



MUNDO
TECNOLÓGICO

ISSN 2238-2011

EXPEDIENTE**Publicação Anual****ISSN 2238-2011****Temática: Tecnologia****Revisão Português****Andressa Borsoi Ignez****Capa**

Marketing Faculdade Multivix São Mateus

Elaborada pela Bibliotecária Alexandra B. Oliveira CRB06/396

M965 Mundo Tecnológico/ Faculdade Multivix São Mateus – v.17, n.01,
2025 – São Mateus: MULTIVIX, 2025.

Semestral
ISSN 2238-2011

1. Pesquisa acadêmica – periódicos. 2. Gestão. 3. Exatas. I.
Faculdade Multivix São Mateus

CDD 001.891
CDU: 001.891(05)

Os artigos publicados nesta revista são de inteira responsabilidade de seus autores e não refletem, necessariamente, os pensamentos dos editores.

Correspondências: Coordenação de Pesquisa e Extensão Faculdade Multivix São Mateus
Rod. Othovarino Duarte Santos, 844, Resid. Parque Washington, São Mateus/ES | 29938-015

MUNDO TECNOLÓGICO

Faculdade Multivix São Mateus
v. 17 n. 01 janeiro/dezembro – 2025 - Anual

Diretor Geral
Sandrélia Cerutti Carminati Grippa

Coordenadora Acadêmica
Mariana de Jesus Lima

Conselho Editorial
Elen Karla Trés
Josete Pertel
Katrini Henrique Ramos

Assessoria Editorial
Josete Pertel
Pedro Junior Zucatelli
Arthur Farias Silva
Katrini Henrique Ramos

Assessoria Científica
Elen Karla Trés
Josete Pertel
Carina Sabadim Veloso
Katrini Henrique Ramos
Sandrélia Cerutti Carminati Grippa

EDITORIAL

A revista científica Mundo Tecnológico é uma iniciativa da Faculdade Multivix São Mateus que possibilita a divulgação de artigos e resumos de contribuições relevantes para a comunidade científica das diversas áreas de estudo que abrange a Instituição. Portanto, trata-se de um veículo de publicação acadêmica anual, cujo público-alvo são professores e alunos de graduação e pós-graduação.

Diante disso, a Instituição almeja que a revista científica Mundo Tecnológico contribua para o fomento contínuo da prática da investigação, e promova o crescimento educacional.

MUNDO TECNOLÓGICO

SUMÁRIO

Estudos da adição de fibras vegetais e seus efeitos nas propriedades mecânicas do concreto	6
Jordan Brito dos Santos, Michael Fidêncio Machado Mozer, Samira dos Santos Silva, Josete Pertel	
Criação de rede neural para monitoramento preditivo em compressores industriais	27
Caio Correia Santos, Devisom Rodrigues Alves de Oliveira, Peterson da Silva Vital, Ruan Schultz Riguetti, Daniela Luz Leite	
Viabilidade da substituição de motores a combustão para motores elétricos em carros com mais de 10 anos de uso	47
Álvaro Lourencini Procópio, Vinícius Barrere Bortolini, Judson Barcelos Gonçalves, Josete Pertel	
Avaliação do desempenho de um permutador do tipo feixe de tubos no pré-aquecimento de óleo térmico	65
Bruno Sena de Souza, Ítalo Matos, Maycon Carlete, Pedro Junior Zucatelli	
Gerenciamento de resíduos do óleo lubrificante	93
Emerson Tonn Gomes, Arthur Farias Silva, Josete Pertel	
Melhor aproveitamento no corte de chapas: estudo em encarroçadora	111
Arilson Botazini dos Santos, Rodney Zanol, Ryan Lázaro de Siqueira Assunção, Daniela Luz Leite	

ESTUDOS DA ADIÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS E SEUS EFEITOS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Jordan Brito dos Santos¹; Michael Fidêncio Machado Mozer¹; Samira dos Santos Silva¹;
Josete Pertel²

¹Acadêmicos de Engenharia Civil - Multivix São Mateus/ES

²Doutora/Docente - Multivix São Mateus/ES

RESUMO

O concreto, material amplamente utilizado na construção civil, enfrenta desafios ambientais e limitações mecânicas, como baixa resistência à tração e suscetibilidade à fissuração. Buscando soluções sustentáveis, este trabalho analisa, por revisão de literatura, os efeitos da incorporação de fibras de coco, um resíduo agroindustrial abundante, nas propriedades do concreto. O objetivo geral desse estudo é avaliar as implicações na resistência à compressão e o comportamento geral do compósito. A literatura aponta que as fibras de coco melhoram significativamente a resistência à tração na flexão, a capacidade de absorção de energia e a resistência ao impacto. Elas atuam controlando a propagação de fissuras e conferindo um comportamento mais dúctil. Contudo, a natureza hidrofílica das fibras tende a diminuir a trabalhabilidade da mistura. O ponto de maior inconsistência na literatura é a resistência à compressão, que apresenta ganhos ou perdas dependendo de fatores como proporção, tipo de matriz e, crucialmente, o tratamento e o teor das fibras. A pesquisa destaca a importância de pré-tratamentos, como a mercerização, para otimizar a aderência fibra-matriz e a durabilidade. Embora estudos recentes indiquem que fibras tratadas podem melhorar a resistência à compressão axial, a hipótese de melhoria geral do desempenho mecânico é parcialmente confirmada. Conclui-se que a fibra de coco possui notável potencial como reforço sustentável, promovendo a economia circular, mas a otimização de seu desempenho, especialmente na compressão, exige a definição correta do tratamento e da dosagem.

Palavras-chave: fibra de coco; fibra vegetal; resistência à compressão; sustentabilidade.

ABSTRACT

Concrete, a material widely used in civil construction, faces environmental challenges and mechanical limitations, such as low tensile strength and susceptibility to cracking. Seeking sustainable solutions, this work analyzes, through a literature review, the effects of incorporating coconut fibers, an abundant agro-industrial waste, on the properties of concrete. The general objective of this study is to evaluate the implications on compressive strength and the overall behavior of the composite. The literature indicates that coconut fibers significantly improve flexural tensile strength, energy absorption capacity, and impact resistance. They act by controlling crack propagation and imparting a more ductile behavior. However, the hydrophilic nature of the fibers tends to decrease the workability of the mixture. The point of greatest inconsistency in the literature is compressive strength, which shows gains or losses depending on factors such as proportion, matrix type, and, crucially, the treatment and fiber content. The research highlights the importance of pre-treatments, such as mercerization, to optimize fiber-matrix adhesion and durability. Although recent studies indicate that treated fibers can improve axial compressive strength, the hypothesis of overall improvement in mechanical performance is partially confirmed. It is concluded that coconut fiber possesses notable potential as a sustainable reinforcement, promoting the circular economy, but the optimization of its performance, especially in compression, requires the correct definition of treatment and dosage.

Keywords: coconut fiber; vegetable fiber; compressive strength; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

No âmbito da construção civil a nível mundial, o concreto destaca-se como um dos materiais primordiais e frequentemente empregados, fundamental para o desenvolvimento de uma vasta gama de infraestruturas, desde edificações urbanas a grandes barragens. Sua proeminência advém de atributos como versatilidade, custo-benefício, e notável resistência à compressão, além do seu potencial de se adaptar a diversas condições de produção, assumindo variados formatos e tamanhos quando em estado fresco, e formando um material rígido e consideravelmente resistente após

o endurecimento (Ozerkan *et al.*, 2013; Ahmad, Saman, Tahir, 2010). Contudo, a produção de seu componente principal, o cimento Portland, acarreta um significativo impacto ambiental, marcado pelo uso de recursos naturais não renováveis e pela emissão de gases de efeito estufa. Além disso, o concreto convencional manifesta fragilidades intrínsecas, como baixa resistência à tração e uma tendência a rupturas de caráter frágil, que podem gerar fissuras e comprometer seu desempenho e durabilidade, bem como de seus componentes auxiliares como o aço e outras armaduras.

Diante desse panorama, a engenharia civil está em uma busca constante por soluções inovadoras que não apenas promovam a sustentabilidade, mas também aprimorem as propriedades mecânicas do concreto. Uma das abordagens mais promissoras, conforme Ozerkan *et al.* (2013), trata-se da adição de fibras à matriz cimentícia, que atuam como reforço, elevando a capacidade do material de absorver energia e controlar a propagação de fissuras, em seu estudo são apresentados demonstrativos de como as fibras metálicas, poliméricas, de carbono, vidro e náilon podem melhorar significativamente a ductilidade, resistência à tração, fadiga, impacto e energia absorvida de materiais à base de cimento. No entanto, a busca por alternativas mais sustentáveis e de menor custo têm direcionado a pesquisa para as fibras de origem vegetal.

As fibras de coco emergem como uma alternativa particularmente atraente, sua utilização em compósitos cimentícios alinha-se a uma dupla necessidade: o desenvolvimento de materiais com desempenho técnico superior e a promoção de práticas construtivas mais sustentáveis e aderentes à economia circular, já que a sua utilização auxilia na gestão de um resíduo agroindustrial que é produzido em grande quantidade no Brasil. A disponibilidade abundante da fibra de coco, aliada ao grande consumo de água de coco e a presença de plantações e indústrias de envasilhamento em diversas regiões do país, torna o seu uso uma solução relevante para a destinação de um resíduo orgânico que, de outra forma, ocuparia grandes volumes em aterros sanitários. Ademais, as fibras de coco possuem boas propriedades mecânicas, incluindo um comprimento considerável e ótima resistência à tração.

Apesar do grande potencial das fibras de coco, sua viabilidade técnica requer um entendimento aprofundado de como sua adição influencia as propriedades da matriz de concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Algumas questões como a aderência com a matriz cimentícia, a durabilidade em ambientes

alcalinos e a trabalhabilidade da mistura ainda geram questionamentos (Capelin *et al.*, 2020). A comunidade científica, estuda a décadas a influência das fibras vegetais, especialmente as provenientes dos caules e frutos da família das palmeiras, reconhecendo suas vantagens no controle da fissuração, a flexibilidade, a resistência à tração na flexão e resistência à compressão (Araújo, 2022), apesar disso, ainda não há um consenso sobre seus efeitos.

