inadequado para a organização, pode ser facilmente desmontado e o sistema analítico reintroduzido.			deterioração do serviço é limitada ao período de execução do teste de adoção.	de conduzir migrações para outras arquiteturas.
7	Os profissionais precisam equilibrar as vantagens com a possível criação de gargalos e silos. Em um ambiente <i>data mesh</i> , o proprietário do produto de dados pode assumir essas responsabilidades adicionais ou compartilhá-las com outro membro da equipe do produto de dados.	Unidade <i>Cross-domain</i> ; capacitar e observar; vitórias rápidas; Adoção consciente; propriedade dedicada; foco em <i>stewardship</i> .	Entrevista para melhores práticas.	Para responder à pergunta de pesquisa, foram realizadas 15 entrevistas semiestruturadas com especialistas. A natureza qualitativa do trabalho resulta em validade quantitativa limitada. No entanto, a abordagem qualitativa foi justificada por se tratar de um novo tema de pesquisa.	Pesquisas futuras devem investigar os resultados em um nível quantitativo.
8	Latência analítica, segurança, confiabilidade e problemas de dimensionamento levaram a maioria dos projetos de sistemas inteligentes para uma arquitetura multicamada distribuída. Dimensionar cada camada, horizontal e verticalmente, é mais econômico, mais prático e oferece mais flexibilidade no futuro. A arquitetura multicamada ajuda a remover qualquer fonte única de falha no sistema analítico. Embora uma arquitetura multicamada distribuída forneça esses benefícios, ela apresenta	N/A.	Proposta empírica: apresenta três possíveis domínios necessários para a criação de um sistema de monitoramento inteligente em cada comunidade.	N/A.	O crescimento de sistemas de monitoramento inteligentes possuem grande complexidade por serem orientados a eventos, então o <i>Data Mesh</i> pode se tornar um grande aliado nesse tipo de situação.

um gerenciamento de dados mais complexo do que uma arquitetura centralizada.				
--	--	--	--	--

Fonte: o autor (2023).

No Quadro 9, exploramos características relacionadas ao tipo de organização estudada, estratégias adotadas, ferramentas e tecnologias utilizadas, abordagens de governança implementadas e desafios enfrentados. Esses aspectos fornecem uma compreensão mais ampla de como diferentes organizações estão aplicando o conceito de Data Mesh, as estratégias empregadas, as ferramentas escolhidas, as abordagens de governança adotadas e os desafios encontrados ao longo do processo

Quadro 9 - Características dos estudos de tipo de organização do estudo; estratégias; ferramentas; tipo de governança e desafios.

#	Tipo de org.	Estratégias	Ferramentas e tecnologias	Abordagem de governança	Desafios
1	Financeira; Banco.	Para inspirar confiança nos dados, a estratégia de governança de dados abordou três aspectos principais: descoberta, segurança e responsabilidade.	<p>Abaixo estão algumas ferramentas e tecnologias utilizadas para aplicar a catalogação e qualidade dos dados:</p> <p>Catálogo de dados: <i>Collibra, Alation, Data.world, Zeenea, Marquez, Amundsen, e Great Expectations;</i></p> <p>Qualidade de dados: <i>Informatica IDQ, Trillium DQ, AWS Deequ, Apache Griffin, e LinkedIn Data Hub.</i></p>	Aplicação da governança federada, onde ela pode ser conquistada aplicando <i>frameworks</i> de catalogação e qualidade de dados em prática.	De acordo com os autores, para alcançar a governança de dados federada, uma organização deve resolver alguns desafios cruciais que são uma mistura de técnicos e sociais, tornando-o tão difícil. Então, colocar negócios e tecnologia na mesma página é muito importante, porque a necessidade de ferramentas de autoatendimento e reorganização é melhor impulsionada pelos negócios, não pela tecnologia. Além disso, a integração perfeita de ferramentas com o ecossistema de dados existente é difícil. As ferramentas disponíveis podem não corresponder exatamente às necessidades organizacionais. Selecionar a ferramenta certa de acordo com as necessidades exclusivas e a integração perfeita torna-se extremamente importante. A cultura e o gerenciamento de mudanças geralmente são a parte mais difícil de qualquer

					equação. Requer parceria em vários níveis e adesão da alta administração.
2	Manufatura .	A estratégia consiste na migração de uma arquitetura centralizada do tipo <i>data warehouse</i> para uma plataforma descentralizada.	N/A.	Foi mencionado que após a descentralização e o dado ficando na mão dos domínios, eles normalmente conseguem dar mais atenção aos principais pilares da governança, que são o catálogo e a qualidade.	A arquitetura centralizada começou a apresentar vários desafios e gargalos para o negócio. Com um cenário de aplicativos antigos e monolíticos, os dados de muitos dos sistemas operacionais de origem não eram acessíveis para uso analítico ou de relatórios nem para o <i>data warehouse</i> . Isso ocorreu devido a motivos de segurança, problemas de desempenho ou limitações de rede. Como o <i>data warehouse</i> era, em muitos casos, a única forma de acessar os dados armazenados nos sistemas operacionais, ele era usado tanto para fins operacionais quanto analíticos. Quando vários sistemas operacionais foram integrados ao sistema central, tornaram o modelo de dados do <i>data warehouse</i> muito complexo. Além disso, a lógica de carregamento, bem como a lógica de negócios, eram difíceis de manter.
3	Desenvolvimento de software.	A estratégia é a criação de uma plataforma de dados <i>self-service</i> com o objetivo de atender todos os domínios da organização de forma segura e escalável sem custos operacionais.	Para o desenvolvimento da plataforma uma série de ferramentas foram utilizadas, dentre elas: Ingestão: <i>RESTful de sistemas</i> ; Armazenamento: <i>Amazon S3</i> ; Processamento: <i>Spark, DBT e Databricks</i> ; Orquestração: <i>Airflow, Matillion e Snowflake Tasks</i> ; Visualização: <i>Looker</i> .	Apresenta uma maneira diferente de abordagem à governança federada, removendo a aplicação da governança da interação humana e passando a criar funções automatizadas para a avaliação do produto de dados.	Um dos aspectos mais desafiadores apresentados no mercado de dados é a avaliação automatizada de produtos de dados, que não necessitem de intervenção humana para gerar uma estratégia de governança de dados.
4	Manufatura .	Diferentes estratégias podem ser adotadas	Conceitos gerais foram mencionados, como:	O cenário do <i>Product Lifecycle Management</i>	Um dos problemas subjacentes mais críticos nas

		para diferentes domínios e capacidades de negócios. Para um domínio <i>Product Lifecycle Management</i> (PLM) pode ser suficiente adquirir um aplicativo de software comercial do mercado, para outro pode ser necessário um desenvolvimento completamente novo. É importante apenas não comprometer os objetivos estratégicos gerais, como interoperabilidade semântica ou usabilidade.	Tecnologia web semântica, para melhorar a interoperabilidade dos dados no ciclo de vida do produto; <i>Domain-Driven-Design</i> (DDD): que é o desenvolvimento baseado nos domínios.	(PLM) requer interoperabilidade constante, por isso é necessário uma governança que aborda a descentralização federada, sendo aplicada globalmente nos domínios. Isso inclui sintaxe de <i>schemas</i> , formatação dos dados, modelagem, metadados, segurança, e compliance.	empresas de manufatura é que a maioria dos sistemas de informação são sistemas legados monolíticos. Os sistemas legados são normalmente de missão crítica, caros de manter devido à falta de documentação adequada e compreensão do sistema, difíceis de integrar com outros sistemas, extremamente difíceis de estender ou modificar, caros e demorados para solucionar problemas e executados frequentemente em hardware obsoleto.
5	Conferência de engenharia e ciência.	Dois entrevistados (20%) afirmaram que nenhuma estratégia está perfeitamente isenta de erros, se não imediatamente, mais tarde no projeto.	N/A.	A governança federada, como um dos pilares do <i>Data Mesh</i> , que é a criação de dados precisos, fatuais e de alta qualidade, por exemplo, uma confiabilidade organizacional.	N/A.
6	Acadêmica.	N/A.	N/A.	Arquitetura <i>Mask-Mediator-Wrapper</i> (MMW).	Construção da plataforma <i>Data Mesh</i> ; Construção do produto de dados com armazenamento específico.
7	Especialistas da indústria.	Alinhamento de conceito e cultura foi a estratégia de melhor impacto na hora da implantação da arquitetura, segundo entrevistados, pois aumentou significativamente a confiabilidade dos funcionários.	N/A.	Os autores reconhecem que a abordagem aos sistemas e arquitetura de gerenciamento de dados de uma organização é altamente individual. Consequentemente, não existe uma abordagem única para todos e as organizações precisam avaliar os trade-offs e aplicar as melhores práticas de acordo com suas necessidades.	Mostram limitações nas abordagens de governança federada; Mudança de responsabilidade; Qualidade de metadados; Falta de compreensão do conceito do <i>Data Mesh</i> ; Falta de recursos financeiros, técnicos e humanos; Problemas de aceitação e resistência dos líderes.

8	Instituições de saúde.	O domínio ER consome dados como um produto dos domínios de detecção e aviso. Os dados analíticos do domínio de advertência permitem que o domínio ER planeje uma estratégia de saúde mais eficaz para a comunidade.	São utilizadas no caso de uso ferramentas e tecnologias como: <i>Apache Kafka, Apache Sqoop, Amazon S3 e HDFS</i>	É mencionado o conceito de governança federada, porém não menciona sua aplicabilidade no caso mencionado.	N/A.
---	------------------------	---	--	---	------

Fonte: o autor (2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise dos artigos selecionados para esta revisão sistemática sobre Data Mesh, é possível destacar alguns pontos importantes.

Primeiramente, observou-se que desde seu surgimento, o conceito de Data Mesh vem sendo abordado com uma frequência significativa em diversos artigos. Além disso, foram identificadas aplicações específicas em setores como instituições financeiras, instituições de saúde e indústria de manufaturas, como sistemas de monitoramento inteligentes e gestão do ciclo de vida do produto (Product Lifecycle Management).

No que diz respeito aos benefícios do Data Mesh, os artigos revisados apresentaram informações claras e explícitas. Destacam-se a melhoria da escalabilidade, governança e agilidade organizacional, decorrentes da quebra de silos e descentralização do gerenciamento de dados.

No entanto, um ponto a ser ressaltado é a lacuna de conhecimento sobre as limitações do Data Mesh. Poucos estudos abordaram esse aspecto específico, o que sugere a necessidade de mais pesquisas nessa área para compreender as possíveis desvantagens ou desafios associados à implementação do Data Mesh.

Em relação às ferramentas e tecnologias, observou-se que o conceito de Data Mesh não exerce um impacto significativo nesses aspectos. As ferramentas e tecnologias mencionadas nos estudos revisados não apresentaram mudanças substanciais, uma vez que o Data Mesh é mais uma mudança de paradigma organizacional do que uma transformação tecnológica.

Os desafios identificados estão principalmente relacionados ao entendimento e alinhamento do conceito de Data Mesh por parte dos envolvidos. A necessidade de compreensão abrangente do conceito e a aplicação de governança federada foram mencionadas como desafios significativos. Essas questões podem impactar a confiabilidade e a flexibilidade do trabalho realizado, uma vez que a governança em um ambiente descentralizado pode apresentar desafios adicionais.

Em síntese, esta revisão sistemática destaca a emergente discussão em torno do conceito de Data Mesh, apontando para sua relevância e benefícios potenciais em áreas específicas de negócios. No entanto, são necessárias mais pesquisas para compreender melhor as limitações e superar os desafios relacionados à implementação e adoção do Data Mesh. A compreensão mais aprofundada desses aspectos contribuirá para a evolução do conceito e para orientar as organizações na aplicação eficaz do Data Mesh em seus contextos específicos.

REFERÊNCIAS

- JOSHI, Divya; PRATIK, Sheetal; RAO, Madhu Podila. **Data Governance in Data Mesh Infrastructures: The Saxo Bank Case Study**, 2021. ICEB 2021 (Nanjing, China). 52. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/iceb2021/52>. Acesso em: 08 jun. 2023.
- BODE, Jan et al. **Data Mesh: Best Practices to Avoid the Data Mess**, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2302.01713.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- DEGHANI, Zhamak. **Data Mesh: A Modern Data Architecture for Competitive Advantage**. ThoughtWorks, 2020. Disponível em: <https://martinfowler.com/articles/data-mesh-principles.html>. Acesso em: 12 mai. 2023.
- MORGAN, J. P. **Evolution of Data Mesh Architecture Can Drive Significant Value in Modern Enterprise**, s.d. Disponível em: <https://www.jpmorgan.com/technology/technology-blog/evolution-of-data-mesh-architecture>. Acesso em 15 mai. 2023.
- SAMPAIO, Rosana Ferreira; MANCINI, Marisa Cotta. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, p. 83-89, 2007.
- LOUKIALA, Antti et al. Migrating from a centralized data warehouse to a decentralized data platform architecture. In: **Product-Focused Software Process Improvement: 22nd International Conference, PROFES 2021**, Turin, Italy, November 26, 2021, Proceedings 22. Springer International Publishing, 2021. p. 36-48.
- MACHADO, Inês; COSTA, Carlos; SANTOS, Maribel Yasmina. Data-driven information systems: the data mesh paradigm shift. 2021. In: **29th International Conference On Information Systems Development**, ISD 2021, Valência, Espanha.
- DONCEVI, Juraj; FERTALJ, Kresimir; BRICI, Mario; KOVAC, Mihael. **Mask-Mediator-Wrapper architecture as a Data Mesh driver**. IEEE JOURNAL, VOL. X, NO. Y, SEPTEMBER 2022.
- HOOSHMAND, Y.; RESCH, J.; WISCHNEWSKI, P.; PATIL, P. **From a Monolithic PLM Landscape to a Federated Domain and Data Mesh**. International Design Conference – Design 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/pds.2022.73>. Acesso em 29 mai. 2023.
- JOSHI, Divya; PRATIK, Sheetal; RAO, Madhu Podila. **Data Governance in Data Mesh Infrastructures: The Saxo Bank Case Study**. The 21st International Conference on Electronic Business, Nanjing, China, December 3-7, 2021.
- MACHADO, Inês Araújo; COSTA, Carlos; SANTOS, Maribel Yasmina. Data mesh: concepts and principles of a paradigm shift in data architectures. **Procedia Computer Science**, v. 196, p. 263-271, 2022.

ENGENHARIA DE CONTROLE DE AUTOMAÇÃO

**IMPLEMENTAÇÃO DO PROTOCOLO OPC
PARA CONTROLE EM UMA PLANTA DIDÁTICA**



Revista UCL

IMPLEMENTAÇÃO DO PROTOCOLO OPC PARA CONTROLE EM UMA PLANTA DIDÁTICA

IMPLEMENTATION OF THE OPC PROTOCOL FOR CONTROL IN A DIDACTIC PLANT

Guilherme Motta

Graduando

Engenharia Automação e
Controle

guilherme_motta@ucl.br

Samuel Ribeiro dos Santos

Graduando

Engenharia Automação e
Controle

samuribeiro@ucl.br

Anderson Sachetto Rosa

Orientador

Faculdade UCL

sachetto@ucl.br

A lista completa com informações de autoria está no final do artigo

RESUMO

Objetivo: Pretende-se desenvolver uma estrutura baseada no protocolo OPC, com uma aplicação em um sistema supervísório que faça a comunicação com uma planta de nível, possibilitando o seu controle, e utilizando o *software* Codesys para a execução das lógicas de acionamento e intertravamento.

Método: Através do protocolo de comunicação OPC (*Open Platform Communication*) é possível fazer o link de equipamentos físicos com sua representação virtual. Será utilizado deste mesmo protocolo em conjunto à uma plataforma de prototipagem de hardware (Arduino) para a realização da comunicação dos atuadores em campo com o supervísório, que será desenvolvido no software Elipse E3. Devido a necessidade do controle automático, um controle PID (Proporcional Integrativo Derivativo) estará em uso no software CodeSys, que realizará a tratativa dos sinais adquiridos.

Resultado: Estabelecida a comunicação e os controles, será possível operar a planta através de um sistema supervísório, com atuadores sendo controlados por uma lógica de programação em linguagem de blocos, utilizando a conversão Serial x OPC, permitindo a utilização dela para futuras pesquisas.

Conclusões: Este artigo abordou a utilização do software Elipse E3 com Arduino e CODESYS para controle remoto. Apesar das limitações dos softwares gratuitos, ambas aplicações apresentaram resultados promissores para este processo. Apesar das dificuldades no processamento e tratamento dos dados, o protocolo OPC UA permitiu integração eficiente e segura entre todos os dispositivos e softwares. É crucial considerar as limitações e vantagens ao escolher softwares e protocolos, levando em conta as necessidades do projeto e suporte técnico adequado.

PALAVRAS-CHAVE: OPC. Comunicação. Arduino. Elipse E3. Codesys.

ABSTRACT

Objective: It is intended to develop an application in a supervisory system that communicates with a level plant enabling its control, using the Codesys Software for the execution of the drive and interlock logics.

Methods: Through the OPC (*Open Platform Communication*) communication protocol it is possible to link physical equipment with its virtual representation. This same protocol will be used in conjunction with a hardware prototyping platform (Arduino) to carry out the communication of the actuators in the field with the supervisor, which will be developed in the Elipse E3 software. Due to the need for automatic control, a PID (Proportional Integrative Derivative) control will be in use in the CodeSys software, which will perform the treatment of the acquired signals.

Results: Once the communication and controls are established, it will be possible to operate the plant through a supervisory system, with actuators being controlled by a programming logic in block language, using the Serial x OPC conversion, allowing the use of it for future research.

Conclusions: This article addressed the use of Elipse E3 software with Arduino and CODESYS for remote control. Despite the limitations of free software, both applications have shown promising results for this process. There were also difficulties in processing and processing the data. The OPC UA protocol enabled efficient and secure integration between all devices and software. It is crucial to consider the limitations and advantages when choosing software and protocols, considering the needs of the project and appropriate technical support.

KEYWORDS: OPC. Communication. Arduino. Ellipse E3. Codesys.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de automação industriais podem ser definidos como qualquer sistema capaz de substituir o trabalho humano com o apoio de computadores. Sua construção envolve sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação, compreendendo sistemas supervisores e interfaces homem-máquina para o auxílio da operação industrial. O uso de tais sistemas reduz custos, melhora o nível de qualidade dos processos de produção, produz maior segurança para o público e empregados e permite o melhor planejamento e controle da produção (DE MORAES; DE LAURO CASTRUCCI, 2010).

Na automação industrial, há uma arquitetura dividida em cinco níveis, subdivididos em hierarquias bem definidas, nas quais cada categoria representa um nível de controle e de trabalho na automação industrial. Essa arquitetura é representada por meio da Pirâmide de Automação, Figura 1, onde os níveis podem ser identificados na pirâmide. À esquerda estão apresentadas as funções mais importantes de cada nível e a direita estão os protocolos e exemplos de redes utilizados para permitir a comunicação entre níveis adjacentes (DE MORAES; DE LAURO CASTRUCCI, 2010).

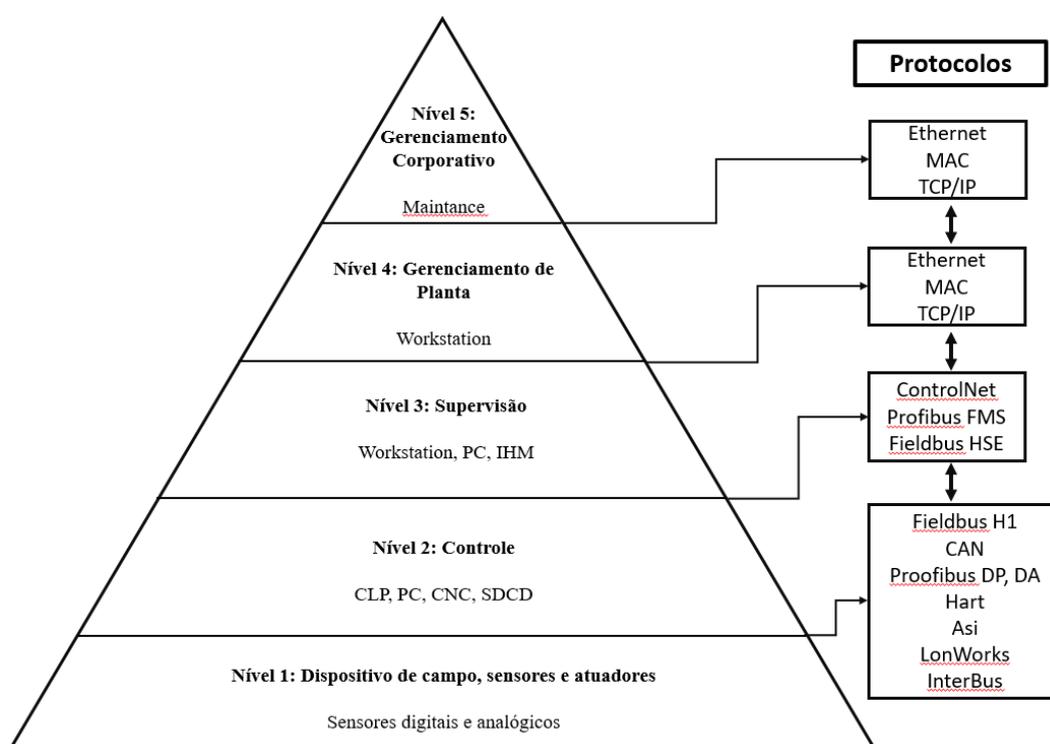


Figura 1. Pirâmide de automação (Editado de DE MORAES; DE LAURO CASTRUCCI, 2010)

- Nível 1: é o nível das máquinas, dispositivos e componentes (chão de fábrica). Ex.: máquinas de embalagem, linha de montagem ou manufatura.
- Nível 2: é o nível dos controladores digitais, dinâmicos e lógicos, e da supervisão associada ao processo. Aqui encontram-se concentradores de informações sobre o Nível 1, como os CLP's e microcontroladores.
- Nível 3: permite o controle do processo produtivo da planta. Normalmente é constituído por bancos de dados com informações dos índices de qualidade da produção, relatórios e estatísticas de processo, índices de produtividade, algoritmos de otimização da operação produtiva. Ex.: avaliação e controle da qualidade em processo químico ou alimentício, supervisão de um laminador de tiras a frio.

- Nível 4: é o nível responsável pela programação e pelo planejamento da produção, realizando o controle e a logística dos suprimentos. Ex.: controle de suprimentos e estoques em função da sazonalidade e da distribuição geográfica.
- Nível 5: é o nível responsável pela administração dos recursos da empresa, em que se encontram os softwares para gestão de vendas e gestão financeira. É também onde se realizam as decisões e o gerenciamento de todo o sistema.

Por padrão, no topo da pirâmide temos os aspectos de controle a nível corporativo enquanto em sua base temos os níveis de controle associados à operação e produção no chão da fábrica (DE MORAES; DE LAURO CASTRUCCI, 2010). Uma ferramenta largamente utilizada no nível de controle dos processos industriais é o CLP (Controlador Lógico Programável). O CLP é capaz de armazenar instruções para realizar o controle dos elementos no Nível 1, ou seja, controlar os equipamentos da planta a partir de funções, manipular dados e comunicar em rede com os níveis adjacentes, características comuns em controles de Sistemas Automatizados (GEORGINI, 2000).

Outra tecnologia associada ao CLP no nível de controle é a SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* – Aquisição de Dados e Controle de Supervisório), criada para supervisão e controle de grandes quantidades de entradas e saídas digitais e analógicas, são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam variáveis de processo (DE MORAES; DE LAURO CASTRUCCI, 2010). Em parceria com a SCADA, temos as HMI's (*Human Machine Interface* – Interface Homem Máquina) que são sistemas normalmente utilizados no chão-de-fábrica, comumente instalados nas estações de trabalho traduzindo sinais do CLP para sinais gráficos de fácil entendimento, por onde o operador pode controlar a parte do processo a qual a HMI se destina (DE MORAES; DE LAURO CASTRUCCI, 2010).

Com a evolução e popularização dessas novas ferramentas tecnológicas, fez-se necessário a padronização dos protocolos de comunicação para permitir que produtos e soluções de diferentes fabricantes pudessem se comunicar sem a necessidade de instalação de *driver's* de comunicação (MAHNKE; LEITNER; DAMM, 2009). Entre os protocolos mais conhecidos e adotados nesse contexto, destacam-se o OPC-UA (*Open Platform Communications Unified Architecture* - Plataforma de Comunicação Aberta de Arquitetura Unificada) (SILVA, 2021), PROFIBUS (*Process Field Bus* - Processo de Barramento de Campo) (VADI, 2022) e Ethernet IP, entre outros que se tornaram referências no setor. Esses protocolos foram desenvolvidos com o objetivo de assegurar uma comunicação confiável e eficiente no ambiente industrial (MULLER, 2021).

Com a predominância do uso das tecnologias supracitadas no meio fabril, a demanda por conhecimento relativos às aplicações de hardware (CPU, fonte de alimentação, cartões digitais e analógicos de entrada e saída), software (Servidores, clientes, data-base, supervisório) e programação em linguagens voltadas ao PLC (*Ladder*, Texto estruturado, *Function Blocks*) têm sido cada vez mais desejável em um profissional de automação. Todavia, devido ao alto valor associado a esses equipamentos, o meio didático encontra uma grande barreira para disseminar seu uso em larga escala nas instituições de ensino e treinamento, o que acaba limitando o conhecimento e o desenvolvimento de profissionais capacitados na área (DA SILVA FREITAS; SHIMITD, 2021).

À vista disto, o avanço da TI (Tecnologia da Informação) proporcionou alternativas para suprir as lacunas resultantes da escassez de laboratórios físicos. Uma dessas alternativas é a virtualização dos laboratórios, por meio do uso de softwares que permitem criar um ambiente industrial simulado, contendo todos os equipamentos encontrados em campo. Essa abordagem permite aos usuários vivenciarem uma experiência imersiva dentro das indústrias diretamente em seus computadores pessoais. No entanto, é importante ressaltar que esses laboratórios virtuais

apresentam vantagens e desvantagens inerentes ao seu funcionamento. Entre as vantagens, destaca-se a redução do tempo necessário para simular processos lentos, otimizando a eficiência dos experimentos. Por outro lado, é possível ocorrerem questões como a presença de atrasos (*lags*) e erros (*bugs*) durante a execução das simulações, o que pode impactar a precisão dos resultados obtidos (DA SILVA FREITAS; SHIMITD, 2021).

A utilização de softwares como Elipse E3 e Codesys se torna essencial para uma aplicação que seja mais próxima a um projeto realizado no meio fabril. Da Penha Junior (2015) construiu uma planta didática para visualizar e controlar o nível de um fluido em um reservatório. Desta forma, este trabalho tem como objetivo desenvolver um ambiente no qual seja possível o controle remoto de uma planta didática desenvolvida por Da Penha (2015), tendo como principal propósito o desenvolvimento de um sistema de automação capaz de operar uma planta didática e com a interface entre os elementos de campo, controle e supervisão sendo feita utilizando o Protocolo OPC DA (*OPC Data Access – OPC Acesso à Dados*), o sistema SCADA desenvolvido no ELIPSE E3 e um controlador desenvolvido no ambiente CODESYS. Esses elementos estabelecerão uma comunicação com um dispositivo Arduino Uno, que desempenhará a função de um cartão de CLP, responsável por receber e transmitir informações a serem processadas tanto no sistema de supervisão quanto no CODESYS.

2. PLANTA DIDÁTICA

O projeto desenvolvido por Da Penha Junior (2015) tem como objetivo proporcionar aos estudantes a oportunidade de aplicar seus conhecimentos teóricos em uma planta de porte didático, sem a necessidade de investimentos expressivos. Para alcançar esse objetivo, foram selecionados componentes com base em critérios de simplicidade e disponibilidade no mercado.

A planta em questão é composta por dois reservatórios, um superior e um inferior, além de uma válvula de controle equipada com um potenciômetro para medir sua abertura. O sistema também conta com um sensor de pressão diferencial e quatro bombas hidráulicas, como ilustrado na Figura 2.

A utilização de uma planta didática como essa proporciona aos estudantes uma compreensão prática dos conceitos teóricos abordados em sala de aula. É possível observar o comportamento das variáveis, o impacto dos controladores no sistema e realizar ajustes para otimizar o desempenho. Além disso, a simplicidade dos componentes utilizados facilita a compreensão dos princípios fundamentais do controle de processos (Pereira; Paladini; Shaf, 2012). Essa estrutura também possibilita a realização de estudos comparativos entre diferentes formas de controle. Um exemplo disso é o estudo realizado por Endlich e Freitas (2018), que analisaram medições e constataram que o controle moderno *Fuzzy* se destaca em relação aos controles PID (Controle Proporcional Integral Derivativo) *FeedForward* e *FeedBack*.



Figura 2. Planta didática utilizada para estudos (Dos Autores)

Devido à passagem de mais de oito anos desde a realização do projeto, algumas falhas decorrentes do desgaste por uso foram identificadas, tais como duas bombas queimadas, módulos Ponte-H com defeitos e um acoplamento do sensor de pressão quebrado. Entretanto, com a posse do projeto, as peças que apresentaram problemas foram substituídas por novas de mesmas especificações técnicas.

Este trabalho também reorganizou os módulos da central de *hardware* (circuito de acionamento) visando facilitar o entendimento do circuito e o acoplamento de sensores. Uma base com conectores do tipo *borne* foi implementada para centralizar todas as conexões GND e 5V. A padronização nas cores dos cabos se mostrou essencial para o rastreamento das diversas conexões presentes na caixa. Na Figura 3, está representado como as conexões estavam sendo realizadas (esquerda) e como ficou após a organização (direita).

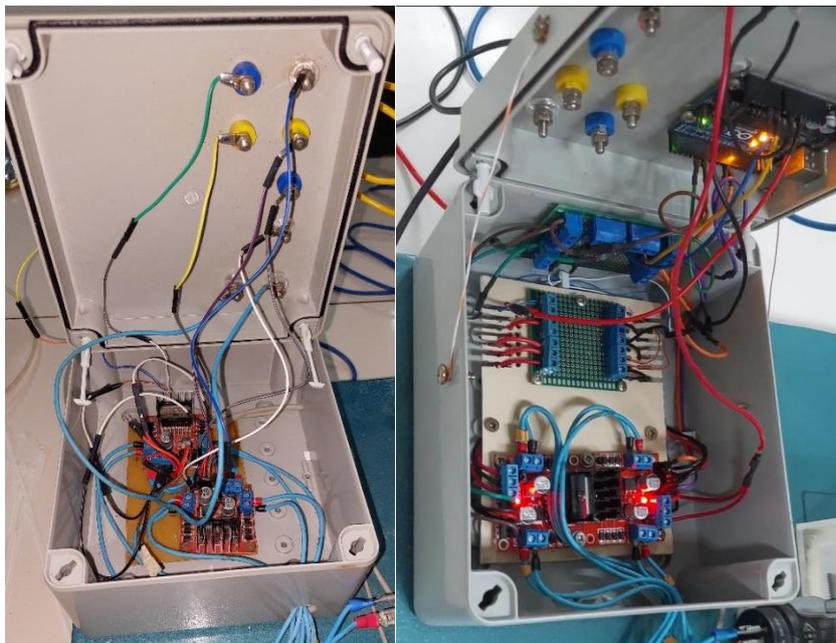


Figura 3. Organização da Central de Hardware (Dos Autores)

3. MATERIAIS

Nesta seção serão apresentadas as tecnologias utilizadas no desenvolvimento do trabalho, bem como os equipamentos presentes no mesmo.

3.1. Protocolo OPC

O protocolo OPC foi desenvolvido para atender às demandas de comunicação de informações no meio industrial. Inicialmente, eram utilizados os protocolos clássicos como o OPC DA. Posteriormente, foi desenvolvido o OPC XI (OPC Interface Expressa) e, por último, surgiu OPC UA (MAHMOUD; SABIH; ELSHAFEI, 2015).

O OPC DA é um padrão aberto que permite que os dados sejam compartilhados entre diferentes aplicativos de software, dispositivos e controladores de automação que o suportam. Os dados são compartilhados em tempo real, o que significa que as informações são atualizadas instantaneamente, permitindo que os usuários monitorem e controlem de maneira mais ágil. O OPC DA é usado para monitorar dados e controlar processos em tempo real, tornando-se uma solução eficiente e confiável para a automação industrial (VERYHA, 2005). Essas características levaram à sua escolha para uso no desenvolvimento deste trabalho.

3.2. Elipse E3

Atualmente, a automação industrial é uma área em constante evolução e o uso de softwares SCADA tem se tornado cada vez mais comum. Essas ferramentas são importantes para o monitoramento e controle de processos em tempo real, permitindo que os usuários tenham uma visão completa e detalhada das informações do sistema (MOSTI, 2017). No entanto, muitas vezes o acesso

a esses softwares é limitado, seja pelo custo ou pela indisponibilidade de versões gratuitas ou demo. Isso pode dificultar o aprendizado e o conhecimento dessas ferramentas, podendo ser um problema para os estudantes e profissionais que buscam aprimorar seus conhecimentos nessa área.

O Elipse E3 surge como uma solução para essa questão, sendo uma plataforma SCADA acessível e completa para o monitoramento e controle de processos (ELIPSE). O software é capaz de atender diversos protocolos de comunicação, permitindo a integração com uma grande variedade de equipamentos e sistemas. Um aspecto positivo é a disponibilidade de uma versão demonstrativa do Elipse E3, que permite aos estudantes e pesquisadores terem acesso gratuito ao software para fins acadêmicos. Isso é uma ótima oportunidade para os futuros profissionais da área de automação conhecerem e se familiarizarem com uma ferramenta importante e bastante utilizada no mercado.

Com isso, nesse projeto este software foi utilizado para desenvolver o sistema supervisório. O objetivo desse sistema é sinalizar, monitorar e controlar os equipamentos reais que estão presentes na linha de produção. Para que isso pudesse ser feito de forma eficiente, foi necessário escolher um protocolo de comunicação que fosse compatível tanto com o software quanto com os outros equipamentos utilizados, e por isso foi escolhido o protocolo OPC DA.

3.3. Arduino OPC Server

Desenvolvido por Ildefonso Martínez em 2014, o Arduino OPC Server é uma ferramenta valiosa para superar as limitações de comunicação entre o Arduino e outros softwares. Ao utilizar o protocolo OPC, o aplicativo permite que o Arduino estabeleça uma comunicação eficiente e bidirecional, possibilitando a troca de dados de forma confiável e consistente (MARTÍNEZ, 2014).

O Arduino OPC Server proporciona uma interface, permitindo que os usuários configurem a comunicação entre o Arduino e os softwares compatíveis com OPC de forma rápida e eficiente. Ao estabelecer a comunicação com outros softwares através do protocolo OPC, o Arduino pode ser utilizado como um dispositivo de entrada e saída em sistemas de controle e automação. Isso significa que ele pode receber comandos e enviar informações para outros componentes do sistema, contribuindo para o monitoramento e controle eficientes de sistemas automatizados (MARTÍNEZ, 2014).

3.4. CODESYS

Santos e Ferreira (2022) defendem, em seu trabalho “Ambiente de Simulação de Processos com Comunicação por Meio do Protocolo OPC”, que um obstáculo no desenvolvimento de profissionais é a falta de equipamentos industriais referentes a controle e automação nos laboratórios das instituições de ensino. Uma vez que simular consiste em estudar um sistema utilizando análise de um modelo simplificado que “imita” o sistema real, com o objetivo de entender seu funcionamento e avaliar seu desempenho (BAYER E ARAÚJO, 2011).

O Codesys é uma plataforma para desenvolvimento de lógicas de controle de equipamentos. Desenvolvida pela empresa *3S-Smart Software*, é baseado na Norma Internacional IEC 61131-3 (*International Electrotechnical Commission* - Comissão Eletrotécnica Internacional), o que permite a comunicação e atuação do sistema de controle com o controlador físico da planta, independente do fabricante, por exemplo, do CLP. Esse *software* utiliza das principais linguagens, como *Ladder*, *FBD* (*Function Block Diagram* – Diagrama de Blocos de Função) e *SFC* (*Sequential Flow Chart* -

Fluxograma Sequencial), para estabelecer uma comunicação entre PLC e programação (EATON, 2023).

A IEC 61131 é o resultado da iniciativa de comitês nacionais e internacionais que tiveram como objetivo desenvolver uma interface comum para controladores programáveis, estabelecendo um padrão de linguagens e comunicação hoje utilizado nos controladores e equipamentos de campo (RAMANATHAN, 2014).

3.5. Arduino UNO

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que tem como objetivo permitir que pessoas acessem, de maneira descomplicada, tecnologias avançadas que permitam o desenvolvimento de controles de sistema (ARDUINO, 2023).

Neste projeto, a placa escolhida foi a Arduino Uno, Figura 4. Este é um microcontrolador baseado no ATmega328P (TOMAZI; SPOHN, 2020), que possui 14 pinos de entrada/saída digital (0 a 5V), dos quais 6 podem ter a tensão de saída PWM (*Pulse Width Modulation* - Modulação por Largura de Pulso) controlada, modulando em valores entre os limites indicados. Esses pinos foram utilizados para controlar a potência fornecida a cada bomba. Essa placa possui também 6 entradas analógicas, que realizam a leitura de um sinal de um instrumento. Esses pinos foram utilizados para conectar o pressostato e o potenciômetro com a indicação de abertura da válvula. Os valores disponíveis para controle também são do tipo PWM, variando suas indicações entre 0 e 255 (ARDUINO, 2023).



Figura 4. Arduino UNO (ARDUINO, 2023)

3.6. Python

O Python é uma linguagem de programação largamente utilizada no desenvolvimento de software e análise de dados. Com uma sintaxe derivada da linguagem C e uma vasta coleção de bibliotecas, o Python se destaca como uma escolha altamente vantajosa para realizar tarefas relacionadas à análise de dados e estatística. Uma das principais razões pelas quais o Python é amplamente adotado na ciência de dados é a riqueza de bibliotecas especializadas disponíveis, tendo como exemplo Pandas, Matplotlib e Numpy, todas responsáveis por analisar, gerar e desenvolver tabelas e gráficos (BEHRMAN; BRODBECK; MACHADO, 2022).

4. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção serão apresentadas as etapas do desenvolvimento do trabalho prático, além de uma discussão detalhada das metodologias adotadas.

4.1. Comunicação

A comunicação OPC DA foi adotada como uma solução de integração eficaz entre o Arduino, conectado ao computador por meio da porta serial, e os softwares Elipse E3 e CODESYS. Através da porta serial, o Arduino pode enviar e receber informações, possibilitando a interação com os dispositivos da planta.

A utilização do padrão OPC se mostrou essencial nesse contexto, pois permite a troca de dados entre sistemas heterogêneos, que possuem diferentes equipamentos, controladores e software, de diferentes produtores. Para estabelecer essa comunicação, foi implementado um servidor OPC utilizando o Arduino OPC Server. Essa solução permitiu que as leituras realizadas pelo Arduino Uno pudessem ser visualizadas no software Elipse E3, que por sua vez proporcionou acesso a esses dados pelo CODESYS, como mostrado na topologia representada na Figura 5.

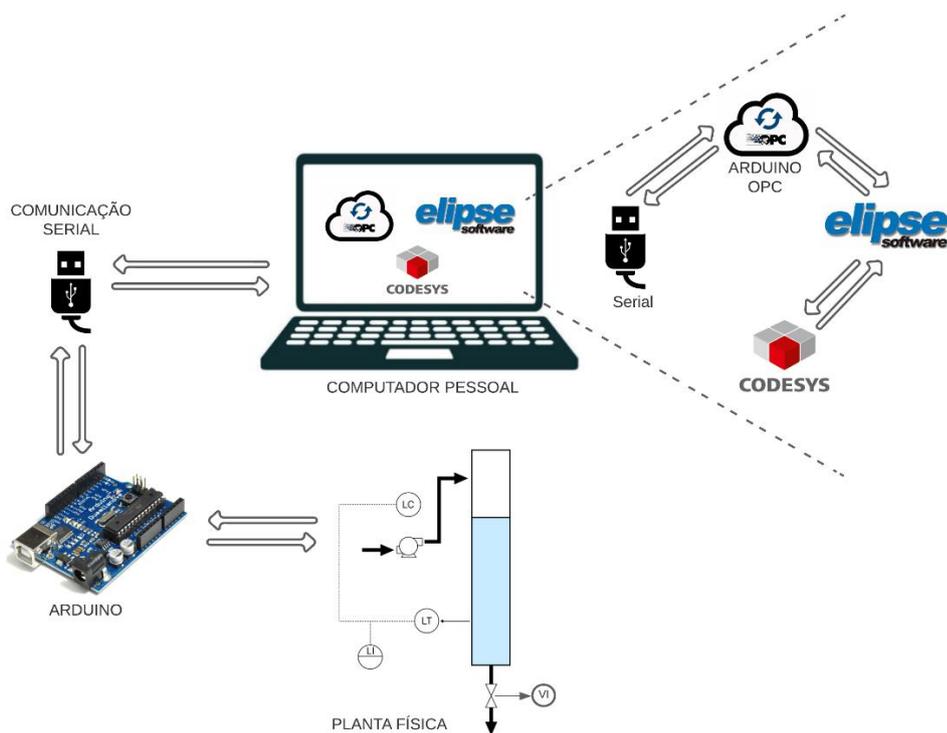


Figura 5. Topologia Desenvolvida da Rede (Dos autores)

Para exemplificar o processo de comunicação, pode-se considerar a utilização do pressostato como um elemento central. Este dispositivo é responsável por mensurar a diferença entre as pressões internas da tubulação com a pressão do ambiente externo. O valor obtido, expresso através do sinal PWM (*Pulse Width Modulation* - Modulação por Largura de Pulso), é transmitido por meio do Arduino, utilizando a comunicação serial, para o computador.

No PC (*Personal Computer* - Computador Pessoal), ocorre a conversão do sinal recebido em uma variável OPC pelo Arduino OPC Server. No ambiente SCADA, Elipse E3, um servidor OPC é encarregado de agregar as chamadas “tags” proveniente do Arduino e do Codesys, nesse mesmo servidor é realizado a transferência para uma variável OPC do Codesys onde com ela é realizado o controle do nível.

O sistema descrito acima está estruturado de maneira similar aos utilizados por grandes empresas no meio industrial, como o Sistema ABB 800xa apresentado na Figura 6. Neste, os sensores e atuadores enviam os sinais para os cartões analógico/digitais, representados pelos modelos S800, S900 e Select I/O. Estes cartões, por sua vez, transmitem os sinais para um CLP central onde serão aplicadas as lógicas de controle e intertravamentos. Os sistemas supervisórios para os operadores e os projetos para alterações ficam dispostos nos *FIM Bridges*, podendo ser acessados por computadores separados, a depender do uso desejado, controle via supervisório ou alteração de projeto. Essa se torna a maior diferença entre os dois sistemas, uma vez que no sistema proposto nesse trabalho a comunicação entre o cartão I/O, representado pelo Arduino, e o CLP precisa passar por um servidor do Elipse E3. Assim, o CLP, o projeto e o supervisório necessariamente estão ativos na mesma máquina. (ABB, 2023)

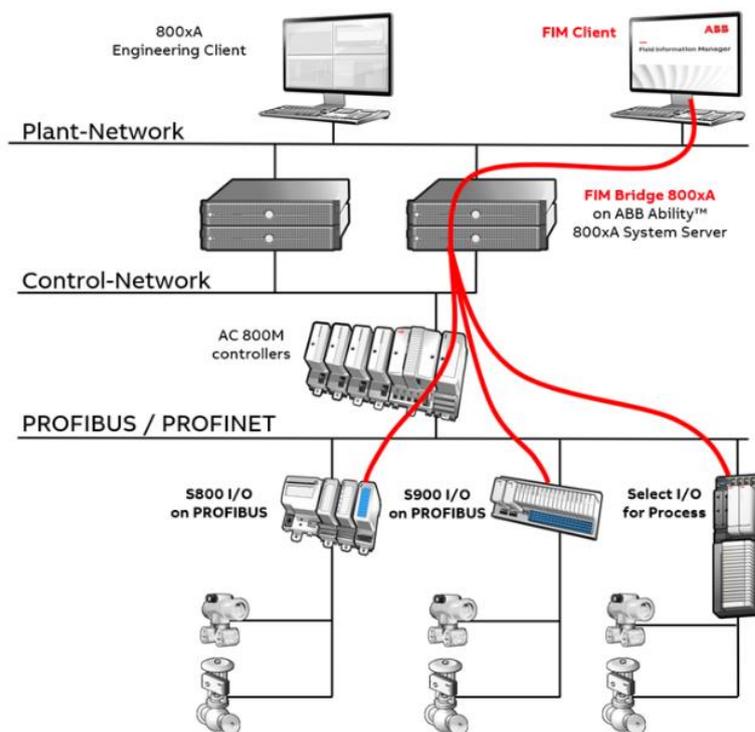


Figura 6. Topologia ABB 800xa (ABB, 2023)

4.2. Medição de nível na planta

Para medir a altura da coluna de água no reservatório foi utilizado o sensor de pressão MPXV5004DP (FREESCALE, 2007). Dada a diferença de pressão interna e externa do tanque, um valor PWM é enviado para o Arduino e recebido na porta analógica. Seguindo a regra da comunicação estabelecida, esse sinal PWM é enviado via comunicação serial para o computador e recebido como uma *tag* OPC no Servidor.

Dentro do supervisor, o *setpoint* da altura da coluna de água pode ser informado em centímetros, todavia o sinal deve chegar como um sinal PWM para o Arduino. Diante desse cenário, foram realizadas diversas medições com a planta fora de operação afim de encontrar uma estabilidade na leitura do sensor para cada nível em centímetro de água. Para as medições, a válvula foi completamente fechada, permitindo que o tanque se enchesse completamente, na indicação de 22 centímetros na régua. Feito isso, a válvula foi lentamente aberta, permitindo o fluxo de água para o reservatório principal até que a coluna de fluido atingisse a próxima marcação na régua. Então a válvula era completamente fechada e o valor PWM indicado pelo sensor era anotado. Esse mesmo processo foi repetido para todos os 22 centímetros de indicação da régua, sendo o método completo repetido por dez vezes. A Tabela 1 apresenta os resultados deste experimento e sua média.

Tabela 3. Valores PWM para cada centímetro

Centímetro	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	Média
22	9	7	8	9	9	7	8	8	8	9	8
21	9	7	8	9	9	7	8	9	7	8	8
20	11	11	12	11	12	13	12	13	14	14	14
19	14	15	14	15	14	15	15	14	14	15	15
18	15	14	16	17	16	15	16	15	16	15	16
17	16	18	18	16	17	17	17	18	17	17	17
16	17	17	16	18	18	17	18	17	18	18	18
15	19	19	20	19	20	19	20	20	20	20	20
14	20	21	22	21	20	22	21	21	22	20	22
13	23	24	24	23	24	23	25	23	24	23	25
12	28	30	29	30	29	29	31	31	30	29	30
11	37	40	39	38	40	39	40	41	39	41	40
10	54	56	55	56	55	55	56	56	55	55	56
9	74	75	74	74	76	76	75	74	74	74	76
8	92	93	94	93	92	94	92	93	94	93	95
7	116	115	119	117	117	116	118	117	118	115	117
6	137	137	139	139	137	136	137	137	137	137	138
5	154	153	154	156	157	155	154	153	157	157	155
4	176	178	177	177	176	177	176	178	178	177	177
3	195	198	196	198	199	198	198	196	195	197	197
2	212	213	215	215	214	212	215	213	215	216	214
1	234	236	238	235	236	235	234	234	235	234	236
0	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249	249

Fonte: Dos autores

Ao final destas medições, utilizando a linguagem Python, foram plotados todos os dados em um gráfico da Figura 4, em seguida foi feito a média dos valores medidos como demonstrado na Figura 7.

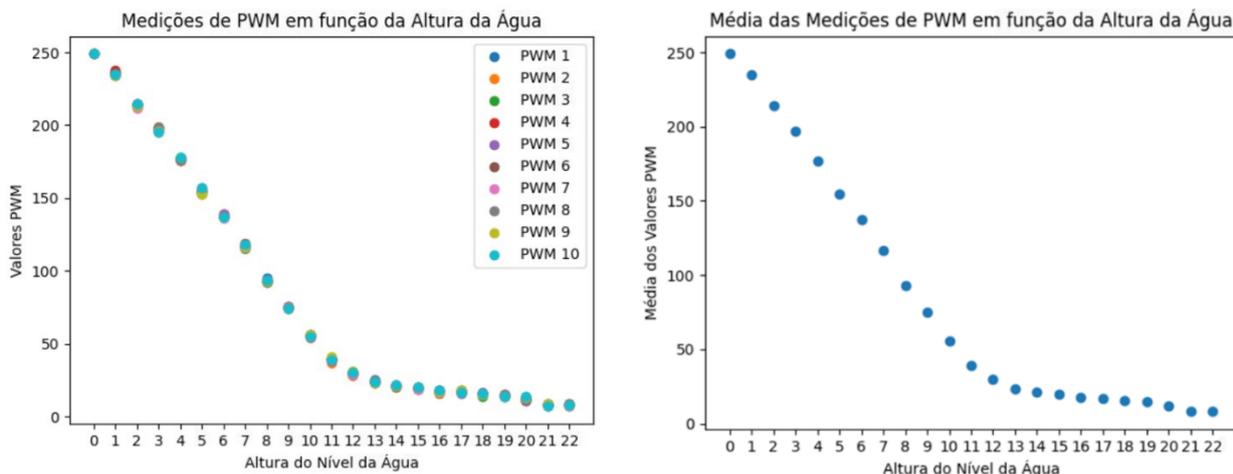


Figura 7. Dados da Tabela 1 em um gráfico (Dos autores)

Com esses valores, deu-se início ao processo de encontrar, através de regressão linear, qual equação se aproximaria mais dos dados medidos. Foram realizadas tentativas para encontrar uma curva que se aproxime dos dados medidos, para uma das equações de primeiro, segundo ou terceiro grau. O resultado da aproximação, bem como os erros medidos pode ser observado na Figura 8.

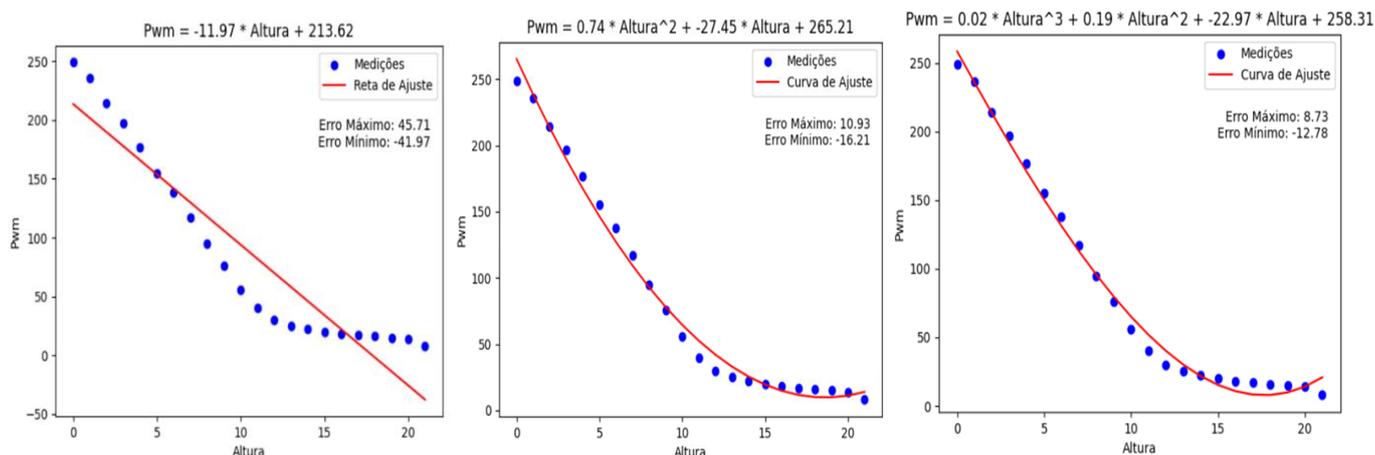


Figura 8. Linearização Primeiro, Segundo e Terceito Grau (Dos Autores)

Mesmo aproximando as equações, devido às limitações de medição do sensor, para valores acima de quinze centímetros o valor calculado tende a um erro maior do que a variação do PWM em cada centímetro variado. Novamente foram analisados os dados e foi verificado que o sensor tem resultados melhores quando entre zero e quinze centímetros. Com os novos dados, mais uma vez foram calculadas as equações de aproximação para segundo e terceiro grau, conforme demonstrado na Figura 9.

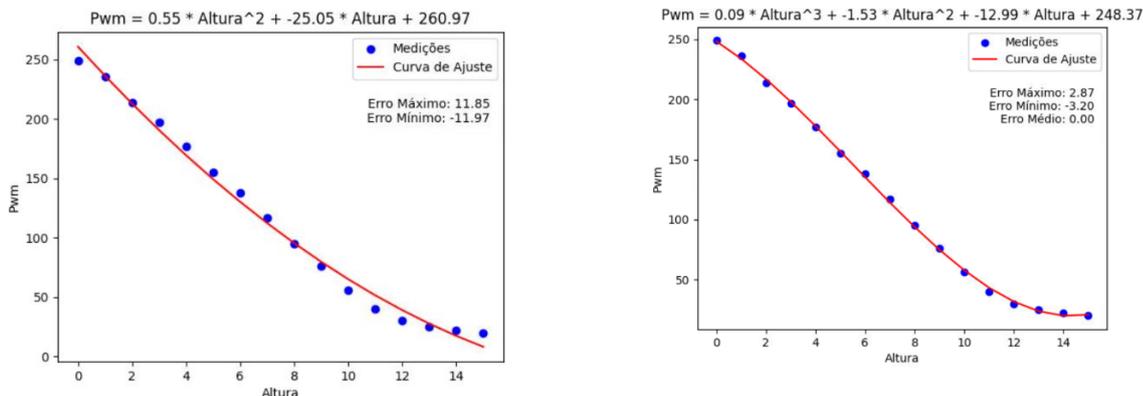


Figura 9. Nova Linearização Segundo e Terceiro Grau (Dos autores)

A equação de terceiro grau, para este *range* de 15 cm teve um bom resultado, tendo seu erro médio em zero e seu erro máximo em 1.17%, valor este muito menor do que a variação entre cada centímetro de coluna de fluido. Feito isso, a equação foi adicionada dentro na lógica de conversão do *setpoint* do nível de água, convertendo um *input* variando de zero a quinze para um sinal PWM, variando de 0 a 255, equivalente Figura 10.

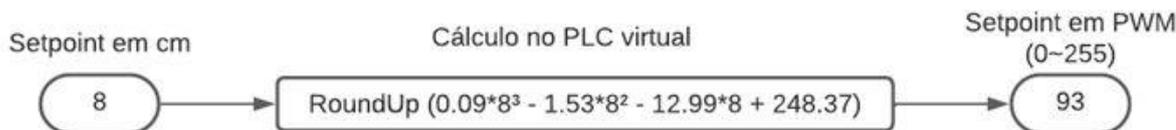


Figura 10. Conversão do *SetPoint* para PWM

4.3. Supervisório e Controle

Foi desenvolvido uma interface¹ no software Elipse E3, com o objetivo de simular a planta real em um ambiente virtual, Figura 11. Essa abordagem permitiu a criação de um modelo detalhado da planta, incluindo seus objetos, os quais foram modelados e configurados de acordo com suas características reais. Além da representação visual, foram desenvolvidos modelos e algoritmos que simulam o comportamento dos objetos presentes nela, como coloração para os estados de funcionando, parado ou com defeito nos equipamentos.

¹ Maiores detalhes sobre a implementação podem ser encontrados em: <https://github.com/samur2d2/Ambiente-PLC-com-Arduino>

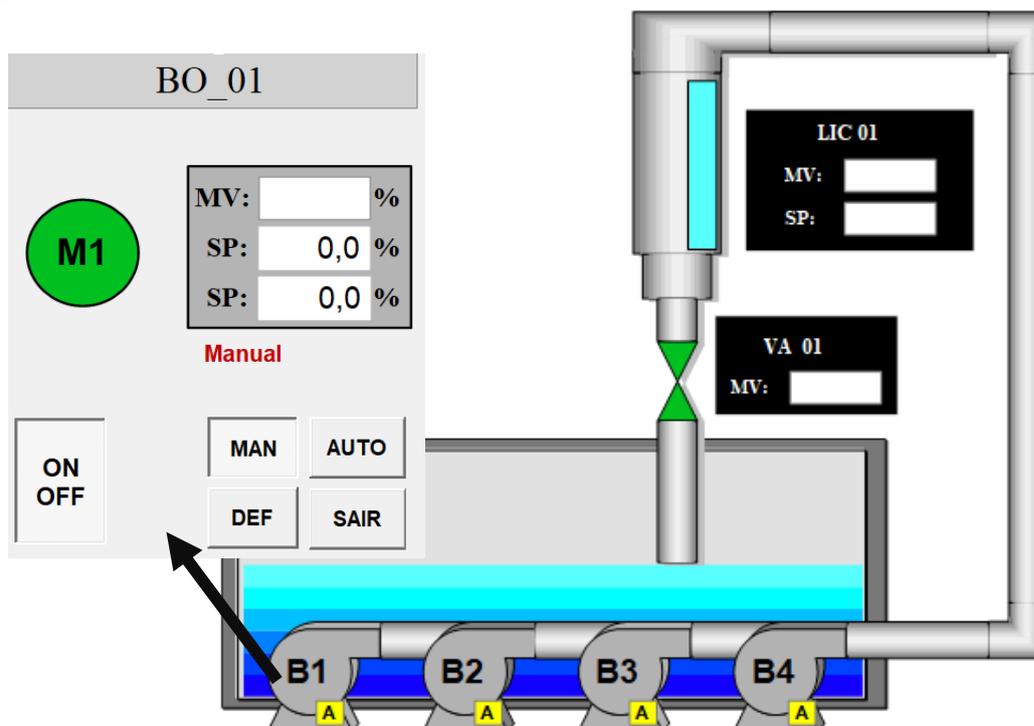


Figura 11. Representação da planta no sistem Elipse E3 (Dos autores)

Para o realizar o controle do acionamento das bombas, nesse sistema, é necessário clicar no objeto delas, com isso será aberto uma *pop-up* com as informações em que a bomba selecionada se encontra, Figura 11. Nessa mesma “faceplate” é possível realizar o acionamento nos seus dois modos de operação, manual e automático, e com isso dar a partida ou desligá-la.

A criação dos modelos e algoritmos no Elipse E3 envolveu a definição de parâmetros e variáveis específicas, bem como a configuração de regras e lógicas de controle. Essas informações foram inseridas no software para que ele pudesse simular o comportamento dos objetos conforme as condições estabelecidas.

Para a criação de intertravamentos para o funcionamento das bombas, foram analisadas as condições que poderiam resultar em alguma falha crítica para a planta, como extravasamento de água ou consumo excessivo de potência. Baseado nessa avaliação, foram criados intertravamentos lógicos para cada bomba, Tabela 3 e Figura 12, e as indicações do defeito foram dispostas no supervisão, Figura 13, a fim de auxiliar o operador a entender o atual motivo de um dos atuadores não estar ligando.

Tabela 4. Listagem e descrição dos intertravamentos.

Tipo	Variável	Descrição
Comando do supervisão	C_MAN	Comando de estado manual
Comando do supervisão	C_AUTO	Comando de estado automático
Entrada de abertura da válvula	VA01_CLS	Ativa quando abertura < 5%
Saída de defeito	XDEF1	Defeito por estado manual ou automático não selecionados no supervisão
Saída de defeito	XDEF2	Defeito por outras 3 bombas já ativas

Saída de defeito	XDEF3	Intertrava a bomba por risco de extravasamento, com abertura da VA01 < 5%
Saída de defeito	XDEFEE	Junção de todos os defeitos

Fonte: Dos Autores

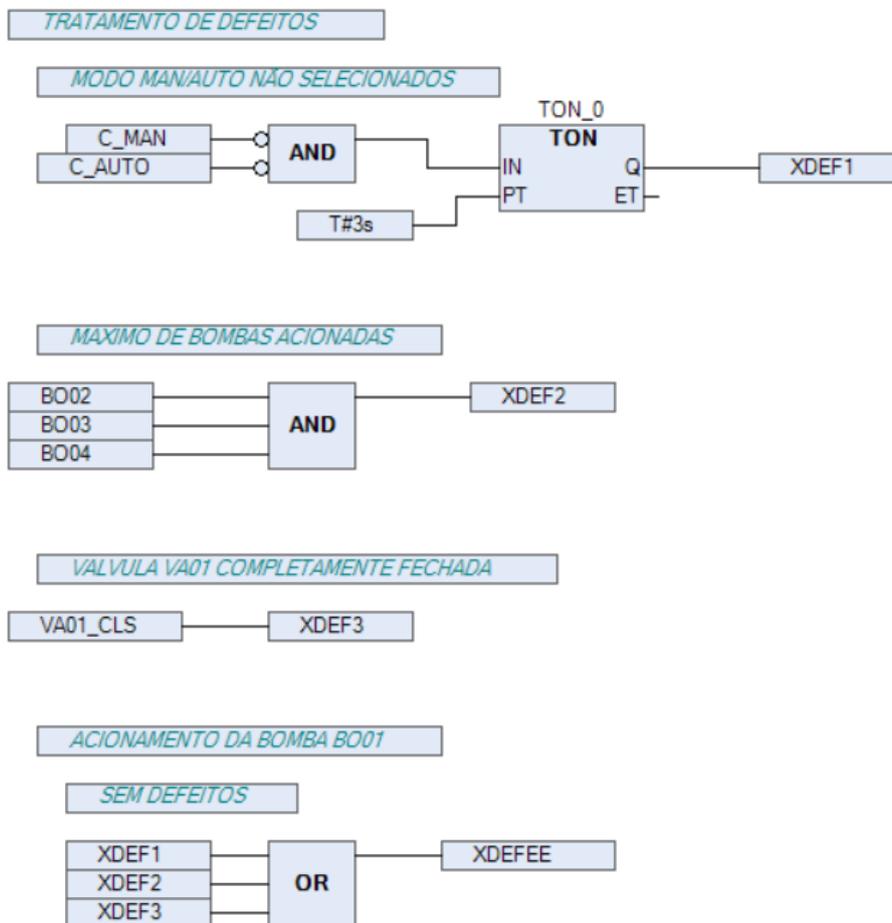


Figura 12. Representação dos intertravamentos lógicos (Dos autores)

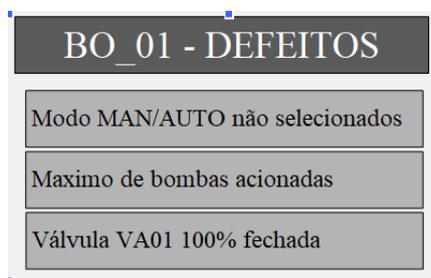


Figura 13. Disposição visual dos intertravamentos (Dos autores)

Tendo todos os critérios atendidos conforme explicado acima, o controle PID em malha fechada, Figura 14, se torna ativo, controlando a potência da bomba para que o *setpoint* desejado seja atingido.

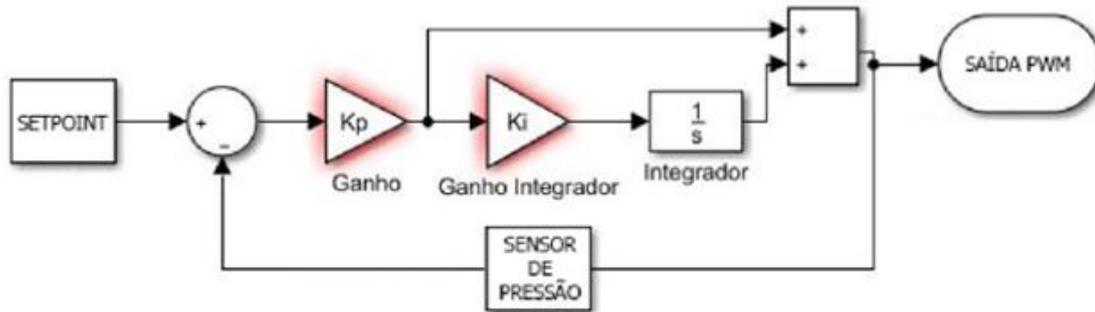


Figura 14. Diagrama de Bloco Malha Fechada (Dos Autores)

Para o desenvolvimento da lógica deste controle foi utilizado um bloco disponibilizado nas bibliotecas do Codesys, Tabela 4 e Figura 15, tornando necessário apenas conectar os sinais de entrada e saída.

Tabela 5. Tabela de entradas e saídas do bloco PID.

Tipo	Variável	Descrição
Sinal de entrada da malha	LIC01_MV	Indica a leitura atual do pressostato
Sinal de entrada da malha	LIC01_SP	Indica o valor informado como Setpoint para o estado automático
Sinal de entrada da bomba	MAN_VALUE_BO01_PWM	Indica o valor informado como Setpoint para o estado manual
Saída para controle da bomba	S_BO	Indica o valor, em PWM, a ser enviado para o acionamento da bomba
Entrada do ganho KP	KP	Ganho do controlador
Entrada do ganho KI	TN	Ganho Integrador
Entrada do ganho KD	TV	Ganho Derivativo
Entrada de valor mínimo	Y_MIN	Valor mínimo de saída
Entrada de valor máximo	Y_MAX	Valor máximo de saída
Entrada de seleção do estado	MANUAL	Seleção do estado manual ou automático

Fonte: Dos Autores

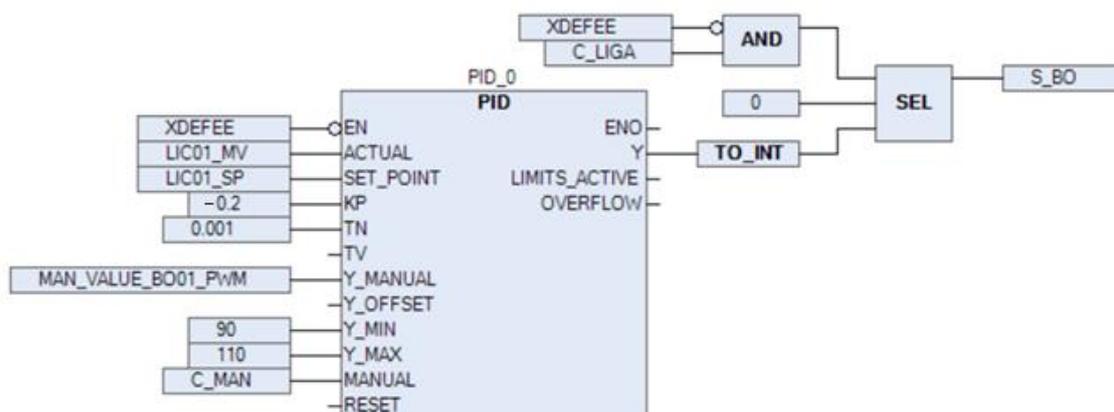


Figura 15. Representação do controle PID da bomba (Dos Autores)

Durante a elaboração deste trabalho, o servidor do Elipse E3 desempenhou um papel indispensável na comunicação entre plataformas. No entanto, devido à utilização de uma licença gratuita, houve uma limitação de 20 *tags* por grupo OPC. Diante dessa restrição, após analisar a estrutura do programa e listar todas as *tags* utilizadas, foi necessário criar um grupo OPC para cada equipamento, a fim de contornar essa limitação, Tabela 5.

Tabela 6. Grupo de Tags OPC no Servidor Elipse E3

ARDUINO	BO01	BO02	LIC01	VAR01
SENSOR_PRESSAO	AUTO_VALEUE_BO01	AUTO_VALEUE_BO02	LIC_01	VA_01
VA01	BO01_SUP	BO01_SUP	LIC_01_CONV	VA_01_PWM
BO01_ROXO	CLIGA_BO01	CLIGA_BO02	LIC_01_SP	
BO02_VERDE	MAN_VALUE_BO01	MAN_VALUE_BO02		
BO03_MARROM	MOD_AUTO_B001	MOD_AUTO_B002		
BO04_LARANJA	MOD_MAN_BO01	MOD_MAN_BO02		
	S_BO01_PWM	S_BO02_PWM		
	XDEFEE_BO01	XDEFEE_BO02		

Fonte: Dos Autores

5. RESULTADOS

Nesta seção, apresentaremos os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto², destacando as escolhas feitas em relação aos softwares utilizados e ao protocolo de comunicação adotado. Discutiremos as vantagens e benefícios dessas decisões, fornecendo uma visão geral dos resultados alcançados.

A utilização do OPC DA como protocolo de comunicação revelou-se promissora. Esse protocolo possibilitou a integração eficiente e padronizada entre sistemas e dispositivos heterogêneos, independentemente do fabricante ou plataforma utilizada. Ademais, a robustez e a segurança inerentes ao OPC DA garantiram a integridade e a confidencialidade dos dados transmitidos, assegurando a proteção de informações críticas do sistema.

A adoção de computadores convencionais e softwares licenciados proporcionou benefícios significativos, permitindo o acesso remoto ao controle da planta sem a necessidade de cabeamento ou presença física no mesmo ambiente. Ao conectar os dois dispositivos em uma rede, seja por meio de Wi-Fi ou conexão cabeada, e utilizar a ferramenta Conexão de Área de Trabalho Remota presente no Windows, é possível estabelecer essa conexão e, assim, controlar o supervisor e realizar alterações nas lógicas. No entanto, é importante ressaltar que essa ferramenta tem sua utilização limitada à mesma rede (CAI; YU; ZHOU, 2004). Em situações em que a conexão precisa ser feita em redes distintas, o software Parsec surge como uma opção viável, permitindo uma conexão de alta velocidade, desde que ambos os dispositivos estejam conectados à internet (PARSEC, 2016). Uma vantagem significativa dessa oportunidade é a possibilidade de vários membros de um grupo acessarem remotamente um computador central, fornecendo as devidas credenciais. Isso elimina a necessidade de que todos tenham uma licença individual ou mantenham uma cópia atualizada do projeto em seu próprio dispositivo.

² Neste link é possível encontrar um vídeo do funcionamento do sistema desenvolvido: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLYliYclmOivEDGFNV0zvGulKxKGzZuKo7>

A utilização do controlador PID desenvolvido se mostrou eficiente, visto que esse atendeu as solicitações do *setpoint*, como representado na Figura 16. Foi identificado que é necessário um tempo até que o controle seja feito visto que a bomba deve preencher o volume até o nível mínimo capturado pelo do sensor, pois quando o sistema está desligado, esse se apresenta vazio.



Figura 16. Resultado do controle PI

Os tempos de comunicação geral, desde a leitura do sensor até o processamento da lógica e desligamento de um equipamento, se mostraram muito promissores. Para medir estes tempos, foi realizada uma gravação com uma câmera e uma captura de tela, sendo possível, com o apoio de uma ferramenta de edição de vídeo, verificar em escala de milissegundos os acontecimentos. Para uma situação com um maior processamento, foi realizado um fechamento abrupto na válvula de saída, que, de acordo com os intertravamentos, manda as bombas desligarem. Nesse caso, desde o fechamento até o desligamento da bomba se passaram em média 793ms, dentre os quais cerca de 326ms ficaram reservados para o atraso nas indicações do supervisor, totalizando 466ms para intertravar a bomba, Figura 17. Na situação com exigência de um menor processamento, um comando via supervisor foi enviado para que uma bomba fosse ativada. O tempo desde o clicar do mouse até o acionamento efetivo da bomba foi de 500ms, dentre os quais o supervisor teve um tempo de resposta, em média, de 316ms, restando 183ms para a bomba receber um comando. Vale ressaltar que os tempos apresentados podem variar dependendo das configurações de cada computador pessoal. Esses dados foram obtidos utilizando um Notebook com processador Intel i7 de 11ª geração, com 2.8 GHz de *clock* e 16 GB de memória RAM.

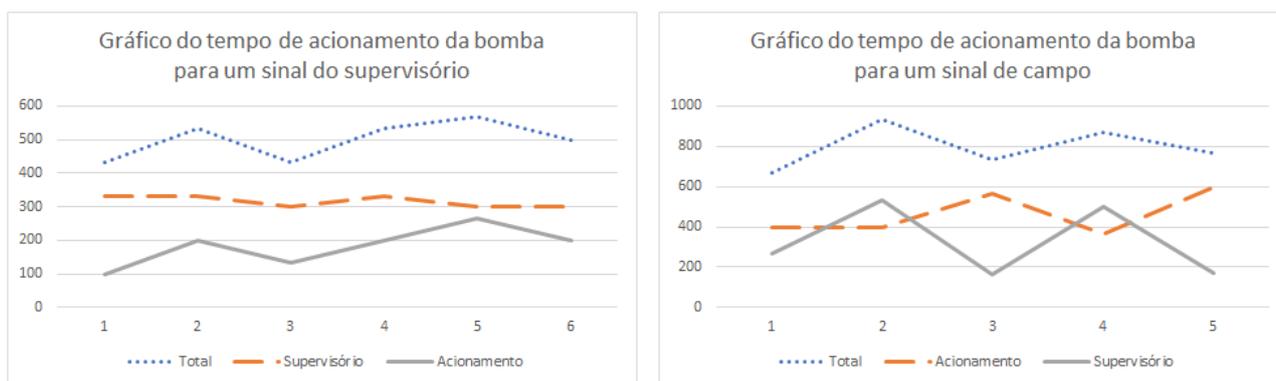


Figura 17. Gráfico dos tempos de acionamento e intertravamento da bomba (Dos Autores)

6. CONCLUSÃO

Este artigo abordou a utilização do software Elipse E3 em conjunto com os dispositivos Arduino e CODESYS, destacando os resultados promissores alcançados no desenvolvimento de um sistema de controle remoto, similar ao processo utilizado em projetos no ramo industrial, os quais utilizam redes de CLP's e cartões digitais/analógicos, supervisórios e lógicas de controle. A escolha dos *softwares* de licenças gratuitas proporcionou uma alternativa viável para o desenvolvimento do projeto, porém, suas limitações em termos de suporte técnico e recursos adicionais apresentaram desafios significativos. Superar essas dificuldades exigiu uma abordagem autodidata constante, com busca incessante por soluções alternativas para contornar obstáculos técnicos.

Cabe destacar a utilização do microcontrolador Arduino Uno como plataforma para simulação de um cartão digital e analógico, que demonstrou um desempenho satisfatório para essa aplicação específica. No entanto, devido à limitação de velocidade de processamento do Arduino Uno, constatou-se que o dispositivo não é capaz de realizar o processo de leitura e transmissão de dados utilizando a biblioteca OPC e realizar cálculos internos em paralelo. Dessa maneira, o código presente no controlador está exclusivamente voltado para a leitura e transmissão dos valores nos pinos, sem a possibilidade do tratamento desses dados.

Dessa forma, tornou-se necessário o desenvolvimento de lógicas específicas para a conversão das escalas dos sinais para valores compreensíveis por um operador, como a conversão de um valor do sinal PWM, variando de 0 a 255, para um valor utilizado para indicar o nível do fluido no tanque, variando de 0 a 15 cm. Essa redução na escala foi viabilizada devido as dificuldades para modelar uma curva que representasse satisfatoriamente as medições realizadas. Dessa forma, a modelagem de um sistema composto por duas curvas para relacionar o setpoint com o sinal PWM poderia resultar em ganhos significativos, ampliando os valores para *input*.

Outra dificuldade relacionada ao tempo de resposta do Arduino está no tratamento de muitas variáveis, uma vez que todos dados precisam fazer um caminho longo do atuador até a lógica de conversão, dificultando o controle em tempo real de sistemas integrados de mais alto nível. Essa constatação ressalta a importância de considerar as capacidades e limitações dos dispositivos utilizados em sistemas de controle, especialmente quando se trata de aplicações com alta demanda de processamento e comunicação em tempo real. Para projetos que envolvam plantas complexas ou muitos equipamentos interconectados, é recomendável buscar alternativas de hardware com capacidades de processamento mais robustas e taxas de transmissão de dados mais elevadas.

Com base nas conclusões alcançadas neste estudo, surgem diversas oportunidades para investigações futuras. Primeiramente, recomenda-se o uso de um novo sensor capaz de avaliar o nível máximo, atualmente calculado pela lógica a partir do sinal do pressostato, aprimorando o sistema de intertravamento, a fim de prevenir transbordamentos e aumentar sua segurança. Além disso, a instalação de um ventilador *FAN* na caixa dos controladores se faz necessário para evitar o superaquecimento, devido a esta permanecer fechada e muitos dos seus componentes se aquecerem durante o uso.

Como mencionado, a resposta lenta do Arduino devido à quantidade de variáveis sugere a adoção de uma alternativa mais eficiente, como a Raspberry PI. A utilização da Raspberry PI com os softwares utilizados instalados poderia diminuir a necessidade de um computador pessoal sempre disponível para o controle do sistema (KARER, 2022). Além disso, explorar a aplicação de técnicas de controle, como o modelo Fuzzy, na plataforma Raspberry PI pode resultar em melhorias

significativas no controle do nível do sistema. Essas abordagens promissoras podem fornecer resultados aprimorados e contribuir para o avanço da área de intertravamentos e segurança.

Dessa maneira, este estudo ressalta a importância de considerar tanto as dificuldades quanto as vantagens ao selecionar softwares e protocolos para projetos de controle remoto. É essencial avaliar criteriosamente as opções disponíveis, levando em conta as necessidades específicas do projeto e a disponibilidade de suporte técnico adequado.

REFERÊNCIAS

ABB System 800xA connectivity for FIM - Field Information Manager. Disponível em: <<https://new.abb.com/control-systems/fieldbus-solutions/fim/connectivities/system800xa>>. Acesso em: 1 jul. 2023.

BEHRMAN, K. R.; BRODBECK, H.; MACHADO, E. V. **Fundamentos de Python para Ciência de Dados.** 1. ed. [s.l.] Bookman, 2022.

CAI, L.; YU, S.; ZHOU, J.-L. **Research and implementation of remote desktop protocol service over SSL VPN.** IEEE International Conference on Services Computing, 2004. (SCC 2004). Proceedings. 2004. **Anais...IEEE**, 2004.

DA PENHA JUNIOR, J. E. J. **PROJETO, CONSTRUÇÃO E CONTROLE DE UMA PLANTA DE NÍVEL DIDÁTICA COM DINÂMICA RÁPIDA.** [s.l.] UCL FACULDADE DO CENTRO LESTE, 2015.

DA SILVA FREITAS, H. C.; SHIMITD, N. K. **Software Simulador de Planta Didática.** 2021.
DE LIMA, F. S. **A AUTOMAÇÃO E SUA EVOLUÇÃO.** Campus Universitário - Lagoa Nova Natal, RN, Brasil, 2003.

DE MORAES, C. C.; DE LAURO CASTRUCCI, P. **Engenharia de Automação Industrial.** [s.l.] LTC, 2010.

DOS SANTOS, J. P. F.; FERREIRA, R. G. **Ambiente de Simulação de Processos com Comunicação por Meio do Protocolo OPC.** 2022.

EATON. **“Software Codesys”.** Disponível em: < <https://www.eaton.com/br/pt-br/catalog/industrial-control--drives--automation---sensors/codesys-software.html> >. Acesso em: 1 maio 2023.

ELIPSE. **Elipse E3 - Elipse Software.** Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/en/produto/elipse-e3/>>. Acesso em: 02 março. 2023.

ENDLICH, P. O.; DA SILVA FREITAS, R. M. **COMPARATIVO DAS TÉCNICAS DE CONTROLE FEEDBACK, FEEDFORWARD E FUZZY, APLICADOS A UMA PLANTA DIDÁTICA.** UCL Faculdade Centro Leste, [s.d.].

FREESCALE, Semicondutor. **IntegratedSiliconPressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated - MPXV5004G series - Datasheet.** Arizona: Freescale, 2007.

KARER, G. **Student-oriented PLC implementation using raspberry pi, PiFace digital 2 and codesys**. 2022 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP). Anais...IEEE, 2022.

MAHMOUD, M. S.; SABIH, M.; ELSHAFEI, M. **Using OPC technology to support the study of advanced process control**. ISA transactions, v. 55, p. 155–167, 2015.

MAHNKE, W.; LEITNER, S.-H.; DAMM, M. **OPC Unified Architecture**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.

MARTÍNEZ, I. **“OPC SERVER FOR ARDUINO”**. Disponível em: <<https://www.st4makers.com/opc-server-for-arduino/>>. Acesso em: 2 março 2023.

MOSTI, L. G. L. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO SCADA PARA CONTROLE DE PROCESSO DE UMA GRAXARIA**. UTFPR 2017.

PARSEC **About us**. Disponível em: <<https://parsec.app/about>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

PEREIRA, Carlos Eduardo, PALADINI, Suenoni, e SHAF, Frederico Menine. **Control and automation engineering education: Combining physical, remote and virtual labs**. International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices. IEEE, 2012. p. 1-10.

RAMANATHAN, R. **The IEC 61131-3 programming languages features for industrial control systems**. 2014 World Automation Congress (WAC). Anais...IEEE, 2014.

TOMAZI, R. M.; SPOHN, M. A. **Análise do impacto da reprogramação do clock do microcontrolador ATmega328P na previsibilidade do FreeRTOS no Arduino Uno**. Revista de Sistemas, v. 10, p. 213–225, 2020.

VADI, S. et al. **Induction motor control system with a Programmable Logic Controller (PLC) and Profibus communication for industrial plants - An experimental setup**. ISA transactions, v. 122, p. 459–471, 2022.

VERYHA, Y. **Going beyond performance limitations of OPC DA implementation**. 2005 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Anais...IEEE, 2006.

NOTAS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos, professores, minha família, parentes e amigos que com seu incentivo me fizeram chegar à conclusão do meu curso e começo de uma nova carreira.

CONTRIBUIÇÃO E AUTORIA

Samuel Ribeiro dos Santos e Guilherme Motta.

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

CURSO

Engenharia de Automação e Controle

COORDENADOR DO CURSO

Fabiano Correa da Silva

DATA DE ENTREGA

19/06/2023

BANCA AVALIADORA

Letícia Araújo

Vinícius Ruiz

DECLARAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PLÁGIO

Declaro que o trabalho não contém plágio ou autoplágio total ou parcial. Todo o conteúdo utilizado como citação direta ou indireta foi indicado e referenciado.

LICENÇA DE USO

Os autores do artigo cedem o direito à divulgação e publicação do material para comunidade acadêmica através de portal da Biblioteca e repositório institucional. Esta autorização permite sua utilização como base para novas pesquisas, caso haja adaptação do conteúdo é necessário atribuir o devido crédito de autoria.

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**VARIÁVEIS QUE IMPACTAM NA PRODUTIVIDADE
E EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE PICKING EM UM
CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO**



Revista UCL

Variáveis que impactam na produtividade e eficiência do processo de picking em um Centro de Distribuição

Variables that impact the productivity and efficiency of the picking process in a Distribution Center

Breno Correa Silva
Graduando
Engenharia de Produção
brenocs@ucl.br

**Maicon Douglas Rodrigues da
Fonseca**
Graduando
Engenharia de Produção
mdouglas@ucl.br

Fabricio Vasconcelos Ribeiro
Orientador
Faculdade UCL
fabricioribeiro@ucl.br

RESUMO

Objetivo: Foi realizado um levantamento bibliográfico referente aos critérios utilizados atualmente, para medir a eficiência operacional da atividade de picking, através de suas variáveis, visando verificar a eficiência e reduzir o tempo de processamento; Descrever o processo atual de picking em um CD de uma empresa do ramo de conexões.

Método: O trabalho é um estudo de caso, que se caracteriza pelo tipo de pesquisa qualitativa, descritiva, bibliográfica. Os dados foram coletados através do sistema interno da empresa onde inicialmente, é realizado um levantamento dos dados operacionais e do ciclo do pedido da indústria. Em seguida, foi aplicado o diagrama de causas e efeitos (Ishikawa) para identificar as principais variáveis que afetam o processo de picking. A análise dos resultados foi realizada por meio de gráficos e tabelas, que permitem visualizar as etapas e os tempos envolvidos no ciclo do pedido. Foram analisados também os principais pontos identificados no diagrama de causas e efeitos (Ishikawa) e os dados do ciclo do pedido do CD da indústria.

Resultado: A análise dos resultados, a partir das ferramentas de qualidade e dos dados fornecidos pela empresa, constatou que há necessidade de melhorar o processo de picking do CD, visto que, o tempo total do ciclo de pedido está acima do ideal. O gargalo no ciclo de pedido deve-se a alguns fatores identificados a partir do diagrama de Ishikawa, como: treinamento ineficaz; separadores desmotivados; forma ineficiente de medir o desempenho do operador, entre outros. Identificado essas variáveis que impactam a produtividade e eficiência, foi proposto o sistema de 5W2H onde foram sugeridas alternativas de atenuar o impacto na produtividade e promover um melhor tempo de ciclo de pedido.

PALAVRAS-CHAVE: Logística. Centro de Distribuição. Picking

ABSTRACT

Objective: Carry out a bibliographic survey regarding the criteria currently used to measure the operational efficiency of the picking activity, through its variables, aiming to improve efficiency and reduce processing time; Describe the current process of picking a DC from a company in the connection business.

Method: The work is a case study, which is characterized by the type of qualitative, descriptive, bibliographical research. The data were collected through the company's internal system where, initially, a survey of operational data and the industry order cycle is carried out. Then, the causes and effects diagram (Ishikawa) was applied to identify the main variables that affect the picking process. The analysis of the results was carried out using graphs and tables, which allow viewing the stages and times involved in the order cycle. The main points identified in the causes and effects diagram (Ishikawa) and the data from the order cycle of the industry's CD were also analyzed.

Result: The analysis of the results, based on the quality tools and data provided by the company, found that there is a need to improve the DC picking process, since the total order cycle time is above ideal. The bottleneck in the order cycle is due to some factors identified from the Ishikawa diagram, such as: ineffective training; unmotivated separators; inefficient way of measuring operator performance, among others. Having identified these variables that impact productivity and efficiency, the 5W2H system was proposed, where alternatives were suggested to mitigate the impact on productivity and promote a better order cycle time.

KEYWORDS: Logistics. Distribution center. Picking

1. INTRODUÇÃO

Recentemente, as organizações têm testemunhado um aumento nas exigências e condições do mercado consumidor, bem como na competitividade dos negócios (ALVES, 2000).

Conforme Sousa (2002), organizações que não conseguem estabelecer uma boa logística interna correm o risco de fracassar no mercado, devido à percepção que os clientes terão dos serviços prestados por seus funcionários quando houver falta de algum produto ao receberem seus pedidos.

Souza (2002) aponta que a busca por maior produtividade, velocidade e precisão no processo de separação de pedidos leva as organizações a adotarem novas tecnologias e aprimoramentos na área de picking. No entanto, a simples implementação de tecnologias não resulta em benefícios operacionais.

O presente estudo tem como objetivo analisar a eficiência operacional da atividade de picking no Centro de Distribuição de uma empresa do ramo de conexões. Através de uma avaliação minuciosa do processo executado pelos funcionários na separação de pedidos, busca-se compreender e identificar possíveis pontos de melhoria que possam otimizar essa etapa crucial do fluxo de distribuição. Serão descritos e caracterizados os processos de picking, bem como as ferramentas de qualidade utilizadas nesse contexto, tais como Ishikawa, fluxograma e 5W2H. A partir dessas análises, pretende-se identificar as principais causas que impactam no processo de picking, levando em consideração as particularidades do centro de distribuição da indústria em estudo.

Dentre os objetivos específicos deste estudo, destaca-se a descrição e caracterização detalhada dos processos de picking, visando uma compreensão aprofundada dessa etapa operacional. Além disso, serão utilizadas ferramentas de qualidade como Ishikawa, fluxograma e 5W2H para identificar e analisar as principais causas que impactam no processo de picking no centro de distribuição da indústria de conexões. Por meio dessa análise, será possível avaliar o desempenho atual do processo de picking, considerando os tempos de consulta e entrada do pedido, separação e expedição, bem como o prazo de entrega. O intuito é obter um diagnóstico claro das áreas que necessitam de melhorias, buscando aprimorar a eficiência e eficácia dessa atividade fundamental no contexto do centro de distribuição.

Este trabalho teve como pergunta norteadora: Que variáveis impactam na produtividade e eficiência do processo de picking em um Centro de Distribuição? Os resultados obtidos a partir da análise foram que tempo total do ciclo de pedido está acima do ideal, devido a alguns indicadores como: treinamento ineficaz; separadores desmotivados; forma ineficiente de medir o desempenho do operador, falta de coletores, layout do CD, código de barras apagados, alta cobrança por resultados entre outros.

2. LOGÍSTICA E CADEIA DE SUPRIMENTOS

A logística, segundo Novaes (2007), refere-se ao gerenciamento dos fluxos de materiais e informações desde a origem até o destino, com o objetivo de atender às necessidades dos clientes. Por outro lado, a cadeia de suprimentos, de acordo com Pires (2004), abrange todas as atividades envolvidas na obtenção, transformação e distribuição de produtos ou serviços, desde o fornecedor até o cliente final.

Segundo Pires (2004) é importante destacar que a logística e a cadeia de suprimentos estão intrinsecamente relacionadas, onde a logística é uma parte fundamental da cadeia de suprimentos, pois é responsável por coordenar o fluxo físico de materiais, enquanto a cadeia de suprimentos envolve também o gerenciamento de informações e fluxos financeiros. O autor enfatiza que a eficiência da cadeia de suprimentos depende diretamente da eficiência logística.

Bowersox et al. (2006) enfatiza que a colaboração e a troca de informações entre fornecedores, fabricantes, distribuidores e varejistas são essenciais para otimizar o fluxo de produtos e informações ao longo da cadeia.

Pires (2004) destaca que fatores como flutuações na demanda, interrupções na cadeia de abastecimento e mudanças nas regulamentações podem impactar significativamente a logística e a cadeia de suprimentos. Nesse sentido, Pires (2004) aponta que é importante adotar estratégias de flexibilidade e resiliência, como a diversificação de fornecedores, a implementação de planos de contingência e a adoção de práticas sustentáveis.

3. ESTOQUE, ARMAZENAGEM E CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo Ballou (2005), a distribuição compõe o processo de logística empresarial. A administração desse processo envolve a interligação dos elementos de movimentação, transporte e armazenagem, em contraposição à gestão individualizada desses processos.

Ching (2001), por sua vez, define a logística de distribuição como a conexão entre a organização e o consumidor, assumindo a responsabilidade pelo transporte físico das mercadorias até o destino final. É crucial assegurar que os pedidos sejam entregues com precisão, na quantidade adequada e dentro do prazo estabelecido.

De acordo com Novaes (2004), o objetivo geral da distribuição consiste em transportar os produtos corretos para os lugares corretos, no momento adequado e com o nível de serviço desejado pelos clientes, buscando, ao mesmo tempo, minimizar os custos.

3.1. Centro de Distribuição

Conforme mencionado por Harper (2010), os Centros de Distribuição (CD) desempenham um papel essencial na Cadeia de Suprimentos, buscando agilizar as entregas de produtos aos clientes, sincronizar o estoque com a demanda do mercado e aprimorar a comunicação para atendimento ao cliente, onde seu objetivo principal é proporcionar uma entrega mais rápida aos clientes, equilibrar o estoque de acordo com a demanda e aprimorar a comunicação no atendimento ao cliente.

Segundo Hill (2003), os centros de distribuição têm a finalidade de manter os produtos em movimento, não somente armazená-los. São armazéns automatizados e espaçosos, planejados para receber produtos de diversas origens, processar pedidos de forma eficiente e despachar os itens aos clientes o mais rapidamente possível, de acordo com a localização indicada.

Conforme Reis (1996), a gestão de estoques de matérias-primas e produtos acabados é crucial em todos os processos industriais e comerciais para alcançar ciclos de produção adequados e garantir os níveis de serviço desejados pelos clientes. A administração física dos estoques é realizada pelos centros de distribuição (CDs), que desempenham atividades como recebimento, armazenamento,

estocagem, manuseio, embalagem protetora, processamento de pedidos, separação de mercadorias, distribuição (transporte) e gerenciamento de informações.

3.1.1. Importâncias do Centro de Distribuição

Entre as vantagens do uso de CDs, destacam-se: aumento no nível de serviço devido à redução no tempo de entrega ao cliente, redução dos custos de transporte, facilidade na gestão dos produtos, diminuição dos custos de armazenagem, redução nos custos de inventário e aumento da produtividade (MOURA, 2005).

Segundo Hill (2003), os principais elementos que conduzem a utilização dos centros de distribuição, são: Redução do Lead Time; Execução das entregas; Localização geográfica; Aumento no nível de serviço; Diminuição dos custos logísticos; Ampliação de participação de mercado (Market share); Aumento da competitividade

Moura (2000) afirma que um dos objetivos dos CDs é garantir melhores níveis de serviço aos clientes, reduzindo o tempo de ressurgimento, através da proximidade dos produtos com o ponto de venda, permitindo atender aos pedidos de forma mais rápida.

3.2. Estoque

De acordo com Ballou (2006), estoque é definido como a acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de produção, onde esses recursos materiais podem incluir matérias-primas, componentes, produtos em processo e produtos acabados, destaca também, que o estoque é mantido para atender às demandas futuras e garantir um fluxo contínuo e eficiente das operações. Ele desempenha um papel crucial na gestão da cadeia de suprimentos, equilibrando os custos associados ao estoque com a capacidade de fornecer produtos de forma oportuna e satisfatória aos clientes.

3.2.1. Gestão de Estoque e suas Ferramentas de Controle

Segundo Lambert et al. (2008), as ferramentas de gestão de estoque são recursos e abordagens estratégicas aplicadas para melhorar a eficiência e a eficácia do controle de estoques.