Assim, este estudo busca responder os seguintes questionamentos: Como a adição de fibras vegetais ao concreto podem influenciar as suas propriedades mecânicas? Quais são os efeitos específicos da presença de fibras vegetais na resistência a compressão do concreto?

Em resposta a essas indagações, a hipótese central deste trabalho é que a incorporação de fibras de coco ao concreto pode melhorar seu desempenho mecânico, especialmente no controle de fissuras e melhorando sua resistência à compressão.

Com o intuito de investigar a aplicabilidade das fibras de coco no concreto, este estudo tem como objetivo geral analisar os efeitos da adição de fibras de coco no concreto, avaliando suas implicações na resistência à compressão e trabalhabilidade, fundamentando-se na literatura científica. Para alcançar este objetivo geral, foram estabelecidos os objetivos específicos que incluem realizar uma revisão da literatura aprofundada pertinente sobre o uso de fibras naturais em concreto, com um foco particular nas fibras das plantas da família das palmeiras. Adicionalmente, busca-se identificar os possíveis impactos da adição dessas fibras na resistência à compressão, utilizando dados e análises de estudos já realizados. Por fim, visa-se discutir a viabilidade da utilização de fibras vegetais como um reforço sustentável no concreto, sintetizando as informações e conclusões extraídas da literatura disponível.

Para investigar os efeitos da incorporação de fibras de coco nas propriedades mecânicas do concreto, este estudo será fundamentado em uma revisão e análise crítica da literatura científica, buscando sintetizar, analisar e discutir a influência da adição de fibras na resistência à compressão e controle de fissuras do material. O intuito é compilar informações e dados que contribuam para a avaliação de sua aplicabilidade como material de construção alternativo. O estudo está limitado à análise dos efeitos da adição de fibras vegetais na matriz do concreto, com ênfase em sua resistência à compressão e fissuração. A pesquisa foi fundamentada por uma

revisão bibliográfica e análise crítica da literatura científica, sem a realização de testes experimentais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO E A BUSCA POR SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os materiais cimentícios, notadamente o cimento Portland e os concretos derivados, são fundamentais e largamente empregados na construção civil em escala global. Araújo (2022) destaca que sua relevância, advém de suas eficazes propriedades aglomerantes, versatilidade de aplicação e capacidade de compor estruturas com considerável resistência e durabilidade. Historicamente, o desenvolvimento do concreto revolucionou as técnicas construtivas, permitindo a execução de obras complexas e de grande porte que moldaram a infraestrutura moderna. Contudo, é reconhecido que a produção de cimento Portland, envolve um consumo significativo de recursos naturais e energia, além de contribuir para as emissões de gases de efeito estufa.

Diante da necessidade de alinhar o indispensável uso de materiais cimentícios com as crescentes demandas por sustentabilidade na construção, a comunidade técnica e científica tem intensificado a pesquisa por alternativas que visem tanto a otimização do desempenho quanto a redução do impacto ambiental desses materiais. Nesse contexto, a incorporação de adições e reforços que possam aprimorar as propriedades do concreto e, simultaneamente, oferecer vantagens ecológicas, tem ganhado destaque. Uma vertente promissora, como aponta Capelin *et al.* (2020), é a utilização de materiais de origem vegetal, particularmente fibras naturais. Essas fibras, provenientes de fontes renováveis e frequentemente de subprodutos agroindustriais, surgem como uma alternativa interessante para modificar e potencialmente melhorar certas características dos compósitos cimentícios, como o comportamento pós-fissuração e a tenacidade, aspectos onde o concreto convencional apresenta limitações.

O concreto, apesar de sua excelente resistência à compressão, é conhecido por sua natureza frágil e baixa capacidade de suportar tensões de tração, levando à

formação e propagação de fissuras, justamente o que se busca combater com a incorporação de fibras, trazendo melhora na resistência aos esforços mecânicos.

Diversos tipos de fibras, tanto artificiais quanto naturais, foram incorporados em matrizes à base cimentícia, a escolha dos tipos de fibras mais comercialmente significativos varia de materiais orgânicos sintéticos, como polipropileno ou carbono, inorgânicos sintéticos, como aço ou vidro, orgânicos naturais, como celulose ou sisal, até o inorgânico natural amianto (Ozerkan *et al.*, 2013). A Figura 1 ilustra o aspecto visual dessa incorporação, destacando a presença das fibras na superfície de fratura do concreto.

Figura 1 - Concreto reforçado com fibras



Fonte: WOTAI Yuanwang, 2024.

Nesse panorama de valorização de materiais alternativos, o reaproveitamento de resíduos agroindustriais surge como uma estratégia de grande relevância, e a fibra de coco se destaca como um exemplo proeminente, alinhando-se perfeitamente à busca por soluções construtivas mais sustentáveis (Marvila *et al.*, 2024).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) informa que o Brasil produziu aproximadamente 1,9 bilhões de frutos do coco, sendo que os principais estados produtores são: Bahia, Pará, Pernambuco e Sergipe. Gerando anualmente um volume expressivo de subprodutos, principalmente a casca, que muitas vezes é descartada de forma inadequada, como exibido na Figura 2, contribuindo para problemas ambientais e de gestão de resíduos sólidos.

Figura 2 - Cascas de coco verde descartadas no meio ambiente



Fonte: Embrapa Tabuleiros Costeiros - Maria Urbana Corrêa Nunes, 2008.

A utilização da fibra de coco, extraída dessa casca, não apenas mitiga o impacto ambiental associado ao seu descarte, como também agrega valor a um material que seria descartado. Desta forma, sua incorporação em compósitos cimentícios representa uma importante contribuição para a redução do volume de resíduos sólidos urbanos e rurais destinados a aterros ou dispostos no ambiente, ao mesmo tempo em que oferece um potencial significativo para o desenvolvimento de novos produtos para a construção civil de forma a utilizar resíduos de outra indústria. Conforme evidenciam Momoh e Osofero (2019), as fibras vegetais oferecem vantagens como baixo impacto de dióxido de carbono, baixo custo, leveza, tenacidade, isolamento térmico, isolamento acústico aprimorado, alta reciclabilidade, biodegradabilidade e não toxicidade para o ecossistema, sendo a extração de tais fibras, realizada através de procedimentos de baixa intensidade energética.

Ferdiansyah e Razak (2011), apontam limitações das fibras naturais em comparação às fibras sintéticas, como durabilidade reduzida, baixo módulo de elasticidade e vulnerabilidade ao fogo, sendo um contraponto ao seu baixo custo, alta disponibilidade e viabilidade ecológica.

Portanto, necessita de investigação científica sobre a incorporação de fibra de coco em materiais cimentícios transcende a mera melhoria de desempenho, representando uma contribuição significativa para a sustentabilidade e o

aproveitamento de um resíduo abundante. Entretanto, o sucesso dessa aplicação está intrinsecamente ligado à capacidade de mitigar suas limitações intrínsecas, notadamente a redução da trabalhabilidade e o risco de degradação em ambiente alcalino, por meio da otimização do tratamento e da dosagem da fibra.

2.2 CARACTERIZAÇÃO E PRÉ-TRATAMENTO DA FIBRA DE COCO

A eficácia da fibra de coco como reforço em matrizes cimentícias é inerente às suas propriedades mecânicas e características físicas e, crucialmente, ao seu preparo antes da incorporação.

Um dos principais desafios na confecção de compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais é assegurar uma boa adesão entre a fibra e a matriz. A fibra atua transferindo tensões, e a qualidade dessa interface é fundamental para o desempenho do compósito.

Ozerkan et al. (2013) e Momoh e Osofero (2019) apontam que os principais fatores responsáveis pela melhoria das propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras são as propriedades mecânicas das próprias fibras, sua forma e geometria, dosagem, orientação e, fundamentalmente, a adesão fibra-matriz. A transferência de forças das fibras para a matriz depende de três mecanismos principais: adesão química, ancoragem mecânica e força de atrito. “Os estudos mostram que a durabilidade é um problema que ocorre nestas adições, principalmente devido às condições alcalinas do meio poroso do material cimentício e de condições das fibras.” (Marvilla *et al.*, 2024, p. 4)

Marvilla *et al.* (2024) apresentam em seu estudo algumas soluções para mitigar essa degradação e melhorar a interação fibra-matriz, apresentando também diversos campos nebulosos em se tratando de durabilidade, ressalta que não há estudos demonstrando testes de molhagem e secagem (fato este recorrente em qualquer fachada), ou mesmo abordando seu uso em ambientes litorâneos onde há salinidade presente no ar.

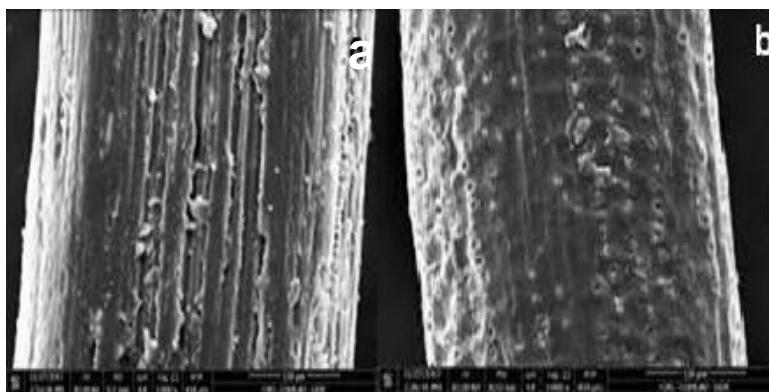
Visando a integração adequada e eficiente das fibras para/com o concreto (ou demais compostos cimentícios) são realizados pré-tratamentos para as fibras naturais de coco, estes têm por finalidade a melhora de aspectos desejáveis.

Corte e moagem são tratamentos físicos para ajustar o comprimento e a relação de aspecto da fibra. Essa adequação é crucial para garantir uma dispersão

homogênea na matriz cimentícia, evitando o emaranhamento das fibras e otimizando o desempenho mecânico, melhorando a trabalhabilidade (Ozerkan *et al.*, 2013).

Capelin *et al.* (2020), demonstram conforme a Figura 3, que apenas à fervura das fibras já causam alteração em sua superfície, isto pois a fervura e a lavagem com água constituem um tratamento hidrotérmico que remove impurezas solúveis e substâncias orgânicas da superfície da fibra. Esse processo de limpeza é importante para prevenir reações químicas que possam retardar a pega e o endurecimento da pasta de cimento (Ozerkan *et al.*, 2013).

Figura 3 - Fibra de coco ampliada 1000x *in natura* (a) e tratada (b)



Fonte: Capelin *et al.* (2020, p. 7)

A secagem é a etapa fundamental para controlar o teor de umidade das fibras antes de sua incorporação na matriz cimentícia. As fibras vegetais são hidrofílicas e sua umidade residual pode afetar significativamente a relação água/cimento efetiva da mistura, comprometendo a trabalhabilidade e as propriedades mecânicas do compósito endurecido (Ozerkan *et al.*, 2013; Hwang *et al.*, 2016).

O tratamento químico com hidróxido de sódio (NaOH), ou mercerização, é amplamente utilizado para otimizar a interface fibra-matriz. O processo remove componentes como lignina e hemicelulose, resultando em uma superfície mais rugosa e com maior área de contato, o que favorece a ancoragem mecânica da fibra na matriz cimentícia (Ozerkan *et al.*, 2013; Martinelli *et al.*, 2023; Martinelli, 2024).

O tratamento de impregnação com sílica ativa visa melhorar a zona de transição entre a fibra e a matriz. A sílica ativa reage com subprodutos da hidratação do cimento, formando compostos que densificam essa região de contato, o que resulta

em uma melhor aderência e pode aumentar a durabilidade do compósito (Ozerkan *et al.*, 2013; Martinelli *et al.*, 2023; Martinelli, 2024).

Capelin (2020) e Martinelli (2024) afirmam que a eficácia dos tratamentos em se tratando de aderência e incorporação na matriz cimentícia é confirmada por análises microscópicas, como a Microscopia Eletrônica de Varredura.

Segundo Raut e Gomez (2016) o comportamento hidrofílico das fibras naturais, causado pelo alto teor de grupos hidroxila, produz uma má adesão à fibra-matriz, este obstáculo é vencido através do tratamento alcalino. Este tratamento diminui a tensão superficial e melhora a adesão. No entanto, a degradação da superfície da fibra devido ao ataque alcalino do cimento pode causar “amolecimento por deslizamento”, pois uma camada orgânica se forma na interface, criando um efeito lubrificante que facilita o deslizamento.

Momoh e Osofero (2019) expressam que a limpeza da superfície da fibra é crucial, a remoção de impurezas melhora a adesão fibra-matriz. A degradação relacionada ao tempo das superfícies de fibras vegetais no cimento pode ser minimizada através do pré-tratamento das fibras com uma solução alcalina, no entanto, a praticidade desses tratamentos deve considerar fatores como custo e impacto ambiental.

Além do tratamento superficial, as dimensões das fibras e a fração volumétrica incorporada são variáveis críticas. A presença das fibras, devido ao seu caráter hidrofílico, também influencia a trabalhabilidade da mistura cimentícia, tendendo a diminuir o índice de consistência conforme o teor de adição aumenta.

O índice de consistência das argamassas com adições diminui conforme aumenta os teores de adições, devido ao caráter altamente hidrofílico da FC e da MCC. Desta forma, a definição do traço deve ser analisada para que se obtenha uma boa trabalhabilidade sem que ocorram perdas significativas na resistência mecânica (Capelin *et al.*, 2020, fl. 15).

A combinação de tratamento, dimensão e proporção de fibras é crucial para otimizar o desempenho do compósito cimentício reforçado com fibra de coco.

2.3 INFLUÊNCIA DA FIBRA DE COCO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

A principal razão para incorporar fibras em matrizes cimentícias é melhorar suas propriedades mecânicas, especialmente aquelas relacionadas ao

comportamento pós-fissuração e à capacidade de absorver energia. Diversos estudos focam em: resistência à tração, flexão, impacto e compressão.

Em relação à resistência à tração na flexão, as pesquisas indicam resultados positivos. Capelin *et al.* (2020, fl. 15) concluíram que:

Diante de todos os resultados encontrados, pode-se considerar que as incorporações de FC e MCC melhoram de forma significativa a resistência à tração na flexão de argamassas, porém não contribuem de forma positiva nas outras propriedades mecânicas das argamassas, mas sem prejuízos significativos para sua utilização.

Araújo (2022) utilizando fibras do epicarpo do coco babaçu, verificou um aumento de 46,68% na resistência à tração na flexão com a adição de fibras *in natura*, embora o tratamento com pasta de sílica tenha resultado em decréscimo. A pesquisa de Martinelli (2024) demonstrou que o tratamento de mercerização das fibras de coco verde resultou em maior resistência no ensaio de tração na flexão.

Para a resistência à compressão, os resultados parecem menos consistentes entre as fontes. Futami *et al.* (2021) apresentam em sua pesquisa, conforme exibido na Tabela 1, um comparativo de diferentes estudos e seus respectivos resultados, onde observa-se tanto o ganho, quanto a perda de resistência à compressão para compostos cimentícios com adição de fibras de coco.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas de materiais cimentícios reforçados com fibra de coco em 28 dias.

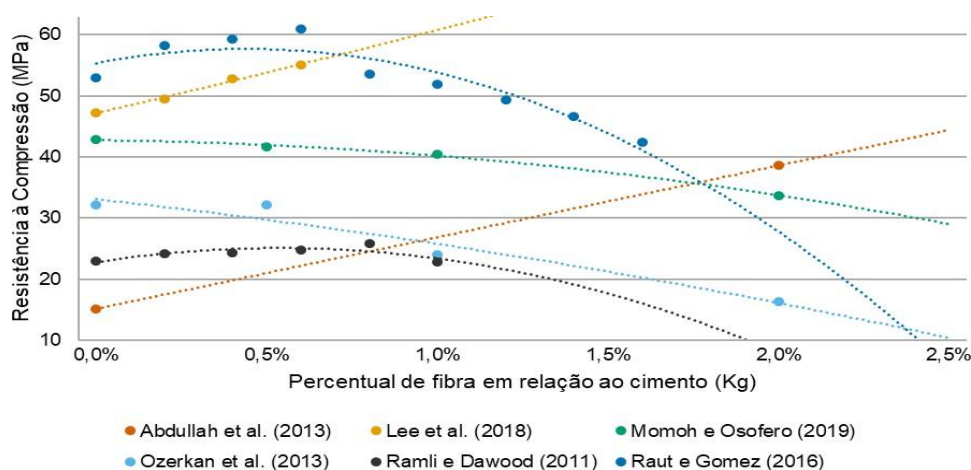
Resistência à compressão (MPa)	Quantidade de fibra de coco (%)								
	0,0	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	9,0
Abdullah <i>et al.</i> (2011)	41,19	-	-	-	33,73	-	-	38,54	43,84
Hwang <i>et al.</i> (2016)	65	50	-	45	-	35	-	-	-
Naamandadin <i>et al.</i> (2020)	22,7	-	-	-	24,1	21,43	15,13	-	-
Shfafi <i>et al.</i> (2016)	31,7	-	39,05	-	38,3		30,34	-	-

Fonte: Adaptado e traduzido de Futami *et al.* (2021, p. 27).

Os dados coletados sobre fibra de palmeira-de-óleo africana, conforme Gráfico 1, demonstram em sua maioria que há um ponto ótimo de concentração de fibras, que

se situa de 0,4% a 0,6% de adição de fibras em relação ao cimento, indícios de que apesar de diferenças nos métodos, há semelhança nos resultados.

Gráfico 1 - Resistência à compressão (MPa) 'vs' percentual de fibra de palmeira-de-óleo africana.



Fonte: Adaptado e traduzido de Futami *et al.* (2021, p. 28).

Já na pesquisa de Martinelli (2024) em concreto para pré-moldados, as fibras de coco aplicadas ao compósito cimentício melhoraram o comportamento mecânico da matriz de referência na resistência à compressão axial. Essa variação pode ser atribuída às diferentes proporções de materiais, tipos de matriz, tipos específicos de fibra de coco, tratamentos aplicados e teores de fibra utilizados.

A resistência à tração por compressão diametral é um método indireto amplamente utilizado para avaliar a capacidade de tração de materiais frágeis como o concreto, que são tipicamente resistentes à compressão, mas débeis sob tração direta. Neste ensaio, um corpo de prova cilíndrico é submetido a uma compressão ao longo de seu diâmetro, gerando tensões de tração em um plano perpendicular à direção da carga aplicada. Em compósitos cimentícios convencionais, a ruptura tende a ser súbita e frágil.

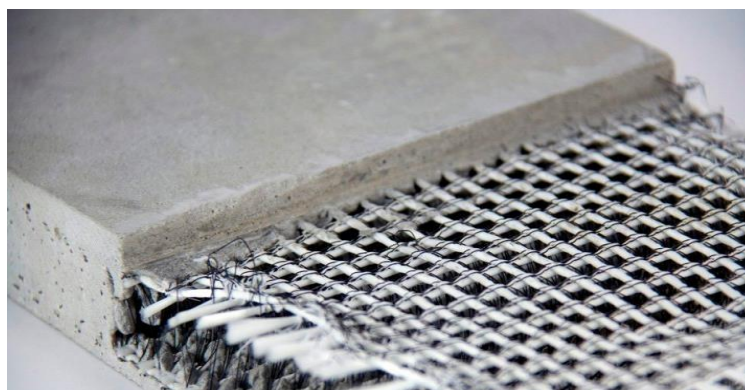
No entanto, estudos têm investigado o impacto da adição de fibras de coco nesta propriedade e os resultados, como observado por Martinelli *et al.* (2023) e Araújo (2022), indicam uma melhoria significativa. A incorporação das fibras de coco contribui para um aumento na resistência à tração por compressão diametral ao atuar como pontes de transferência de tensão através das microfissuras que se formam. Essas

fibras ajudam a costurar as fissuras incipientes, restringindo sua abertura e propagação, o que exige uma maior quantidade de energia para levar o material à ruptura completa. Esse mecanismo não apenas eleva a carga máxima suportada, mas também pode conferir ao compósito uma maior capacidade de deformação antes da falha, alterando o modo de ruptura de frágil para mais dúctil.