Conforme asseverado por Wake (2012), o reconhecimento da relevância da gestão de estoques como fator primordial para a diminuição e a regulação dos custos totais, bem como para o aprimoramento do nível de serviço oferecido pela empresa, está em constante crescimento. O autor destaca a crescente importância atribuída à administração eficiente dos estoques como um elemento indispensável para aprimorar a eficiência operacional e a satisfação dos clientes. Essa visão ressalta a necessidade de uma gestão estratégica dos estoques como um meio de alcançar vantagens competitivas e promover o sucesso organizacional.

Tópico	Definição	Autor e Ano
Ponto de Pedido	Ferramenta utilizada para determinar o momento em que é necessário fazer um novo pedido de mercadorias, calculado com base no consumo médio, tempo de ressuprimento e estoque de segurança.	Martins e Campos Alt (2019)
Curva ABC	Ferramenta de classificação dos itens em estoque com base no volume de vendas e valor, dividindo-os em categorias A, B e C para otimizar o gerenciamento de estoque.	Martins e Laugeni (2016)
Just-in-Time	Técnica que busca produzir e entregar os produtos no momento exato em que são solicitados pelo cliente, reduzindo estoques e eliminando desperdícios de recursos.	Capellato e Melo (2018)
Reposição Contínua	Técnica de controle de estoque que mantém o estoque sempre abastecido por meio de pedidos menores e mais frequentes, evitando grandes estoques e reduzindo custos de armazenamento.	Fenili (2015)
Análise de Criticidade XYZ	Ferramenta de classificação dos itens em estoque com base no impacto na produção da empresa, dividindo-os em categorias X, Y e Z para priorizar o gerenciamento adequado.	Martins e Campos Alt (2019)
Inventário Físico	Contagem física dos itens em estoque para verificar a acuracidade dos registros do sistema de controle, evitando perdas financeiras decorrentes de erros de registro.	Capellato e Melo (2014)
Lote Econômico de Compras (LEC)	Técnica para determinar a quantidade ótima de produtos a serem comprados, considerando os custos de emissão de pedidos, custos de estoque e demanda esperada durante um período.	Fenili (2015)
Contagem Cíclica	Técnica de contagem do estoque dividida em ciclos, permitindo uma maior frequência de contagem sem a paralisação da empresa, garantindo um controle mais eficiente.	Martins e Campos Alt (2016)
Curva de Pareto	Ferramenta gráfica para identificar os produtos de maior impacto financeiro no estoque, permitindo um controle mais rigoroso e direcionando recursos para maximizar a lucratividade.	Capellato e Melo (2014)

Tabela 1: Comparação das principais ferramentas de gestão de estoque

Fonte: Adaptado Martins e Campos Alt (2019)

3.3. Armazenagem

De acordo com Moura (1997), a armazenagem é uma denominação genérica e ampla que abrange todas as atividades realizadas em um local destinado à guarda temporária e à distribuição de materiais, como depósitos e centros de distribuição. A estocagem é citada como uma das atividades do fluxo de materiais no armazém, representando o ponto onde os materiais são estaticamente armazenados.

Ao considerar a importância de oferecer um alto nível de atendimento logístico a um custo reduzido e a necessidade de diminuir as perdas, destaca-se a armazenagem devido à crescente diversidade do mix de produtos, com lotes menores, entregas mais frequentes e menor tolerância a erros na separação de pedidos (FLEURY, LAVALLE, 2000).

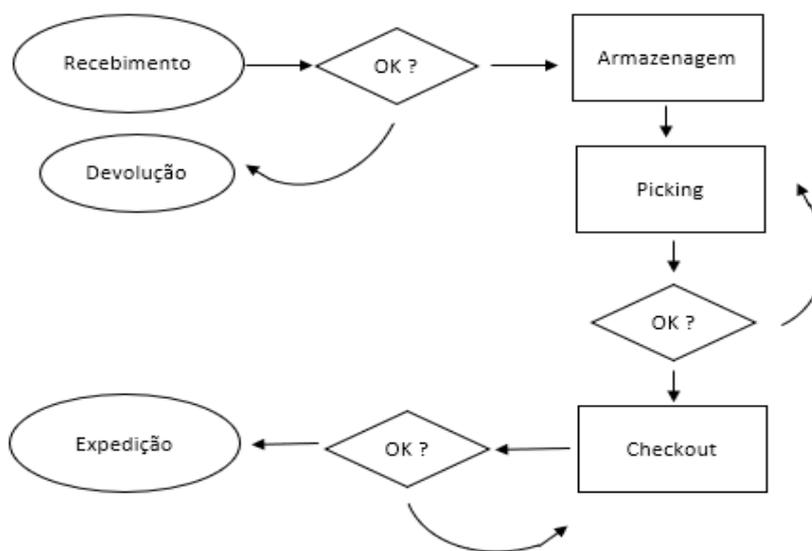
4. EFICIÊNCIA NOS PROCESSOS DE GESTÃO EM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Ballou (2005) destaca que a logística empresarial envolve a administração dos processos inter-relacionados de movimentação, transporte e armazenagem, em contraste com a abordagem de gerenciar esses processos de forma isolada.

Ching (2001) define a logística de distribuição como a conexão entre a organização e o consumidor, sendo responsável pela distribuição física das mercadorias até o destino final. É incumbida de garantir que os pedidos sejam entregues com precisão, na quantidade correta e no prazo estabelecido.

No processo de um Centro de Distribuição (CD), as mercadorias recebidas são checadas por uma equipe dedicada. Se estiverem em boas condições, são armazenadas com organização e registro adequados. O picking é realizado para coletar os produtos solicitados nos pedidos, utilizando sistemas de gerenciamento e dispositivos eletrônicos. No checkout, há uma verificação final dos produtos e a embalagem correta para o transporte é feita. Por último, ocorre a expedição, onde os produtos são transportados para entrega aos clientes. Todo o processo é realizado com atenção à qualidade e eficiência.

Figura 1: Fluxograma de processo em um centro de distribuição



Fonte: Adaptado de Chiavenato, 2014.

Martin Christopher (1997) descreve sobre as atividades internas de um Centro de Distribuição incluem uma série de aspectos fundamentais onde destaca a importância de um fluxo eficiente de recebimento, armazenagem e movimentação de mercadorias dentro do CD, ele ressalta a necessidade de um layout adequado, estratégias de estocagem inteligentes e sistemas de gerenciamento de inventário precisos. Além disso, ele enfatiza a importância da otimização dos processos de separação de pedidos, embalagem e expedição, buscando reduzir os tempos de ciclo e melhorar a precisão das operações.

Tabela 2: Etapas das Operações Logísticas

Operação	Descrição	Autor
Recebimento	O procedimento consiste em conferir as informações das notas fiscais com os produtos recebidos, verificar as características e a qualidade dos itens e contar as unidades.	Pimenta (2017)
Armazenagem	Atividade importante da logística, pois é responsável por manter o controle e gerenciamento de estoque, garantir a integridade dos produtos e melhorar a eficiência na movimentação de mercadorias.	Bowersox (2013)
Picking	Coleta de produtos específicos de um centro de distribuição para atender a um pedido do cliente.	Ballou (2011)
Checkout	Garante a eficiência na entrega dos produtos, pois coordena a logística e a transportadora, assegurando a entrega no menor tempo possível e realizando controles de qualidade e emissão de nota fiscal.	Novaes (2010)
Expedição	Última verificação dos produtos, garantindo a qualidade e integridade dos itens. As atividades incluem conferência, embalagem, emissão de notas fiscais e etiquetas de envio, visando a eficiência na entrega dos produtos.	Bowersox e Closs (2011)

Fonte: Adaptado Bowersox (2013)

5. PICKING E SUA IMPORTÂNCIA NO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo Donald J. Bowersox, David J. Closs e M. Bixby Cooper (2007), o picking é o processo de coleta de produtos específicos dos estoques em um armazém ou centro de distribuição para atender a pedidos dos clientes. Essa atividade envolve a localização dos produtos no estoque, sua retirada e preparação para o envio, seguindo uma ordem de coleta definida.

De acordo com Paulo Roberto Leite (2014), o picking é uma atividade essencial em um Centro de Distribuição (CD), em suas pesquisas ele afirma que na seleção e coleta dos itens para atender aos pedidos dos clientes, o picking dentro do CD, garante a eficiência e a qualidade dos processos de separação de pedidos. De acordo com Paulo Roberto Leite (2014), o picking é uma atividade essencial em um Centro de Distribuição (CD), em suas pesquisas ele afirma que na seleção e coleta dos itens para atender aos pedidos dos clientes, o picking dentro do CD, garante a eficiência e a qualidade dos processos de separação de pedidos. David Simchi-Levi, Philip Kaminsky e Edith Simchi-Levi (2003), destacam que o processo de picking é uma das principais atividades dentro de um CD e desempenha um papel crucial na otimização dos tempos de espera, redução de erros e maximização da produtividade geral.

5.1. Estratégias de Picking

Segundo Ballou (2011), picking é o processo de coleta dos produtos especificados em um pedido do cliente dentro de um centro de distribuição, envolvendo a separação dos produtos a partir das informações contidas na ordem de separação. Existem vários tipos de picking, dentre eles, destacam-se os mencionados na tabela abaixo.

Tabela 3: Tabela comparativa de métodos de picking

Método	Descrição	Autor
Picking por onda	Agrupamento de vários pedidos de clientes em uma mesma onda, permitindo a coleta de vários produtos em uma única vez pelos separadores, reduzindo o tempo de deslocamento e aumentando a produtividade.	Ballou (2017)
Picking por zona	Divisão do armazém em áreas ou zonas e atribuição de cada zona a um operador de picking. Cada operador é responsável pela coleta dos itens de sua respectiva zona, agilizando o processo e reduzindo o tempo de deslocamento. Indicado para operações com grande volume de pedidos e grande diversidade de itens.	Slack et al. (2009)
Picking por lote	Agrupamento de várias ordens de pedidos que são processadas como um lote. Os itens são coletados em uma única operação de picking e separados posteriormente para atender a cada ordem individualmente. Indicado para situações em que há muitas ordens para um mesmo produto, reduzindo o tempo de picking e aumentando a eficiência do processo.	Martins e Rimoli (2008)
Picking discreto	Produção de um número limitado de produtos iguais ou semelhantes antes de iniciar a produção de outros produtos ou modelos diferentes. Requer planejamento detalhado da produção e gerenciamento eficiente dos recursos disponíveis.	Moreira (2016)

Fonte: Adaptado Ballou (2017)

No estudo de caso apresentado, optamos por focar no método de separação conhecido como picking discreto. Essa escolha se deve ao fato de o picking discreto ser o principal método utilizado no Centro de Distribuição em análise.

5.1.1. Picking Discreto

O conceito abordado por Moreira (2016), informa que este método de produção tem por característica a fabricação de um número limitado de produtos iguais ou semelhantes, antes de iniciar a produção de outros produtos ou modelos diferentes. O autor que é um processo onde requer planejamento detalhado da produção e gerenciamento eficiente dos recursos disponíveis.

Conforme Sakaguti (2007), há uma diversidade de estratégias de agrupamento de pedidos, sendo uma delas o Picking Discreto. De acordo com o autor nesse método, cada operador finaliza um pedido de cada vez, realizando a separação dos itens conforme a lista de picking. O autor ressalta que embora essa abordagem preserve as características individuais de cada pedido, uma desvantagem é o tempo de movimentação necessário, uma vez que o separador precisa percorrer praticamente todo o armazém para concluir a separação de cada pedido.

5.2. Vantagens e Desvantagens do Picking

De acordo com BOZUTTI (2013), algumas das vantagens são a possibilidade de atender diversos clientes no mesmo tempo, a separação de diversos produtos de acordo com a exigência do pedido (ex: características, quantidade, lote), aumento das vendas e a qualidade no serviço que está sendo prestado. O autor acrescenta algumas desvantagens poderão ocorrer, como excessiva perda de tempo, erros na separação, pois é manual e depende em sua grande maioria da mão de obra humana, baixa produtividade em alguns pedido e suas características.

Caso a atividade de picking não seja controlada, pode afetar diretamente as atividades realizadas do CD (PETERSEN, 2000), e por consequência afetando diretamente a experiência com o cliente final (BARRY, 2018).

6. SISTEMA DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO LOGÍSTICO

Serão apresentados neste tópico alguns conceitos relacionados à medição, avaliação e indicadores de desempenho. Será abordada a importância dessas medidas para analisar e monitorar o desempenho organizacional. Serão discutidos os diferentes aspectos da medição, avaliação e o uso de indicadores para avaliar o progresso e identificar áreas de melhoria.

6.1. Avaliação e Indicadores de Desempenho

Conforme mencionado por Bowersox e Closs (2001), desenvolver e implementar um método de avaliação de desempenho tem como essencial propósito controlar, monitorar e direcionar as operações. Os autores destacam a importância de acompanhar o desempenho real do processo para manter a organização e os clientes bem informados. Segundo Carvalho (2001), os principais indicadores de desempenho são:

Indicadores Econômicos: Avaliam os custos associados aos processos (Ex. Despesas totais de distribuição mensal; Custo de transporte por carga; Custo de transporte por cliente; Custo de separação por pedido).

Indicadores de Eficiência: Têm como objetivo refletir a capacidade do sistema em utilizar de forma eficiente e eficaz os recursos disponíveis nos processos (Ex. Número de caixas separadas por hora; Taxa de utilização de equipamentos; entre outros).

Indicadores de Tempo: Uma vez que o tempo é um fator crítico para a competitividade das empresas, é fundamental ter uma atuação eficiente em relação à disponibilidade de serviços e produtos (Ex. Percentual de pedidos separados dentro do prazo desejado; Percentual de encomendas completas entregues no prazo correto; Número de pedidos separados por hora; Tempo gasto por colaborador na separação de um pedido; entre outros).

Indicadores de Serviço/Qualidade: Esses indicadores avaliam a capacidade de um pedido ser executado com perfeição. São medidos pela porcentagem de pedidos perfeitos, buscando alcançar a excelência (Ex. Percentual de pedidos entregues dentro do prazo; Percentual de pedidos entregues corretamente, sem reclamações; Taxa de atendimento (quantidades entregues em relação às quantidades solicitadas); entre outros).

6.2. Indicadores de Desempenho Aplicados ao Picking

Conforme Closs e Bowersox (2001), a avaliação apropriada do desempenho das organizações deve ter como base os processos e estabelecer expectativas adequadas. A avaliação precisa dos processos deve focar em tarefas específicas e essenciais para a solicitação e envio de pedidos.

Figura 2: Tipos de avaliações operacionais

Tempo para entrada do pedido (Por pedido)
Prazo de entrega (por pedido)
Tempo de separação do pedido (Por pedido)
Tempo de consulta (Por pedido)
Tempo de entrada do pedido (Por cliente)
Tempo de separação do pedido (Por cliente)
Prazo de entrega (por cliente)
Tempo de separação do pedido (Por produto)
Prazo de entrega (por produto)

Fonte: Bowersox e Closs (2001)

Foram usados na análise: Tempo para entrada de pedido; Prazo de entrega; Tempo de separação do pedido e tempo de consulta.

7. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Segundo Samohyl (2005) as ferramentas da qualidade compõem um conjunto de instrumentos estatísticos para melhoria da qualidade de produtos, serviços e processos. Representam um conjunto valioso de recursos para aprimorar a qualidade, abrangendo diferentes aspectos e permitindo análises estatísticas eficazes. Já Montgomery (2009) afirma que as ferramentas deveriam ser ensinadas nas organizações e usadas rotineiramente para identificar possíveis melhorias e eliminação de perdas. Para o estudo em questão vamos abordar 3 ferramentas da qualidade.

7.1. Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)

È uma ferramenta que auxilia no levantamento das causas de um problema, analisando os fatores envolvidos no processo além de organizando as informações facilitando a identificação das possíveis causas de problemas (Kaoru Ishikawa, 1993). No método, todo problema possui causas específicas, e estas devem ser analisadas e testadas, a fim de comprovar qual está realmente causando o problema que se deseja eliminar e eliminado as causas, logo elimina-se o problema, pois a ferramenta simplifica processos considerados complexos ao dividi-los em processos mais simples e controláveis (TUBINO, 2000).

Conforme Werkema (1995), para a elaboração do diagrama, é necessário seguir as seguintes etapas: O primeiro passo consiste em definir o problema a ser analisado e estabelecer os resultados desejados. Em seguida, é preciso estudar e compreender o processo em questão, por meio de observação, documentação e diálogo com os envolvidos. A terceira etapa envolve a realização de uma reunião com as pessoas relacionadas ao processo, com o intuito de discutir o problema e encorajar a expressão de ideias, promovendo um brainstorming. No quarto passo, é necessário coletar todas as informações e organizá-las em categorias, como causas principais, secundárias e terciárias, eliminando dados irrelevantes. Em seguida, é o momento de construir o diagrama, compartilhando-o com todos os participantes para garantir a representação adequada da situação atual. Por fim, no sexto e último passo, é importante identificar e destacar os elementos mais relevantes para alcançar o objetivo desejado.

7.2. Fluxograma

Segundo Lucinda (2010), o fluxograma é enfatizado como uma ferramenta excelente para analisar o processo, pois proporciona uma compreensão ágil das atividades executadas por todas as partes envolvidas. É uma ferramenta essencial tanto para o planejamento (desenvolvimento do processo) quanto para o aprimoramento (exame, avaliação e modificações) do processo.

O SEBRAE (2005) destaca que essa ferramenta é utilizada para compreender e reconhecer as possibilidades de aprimoramento, elaborar um novo processo no qual as melhorias já estejam integradas, agilizar a comunicação entre os envolvidos no processo e difundir as informações do processo.

7.3. SW2H

Polacinski (2012) enfatiza que essa ferramenta é uma estratégia de execução para atividades pré-definidas que precisam ser realizadas com a máxima transparência, além de servir como um registro dessas atividades. Seu principal propósito é abordar sete indagações e estruturá-las.

O SEBRAE (2008) destaca que a ferramenta 5W2H permite identificar, as principais rotinas de um processo, projeto ou uma unidade de produção. Além disso, ela viabiliza a identificação dos responsáveis dentro da organização, suas atribuições e as razões que motivam a realização dessas atividades.

8. METODOLOGIA DA PESQUISA

Marconi e Lakatos (2003) afirma que para planejar uma pesquisa deve-se preparar um plano de ação e determinar os instrumentos que serão utilizados para coletar os dados, como questionários, formulários ou roteiros de entrevistas. Com autorização da empresa os dados foram recolhidos e demonstrado por meio de planilhas e gráficos para obter os resultados. Conforme seus objetivos, mais gerais, esta pesquisa classifica-se como pesquisa exploratória, que têm como objetivo proporcionar maior entendimento do problema, para torná-lo mais explícito (GIL, 2008). A pesquisa descritiva tem a finalidade de demonstrar os aspectos de um grupo, demonstrando dentro da realidade a relação entre os dados e suas variáveis.

Neves (1996) argumenta que os estudos qualitativos são realizados em sua maioria no ponto de origem, o que não impossibilita o pesquisado o emprego da lógica empírica, porém assume que a análise do fenômeno em si é mais adequada, porque o estudo inclui um fenômeno com alguma ambiguidade. A coleta de dados foi realizada por meio do levantamento de informações operacionais e do ciclo do pedido da indústria em análise, referente ao ciclo do pedido do período 10/22 a 04/23.

Para identificar as possíveis causas que impactam no processo de picking, foi aplicado o diagrama de causas e efeitos, também conhecido como diagrama de Ishikawa. Esse diagrama permite observar as principais variáveis que impactam no desempenho do processo, analisando diferentes categorias de causas, como mão de obra, métodos, máquinas, materiais, medição e meio ambiente. A análise dos resultados foi realizada por meio da interpretação dos dados qualitativos e demonstrativos, utilizando gráficos e tabelas para visualizar as etapas e os tempos envolvidos no ciclo do pedido. A partir dessas informações, foram identificadas as etapas com tempos médios acima do ideal,

indicando oportunidades de melhorias para otimizar a eficiência e reduzir os tempos de processamento.

9. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão apresentadas as informações relacionadas ao estudo de caso, assim como formulações, métodos e modelos utilizados na análise. Será realizada uma breve apresentação da empresa onde será realizado o estudo e definido o problema que motivou a realização do trabalho.

9.1. Descrição da Empresa

O estudo de caso se dará em uma indústria brasileira, que atua no ramo de soluções para armazenamento e condução de água e fluidos em geral, com mais de 30 anos de mercado e presente em diversos estados brasileiros. A indústria produz uma ampla gama de produtos, incluindo caixas d'água, cisternas, tanques, tubos, conexões, entre outros itens. O foco do estudo se fará presente no CD de separação de uma de suas unidades fabris, presente em Serra-ES.

O estudo terá foco no CD da indústria, especificamente no negócio de conexões. O CD da indústria, conta com mais de 1.000 alocações, sendo aproximadamente 400 prédios com 4 andares cada, e o 1º andar, reservado exclusivamente para a operação de picking (conexões), demais andares pulmões de reabastecimento.

Para fins de simplificação do estudo, será considerado somente o primeiro nível de armazenamento (primeiro andar de cada prédio).

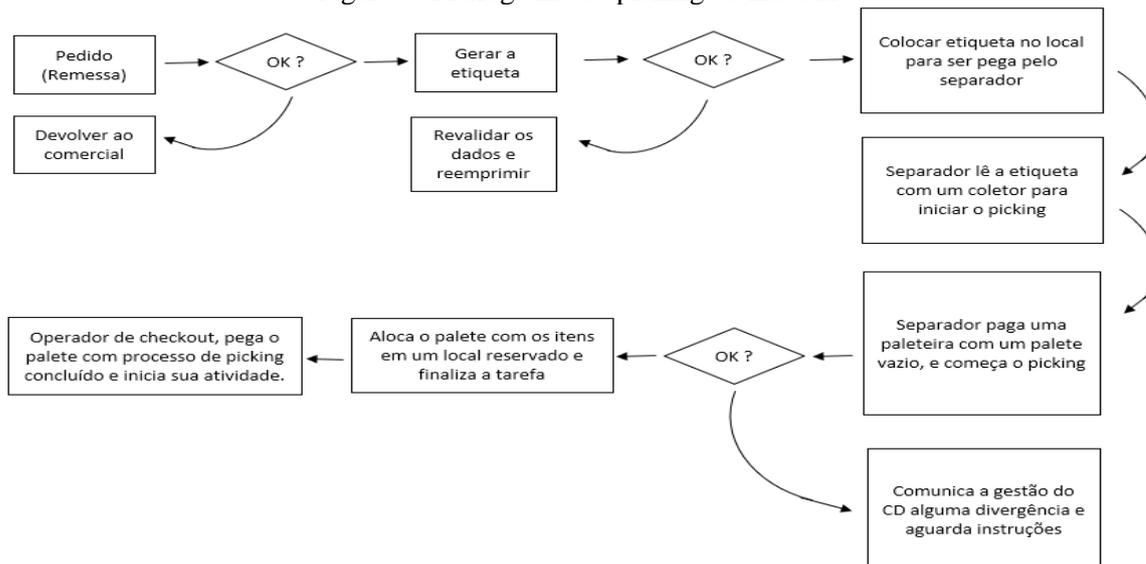
Deste modo, tendo por objetivo analisar o processo de separação de picking no CD em estudo, o presente trabalho através de embasamento teórico visa apontar possíveis causas que impactam no processo atual de picking.

9.2. Operação de Picking na Indústria

O processo de separação da remessa (picking) é feito usando o método de picking discreto, onde um único separador inicia e finaliza a coleta de todos os itens presentes na etiqueta da remessa. Após a coleta de todos os itens, o palete com os itens é deixado em stand-by em um local apropriado para que o operador de checkout pegue e inicialize sua etapa no processo.

O processo se resume em um pedido realizado pelo cliente, e dentro deste pedido está presente uma remessa. É esta remessa que o separador usa para realizar coleta, se orientando por uma etiqueta com todas as informações necessárias, e com o auxílio de um coletor de dados conectado diretamente ao sistema de WMS (warehouse management system - sistema de gerenciamento de armazéns) da indústria, para direcionar à alocação correta onde se encontra o produto.

Figura 3: Fluxograma de picking da indústria



Fonte: Do autor (2023)

O processo de distribuição destas etiquetas para separação, é feito de forma aleatória, o pedido chega no sistema, é transformado em remessas que são impressas em etiquetas, e esta é alocada em um caixa para que o próprio separador a colete e inicie as atividades.

Figura 4: Representação da etiqueta emitida pela indústria.

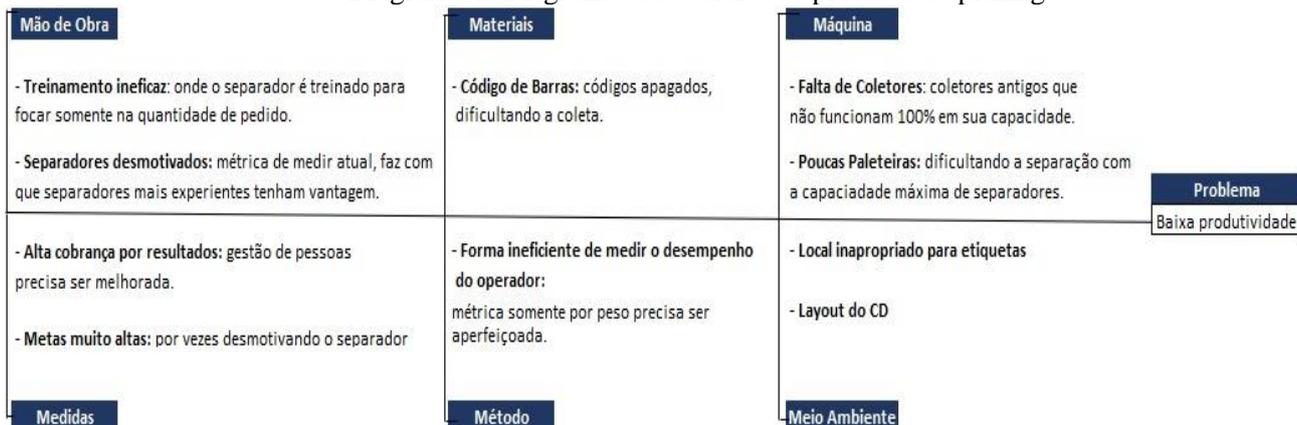


Fonte: Do autor (2023)

9.3. Diagrama de Causas e Efeitos da Indústria (Ishikawa)

Abaixo está representado através do Ishikawa os principais pontos identificados no levantamento dos dados como possíveis variáveis que impactam no processo de picking da indústria.

Diagrama 1: Diagrama causa-efeito do processo de picking



Fonte: Do autor (2023)

Todas estas variáveis possuem potencial de impactar na separação, e em sua grande maioria o impacto é negativo, causando gargalos ou mesmo fazendo com que a operação dentro do processo de picking não atinja seu potencial máximo.

10.SUGESTÃO DE MELHORIAS

Como sugestões para melhorar as variáveis que atualmente afetam o processo de picking da indústria, optamos por apresentar estas melhorias no formato da ferramenta 5W2H, para que uma melhor visualização de cada variável e suas respectivas melhorias.

Tabela 4: Sugestões de melhorias das variáveis através do 5W2H

5W				2H		
O QUE será feito ? (What)	PORQUE será feito ? (Why)	ONDE será feito ? (Where)	QUANDO será feito (When)	POR QUEM será feito ? (Why)	COMO será feito ? (How)	QUANTO custará ? (How Much)
Mão de Obra	Para reforçar pontos que necessitam de atenção e relembrar a importância do processo.	No próprio CD	Períodos de baixa demanda como início de mês.	Gestão do CD	Apresentação dos dados ref. Mês anterior e ativ. práticas.	Tempo em função dos recursos já estarem disponíveis pela empresa.
Mão de Obra	Para melhorar a motivação dos separadores assim amenizando a insatisfação	No próprio CD	Períodos de baixa demanda como início de mês	Controle das folgas dos separadores fica sob a respons. da gestão do CD	No início de cada mês ter um revezamento de dias de folga entre os melhores colocados na separação	Tempo em função dos recursos já estarem disponíveis pela empresa.
Medidas e Métodos	Possíveis distorções no resultado e da realidade	No próprio CD	Acompanhamento contínuo	Logística Corporativa do CD setor responsável pelos relatórios da indústria	Inserir mais visuais que informem mais detalhadamente a operação	Tempo em função dos recursos já estarem disponíveis pela empresa.
Materiais e Máquinas	Para que a qualidade da impressão seja melhor e não se desgaste com tempo	No próprio CD	Deve ser analisado pela gestão do CD, mas a tomada de decisão para aquisições semelhantes, levam aprox. 4 meses de análise.	Gestão do CD	Compra de novos equipamentos	Varia de acordo com os modelos do mercado, mas uma máquina superior a da indústria estudada, fica em torno de R\$ 5.499,00 a unidade.
Materiais e Máquinas	Para agilizar e aperfeiçoar a qualidade e desempenho dos separadores	No próprio CD	Deve ser analisado pela gestão do CD, mas a tomada de decisão para aquisições semelhantes, levam aprox. 4 meses de análise.	Gestão do CD	Compra de novos equipamentos	Varia de acordo com os modelos do mercado, mas uma paleteira no mesmo nível da utilizada na indústria, ficaria aprox. R\$ 2.428,30 a unidade.
Meio Ambiente	Capacidade do CD já está pequena com relação a demanda	No próprio CD da indústria pois mudar para outra alocação de terceiros não seria viável	Deve ser analisado pela gestão do CD e da indústria, podendo levar anos de análise, pois depende muito da urgência.	Gestão do CD e Direção da indústria	Ampliação da planta do CD, pois a área onde está alocado permite esta melhoria	Depende de projetos de engenharia, mas para o projeto atual de ampliação o valor estimado é de R\$ 3.500.000,00 somente a estrutura do CD

Fonte: Do autor (2023)

Com a aplicação destas melhorias, o ciclo do pedido seria afetado positivamente, reduzindo os impactos negativos na operação, o que resultaria em uma melhor produtividade e eficiência, otimizando as etapas posteriores aos picking e satisfazendo o cliente final.

10.1. Análise dos Resultados e Dados Qualitativos e Demonstrativos do Processo de picking

Conforme mencionado por Closs e Bowersox (2001), existem diversos tipos de avaliações operacionais sobre análise de indicadores de desempenho, voltadas ao picking. Estas múltiplas avaliações operacionais acabam por gerar o tempo de ciclo do pedido, iniciando na solicitação do cliente até o recebimento pelo mesmo, seguindo algumas etapas: criação do pedido, faturamento, documentos para verificação e separação do produto, conferência de estoque, atendimento do pedido, expedição para entrega e transporte.

A gerência da indústria em análise nos disponibilizou dados referente ao ciclo do pedido do período 10/22 a 04/23 para que possamos ter um embasamento maior na análise e propostas de melhorias. Estes dados foram extraídos de um indicador de desempenho do tipo tempo, serviço e qualidade, onde está sendo medido o prazo de atendimento do pedido da criação até a entrega. Com base nestes dados iremos aplicar os tipos de avaliações operacionais apresentadas por Closs e Bowersox no ciclo de pedido da indústria.

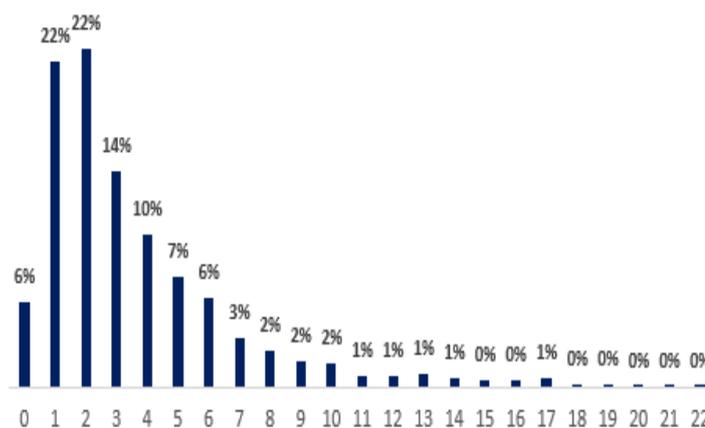
10.1.1. Tempo de Consulta e de Entrada do Pedido

Nesta etapa ocorre a validação de todos os dados do cliente e a criação do pedido. Valida-se as pendências financeiras junto ao financeiro da indústria, bem como pendências a empresas externas que prestam serviço de crédito (SPC e SERASA). Estando tudo ok, é dado início ao processo de criação do pedido, após a criação o pedido é liberado para separação no CD da indústria.

A tabela e gráfico abaixo, demonstra como se encontra distribuição dos pedidos em percentuais por dia para conclusão desta etapa.

Tabela 5: Distribuição de pedidos por tempo de montagem

Dias úteis	Percent.	Dias úteis	Percent.
0	5,60%	12	0,69%
1	21,52%	13	0,78%
2	22,26%	14	0,52%
3	14,19%	15	0,43%
4	10,11%	16	0,39%
5	7,25%	17	0,54%
6	5,86%	18	0,13%
7	3,21%	19	0,13%
8	2,43%	20	0,05%
9	1,65%	21	0,02%
10	1,61%	22	0,04%
11	0,65%		

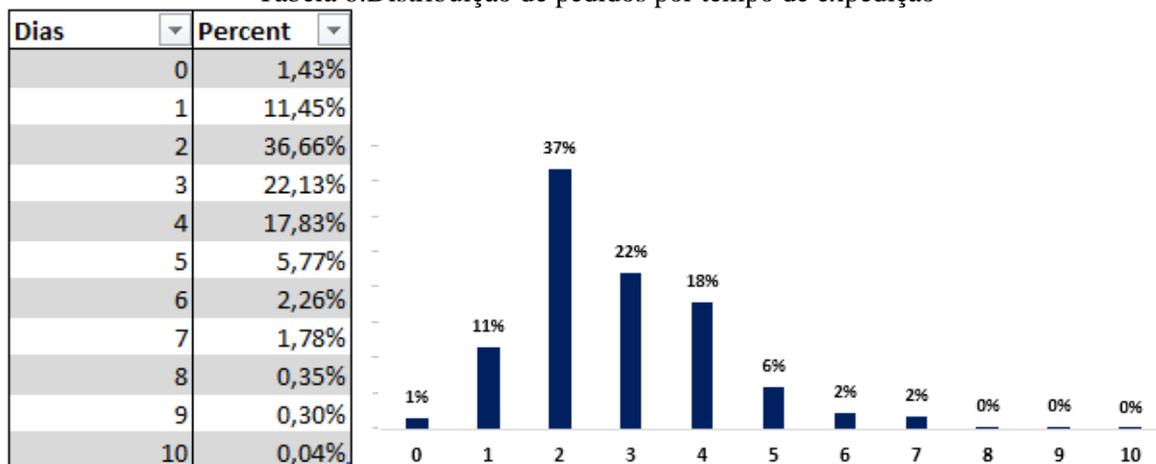


Fonte: Do autor (2023)

Visualmente pelo gráfico, a maioria dos pedidos nesta etapa são concluídos em aproximadamente 4 dias. A média destes valores nos dá um valor aproximado de 4,3 dias para conclusão. Verificamos na tabela, que no período em análise, houveram pedidos que foram concluídos nesta etapa com até 22 dias, isto já impactaria negativamente o ciclo do picking, causando atrasos na separação.

10.1.2. Tempo de separação e expedição do pedido

Tabela 6: Distribuição de pedidos por tempo de expedição



Fonte: Do autor (2023)

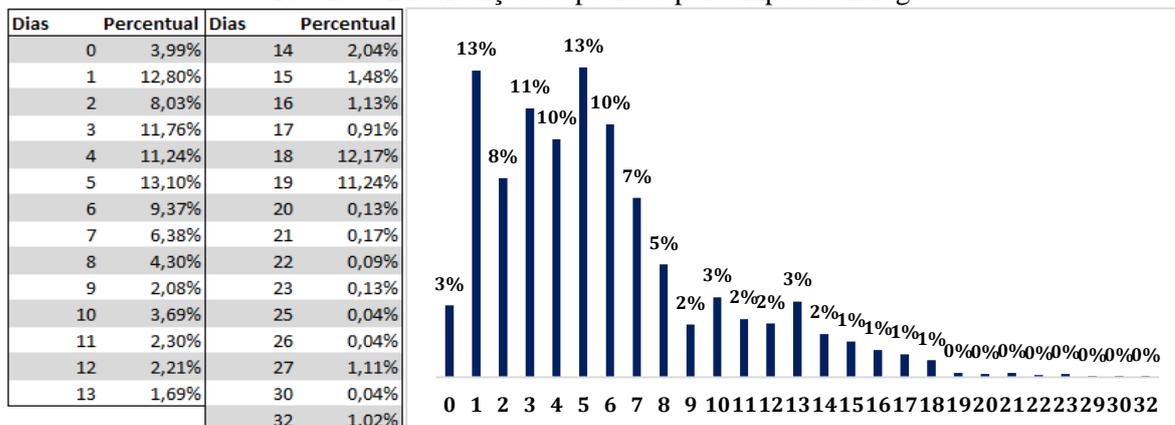
Esta próxima etapa pós montagem (análise anterior) do ciclo do pedido, informa o tempo gasto desde a disponibilização do pedido para a separação, passando por todo processo de etiquetagem, picking, checkout, conferência e liberação para expedição.

Nesta etapa, entram todas as variáveis que impactam no processo de picking mencionadas no Ishikawa. Visualmente pelo gráfico, infere-se que a maioria dos pedidos levam aproximadamente 4 dias para finalizar toda etapa da separação a expedição, porém em uma média simples com os valores na tabela, encontramos um resultado de aproximadamente 9 dias. Esta é uma etapa extremamente importante e que deve ser analisada com muita atenção, atrasos nesta etapa do ciclo, pode impactar no ciclo total do pedido. As variáveis apresentadas no Ishikawa e detalhadas no 5W2H, se sanadas, irá reduzir a média da separação do picking do CD e conseqüentemente aumentando a produtividade.

10.1.3. Prazo de entrega do Pedido

A última e mais complexa etapa do ciclo é o prazo de entrega, pois conta com fatores externos a operação no CD da indústria. Esta etapa é um dos desafios da indústria, pois controlar fatores externos é quase impossível, fatores estes que podem ir desde um dia chuvoso, dificultando o trajeto dos veículos com os pedidos, até situações mais graves, como acidentes e assaltos.

Tabela 7: Distribuição de pedidos por tempo de entrega



Fonte: Do autor (2023)

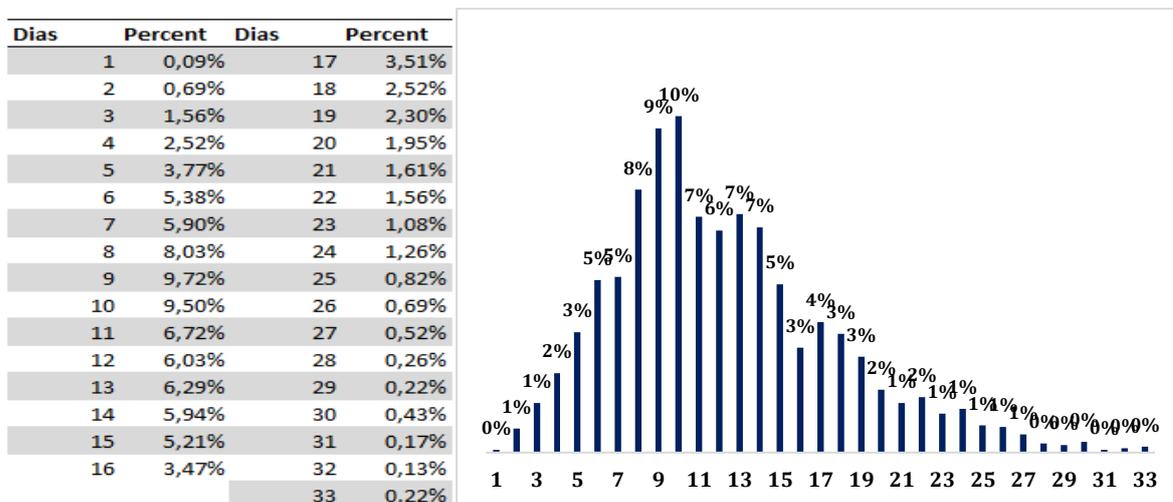
Pelos dados verificamos que esta etapa demanda um tempo maior para conclusão devido influência dos fatores externos que fogem ao controle da operação, e é a etapa que carece de mais atenção. Analisando o gráfico, veremos que a maioria dos pedidos são entregues em aproximadamente 10 dias, com pedidos que podem chegar em até 32 dias em trânsito. Estes números são altos e poderiam ser amenizados com um melhor desempenho no ciclo de separação e expedição (análise anterior). Além disso, com uma melhor performance do picking, o ciclo de entrega do pedido também iria sofrer uma alteração positiva, reduzindo seu tempo de conclusão.

10.1.4. Tempo total do ciclo do pedido.

No ciclo total do pedido temos o acumulado de todas as etapas anteriores analisadas, indo deste a solicitação do pedido até a entrega ao cliente. O ciclo total do pedido da indústria é de aproximadamente 17 dias, e semelhante a última análise (ciclo de entrega) possui pedidos que chegam a aproximadamente 33 dias para fechar o ciclo total.

Em um ambiente competitivo onde cada minuto conta como fator decisório, a indústria necessita melhorar sua performance para atender o cliente com menor tempo, e uma das variáveis que podem ser uma virada positiva nesta operação é picking. Investir nesta etapa do ciclo pode trazer resultados significativos, fazendo com que a indústria se destaque ainda mais no mercado devido sua qualidade nos serviços prestados.

Tabela 8: Distribuição de pedidos por ciclo total



Fonte: Do autor (2023)

11. CONCLUSÃO

Neste estudo, buscou-se analisar a forma que a indústria do ramo de soluções para armazenamento e condução de água e fluidos realiza a mensuração do processo da atividade de picking em um de seus CD localizado na cidade Serra, além de compreender o processamento dos pedidos desde recebimento até a saída.

Durante a análise, constatou-se que há diversas variáveis que impactam negativamente o processo de picking. Estas variáveis informadas nos “6M” de Ishikawa, nos permitiu validar que há uma queda na produtividade devido aos fatores como treinamento ineficaz, falta de equipamentos,

formas ineficientes de medir o desempenho da separação e códigos de barras, nas dando uma visão melhor do processo e testificando que estas variáveis afetam a produtividade da separação dos pedidos (picking).

Com o auxílio da ferramenta 5W2H, e se baseando nas variáveis mencionadas no Ishikawa, conseguimos sugerir diversas melhorias no processo que possibilitaria um grande aumento na produtividade do CD, indo de sugestões simples, como melhorar os relatórios que apresentam os resultados da separação, adicionando mais informações para melhor tomada de decisão da gestão, a sugestões um pouco mais elaboradas como a ampliação do centro de distribuição para atender melhor a demanda.

Constatou-se que o os ciclos do pedido partindo desde o tempo de consulta até a entrega precisa ser melhorado, e uma das etapas deste ciclo pode ser um divisor de águas na redução total do tempo do ciclo, esta etapa é o tempo de separação e expedição do pedido, onde está presente o picking. Para isso, tratar variáveis que impactam neste ciclo pode acarretar na obtenção de informações mais precisas que possibilitem a diminuição do tempo e aumento da produtividade no CD, pois se melhorado, pode ter impacto positivo no ciclo total. Na eliminação das variáveis apresentadas, haverá uma grande oportunidade de melhoria em todo processo da indústria.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial (5ª. Ed.). Porto Alegre: Bookman Editora (2006)

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial. São Paulo: Bookman, 2005.

BALLOU, R. H. Logística Empresarial: Transporte, Administração de Materiais e Distribuição Física. São Paulo: Atlas, 2011.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BOWERSOX, Donald J e CLOSS, David J. "Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento" , 4ª edição, Editora Atlas, 2011.

BOWERSOX, Donald J., CLOSS, David J., COOPER M. Bixby, Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos. São Paulo, Editora Bookman, 2006.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. COOPER, M. Bixby. Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2007

BOZUTTI, Daniel Fernando et al. Logística: visão global e picking. In: SÉRIE APONTAMENTOS, 0., 2013,

CAPELLATO, C. P.; MELO, J. A. M. Organização de arranjo físico em armazém de panificação: uma proposta empregando a classificação de materiais xyz. Revista Negócios em Projeção.2012

- CARVALHO, J., CARVALHO, V. Auditoria logística – Medir para gerir. 1ª Edição. Lisboa: Edições Sílabo. 2001
- CHING, Hong Yuh. Gestão de estoques na cadeia de logística integrada. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- CHRISTOPHER, Martin. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços. São Paulo : Pioneira, 1997.
- FENILI, R. R. Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: Abordagem Completa. 3ª edição. São Paulo: Ed. Método, 2014
- GWYNNE, Richards. Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse. 2014
- HARPER, R. L. Warehouse Technology in the Supply Chain Management Systems. Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS). Florida University (2010).
- HILL, Arthur - Centros de Distribuição: estratégia para redução de custos e garantia de entrega rápida e eficaz - São Paulo - 4ª Conferência sobre logística colaborativa, 2003.
- ISHIKAWA, K. Controle de qualidade total: à maneira japonesa. Rio de Janeiro: Campus, 1993.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003
- LAMBERT, D. M.; GARCIA-DASTUGUE, S. J.; CROXTON, K. L. The Role of Logistics Managers in the Cross-Functional Implementation of Supply Chain Management, Journal of Business Logistics, 2008.
- LAVALLE, C.; FLEURY, P. F. Avaliação da organização logística em empresas da cadeia de suprimentos de alimentos. Revista de Administração Contemporânea, Curitiba, 2000
- LEITE, Paulo Roberto (2014); Logística Reversa: Sustentabilidade e competitividade; Saraiva
- LUCINDA, M. A. Qualidade: fundamentos e práticas para cursos de graduação. Rio de Janeiro: Brasport, 2010
- MARTINS, P. G.; CAMPOS ALT, P. R. C. Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais. São Paulo: Saraiva, 2009.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI F. P. Administração da produção – 2. ed. Ver., aum. E atual – São Paulo :Saraiva, 2005.
- MONTGOMERY, Douglas C. Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. Rio de Janeiro: LTC 4. Ed. 2009
- MOURA, Reinaldo A. Armazenagem e distribuição física. Instituto IMAM, 1997.
- MOURA, Reinaldo A. Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais. 5. ed. rev. São Paulo: Instituto IMAM, 2005

NEVES, J. L. Pesquisa qualitativa – características, uso e possibilidades. Cadernos de pesquisa em administração, São Paulo. V. 1, nº 3, 2ºsem. 1996

NOVAES, A. G. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

PETERSEN, C.G., 2000. An evaluation of order picking policies for mailorder companies. Production and Operations Management 9. 2000

PIRES, S.R. I. (2004) Gestão da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain Management) – Conceitos, Estratégias, Práticas e Casos. São Paulo: Atlas

REIS, M. A. S. Tendências na logística dos centros de distribuição. São Paulo: Maré Assessoria em Logística, 1996.