A capacidade de um compósito absorver impactos é outra propriedade relevante. A pesquisa de Martinelli (2024) demonstrou que placas pré-moldadas com malhas de cordões de fibra de coco apresentaram o melhor resultado quanto ao impacto de corpo duro.

Além disso, a tese de Martinelli (2024) introduz o conceito de Concreto Reforçado com Têxtil (TRCC), onde fibras contínuas são utilizadas em forma de malha, conforme apresentado na Figura 4. Estes materiais compósitos podem exibir um comportamento de endurecimento por deformação e alta capacidade de carga, levando a um alto desempenho mecânico e à formação de trincas finas que tornam a estrutura menos permeável. Embora não haja normas técnicas padrão para TRCC's, seu potencial para reforço de estruturas leves é reconhecido.

Figura 4 - Concreto Reforçado com Têxtil



Fonte: WEG Home, 2023.

Em suma, as fibras de coco demonstram um potencial significativo para melhorar as propriedades mecânicas de compósitos cimentícios, particularmente a resistência à tração na flexão, resistência à tração por compressão diametral e resistência ao impacto, embora a influência na resistência à compressão possa variar dependendo das especificidades da mistura e do tipo de fibra/tratamento.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos e métodos que foram empregados para investigar os efeitos da adição de diferentes teores de fibras vegetais na resistência à compressão do concreto, por meio de uma revisão e análise crítica da literatura científica existente. Este estudo se caracteriza como uma pesquisa bibliográfica de natureza exploratória e descritiva, com foco em uma revisão sistemática da literatura. Sendo assim, o estudo visou sintetizar, comparar e analisar os resultados de pesquisas experimentais previamente publicadas que investigaram a incorporação de fibras vegetais da família das arecáceas (palmeiras em geral), em compósitos cimentícios (Ozerkan *et al.*, 2013). A abordagem adotada foi comparativa, buscando identificar tendências, convergências e divergências nos achados de diferentes autores sobre as propriedades mecânicas do concreto com fibras de coco.

Para a realização da pesquisa, as bases de dados consultadas incluíram o Google Scholar, Scielo e Research Gate. Adicionalmente, periódicos especializados na área de engenharia civil e de materiais também foram explorados para garantir uma cobertura abrangente da literatura. A estratégia de busca envolveu a utilização de combinações de palavras-chave que representam o tema central do estudo. As palavras-chave empregadas foram: "fibra de coco", "concreto", "compósitos cimentícios", "resistência à compressão", "reforço com fibras vegetais", "durabilidade" e "sustentabilidade".

Para garantir a relevância e qualidade dos estudos selecionados, foram estabelecidos critérios de inclusão rigorosos. Foram incluídos artigos científicos completos (inclusive papers de conferências com texto integral), teses e dissertações que apresentassem dados experimentais sobre as propriedades mecânicas do concreto ou argamassa com adição de fibra de coco ou outras fibras naturais, dando preferência a estudos com fibras de plantas da família das palmeiras.

Os estudos selecionados abordam a caracterização e pré-tratamento das fibras, a resistência à compressão, a resistência à tração (flexão e/ou compressão diametral) e a trabalhabilidade de compósitos cimentícios. Em virtude do baixo índice de pesquisas sobre o tema, especialmente em âmbito nacional, foram considerados também trabalhos acadêmicos mais recentes, e publicações internacionais em revistas e jornais acadêmicos focados nas áreas de engenharia.

Os dados dos estudos selecionados foram extraídos de forma sistemática para uma planilha, visando padronizar as informações para análise e apresentação. As informações extraídas de cada estudo incluíram a identificação do trabalho (autores e ano) e a origem das fibras (coco, palmeira-de-óleo), além de serem também tabelados os resultados de ganho ou perda de resistência à compressão, estes dados foram, então, sintetizados e analisados de forma descritiva e comparativa, de modo a responder aos questionamentos da pesquisa e aos objetivos do estudo, sendo apresentados através da Tabela 1 e do Gráfico 1.

Para a análise foi incluído índices de maior relevância, como resistência à compressão, por meio da comparação dos valores médios entre concretos de referência (sem fibras) e concretos fibro-reforçados com diferentes teores. A avaliação do efeito da adição de fibras de coco nas propriedades foi feita de forma descritiva, indicando as tendências e os impactos observados na literatura, sem a realização de análise estatística inferencial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura revelou que o impacto da fibra de coco na resistência à compressão axial é o ponto de maior inconsistência entre os pesquisadores. Os estudos demonstram resultados divergentes, com registros tanto de ganhos quanto de perdas de resistência, indicando que esta propriedade é altamente sensível às variáveis de dosagem, tratamento e tipo de fibra. A Tabela 1 e o Gráfico 1 ilustram essa variação claramente.

Esses dados apontam que a variação pode ser diretamente atribuída às diferentes proporções de materiais, tipos de matriz, tipos específicos de fibra, tratamentos aplicados e teores de fibra utilizados.

Abdullah (2011), afirma que há uma perda inicial de resistência à compressão, com um ganho crescente até superar a resistência inicial. Shfafi (2016) e Naamandadin *et al.* (2020), porém, afirmam que há ganho inicial na resistência à compressão que reduz gradualmente até ser inferior à resistência de controle. Há ainda Hwang *et al.* (2016) que demonstra perda constante na resistência.

Quando se analisa o Gráfico 1, no entanto, exceto por Abdullah *et al.* (2013) e Momoh e Osofero (2019), é possível observar um ganho de resistência à compressão

entre 0,2% e 0,8% de adição de fibras, apresentando o intervalo com mais ganhos na resistência.

É importante observar que as concentrações de fibras apresentadas no Gráfico 1 e na Tabela 1, haja visto que o espectro testado foi diferente, tal qual o tipo de fibra, enquanto a Tabela 1 aborda o intervalo entre 1% e 9% de adição de fibra de coco enquanto o Gráfico 1 apresenta um intervalo de 0,2% a 2% de adição de fibra de palmeira-de-óleo africana, indicando a possibilidade de que o índice ótimo de adição de fibras esteja abaixo de 2%.

Apesar da inconsistência, Martinelli (2024) observou que, em compósitos para pré-moldados, as fibras de coco tratadas foram capazes de melhorar o comportamento mecânico da matriz de referência na resistência à compressão axial. Isso sugere que o pré-tratamento adequado das fibras é um fator crucial para otimizar essa propriedade.

Em contrapartida à compressão, os resultados da literatura são consistentemente positivos quanto ao desempenho das fibras na resistência à tração (flexão e compressão diametral) e no comportamento pós-fissuração.

Na resistência à tração na flexão, Capelin *et al.* (2020) concluíram que a incorporação de fibras de coco melhora de forma significativa esta propriedade. Araújo (2022) corrobora essa observação, tendo verificado um aumento de 46,68% na resistência à tração na flexão com a adição de fibras *in natura*. Além disso, a mercerização das fibras demonstrou potencializar esse efeito.

As discussões sobre o mecanismo de ação das fibras indicam que elas atuam como pontes de transferência de tensão através das microfissuras. Ao "costurar" as fissuras incipientes, as fibras restringem sua abertura e propagação. Isso não apenas eleva a carga máxima suportada, mas, principalmente, altera o modo de ruptura do compósito de frágil para dúctil, aumentando a absorção de energia antes da falha completa. Esse mesmo princípio se aplica à resistência ao impacto.

Martinelli (2024) demonstrou que placas pré-moldadas com malhas de cordões de fibra apresentaram o melhor desempenho contra impacto de corpo duro.

Um ponto fundamental de discussão, que afeta diretamente a viabilidade de aplicação e o desempenho mecânico final, é a trabalhabilidade. Conforme apontado na revisão de literatura, o caráter altamente hidrofílico das fibras vegetais faz com que elas absorvam água da mistura, diminuindo o índice de consistência.

A redução da trabalhabilidade é um resultado adverso que exige atenção na dosagem. Para que os ganhos de resistência na tração não sejam anulados por um compósito mal adensado e poroso, a definição do traço deve ser rigorosamente analisada para garantir uma boa trabalhabilidade sem perdas mecânicas significativas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os efeitos da incorporação de fibras de coco nas propriedades mecânicas e na trabalhabilidade de compósitos cimentícios. O objetivo geral foi avaliar as implicações dessa adição na resistência à compressão e na trabalhabilidade, fundamentando-se em pesquisas prévias para investigar a aplicabilidade das fibras de coco no concreto. A investigação buscou, assim, responder se a adição de fibras de coco é tecnicamente viável e quais seus impactos específicos, visando o uso sustentável de um resíduo agroindustrial abundante.

Em resposta aos objetivos propostos e às questões de pesquisa, constatou-se que a revisão de literatura conseguiu compilar dados e análises que fornecem uma resposta substancial aos questionamentos do estudo. A literatura revisada demonstra, de forma consistente, que as fibras vegetais influenciam positivamente as propriedades mecânicas relacionadas à tração e ao comportamento pós-fissuração. As fibras atuam como pontes de transferência de tensão através das fissuras, melhorando significativamente a resistência à tração na flexão, a capacidade de absorção de energia, a resistência ao impacto, e elevando a resistência à tração na flexão conferindo ao material um comportamento mais dúctil.

Contudo, quanto aos efeitos específicos na resistência à compressão, os resultados encontrados na literatura mostraram-se inconsistentes, com estudos relatando tanto ganhos quanto perdas. Essa variação indica que a resistência à compressão é altamente sensível ao teor de fibra utilizado, à sua dimensão e, aos pré-tratamentos aplicados. Quanto à trabalhabilidade, verificou-se uma tendência clara de redução da fluidez da mistura, atribuída ao caráter altamente hidrofílico das fibras vegetais. Essa redução do índice de consistência exige que a definição do traço seja rigorosamente analisada para garantir uma boa trabalhabilidade e evitar que os ganhos na tração sejam anulados por um compósito mal adensado.