SAKAGUTI, F. Y. Otimização do Processo de Picking de um Centro de Distribuição Através da Programação Dinâmica. 2007

SAMOHYL, R. W. Controle Estatístico de Processo e Ferramentas da Qualidade.2005

SEBRAE; Manual de ferramentas da qualidade,2005.

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/309035/mod_folder/content/0/SEBRAE%2C%202005.pdf?forcedownload=1 Acesso em 15/05/2023

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 3ed, 2009.

TUBINO, D. F. Manual de planejamento e controle da produção. 2. Edição. São Paulo: Atlas, 2000

WAKE, P. Gestão de estoques na cadeia de suprimento: decisões e modelos qualitativos. 1ª ed. 2012.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos. 6. ed. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1995.

NOTAS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus.

Agradecemos a nossa família por todo amor, apoio e incentivo.

Ao nosso orientador, Fabricio Vasconcelos Ribeiro, pela confiança e dedicação.

CONTRIBUIÇÃO E AUTORIA

Não se aplica

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

CURSO

Engenharia de Produção

COORDENADOR DO CURSO

Fabiola Loyola Provedel Toscano

DATA DE ENTREGA

19/06/2023

BANCA AVALIADORA

Luciene Santana

Priscila Pagung de Aquino Lapa Campos

DECLARAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PLÁGIO

Declaro que o trabalho não contém plágio ou autoplágio total ou parcial. Todo o conteúdo utilizado como citação direta ou indireta foi indicado e referenciado.

LICENÇA DE USO

Os autores do artigo cedem o direito à divulgação e publicação do material para comunidade acadêmica através de portal da Biblioteca e repositório institucional. Esta autorização permite sua utilização como base para novas pesquisas, caso haja adaptação do conteúdo é necessário atribuir o devido crédito de autoria.

ENGENHARIA ELÉTRICA

**IMPACTOS NA PARAMETRIZAÇÃO DA
PROTEÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
COM A CONEXÃO DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA**



Revista UCL

IMPACTOS NA PARAMETRIZAÇÃO DA PROTEÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM A CONEXÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Impacts on the parameterization of distribution network protection with the connection of distributed generation

Jorge Xavier Hoste Junior

Graduando

Engenharia Elétrica

jxhj@ucl.br

Maysa Batista Neves

Graduando

Engenharia Elétrica

maysa@ucl.br

Cristina Marchiori Miranda

Orientador

Faculdade UCL

cristina.marchiori@ucl.br

RESUMO

Objetivo: O presente trabalho visa analisar o comportamento do sistema de proteção da rede de distribuição de energia elétrica levando em consideração as conexões de Geração Distribuída, evento este que tem se intensificado nos últimos anos no Brasil e que pode impactar o sistema de proteção convencional da rede.

Método: Esta pesquisa conta com análises de natureza qualitativa por meio da coleta de dados de fontes bibliográficas e de natureza quantitativa através de estudos de casos em *software* para modelagem e simulação de esquemáticos que se assemelham ao sistema de distribuição de energia. Para tanto, utiliza-se o circuito de 13 barras do IEEE, implementando-o no MATLAB a fim de gerar cenários de comparação, tais como simulação de curto circuito na rede sem geração distribuída e com geração distribuída.

Resultados: A implementação de geradores fotovoltaicos junto às cargas não alterou de maneira significativa o tempo de atuação dos dispositivos dimensionados para o sistema de proteção, mantendo assim a coordenação entre os mesmos. Entretanto, o que se pôde atestar é a influência das gerações para as correntes de curto circuito, sendo a alimentação das faltas em detrimento do suprimento advindo da subestação.

Palavras-Chave: Geração Distribuída, Sistema de Distribuição de Energia Elétrica, Curto Circuito, Sistema de Proteção.

1 INTRODUÇÃO

Um momento importante para o setor elétrico brasileiro se deu logo no início do presente século, mais precisamente no ano de 2001, em que a população vivenciou uma grande crise no consumo de energia elétrica, após uma resistente escassez hídrica. Desse modo, por a água ser a principal fonte de geração de eletricidade, o país precisou conviver com o racionamento de energia. Neste cenário, precisando adequar a carga do Sistema Interligado Nacional – SIN para conseguir suprir a demanda que era maior que a geração, entendeu-se que a energia elétrica não deve ser tratada pela forte dependência de um único recurso (CAMARGO, 2021).

Para além da questão do racionamento, o ocorrido trouxe à tona questões mais profundas, como a sustentabilidade e o cuidado com o meio ambiente, que, por sua vez, foram grandes impulsionadores de avanços tecnológicos no ramo das energias renováveis, como a utilização das energias eólica e solar (CAMARGO, 2021).

A partir disso, reforça-se a praticabilidade de gerações distribuídas (GD), em que se torna possível que a geração de energia se aproxime do local de consumo, pois os próprios consumidores podem gerar sua eletricidade, de maneira limpa, com fontes naturais e renováveis, como o sol (FERREIRA, 2019).

A geração distribuída, ao ser conectada às redes de distribuição e transmissão, traz mudanças nos sistemas de energia. Isso requer atenção devido às contribuições e modificações nos padrões do sistema. Essa forma de suprimento de energia não foi originalmente projetada para tal, então é necessário considerá-la na análise de viabilidade operacional. Essas mudanças afetam o nível de tensão e a corrente de curto-circuito, parâmetros essenciais no projeto de sistemas de proteção da rede. À medida que a penetração da geração distribuída aumenta, podem surgir instabilidades nos elementos de proteção, afetando a confiabilidade do sistema e a segurança dos circuitos (CAMARGO, 2021).

Em um cenário de curto circuito, essa instabilidade na atuação da proteção pode trazer prejuízos à rede elétrica, tendo em vista que um dos principais objetivos do sistema de proteção é evitar que as falhas no sistema danifiquem os equipamentos e materiais. Desse modo, a não atuação da proteção, no tempo adequado, na extinção das correntes de falta afetam a integridade física da rede por prolongar a exposição aos efeitos térmicos e mecânicos sofridos pelos ativos durante o evento, depreciando-os (SILVA, 2020).

Frente a isto, o desenvolvimento deste estudo objetiva analisar o comportamento de alguns elementos constituintes de um sistema de proteção de uma rede de distribuição de energia elétrica, a partir da conexão de fontes de geração solar na mesma, e desse modo, por meio da modelagem desse sistema em uma ferramenta de simulação, compreender o que essa possível alteração no fluxo de potência traz ao funcionamento do sistema de proteção presente neste cenário.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Geração Distribuída na Rede Elétrica

Para conceituar o termo geração distribuída leva-se em consideração a relação entre o local da instalação da geração e consumidor (es). Neste caso, dá-se o nome de Geração Distribuída quando o sistema de produção de energia elétrica está localizado próximo ou na própria unidade consumidora. Além disso, estes podem estar ligados à rede da concessionária local ou operar e gerir-se independente da mesma (MIRANDA, 2021).

Conforme consta no artigo 14º do Decreto Nº 5.163, de 30 de julho de 2004, "considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos [...] conectados diretamente ao sistema elétrico de distribuição do comprador", exceto empreendimentos hidroelétricos com capacidade instalada superior a 30 MW e termoeletrônicos, que apresentam eficiência energética inferior a 75% (BRASIL, 2004). Devido à homologação da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 da ANEEL, a conta de energia elétrica de consumidores que possuem um sistema de geração distribuída, pode conter créditos de energia para realização da compensação de energia. Tal recurso baseia-se no abatimento do saldo de consumo de energia através do seu equivalente injetado na rede por esta unidade geradora (COUTINHO, 2020).

Somado à uma relevante preocupação do mundo atual que é a diminuição do uso de fontes de energia poluentes pela ascensão das fontes de energias renováveis, enfocam nos seguintes tipos de GD: geração eólica, geração por pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e geração fotovoltaica (MIRANDA, 2021). Sobre esta última, seu processo de geração é proveniente da conversão da radiação dos raios solares em corrente contínua por intermédio da tecnologia dos painéis solares (FERREIRA, 2019).

A implementação de unidades de geração distribuída pode se tornar extremamente atraente devido aos benefícios econômicos evidenciados no sistema de distribuição de energia. De acordo com Miranda (2021), a instalação de gerações distribuídas em proximidade com as unidades consumidoras pode resultar na redução dos custos associados às perdas elétricas decorrentes do transporte de energia elétrica. Isso é especialmente benéfico para atender consumidores em regiões remotas, como áreas rurais.

Além disso, uma economia mais significativa pode ser alcançada pelo consumidor final através da alteração do valor da fatura mensal de energia elétrica. Dependendo da relação entre consumo e geração, o consumidor pode pagar apenas o valor mínimo obrigatório, relacionado ao custo de disponibilidade de energia pela concessionária. Essa alteração no valor da fatura é uma vantagem considerável para os consumidores (MIRANDA, 2021).

Com a inserção de GDs no sistema de distribuição, a rede que antes operava de maneira radial – ou seja, uma única fonte alimentando em toda a extensão de um circuito — passa então a receber

contribuições em seu fluxo de corrente, o que pode alterar seu fluxo de potência de unidirecional para bidirecional (TEIXEIRA, 2019).

Além disso, tradicionalmente, a potência demandada pelas cargas flui da subestação para a barra de conexão com o consumidor. No entanto, com a geração de energia em pontos mais próximos das cargas, a necessidade de abastecimento pelo circuito proveniente da subestação é reduzida. Isso resulta em uma diminuição na possibilidade de queda de tensão nas barras à medida que se afastam do barramento da subestação (COUTINHO, 2020).

Diante de fatores como a modificação nos níveis de corrente das linhas, a variação nas perdas elétricas no circuito, o fluxo bidirecional de potência e o aumento da tensão nas barras com a inserção de geração distribuída, é necessário compreender a influência dessas variáveis no sistema e os impactos que elas causam na rede de distribuição. Isso permitirá descrever e identificar métodos de correção adequados para garantir que os sistemas operem de acordo com as normas vigentes (COUTINHO, 2020).

2.2 Curto Circuito

Inevitavelmente, ocorrências acometem os sistemas de distribuição de energia elétrica diariamente, causando alterações no estado normal de operação destes, podendo modificar sua parametrização. Neste cenário, evidenciam-se os curtos circuitos que comumente ocorrem nas redes de potência. Este evento caracteriza-se pela presença de uma resistência elétrica de valor baixo devido ao contato de cabos condutores sob potenciais distintos, de modo que haja uma elevada corrente elétrica. Por conseguinte, uma preocupação nesses eventos é o aumento da temperatura nesses equipamentos (MIRANDA, 2021).

O acontecimento de um curto circuito na rede elétrica pode provocar a descontinuidade do fornecimento de energia aos consumidores alimentados pelo circuito acometido pela falta, e expor os indivíduos da área ao risco de segurança (MIRANDA, 2021). De acordo com a intensidade e gravidade dos curtos circuitos, tem-se as seguintes classificações:

Curto circuito trifásico

Decorre da anulação simultânea das três fases de circuito trifásico na localidade da ocorrência da falta, com ou sem a presença do condutor terra. Neste tipo de defeito, o valor da corrente atinge, comumente, os valores mais elevados e são usados para determinar os cenários mais extremos no sistema de potência, capazes de compor o dimensionamento da capacidade térmica dos condutores e demais ativos da rede, bem como os parâmetros de proteção do sistema (MIRANDA, 2021).

Curto circuito bifásico

Produto do contato direto entre duas fases diferentes do circuito ou de duas fases diferentes com a presença do condutor terra (MIRANDA, 2021).

Curto circuito monofásico

Ocorre quando condutor e terra entram em contato. Os valores de correntes de curto circuito monofásico são fundamentais para a determinação dos valores mínimos das parametrizações do sistema de proteção, além da seção mínima do condutor utilizado no sistema de aterramento da rede (MIRANDA, 2021).

Ademais, quanto ao tempo de permanência do curto circuito na rede tem-se o mesmo permanente que se caracteriza pela permanência a longo prazo no circuito, necessitando da interferência humana para realizar a manutenção no local; e o curto circuito temporário, do qual a falta se extingue no curto prazo e logo cessa sua influência no sistema. Neste último, geralmente, somente a atuação do sistema de proteção automático é suficiente para readequar a operação da rede (MIRANDA, 2021).

A presença de animais e vegetação na rede e nos equipamentos do sistema, a eventualidade de manobras incorretas, a degradação dos materiais, choques acidentais de automóveis nas estruturas nas vias públicas, além de sobretensões causadas por manobras ou por descargas atmosféricas são algumas das principais causas dos curtos circuitos das diferentes naturezas no sistema de distribuição de energia elétrica e seu conhecimento é essencial para saber evitá-los (MIRANDA, 2021).

Quando se considera um sistema de distribuição com a presença de gerações distribuídas, a corrente elétrica de curto circuito pode exceder os níveis parametrizados para os elementos do sistema de proteção. Vale ressaltar que a colaboração para a corrente de falta por uma unidade de geração não é significativa. Todavia, quando agregadas diversas unidades de baixa potência ou algumas de potência elevada podem modificar os níveis de corrente de falta de tal maneira que provoque a descoordenação entre os dispositivos da rede, gerando um cenário inseguro à comunidade local (GIULIANI, 2018).

2.3 Sistema da Proteção da Rede Elétrica

No que tange ao sistema de proteção da rede, certos conceitos são frequentemente explorados, como seletividade, sensibilidade e rapidez. Seletividade é o isolamento apenas da parte do circuito que foi impactado pelo dano; sensibilidade, a habilidade que o sistema deve ter de atender à toda ocorrência que existir na área da rede protegida; e rapidez, ou seja, as faltas devem ser retiradas do sistema o mais rápido possível, minimizando prejuízos (TEIXEIRA, 2019). Desse modo, um sistema de proteção da distribuição de energia, em especial, deve ser capaz de guardar a integridade dos equipamentos e, quando sofre efeito de correntes de curto circuito, os retirar de operação. Para isso, conta com alguns componentes principais como relés, disjuntores, religadores e fusíveis (CARVALHO, 2022). As subseções a seguir abordarão apenas os que serão usados neste artigo.

2.3.1. *Relé*

É o elemento que monitora e avalia as grandezas elétricas em um sistema de energia. Realiza a comparação contínua dos parâmetros do sistema com os valores que lhe foram previamente parametrizados, a fim de sinalizar ao elemento atuador de abertura caso ultrapasse este ajuste, pois pode significar uma anomalia prejudicial ao sistema. Operam de maneira instantânea – enviando um sinal no momento exato que percebe exceder o valor de ajuste – ou temporizada – enviando o sinal após um tempo específico, que também é previamente determinado e que deve ser tão menor quanto maior for a corrente de falta sentida pelo relé (TEIXEIRA, 2019).

A função de sobrecorrente pode ser de fase ou de neutro (terra), de fase quando agem contra curtos circuitos que envolvam mais de uma fase e o de terra para proteção contra curtos fase-terra. Nomeia-se 50/50N para instantâneos e 51/51N para temporizados (CARVALHO, 2022).

2.3.2. *Disjuntor*

É um dispositivo de abertura e fechamento de contatos que promove o seccionamento do circuito por meio da interrupção do caminho da corrente elétrica. Para que haja essa atuação, necessita de um elemento auxiliar como um relé ou um manejo manual de seu mecanismo, pois não é capaz de identificar a ocorrência da falta. Dada a sinalização da sobrecorrente, portanto, o contato móvel se separa do contato fixo. Este momento torna o disjuntor passível de arco elétrico que é extinguido pelo próprio dispositivo (TEIXEIRA, 2019).

2.3.3. *Fusível*

O fusível é um elemento mais simples, que interrompe uma corrente de falta através da queima de seu elo, que abre o circuito, interrompendo o mesmo. Este elo fusível é uma parte metálica que tem seu rompimento quando acometido por uma corrente elevada. Assim, entende-se que seu restabelecimento só se dará manualmente por meio da troca do elo. Pelo seu baixo custo, pode ser uma alternativa à dupla relé e disjuntor (TEIXEIRA, 2019).

Os fusíveis são classificados como “K” que são de atuação rápida; “T” de atuação lenta; e os “H” também são lentos, porém com a vantagem de suportar elevadas correntes por uma fração de tempo. Para cada fusível tem-se os tempos de atuação dado os valores de corrente, gerando as curvas típicas de cada um (TEIXEIRA, 2019).

Com a inserção de geração distribuída, são observadas mudanças no modo operativo do sistema de distribuição de energia. Consoante com o exposto por Steffen (2020), alguns dos impactos provenientes da injeção extra de geração no fluxo convencional de uma rede elétrica são: alterações nas correntes de falta, deficiência da sensibilidade de dispositivos de proteção, chance do fluxo da corrente de falta se tornar bidirecional prejudicando a atuação da proteção, possibilidade de um ilhamento não planejado da geração distribuída, além de falha na coordenação entre os dispositivos de proteção como relés e elos fusíveis.

Em sistemas de distribuição, tais contribuições geram preocupações quanto ao comportamento que fora projetado para a proteção do circuito, tendo em vista que a subestação era, inicialmente, a única fonte de alimentação, logo, havia fluxo unidirecional de corrente sobre os dispositivos. Com as gerações distribuídas, a possibilidade de bidirecionalidade do fluxo e alteração dos valores de curto devem ser consideradas no projeto de proteção, a fim de precaver o circuito de intervenções posteriores resultados de ocorrências que prejudiquem a segurança do sistema (STEFFEN, 2020).

3 METODOLOGIA

A fim de se obter dados que permitissem avaliar os impactos causados na parametrização dos elementos do sistema de proteção pela conexão de gerações distribuídas na rede de distribuição, utilizou-se da interface gráfica *Simulink*, além do ambiente de edição de códigos presentes no *software* MATLAB para a modelagem de um circuito elétrico. Somado a isso, desenvolveu-se o projeto de proteção para este, segundo as metodologias apresentadas por (MIRANDA, 2021), (FILHO, 2011) e (KIDA, 2016), com o intuito de dimensionar os parâmetros de configuração destes dispositivos.

3.1 O Alimentador de Distribuição

O sistema implementado e submetido aos testes é o *13-Node Distribution Test Feeder*, produto do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), um circuito radial alimentado por um trafo de 115 kV/4,16 kV com 5 MVA de potência. Além disso, há um transformador (XFM-1) de 500 kVA, no trecho 633 – 634, que reduz a tensão para 480V. A maior distância entre o nó 650 e os nós terminais é de 1,55 km; a distância média é de 1,24 km. Alguns dados sobre os cabos podem ser observados na Tabela 1:

Tabela 1: Dados do circuito 13 Barras (Fonte: IEEE)

Trecho	Sequência	Fase	Neutro	Tipo
650 – 680	B A C N	556,500 26/7 ASCR	4/0 6/1 ASCR	Aéreo
632 – 633	C A B N	4/0 6/1 ASCR	4/0 6/1 ASCR	Aéreo
632 – 646	C B N	1/0 ASCR	1/0 ASCR	Aéreo
671 – 684	A C N	1/0 ASCR	1/0 ASCR	Aéreo
684 – 652	A N	1/0 AA, TS	1/0 Cu	Subterrâneo
684 – 611	C N	1/0 ASCR	1/0 ASCR	Aéreo
692 – 675	A B C N	250,000 AA, CN	Não possui	Subterrâneo

A potência trifásica consumida do alimentador é de 3,466MW, com potência reativa trifásica de 2,102MVA_r. Os capacitores instalados no alimentador compensam um total de 0,7 MVA_r de potência reativa trifásica. Com base nisso, é correto afirmar que o sistema de 13 barras está relativamente carregado, com uma taxa de carregamento de aproximadamente 75% (VARGAS, 2018). Sua representação simplificada é apresentada na figura 1:

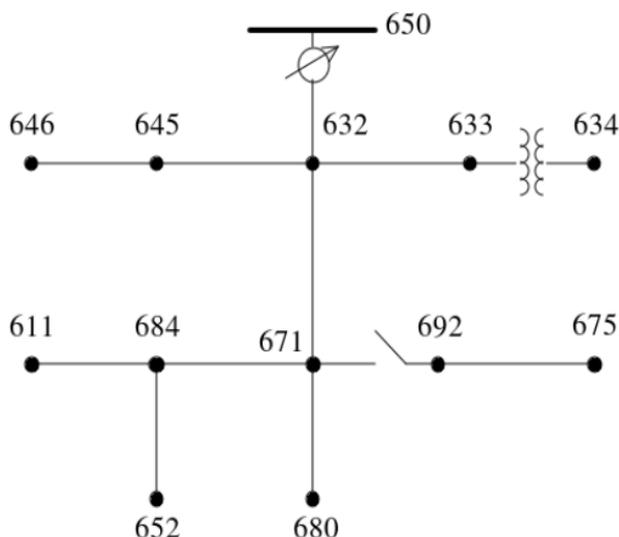


Figura 1: IEEE 13 barras. (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1992)

3.2 Modelagem do Alimentador

Para este modelo, foram realizadas modificações com base no estudo conduzido por Vargas (2018). Considerou-se que o disjuntor localizado no trecho 671-692 permanece fechado.

Para validar o alimentador, uma simulação foi conduzida excluindo o trecho da subestação até o nó 632. Para isso, uma fonte de tensão foi parametrizada com tensão e ângulo em pu com base nos dados de saída do nó 632 ($1,0210 \angle -2,49^\circ$ pu, $1,0420 \angle -121,72^\circ$ pu, $1,0174 \angle 117,83^\circ$ pu), obtidos da documentação do IEEE. Os resultados foram comparados com os valores esperados na documentação. Em relação à tensão, o maior erro relativo em módulo foi de 0,71%, e para o ângulo, foi de -6,56%. Levando em consideração esses resultados e o fato de que a modelagem foi realizada em um *software* diferente do original, considerou-se que o modelo do alimentador apresenta um comportamento aceitável.

Após essa validação, realizou-se o balanceamento das cargas, dividindo a potência total de cada carga pela quantidade de fases às quais estão conectadas. Além disso, foi inserido o trecho 650-632 e o gerador com o transformador original do alimentador. Para validar a simulação, os resultados foram comparados com os obtidos por Vargas (2018). Em relação à tensão, o maior erro relativo em módulo foi de 0,73%, e para o ângulo, -9,33%. Quanto à corrente, o maior erro relativo em módulo e

ângulo foi de $-3,73\%$ e $-6,58\%$, respectivamente. A ilustração do modelo balanceado realizado no *Simulink* pode ser observada na figura 2:

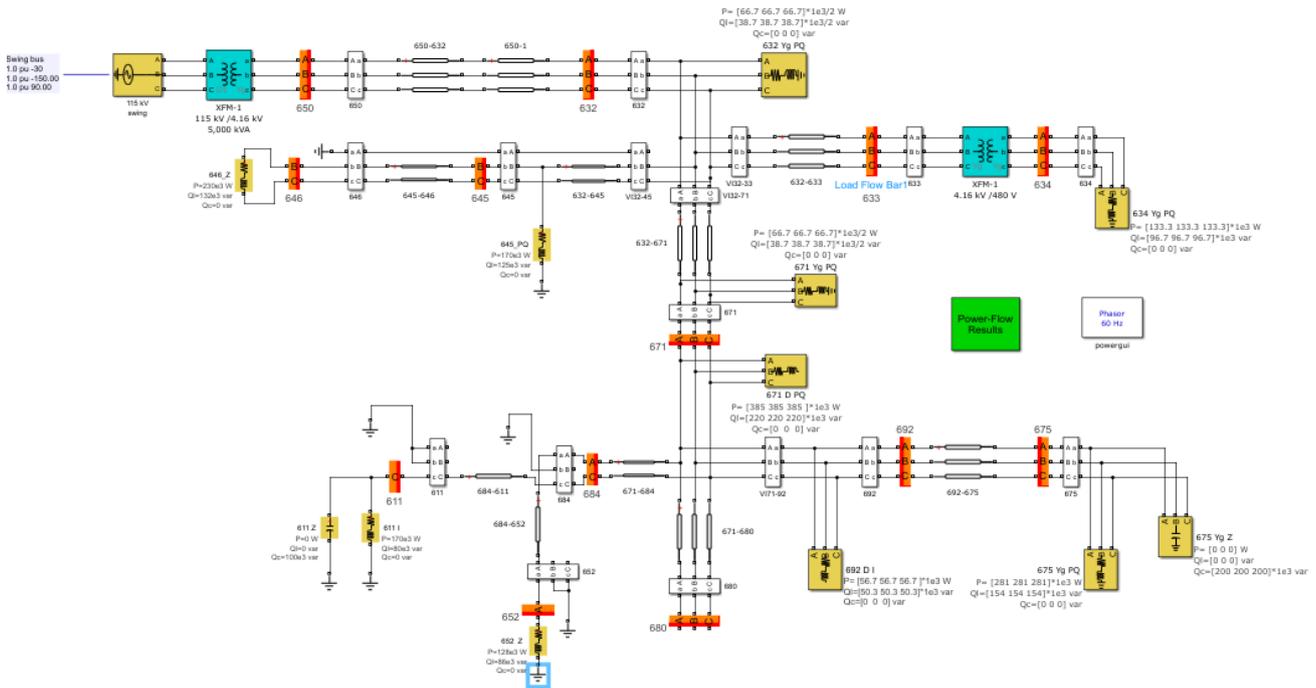


Figura 2: Modelo do *13-Node Distribution Test Feeder* implementado no *Simulink* (Elaborado pelos autores)

3.3 As Faltas

Para aplicação de faltas no alimentador, foi empregado o bloco *Three-Phase Fault* da biblioteca *Simscape Power Systems* também do *Simulink*. Esse bloco oferece a capacidade de simular diversas formas de faltas, permitindo a seleção dos parâmetros para a Fase A, Fase B, Fase C e *Ground*.

Esse bloco também permite a modificação de alguns parâmetros, como o tempo de comutação que determina quando o evento da falta ocorrerá. Além disso, é possível ajustar a resistência interna das faltas de cada fase (R_{on}), cujo valor padrão é 0,001 ohm. A resistência de aterramento (R_g), que representa a resistência de *Ground*, é definida como 0,01 ohm. A resistência de amortecimento (R_s), com um valor padrão de $1 * 10^6$ ohms e a capacitância de amortecimento (C_s) definida como infinito (*inf*), também podem ser ajustadas no bloco.

3.4 A Geração Fotovoltaica

Tendo em vista que o presente projeto visa analisar o comportamento do sistema de proteção da rede de distribuição com a conexão de geração distribuída fotovoltaica, foi necessário utilizar um modelo de sistema fotovoltaico para fins de simulação. O *power PV array 3500 W* é um sistema fotovoltaico completo disponível na biblioteca do *Simulink*, no entanto, modelos completos podem

tornar as simulações mais demoradas. Com isso, Mendes (2018) desenvolveu um modelo simplificado que se aproxima de forma satisfatória da operação de um sistema fotovoltaico em regime permanente.

Ao comparar esse modelo simplificado com o sistema fotovoltaico completo do *Simulink*, observou-se que o erro médio de variação da tensão no ponto de inserção não excedeu 0,52%, enquanto a potência reativa de saída apresentou erros de até 6,28%. Essa diferença pode ser explicada pela negligência das perdas internas no modelo simplificado. Conseqüentemente, o modelo simplificado foi considerado eficiente (MENDES, 2018).

Além disso, quando comparados os tempos de simulação, o modelo simplificado demonstrou ser mais vantajoso, sendo de 95 a 200 vezes mais rápido do que o *power PV array 3500W*. Portanto, é o mais recomendado para simulações com alta penetração de geração fotovoltaica, que é o objetivo principal deste projeto (MENDES, 2018).

3.5 Simulações

O objetivo das simulações realizadas é analisar a variação da magnitude das correntes que atravessam os relés e fusíveis instalados no alimentador durante situações de falta, a fim de investigar os impactos no sistema de proteção proposto.

Para todas as simulações os valores de potência das cargas foram os fornecidos pelo documento do IEEE. Inicialmente, o estudo envolveu a simulação do alimentador em um cenário isento de faltas e geração distribuída. Em seguida, cada falta foi introduzida individualmente em cargas específicas, e simulações foram realizadas para abranger todas as possíveis ocorrências de falhas, incluindo faltas monofásicas, bifásicas e trifásicas, em cada carga. Cabe ressaltar que não foram simuladas múltiplas faltas simultaneamente. Após essa etapa, os procedimentos anteriores foram repetidos considerando a presença da geração distribuída. Foram consideradas todas as combinações possíveis de disponibilidade dos geradores fotovoltaicos, abrangendo cenários que vão desde a desconexão de todos os geradores até a conexão de todos eles. Essa abordagem permitiu uma análise abrangente do sistema em diferentes configurações, levando em consideração a interação entre as faltas e a geração distribuída.

Para cada uma das situações mencionadas acima, foram armazenados em planilhas Excel os módulos e ângulos das correntes e tensões nos treze medidores posicionados ao longo do alimentador. Com os dados obtidos, foi possível dimensionar os fusíveis e relés de proteção, bem como interpretar o comportamento do circuito com base nas análises dos dados.

3.6 Sistema de Proteção do circuito IEEE 13 Barras

3.6.1 Disposição no alimentador

A Figura 3 apresenta os locais de instalação dos dispositivos de proteção. Tal disposição visa proteger todo o alimentador além de obter mais possibilidades de interação entre os elementos. Para isso, são colocados relés de sobrecorrente na saída da subestação (trecho 650-632), mais adiante, mas ainda no tronco principal (trecho 632-671), e no ramal inferior direito (trecho 671-692). Para os demais ramos, trecho 632-645, 671-687, 684-652 e 684-611, foram adicionados fusíveis.

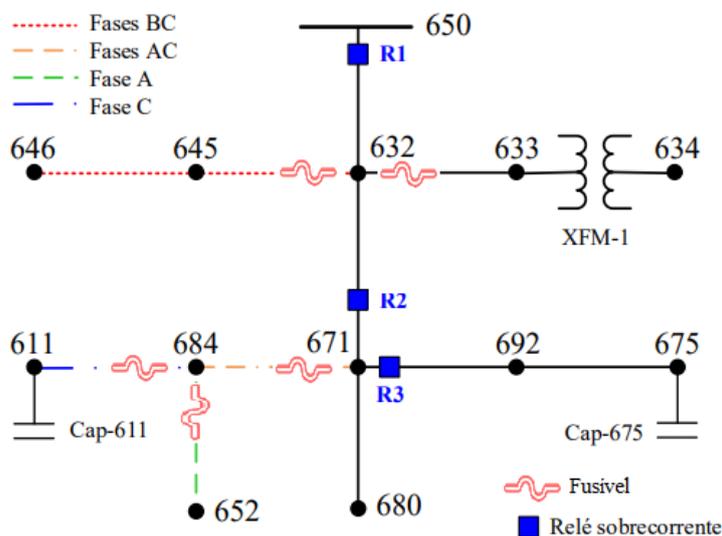


Figura 3: Proposta de projeto do sistema de proteção. (Adaptado de Vargas, 2018)

3.6.2 Dimensionamentos

3.6.2.1 Elos fusíveis

Segundo Carvalho (2022), a escolha dos elos fusíveis para o sistema de distribuição baseia-se na corrente nominal que deve ser maior ou igual a 1,5 vezes o valor da corrente de carga máxima. Além disso, deve-se garantir que a capacidade nominal do elo será, no máximo, um quarto da corrente de curto circuito fase-terra no fim do trecho protegido por ele. Para cada fusível, portanto, desenvolveu-se os seguintes cálculos:

$$1,5 * I_{nom} \leq I_{nom_elo} \leq 0,25 * I_{cc1f_min} \quad (1)$$

Os fusíveis escolhidos foram do tipo K, que são elementos de atuação rápida, utilizados comumente na proteção de ramos de alimentadores (LEME, 2013).

3.6.2.2 Relés de Sobrecorrente

Os disjuntores não possuem seu próprio mecanismo de *trip*, logo, precisam ser associados à relés para seu controle lógico (VARGAS, 2018). Os relés, por sua vez, dependem da utilização de um Transformador de Corrente (TC) que faz a conversão das grandezas dos valores medidos

(MAMEDE, 2011). Para o dimensionamento do TC de cada relé disposto no sistema de proteção proposto, definiu-se a corrente nominal superior à corrente de carga máxima:

$$I_{nom_TC} > I_{nom} \quad (2)$$

A partir desse valor, padroniza-se a I_{nom_TC} com os valores tabelados de relação de transformação de correntes (RTC) dos TCs. Essas informações estão presentes em Mamede (2021, p. 106). Além disso, outro parâmetro que deve ser atendido é a corrente de pico máxima do TC, calculada por 20 vezes o valor da corrente nominal, definida na equação (3). Essa corrente de pico deve ser maior que a corrente de curto circuito trifásica máxima do trecho:

$$I_{pico_TC} > I_{CC3f_max} \quad (3)$$

$$I_{pico_TC} = 20 * I_{nom_TC} \quad (4)$$

No que diz respeito ao relé de sobrecorrente – que é o escopo do presente estudo – este é dividido em duas funções da tabela ANSI: a 50/50N que são as unidades instantâneas de fase e neutro respectivamente, e 51/51N que são as unidades temporizadas de fase e neutro.

- Para a unidade temporizada de fase – 51, a corrente mínima de atuação deve ser superior à corrente nominal de carga multiplicada por um fator de sobrecarga que, neste estudo, será definido como 20%. Já a corrente máxima de atuação deve ser menor do que a corrente de curto circuito bifásica no trecho:

$$I_{nom} * 1,20 < I_{51} < I_{CC2f_max} \quad (5)$$

- A unidade instantânea de fase – 50 deve ser dimensionada para atuar próximo de 80% da região para o curto circuito trifásico:

$$I_{50} \geq 0,8 * I_{CC3f_max} \quad (6)$$

- Para a unidade temporizada de neutro – 51N, a corrente mínima de atuação deve ser maior que a corrente nominal de carga multiplicada por um fator de desequilíbrio que, neste estudo, será definido como 10%. Já a corrente máxima de atuação deve ser menor que a corrente de curto circuito monofásica no trecho:

$$I_{nom} * 0,1 < I_{51N} < I_{CC1f_min} \quad (7)$$

- A unidade instantânea de neutro – 50N, deve ser dimensionada para atuar próximo de 80% da região para o curto circuito monofásico:

$$I_{50} \geq 0,8 * I_{CC1f_max} \quad (8)$$

Todos os valores são referentes ao primário dos TCs.

3.6.3 Coordenação entre os dispositivos

Entre elos fusíveis

Para o correto funcionamento desse sistema, devido a existência de fusíveis em série, o elo à montante deve coordenar com o elo à jusante de modo que haja seletividade entre eles. A escolha dos fusíveis protetores e protegidos deve ser tal que o protegido atue após o protetor, baseado na corrente de curto circuito. Os valores nominais desses elementos podem ser observados na tabela de coordenação entre elos fusíveis tipo K, retirada de Mamede (2011, p. 557).

Entre elo fusível e relé

A coordenação entre fusível e relé segue a regra geral da proteção: o dispositivo mais à jusante, em uma situação de falta, deve atuar primeiro que o dispositivo à montante. Desse modo, a curva do relé deve estar acima da curva do elo fusível. Igualmente ao adotado em Carvalho (2022), este estudo adotará uma defasagem de 0,2 segundos entre o tempo de atuação do relé e fusível.

Entre relé e relé

Para o relé de retaguarda e um principal, as curvas de tempo deste último deverão estar, no mínimo, 0,4 segundos acima do primeiro (CARVALHO, 2022). Nos relés de tempo inverso, cujo tempo de atuação é inversamente proporcional à intensidade da corrente monitorada, existe uma classificação, segundo a norma 255-4 do *International Electrotechnical Commission* (IEC) e a Norma Brasileira (NBR) 7099, das curvas definidas pelas suas inclinações. Nessas curvas, o tempo de atuação do relé, em segundos, é determinado pela equação abaixo:

$$t = \frac{TMS * b}{\left(\frac{I_{cc}}{I_{tape}}\right)^a - 1} \quad (9)$$

sendo TMS – ajuste de tempo; I_{cc} corrente de curto circuito monitorada; I_{tape} corrente de ajuste da unidade do relé; a e b constantes relacionadas com o tipo de curva (KIDA, 2016).

Para obter o TMS referente ao tempo de atuação de cada relé, utilizou-se as correntes de curto circuito bifásicas (51 de fase) e monofásicas (51 de neutro) no dispositivo, resultantes da ocorrência de curto circuito no seu respectivo trecho. Para as unidades instantâneas de fase e neutro (50/50N) ateu-se ao tempo de atuação dimensionado, visto que seu comportamento é linear, conforme figura 4. As variáveis a e b são 0,02 e 0,14 respectivamente, de acordo com a curva normalmente inversa que foi a admitida para este estudo.

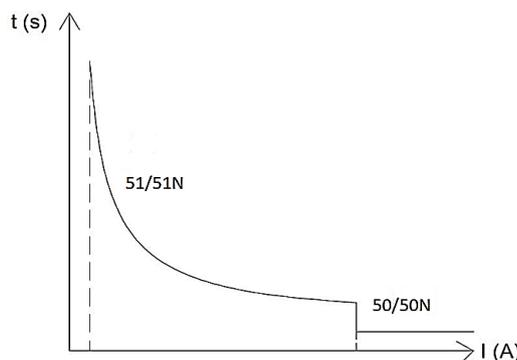


Figura 4: Curva do relé de sobrecorrente (Adaptado de MIRANDA, 2021)

Assim, o projeto de coordenação é desenvolvido com base na condição de seletividade entre os relés em que uma falta no ramal do elemento mais a jusante (relé R3) força que a sequência de atuação seja $R3 > R2 > R1$.

4. RESULTADOS

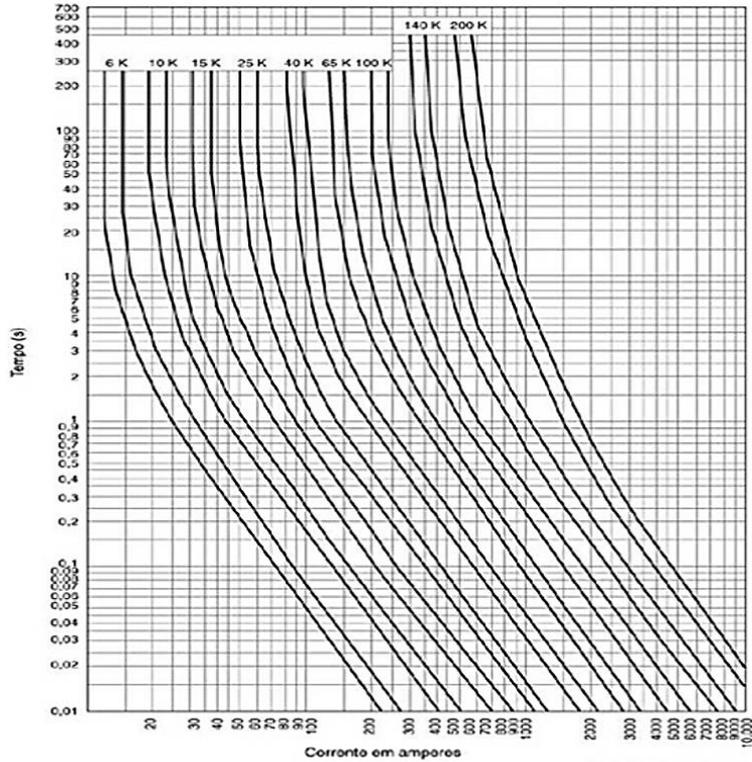
Para o dimensionamento dos elos fusíveis presentes no sistema de proteção desenvolvido, utilizou-se os dados de correntes de carga nominal e de curto circuito monofásico conforme descrito em (1). Na Tabela 2, são mostrados os dimensionamentos dos fusíveis. Nota-se que o fusível do trecho 671 – 684, por ser o protegido dentre os presentes nos trechos 684 – 611 e 684 – 652, foi escolhido de modo que tivesse seu tempo de atuação superior a esses. Para o trecho 671 – 692, como a corrente inferior ficou acima do maior valor de elo fusível tipo K (200K), então se optou por substituir por um relé (como demonstrado na figura 3).

Tabela 2: Dimensionamento dos elos fusíveis. (Elaborada pelos autores)

TRECHO	Corrente Mínima (A)	Corrente Máxima (A)	Tipo	t_{min} (s)	t_{max} (s)
684 – 611	102,47	573,03	140K	0,12	0,18
684 – 652	89,58	547,69	100K	0,045	0,07
671 – 684	107,47	638,86	200K	0,27	0,4
671 – 692	206,99	724,08	NA	NA	NA
632 - 645	199,39	1025,50	200K	0,095	0,15
632 - 633	98,33	1088,40	140K	0,03	0,048

Os valores de t_{min} e t_{max} de fusão presentes na tabela 2 são obtidos através da curva do fusível tipo K para a corrente máxima que passa no trecho:

Ainda



sobre a etapa de

Figura 5: Curva fusível tipo K (MAMEDE, 2011)

dimensionamentos, as Tabelas 3 e 4 apresentam os valores obtidos para as configurações dos TCs e seus respectivos relés. Para esses resultados foram utilizadas as correntes de curto circuito das simulações, esses valores foram implementados nas equações discutidas na seção 3.6.2.2.

Tabela 3: Dimensionamento dos TCs utilizados pelos relés (Elaborada pelos autores)

Relé correspondente	I_{nom_TC}	I_{pico_TC}	RTC
R1	600	12000	120
R2	400	8000	80
R3	300	6000	60

Tabela 4: Dimensionamento dos relés (Elaborada pelos autores)

Relé	Tipo	Corrente de tape (A)	Corrente máxima (A)
R1	51	840	10200
	51N	84	5925,6
	50	8734,8	-
	50N	4740,4	-
R2	51	480	5125,6
	51N	48	2986,4
	50	4357,6	-
	50N	2389,6	-
R3	51	180	5069,4
	51N	30	2986,8
	50	4357,2	-
	50N	2317,2	-

Em posse das parametrizações dos relés e das correntes de curto circuito de cada trecho, foi possível encontrar a característica intrínseca da curva de atuação de cada relé, variável definida como TMS na equação (9). Assim partiu-se da premissa que o TMS de R3 é 0,1 e encontrou-se o tempo de 0,2027 s, para R2 acrescenta-se 0,4 s e para R1 0,8s em relação ao tempo de R3.

Com os TMS, definiu-se os tempos de atuação das unidades temporizadas de fase para os cenários sem e com GD na rede. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos a partir de simulações de falta bifásica no trecho 671-692 e da equação (9), as simulações foram feitas para o caso com todas cargas e todas as GDs conectadas e com os valores de potência nominal. Dois pontos interessantes são observados nesses dados: o valor da corrente de curto circuito diminui até a barra do R3 porque quem alimenta a falta é a subestação. Já no caso de GD, a variação da corrente é praticamente nula, pois quem contribui para a corrente de curto é a GD mais próxima ao R3. Além disso, tem-se que a potência de geração inserida nesse circuito não foi capaz de alterar o tempo de atuação dos relés de maneira significativa – diferenças somente nas casas decimais.

Tabela 5: Quadro comparativo do tempo de atuação do relé para curto circuito bifásico com e sem geração distribuída na rede. (Elaborada pelos autores)

	Relé	I_{cc} (A)	t (s)	TMS
Sem a presença de GD	R3	5069,245	0,2027	0,10
	R2	5125,858	0,6032	0,209
	R1	5165,651	1,3888	0,367
Com a presença de GD	R3	5100,620	0,2023	0,10
	R2	5157,523	0,6016	0,209
	R1	5107,71	1,3976	0,367

Graficamente, as curvas de coordenação dos relés dimensionados em suas unidades temporizadas de fase apresentam-se na figura 6.

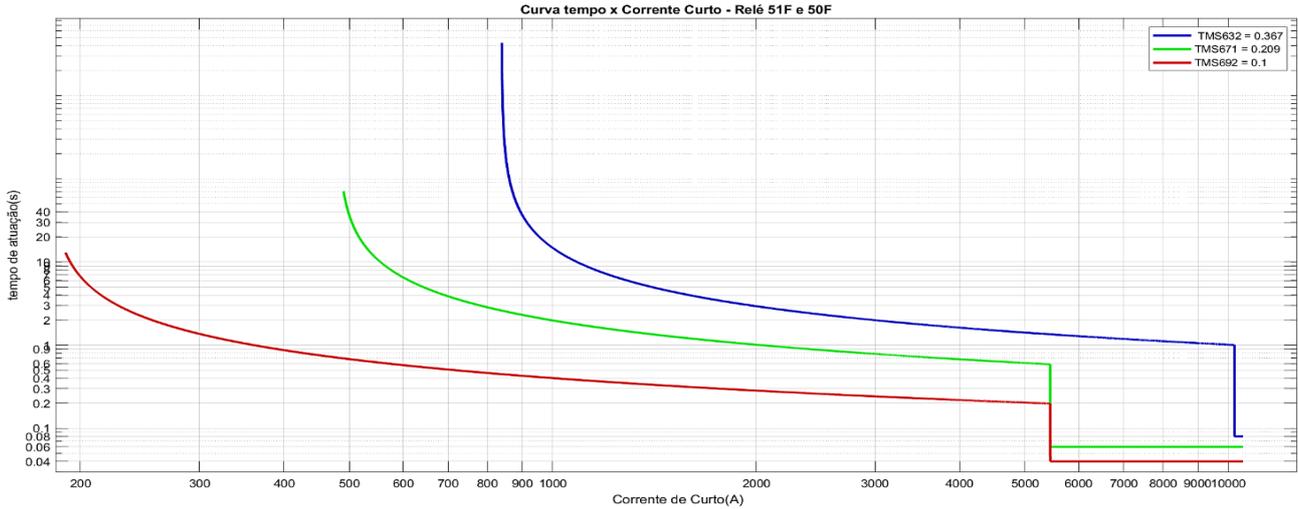


Figura 6: Curva tempo de atuação x corrente no primário dos relés 51F e 50F. (Elaborada pelos autores)

Com o objetivo de consolidar o projeto de coordenação entre todos os elementos de proteção utilizados no circuito, observa-se na Tabela 6 que, neste sistema, os relés também estão corretamente com os tempos de atuação defasados em, pelo menos, 0,2 segundos para o tempo de atuação do fusível, conforme definido na seção 3.6.3. Somado a isso, entende-se que a variação de tempo dos fusíveis com e sem GD é mínima, isso é resultado da pequena variação nas correntes de curto circuito bifásico com a inserção das GDs.