Confirma-se, portanto, a viabilidade ambiental da utilização da fibra de coco, que se alinha aos princípios da economia circular pela valorização de um resíduo agroindustrial gerado em grande volume no Brasil. A viabilidade técnica é considerada promissora, especialmente para elementos não estruturais ou de vedação, onde o controle de fissuração é mais crítico do que a obtenção de alta resistência à compressão. A hipótese central do trabalho é, assim, confirmada parcialmente: a fibra de coco melhora o desempenho mecânico no controle de fissuras, mas a manutenção da resistência à compressão depende de otimização por meio de tratamento e dosagem.

Por fim, a revisão identificou lacunas importantes na literatura. Sugere-se a realização de estudos futuros focados na durabilidade a longo prazo dos compósitos em ambientes alcalinos, como o do cimento Portland. É crucial investigar experimentalmente o comportamento dos compósitos em testes de molhagem e secagem e em ambientes litorâneos com salinidade presente no ar, uma carência apontada pela literatura revisada. Além disso, são necessárias investigações experimentais que comparem sistematicamente diferentes tipos de pré-tratamentos químicos, como a mercerização, em teores de fibra otimizados, com a finalidade de otimizar a resistência à compressão e neutralizar a perda de trabalhabilidade. O potencial de utilização de fibras contínuas em formatos como o Concreto Reforçado com Têxtil (TRCC), que demonstrou alto desempenho mecânico, sugere-se a necessidade de desenvolver diretrizes e normas técnicas para padronizar o uso dessas fibras vegetais em estruturas leves.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A., ABDULLAH, M. M. A. B., KAMARUDIN, H., GHAZALI, C. M. R., SALLEH, M. A. A. M., SANG, P. K., MUHAMMAD FAHEEM, M. T. Study on the properties of oil palm trunk fiber (OPTF) in cement composite. **Applied Mechanics and Materials**, 2013, v. 421, p.395–400. Disponível em: [researchgate.net/publication/256471259](https://www.researchgate.net/publication/256471259). Acesso em: 9 set. 2025.
- ABDULLAH, A., JAMALUDIN, S. B., Md NOOR, M., HUSSIN, K. Composite Cement Reinforced Coconut Fiber: Physical and Mechanical Properties and Fracture Behavior. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 2011, v. 5, p.1228–1240. Disponível em: [researchgate.net/publication/250310862](https://www.researchgate.net/publication/250310862). Acesso em: 9 set. 2025.
- AFROUGHSAKET, V., BIOLZI, L., OZBAKKALOGLU, T. High-performance fiber reinforced concrete: a review. **Journal of Materials Science**, v. 51, 2016. Disponível em: doi.org/10.1007/s10853-016-9917-4. Acesso em: 12 mai. 2025.

AHMAD, Z., SAMAN, H. M., TAHIR, P. M. Oil palm trunk fiber as a bio-waste resource for concrete reinforcement. **International Journal of Mechanical and Materials Engineering**, v. 5, n. 2, p.199-207, 2010. Disponível em: [researchgate.net/publication/268285609](https://www.researchgate.net/publication/268285609). Acesso em: 7 set. 2025.

ARAÚJO, M. V. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu para aplicação em placas cimentícias**. 2022. 118f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022. Disponível em: repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/15730. Acesso em: 12 mai. 2025.

CAPELIN, L. J., MORAES, K. K., ZAMPIERI, J. P., VANDERLEI, R. D. Avaliação dos efeitos da fibra de coco e da microcelulose cristalina nas propriedades de argamassas cimentícias. **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, 2020. Disponível em: [researchgate.net/publication/340472416](https://www.researchgate.net/publication/340472416). Acesso em: 12 mai. 2025.

FERDIANSYAH, T., RAZAK, H. A. Mechanical properties of black sugar palm fiber-reinforced concrete. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 2011, v. 30, 994–1004. Disponível em: doi.org/10.1177/0731684411411335. Acesso em: 7 set. 2025.

FIORENTIN, L. D., ANDRETTA, E. R. Z., BATISTON, E. R. Utilização de Fibra de Coco Como Componente Para Aumentar a Resistência Final do Concreto. **Seminário Internacional de Arquitetura e Urbanismo**, v. 1, 2021. Disponível em: periodicos.unoesc.edu.br/siau/article/download/27916/16401. Acesso em: 12 mai. 2025.

FUTAMI, E., SHAFIGH. P., KATMAN, H. Y. B., IBRAHIM, Z. Recent Progress in the Application of Coconut and Palm Oil. **Sustainability**, v. 13, 2021. Disponível em: [researchgate.net/publication/356431561](https://www.researchgate.net/publication/356431561). Acesso em: 12 mai. 2025.

HWANG, C. L., TRAN, V. A., HONG, J. W., HSIEH, Y. C. Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites, **Construction and Building Materials**, 2016, v. 127, 984–992. Disponível em: doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.118. Acesso em: 7 set. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Coco da baía**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/br. Acesso em: 3 jun. 2025.

KHOUDJA, D., TAALLAH, B., IZEMMOUREN, O., AGGOUN, S., HERIHIRI, O., GUETTALA, A. Mechanical and thermophysical properties of raw earth bricks incorporating date palm waste. **Construction and Building Materials** 2021, v. 270, 121824. Disponível em: 2024.sci-hub.se/8491/113c13fac46991380e3e15d4fd387e1f/khoudja2021.pdf. Acesso em: 9 set. 2025.

LEE, S. W., OH, C. L., ZAIN, M. R. M., YAHYA, N. A. **The Use of Oil Palm Fiber as**

Additive Material. In Concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, v. 431, 042012. Disponível em: doi.org/10.1088/1757-899X/431/4/042012. Acesso em: 1 set. 2025.

MARTINELLI, F. R. B. **Elementos Pré-Moldados de Concreto com Adição de Fibras de Coco Verde:** Estudo das Propriedades Físicas, Químicas e Mecânicas. 2024. 237f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2024. Disponível em: repositorio.ifes.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/5346/TESE_Elementos_Pr%C3%A9-moldados_Concreto_Fibras_Coco.pdf. Acesso em: 12 mai. 2025.

MARTINELLI, F. R. B., RIBEIRO, F. R. C., MARVILA, M. T., MONTEIRO, S. N., FILHO, F. d. C. G., AZEVEDO, A. R. G. d. A Review of the Use of Coconut Fiber in Cement Composites. **Polymers**, v. 15, 2023. Disponível em: researchgate.net/publication/369057188. Acesso em: 12 mai. 2025.

MARVILA, M. T., AZEVEDO, A. R. G. d., CECCHIN, C., ZANELATO, E. B., BARBOSA, V. d. S., LIMA, T. E. S., MONTEIRO, S. N., XAVIER, G. C., AGUIAR, N. C., VIEIRA, C. M. F. **Durabilidade de Argamassas com Fibras de Coco.** 75º Congresso Anual da ABM – Internacional, São Paulo, 2020. Disponível em: researchgate.net/publication/365846378. Acesso em: 12 mai. 2025.

MOMOH, E. O., OSOFERO, A. I. Behaviour of oil palm broom fibres (OPBF) reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, 2019, v. 221, p.745–761. Disponível em: [2024.sci-hub.se/8178/7ce57008ea8cae72c73f7c2127a7d7c4/momoh2021.pdf](https://www.sci-hub.se/8178/7ce57008ea8cae72c73f7c2127a7d7c4/momoh2021.pdf). Acesso em: 7 set. 2025.

NAAMANDADIN, N. A., ROSDI, M. S., MUSTAFA, W. A., SHAHROL AMAN, M. N. S., SAIDI, S. A. Mechanical behaviour on concrete of coconut coir fiber as additive. IOP Conf. Series: **Materials Science and Engineering**, 2020, v. 932. Disponível em: researchgate.net/publication/347929727. Acesso em: 8 set. 2025.

NUNES, M. U. C. Coco: Coprodutos. **Embrapa - AGEITEC**, 2008. Disponível em: embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/posproducao/coprodutos. Acesso em: 10 nov. 2025.

OZERKAN, N. G., AHSAN, B., MANSOUR, S., IYENGAR, S. R. Mechanical performance and durability of treated palm fiber reinforced mortars. **International Journal of Sustainable Built Environment**, 2013, v. 2, 131–142. Disponível em: doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.04.002. Acesso em: 07 set. 2025.

RAMLI, M., DAWOOD, E. T. Effects of palm fiber on the mechanical properties of lightweight concrete crushed brick. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**, 2011, v. 3, p.489–493. Disponível em: doi.org/10.3844/ajeassp.2010.489.493. Acesso em: 1 set. 2025.

RAUT, A.N., GOMEZ, C. P. Thermal and mechanical performance of oil palm fiber reinforced mortar utilizing palm oil fly ash as a complementary binder. **Construction and Building Materials**. 2016, v. 126, p.476–483. Disponível em: academia.edu/100968592. Acesso em: 08 set. 2025.

SHFAFI, S. M. S. M., MOUZZAM, S. S. M., ALI, H. S. H., Md UMAR, S. S. **Effect of Coconut Fibre in Concrete and to Improve the Workability by Incorporating an Admixture**. 2016. 62f. (Dissertação de Bacharelado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil Escola de Engenharia e Tecnologia Campus Técnico Kalsekar da Anjuman-I-Islam. Disponível em: pt.slideshare.net/slideshow/effect-of-coconut-fibre-in-concrete-and-to-improve-the/169179633. Acesso em: 8 set. 2025.

WEG HOME. **Concreto têxtil: saiba o que é e onde utilizá-lo**. 2023. Disponível em: weg.net/weghome/blog/arquitetura/concreto-textil-saiba-o-que-e-e-onde-utiliza-lo/. Acesso em: 01 nov. 2025.

WOTAI - YUANWANG. **Vantagens e Desvantagens do Concreto Reforçado com Fibras**. 2024. Disponível em: wotaichem.com/pt/vantagens-e-desvantagens-do-concreto-reforcado-com-fibras. Acesso em: 1 nov. 2025.