Tabela 6: Quadro comparativo do tempo de atuação dos relés 51 e dos fusíveis com e sem geração distribuída na rede (Elaborada pelos autores)

Trecho da falta	SEM GD		COM GD	
	$t_{atuação_rele}$ (s)	$t_{atuação_fusivel}$ (s)	$t_{atuação_rele}$ (s)	$t_{atuação_fusivel}$ (s)
671 - 684	0,682	0,170	0,686	0,130
632 - 645	1,306	0,070	1,333	0,060
632 - 633	1,176	0,020	1,284	0,015

Para determinar os tempos de atuação das unidades temporizadas de neutro, o tempo de R3 foi calculado utilizando a equação (9), considerando um TMS de 0,1. O resultado encontrado foi um tempo de 0,1463 s. Para R2, levando em conta a necessidade de coordenação com o relé R3 e o fusível do trecho 671-684, foi encontrado um TMS que atendeu ambas as situações, resultando em um tempo de 0,584 s. Já para R1, somou-se 0,4s ao tempo de R2. Com esses valores, foi possível dimensionar os tempos de atuação das unidades temporizadas de neutro no cenário sem geração distribuída. A

Tabela 7 apresenta os resultados obtidos a partir de simulações de falta fase-terra no trecho 671-692 e da equação (9), onde o comportamento do relé foi semelhante à sua unidade de faltas entre fases.

Tabela 7: Quadro comparativo do tempo de atuação do relé para curto circuito monofásico com e sem geração distribuída na rede. (Elaborada pelos autores)

	Relé	I_{cc} (A)	$t_{atuação}$ (s)	TMS
Sem a presença de GD	R3	2896,331	0,1463	0,10
	R2	2986,797	0,5852	0,36
	R1	3074,216	1,1627	0,62
Com a presença de GD	R3	2941,163	0,1458	0,10
	R2	3032,63	0,5830	0,36
	R1	2986,117	1,1725	0,62

Graficamente, as curvas de coordenação em suas unidades temporizadas e instantâneas de neutro apresentam-se na figura 7:

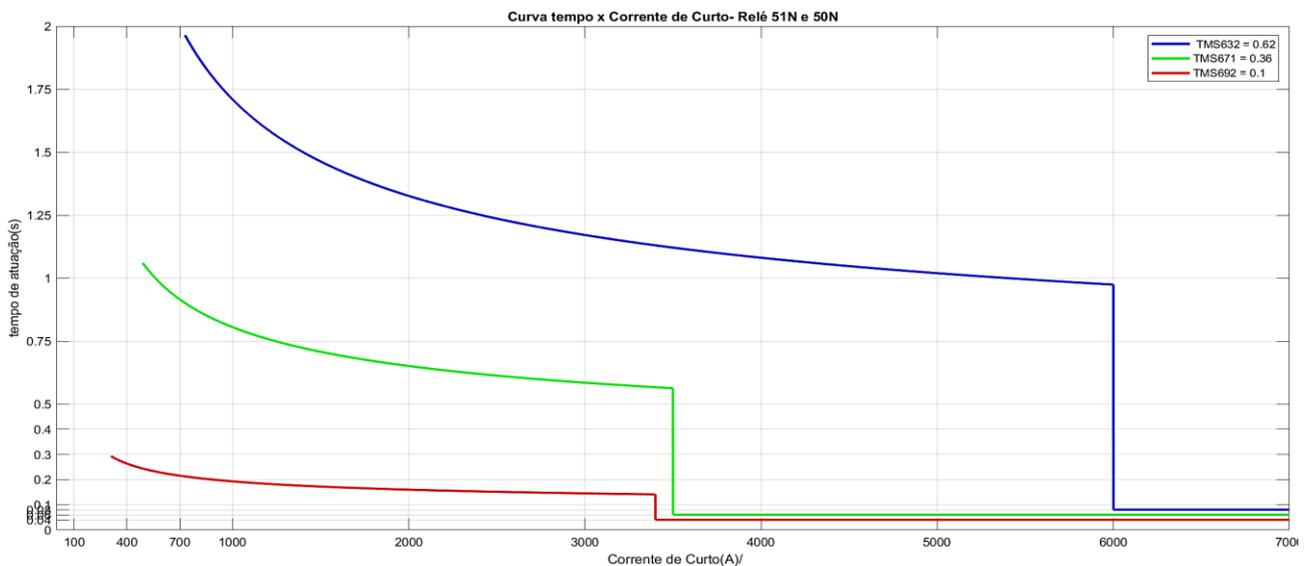


Figura 7: Curva tempo de atuação x corrente no primário do TC dos relés 51N e 50N. (Elaborada pelos autores)

A mesma conferência dos relés com os fusíveis é realizada para a unidade de neutro e, obteve-se que, para o caso sem GD, o tempo de coordenação do fusível do trecho 671-684 com o relé no trecho 671-632 não atendeu à exigência de defasagem de 0,2 segundos. Portanto, foi necessário o ajuste do TMS do relé 2 de 0,34 para 0,36, assim o tempo de atuação do relé foi para 0,6 segundos atendendo ao critério mínimo de coordenação, os resultados estão na Tabela 8.

Tabela 8: Quadro comparativo do tempo de atuação dos relés 51N e dos fusíveis com e sem geração distribuída na rede (Elaborada pelos autores)

Falta no trecho	SEM GD		COM GD	
	$t_{atuação_rele}$ (s)	$t_{atuação_fusivel}$ (s)	$t_{atuação_rele}$ (s)	$t_{atuação_fusivel}$ (s)
671 - 684	0,600	0,400	0,686	0,130
632 - 645	1,060	0,150	1,333	0,060
632 - 633	1,043	0,047	1,284	0,033

5. CONCLUSÃO

A geração distribuída é um assunto atual e que tem ganhado certa notoriedade nos últimos anos por meio de incentivos governamentais e a evolução das tecnologias, melhorando seu custo benefício aos consumidores ao longo dos anos. Entretanto, apesar de ser uma ótima alternativa de geração para o sistema de distribuição, faz-se necessária atenção aos seus impactos no comportamento do fluxo de potência e do nível da qualidade da energia elétrica. Nesse sentido, destaca-se a influência nas correntes de curto circuito que fundamentam o sistema de proteção da rede.

Este estudo apresentou resultados de simulações do circuito 13 barras do IEEE com a inserção de módulos fotovoltaicos juntos às cargas, demonstrando o impacto da geração distribuída no aumento da corrente de curto circuito em trechos próximos ao ponto de falta, bem como a diminuição da corrente em trechos mais distantes da falta e próximos a subestação. Isso evidencia a influência da geração distribuída, uma vez que a subestação não precisa mais fornecer tanta potência às cargas. Os tempos de atuação dos dispositivos apresentaram variações em seus valores decorrentes dessas correntes de falta mais elevadas, mas não o suficiente para descoordenar os elementos. Tais variações de corrente de curto também puderam ser comprovadas por meio dos resultados expurgados no *script* das simulações, mas que não couberam ser expostos neste artigo dado o grande volume de dados.

A utilização da equação de tempo normatizado pelo IEC para relés, que envolve o TMS da curva e a corrente de curto circuito monitorada, somado à ocorrência da falta no trecho mais a jusante de todos os dispositivos, mostrou-se eficaz para determinar o projeto de coordenação entre relés e fusíveis. Este cenário de atuação da proteção foi capaz de exprimir o comportamento do fluxo de potência unidirecional, além do fluxo de potência acrescido de fontes extras de geração.

Como sugestões de aprimoramentos futuros para este estudo, tem-se a modificação das potências de geração para valores mais elevados que podem causar maior influência nos curtos circuitos, conseqüentemente nos tempos de atuação da proteção. Outro ponto é a escolha de outro circuito de modo a apresentar mais precisão com o sistema de distribuição real. Além disso, a geração fotovoltaica não possui elementos inerciais, como fontes indutivas de geração, o que atribui para o rápido decaimento da corrente de curto. Utilizar, portanto, a modelagem de geradores síncronos, como o sistema de uma PCH, como geração distribuída.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, Guilherme Rezende Pereira; SOARES, Renan Moreira; Oliveira, Marcelo Escobar de; BORGES, Lucas da Mata Santana; MARQUES, Leonardo Garcia. **Análise de Fatores Socioeconômicos em Relação ao Crescimento da Geração Distribuída no Brasil**. SBSE 2022, Santa Maria, 2022.

CARVALHO, Daniel de Faria e Cunha. **Simulação de curto-circuito com geração distribuída e dimensionamento e ajuste de proteção utilizando o OPENDSS**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

COUTINHO, Matheus Dimanski. **Análise dos impactos da geração distribuída fotovoltaica na rede de distribuição de média tensão da UFES**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

FERREIRA, Miriam Geisiane Trierveiler. **Análise do comportamento dos sistemas de proteção da rede elétrica de distribuição diante de grande demanda de conexões de geração distribuída**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2019.

GIULIANI, Eduardo. **Análise da influência da geração distribuída na proteção de sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, 2018.

KIDA, Alexandre Akira. **Metodologias para a coordenação de relés de sobre corrente utilizando técnicas de otimização matemática**. Orientador: Luis Alfonso Gallego Pareja. 2016. 192 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

LEME, Daniel Maciel; CUNHA, Marcio Aparecido da; PITOCCO, Tadeu Armando; RIZARDI, Wellington Cornetto. **Sistema de proteção de rede de distribuição de energia elétrica**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2013.

MAMEDE, Daniel Ribeiro; FILHO, João Mamede. **Proteção do Sistemas Elétricos de Potência**. Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, 2011.

MATHWORKS. Three-Phase Fault. 2023. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/threephasefault.html> >. Acesso em: 01 de Junho de 2023.

MENDES, Mariana Altoé. **Análise dos impactos da alta inserção de geração distribuída fotovoltaica na proteção de sobrecorrente temporizada.** Orientador: Oureste Elias Batista. 2018. 92 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

MIRANDA, Bruna Gelmini; ALVES, Leonardo Ramos da Silva. **Análise de curto-circuito e sistema de proteção em uma rede com geração distribuída utilizando Simulink.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

REZENDE, Bruno. **Plantas de geração distribuída e seus requisitos de proteção para acesso à rede.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SILVA, Hélio Rubens Jacob. **Análise de uma nova proposta para identificação de faltas de alta impedância em redes aéreas de distribuição.** Orientador: José Rubens Macedo Junior, Dr. Dissertação. (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Uberlândia, 2020.

STEFFEN, Roberto Vinícius. **Estudo sobre o crescimento da geração distribuída com uso de energias renováveis e seus impactos nos níveis de curto-circuito na rede de distribuição.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2019.

TEIXEIRA, Gabriel Augusto Naves. **Análise da influência de geração distribuída no desempenho de relés de proteção de alimentadores.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

VARGAS, Murilo Cobe. **Análise dos impactos das faltas na proteção sobrecorrente em redes de distribuição com elevada penetração de geração distribuída fotovoltaica.** Orientador: Oureste Elias Batista. 2018. 272 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DE FALHAS PARA GARANTIR A
PRECISÃO DE UMA MANDRILHADORA CNC**



Revista UCL

ANÁLISE DE FALHAS PARA GARANTIR A PRECISÃO DE UMA MANDRILHADORA CNC

FAULT ANALYSIS TO ENSURE THE PRECISION OF A CNC BORING MACHINE

Alexandre Pereira Chiste

Graduando

Engenharia Mecânica

alexandrechiste@ucl.br

Kelvin Cristien de Oliveira Barbosa

Orientador

Faculdade UCL

kelvincristien@ucl.br

RESUMO

Objetivo: Avaliar os erros de geometria na interpolação de furos causados por distúrbios no sistema e identificar as principais falhas que possam alterar sua precisão geométrica, a fim de, amenizar ou extinguir os problemas, apresentando um plano de manutenção para aumentar a confiabilidade de uma mandrilhadora CNC (*Comando Numérico Computadorizado*).

Método: Realização de testes através da interpolação helicoidal de furos e utilização de uma abordagem quantitativa para avaliar o estado da máquina. Fazer uso de uma abordagem qualitativa para identificar quais são os componentes mecânicos que garantem a precisão da máquina CNC e através do histórico de manutenção, a utilização de uma abordagem qualitativa e quantitativa para identificar os problemas mais frequentes que afetam a precisão no processo de fabricação de peças. A partir desses estudos a elaboração de uma FTA (*Fault Tree Analysis*) e de um plano de manutenção.

Resultado: Mostrar através do estudo as consequências causadas por falhas em componentes mecânicos de uma mandrilhadora CNC e que a manutenção dos mesmos podem garantir a melhoria do processo de usinagem e a qualidade do serviço.

Conclusão: Ao fim deste estudo, é possível comprovar os ganhos obtidos por uma análise detalhada de efeitos indesejados em componentes mecânicos da mandrilhadora CNC, assim é possível antecipar as principais avarias, aumentando a confiabilidade no processo de usinagem.

Palavras-Chave: Máquinas CNC. Usinagem. Confiabilidade. Distúrbios no sistema. Erros de geometria

ABSTRACT

Objective: Evaluate geometry errors in the interpolation of holes caused by disturbances in the system and identify the main failures that may alter its geometric precision, in order to alleviate or extinguish the problems, presenting a maintenance plan to increase the reliability of a CNC boring machine (Computer Numerical Control).

Method: Carrying out tests through helical interpolation of holes and using a quantitative approach to assess the state of the machine. Make use of a qualitative approach to identify which are the mechanical components that guarantee the precision of the CNC machine and through the maintenance history, the use of a qualitative and quantitative approach to identify the most frequent problems that affect the precision in the manufacturing process of parts. From these studies, the elaboration of a FTA (Fault Tree Analysis) and a maintenance plan.

Result: Show through the study the consequences caused by failures in mechanical components of a CNC boring machine and that their maintenance can guarantee the improvement of the machining process and the quality of the service.

Conclusions: At the end of this study, it is possible to prove the gains obtained by a detailed analysis of unwanted effects on mechanical components of the CNC boring machine, so it is possible to anticipate the main failures, increasing the reliability in the machining process.

KEYWORDS: CNC machines. Machining. Reliability. System disturbances. Geometry errors

1. INTRODUÇÃO

A usinagem CNC é um dos processos mais importantes na fabricação de peças e sempre precisa ser aprimorado. Enquanto isso, o conhecimento dos fatores que afetam os erros de geometria durante o processo de fresamento justificam um grande investimento na compra de máquinas de alta precisão (FERREIRA, 2013).

As mandrilhadoras CNC são de grande importância para o processo de usinagem pesada, onde requer geometrias mais complexas e com maiores precisões. Sua confiabilidade vem de um conjunto de componentes robustos e livre de folgas indesejadas, essa precisão é fundamental para garantir que as peças produzidas sejam exatas em suas dimensões e características. Isso é um fator chave para a satisfação dos clientes e a competitividade no mercado.

Para um bom desempenho de uma máquina CNC, além de precisa ela deve ter uma boa repetibilidade, que é a capacidade de manter sempre o mesmo resultado de saída quando se dá sempre o mesmo resultado de entrada. Para preservar tamanha eficiência a máquina requer de maiores cuidados. O defeito em um único componente é o suficiente para que a máquina perca sua confiabilidade e resulte em geometrias distorcidas que impactaram diretamente na qualidade do produto fornecido, no tempo de fabricação, além de sobrecarregar o operador.

A Manutenção pode ser implementada no controle e redução de falhas, a grande quantidade de movimentos feitos por uma máquina CNC com o passar do tempo gera desgaste e folgas em sua estrutura e componentes, essas falhas geram distúrbios em seu sistema. De acordo com Marcovicz (2018), as empresas modernas sempre devem adquirir uma política de manutenção adequada, porque delas dependem a disponibilidade e preservação efetiva dos bens, isso representa um aumento significativo na vida útil dos equipamentos e instalações.

Este trabalho realiza o estudo dos efeitos causados por falhas em componentes mecânicos que garantem movimentos precisos de uma mandrilhadora CNC, utilizada na fabricação de peças de grande porte, visando construir um plano de manutenção preventiva e preditiva para garantir a precisão da máquina.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A precisão no processo de usinagem com máquinas CNC

A DIN 8580 (1985), define o processo de usinagem com operação que confere à peça: forma, dimensões ou acabamento superficial, ou ainda uma combinação destes, através da remoção de material sob a forma de cavaco.

Precisão significa "pequena variação", ou seja, a capacidade de obter sempre o mesmo resultado quando as repetições são introduzidas em um sistema. Portanto, dizer que um sistema é preciso não é dizer que ele está sempre correto, mas apenas que sempre se comporta da mesma forma quando submetido às mesmas condições. (ALBERTAZZI, 2008).

Segundo Machado (1986), uma máquina-ferramenta com Comando Numérico Computadorizado é uma máquina CNC que utiliza de uma sequência de códigos alfanuméricos para realizar um trabalho pré-programado, utilizando sistemas de coordenadas cartesianas para o desenvolvimento de um perfil geométrico arbitrário.

O processo de usinagem teve uma enorme evolução devido à tecnologia das máquinas de alta precisão, como é o caso das máquinas CNC, no qual sua precisão pode chegar a milésimos de milímetros (COPPINI, DINIZ E MARCONDES, 2001). As demandas do mercado são cada vez maiores em busca de objetos mais funcionais e com melhor estética, juntamente com o desenvolvimento de métodos de manipulação de superfícies. (XAVIER, 2020).

De acordo com Taniguchi (1974 e 1992), pode-se estimar que já nos primeiros anos do século 21 a precisão de fabricação possível através da usinagem de ultraprecisão atingirá a marca de 1 nm, conforme a Figura 1.

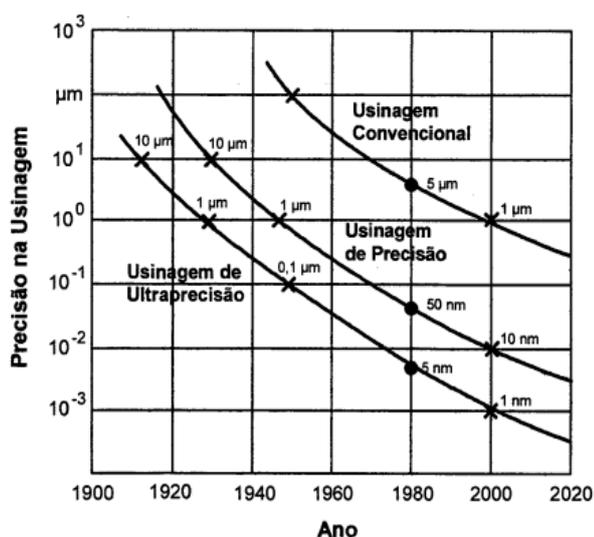


Figura 1. Tendências no Desenvolvimento da Precisão através da usinagem de Ultraprecisão. (Schroeter, 1997)

Neste contexto, a modernização exige o aprimoramento de projetos industriais com o passar do tempo, e formas cada vez singulares dos produtos são introduzidas no mercado, tornando constante a utilização de peças com geometria complexa (HELLENO, 2004). A importância do desempenho de máquinas de usinagem cresce conforme as características metrológicas e o acabamento superficial se tornam mais críticos. (WECK *et al.*, 1991).

2.2. Mandrilhadora CNC

As Mandrilhadoras CNC, mostrada na Figura 2, possuem alta eficiência e precisão, são máquinas robustas para utilização em usinagem pesada ou para trabalhos complexos. Tem grandes aplicações na indústria, pois oferece bastante flexibilidade nas operações (EUROSTEC, 2006). De acordo com

Polastrini (2016), as máquinas CNC alcançam um ótimo desempenho de produtividade, já que não necessitam de monitoramento constante.

Essas máquinas visam realizar movimentos precisos, para isso é necessária uma montagem que proporciona movimentos que correspondam com exatidão ao comando dado, tendo como medida precisa a distância percorrida, com deslocamento suave, sem travamentos e principalmente livre de folgas (DE LAY, *et al.*, 2017).



Figura 2. FEMCO - BMC-110R1. (Do autor)

Dentre os principais ganhos com a utilização de máquinas CNC, estão: a fabricação de peças com geometrias complexas com mais rapidez precisão, melhor acabamento superficial, redução de custos e melhor flexibilidade (BARRIOS; PIVETTA; YOSHIKAWA, 2011).

2.3. Componentes que garantem a precisão de uma Mandrilhadora CNC

Para uma máquina ser capaz de realizar movimentos com elevado grau de definição, chegando a milésimos de milímetros durante sua trajetória, têm que possuir um conjunto mecânico bem ajustado que proporciona a dinâmica necessária (SHUNKUN *et al.*, 2008).

Existem vários tipos de posicionadores de precisão com diferentes modos de funcionamento, porém em todos eles possuem desvios na trajetória do posicionamento teórico desejado e o posicionamento real obtido, devido à presença de fatores de interferência de origem interna ou externa do dispositivo. A procura por sistemas de posicionamento cada vez mais precisos tem exigido a construção de melhores equipamentos e o desenvolvimento de novos métodos para identificar e minimizar erros de posicionamento. Essa minimização pode ser alcançada otimizando os elementos que compõem os sistemas posicionadores ou compensando erros usando atuadores com alta precisão, resolução e velocidade de posicionamento, bem como alta rigidez em relação aos equipamentos convencionais (WATANABE, 1992).

2.3.1. Mecanismos de acionamento

Os Mancais rolamentos (Figura 3) são suportes mecânicos montados em eixos que são usados para facilitar o movimento rotativo, reduzir o atrito entre as partes rotativas e estacionárias durante o suporte de carga. Os rolamentos oferecem alta precisão e baixo atrito, permitindo altas velocidades de rotação enquanto reduzem o ruído entre as peças, o calor, o consumo de energia e o desgaste (GENEROSO, 2009).



Figura 3. Mancal de rolamento de uma mandrilhadora. (Do Autor)

Segundo Slocum (1992), atualmente a maioria das máquinas-ferramenta são controladas por máquinas que realizam ação rotativa. Em uma mandrilhadora, com exceção do fuso do eixo árvore e do giro da mesa, todos os movimentos são de avanços lineares. Então é necessário converter o movimento rotativo em um movimento linear, essa conversão pode ser feita através do fuso esférico.

Segundo Kalatec (2017), o fuso de esferas recirculantes, representado na Figura 4, é um atuador linear mecânico que converte movimento rotativo em movimento linear com baixo atrito, possui um eixo (roscado) e uma porca que proporciona uma órbita helicoidal para esferas rolarem e agir como um fuso de precisão, capaz de derivar ou suportar altas cargas axiais.



Figura 4. Fuso esférico recirculante de uma mandrilhadora. (Do Autor)

De acordo com Antonello e Franceschi (2014), para executar movimento retilíneo, geralmente são utilizadas guias no formato cilíndrico ou prismático que deslizam dentro de outras peças com formas geométricas semelhantes, conforme a Figura 5. As guias são definidas como elementos estruturais que permitem que um componente deslize ao longo de outro em um movimento retilíneo e geralmente limitado a um grau de liberdade. São os elementos básicos da máquina-ferramenta e constituem sua parte precisa, que é responsável por guiar a ferramenta na área de corte. Como todas as outras partes da máquina-ferramenta, estas devem ser projetadas com rigidez suficiente para que as alterações de forma que surgem devido à ação de forças estáticas e dinâmicas não ultrapassem os limites especificados, assim, não prejudicando a precisão geométrica e dimensional (STOETERAU, 1992).

Segundo Lichtblau (1989), os principais requisitos para o projeto de guias de posicionamento são de caráter estático, e podem ser definidas da seguinte forma:

- Elevada precisão dimensional e de forma macro geométrica;
- Elevada rigidez (das guias e de seus suportes);
- Baixo coeficiente de atrito.

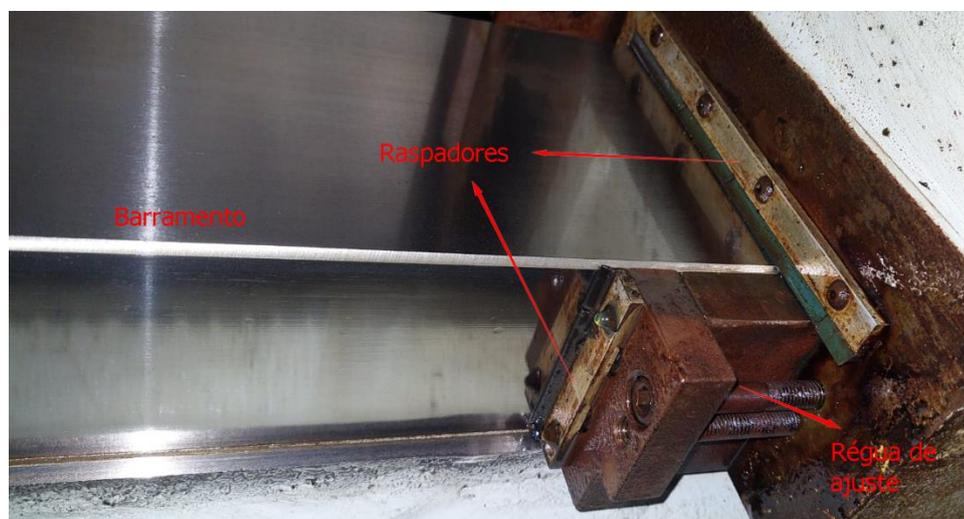


Figura 5. Barramento de uma mandrilhadora. (Do Autor)

2.3.2. Servoacionamento

Para Moraes (2011), o servomotor representado na Figura 6, é um dispositivo eletromecânico que possui uma parte estrutural onde é fixado o estator e dá suporte a um rotor. O estator é muito semelhante a de uma máquina elétrica convencional, mas com uma limitação de alimentação. O rotor consiste em ímãs permanentes que são colocados alinhados sobre ele, a leitura de seus parâmetros é feita através de um com um controlador ou gerador de sinal, resolvido ou encoder.

Um encoder é um dispositivo eletrônico que realiza medições angulares ou lineares. Seu funcionamento é baseado em um processo óptico eletrônico diretamente conectado ao eixo do motor, que durante a rotação fornece sinais elétricos na forma analógica, que serão convertidos em pulsos digitais que poderão ser processados e convertidos em medidas de deslocamento (CAPPELI, 2002).

Segundo Kassouf (2004), não seria correto um projeto de servomotor de alta precisão, utilizar componentes mecânicos conectados a ele, como, acoplamentos, redutores, posicionadores, fusos de esferas, guias lineares e etc, que não conseguirem manter o mesmo nível de precisão exigido pelo sistema.

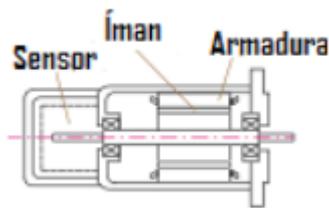


Figura 6. Servomotores síncronos de corrente alternada. (Springer, 2008).

2.4. Sistema de Controle

2.4.1. Sistema de malha aberta

Para Ogata (2001), no sistema de controle de malha aberta, o sinal de saída não tem nenhum controle sobre o sinal de entrada, a precisão do sistema depende de uma calibração. Caso ocorra algum distúrbio nesse sistema de controle, ele não apresentará a performance desejada, para um melhor funcionamento ele deve estar livre de distúrbios internos e externos.

2.4.2. Sistema de malha fechada

Algumas máquinas CNC possuem um circuito de controle de malha fechada, no qual fornece constante feedback ao sistema com os dados necessários para que a máquina opere dentro de sua precisão. O chamado loop de controle representa todo o sistema de monitoramento em uma máquina (SUH *et al.*, 2008).

De acordo com Fitzgerald (1978), o sistema de controle em malha fechada, mostrado na Figura 7, possui sensor na malha de realimentação da variável a ser controlada. A diferença gerada entre o sinal de entrada e o sinal de feedback enviado pelo sensor é chamada de erro, no qual é introduzido no controlador e ajustando a saída, assim, melhorando a precisão de acordo com o valor desejado e a máquina realiza o movimento mais próximo do programado.

Os sistemas de controle de malha fechada tornam a saída do sistema sensível a distúrbios e ajustam os parâmetros para compensá-los. Por outro lado, o feedback pode levar à instabilidade aos movimentos da máquina (FERREIRA, 2006). O sistema é capaz de controlar variáveis de posição, velocidade e torque, onde existem sensores na malha de realimentação que enviam constantes informações sobre qualquer distúrbio na malha de controle (FITZGERALD, 1978).

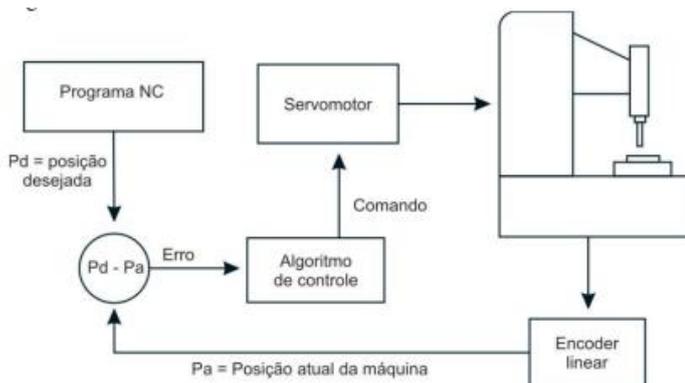


Figura 7. Malha de Controle Fechada. (Souza e Ulbrich, 2013).

2.5. Tipos de manutenção

Para a norma NBR 5462 (1994), a manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, para que um item desempenhe sua função requerida.

2.5.1. Manutenção Corretiva

De acordo com a norma NBR 5462 (1994) a manutenção corretiva é efetuada após uma pane, para que um item esteja em condições de executar uma função requerida novamente. Para Filho (2008) existem dois tipos de manutenção corretiva: a corretiva planejada, quando a reparação é efetuada em uma data programada posterior à avaria, e manutenção corretiva não planejada, que é quando a reparação ocorre após a avaria e é de caráter emergencial.

2.5.2. Manutenção Preventiva

Conforme a norma regulamentadora NBR-5462 (1994) manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados, com objetivo de reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

De acordo com Lopes (2012), a preventiva nos equipamentos pode diminuir o fluxo de manutenções corretivas e traz vários outros benefícios, pois permite à empresa planejar os custos financeiros, aumentar a disponibilidade, melhorar a qualidade dos produtos, além de elevar a vida útil do equipamento.

2.5.3. Manutenção Preditiva

A norma NBR 5462-1994 define como manutenção preditiva a manutenção que permite melhorar a qualidade de serviço, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise mais sofisticada, aplicando meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir a quantidade de manutenção preventiva e manutenção corretiva.

2.6. Histórico da Confiabilidade

Segundo Firmino *et al* (2004), a confiabilidade é definida logo na fase de projeto, essa ferramenta permite desenvolver estratégias de manutenção para garantir o funcionamento e a qualidade de um item, dado o tempo de uso e dos fatores que podem comprometer o seu desempenho.

Uma boa política de manutenção pode evitar a diminuição do desempenho de um equipamento, que leva à redução da qualidade e da produtividade. Evitar a política de manutenção, além de reduzir a eficácia do processo, leva ao desligamento efetivo do equipamento, o que reduz sua disponibilidade. A disponibilidade de dispositivos depende de sua confiabilidade e sua manutenibilidade (WILLIAMS *et al.*, 1994).

2.7. Falha

Para dizer que um componente mecânico falhou, não significa necessariamente o seu colapso completo. Um componente entra no seu estado de falha quando ele se torna incapaz de executar qualquer uma de suas funções primárias ou secundárias de acordo com os padrões de desempenho aceitáveis para o usuário (MARTINS *et al.*, 2016).

Segundo Engeteles (2020), a causa da falha é definida através do que ocasionou o problema, o motivo pelo qual o componente falhou. A causa é o princípio de desvio ocorrido no dispositivo. Segundo Sukarada (2001), as causas de falhas podem ser impulsionadas por fatores ambientais, erros humanos, componentes vizinhos ou o próprio componente.

2.8. FTA (Fault Tree Analysis)

Segundo Dias *et al* (2013), o FTA, conforme apresentado na Figura 8, é uma técnica que possui uma base dedutiva (pensamento reverso), na parte superior está o evento inicial, que é a parte que queremos analisar, denominado evento topo, em seguida identifica-se eventos intermediários resultantes da associação lógica dos eventos subjacentes, às causas básicas ou raízes que geraram o evento de topo. A análise de eventos transitórios continua até que as causas subjacentes que levaram ao evento de topo sejam identificadas, momento em que o limite de resolução FTA é encontrado. A estruturação e combinação das causas que levaram ao evento mais alto é realizada por meio de operadores lógicos utilizados na análise da álgebra booleana, em portas lógicas. O FTA permite assim tanto uma análise qualitativa da relação de causa-efeito e uma análise quantitativa baseada na determinação da probabilidade de ocorrência das causas subjacentes e sua conexão lógica, que definirá a probabilidade de ocorrência do evento de topo.

Esta ferramenta possibilita uma ampla gama de análises de sistemas. Além disso, pode ser usado para análise de confiabilidade e/ou melhoria, mas geralmente para determinar as causas potenciais de um acidente ou falha de um sistema complexo (BORBA PRÁ, 2010).

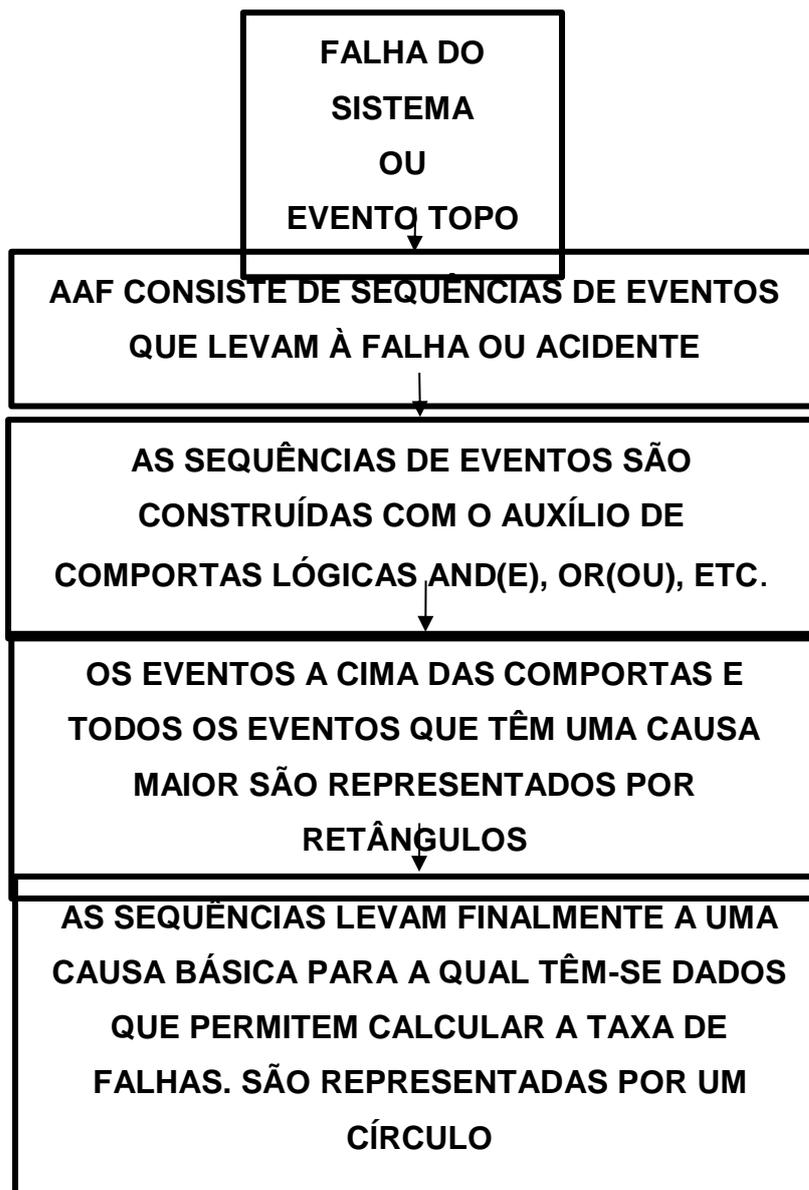


Figura 8. Imagem transcrita. Principais passos RCA. (Kardec e Nascif, 2009).

2.9. Problemas que interferem na precisão de uma máquina CNC

Os erros geométricos podem ser causados por diversos fatores em uma máquina de precisão, como deformação elástica dos componentes durante a movimentação, erros de montagem ou ajuste, propriedades dos materiais utilizados na produção e desgaste (ROLIM, 2003).

De acordo com Uriarte *et al* (2013) para máquinas grandes, a precisão é afetada por algumas outras fontes de erro. Essas fontes também podem ser classificadas como erros estáticos e dinâmicos.

Os erros estáticos mais influentes são:

- Erros cinemáticos como: guia de alinhamento e retidão;
- Realimentação do sistema de medição;
- Deflexão devido ao próprio peso ou o peso da peça;
- Movimentos na fundação.

Entre os erros dinâmicos pode-se destacar:

- Erros termomecânicos;
- Efeitos de carga dinâmica;
- Precisão de controle da trajetória.

2.9.1. Desnivelamento

Berbesi *et al* (2017) e Lyra (2010) destacam a importância de uma arquitetura estrutural que forneça a robustez para o deslocamento em planos dimensionais, os desníveis no desenvolvimento da estrutura podem tornar o projeto inviável por erros geométricos das peças fabricadas.

2.9.2. Falha de Montagem

Falhas de montagem ocorrem com frequência e geralmente estão relacionadas a erro humano. Caracteriza-se por danos prematuros ao componente, encurtando sua vida útil devido à montagem ou instalação inadequada. Um exemplo clássico de defeito de montagem é a falta de torque nos parafusos, que pode afrouxar ou causar vibrações no equipamento. Esse tipo de falha pode ser evitada revisando os procedimentos de manutenção, treinamento e auditorias (AFFONSO, 2012).

2.9.3. Falha de Lubrificação

A falta de lubrificação adequada é extremamente prejudicial para os equipamentos mecânicos em geral. De acordo com Xenos (2004). A lubrificação é a aplicação de um filme lubrificante para reduzir, eliminar ou suavizar o movimento de atrito entre as partes metálicas de uma peça. A película utilizada entre as peças é chamada de filme lubrificante (LANSDOWN, 2004)..

De acordo com NSK (2013), os métodos de lubrificação de rolamentos são divididos em lubrificação com graxa e lubrificação com óleo. Para atingir um bom desempenho é necessário adotar o método de lubrificação mais adequado para a aplicação proposta e as condições de operação. No caso de rolamentos, embora as graxas tenham suas particularidades, em geral a lubrificação a óleo em superior

As guias geralmente são lubrificadas com óleo, que passam por ranhuras entre as superfícies de contato. É importante que o óleo passe pelas ranhuras de forma que atinja toda a extensão da pista e crie uma película lubrificante (FRANCESCHI E ANTONELLO, 2014).

2.9.4. Folga Mecânica

De acordo com Emerson (2006, p.108), “Existem duas categorias de folgas: folgas estruturais ou de elementos rotativos. As folgas podem ser causadas por erros de montagem, desgaste excessivo, danos na fundação ou na base, trincas ou ruptura de componentes de fixação.”

2.9.5. Erros de reversão

De acordo com Bianchi (1996), os erros de reversão encontrados em máquinas CNC se dão devido aos seguintes fatores:

- Folga entre dentes das engrenagens do redutor, castanha e fuso (ou pinhão e cremalheira).
- Folga axial nos mancais do fuso.
- Elasticidade do fuso, dentes de engrenagens, polias e acoplamentos.

3. METODOLOGIA

Para a realização desse estudo foram utilizados métodos qualitativos e quantitativos. A máquina em análise é uma mandrilhadora CNC FEMCO - BMC-110R1, mostrada na Figura 2, fabricada em 2008.

Com intuito de determinar o estado atual da mandrilhadora, foram realizados testes de sincronismo no plano XY e avaliar o quão precisa está a máquina, assim, verificar os efeitos de folgas mecânicas ou outros distúrbios no sistema que geram erros na geometria. Para isso foi utilizado o processo de usinagem chamado de Interpolação Helicoidal em uma chapa de aço A-36 de 5/8”.

De acordo com a Sandvik (2000), Interpolação Helicoidal é um movimento circular simultâneo entre os eixos (X e Y) junto com um avanço axial (Z) em um passo definido, conforme ilustrado na Figura 9.



Figura 9. Interpolação Helicoidal. (Sandvik Coromant, 2000)

Para um resultado mais satisfatório, foram realizados 5 diâmetros de 36 mm com os mesmos dados de corte, porém reduzindo o avanço em cada teste, assim, podendo ver o efeito que a velocidade de avanço causa na geometria do furo. A Figura 10 mostra os parâmetros de corte.

Fresa	R490-020C5-08L
Raio da trajetória da ferramenta	8 mm
Rotação	2200 RPM
Hélice	4 mm
Profundidade radial de corte	0,05 mm

Figura 10. Tabela – Parâmetros de usinagem. (Do autor)

Após a usinagem dos diâmetros de 36 mm e com o auxílio de uma micrômetro interno com precisão de 0,01 mm, foram medidos pontos equidistantes a 45°, conforme a Figura 11.

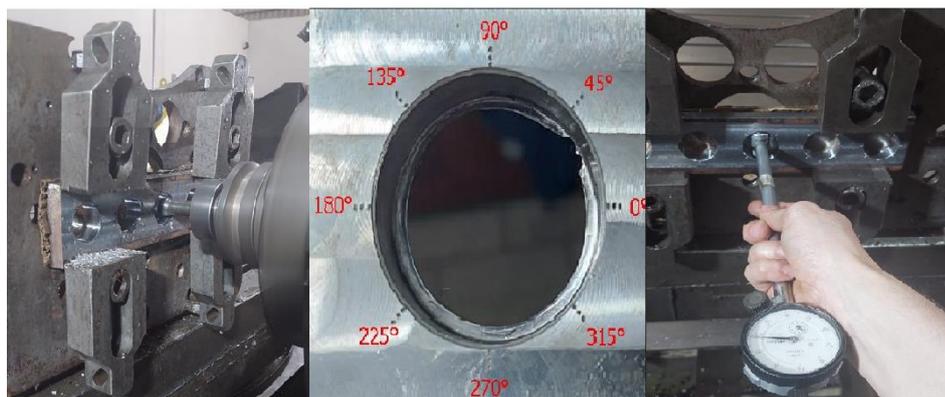


Figura 11. Interpolações e medições dos furos. (Do autor).

A partir das medições dos diâmetros foi gerada uma tabela (Figura 12), no qual mostra o avanço utilizado em cada furo e um gráfico (Figura 13) indicando o diâmetro médio encontrado em relação ao avanço.

Furo	Avanço (mm/min)	0°-180° (mm)	45°-225° (mm)	90°-270° (mm)	135°-315° (mm)	Média (mm)
1	1000	35,58	35,55	35,55	35,56	35,56
2	500	35,88	35,865	35,87	35,87	35,871
3	250	35,98	35,955	35,95	35,97	35,963
4	125	35,985	35,98	35,97	35,98	35,978
5	75	36	35,99	35,97	35,99	35,987

Figura 12. Tabela – Dimensões encontradas na Interpolação Helicoidal

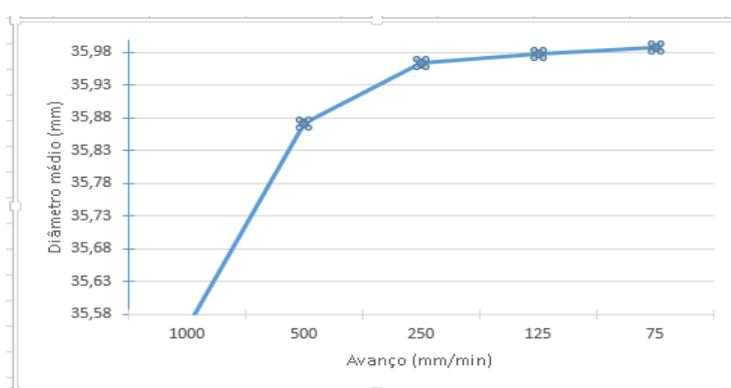


Figura 13. Gráfico – Diâmetro médio x Avanço

Após os testes de verificação de geometria, com a utilização do histórico de manutenção e através de pesquisas bibliográficas foram extraídos dados relacionados a problemas de geometria durante a execução do processo de usinagem. A fim de reforçar a análise, foram acessados os históricos de manutenção de outras duas máquinas CNC para fazer um comparativo dos efeitos causados por falhas de componentes mecânicos similares ao da máquina em estudo. A partir dessas informações foi desenvolvida uma FTA, em seguida a elaboração de um plano de manutenção.

4. RESULTADOS

4.1. Teste de sincronismo no plano XY

O primeiro destaque no teste de interpolação foi a variação de diâmetro com o valor programado de 36 mm, havendo uma variação de aproximadamente 0,5 mm conforme o avanço de corte foi se alterando, isso não está associado a distúrbios no sistema, geralmente esse efeito é encontrado em máquinas de grande porte para “suavização” do movimento, isso gera um "offset" em contornos. Entretanto, essa variação pode afetar consideravelmente o tempo de usinagem, já que para movimentos mais próximos do programado, requerem avanços menores.

De acordo com Sousa (2000), um problema encontrado em máquinas CNC, é o erro de reversão em trajetórias curvas, pois quando há a inversão de movimento de pelo menos algum dos eixos envolvidos, espera-se que o servomotor responda de maneira uniforme e estável ao comando dado pelo CNC, sob pena de que algum atraso ou instabilidade provoque alterações geométricas na peça.

Analisando a precisão da máquina em relação ao sincronismo de eixos e seguindo o raciocínio de Sousa (2000), conforme as medições realizadas nos pontos indicado na Figura 11, obteve um padrão de precisão aceitável se compararmos ao tamanho de sua estrutura, porém ao analisar os pontos logo depois dos quadrante (0° - 180° e 90° - 270°), foi notada uma variação de medida considerável de 0,06mm, decorrente a erros de reversões provocados por distúrbios no sistema, que são causados por folgas mecânicas ou variações no torque. Com base na análise do histórico de manutenção, esse é o indício da possível falha de um componente mecânico e com o passar do tempo essa folga aumentará e irá resultar em uma geometria do furo mais distorcida. A figura 14 mostra os pontos dos erros de reversão.

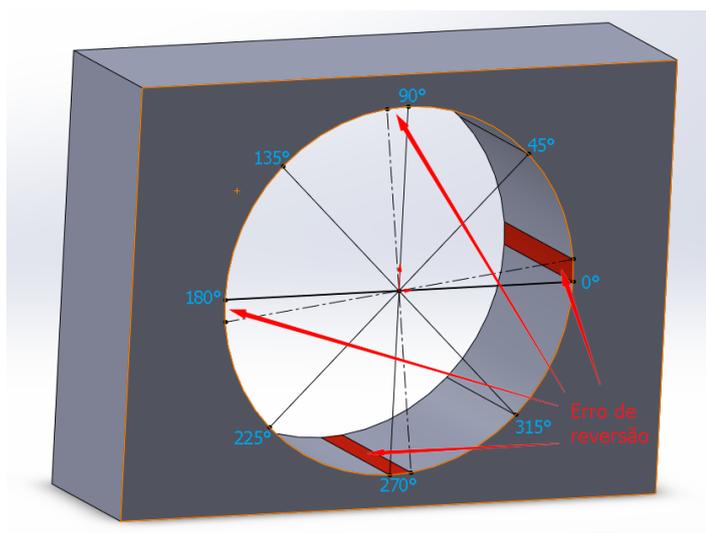


Figura 14. Erros de reversão. (Do autor)

Analisando as folgas em relação a precisão de posicionamento, como mostrado no tópico 2.4, por ser uma máquina que trabalha com o sistema de malha fechada, ela recebe constante feedback da leitura do seu posicionamento realizado pelo encoder linear, portanto, desde que esse sensor esteja bem fixado e os componentes mecânicos devidamente ajustados, todo erro será compensado e sua posição será precisa.