CRIAÇÃO DE REDE NEURAL PARA MONITORAMENTO PREDITIVO EM COMPRESSORES INDUSTRIAIS

Caio Correia Santos¹, Devisom Rodrigues Alves de Oliveira¹, Peterson da Silva Vital¹, Ruan Schultz Rigueti², Daniela Luz Leite³

¹Acadêmicos de Engenharia Mecânica - Multivix São Mateus/ES

²Mestre/ Engenheiro Mecânico/Docente/Orientador - Multivix São Mateus/ES

³Mestre em Energia/Engenheira Química/Docente/Coorientadora - Multivix São Mateus/ES

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e demonstração de uma rede neural artificial aplicada à manutenção preditiva de compressores industriais. O estudo foi motivado pela crescente demanda por soluções inteligentes capazes de reduzir falhas inesperadas e otimizar o tempo de operação de equipamentos. Para viabilizar a pesquisa sem depender de dados proprietários de empresas, foi criado um conjunto de dados artificial, simulando variáveis típicas de sensores industriais. As condições operacionais, incluindo estados normais e nove tipos de falhas foram geradas a partir de combinações lógicas dessas variáveis, de forma a representar cenários realistas de operação. O dataset balanceado foi então utilizado no treinamento de uma rede neural multicamada desenvolvida em Python, com auxílio das bibliotecas TensorFlow e Scikit-learn. Durante o treinamento, foram aplicadas técnicas de normalização, codificação de rótulos e validação cruzada, buscando maximizar a acurácia do modelo. Os resultados mostraram boa capacidade de generalização, com acurácia estável ao longo das épocas de treino e validação. Além disso, foi criada uma interface gráfica interativa, permitindo que o usuário insira manualmente os valores de sensores e obtenha como saída a probabilidade de ocorrência de determinada falha nas próximas 24 horas. Conclui-se que o modelo proposto atinge o objetivo de demonstrar, de forma prática e didática, como uma rede neural pode ser aplicada na detecção de falhas industriais, contribuindo para a compreensão dos princípios de aprendizado de máquina e para o desenvolvimento de soluções inteligentes voltadas à manutenção preditiva.

Palavras-chave: redes neurais artificiais; manutenção preditiva; compressores Industriais; TensorFlow; Scikit-learn.

ABSTRACT

This work aimed to develop and demonstrate an artificial neural network applied to the predictive maintenance of industrial compressors. The study was motivated by the growing demand for intelligent solutions capable of reducing unexpected failures and optimizing equipment uptime. To enable the research without relying on proprietary company data, an artificial dataset was created, simulating typical variables of industrial sensors. The operating conditions, including normal states and nine types of failures, were generated from logical combinations of these variables to represent realistic operating scenarios. The balanced dataset was then used to train a multilayer neural network developed in Python, with the aid of the TensorFlow and Scikit-learn libraries. During training, normalization, label coding, and cross-validation techniques were applied, seeking to maximize the model's accuracy. The results showed good generalization capacity, with stable accuracy throughout the training and validation epochs. Furthermore, an interactive graphical interface was created, allowing the user to manually enter sensor values and obtain as output the probability of occurrence of a given failure in the next 24 hours. It is concluded that the proposed model achieves the objective of demonstrating, in a practical and didactic way, how a neural network can be applied in the detection of industrial failures, contributing to the understanding of machine learning principles and to the development of intelligent solutions aimed at predictive maintenance.

Keywords: artificial neural networks; predictive maintenance; industrial compressors; TensorFlow; Scikit-learn.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção industrial ganhou destaque nas organizações a partir de 1939, após o início da Segunda Guerra Mundial, diante do aumento da complexidade dos equipamentos, dos avanços tecnológicos, das exigências do mercado por produtos sem defeitos, das alterações nos sistemas de produção, além disso para as exportações que ganharam força após a Segunda Guerra.

Nesse cenário, foram estabelecidas normas de roscas, padrões de simbologia em desenhos técnicos e procedimentos de manutenção voltados a garantir a eficiência operacional das máquinas. A partir daí, surgiram as práticas de

manutenção preventiva e as rotinas de inspeção, realizadas pelos mecânicos com o objetivo de verificar as condições reais dos equipamentos e acompanhar o desenvolvimento de possíveis falhas, configurando os primeiros conceitos de manutenção preditiva.

Contudo, a manutenção industrial planejada é importante para atingir resultados, como a redução no número de falhas, aumento da confiabilidade e qualidade, um menor tempo de máquina parada, e aumento da segurança dos operadores.

A inteligência artificial tem se destacado como uma das ferramentas mais promissoras para a solução de problemas complexos nas mais diversas áreas do conhecimento. Entre suas aplicações, as redes neurais artificiais se sobressaem por sua capacidade de aprender padrões a partir de dados e realizar tarefas como classificação, previsão e detecção de anomalias (Haykin, 2001).

Nas últimas décadas, as redes neurais artificiais têm se consolidado como uma das tecnologias mais promissoras dentro do campo da inteligência artificial, oferecendo soluções eficazes para tarefas de classificação, reconhecimento de padrões e tomada de decisão. Seu impacto tem sido sentido amplamente em áreas como finanças, saúde, segurança digital e marketing.

Este trabalho delimita-se ao estudo e aplicação das Redes Neurais Artificiais voltadas à previsão de falhas em compressores industriais, analisando variáveis coletadas por sensores, como pressão, temperatura, vibração, corrente elétrica, vazão e outros indicadores operacionais. A pesquisa concentra-se no desenvolvimento de um modelo supervisionado capaz de identificar padrões que indiquem condições anormais de funcionamento, como superaquecimento e baixa eficiência, com base em dados previamente rotulados.

O escopo da investigação está restrito ao uso de um conjunto de dados estruturados e disponíveis no momento da realização do estudo, sem a necessidade de coleta experimental em campo. Não há envolvimento de indivíduos, nem delimitação geográfica específica, uma vez que todo o trabalho foi conduzido em ambiente computacional. A análise também está limitada ao contexto temporal atual, considerando apenas informações existentes até 2025.

A proposta possui caráter acadêmico e introdutório, buscando demonstrar a aplicação prática de uma rede neural simples dentro da área de manutenção preditiva na engenharia mecânica. Não se pretende, nesta etapa, implementar o

modelo diretamente em ambientes industriais, mas sim estabelecer uma base conceitual e técnica para estudos futuros.

Quando se trata da engenharia mecânica, a adoção prática dessas ferramentas ainda caminha a passos lentos. Técnicas baseadas em redes neurais podem ser aplicadas, por exemplo, na identificação precoce de anomalias em equipamentos, no monitoramento contínuo de sistemas mecânicos por meio de sensores e na análise de padrões operacionais para estimar a vida útil remanescente dos ativos (Silva et al., 2023; Rao, 1996).

Na atualidade ainda existe uma lacuna no ambiente acadêmico da engenharia, no que se refere ao uso prático de inteligência artificial. Muitos estudantes têm contato teórico com conceitos como redes neurais, mas poucos desenvolvem projetos que envolvem a aplicação real. Socialmente, a disseminação de tecnologias como redes neurais pode favorecer a inovação em empresas de menor porte, oferecendo alternativas de baixo custo para problemas operacionais e contribuindo para o avanço tecnológico em diferentes regiões. A democratização desse conhecimento é, portanto, cientificamente relevante, tecnologicamente útil e socialmente necessária.

Diante do exposto esse estudo tem como objetivo geral desenvolver e demonstrar o funcionamento de uma rede neural artificial capaz de prever falhas em compressores industriais. E quanto aos objetivos específicos esse estudo de propõe: Criar um conjunto de dados balanceado e simulado, representando diferentes condições operacionais do compressor (normais e de falha); Treinar e validar o modelo de rede neural utilizando técnicas de aprendizado supervisionado; Analisar o desempenho do modelo com base em métricas como acurácia e perda durante o treinamento; Desenvolver uma interface gráfica para inserção manual ou automatizada de dados de sensores e exibição das previsões de falha; Demonstrar a aplicabilidade prática da rede neural como ferramenta auxiliar na manutenção preditiva industrial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção industrial representa um dos pilares fundamentais para a operação eficiente, segura e contínua de sistemas produtivos. Tradicionalmente associada à simples correção de falhas, essa atividade evoluiu significativamente nas últimas décadas, passando de uma abordagem reativa para estratégias mais inteligentes e preditivas, impulsionadas pelo avanço tecnológico e pelas exigências da Indústria 4.0 (Jardine, 2006).

De modo geral, a manutenção industrial pode ser definida como o conjunto de ações técnicas e administrativas voltadas para garantir o funcionamento ideal de máquinas, equipamentos e instalações, assegurando sua disponibilidade, confiabilidade e segurança ao longo do tempo. Segundo Mobley (2002) a manutenção tem como objetivo principal assegurar que os ativos físicos funcionem com o menor custo total possível, dentro dos padrões de qualidade e produtividade exigidos.

O histórico da manutenção revela um percurso de adaptação às transformações tecnológicas e às necessidades do mercado. Inicialmente, predominava a manutenção corretiva, que consistia na substituição ou reparo do equipamento apenas após a falha. Contudo, os altos custos decorrentes de paradas não programadas e os riscos à segurança impulsionaram o desenvolvimento de abordagens preventivas, com inspeções e serviços programados em intervalos regulares. Nas últimas décadas, com o avanço da automação e da instrumentação, surge a manutenção preditiva, baseada no monitoramento contínuo de variáveis operacionais, como vibração, temperatura e pressão (Mobley, 2002; Santos; Oliveira, 2021).

O conceito de manutenção industrial também está fortemente ligado à competitividade organizacional. Empresas que adotam estratégias eficazes de manutenção conseguem reduzir desperdícios, maximizar a vida útil dos ativos e manter um padrão de produção elevado, mesmo diante de variáveis externas instáveis. Nesse contexto, a manutenção passa a ser vista não como um custo, mas como investimento estratégico para o sucesso do negócio (Paladini, 2011). Além dos ganhos operacionais e financeiros, a manutenção bem planejada

contribui diretamente para a segurança do trabalho, evitando acidentes relacionados a falhas técnicas.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR ISO 55000 (2014), a gestão de ativos — incluindo práticas de manutenção — deve ser orientada por critérios de desempenho, riscos e custos do ciclo de vida, promovendo a sustentabilidade e a integridade dos sistemas produtivos.