4.2. Desenvolvimento da FTA

Com base no histórico de manutenção, os componentes que afetaram a precisão das máquinas foram:

- Falha do mancal de rolamento;
- Folga no fuso esférico recirculante;
- Folga nas réguas de ajuste do barramento;
- Desnívelamento;
- Desgaste do eixo e bucha de bronze do contrapeso;

A Figura 15 mostra a FTA desenvolvida, onde os “Defeitos de Geometria na Mandrilhadora” é o evento topo, em seguida três eventos adjacentes responsáveis por esse erro, que foram desmembrados até chegar na causa raiz.

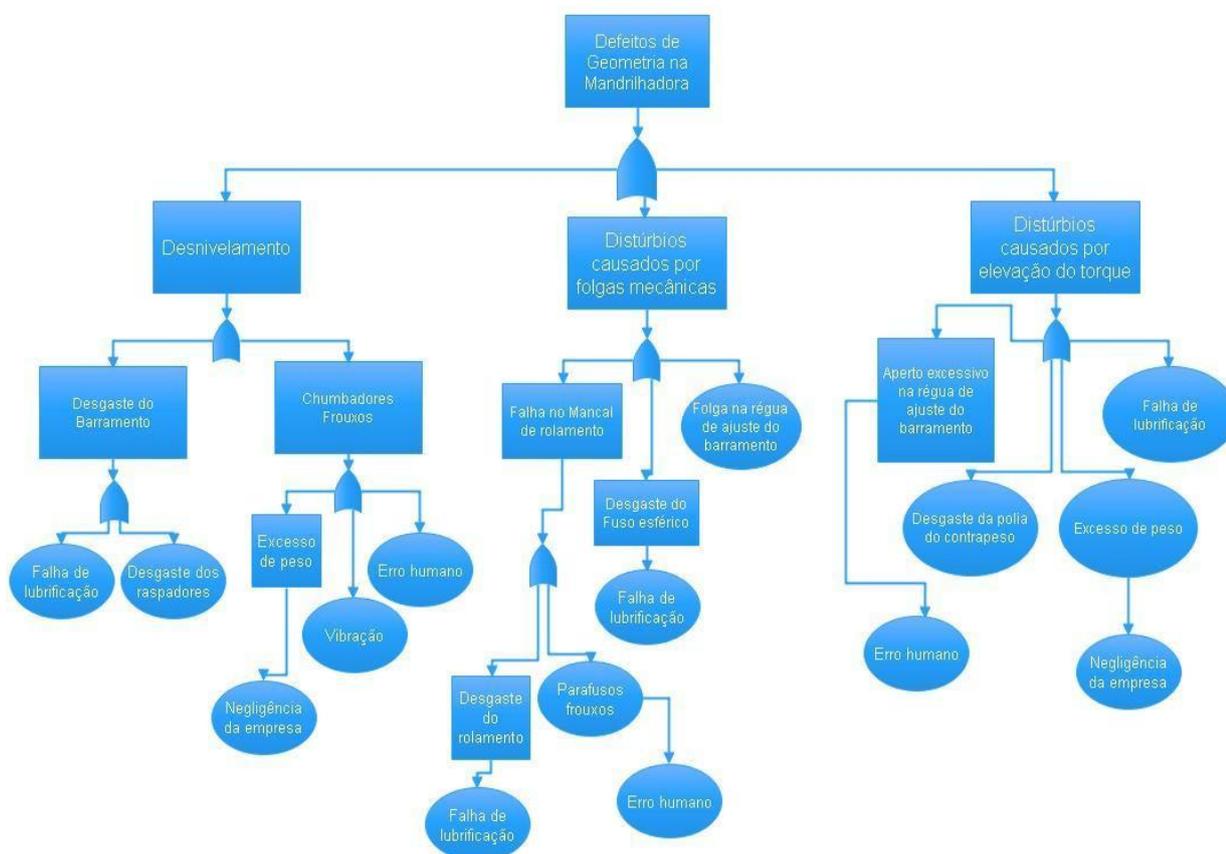


Figura 15. FTA da mandrilhadora. (Do autor)

5. PLANO DE MANUTENÇÃO

Realizando uma análise através do gráfico de Pareto (Figura 16), é possível determinar quais componentes geraram maior tempo de parada da máquina e priorizar as falhas. Pode-se perceber que todos os componentes da mandrilhadora são robustos e duráveis.

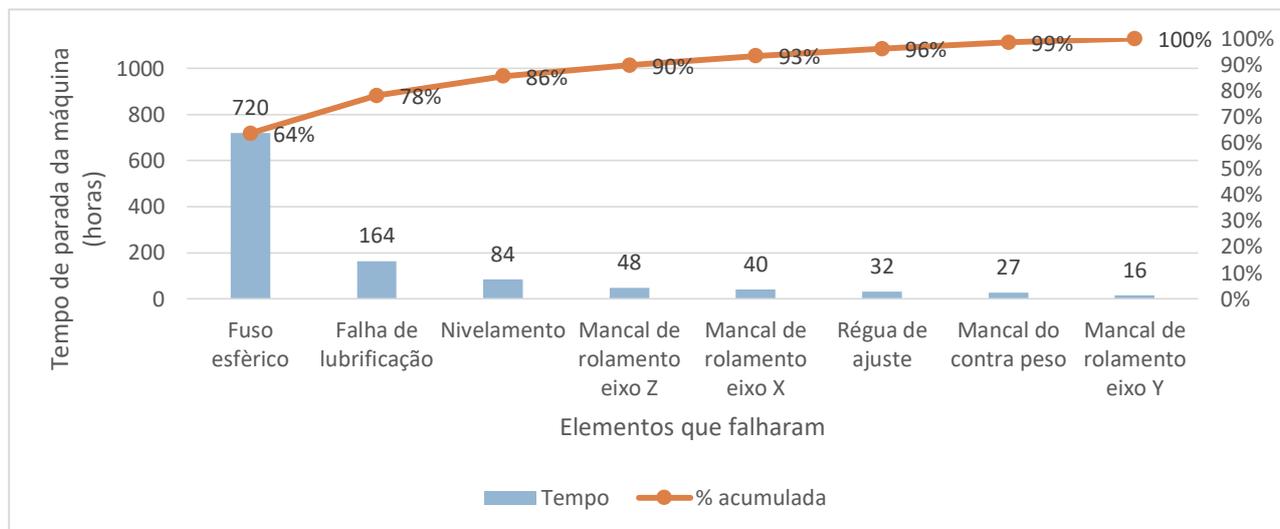


Figura 16 - Gráfico de Pareto: Tempo de parada da máquina. (Do Autor)

O fuso esférico recirculante gera um tempo de parada muito elevado, já que seu reparo é feito em laboratório especializado em outro estado, então o ideal é realizar uma corretiva programada em caso de desgaste excessivo. Por ser uma manutenção muito onerosa, o desgaste aceitável do fuso deve ser determinado pelo tipo de trabalho que a máquina realiza, porém se a folga for muito grande o erro de seguimento gerado pela malha de sistema fechada pode ser maior do que o permitido e a máquina vai gerar um alarme.

As falhas decorrentes da lubrificação também são consideravelmente elevadas, é importante ressaltar que a máquina possui sensores de pressão de óleo, então para um componente deixar de ser lubrificado a falha deve ocorrer depois dos sensores, do contrário a máquina irá apresentar um alarme. A máquina também possui sensores de temperatura em seu trocador de calor, o qual não permite o superaquecimento do cabeçote.

Os mancais de rolamento dos eixos são excepcionalmente duráveis, entretanto há uma diferença no tempo de manutenção de cada um deles, isso deve-se ao fato da quantidade de trabalho realizado. O Eixo Z possui maior tempo de reparo, já que suporta toda carga e realiza um processo de furação com retorno programado, no qual faz um movimento de vaivém com o avanço máximo da máquina. O Eixo X também suporta toda força peso da peça, enquanto o Eixo Y possui o menor tempo, pois ele faz uso de um contra peso para minimizar esforços.

Dentre as três polias do contra peso apenas uma sofreu desgastes elevados, o seu travamento gera variações no torque e conseqüentemente um distúrbio no sistema, causando um erro de geometria nas interpolações no sentido vertical. As ações para mitigar essa falha foi a substituição da bucha de bronze por rolamentos de esfera, entretanto ainda restam duas polias que devem ser monitoradas.

O desnivelamento da máquina afeta o perpendicularismo e paralelismo dos planos de trabalhos, ocasionando faces distorcidas e desalinhamentos dos eixos. Para um nivelamento mais viável pode-se utilizar um nível de precisão, porém a contratação de uma empresa especializada gera

uma análise mais precisa e um laudo técnico que garante aos clientes a confiabilidade da máquina através de documento.

Plano de manutenção da FEMCO - BMC-110R1					
Falha	Ação Preventiva	Recurso necessário	Frequência	Horas	Setor
Mancal frouxo	Checar fixação dos parafusos e pinos guia.	Torquímetro para 360,4 N.m e inspeção visual	Anual	2	Mecânica
Desgaste ou quebra do rolamento dos eixos X, Y e Z	Análise de ruído e temperatura / Checar lubrificação.	Estetoscópio / Pirômetro (temp. máxima 100°) / para lubrificação inspeção visual	Anual	1	Mecânica
Desgaste do fuso esférico recirculante	Checar lubrificação e raspadores	Inspeção visual / Em caso de desgaste severo o fuso deve ser retificado em laboratório.	Anual	1	Mecânica
Régua de ajuste frouxa ou aperto excessivo	Verificar desgaste no revestimento deslizante e lubrificação / Ajustar a régua.	Calibrador de folga de 0,02mm e inspeção visual	Anual	4	Mecânica
Desgaste da polia do contrapeso	Checar lubrificação e movimentos excêntricos	Bomba manual de graxa e inspeção visual	Semestral	1	Mecânica
Desgaste do barramento	Substituir raspadores e roletes da proteção telescópica do barramento / Checar lubrificação e revestimento deslizante se necessário	Raspador em barra 27 mm / chapa de nylon de 3/8" para refazer os roletes da proteção do barramento / inspeção visual	A cada 2 anos	18	Mecânica
Desnívelamento da máquina	Conferir nivelamento	Nível de precisão 0,02mm/m e barra retificada de 1m ou contratar uma empresa especializada para verificar a geometria com precisão de micron	A cada 2 anos	27	Mecânica ou empresa especializada em verificação de geometria
Falha no rolamento do eixo árvore, caixa de redução ZF, fuso esférico do eixo W e engrenagens do cabeçote	Fazer análise ferrográfica do óleo de lubrificação e refrigeração / analise ruído dos rolamentos	Contratar empresa para realizar análise/ estetoscópio / inspeção visual	A cada 10 anos	—	Mecânica ou empresa especializada em ferrografia
Erro de montagem	Treinamento sobre montagem de elementos de máquinas	Cursos especializados	—	—	Gerência

Figura 17. Plano de manutenção FEMCO - BMC-110R1. (Do autor)

6. CONCLUSÃO

Atualmente, uma empresa focada em fabricação de peças de grande porte e com prestação de serviços de caráter emergencial, acaba por priorizar a produção e negligenciar a manutenção. Entender as causas das falhas e desenvolver ações preventivas é de suma importância para a disponibilidade de uma máquina.

Em uma máquina CNC, às vezes o próprio ato de medição de peças com instrumentos de precisão, já é o suficiente para encontrar algumas falhas em seu estado inicial, qualquer desvio na geometria da peça indica uma anormalidade no sistema e por se tratar de uma máquina que realiza movimentos precisos, até pequenos desgastes que possam ser considerados defeitos em outras máquinas, para uma máquina CNC significa que o componente falhou. A inspeção visual tem grande aplicação na detecção de falhas desses componentes, já que as superfícies retificadas possuem um excelente acabamento superficial e qualquer anomalia é facilmente detectada.

O teste de interpolação helicoidal mostrou com eficiência a precisão de posicionamento e sincronismo dos eixos. Os erros de reversão mostrados depois dos quadrantes impedem a usinagem de diâmetros de precisão através da interpolação circular, mostrando a necessidade de um segundo processo de usinagem para regularização do diâmetro, como o uso de alargadores em caso de furos menores e mandrilhamento para furos maiores. Essa falta de sincronismo pode interferir também na qualidade do fresamento de roscas, no qual o ajuste e a área de contato dos filetes ficam comprometidos por se apoiarem em apenas alguns pontos. Isso implica diretamente no tempo de produção e por consequência o custo de fabricação.

Criar um plano de manutenção é importante pois para acessar os componentes de precisão é necessário a remoção das proteções da máquina, que é um processo trabalhoso e demorado, por isso é importante identificar todos os componentes que geram a precisão e criar uma estratégia para averiguar todos os itens de uma só vez. A manutenção preventiva aumenta a confiabilidade, a disponibilidade e reduz o tempo de fabricação, assim podendo melhorar a qualidade do produto final e satisfação do cliente.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, Luiz. **Equipamentos mecânicos: Análise de falhas e solução de problemas**. 3 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.

ALBERTAZZI, A.; Souza, A. R. “**Fundamentos de metrologia científica e industrial**”. Manole. Barueri, SP, 2008.

ANTONELLO, M, G e Franceschi, A. **Elementos de máquinas** – Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994

BARRIOS, D. B.; PIVETTA, L. A.; YOSHIKAWA, N. K. **Mecânica: Métodos e Processos Industrial**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta (Coleção Técnica Interativa Série Mecânica do Centro Paula Souza), v. 5, 2011

BERBESI, J. M.; SAUMETH, K.; PINILLA, F. **Parallel control firmware for CNC milling machine based in Arduino**. Anais... Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference, 2017.

BIANCHI, K, E. **Concepção de uma máquina cnc para medição e usinagem de peças em madeira**, Florianópolis, Sc, 1996

BORBA PRÁ, E. **A Manutenção Industrial Sob a Perspectiva da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em uma Empresa da Área de Compressores Herméticos**. 2010. 72 p. Dissertação (Graduação em Engenharia em Produção e Sistemas) – Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010.

CAPELLI, Alexandre. **Mecatrônica Industrial: Uma obra indispensável para o profissional de sucesso**, Editora Saber, São Paulo, 2002.

COPPINI, N. L.; DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 3. Ed. São Paulo: Artliber Editora, 2001.

DE LAY, H.; ZUFFO R. A. W. **Método construtivo simplificado de um dispositivo de usinagem comandado numericamente por computador**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

DIAS, Acires et al. **Metodologia para Análise de Risco: Mitigação de perda de SF6 em disjuntores**. Florianópolis: S.n., 2013. 303 p.

EMERSON, Process Management. **Análise de Vibrações Nível I**. Apostila do Curso de Análise de Vibrações da CSI means Reliability. 2006.

ENGETELES - **Escola de Gestão da Manutenção**. Definitivamente qual a diferença entre Falha, Modo de Falha e Efeito de Falha. 2020. Acesso em: 14 mai. 2023.

EUROTEC. **Fabricante de máquinas CNC**. Caxias do Sul, RS, em 2006. Disponível em <https://www.eurostec.com.br/mandrilhadora-cnc-hb110h>. Acesso em: 14 abr. 2023

FERREIRA, A. M. **Estudo do Erro de Forma no fresamento de geometria complexa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Sociedade Educacional de Santa Catarina - Instituto Superior Tupy. Joinville, p. 109. 2013.

FERREIRA, P. A. VALENTE; **Princípios de Controle e Servomecanismos**. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006

FITZGERALD, A. E. KINGSLEY JR., Charles; KUSKO, Alexander. **Máquinas elétricas**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975-1978. 623 p.

GENEROSO, Daniel João. **Elementos de Máquinas**. Araranguá, 2009. 74 p. Apostila

GRUPO KALATEC. **Fabricante de fuso esférico**. 2017. Disponível em <https://www.kalatec.com.br/fusos-de-esferas-pronta-entrega/>. Acesso em 16 abr. 2023

HELLENO, A. L. **Investigação de Métodos de Interpolação Para Trajetória da Ferramenta na Usinagem de Moldes e Matrizes Com Altas Velocidades**. Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste - SP, p. 140. 2004.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

KASSOUF, S. Acoplamento elástico sem folga. Mecatrônica atual, São Paulo, Dezembro, 2004. Número 19, p. 52.

LANSDOWN, A.R. **Lubrication and Lubricant Selection: A Practical Guide**, 3ed.2007. MOBLEY, R.Keith ; HIGGINS, Lindley R.; WIKOFF, Darrin J. Maintenance Engineering Handbook, 7ed, 2008.

LICHTBLAU, M. **Uma contribuição ao estudo da dinâmica de posicionadores**. Florianópolis. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, 1989.

LYRA, Paulo Vinícius Apolinário. **Desenvolvimento de uma máquina fresadora CNC didática**. 2010. Trabalho de graduação (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

MARCOVICZ, Fabio Luiz. **Aplicação do método Jack-Knife para determinar falhas críticas em uma mandrilhadora**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

MARTINS, D. H. C. de S. S. et al. Diagnóstico de falhas em máquinas rotativas utilizando random forest. Anais do **XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT)**, set. 2016.

MORAES, TD. **Acionamento de servomecanismo**. Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, 2011.

NORMA DIN 8580 – DIN - **Fertigungsverfahren**. Berlin: Beuth Verlag, 1985.

NSK Rolamentos. **Catálogo Geral**. Disponível em [https://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](https://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf). Acesso em: 7 mai. 2023.

OGATA, Katsuhiko: **Engenharia de Controle Moderno**. Editora Prentice/Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1985.

POLASTRINI, F. H. **Desenvolvimento de uma máquina CNC de baixo custo com software e hardware abertos** TCC, 2016. p. 16

ROLIM, Tiago L. 2003. **Sistemática Indicadora de Método para Calibração de Máquina de Medição por Coordenadas**. João Pessoa: Tese (Doutorado) - UFPB/CT, 2003.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As Técnicas de Análise dos Modos de Falhas e Seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no Desenvolvimento e na Avaliação de Produtos**. 2001. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/7460/material/FMEA_CAP5.pdf. Acesso em: 15 mar. 2023

SANDIVIK Coromant. **Fresamento de furos e cavidades/bolsões**. 2000. disponível em <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets>. Acesso em: 20 mar 2023.

SCHROETER R. B. **Usinagem de Ultraprecisão de Elementos Ópticos Transmissivos no Espectro Infravermelho**, Tese de Doutorado, UFSC, 1997.

SHUKUN, C.; HENG, Z.; XIANGBO, Z.; QIUJUAN, Y.; CHANGSHENG, A. **Software e projeto de plataforma de hardware para sistema Open-CNC**. Anais... Aquisição de Conhecimento e Oficina de Modelagem, 2008. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/224399439_Software_and_Hardware_Platform_Design_for_Open-CNC_System. Acessado em 2 abr 2023.

SLOCUM, A. H., **Precision Machine Design**, Prentice Hall, 1992.

SOUSA, A.R. **Padrões Corporificados e a Tecnologia de Medição por Coordenadas Inovando a Qualificação Geométrica de Centros de Usinagem**, Tese de Doutorado. UFSC, 2000.

SOUZA, A. F.; ULBRICH, C. B. L. **Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD / CAM / CNC**. 2a edição ed. São Paulo: Artliber Editora, 2013.

SUH, S.-H. et al. **Theory and Design of CNC Systems**. [s.l: s.n.]. TAHERKORDI, A.; ELIASSEN, F.; HORN, G. From IoT big data to IoT big services. **Proceedings of the Symposium on Applied Computing - SAC '17**, p. 485–491, 2017.

TANIGUSHI, N. **Current Status in, and Future Trends of Ultraprecision Machining and Ultrafine Materials Processing**. Annals of the CIRP, Vol. 32/2/1983. p. 573-582.

WATANABE, F. Y. **Desenvolvimento de um atuador hidrostático diferencial e de um sensor optoeletrônico para posicionamento linear de precisão**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.

WECK, M.; BISPINK, T. & PYRA, M. **Analisando a dinâmica de desempenho da máquina de alta precisão**, Tutorial, IPT, Aachen, 1991.

WILLIAMS, J.H. et al. **Condition-based Maintenance and Machine Diagnostics**. Londres: Chapman & Hall, 1994.

URIARTE, L. et al. **Machine tools for large parts**. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 62, n. 2, p. 731-750, // 2013.

XAVIER, A, A, G. **Construção de uma máquina CNC através de projetos e softwares open sources**. Centro Universitário Augusto Motta, RJ, 2020.

XENOS, Harilaus. **Gerenciando a manutenção produtiva**. 1. ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

NOTAS

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às nossas famílias por todo apoio e compreensão.

CONTRIBUIÇÃO E AUTORIA

Não se aplica.

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

CURSO

Engenharia Mecânica

COORDENADOR DO CURSO

André Luiz Perazzo Amaral

DATA DE ENTREGA

19/06/2023

BANCA AVALIADORA

Andre Luiz Perazzo Amaral

Jean Carlo Ferreira de Oliveira

DECLARAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PLÁGIO

Declaro que o trabalho não contém plágio ou autoplágio total ou parcial. Todo o conteúdo utilizado como citação direta ou indireta foi indicado e referenciado.

LICENÇA DE USO

Os autores do artigo cedem o direito à divulgação e publicação do material para comunidade acadêmica através de portal da Biblioteca e repositório institucional. Esta autorização permite sua utilização como base para novas pesquisas, caso haja adaptação do conteúdo é necessário atribuir o devido crédito de autoria.

**EDITORA
UCL**

ENGENHARIA QUÍMICA

**APLICAÇÃO DE MODELOS
QUIMIOMÉTRICOS PARA ESTIMAR DBO E
DQO EM ESGOTOS**



Revista UCL

APLICAÇÃO DE MODELOS QUIMIOMÉTRICOS PARA ESTIMAR DBO E DQO EM ESGOTOS

Application of chemometric models to estimate BOD and COD in sewer.

Guilherme Medeiros da Silva

Graduando

Engenharia Química

medeirosguii@ucl.br

Polyana Silvério Massariol

Orientador

Faculdade UCL

polyanasilveiro@ucl.br

A lista completa com informações de autoria está no final do artigo

RESUMO

Objetivo: Avaliar a aplicação de modelos de regressão univariados e multivariados a partir de dados espectroscópicos para estimar a concentração de DBO e DQO em amostras de esgotos sanitários tratados e brutos.

Método: Determinou-se experimentalmente de esgotos sanitários brutos e tratados a Demanda Química de Oxigênio (DQO) de acordo com o SMEWW 5220 C e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de acordo com o SMEWW 5210 B. Foram realizadas aquisições espectroscópicas de fluorescência e UV-visível pelo espectrômetro Horiba Aqualog. Para o tratamento de dados foram empregados métodos de pré-tratamento de dados, calibração univariada e calibração multivariada (PLS) para elaboração dos modelos matemáticos no *software* Matlab versão R2013a.

Resultado: Para os modelos univariados não foram alcançados resultados satisfatórios para a proposta do artigo, com baixo coeficiente linear (R^2) que não permitiu correlacionar com a metodologia padrão dos parâmetros em questão. Os modelos de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) apresentaram resultados satisfatórios de R^2_c de 0,7426 e R^2_p de 0,5482 para a DBO do UV-vis e para a FLC290, os modelos combinados para DBO e DQO, com R^2_c de 0,7895 e 0,7065 e R^2_c de 0,6884 e 0,7269 para DBO e DQO respectivamente para modelos que possuem uma faixa de concentração ampliada, com erros de predição e calibração dentro aceitável de 3x o valor do seu respectivo par, para a validação do modelo.

Conclusões: A Aplicação dos modelos de regressão podem ser uma alternativa rápida para estimar valores de DBO e DQO.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos de regressão. Calibração Univariada. Calibração Multivariada. PLS. Fluorescência. UV-Vis. Esgotos sanitários.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the application of univariate and multivariate regression models using spectroscopic data to estimate the concentration of BOD and COD in samples of sanitary sewers.

Methods: The Chemical Oxygen Demand (COD) was experimentally determined according to SMEWW 5220 C and the Biochemical Oxygen Demand (BOD) according to SMEWW 5210 B. Spectroscopic acquisitions of fluorescence and UV-Vis were performed using the Horiba Aqualog spectrometer. Data pre-treatment methods, univariate calibration, and multivariate calibration (PLS - partial least squares) were employed for the development of mathematical models using Matlab software, version R2013a.

Results: For univariate models, satisfactory results were not achieved for the proposal of the article, with a low linear coefficient (R^2) that did not allow correlation with the standard methodology of the parameters in question. Partial least squares (PLS) regression models presented satisfactory results with R^2_c of 0.7426 and R^2_p of 0.5482 for UV-vis BOD, and for FLC290, combined models for BOD and COD with R^2_c of 0.7895 and 0.7065, and R^2_c of 0.6884 and 0.7269 for BOD and COD respectively, for models that have an extended concentration range, with prediction and calibration errors within an acceptable range of 3 times the value of their respective parameter for model validation.

Conclusions: The application of regression models can be a quick alternative to estimate BOD and COD values.

KEYWORDS: Regression models. Univariate calibration. Multivariate calibration. PLS. Fluorescence. UV-Vis, Sanitary sewers.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade e a eficiência do tratamento de esgotos sanitários é um tema importante e cada vez mais relevante, especialmente em um contexto de crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e a sustentabilidade dos recursos naturais (EPA, 2012). Dentre os principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade dos esgotos estão a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) (CONAMA, 2005). Ambos os métodos medem a quantidade de matéria oxidável e são utilizados para avaliar a quantidade de poluentes orgânicos presentes na água e em esgotos, incluindo matéria fecal, produtos químicos industriais e outros compostos orgânicos. A partir da medição desses parâmetros, é possível identificar o grau de contaminação do meio e determinar a necessidade de tratamento para garantir sua qualidade e segurança do esgoto tratado (METCALF; EDDY, 2004).

A DBO é uma medida da quantidade da matéria orgânica biodegradável presente em corpos hídricos através do consumo de oxigênio por microrganismos em um período de incubação. Por sua vez, a DQO mede a quantidade de oxigênio necessário para oxidar completamente a matéria orgânica biodegradável e não biodegradável através de uma reação química com um agente oxidante forte, como o dicromato de potássio ou permanganato de potássio (APHA, 2017). Valores altos de DQO indicam maior quantidade de matéria orgânica, mas não necessariamente indicam poluição, uma vez que a matéria orgânica pode ser de origem natural (VANLOON; DUFFY, 2017). A DBO é um indicador mais específico da poluição por matéria orgânica biodegradável, enquanto a DQO é um indicador maior geral da quantidade total de matéria orgânica ou inorgânica presente no meio. Ambos os parâmetros são importantes para avaliar a qualidade da água e dos esgotos e podem ser usados em conjunto para fornecer uma apresentação mais completa da qualidade da água ou esgoto (METCALF; EDDY, 2004).

No entanto, a determinação desses parâmetros é árduo e requer métodos precisos e confiáveis. Contudo, a análise de DQO pelo método titulométrico e a análise de DBO pelo método de incubação por 5 (cinco) dias, possuem algumas limitações como o longo tempo de análise, o uso de muitos materiais laboratoriais, o consumo de reagentes tóxicos, a imprecisão seja pela presença de interferentes, contaminações ou pela manipulação incorreta do analista, entre outros (SATYANARAYANA; RAO, 2016). Em contrapartida, as técnicas espectroscópicas apresentam várias vantagens em relação aos métodos tradicionais de DBO e DQO em termos de tempo de análise, pois eliminam a necessidade do tempo de incubação de cada amostra a ser analisada, requerem pouco ou nenhum preparo da amostra, não utilizam reagentes e consomem baixo volume amostral. Dentre essas técnicas existem a espectrofotometria de absorção molecular na região do ultravioleta-visível (UV-Vis) e a espectroscopia de emissão de fluorescência (STUCKEY; HERCKES, 2015). Através dessas duas técnicas é possível estudar a presença de compostos orgânicos em esgotos e utilizá-las para determinar alguns parâmetros de qualidade como a DBO e a DQO. Porém, as informações adquiridas por essas técnicas, necessitam da aplicação de métodos matemáticos e estatísticos para a análise dos dados químicos, sendo assim se faz necessário aplicação de ferramentas da quimiometria para a melhoria dessa abordagem, visto que são amplamente utilizadas em áreas como a química analítica, a química farmacêutica, ambiental e inclusive a engenharia química (BRERETON, 2003). Portanto nesse trabalho apresentou-se dois modelos regressão modelos quantitativos para estimar DBO e DQO de esgotos, os modelos univariados e multivariados. Os Modelos univariados podem ser desenvolvidos usando a correlação entre duas variáveis, como a DBO ou DQO com a absorção em um único comprimento de onda. Por outro lado, os modelos multivariados podem ser construídos usando uma faixa de absorção no UV-Vis ou a emissão de fluorescência (SAEEDI *et al*, 2012) (GHARBANI *et al*, 2019). Portanto, o presente trabalho tem como objetivo analisar e avaliar os parâmetros de DBO e DQO em esgotos sanitários utilizando a quimiometria aplicados a modelos

univariados e multivariados associado a técnicas espectroscópicas, podendo analisar um elevado número de amostras em um curto espaço de tempo, desta forma contribuindo para o tratamento esgotos e minimizando possíveis impactos ambientais.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1. Esgotos sanitários

Esgotos sanitários urbanos são resíduos líquidos provenientes das atividades humanas que envolvem o uso de água, como banho, lavagem de roupas, descarga de vasos sanitários e outras atividades domésticas (ABNT, 1993). Os esgotos sanitários de maneira geral possuem mais de 98% de água presente na sua composição. Possuem de maneira notável em sua composição, nutrientes, metais, compostos orgânicos, sólidos suspensos, inertes e grosseiros além de organismos patogênicos e de maneira anômala por fontes acidentais contaminantes tóxicos (DULEKGURGEN *et al*, 2006). Esses resíduos podem ser prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública se não forem tratados adequadamente antes de serem descartados no ambiente natural, como rios, lagos ou oceanos (VON SPERLING, 2005).

Em plantas convencionais de tratamento de esgotos sanitários bruto, tem-se processos como o gradeamento, é usado para remoção de grandes sólidos, como sacos, papéis. Operações como desarenação, tratamento para remoção de sólidos suspensos e materiais sedimentáveis, processos biológicos com lodo ativado, filtros biológicos, lagoas estabilização e reatores anaeróbicos. Esses processos já reduzem de maneira drástica essa carga orgânica presente no esgoto. E o processo pode ser complementado com uma desinfecção para eliminar ou inativar agente patogênicos (VESILIND *et al*, 2013)

Essas cargas orgânicas são em sua maioria matéria orgânica dissolvida que são solúveis em água como açúcares, amido, e compostos fenólicos. Materiais particulados que podem conter restos de alimentos, fibras, fezes, entre outros. Pode conter também a presença de gorduras e óleos de origem animal, vegetal ou mineral e outros lipídios, além de bactérias, vírus, fungos os outros resíduos biológicos presentes nas fezes humanos e resíduos biológicos (HE *et al*, 2019) (WU *et al*, 2017).

2.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBO, ou Demanda Bioquímica de Oxigênio, é um parâmetro utilizado para avaliar a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos aeróbicos na decomposição de matéria orgânica em amostras de água ou esgotos. Essa medida é importante para determinar a carga orgânica presente em efluentes líquidos, sendo expressa em miligramas de oxigênio consumidos por litro de amostra durante um período específico. A DBO é um indicador fundamental para o controle da poluição hídrica e o planejamento de tratamento de esgotos, permitindo monitorar a qualidade da água e garantir a preservação dos ecossistemas aquáticos (METCALF; EDDY, 2004).

2.3. Demanda Química de Oxigênio

DQO, ou Demanda Química de Oxigênio, é um parâmetro utilizado para medir a quantidade total de matéria orgânica e inorgânica oxidável em uma amostra de água ou esgoto. A DQO avalia a demanda de oxigênio por meio de reações químicas que oxidam a matéria orgânica e inorgânica

presentes, fornecendo uma estimativa mais rápida e abrangente da carga poluente (APHA, 2017). A DQO é amplamente utilizada no controle da qualidade da água, planejamento de tratamento de esgotos e monitoramento ambiental, permitindo uma avaliação rápida da carga de poluentes e o desenvolvimento de estratégias eficazes de tratamento e prevenção da poluição (LIU *et al*, 2020).

2.4. Técnicas espectroscópicas

A espectroscopia de emissão de fluorescência é baseada na capacidade de algumas substâncias absorverem luz em comprimentos de onda específicos e, em seguida, emitirem luz em comprimentos de onda mais longos (LAKOWICZ, 2006). Esse fenômeno é chamado de fluorescência e ocorre quando os elétrons em uma molécula, como compostos orgânicos, são excitados para níveis de energia mais altos pela absorção de fótons. Quando esses elétrons retornam ao seu estado fundamental, eles emitem fótons de luz com comprimentos de onda mais longos. A análise da fluorescência permite a identificação de compostos, a quantificação de substâncias em solução e a investigação de interações moleculares (LAKOWICZ, 2006) (SKOOG *et al*, 2017).

A espectroscopia UV-Vis envolve a absorção de radiação eletromagnética na região do ultravioleta e do visível. Essa técnica é amplamente utilizada para determinar a concentração de substâncias em solução, pois muitas substâncias absorvem luz em comprimentos de onda específicos na faixa UV-Vis. A quantidade de luz absorvida é proporcional à concentração da substância presente na solução. A espectroscopia UV-Vis também pode ser usada para determinar a estrutura eletrônica de compostos e investigar reações químicas (SKOOG *et al*, 2017).

Essas técnicas medem diretamente as propriedades óticas da amostra como a absorção e a emissão de luz. A absorção no UV-Vis ocorre quando os elétrons das moléculas saltam para níveis mais elevados de energia após a absorção de luz na faixa de 200 nm a 800 nm (HARRIS, 2010). A absorção no UV-Vis tem sido muito utilizada na literatura para estudar os diversos compostos orgânicos presentes na água. A absorção no comprimento de onda de 254 nm, por exemplo, é uma forte indicação da presença de compostos aromáticos simples derivados de benzeno, podendo ser de fontes como produtos de limpeza e solventes (MATSCHE; STUMWOEHRER, 1996).

2.5. Quimiometria

A quimiometria é o ramo da ciência que combina um conjunto de métodos apropriados para a obtenção de informações significativas, usando como referência os problemas químicos, e um conjunto de dados. Ela se baseia na aplicação de métodos estatísticos para extrair informações de grandes conjuntos de dados, permitindo a identificação de padrões, relações e tendência nos dados (FERREIRA, 2015). A quimiometria também é utilizada na construção de modelos que podem ser usados para prever propriedades e comportamentos químicos em diferentes condições experimentais como os modelos univariados e os modelos multivariados (ARAÚJO; FERREIRA, 2003).

Os modelos univariados são utilizados para relacionar uma variável de interesse com uma única variável explicativa. Esses modelos fornecem uma descrição simplificada da relação entre as variáveis, permitindo a previsão ou estimativa de valores desconhecidos com base em seus padrões observados (BRERETON, 2003).

Os modelos multivariados na quimiometria são ferramentas que permitem analisar conjuntos complexos de dados químicos, nos quais múltiplas variáveis estão inter-relacionadas. Esses modelos são capazes de extrair informações relevantes, identificar padrões, realizar análises de agrupamento e classificação, bem como prever propriedades ou comportamentos químicos o qual fornecem uma

abordagem abrangente para a interpretação e exploração de dados químicos complexos, sendo muito útil principalmente quando há uma grande quantidade de variáveis independentes correlacionadas e o objetivo é estabelecer uma relação entre essas variáveis e uma variável independente. Dentre os métodos multivariados está a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS, do inglês, *Partial Least Squares*). O PLS é um método de regressão multivariada que busca estabelecer uma relação linear entre um conjunto de variáveis espectrais e uma variável de resposta de interesse (DBO ou DQO). Ele é especialmente eficiente quando aplicado a dados com a alta dimensionalidade, visto que a espectroscopia gera dados com um grande número de variáveis que são muito informativas sobre cada amostra analisada, mas geram um desafio imenso que é a alta dimensionalidade dos dados (FERREIRA, 2015). O PLS pode identificar as combinações lineares de variáveis espectrais, realizando uma decomposição do espaço de dados original em componentes latentes que maximizam a covariância com a variável dependente, permitindo uma modelagem robusta e eficiente das relações complexas entre os conjuntos de dados (GELADI; KOWALSKI, 1986).

Para facilitar a análise de dados, a transformação logarítmica é uma técnica frequentemente utilizada em análises estatísticas para normalizar dados que possuem uma distribuição assimétrica ou apresentam uma ampla variação (DIAS; AGUIAR, 2011)

3. METODOLOGIA

3.1. Amostragem

Neste trabalho foram utilizadas 120 amostras de esgotos sanitários tratados (EST) e 120 amostras de esgotos sanitários brutos (ESB). As amostras foram coletadas em diversas ETE's e corpos receptores localizados na região metropolitana da Grande Vitória-ES, durante o ano de 2022. Todas as amostras coletadas estão em concordância com as diretrizes estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na NBR 9898 (ABNT, 1987), para quaisquer parâmetros incorporados no presente artigo.

3.2. Análise de DBO

A análise de DBO foi realizada em concordância com o método padrão 5210 B descrito pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (SMEWW). Foi previamente preparado algumas soluções antes realização análise tais como: uma solução tampão fosfato, sulfato de magnésio 22,5g/L, cloreto de cálcio 27,5g/L, cloreto férrico 0,25g/L, solução alcalina e ácida, ambas com concentração de 0,1N, solução sulfito de sódio 1,5g/L, inibidor de nitrificação 2g/L, semente, solução padrão para oxigênio zero dissolvido 6%. Imediatamente antes da utilização foi preparada a água de diluição com as soluções previamente estabelecidas, com um tempo de oxigenação de no mínimo 30 (trinta) minutos por solução preparada. (APHA, 2017)

Previamente foram aclimatadas todas as amostras para $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$. Para cada amostra foi conferido o pH, sendo feito o ajuste caso necessário para a faixa de 6,5 e 7,5. Foi adicionada ao frasco uma quantidade recomendada de semente de acordo com o fornecedor, assim como um controle para a DBO da semente (sendo $F = \%$ da semente na amostra/ $\%$ da semente no controle), adicionando o inibidor de nitrificação. Então foi medido OD (oxigênio dissolvido) inicial da amostra utilizando um oxímetro. Sabe-se que o valor de DQO é maior que o de DBO, e então o utilizando como referência para a porcentagem de amostra na diluição, foram feitas no mínimo duas diluições de cada amostra para que se obtenha um OD (oxigênio dissolvido) residual $\geq 1,0$ mg/L e uma captação $> 2,0$ mg/L de

O₂, após o período de incubação da amostra por 5 (cinco) dias em temperatura controlada em 20°C ± 1°. Finalizada o tempo de incubação, foram feitas novas leituras para cada amostra do OD, e então determinado a DBO₅ conforme a equação 1 (APHA, 2017).

$$DBO = \frac{[(ODi-ODf)-(ODisem-ODfsem)]*F}{\text{Fração Volumétrica da amostra}} \quad \text{Eq. 1}$$

3.3. Análise de DQO

Para a análise, seguiu-se a metodologia padrão do SMEWW 5220 C. Foram preparadas soluções de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) 0,25N dissolvendo a quantidade apropriada de água destilada. De maneira análoga também foi feita uma solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 1N. Depois, 10 ml de ácido sulfúrico foram pipetados na amostra (A), em seguida essa solução foi levada a um bloco digestor por 2 horas a 150°C, para que toda parte orgânica presente fosse oxidada. Após a digestão a amostra foi resfriada até temperatura ambiente para que seja adicionada fenoltaleína a fim de verificar se a digestão foi completa. Em seguida, adicionou-se a solução do dicromato de potássio até que a solução mudasse de laranja para verde. Foi necessário que também fosse feito um branco (B) para verificar a oxidação do reagente (APHA 2017). Com esses dados adquiridos, o valor de DQO pode ser calculado conforme a equação 2.

$$DQO = \frac{(B-A)*F*8000}{\text{Volume de amostra}} \quad \text{Eq. 2}$$

3.4. Aquisição de espectros

Os dados referentes a fluorescência e UV-vis foram adquiridos utilizando o espectrômetro de marca Horiba, modelo Aqualog. As amostras que possuem partículas sólidas ou outros materiais indesejados foram filtradas e logo após foram transferidas para cubetas de quartzo. O Equipamento necessita de um tempo de aquecimento e estabilização de aproximadamente 30 minutos, tempo necessário para garantir estabilização da ótica e instrumentos internos. Então através do programa de utilização do equipamento, foram configurados os comprimentos de onda de excitação em 200 a 800 nm e emissão em 250 a 800 nm, para a medição de fluorescência, e comprimentos de onda de 200 a 800 nm de absorção para medição do UV-Vis. Diversos comprimentos de onda de excitação foram utilizados para a aquisição, mas apenas a excitação em 290 nm foi utilizada na construção dos modelos, aqui nomeada FLC290. Todos os tratamentos de espalhamento de luz, efeito de filtro interno e correções de linha de base foram executados no software do Aqualog (HORIBA SCIENTIFIC, 2013).

3.5. 3.5 Construção dos modelos

Após a aquisição dos valores de DBO, DQO e dos espectros, os dados foram organizados no software excel. Os valores de DBO e DQO de EST e ESB foram organizados em vetores colunas, aqui nomeados yDBO e yDQO. Já os valores de absorção no UV-Vis e de fluorescência com excitação em 290 nm foram organizados em vetores linha (para cada amostra), formando uma matriz amostral de absorção XUV e de fluorescência XFLC290 (FERREIRA, 2015). Os valores de absorção em 254 nm foram organizados em um vetor coluna (XUV254). O Software Matlab R2013a foi utilizado para a construção dos modelos. Para a construção dos modelos univariados, foram utilizados o vetor XUV254 em conjunto dos vetores yDBO e yDQO. Utilizando a função polyfit disponível no matlab, foram calculados o coeficiente de determinação (R^2) e a raiz quadrada do erro médio (RMSE) conforme as equações 3 e 4, respectivamente (HU, 2020). Nelas, y_i é o valor de referência, \hat{y}_i é o valor previsto pelo modelo, \bar{y}_i é o valor médio de referência, n é o número de amostras usadas. Ao

final, foram criados 6 modelos univariados: Uni_DBO_EST, Uni_DQO_EST, Uni_DBO_ESB, Uni_DQO_ESB, e a combinação de EST+ESB, obtemos os modelos de Uni_DBO_EST_ESB e Uni_DQO_EST_ESB,

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{Eq. 3}$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad \text{Eq. 4}$$

Os modelos PLS foram desenvolvidos a partir dos dados XUV e de XFLC290 tanto com yDBO e yDQO (MASSART *et al.*, 2000). Primeiramente, as amostras foram divididas em conjuntos de calibração (Xcal e ycal) e validação (Xtest e ytest). Os espectros de XUV XFLC290 foram pré-tratados com a variação normal padrão (SNV, do inglês, *standard normal variate*), conforme a equação 5, na qual X_{ij} são o valor de XUV ou XFLC290 para cada amostra, \bar{X}_i , é o valor médio da linha da amostra e σ_i , é o desvio padrão da linha da amostra. Os modelos PLS foram construídos usando Xcal e ycal, e otimizados usando a validação cruzada, na qual um número ótimo de variáveis latentes (VL) foi escolhido para cada modelo (FERREIRA, 2015). Após, as amostras de calibração foram aplicadas às de validação para calcular os coeficientes de determinação, e os erros de calibração (RMSEC) pela equação 6 e de validação (RMSEP) pela equação 7. Nelas, ncal é o número de amostras usadas na calibração, LV é o número de variáveis latentes e npred é o número de amostras de validação (FERREIRA, 2015). Também foi testada a equação 8 nos dados de DBO e DQO a fim de ajustar a distribuição dos dados, na qual y_p é o valor de DBO ou DQO padronizado. Os modelos cujos dados foram tratados com logaritmo possuem resultados adimensionais.

$$X_{ij(snv)} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad \text{Eq. 5}$$

$$RMSEC = \sqrt{\sum_{i=1}^{ncal} \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{ncal - LV - 1}} \quad \text{Eq. 6}$$

$$RMSEP = \sqrt{\sum_{i=1}^{npred} \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{npred}} \quad \text{Eq. 7}$$

$$y_p = \log(\log(y_i + 1.1)) \quad \text{Eq. 8}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DBO e DQO

Em termos gerais, é importante ressaltar que os valores de DBO e DQO podem apresentar variações significativas, podendo alcançar magnitudes da ordem das centenas em relação à sua unidade de medida padrão. A figura 1 mostra a distribuição dos valores de DBO de EST (a), DQO de

EST (b), DBO de ESB (c) e DQO de ESB (d). Podemos observar que a faixa de distribuição dos valores de DBO foram sempre inferiores aos de DQO, conforme dito anteriormente.

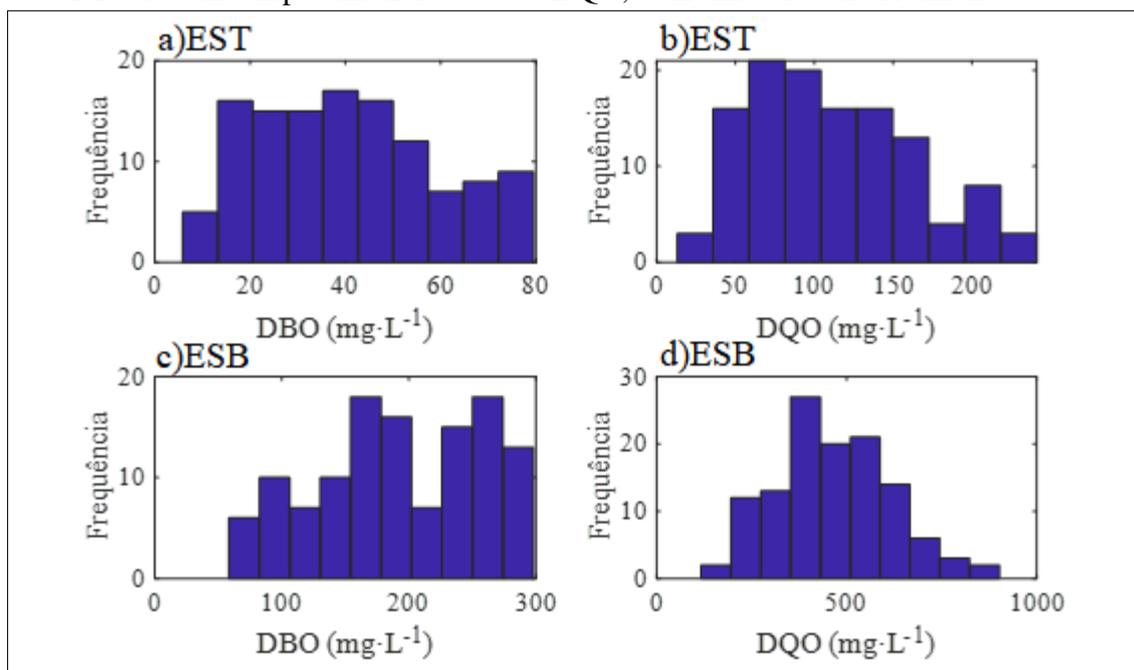


Figura 1: Distribuição das concentrações das amostras (Do autor)

Nesse sentido, ao considerarmos a DBO e a DQO do EST foi possível observar uma faixa de valores baixa, com as concentrações de DBO e DQO com seus máximos em torno de 80mg.L⁻¹ e 250mg.L⁻¹, respectivamente durante a coleta de dados. Essa redução na carga orgânica pode ser atribuída aos diversos tratamentos aplicados ao esgoto sanitário, os quais visam remover substâncias poluentes e impurezas segundo Ghosh (2015). Por outro lado, ao analisarmos a DBO e a DQO das amostras de ESB, que não passaram por nenhum tipo de tratamento, é comum encontrarmos valores mais elevados durante o processo de aquisição de dados. Isso ocorre devido à ausência de qualquer tratamento prévio, o que resulta em uma maior concentração de compostos orgânicos e poluentes na matriz do esgoto (VON SPERLING,1996).