A modernização da manutenção também está alinhada com as diretrizes da Indústria 4.0, que incorpora recursos como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e análise preditiva para criar ambientes industriais mais autônomos e responsivos. De acordo com Lopes et al. (2022) o uso de sensores conectados à nuvem permite acompanhar, em tempo real, a condição de componentes críticos, antecipando falhas e programando intervenções com base em dados concretos. Portanto, a compreensão do papel da manutenção industrial e de sua evolução histórica é essencial para engenheiros e gestores que desejam maximizar a eficiência dos processos produtivos. No contexto deste trabalho, essa análise será aplicada especificamente à manutenção do canhão de extrusoras de polietileno, com foco na criação de um cronograma que contemple ações preventivas e preditivas, envolvendo aspectos mecânicos e elétricos do equipamento.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção industrial pode ser classificada de acordo com a estratégia adotada para lidar com falhas e garantir a continuidade operacional dos equipamentos. Com a evolução tecnológica e o amadurecimento da gestão industrial, surgiram diversos tipos de manutenção, cada qual com características, aplicações e objetivos distintos. Entre os principais estão: manutenção corretiva, preventiva, preditiva e proativa.

A manutenção corretiva é o tipo mais simples e tradicional. Ela ocorre após a falha do equipamento, quando o componente danificado é reparado ou substituído. Sua aplicação está geralmente associada à ausência de planejamento ou à impossibilidade de prever o defeito. Segundo Mobley (2002) trata-se de uma ação reativa que, embora útil em situações específicas, representa uma das abordagens mais custosas e arriscadas, especialmente em sistemas críticos.

A principal vantagem da manutenção corretiva está na simplicidade de execução, pois não requer inspeções constantes nem investimentos em tecnologia. No entanto, suas desvantagens são significativas: aumento do tempo de inatividade, risco de acidentes, perdas produtivas e custos elevados com reparos emergenciais (Santos; Oliveira, 2021).

A manutenção preventiva consiste na realização programada de intervenções com o objetivo de evitar falhas antes que ocorram. Baseia-se em cronogramas fixos ou recomendações do fabricante e pode incluir inspeções, limpezas, ajustes, trocas de peças e testes de funcionamento.

Segundo Paladini (2011) a manutenção preventiva é uma forma racional de manter o desempenho dos ativos industriais, reduzindo significativamente a probabilidade de falhas e prolongando a vida útil dos componentes. Para isso, é necessário planejamento, definição de periodicidade e registro histórico das manutenções realizadas. Em extrusoras de polietileno, por exemplo, ações preventivas como verificação de resistências de aquecimento, limpeza de filtros e inspeção visual do canhão e do fuso podem evitar o desgaste prematuro dos componentes e minimizar o risco de parada.

A manutenção preditiva baseia-se na análise contínua das condições reais de funcionamento dos equipamentos, utilizando sensores e sistemas de monitoramento. Diferente da preventiva, que opera com base em intervalos fixos, a preditiva antecipa falhas por meio da detecção de sinais sutis de degradação, como variações de vibração, temperatura, ruído, pressão e análise de óleo.

De acordo com Mobley (2002) essa abordagem permite reduzir os custos de manutenção em até 30% ao evitar intervenções desnecessárias e focar apenas nos pontos realmente críticos. Na prática, tecnologias como termografia, ultrassom, análise de partículas metálicas e monitoramento de corrente elétrica são amplamente utilizadas em equipamentos industriais, incluindo extrusoras. Um exemplo comum é o uso da termografia infravermelha para avaliar a uniformidade da temperatura nas zonas de aquecimento do canhão de uma extrusora, identificando pontos de superaquecimento ou falhas de isolamento térmico.

2.3 FUNDAMENTOS DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são um dos principais pilares da inteligência artificial, sendo inspiradas no funcionamento dos neurônios biológicos do cérebro humano. Essas estruturas são formadas por camadas de neurônios artificiais interconectados, que realizam o processamento de informações por meio de conexões ponderadas. Essas conexões são ajustadas durante o treinamento, permitindo que o sistema aprenda padrões complexos com base em exemplos fornecidos previamente (Spadini, 2024).

No contexto da aprendizagem de máquina (*machine learning*), as RNAs configuram uma subárea especializada, destacando-se pela capacidade de modelar relações não lineares e realizar previsões em ambientes com grande volume e variedade de dados.

Segundo a *International Business Machines* (2021), ao contrário dos modelos tradicionais, que exigem forte intervenção humana, as redes neurais conseguem extrair automaticamente características diretamente dos dados, o que as torna adequadas para lidar com informações não estruturadas, como sons, imagens e séries temporais.

Com o avanço das técnicas de deep learning, uma vertente das RNAs composta por múltiplas camadas ocultas, tornou-se possível alcançar maior precisão em tarefas sofisticadas, como reconhecimento de voz, detecção de anomalias e previsão de falhas industriais. Conforme destaca a Salesforce (2018), o diferencial do deep learning está na sua capacidade de automatizar a extração de atributos, eliminando a necessidade de intervenção manual e proporcionando maior eficiência em sistemas preditivos.

Portanto, compreender os princípios de funcionamento das redes neurais é fundamental para o sucesso na aplicação da inteligência artificial em contextos técnicos e científicos. A literatura atual é unânime ao reconhecer que, combinando dados relevantes com um modelo neural adequadamente projetado, é possível alcançar altos níveis de desempenho e confiabilidade na resolução de problemas complexos, tanto em áreas tradicionais, como engenharia e saúde, quanto em setores emergentes ligados à automação e a análise de grandes volumes de dados.

2.4 APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção preditiva tem se consolidado como estratégia central na Indústria 4.0 ao permitir a transição de modelos reativos e preventivos para diagnósticos inteligentes baseados em dados (Silva, 2025). Seu uso em equipamentos industriais promove economia operacional e maior disponibilidade de ativos. Redes neurais têm desempenhado papel crucial nesse processo, graças à capacidade de detectar padrões de anomalias em sinais sensoriais (Explorer, 2025).

As RNAs processam sinais de vibração, temperatura, pressão e corrente elétrica por meio do aperfeiçoamento de seus “neurônios” em múltiplas camadas. Essa característica permite identificar variações iniciais e sutis no comportamento dos equipamentos, antecipando falhas que, sem esse monitoramento, causariam interrupções (Fundação Vanzolini, 2025).

Long Short-Term Memory (LSTM) são especialmente eficazes para análise de séries temporais. Sua habilidade de manter informações relevantes ao longo de intervalos estendidos as tornam indicadas para prever a evolução de parâmetros de sensores. Esse modelo auxilia a antecipar eventos de falhas em sistemas hidráulicos ou térmicos, gerando alertas antes de ocorrências críticas.

Além das Long Short-Term Memory (LSTM), outras arquiteturas, como as redes convolucionais Convolutional Neural Networks (CNNs), são aplicadas em dados sensoriais não estruturados, por exemplo, na análise de imagens térmicas e sinais sonoros de maquinário. A capacidade de reconhecer padrões visuais e acústicos torna a detecção de falhas mais precisa em condições operacionais adversas. Em muitos casos, RNAs mais simples, como Perceptrons Multicamadas Minimum Lovable Product (MLP), são utilizados em dados tabulares, enquanto variantes mais complexas se destinam à análise de sinais dinâmicos e subjetivos.

A interconexão entre sensores, Internet of Things (IoT) e RNAs permite o monitoramento em tempo real e distribuído dos ativos industriais, mesmo em locais remotos ou de difícil acesso. Com esse conjunto, redes podem operar em dispositivos embarcados, reduzindo a latência de resposta e possibilitando intervenção imediata.

Em suma, o uso de RNAs na manutenção preditiva representa um salto qualitativo na forma de gerir ativos industriais. A adoção dessas tecnologias

promove diminuição de custos, incremento de eficiência e elevação da competitividade em um mercado global, valorizando profissionais de engenharia preparados para integrar inteligência artificial em diagnósticos e decisões estratégicas.

2.5 TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING APLICADAS À ENGENHARIA MECÂNICA

A aplicação de técnicas de *Machine Learning* (ML) na engenharia mecânica representa uma transformação profunda na forma como os sistemas industriais são projetados, operados e mantidos. A capacidade dessas técnicas de extrair padrões de grandes volumes de dados, mesmo em ambientes ruidosos e incertos, tem impulsionado inovações em áreas como manutenção preditiva, otimização de projeto e análise estrutural. À medida que sensores inteligentes e tecnologias de conectividade se tornam mais acessíveis, o uso de modelos de ML torna-se ainda mais viável e necessário para garantir eficiência, segurança e competitividade no setor industrial.

Uma das principais aplicações dessas técnicas é a previsão da vida útil remanescente *Remaining Useful Life* (RUL) de componentes críticos, como mancais, eixos, turbinas e motores. Essa estimativa é essencial para a manutenção preditiva, pois permite agendar intervenções apenas quando necessário, evitando paradas imprevistas e prolongando a vida útil dos equipamentos. Técnicas como redes neurais recorrentes (RNNs) e redes do tipo LSTM têm demonstrado excelente desempenho ao lidar com séries temporais provenientes de sensores. No estudo de Cheng *et al.* (2023) o uso dessas arquiteturas em turbinas eólicas offshore possibilitou uma redução significativa de falhas inesperadas, otimizando a manutenção e os custos operacionais.

Além das redes neurais, algoritmos supervisionados como Máquinas de Vetores de Suporte (SVMs), Random Forest e XGBoost também são amplamente empregados na classificação e detecção de falhas em sistemas mecânicos. Em compressores, redutores e motores, esses modelos são treinados com dados de vibração, temperatura e corrente elétrica, permitindo identificar padrões que indicam desgaste ou funcionamento anômalo. Segundo a pesquisa de Serradilla *et al.* (2020) esses métodos, mesmo com conjuntos de dados ruidosos, frequentemente

superam os 90% de acurácia em diagnósticos de falhas, o que os torna altamente valiosos em ambientes industriais complexos. Em paralelo, o *Machine Learning* tem se mostrado eficaz na otimização de projetos mecânicos.

Algoritmos como *Deep Neural Networks* (DNNs) e métodos de otimização bayesiana são utilizados para explorar múltiplas variáveis de projeto de forma simultânea, buscando combinações ideais entre desempenho estrutural, resistência e custo.