4.2. Modelos univariados – UV-254

Para a quantificação de poluição provinda de fontes orgânicas, a absorção pelo UV em $\lambda = 254$ nm, é utilizada em muitas plantas de tratamento de esgotos- (MATSCHÉ; STUMWOEHRER, 1996). Portanto, para que a probabilidade de encontrar dados significativos a respeito de cada a amostra analisada, utilizou-se esse comprimento de onda e criou-se os modelos de calibração univariada para a determinação dos parâmetros e os resultados obtidos seguem como mostrado na tabela 1.

Modelos Univariados - UV254			
Parâmetro	Matriz	R ²	RMSE
DQO	EST	0,1636	0,2448
	ESB	0,2459	0,2177
	EST+ESB	0,4349	0,2306
DBO	EST	0,1615	0,1907
	ESB	0,1864	0,2097
	EST+ESB	0,4014	0,1996

Tabela 1. Resultados dos modelos de regressão univariados. (Do Autor)

Ao analisar os resultados dos modelos, foi possível notar a presença de um coeficiente linear baixo com valores próximos a 0,4, com valores ideais acima de 0,8. O coeficiente linear é uma medida que reflete a relação direta entre o valor experimentalmente analisado e os dados obtidos através do espectrômetro. Portanto, quando o coeficiente linear apresenta um valor baixo, isso sugere que o modelo univariado em questão pode não ser eficiente para atender à finalidade desejada. Essa baixa eficiência pode ser atribuída à inadequação da relação estabelecida entre os valores experimentais e os dados espectroscópicos, o que compromete a capacidade do modelo em fornecer resultados precisos e confiáveis para a aplicação específica em questão (NELLER; LLEWELLYN, 2012).

Dessa forma, nota-se que o crescimento no coeficiente linear, em que se pode notar uma melhoria em valores próximos a 0,2 foram para valores acima de 0,4, quando consideramos a combinação de ambas as matrizes (EST e ESB). Esses dados, ao serem combinados, conseguem preencher as lacunas e complementar as deficiências existentes em cada um deles individualmente. Assim, a união desses modelos proporciona uma análise mais abrangente e precisa dos dados, levando em consideração as características específicas de cada matriz e fornecendo informações mais completas sobre a qualidade e o tratamento do esgoto sanitário (SAVORANI *et al*, 2010).

A figura 2 mostra os gráficos dos modelos de regressão univariados. Podemos observar que os valores estimados pelos modelos a partir das absorvâncias no UV254 (amostras em vermelho) se distribuem linearmente frente aos valores reais determinados experimentalmente (amostras em azul). Contudo, percebe-se uma tendência dos valores em relação à amplitude das absorvâncias. Ou seja, os valores estimados pelos modelos estão limitados à uma pequena faixa. Apesar do UV254 estar correlacionado à presença de matéria orgânica, que por sua vez pode ser correlacionada à DBO, itens (a) e (c) e DQO, itens (b) e (d) da figura 2, apenas um valor de absorvância pode não ser suficiente para descrever a complexidade do sistema que é uma amostra de esgoto. Isso por ajudar a explicar o porquê os modelos univariados em sua maioria não demonstraram resultados satisfatórios para estimar DBO e DQO.

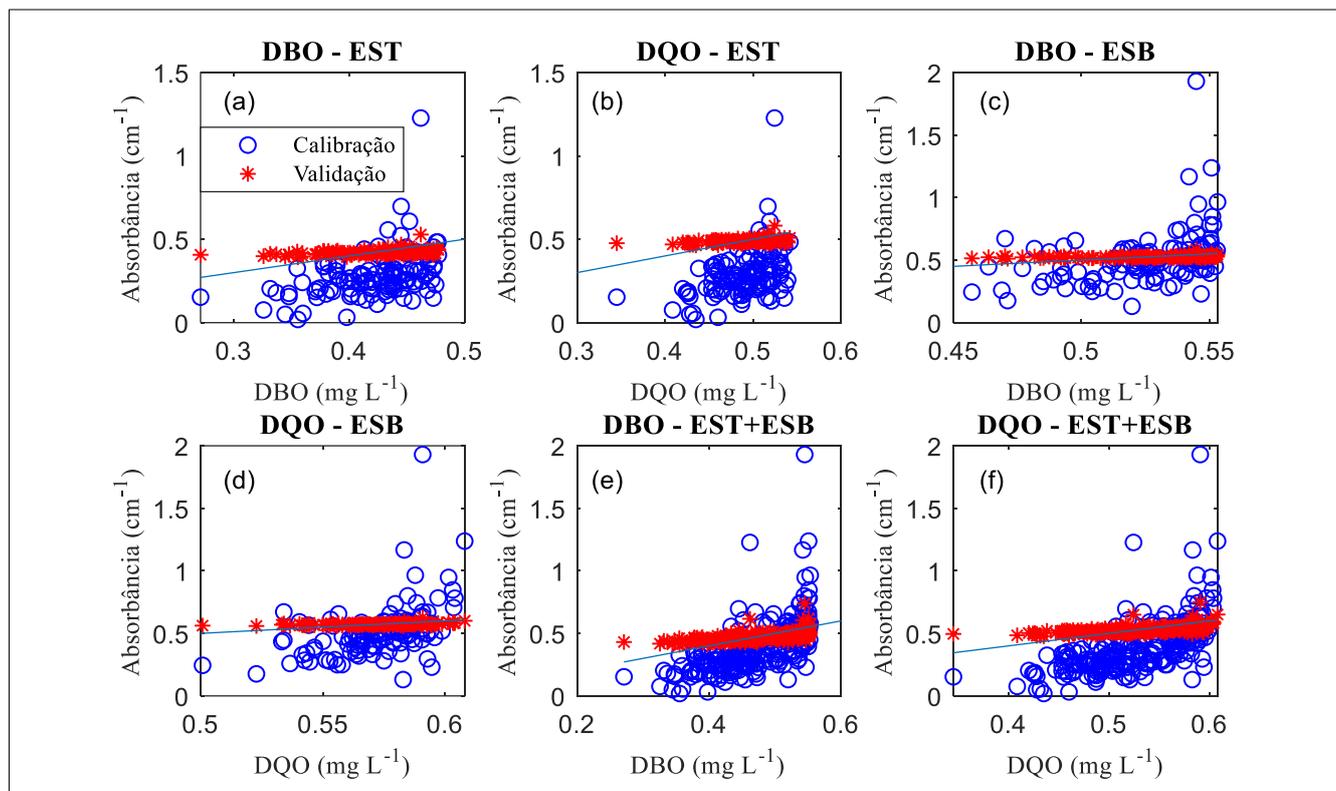


Figura 2: Modelos de calibração univariada – UV 254

No artigo de Kwak *et al* (2012), foram desenvolvidos modelos de calibração univariada utilizando o UV 254, de maneira que os resultados alcançados para DBO conseguiram valores elevados do R^2 , mas o modelo foi formulado utilizando apenas 23 amostras, sendo assim, alcançar maiores coeficientes lineares torna-se mais fácil, devido à baixa representatividade que ele apresenta. Ainda assim o UV 254, foi passível de criação de modelos, não univariados, mas associados a outras técnicas, com outros comprimentos de onda de absorção e métricas de fluorescência ou carbono orgânico dissolvido.

Para BARI (1984), a quimiometria aplicada a modelos univariados utilizando do UV-Vis, não se mostrou promissora quando aplicada a um volume alto de amostra em calibração, com maior R^2 de 0,19 para DBO e 0,10 para DQO, e discutiu-se sobre a carência de informações que apenas um comprimento de onda oferece pouca informação de amostras de esgoto que devido a sua alta carga, contém múltiplas substâncias em sua composição.

4.3. Modelos PLS-UV-Vis

Os modelos de PLS, em geral, possuem a expectativa de produzir resultados superiores. Isso se deve combinação dos dados originais com as informações sobre a propriedade de interesse que é incorporado na construção dos modelos, desde que sejam definidas corretamente as variáveis latentes (VLs) dos mesmos (FERREIRA, 2015). Essa integração de informações adicionais permite uma melhor compreensão da relação entre as variáveis independentes e a variável dependente, resultando em uma modelagem mais precisa e acurada. As VLs do modelo PLS fornecem uma representação compacta e eficiente das informações relevantes, possibilitando a consideração de múltiplos aspectos e características dos dados.

Os PLS usando UV-vis, foram criados utilizando 116 valores de absorção na faixa de comprimentos de 200 a 800 nm. Foram criados modelos PLS para DBO e DQO tanto para EST quanto para ESB. Além disso, novamente a fusão de EST e ESB foi testada. A Tabela 2 fornece os resultados de todos os modelos. O modelo PLS para DBO de EST apresentou o coeficiente linear de predição (R^2_p) igual a 0,5221 os erros de calibração e validação se mantendo a valores próximos e coerentes entre si. O mesmo pode ser observado aos resultados obtidos pelo modelo de DQO de ESB. Contudo, os modelos de DBO e DQO de EST obtiveram ajuste linear insatisfatório. Quando aplicado o log como feito no modelo de DQO de EST, consegue-se padronizar as amostras, para que os valores obtidos experimentalmente possam ser distribuídos similarmente a distribuição normal. Por meio dessa transformação foi possível reduzir a assimetria dos dados, tornando-os mais simétricos e aproximadamente seguindo uma distribuição normal. No contexto do modelo de DQO de EST, a aplicação do logaritmo nos valores experimentais tem o objetivo de lidar com possíveis desvios de normalidade e garantir que os dados estejam adequados para análises estatísticas subsequentes.

Os modelos em que as matrizes (ESB+EST) foram combinadas geraram melhores resultados, em destaque para o PLS de DBO, apresentando R^2_p igual a 0,5482 e erros compatíveis entre si. Resultados para as análises de DBO e DQO, como possuem variações em resultados na casa das centenas, os altos valores da raiz quadrados do erro-médio de calibração (RMSEC) e a raiz quadrada do erro-médio de predição (RMSEP), não representam de fato que o modelo criado esteja ruim para a predição de futuras amostras. Percebe-se que ao combinar os valores de EST e ESB, o número de amostras consegue elevar as métricas dos modelos, uma vez que a distribuição dos dados se complementa. O maior problema foi que a absorção no UV-Vis não foi capaz de gerar modelos robustos. A regressão PLS consegue modelar variáveis correlacionadas, mas muitas delas podem influenciar nos resultados e pelo fato da espectrofotometria no UV-Vis é uma técnica de característica contínua, pode ser que a modelagem de dados brutos não seja suficiente (GELADI; KOWALSKI, 1986).

Modelos PLS - UV-Vis								
Parâmetro	Matriz	Variáveis	Pré-tratamento	VL	R ² c	R ² p	RMSEC	RMSEP
DQO	ESB	116	SNV	9	0,5329	0,4334	113,7204	109,4198
	EST			5	0,3102	0,1172	0,0364	0,0373
	ESB+EST			11	0,7177	0,5032	122,8612	128,2301
DBO	ESB			9	0,6191	0,5221	41,7970	44,7325
	EST			8	0,2072	0,2371	17,5801	16,1278
	ESB+EST			11	0,7426	0,5482	49,9272	52,8734

Tabela 2. Resultados dos modelos de regressão PLS usando UV-vis. (Do Autor)

Tomando como referência a figura 3 pode-se notar que para os modelos individuais (a) e (b), de fato, não possuem uma distribuição das concentrações adequadas na calibração, e portanto podem gerar resultados tendenciosos como indicado pela alta concentração e uma reta tendenciosamente continua ao centro do gráfico como em (a) e, pelo aglomerado em uma região pequena como em (b). Para ESB, como em (c) e (d), pelo fato de não possuir tratamento para remoção de DBO ou DQO, conseguiu-se modelos melhores devido ao fato de possuir uma distribuição melhor de concentração na calibração, fato esse refletido na tabela 2, com coeficiente linear de calibração (R^2_c) mais elevados em relação ao EST, mas ainda atuando somente para valores mais altos, ficando em deficit para valores de DBO e DQO inferiores. Para os modelos combinados, descritos em (e) e (f) conseguiu-se uma distribuição melhor de concentrações na calibração do modelo, pois as matrizes se complementaram, atuando de forma a melhorar a predição do modelo.

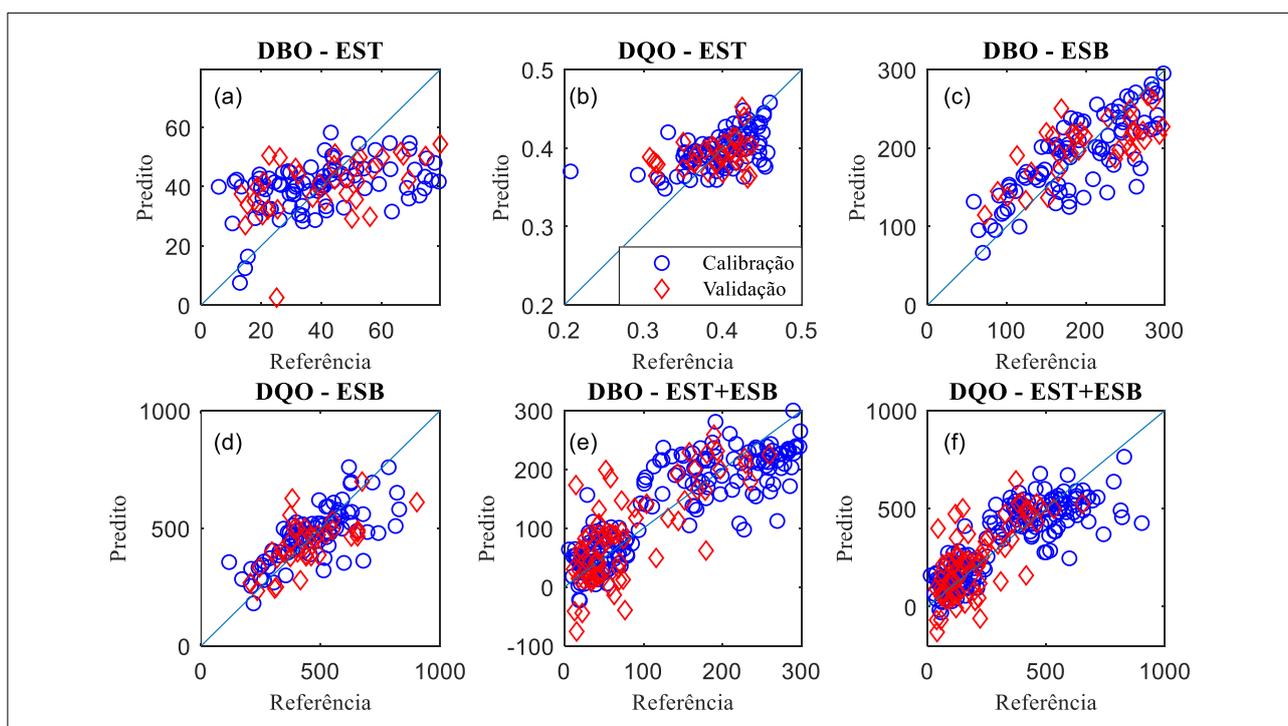


Figura 3: Modelos de calibração multivariada PLS-UV-vis (Do autor)

No estudo de Carré *et al* (2017), obteve-se modelos com altos coeficientes lineares de calibração e predição, 0,844 e 0,801 respectivamente, utilizando o PLS-UV-vis, focado na análise de DQO, mas utilizando apenas uma pequena parcela representativa de amostras reais, complementando a sua calibração com amostras artificiais, que de fato podem ser utilizadas em conjuntos específicos de amostras, mas sem representação geral para quaisquer outras amostras fora desse conjunto, sendo assim, o modelo do presente artigo, mesmo com métricas mais baixas em relação ao citado, utiliza parâmetros que conferem-lhe mais robustez.

O desvio aceitável em relação as concentrações das amostras utilizadas poderiam ser reduzidas, podendo melhorar o ajuste linear do modelo, mas, tornando-o mais tendencioso. No geral, o UV-vis pode ter muitas variáveis correlacionadas, sendo muitas delas pouco informativas, podendo então gerar uma baixa eficiência desse modelo PLS (FEARN, 2002).

LI *et al* (2020) utilizou a espectroscopia UV-Vis para uma alternativa para avaliar a DQO em esgoto como um facilitador para o tratamento de esgoto, alcançando resultados R^2 de calibração e validação 0,949 e 0,945 respectivamente utilizando-se de 40 amostras, o mesmo conclui que os

modelos podem ser utilizados de maneira efetiva, os modelos do mesmo foram feitos em cima de um mesmo local de coleta, concentrando assim a composição média das amostras.

CHEVAKIDAGARN (2006) desenvolveu modelo para estimar DBO, alcançou R^2 de calibração e predição respectivamente de 0,97 e 0,96, o estudo concluiu que o modelo é aplicável, mas, os modelos em que se aplica a locais únicos, o mesmo testou para várias locais de amostragem em um mesmo modelo, mas não foi possível construir modelos aplicáveis.

4.4. Modelos PLS-Fluorescência com excitação em 290 nm

Em muitos estudos de qualidade de águas e águas residuais, em que foi usado a fluorescência como fonte de dados, foi identificado como uma região com uma alta probabilidade de se obter dados concisos e em alto volume, caso a emissão seja feita em 290 nm (Khan *et al*,2021). A fluorescência em 290 nm apresenta vantagens significativas na estimativa da DBO e DQO em esgotos. Essa técnica oferece uma abordagem rápida, sensível e econômica, permitindo a avaliação direta da matéria orgânica presente na amostra. Além disso, a fluorescência em 290 nm foi menos suscetível a interferências de outros compostos inorgânicos, sendo capaz de fornecer estimativas confiáveis de DBO e DQO, permitindo monitoramento eficiente da qualidade da água e controle de processos em sistemas de tratamento de esgotos. Portanto a partir dessa coleta de dados, foram criados os modelos PLS com objetivo semelhante aos anteriormente descritos e foram obtidos os resultados dispostos na tabela 3. A figura 4 também traz os gráficos dos modelos PLS comparando as amostras de calibração com as de validação. Os modelos de PLS para DBO de EST e ESB apresentaram ajuste linear elevado frente aos modelos de DQO de EST e ESB. Isso indica que os dados de DQO estão pouco correlacionados aos dados de fluorescência. Porém, a combinação de ambos os esgotos gerou os melhores modelos tanto para DQO quanto para DBO. Nesses casos, a utilização de logaritmo foi fundamental para melhorar a adequação dos dados. A fluorescência é um método mais sensível que a absorção no UV-Vis e por isso pode gerar modelos com resultados superiores. Reynolds (2002) utilizou a fluorescência 2D para criar modelos de regressão capazes de estimar DBO e DQO em esgotos. Os modelos apresentaram coeficientes R^2 elevados, variando de 0,79 a 0,91. Contudo, os modelos com amostras sintéticas parecem ter vantagem frente os modelos com amostras reais de esgotos por apresentarem ajuste linear mais elevado, uma vez que as amostras são menos dispersas. A fluorescência 2D foi adquirida no comprimento de onda de 280 nm, diferente do proposto do presente artigo que foi em 290 nm, com sinais mais relevantes em 350 nm e 400 nm. Além disso, a fluorescência é uma técnica que serve como impressão digital de compostos. Ou seja, a eficiência dos modelos pode ser explicada pela presença de determinados compostos nas amostras que foram utilizadas no artigo mencionado. Então, os modelos estão limitados à composição química específica daquelas amostras. A fluorescência 290 nm se mostrou promissora na construção de modelos de regressão. Porém, é possível que muita informação química não esteja sendo incluída para explicar o dinamismo da DBO e DQO em esgotos. Sendo assim, mais comprimentos de onda de emissão de fluorescência podem ser uma alternativa.

REYNOLDS *et al* (1997) em seu estudo sobre a aplicabilidade da fluorescência como substituta ao método de DBO₅, também encontrou resultados promissores, com coeficientes de correção de 0,94 restringindo o uso a 3 pontos de coleta e com características similares, demonstrando que a restrição a modelos de locais isolados pode gerar modelos aplicáveis de maneira mais rápida. BAKER (2004) utilizou um volume grande de amostras, sendo feito os modelos com 434 amostras de 62 locais de coleta, sem similaridade conhecida e conseguiu R^2 de 0,85, demonstrando a aplicabilidade do método para estimar a DBO, visto que o âmago da quimiometria é utilizar correlações entre os dados para gerem modelos aplicáveis.

Modelos PLS - FLC290								
Parâmetro	Matriz	Variáveis	Pré-tratamento	VL	R ² _c	R ² _p	RMSEC	RMSEP
DBO	ESB	92	SNV	10	0,8061	0,4523	0,0106	0,0157
	EST	92		6	0,3850	0,3461	0,0328	0,0298
	ESB+EST	111		8	0,7895	0,6884	0,0290	0,0317
DQO	ESB	92		8	0,6366	0,1708	0,0123	0,0193
	EST	92		6	0,5007	0,1371	0,0248	0,0289
	ESB+EST	111		6	0,7065	0,7269	0,0276	0,0592

Tabela 3. Resultados dos modelos de regressão PLS usando FLC290. (Do Autor)

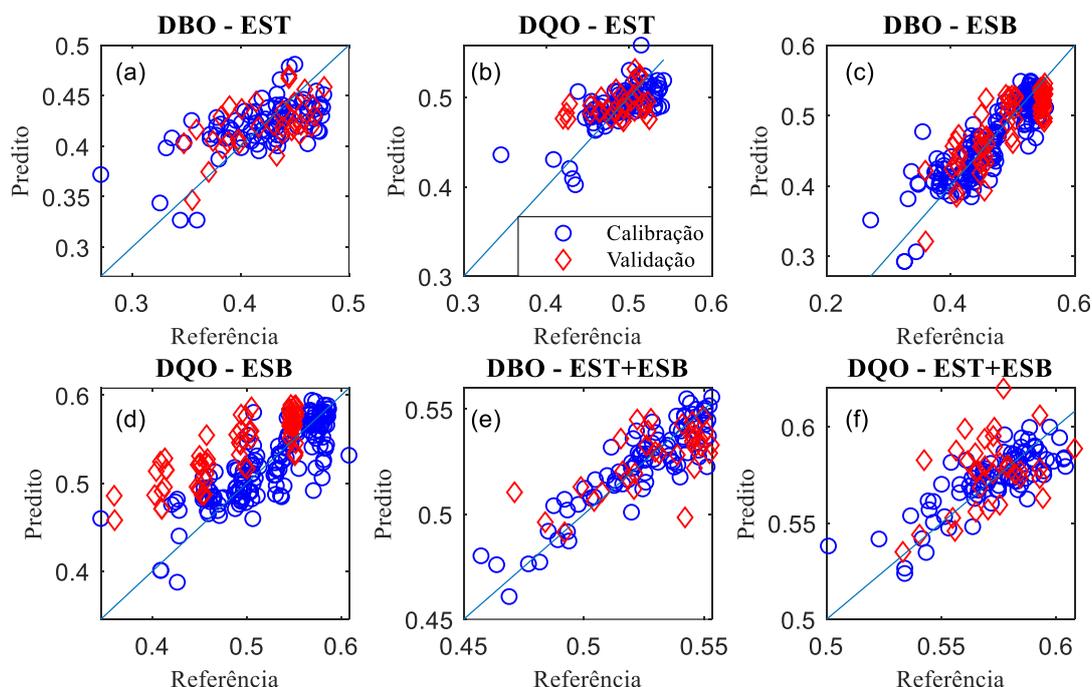


Figura 4: Modelos de calibração multivariada PLS-FLC290 (Do Autor).

5. CONCLUSÕES

Portanto, foi possível analisar os parâmetros de DBO e DQO através da quimiometria. Com os modelos univariados, com seu maior R^2 sendo alcançado pela DBO. Para os modelos PLS, o UV-Vis obteve-se R^2_c de 0,7426 e R^2_p de 0,5482 para a DBO, sendo esses modelos insatisfatórios para a aplicação prática dos modelos.

Mostrando-se mais promissoras e melhores resultados os modelos combinados FLC290, quando se referem a aplicabilidade, obtiveram resultados mais satisfatórios, com R^2_c de 0,7895 e 0,7065 e R^2_p de 0,6884 e 0,7269 para DBO e DQO respectivamente

A metodologia empregada nos modelos multivariados, no que se refere as combinações das matrizes para cada parâmetro, neste estudo demonstrou ser promissora para se obter uma maneira rápida de avaliar as concentrações de DBO e DQO, sem a necessidade de demandar oneroso tempo de análise ou o uso de reagente dispendiosos e nocivos.

No entanto, é importante ressaltar que o volume de amostras utilizadas neste estudo pode ter impactado os resultados. Um maior número de amostras pode fornecer uma base de dados mais robusta, aumentando a confiabilidade dos modelos e permitindo uma melhor generalização dos resultados. Portanto, este estudo contribuiu para o avanço do conhecimento na área de análises da qualidade de esgoto conferindo uma melhor eficiência das análises dos parâmetros de DBO e DQO.

Sendo assim, recomenda-se que pesquisas futuras considerem a utilização de um maior número de amostras, a fim de aperfeiçoar os modelos e se aproximar ainda mais da realidade dos métodos de análise convencionais.

REFERÊNCIAS

APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 23rd ed. Washington. 2017.

ARAÚJO, M. C. U., & FERREIRA, M. M. C. **Trends in chemometrics: Multivariate calibration applied to spectrophotometric determination of drugs in pharmaceutical formulations**. *Analytica Chimica Acta*, 488(2), 175-186, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7229:Projeto, construção e operação de tanques sépticos**, Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9898:Preservação e técnicas de amostragem de esgotos líquidos e corpos receptores**, Rio de Janeiro, 1987.

BAKER A., INVERARITY R. **Protein-like fluorescence intensity as a possible tool for determining river water quality**. *Hydrol Process* 2004;18(15):2927–45, 2004.

BRETERON, R. G. **Chemometrics:Data driven extraction for Science**.Wiley, New Jersey, 2003.

CARRÉ, E. PÉROT, J. JAUZEIN, V. LIN, L. LOPEZ-FERBER, M. **Estimation of water quality by UV/Vis spectrometry in the framework of treated wastewater reuse**. IWA Publishing, France, 2017.

CHEVAKIDAGARN, P. **BOD₅ Estimation by using UV absorption and COD for rapid industrial effluent monitoring**. EMA, 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

DIAS, J. C. M. e AGUIAR, P. F. **A Statistical Method for Acceptance of Crude Oil Viscositytemperature Curves**. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*. V 5. N. 1, Rio de Janeiro, 2011.

E. DULEKGURGEN, S. DOGRUEL, O. KARAHAN, D. ORHON. **Water Res.** **40**, 273, 2006.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (2012). **Guidelines for Water Reuse**. Disponível em: <https://www.epa.gov/waterreuse/guidelines-water-reuse>. Acesso em: 02 jun. 2023.

FEARN, T. **Assessing calibration model performance.** Journal of Chemometrics, 16(6), 321-329, 2002.

FERREIRA, Márcia Miguel Castro. **Quimiometria: Conceitos, Métodos e Aplicações.** Editora da Unicamp, São Paulo, 2015.

GELADI, P., & KOWALSKI, B. R. **Partial least-squares regression: a tutorial.** Analytica Chimica Acta, 185, 1-17, 1986.

GHARBANI, P., MOVAHEDIAN, H., AZIZI, A. **Developing a multivariate linear regression model to estimate BOD, COD, and TSS in urban wastewaters.** Environmental Science and Pollution Research, vol. 26, no. 18, pp. 18336-18346, 2019.

GHOSH, S. K. **Principles of biological wastewater treatment.** CRC Press (2015).

HARRIS, D. C. **Quantitative Chemical analysis. 8th Edition** W.H. Freeman & Company, New York, USA, 2010.

HE, Y., LI, S., WANG, S., WANG, X., & GAO, Y. **Characterization and seasonal variation of dissolved organic matter in wastewater treatment plant effluent and its impacts on disinfection by-products formation.** Science of the Total Environment, 650, 3178-3185, China, 2019.

HORIBA SCIENTIFIC. **Aqualog Operation Manual.** HORIBA SCIENTIFIC, 2013.

HU, SHUPENG. **Software Support for Quantitative Near-Infrared Analysis and Benchmarking of Chemometric Methods -A Case Study on Single Kernel Samples.** University of Manchester, England, 2020.

KHAN, M. F. S., AKBAR, M., WU, J., XU, Z., **A review on fluorescence spectroscopic analysis of water and wastewater.** Methods Appl. Fluoresc. 10, China, 2022.

KWAK, J., KHANG, B., KIM, E., KIM, H. **Estimation of Biochemical Oxygen Demand Based on Dissolved Organic Carbon, UV Absorption, and Fluorescence Measurements.** Hindwi Publishing Corporation. Republico of Korea, 2012.

LAKOWICZ, J. R. **Principles of Fluorescence** (3rd ed.). Springer, Maryland, USA, 2006.

LI P., QU J., HE Y., BO Z., PEI M. **Global calibration model of UV-Vis spectroscopy for COD estimation in the effluent of rural sewage treatment facilities.** Royal Society of Chemistry, 2020.

LIU L., JIA P., HAN J., LICHTFOUSE E. **The underground industry of wastewater adulteration: how to trick legal testing with COD removers.** Environmental Chemistry Letters, inPress, 20, pp.1 - 5. ff10.1007/s10311-021-01261-4ff. fffal-03579544, China, 2020.

MASSART, D.L., SMYTH, W.F., VANDENBERGHE, C., e DEMING, S.N. **Chemometrics: A Textbook.** Elsevier, 2000.

MATSCHÉ, N e STUMWORHRER, K. **UV Absorption as control-parameter for biological treatment plants.** Wat. Sci. Tech. Vol 33. N°12. Pp. 211-218, Austria, 1996.

METCALF & EDDY, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., & Tsuchihashi, R. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse 4th edition.** McGraw-Hill Education, Boston, USA, 2004.

NELLER, R.J., e LLEWELLYN, D.H. **Chemical and Biological Sensing Using Tunable Diode Laser Spectroscopy.** Wiley, 2012.

REYNOLDS D.M., AHMAD S.R. **Rapid and direct determination of wastewater BOD values using a fluorescence technique.** Water Res 1997;31(8):2008.

REYNOLDS, D. M. **The Differentiation of biodegradable and non-biodegradable dissolved organic matter in wastewaters using fluorescence spectroscopy.** J Chem Technol Biotechnol 77:965-972, England, 2002.

SAEEDI, M., SAEEDI, M., MORTAZAVI, S.B., BAGHAPOUR, M.A. **Development of a correlation model to predict BOD5 and COD from UV absorbance of municipal wastewater.** Environmental Science and Pollution Research, vol. 19, no. 4, pp. 1124-1132, 2012.

SATYANARAYANA, G., & RAO, M. N. **Limitations of Traditional Methods for Measuring BOD and COD in Wastewater.** Journal of Environment and Analytical Toxicology, 6(2), 352. 2016.

SAVORANI, F., TOMASI, G., e ENGELSEN, S.B. **"iCOSHIFT: a versatile tool for the rapid alignment of 1D NMR spectra."** Journal of Magnetic Resonance, vol. 202, no. 2, 2010, pp. 190-202.

SKOOG, D.A., HOLLER, F.J., & CROUCH, S. R. **Principles of instrumental analysis.** Cengage Learning, Boston, MA, USA, 2017.

STUCKEY, D. I., & HERCKES, S. C. **Advances in Spectroscopic Techniques for Water Quality Monitoring.** Environmental Science: Processes & Impacts, 17(11), 1859-1870, 2015.

VANLOON, G. W., & DUFFY, S. J. **Environmental Chemistry: A Global Perspective.** Oxford University Press. England, (2017)

VESILIND, P. A., PEIRCE, J. J., & WEINER, R. F. **Environmental Engineering.** Cengage Learning, 2013.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, Belo Horizonte, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 3^a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, Belo Horizonte, 2005. Pág. 59.

WU, L., LI, G., YANG, H., & LI, Y. **Composition and seasonal variations of dissolved organic matter in municipal wastewater treatment plant effluent and receiving seawaters in northern China.** Marine Pollution Bulletin, 114(1), 214-222, China, 2017.

NOTAS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Polyana S. Massariol por toda orientação, apoio e valiosas sugestões,

aos meus pais, Edilson e Marli, por todo suporte, força e incentivo no meu lar, o apoio de vocês foi essencial neste processo e ao meu coorientador Ellisson H. de Paulo por sua valiosa contribuição.

CONTRIBUIÇÃO E AUTORIA

Coorientação: MSc.Ellisson Henrique de Paulo

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

CURSO

Engenharia Química

COORDENADOR DO CURSO

André Luiz Perazzo Amaral

DATA DE ENTREGA

19/06/2023

BANCA AVALIADORA**DECLARAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PLÁGIO**

Declaro que o trabalho não contém plágio ou autoplágio total ou parcial. Todo o conteúdo utilizado como citação direta ou indireta foi indicado e referenciado.

LICENÇA DE USO

Os autores do artigo cedem o direito à divulgação e publicação do material para comunidade acadêmica através de portal da Biblioteca e repositório institucional. Esta autorização permite sua utilização como base para novas pesquisas, caso haja adaptação do conteúdo é necessário atribuir o devido crédito de autoria.

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

**PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM
NATURAL APLICADA A COMENTÁRIOS DE
FEEDBACK E AVALIAÇÃO DE MELHORIA
INSTITUCIONAL**



Revista UCL

PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL APLICADA A COMENTÁRIOS DE FEEDBACK E AVALIAÇÃO DE MELHORIA INSTITUCIONAL

Natural language processing applied to feedback comments and evaluation of institutional improvement

Breno Robert Diogo da Silva
Graduando
Sistemas de Informação
brenorobert@ucl.br

**Matheus Oliveira Fernandes
Ribeiro**
Graduando
Sistemas de Informação
matheusvp2@ucl.br

Marlon Ferrari
Orientador
Faculdade UCL
marlonferrari@ucl.br

A lista completa com informações de autoria está no final do artigo

RESUMO

Objetivo: O intuito desta pesquisa é a aplicação de modelos baseados em PLN (Processamento de Linguagem Natural) capazes de auxiliar processos de melhoria contínua na avaliação de comentários institucionais da faculdade UCL, que busque extrair informações relevantes para a compreensão dos feedbacks a partir dos dados históricos coletados.

Método: Este trabalho consiste em um estudo de caso baseado nos dados históricos disponibilizados pela instituição UCL através de sua plataforma institucional, a fim de identificar padrões e tendências nos comentários e avaliações de feedback. A análise desses dados será fundamentada por uma revisão bibliográfica crítica e abrangente, com o objetivo de compreender melhor as opiniões dos usuários em relação aos serviços prestados pela instituição, proporcionando uma visão abrangente e aprofundada sobre o assunto e possibilitando ações de melhoria institucional.

Resultado: Foi possível obter a classificação de categoria a partir de uma base inicial de 27.000 registros. Para isso, foram utilizados modelos de suporte às tarefas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), que permitiram identificar novos comentários e agrupá-los corretamente em sua respectiva área de *feedback*.

Conclusões: A aplicação de técnicas de PLN se mostra importante para extração de contextos a partir de comentários brutos. O modelo foi capaz de melhorar a interpretação e quantificação dos comentários, tornando-os dados aptos a serem trabalhados pela estatística descritiva e exploratória.

PALAVRAS-CHAVE: PLN. Feedbacks. Aprendizado de máquina. Zero-shot. Educação. Aperfeiçoamento. Aprimoramento. Transfer learning. Dados. Tecnologia.

ABSTRACT

Objective: The purpose of this research is the application of models based on NLP (Natural Language Processing) capable of assisting processes of continuous improvement in the evaluation of institutional comments from the UCL faculty, which seek to extract relevant information for the understanding of feedback from the historical data collected.

Methods: This work consists of a case study based on historical data made available by the institution UCL through its institutional platform, in order to identify patterns and trends in comments and feedback evaluations. The analysis of these data will be based on a critical and comprehensive literature review, with the aim of better understanding users' opinions regarding the services provided by the institution, providing a comprehensive and in-depth view on the subject and enabling institutional improvement actions.

Results: It was possible to obtain the category classification from an initial base of 27,000 records. For this, support models for Natural Language Processing (NLP) tasks were used, which allowed identifying new comments and grouping them correctly in their respective feedback area.

Conclusions: The application of NLP techniques is important for extracting contexts from raw comments. The model was able to improve the interpretation and quantification of the comments, making them data capable of being worked on by descriptive and exploratory statistics.

KEYWORDS: NLP. Feedbacks. Machine learning. Zero-shot. Education. Improvement. Enhancement. Transfer learning. Data. Technology.

1 INTRODUÇÃO

A identificação de padrões textuais, obtidos a partir de tarefas de processamento de linguagem natural tem se tornado um grande aliado para as instituições modernas. De acordo com VICARI (2021) na educação, o Processamento de Linguagem Natural (PLN) tem sido aplicada de forma isolada em diversas áreas, como tradução, análise e interpretação de textos e voz. Essas ferramentas auxiliam os alunos a ler e resumir textos, vídeos e apresentações, tornando o estudo mais acessível. Voltando seu foco para o âmbito institucional, encontra-se a necessidade de obter informações para melhorias na relação instituição, docentes e discentes, assim obtendo maior valor a partir de dados presentes em comentários de *feedback* dos mesmos, tão comumente praticados em ambientes digitais, que são de grande importância para análise e processamento dessas informações.

O estudo de grandes massas de dados e informações se torna essencial para identificação de oportunidades de melhoria. Com o avanço da tecnologia, o uso de ferramentas de modo que o PLN, Aprendizado Profundo (DL) e Aprendizado de Máquina (ML), possibilitou uma virada de chave em análise de dados. Segundo KASTRATI, Zenun et al. (2021, tradução nossa), o número de artigos publicados recentemente indica um aumento no uso dessas soluções.

Há um grande interesse na busca de entender o *feedback* de estudantes quando se entra no contexto de instituições (figura 01), em que os alunos se expressam através de comentários que fornecem opinião sobre determinada pessoa que pode ser um professor ou assunto. Tendo em vista essas informações, pode-se utilizar de técnicas da área de Processamento de Linguagem Natural para classificar essas frases, o que permite a categorização de forma automatizada e em tempo real, o que pode proporcionar grandes ganhos na celeridade de implementação ou solução dos problemas identificados.

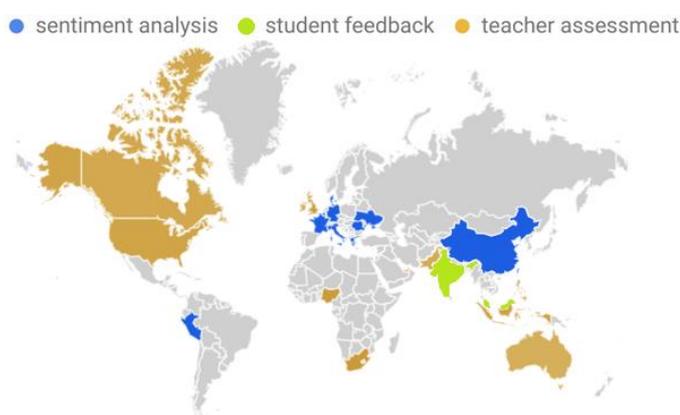


Figura 01. Comparação de interesse por país nos últimos seis anos em relação à análise de sentimentos, *feedback* do aluno e avaliação do professor (Adaptado de KASTRATI, Zenun et al., 2021)

Visando, portanto, integrar a PLN à plataforma de avaliações e *feedbacks* institucionais, o presente trabalho busca verificar se um modelo de PLN pré treinado, aplicado à base de comentários, seria capaz de identificar a área correta do *feedback* sem que este seja explicitamente apresentado. O presente estudo visa aplicar técnicas de PLN no estado da arte para demonstração de potenciais em interpretação e novas tendências em *feedbacks* institucionais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processamento de Linguagem Natural

O Processamento de Linguagem Natural (PLN) é uma parte de um subconjunto da Inteligência Artificial, que faz relação com *Machine Learning* (ML) e *Deep Learning* (DL) nos dias de hoje. Isso pode ser observado conforme a Figura 02.

A área de PLN envolve a engenharia de modelos e processos computacionais que conseguem resolver problemas da compreensão humana. O campo do PLN passou por uma transformação significativa ao longo dos anos. No entanto, com o avanço da tecnologia e o surgimento de modelos neurais, houve uma mudança drástica na forma como o PLN é abordado. Atualmente, as abordagens são impulsionadas por dados e envolvem cálculos estatísticos, probabilísticos e técnicas avançadas de aprendizado de máquina, como redes neurais. Essa mudança tem proporcionado resultados mais precisos e eficazes na compreensão e geração de linguagem natural (OTTER et al., 2020).

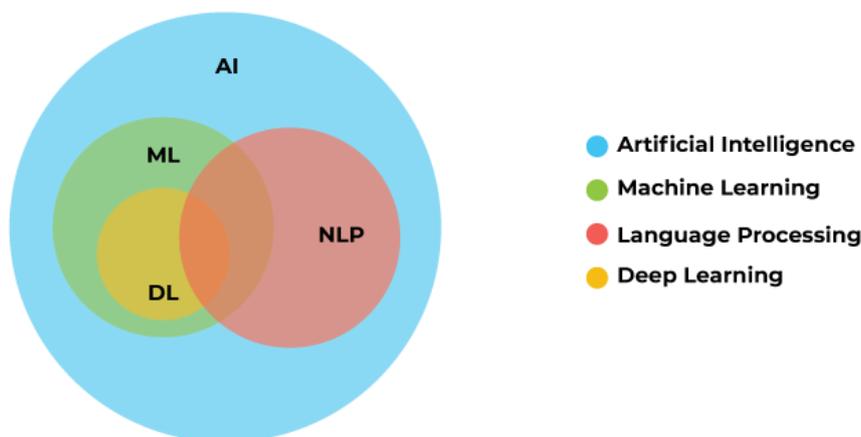


Figura 02. PLN e ML fazem parte da Inteligência Artificial e ambos os subconjuntos compartilham técnicas, algoritmos e conhecimento (Bolaños, Ximena, 2021)

O fluxo de uma tarefa de PLN, consiste em três etapas distintas (figura 03). A primeira etapa envolve a entrada de dados fornecidos pelo usuário, que, no exemplo apresentado, são frases de apresentação. Em seguida, na segunda etapa, essas frases são submetidas a um *framework* de processamento de linguagem natural, onde são analisadas com o objetivo de identificar a intenção do usuário. Por fim, após esse processamento, a tarefa retorna a intenção do usuário com base nas frases fornecidas.

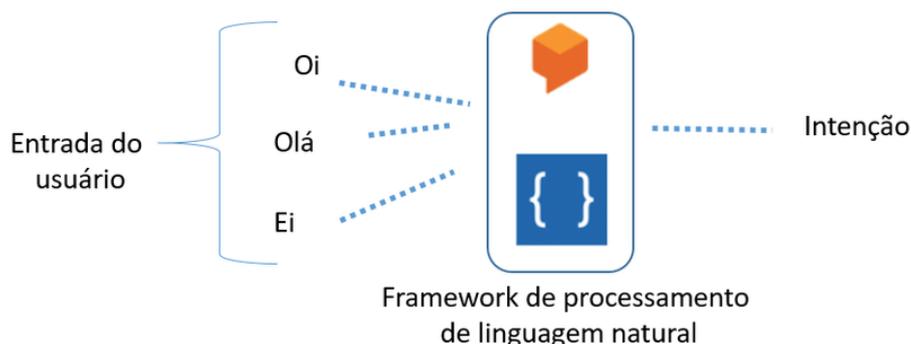


Figura 03. Exemplificação de como funciona uma tarefa em PLN (Adaptado de GONCALEZ et al., 2020)

A Figura 04 ilustra as diversas capacidades do PLN em relação à sua habilidade de trabalhar com diferentes tipos de dados. Os círculos representam as formas de entrada (texto, vídeo e áudio) direcionadas para o centro do PLN. A partir dessa centralidade, surgem retângulos que simbolizam as funcionalidades da PLN, como processamento da linguagem bruta, extração de entidades, extração de relacionamentos, classificação superior e análise de sentimentos. Essa representação visual destaca a notável capacidade do PLN em compreender e extrair informações de uma variedade de dados, possibilitando uma ampla gama de aplicações e análises no campo da linguagem natural.

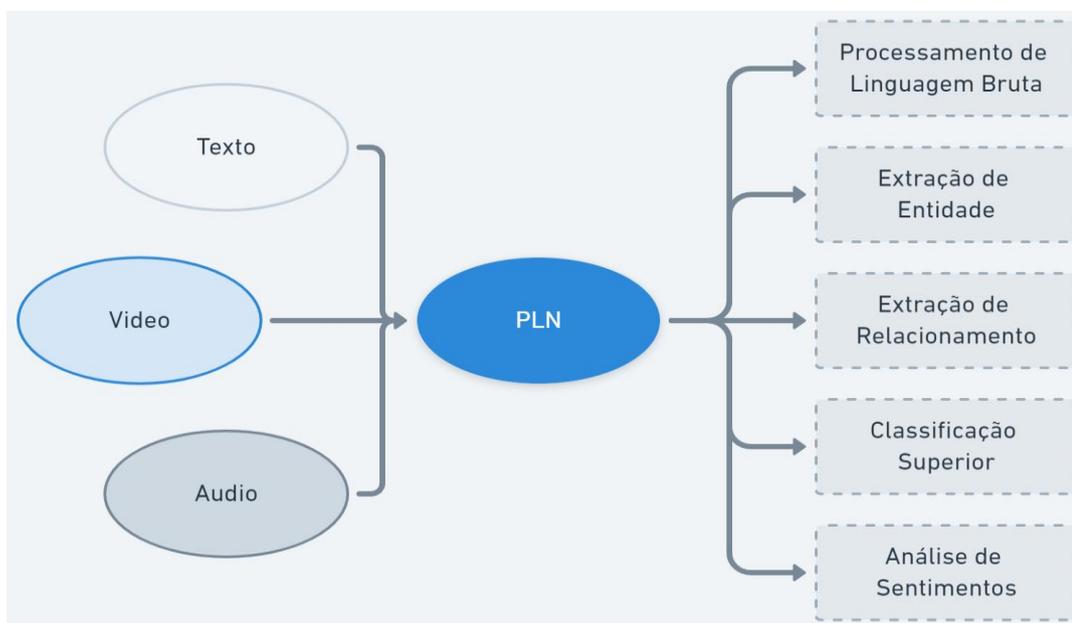


Figura 04. Exemplificação de como o PLN consegue usar diferentes dados (Adaptado de D'ARCHIMBAUD, 2023)

A Figura 05 é uma representação visual das quatro etapas principais do PLN. Cada etapa desempenha um papel importante no processamento e compreensão da linguagem humana. A primeira etapa, análise lexical, envolve a identificação e segmentação de palavras individuais em um texto, além de atribuir a elas informações linguísticas, como lemas e categorias gramaticais. A segunda etapa, análise sintática, concentra-se na estrutura gramatical das frases, identificando os relacionamentos entre as palavras, como sujeito, verbo, objeto e modificações. A terceira etapa, análise semântica, tem como objetivo compreender o significado das palavras e frases, levando em consideração o contexto e a interpretação das informações. Isso inclui tarefas como identificação de entidades, análise de sentimento e inferência de relações. A quarta etapa, transformação de saída, refere-se à geração de respostas ou saídas compreensíveis para os usuários. Pode envolver a tradução de um idioma para outro, a geração de resumos automáticos ou a resposta a perguntas específicas. Essas quatro etapas ilustram o fluxo geral do processo de PLN e são fundamentais para a compreensão e análise da linguagem natural em diferentes aplicações e sistemas.



Figura 05. Quatro principais etapas da PLN (SANCHEZ, 2023)

2.2 Redes Neurais

As redes neurais são um conjunto de algoritmos inspirados no funcionamento do cérebro humano, que têm sido amplamente utilizados em diversas áreas. Essas redes são capazes de aprender a partir de exemplos e, com o tempo, melhorar sua capacidade de classificar, reconhecer e interpretar informações. No entanto, em alguns casos, o treinamento de uma rede neural pode ser demorado e exigir grandes quantidades de dados (OLIVEIRA et al., 2021).

Segundo Oliveira (2021) o processo de treinamento de uma rede neural consiste em fornecer um grande conjunto de dados de entrada e as saídas corretas correspondentes. A rede neural ajusta seus pesos e bias internos ao longo do treinamento para minimizar a diferença entre as saídas previstas e as saídas corretas. Esse processo é realizado através do uso de algoritmos de otimização, que ajusta gradualmente os parâmetros da rede para alcançar um melhor desempenho.

No geral, as redes neurais têm revolucionado a área de aprendizado de máquina e têm sido fundamentais para o avanço de tecnologias como reconhecimento de fala, visão computacional, assistentes virtuais, carros autônomos e muito mais. À medida que a pesquisa avança, novas arquiteturas e técnicas surgem, e vem se tornando cada vez mais poderosas e versáteis (OLIVEIRA et al., 2021).

2.3 Transfer Learning

O *transfer learning*, parte da ideia de reutilizar um modelo pré-treinado relacionado a um determinado problema, sendo assim uma rede neural treinada em conjuntos de dados, podendo ser reutilizada em outro modelo na maioria das vezes maior que o anterior, para a resolução de um novo problema (ARAÚJO et al., 2019).

A abordagem trazida por TORREY e SHAVLIK (2010) sobre *Transfer learning* visa aprimorar o aprendizado de uma tarefa específica, aproveitando o conhecimento prévio adquirido em uma tarefa relacionada. Essa abordagem utiliza três métricas-chave para melhorar o processo de aprendizado. A primeira métrica é o desempenho inicial, que avalia o quão bem o modelo pode executar a tarefa destino usando apenas o conhecimento prévio do *transfer learning*, sem nenhum treinamento adicional com os dados específicos da tarefa atual. A segunda métrica é o tempo de

aprendizado, que considera o tempo necessário para que o modelo aprenda completamente a tarefa destino, levando em conta tanto os dados disponíveis para o *transfer learning* quanto os dados específicos da tarefa atual. O objetivo é garantir um tempo de aprendizado viável e eficiente, aproveitando ao máximo o conhecimento transferido para acelerar o processo de treinamento. A terceira métrica é o alcance da tarefa final, que avalia até que ponto o *transfer learning* é capaz de contribuir para o desempenho geral da tarefa destino. O objetivo é alcançar uma melhoria significativa na acurácia, utilizando o conhecimento previamente transferido. Portanto, o *transfer learning* é uma estratégia eficaz para melhorar o aprendizado de uma tarefa destino, aproveitando o conhecimento adquirido em tarefas relacionadas. Essa abordagem oferece a vantagem de um processo de aprendizado mais rápido, eficiente e com melhores resultados para a tarefa em questão.

Os métodos tradicionais de aprendizagem de máquina conseguem ter resultados preditivos a partir de uma quantidade de dados, porém eles não são acumulados, e as tarefas tornam-se dependentes do escopo atual da tarefa treinada. Já quando se trata de *transfer learning* o treinamento de novas tarefas consegue ser feito a partir de um modelo já existente, o que permite um menor conjunto de dados de treino, transformando-se em ganhos de produtividade e custos de recursos de computação (figura 06).

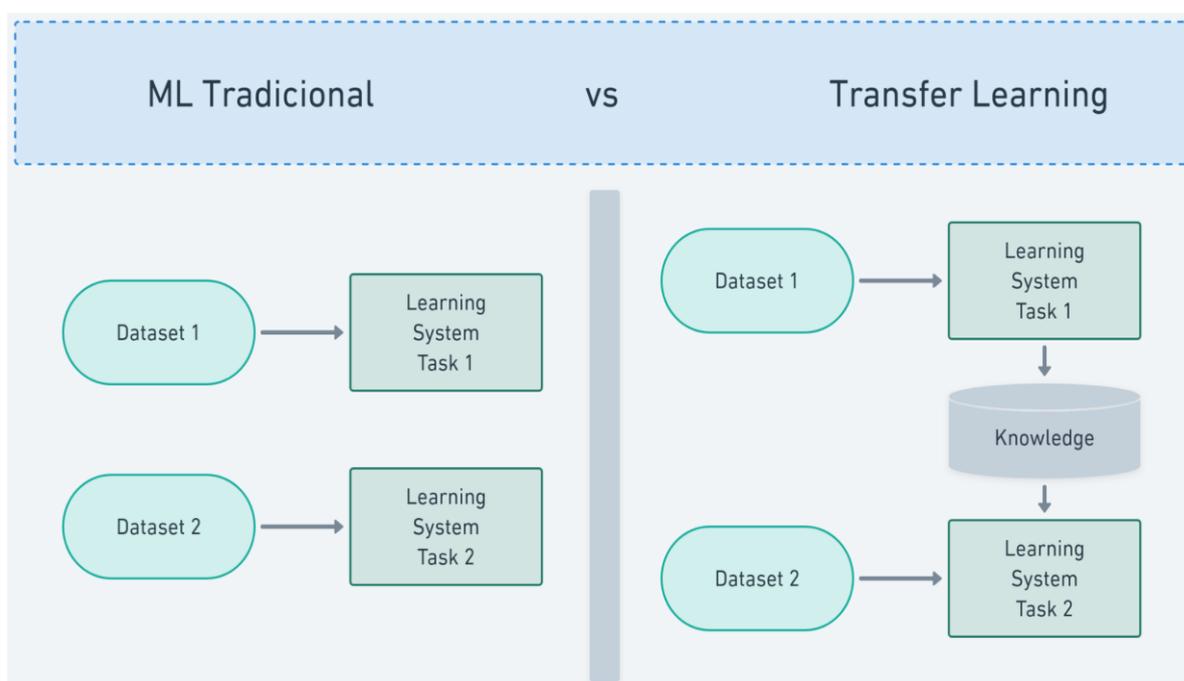


Figura 06. Diferença entre *Machine Learning* e *Transfer Learning* (Adaptado de KAABI, 2022)

Os algoritmos de *Transfer Learning* frequentemente se fundamentam em outros modelos estabelecidos, aproveitando o conhecimento prévio adquirido na tarefa fonte (*source task*). Essa abordagem permite que a tarefa destino (*target task*) seja treinada com dados provenientes da tarefa fonte, que já possui um bom desempenho. Ao utilizar o conhecimento prévio adquirido em uma tarefa relacionada, é possível extrapolar esse aprendizado para a tarefa destino, potencializando o desempenho do modelo em diferentes contextos. Essa capacidade de transferência de conhecimento proporciona uma vantagem significativa no desenvolvimento de sistemas com poucos dados disponíveis, pois permite aproveitar informações valiosas de tarefas correlatas, ampliando a eficácia do modelo em diferentes cenários (TORREY; SHAVLIK. 2010).

A Figura 07 ilustra os benefícios do processo de transferência de aprendizado na área de *machine learning*. Por meio dessa abordagem, é possível aprimorar o desempenho inicial do modelo,

acelerar a curva de aprendizado e alcançar um desempenho máximo mais elevado. Esses resultados são obtidos ao utilizar o conhecimento prévio adquirido em uma tarefa para auxiliar no aprendizado de uma nova tarefa. Essa transferência de conhecimento permite aproveitar os avanços já realizados, economizando tempo e recursos no treinamento de modelos.

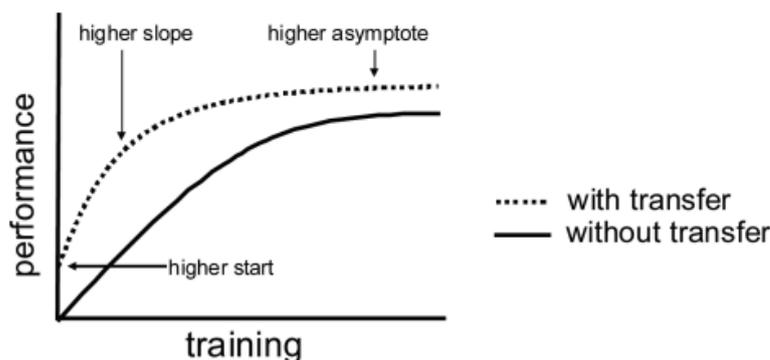


Figura 07. A transferência pode melhorar o aprendizado inicial, acelerar a curva de aprendizado ou alcançar um desempenho máximo mais elevado (TORREY, Lisa; SHAVLIK, Jude., 2010).

Como pode ser observado na Figura 08, há várias vantagens de se fazer um modelo com o *Transfer Learning*, de forma que é gerado um modelo inicial melhor, melhor acurácia após o treinamento, melhor taxa de aprendizado e um treinamento mais rápido, o que pode ser essencial para o desenvolvimento de um sistema projeto com poucos dados.



MAIN BENEFITS OF TRANSFER LEARNING



Figura 08. Principais benefícios do transfer learning (DILMEGANI, 2023)

Devido às vantagens oferecidas pelo *Transfer Learning*, como a capacidade de aprender com um conjunto reduzido de dados em diversos contextos de um problema, essa abordagem será adotada neste estudo. O uso do *Transfer Learning* permitirá explorar eficientemente o conhecimento prévio obtido em tarefas relacionadas, possibilitando aprimorar o desempenho do modelo mesmo em

situações em que há escassez de dados disponíveis. Essa estratégia contribuirá para uma melhor compreensão e solução do problema abordado nesta pesquisa.

2.4 Zero-shot learning

O *Deep Learning* trouxe avanços significativos no campo da aprendizagem de máquina, permitindo obter resultados cada vez mais precisos em uma variedade de tarefas. No entanto, quando há escassez de dados disponíveis ou apenas uma pequena quantidade de amostras de treinamento, é desafiador alcançar uma boa precisão. Nesses casos, o *Zero-shot learning* emerge como uma abordagem promissora, permitindo a realização de classificações mesmo com poucos ou nenhum conhecimento prévio (VERMA, 2018).

O aprendizado *One-shot* é uma técnica que permite aprender e classificar uma frase com base em apenas algumas poucas sentenças. Essa abordagem utiliza parâmetros de aprendizado de um modelo prévio e os replica em um modelo de classificação que é capaz de funcionar com apenas alguns exemplos (POURPANAH, 2022). Além disso, o *Zero-shot learning*, uma variação do aprendizado, vai além e é capaz de aprender e classificar dados mesmo quando nenhum exemplo é fornecido para treinamento.

A Figura 09 ilustra dois modelos de classificação: um modelo regular e o modelo proposto para o *Zero-shot learning*. No modelo de classificação regular, o texto é fornecido como entrada e, em seguida, passa pelo processo de classificação para determinar a classe correspondente. No entanto, o *Zero-shot learning* funciona de maneira diferente, pois já retorna o resultado da classe por padrão, eliminando assim a necessidade de passar pelo processo de classificação separado. Isso representa uma etapa adicional do processo que é evitada pelo *Zero-shot learning*.

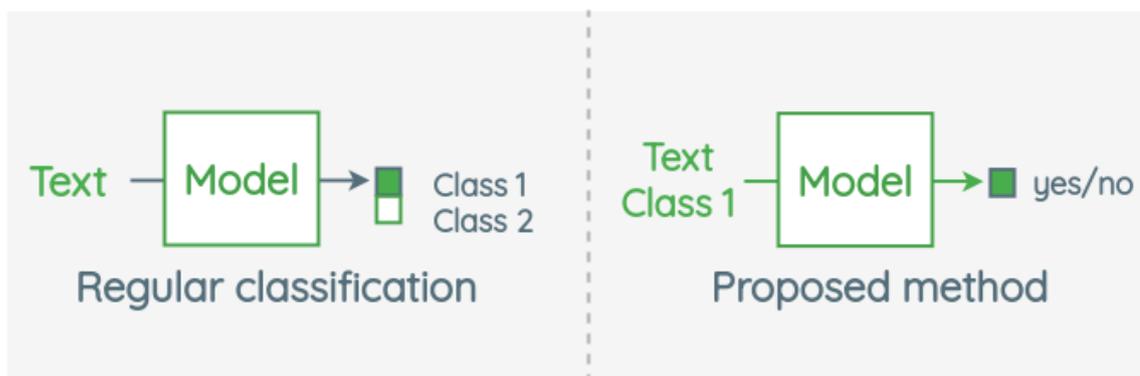


Figura 09. Diferença da classificação regular de texto e do *zero-shot* (CHOUDHARY, 2020)

A classificação tradicional passa por várias etapas, conforme ilustrado na Figura 10. Inicialmente, são fornecidos rótulos que serão associados aos objetos corretos por meio de anotações. Em seguida, o modelo é treinado com esses dados. No entanto, o *zero-shot learning* não requer treinamento adicional nem criação de anotações, pois utiliza os dados existentes para realizar a rotulação. Enquanto a classificação tradicional utiliza dados precisos de um objeto específico, como imagens de carros para identificar carros, o *zero-shot learning* é capaz de rotular objetos semelhantes.

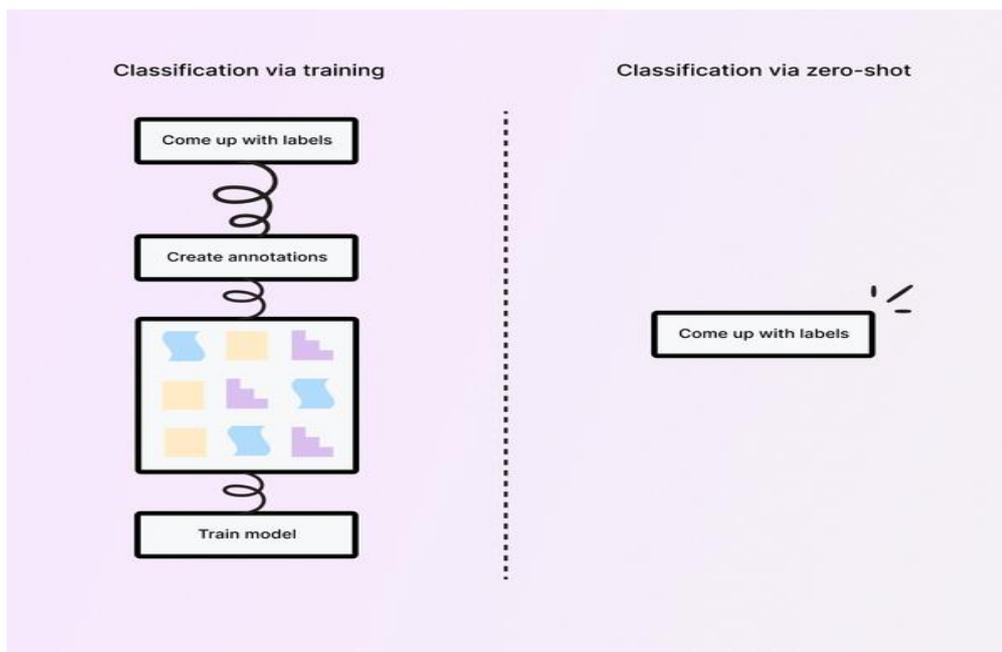


Figura 10. Diferença entre classificação via treinamento padrão e *zero-shot* (FOLLEY, 2021)

Como exemplificado na Figura 11, o modelo pré-treinado do *Transfer Learning* utiliza uma camada intermediária para realizar as classificações entre sessões, que na imagem são representadas por *Sentiment Model* e *News Model*, isso possibilita uma abordagem mais específica e refinada. Essa camada é responsável por identificar se a frase em questão trata-se de sentimentos ou notícias, e dentro dessas categorias, são estabelecidas subcategorias como positivo, negativo, ciência, política, ou no caso do presente artigo, sobre qual área da instituição está sendo feita a referência pelo aluno. O *zero-shot learning* apresenta uma abordagem diferente do *Transfer Learning*, ao contrário do modelo pré-treinado, não há uma camada específica para fazer essas conexões entre as categorias, sendo capaz de realizar a classificação das frases apenas com base nos dados fornecidos, sem a necessidade de um treinamento prévio específico para cada categoria. Utiliza-se informações contextuais e conhecimentos gerais adquiridos anteriormente para realizar a classificação de forma mais abrangente.

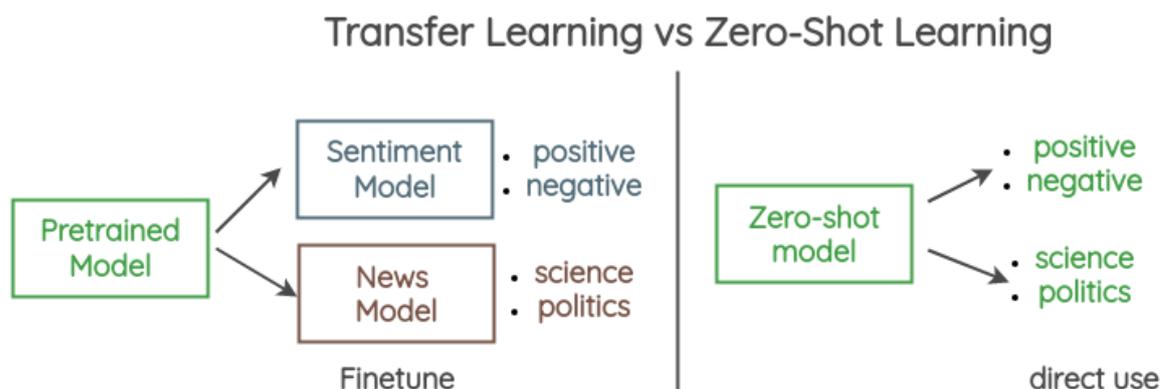


Figura 11. Diferença entre *Transfer Learning* e *Zero-shot Learning* no aprendizado (CHAUDHARY, 2020)

A abordagem do *zero-shot learning* permite uma maior flexibilidade na classificação de frases, uma vez que não está restrita a categorias pré-definidas. O modelo pode identificar relações e associações entre diferentes conceitos e realizar classificações mesmo em cenários em que não exista um treinamento específico disponível (XIAN et al., 2018).

Portanto, o *zero-shot learning* se destaca por sua capacidade de generalização e adaptabilidade, possibilitando a classificação de frases de maneira mais ampla e abrangente, sem depender de modelos intermediários para estabelecer as conexões entre as categorias. Isso o torna uma abordagem promissora e relevante para diversos domínios e aplicações no processamento de linguagem natural.

2.5 *Hugging Face*

O *Hugging Face* é uma plataforma aberta para a construção, treinamento e implementação de modelos de Inteligência Artificial de última geração. Como eles se autodenominam a "casa do *Machine Learning*", a plataforma abrange uma ampla gama de recursos e funcionalidades para enfrentar diversos problemas de Inteligência Artificial moderna. Por meio dessa plataforma, é possível explorar diferentes alternativas e soluções para uma variedade de desafios, como detecção de objetos em imagens, respostas a perguntas, tradução entre idiomas e até mesmo classificação de áudio, imagem e texto em *labels* (rótulos), que representam as categorias. Através do *Hugging Face*, os usuários têm acesso a um conjunto diversificado de modelos e ferramentas para impulsionar suas aplicações de Inteligência Artificial e explorar as possibilidades oferecidas pelo aprendizado de máquina (HUGGING FACE, 2023).

2.6 *Google Colab*

O Colab é uma plataforma em nuvem desenvolvida pela Google que permite que os usuários executem códigos na linguagem Python diretamente no navegador. A plataforma dá acesso a recursos computacionais como CPU, GPU e TPU, sendo útil para executar tarefas intensivas como treinamento de *Machine Learning* e tarefas de Processamento de Linguagem Natural (COLAB, 2023).

Sua praticidade e conveniência no contexto do projeto, se baseia em uma arquitetura de nuvem e permite que o código seja executado de forma online, eliminando a necessidade de configuração e instalação de bibliotecas em ambientes locais dos usuários. Além disso, oferece acesso a recursos computacionais que são essenciais para tarefas de *Machine Learning* e Processamento de Linguagem Natural, especialmente aquelas que exigem alto poder de processamento. Essa disponibilidade de recursos e a possibilidade de utilização simultânea por várias pessoas tornam o Colab uma solução prática e eficiente para a implementação e execução do código neste trabalho.

3 METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa de campo, qualitativa, com realização de pesquisa bibliográfica para estudo de PLN, de forma que, a metodologia adotada neste estudo consiste na utilização de técnicas de PLN e de modelo pré-treinado de classificação *zero-shot*. Foram coletados e preparados dados de *feedbacks* de estudantes, os quais foram submetidos ao modelo de classificação *zero-shot* para atribuição de *labels*. Em seguida, foi realizada uma análise qualitativa dos resultados obtidos, visando identificar padrões e *insights* relevantes, permitindo uma classificação automatizada dos *feedbacks*.

A representação das etapas ocorridas para que fosse possível a classificação e validação do modelo pode ser visualizada na Figura 14.

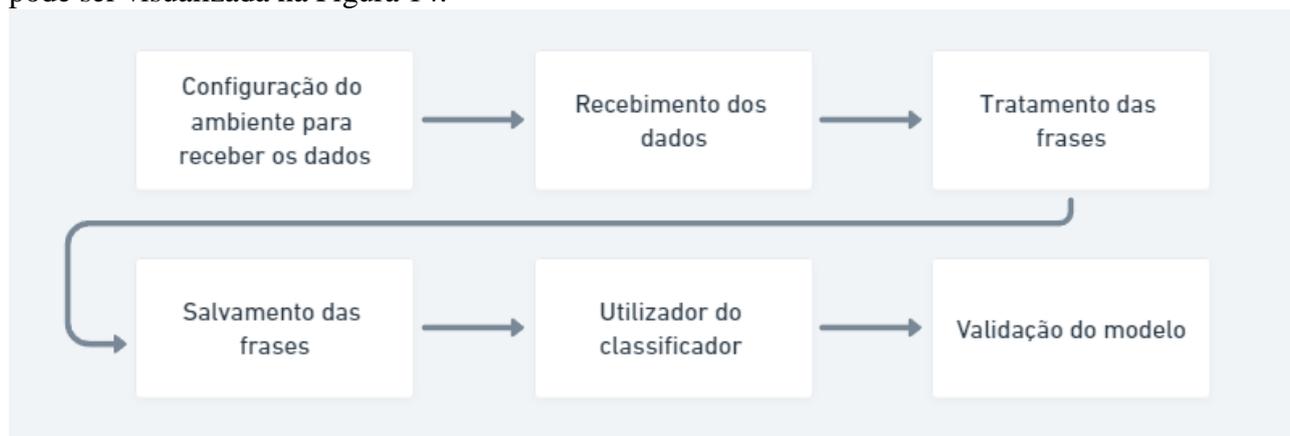


Figura 14. Fluxo demonstrando a implementação da metodologia (Do autor, 2023)

3.1 Dados fornecidos pela instituição

A coleta dos dados é feita a partir de uma base institucional de avaliações de *feedbacks* de discentes da plataforma institucional, dados os quais foram fornecidos pela instituição.

A configuração inicial da tabela recebida são de duas colunas, sendo elas “descricao” e “discursiva”. A coluna “descricao” é o nome sobre o qual o aluno se refere quando vai escrever o *feedback*, ou seja, pode ser uma pergunta referente ao *feedback* do aluno sobre o professor. Já a coluna “discursiva” trata-se da frase que será escrita pelo usuário, é esta coluna que será utilizada para a realização das classificações das *labels* (figura 15).

tcc_feedback	
descricao	string
discursiva	string

Figura 15. Representação da tabela fornecida pela instituição (Do autor, 2023)

No processo de classificação de frases, várias etapas são executadas para assegurar resultados precisos e confiáveis. Essas etapas englobam o tratamento e a validação dos dados, bem como o refinamento do conjunto de dados, além da utilização de um modelo pré-treinado. A escolha do modelo depende dos objetivos, do problema em questão e das técnicas adotadas. Neste estudo, o modelo utilizado introduz probabilidades associadas a cada rótulo, gerando pontuações variáveis. Foram selecionados apenas os rótulos com pontuações acima de 40%, que foram filtrados e empregados para uma análise qualitativa do modelo, dos quais deste filtro 18.720 frases obtiveram o *score* superior ou igual a 40%. Essa abordagem proporciona uma compreensão mais profunda das predições do modelo e geram *insights* relevantes sobre as classificações realizadas. A base de dados utilizada nesta pesquisa contém 27.179 linhas, sendo 22.022 linhas distintas.

A etapa de obtenção de dados consiste em preparar o ambiente e definir as variáveis necessárias para o processamento dos *feedbacks*. Primeiramente, é realizado o processo de definir os diretórios que serão utilizados ao longo do código. Em seguida, é feita a montagem do *drive*, o que permite o acesso aos arquivos armazenados. A maneira de dizer ao interpretador onde estão localizados os arquivos é por intermédio de variáveis, as quais em cada uma armazenam o valor de uma pasta como pode ser visto na Figura 16, com exceção da variável “*filepath_parquet*”, que armazena o diretório do arquivo *parquet* que é utilizado como base de dados.

```
1 filepath_parquet = "drive/MyDrive/TCC/Dados/tcc_feedback.parquet"
2 path_classificados = "drive/MyDrive/TCC/Classificados"
3 path_classificar = "drive/MyDrive/TCC/Classificar"
4 path_processados = "drive/MyDrive/TCC/Processados"
```

Figura 16. Criação das variáveis de caminho que serão utilizadas (Do autor, 2023)

Para a plataforma *Google Colab* obter os dados do *Google Drive* é necessário fazer uma pequena configuração em código, esta configuração solicita permissão ao usuário para que o *Google Drive* possa ser acessado pelo *Google Colab* (figura 17).

```
1 drive.mount('/content/drive/')
```

Figura 17. Demonstração da montagem do drive (Do autor, 2023)

Com os diretórios que serão utilizados no código definido e a configuração do *drive* feita, é possível iniciar a leitura dos dados que estão salvos em arquivos locais, especificamente os dados fornecidos pela instituição. A leitura do arquivo *parquet* é realizada e logo após obtém-se as frases contidas na coluna “discursiva” para inicialização do tratamento, transformando em uma lista de frases (figura 18).

```
1 import pandas as pd
2 df = pd.read_parquet(filepath_parquet)
3 frases = list(df['discursiva'])
```

Figura 18. Demonstração da leitura do arquivo “tcc_feedback.parquet”, e criando uma lista de frases a partir da coluna “discursiva” do *dataframe* (Do autor, 2023)

3.2 Tratamento das frases

Cada um dos 27.179 registros de dados fornecidos pela instituição contém uma frase. No entanto, ao utilizar esses dados para fins de classificação sem tomar medidas para evitar erros, existe o risco de perder toda a classificação já realizada. Para evitar esse problema, optou-se por adotar uma técnica de separação dos registros em frações de frases por arquivo, sendo assim utilizando uma técnica de recuperação de falha, onde durante o processo de classificação ou leitura do arquivo, caso ocorra algum erro, apenas aquela fração de frases será afetada, preservando as demais. A função que implementa a divisão da lista pode ser observada na Figura 19, enquanto a atribuição dessa função a uma variável é exemplificada na Figura 20.

```
1 def separar_lista_frases(lista, num_partes):
2     partes = []
3     tamanho_parte = len(lista) // num_partes
4     inicio = 0
5     for i in range(num_partes-1):
6         partes.append(lista[inicio:inicio+tamanho_parte])
7         inicio += tamanho_parte
8     partes.append(lista[inicio:])
9     return partes
```

Figura 19. Função que separa a lista de frases em blocos (Do autor, 2023)

```
1 frases_separadas = separar_lista_frases(lista=frases, num_partes=1500)
```

Figura 20. Utilização da função que separa a lista em frases atribuída a uma variável (Do autor, 2023)

3.3 Salvamento das frases

Para otimizar o uso do espaço em disco e facilitar a utilização em futuros códigos, a decisão foi feita de salvar as frases utilizando as chaves "id" e "frase". O "id" é gerado aleatoriamente para cada frase, proporcionando uma forma única de identificação. Essa abordagem permite um armazenamento eficiente das frases, garantindo praticidade e organização para futuras referências e manipulação dos dados, o que pode ser visualizado na Figura 21.

```
1 from uuid import uuid4
2 for frase in frases_separadas:
3     frase_id = uuid4().hex
4     save_data = { "id": frase_id, "frases": frase }
5     write_json_data(data=save_data, file_name=f"{path_classificar}/{frase_id}.json")
```

Figura 21. Código para salvamento (Do autor, 2023)

3.4 Dados pré-treinados do facebook

A ferramenta *Hugging Face* fornece diversas bases de dados para treinamentos e aperfeiçoamento de modelos Inteligência Artificial. Dentre estes, o *Dataset* utilizado nesta pesquisa é o *bart-large-mnli*, que é de autoria do *facebook*. O seu modelo tem a capacidade de avaliar uma frase e retornar para o usuário não somente uma, mas diferentes *labels* e ele é um modelo de *zero-shot learning* (HUGGING FACE, 2023). Neste artigo é utilizado o *bart-large-mnli* pois além de dispor de um conjunto de dados suficiente para o objetivo deste artigo, retorna ao usuário um conjunto de *labels*, o que se faz necessário, já que contém a linguagem português (PT-BR) para treinamento dos modelos. Seria insuficiente utilizar somente os dados fornecidos pela instituição, para fazer a classificação e aprendizado das frases da plataforma de avaliação, e para resolver esta adversidade foi optado pela técnica de *Zero-shot learning*.

Para o funcionamento do código com a utilização do *zero-shot-classification* foi necessário realizar a instalação e importação da biblioteca *transformers*, utilizando da função *pipeline*, a qual possibilita passar através de parâmetros qual método e modelo serão utilizados no código, respectivamente (figura 22).

```
1 !pip install transformers
2 from transformers import pipeline
3 classifier = pipeline("zero-shot-classification", model="facebook/bart-large-mnli")
```

Figura 22. Instalação do transformers e inicialização do modelo do facebook *bart-large-mnli* juntamente com o PLN Zero Shot Classification (Do autor, 2023)

3.5 Teste do modelo

A classificação do modelo é feita com a utilização de *labels* fixas, as quais cada uma pode servir de análise para a faculdade realizar pesquisas. Para isso foi elaborada uma lista de palavras (figura 23).

```
1 full_labels = [  
2     "conteúdo", "explicação", "aula",  
3     "trabalho", "sala", "professor"  
4 ]
```

Figura 23. Representação em código das *labels* (Do autor, 2023)

Para fazer a classificação é necessário percorrer os arquivos salvos em blocos, fazer a classificação da frase e caso isso ocorra corretamente é escrito em um arquivo cujo o nome de chave aleatória da classificação que foi realizada, caso venha ter algum erro e a classificação para, o classificador irá saber o de onde parou, para continuar a classificação (figura 24).

```
1 def executar_classificacao():  
2     for frase in frases_classificar_list:  
3         file_data = read_json_file(f"{path_classificar}/{frase}")  
4         file_data_obj = FileData(**file_data)  
5         print(f"Processando: {frase}")  
6         info, error = classificar_frases(frases=file_data_obj.frases, labels=full_labels)  
7         if not error:  
8             write_classification_end_move(  
9                 data=info,  
10                file_name=f"{path_classificados}/{frase}",  
11                from_file_name=f"{path_classificar}/{frase}",  
12                to_file_name=f"{path_processados}/{frase}"  
13            )
```

Figura 24. Implementação em código da função que classifica as frases (Do autor, 2023)

4 RESULTADOS

A Figura 25 apresenta uma tabela com 10 exemplos de frases, das respectivas *labels* e *scores* atribuídos pelo *zero-shot classification*. É interessante observar que o classificador consegue identificar frases que contêm palavras relacionadas à *label* atribuída, mas também é capaz de classificar corretamente frases em que a palavra específica não está presente. Um exemplo disso é a frase "paciente", na qual o usuário digitou apenas uma palavra, e o classificador foi capaz de identificar que essa frase está relacionada à *label* "professor". Esse resultado demonstra a capacidade do *zero-shot classification* em inferir a categoria correta mesmo quando a palavra-chave não está explícita na frase. No entanto, é importante ressaltar que em algumas frases, como a terceira apresentada, que menciona como o professor ajuda a esclarecer dúvidas, o classificador pode identificar um padrão na frase que resulta em uma atribuição de *label* incorreta. No caso dessa frase específica, o classificador categorizou erroneamente como "conteúdo" em vez de "professor".

	frases	labels	scores
0	Mais trabalhos práticos	trabalho	0.698538
1	Explica bem as vídeo aulas	explicação	0.514114
2	Sempre dá um grau de dificuldade para capacitar nosso raciocínio Disponível a esclarecer duvidas em nada bem sua matéria	conteúdo	0.452705
3	Dominador do conteúdo paciente e muito gente boa	conteúdo	0.555675
4	Ser mais impassivo sobre alguns alunos que acham que sabe mais que o professor sobre a disciplina	professor	0.538045
5	Dominador do conteúdo e paciente e muito gente boa	conteúdo	0.664389
6	Responde email pode parecer simples mas são poucos que fazem	conteúdo	0.648933
7	Não usar a sala de informática que da problema na apresentação	sala	0.675548
8	Melhor professora de todas	professor	0.831613
9	paciente	professor	0.551167

Figura 25. Tabela com exemplos das classificações realizadas (Do autor, 2023)

Ao examinar uma frase específica e as *labels* atribuídas a ela, é possível obter *insights* valiosos. Um exemplo disso é ilustrado na Figura 26, onde a frase "Atenciosa dedicada explica muito bem simpática eficiente compreensiva pontual" foi categorizada como "professor". No entanto, ao analisar as outras *labels* atribuídas à frase, observa-se que "explicação" é mencionada com 33.55% de *score* e logo após a *label* "conteúdo" com 15.92%.

	frases	labels	scores
	Atenciosa dedicada explica muito bem simpática eficiente compreensiva pontual	professor	0.467406
	Atenciosa dedicada explica muito bem simpática eficiente compreensiva pontual	explicação	0.335550
	Atenciosa dedicada explica muito bem simpática eficiente compreensiva pontual	conteúdo	0.159274
	Atenciosa dedicada explica muito bem simpática eficiente compreensiva pontual	aula	0.016436
	Atenciosa dedicada explica muito bem simpática eficiente compreensiva pontual	trabalho	0.014450
	Atenciosa dedicada explica muito bem simpática eficiente compreensiva pontual	sala	0.006884

Figura 26. Tabela com uma frase específica e as *labels* em que foi classificada (Do autor, 2023)

A Figura 27 apresenta a distribuição percentual das respostas dos alunos em relação a cada *label*. Destaca-se que a *label* "conteúdo" obteve a maior porcentagem, com 33.4%. A análise da *label* "explicação" revela que ela representa 23.9% das respostas dos alunos. Além disso, "professor" foi identificado em 18.6% dos *feedbacks* analisados, indicando que os alunos direcionaram suas opiniões e comentários em relação aos professores responsáveis pelas disciplinas. A *label* "aula" também se mostrou significativa, representando 13.4% dos *feedbacks*, refletindo a importância das aulas ministradas para os alunos. Adicionalmente, a *label* "trabalho" foi identificada em 7.3% das respostas dos alunos, demonstrando a relevância do tema em suas considerações, e a *label* "sala" obteve a menor porcentagem.

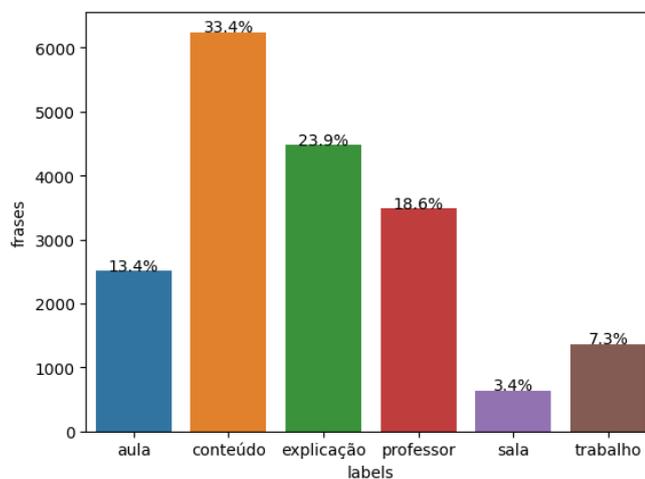


Figura 27. Distribuição das respostas dos alunos sobre as *labels* (Do autor, 2023)

5 TRABALHOS FUTUROS

Com este trabalho, espera-se que instituições possam integrar o algoritmo proposto à sua plataforma de avaliação, aprimorando a usabilidade para os usuários. Além das perguntas específicas para cada área da instituição, a plataforma contará com um campo adicional onde o aluno poderá registrar suas impressões gerais sobre a faculdade. O algoritmo será responsável por classificar as informações digitadas pelos usuários em suas respectivas *labels*, proporcionando uma experiência mais intuitiva e permitindo que a faculdade obtenha um conhecimento mais preciso do assunto abordado, resultando em resultados mais abrangentes e eficazes.

Por meio deste artigo e do algoritmo desenvolvido, instituições têm a possibilidade de realizar análises de dados sobre as principais áreas mencionadas pelos alunos, identificar pontos a serem melhorados e direcionar esforços de forma eficaz. Além disso, há a oportunidade de excluir, adicionar ou alterar as *labels* para identificar problemas específicos ou áreas de atuação futuras, o que amplia ainda mais a utilidade deste trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após adotar a abordagem do *zero-shot classification* e utilizar a ferramenta *transformers*, este estudo alcançou seu objetivo de agrupar e categorizar os *feedbacks* de estudantes em *labels*

predefinidas. Isso possibilitou uma análise mais estruturada dos dados, revelando *insights* valiosos sobre a aplicação prática desses métodos.

A capacidade do modelo em realizar classificações precisas, mesmo sem associação prévia das frases às *labels* específicas, demonstra o potencial do aprendizado por classificação *zero-shot* em contextos com dados escassos. Essa abordagem se mostrou eficaz na tarefa de classificar as frases de *feedback*, permitindo uma melhor compreensão das opiniões e observações dos alunos.

A análise qualitativa dos resultados enriqueceu a compreensão e identificou padrões relevantes nos *feedbacks* dos estudantes. Por meio dessa análise, foram obtidos *insights* valiosos para aprimorar o ensino e a experiência do aluno. A identificação de padrões recorrentes nas respostas dos alunos proporciona uma visão mais clara das áreas de maior satisfação e aquelas que podem exigir maior atenção e melhorias.

Por fim, o algoritmo desenvolvido neste estudo possui relevância ao fornecer *insights* sobre as áreas prioritárias de atuação e identificar problemas em áreas menos visíveis sem o seu uso. Com base nas informações geradas pelo algoritmo, as instituições podem tomar decisões informadas e implementar medidas para melhorar a qualidade do ensino, promovendo uma experiência mais satisfatória para os alunos.

Essas considerações finais destacam a importância da abordagem do *zero-shot classification* na análise de *feedbacks* de estudantes e sua contribuição para aprimorar a qualidade do ensino e a satisfação dos alunos. A aplicação desses métodos permite uma compreensão mais profunda das necessidades e expectativas dos alunos, capacitando as instituições a tomar medidas assertivas para aprimorar a qualidade da educação.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Vinícius Brandão et al. **Avaliação da utilidade das explicações dos modelos de interpretabilidade pós-hoc para a detecção de malária.** 2019.

BOLAÑOS, Ximena. **PLN e ML fazem parte da Inteligência Artificial e ambos os subconjuntos compartilham técnicas, algoritmos e conhecimento.** Disponível em: <https://encurtador.com.br/osxOU>. Acesso em: 12 abr. 2023.

CHAUDHARY, Amit. **Diferença da classificação regular de texto e do zero-shot.** 2020. Disponível em: <https://amitnness.com/2020/05/zero-shot-text-classification/>. Acesso em: 22 maio 2023.

CHAUDHARY, Amit. **Diferença entre Transfer Learning e Zero-shot Learning no aprendizado.** 2020. Disponível em: <https://amitnness.com/2020/05/zero-shot-text-classification/>. Acesso em: 22 maio 2023.

COLAB. Colab, 2023. **O Colab, ou "Colaboratory", permite escrever e executar Python no navegador.** Disponível em: <https://colab.research.google.com> . Acesso em: 17 abr. 2023.

D'ARCHIMBAUD, Edouard. **Mastering Entity Recognition and Text Classification for Machine Learning Engineers**. 2023. Disponível em: <https://kili-technology.com/data-labeling/nlp/mastering-entity-recognition-and-text-classification-for-machine-learning-engineers>. Acesso em: 23 mai. 2023.

DILMEGANI, Cem. **Principais benefícios do transfer learning**. 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/rHV46>. Acesso em: 6 de maio de 2023.

FOLLEY, Maxwell. **Diferença entre classificação via treinamento padrão e zero-shot**. 2021. Disponível em: <https://encurtador.com.br/dV035>. Acesso em: 24 maio 2023.

GONCALEZ, Fernando; TORRES, José M.; MOREIRA, Rui Silva. **Exemplificação de como funciona o PLN**. 2020. Disponível em: <https://encurtador.com.br/dV035>. Acesso em: 15 abril 2023.

HUGGING FACE. Hugging Face, 2023. **The AI community building the future**. Disponível em: <https://huggingface.co> Acesso em: 08 jun. 2023.

KAABI, Ahlem. **Diferença entre Machine Learning e Transfer Learning**. 2022. Disponível em: <https://ahlemkaabi1412.medium.com/transfer-learning-using-inceptionv3-keras-application-for-cifar-10-photo-classification-c3fbd8dd67a4>. Acesso em: 24 mai 2023.

KASTRATI, Zenun et al. **Comparação de interesse por país nos últimos seis anos em relação à análise de sentimentos, feedback do aluno e avaliação do professor**. Disponível em: <https://encurtador.com.br/myMR9>. Acesso em: 09 abr. 2023.

KASTRATI, Zenun et al. **Sentiment analysis of students' feedback with NLP and deep learning: A systematic mapping study**. Applied Sciences, v. 11, n. 9, p. 3986, 2021.

OLIVEIRA, Marcelo G. M. Costa et al. **Comparação de redes neurais convolucionais para o diagnóstico de melanoma por meio de transfer learning e data augmentation em imagens dermatoscópicas com classes desbalanceadas**, 2021. Disponível em: <https://encurtador.com.br/alvKR> . Acesso em: 21 jul. 2023.

OTTER, Daniel W.; MEDINA, Julian R.; KALITA, Jugal K. **A survey of the usages of deep learning for natural language processing**. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, v. 32, n. 2, p. 604-624, 2021.

POURPANAH, Farhad et al. **A review of generalized zero-shot learning methods**. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2022.

SANCHEZ, Carlos. **Quatro principais etapas da PLN**. Disponível em: <https://encurtador.com.br/bopHI>. Acesso em: 3 mai 2023.

TORREY, Lisa; SHAVLIK, Jude. **A transferência pode melhorar o aprendizado inicial, acelerar a curva de aprendizado ou alcançar um desempenho máximo mais elevado**. IGI global, 2010. p. 242-264. Disponível em: <https://encurtador.com.br/rHOXY>. Acesso em: 22 mai 2023.

TORREY, Lisa; SHAVLIK, Jude. **Transfer learning**. In: **Handbook of research on machine learning applications and trends: algorithms, methods, and techniques**. IGI global, 2010. p. 242-264.

VERMA, Vinay Kumar; BRAHMA, Dhanajit; RAI, Piyush. **Meta-learning for generalized zero-shot learning**. In: Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. 2020. p. 6062-6069.

Vicari, R.M. (2021). **Influências das Tecnologias da Inteligência Artificial no ensino**. Estudos Avançados, 2021. Disponível em: <https://encurtador.com.br/yEQ9>. Acesso em: 21 jun. 2023.

XIAN, Y.; LORENZ, T.; SCHIELE, B.; AKATA, Z. **Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**, 2018, pp. 5542-5551.

NOTAS

AGRADECIMENTOS

Não se aplica.

CONTRIBUIÇÃO E AUTORIA

Co-orientação: Marlon Ferrari (Professor da Faculdade UCL Manguinhos).

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

CURSO

Sistemas de Informação

COORDENADOR DO CURSO

André Ribeiro da Silva

DATA DE ENTREGA

09/07/2023

BANCA AVALIADORA

André Ribeiro da Silva

Igor Martins Dessaune

DECLARAÇÃO DE INEXISTÊNCIA DE PLÁGIO

Declaro que o trabalho não contém plágio ou autoplágio total ou parcial. Todo o conteúdo utilizado como citação direta ou indireta foi indicado e referenciado.

LICENÇA DE USO

Os autores do artigo cedem o direito à divulgação e publicação do material para comunidade acadêmica através de portal da Biblioteca e repositório institucional. Esta autorização permite sua utilização como base para novas pesquisas, caso haja adaptação do conteúdo é necessário atribuir o devido crédito de autoria.