Rashid e Kausik (2024) argumentam que o uso de modelos híbridos que combinam técnicas de ML com simulações baseadas em elementos finitos permite reduzir o número de protótipos físicos, encurtar ciclos de desenvolvimento e melhorar a qualidade final do produto. Isso se traduz em maior agilidade no lançamento de novos componentes e em melhor adaptação às necessidades específicas do mercado.

3 METODOLOGIA

Esse estudo trata-se de uma pesquisa de natureza básica e aplicada, pesquisa bibliográfica e pesquisa descritiva e qualitativa.

A metodologia adotada neste projeto envolveu a construção e o treinamento de uma rede neural artificial (RNA) para a previsão de falhas em compressores industriais, a partir de um conjunto de dados (dataset) simulados representando diferentes condições operacionais.

O desenvolvimento foi dividido em seis etapas principais: caracterização do compressor, criação dos dados, definição das variáveis e critérios, organização das condições de falha, treinamento e avaliação do modelo, e, por fim, o desenvolvimento da interface gráfica para utilização do sistema.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO COMPRESSOR

O compressor analisado neste projeto representa um equipamento industrial típico de ar comprimido, utilizado em processos de manufatura e manutenção. As características usadas não são baseadas em um modelo específico, e sim em partes que geralmente compõem um compressor industrial. Durante a operação, diversas variáveis são monitoradas continuamente por sensores. As principais variáveis estão citadas no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 - Descrição das variáveis utilizadas como entrada na rede neural.

Variáveis	Unidades	Descrições
Pressão de entrada	bar	Pressão do ar antes da compressão
Pressão de saída	bar	Pressão do ar após a compressão
Temperatura do ar de saída	°C	Aquecimento gerado pela compressão do ar
Corrente elétrica do motor	A	Esforço elétrico exigido do motor
Vazão	m ³ /h	Volume de ar comprimido produzido por hora
Vibração RMS	mm/s	Nível de vibração mecânica do conjunto.
Delta P	bar	Diferença entre pressões de entrada e saída.
Temperatura do motor	°C	Grau de aquecimento do motor elétrico.
Horas de operação	h	Tempo total acumulado de funcionamento.
Nível de óleo	%	Quantidade de lubrificante disponível.

Fonte: Próprios autores, 2025.

Essas variáveis foram utilizadas como entradas (features) da rede neural, e a saída (label) representa a condição operacional do compressor.

3.2 CRIAÇÃO DOS DADOS

Como parte do objetivo era o desenvolvimento de um modelo funcional sem depender de dados proprietários de empresas, o dataset foi criado artificialmente a partir de simulações realistas, com base em faixas típicas de operação industrial observadas na literatura técnica e em relatórios de manutenção.

O conjunto de dados totalizou 20.000 registros, distribuídos entre dez condições operacionais: condições normais (5000 casos), superaquecimento (2000 casos), desgaste no rolamento (2000 casos), sobrecarga elétrica (2000 casos), filtro obstruído (2000 casos), vazamento (2000 casos), baixa eficiência (1500 casos),

lubrificação insuficiente (1500 casos), partida anômala (1000 casos), oscilação de carga (1000 casos).

Cada linha do dataset representa uma amostra instantânea de funcionamento, com os valores das dez variáveis medidas e a classificação correspondente da condição. É importante destacar que o dataset não foi balanceado com base em limites fixos (como “superaquecimento acima de 90°C”), mas sim por combinações de variáveis simultâneas, de forma que os padrões de comportamento emergissem naturalmente, refletindo o contexto real de um sistema físico complexo.

3.3 SENSORES, VARIÁVEIS E CRITÉRIOS DE CONDIÇÃO

Cada condição de operação do compressor foi definida a partir da combinação das variáveis monitoradas refletindo diferentes estados de funcionamento do equipamento.

A condição normal ocorre quando todas as variáveis permanecem dentro de faixas estáveis, indicando operação equilibrada. O superaquecimento é identificado por aumento nas temperaturas do ar e do motor, junto de corrente elevada. O desgaste de rolamento apresenta vibração Root Mean Square (RMS) alta e leve acréscimo de temperatura. A sobrecarga elétrica ocorre quando a corrente do motor se eleva significativamente, podendo vir acompanhada de aquecimento. O filtro obstruído manifesta-se por aumento do delta P e redução da vazão.

No caso de vazamento, há queda na pressão de saída e na vazão, com corrente normal ou levemente reduzida. A baixa eficiência combina menor vazão e temperaturas um pouco acima do ideal, sem falha evidente. A lubrificação insuficiente aparece quando o nível de óleo está baixo, elevando a temperatura e a vibração. A partida anômala é caracterizada por picos momentâneos de corrente e vibração nas primeiras medições após o acionamento. Por fim, a oscilação de carga se evidencia por flutuações cíclicas na corrente e na vazão, indicando variações na demanda ou instabilidade operacional.

3.4 ORGANIZAÇÃO DOS EXEMPLOS E BALANCEAMENTO

Após a geração das amostras, o dataset foi balanceado proporcionalmente entre as condições, sem impor valores numéricos rígidos, para que a rede neural

aprendesse padrões de correlação entre variáveis, e não simples limiares de medição.

Foi aplicado o processo de normalização dos dados, utilizando a técnica Standard Scaler, que converte todos os valores para uma escala média (0) e desvio padrão (1). Isso evita que variáveis com unidades diferentes (como temperatura em °C e vazão em m³/h) influenciem de forma desigual no aprendizado da rede.

3.5 TREINAMENTO DA REDE NEURAL E AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA

A rede neural artificial foi desenvolvida com a biblioteca TensorFlow/Keras. O modelo é do tipo Sequential, com três camadas principais:

- Camada de entrada: 10 neurônios, correspondentes às variáveis monitoradas.
- Camada intermediária (oculta): duas camadas densas com 64 e 32 neurônios, respectivamente, ativadas com a função ReLU (Rectified Linear Unit).
- Camada de saída: neurônios equivalentes ao número de classes (4), utilizando a função Softmax, que calcula a probabilidade de o compressor estar em cada condição.

Durante o treinamento, o modelo passou por 50 épocas de aprendizado, com o método de otimização Adam e o uso da técnica de Early Stopping — que interrompe o treinamento automaticamente caso o erro de validação pare de diminuir, prevenindo sobreajuste (overfitting). A base de dados foi dividida em 80% para treinamento e 20% para validação.

3.6 CRIAÇÃO DA INTERFACE GRÁFICA

Após o treinamento, o modelo final foi salvo em formato .h5 e integrado a uma interface gráfica (GUI) desenvolvida em Tkinter — biblioteca nativa do Python.

Essa interface permite que o usuário insira manualmente os valores das variáveis medidas pelo compressor e obtenha uma previsão automática da condição operacional.

O sistema exibe a probabilidade de falha em até 24 horas, podendo ser ajustado para diferentes horizontes de previsão (por exemplo, 48h), além de mostrar a porcentagem correspondente a cada possível condição (normal, superaquecimento, vazamento, obstrução).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA E PERDA

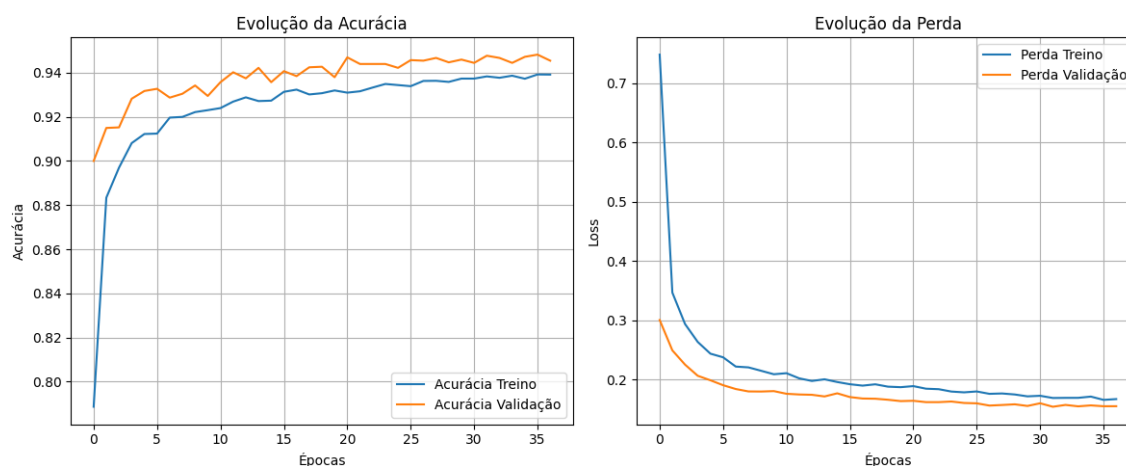
Ao final do processo foram obtidos gráficos de desempenho, representando:

- Evolução da acurácia: mostra o quanto a rede melhorou a capacidade de classificar corretamente as condições a cada época de treinamento.
- Evolução da perda (loss): indica o erro do modelo; quanto menor, melhor a performance.

Durante o treinamento da rede neural, foram gerados os gráficos de acurácia e perda (loss) para avaliar o desempenho do modelo.

De modo geral, a rede apresentou acurácia superior a 90% nos testes de validação, demonstrando boa capacidade de generalização (Figura 1).

Figura 1 - Gráficos de Acurácia e Perda.



Fonte: Próprios autores, 2025.

O Gráfico de acurácia mostra a taxa de acertos do modelo ao classificar as condições do compressor. As curvas de treino e validação indicam, respectivamente, o aprendizado nos dados usados no treinamento e o desempenho em dados novos. Quando ambas crescem juntas e permanecem próximas, o modelo apresenta boa capacidade de generalização.

Já o Gráfico de perda indica o erro cometido pela rede durante o aprendizado. A perda deve diminuir ao longo das épocas, demonstrando que o modelo está se ajustando corretamente. Valores estáveis e baixos de perda, aliados a uma acurácia crescente, representam um treinamento eficiente e equilibrado, sem sinais de *overfitting*.

4.2 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)

Por meio da interface homem-máquina (Figura 2), o usuário pode inserir valores medidos manualmente ou, em uma aplicação real, esses dados poderiam ser coletados automaticamente de sensores instalados no equipamento. Ao clicar em “Prever”, o sistema processa as informações com base no modelo previamente treinado e fornece como saída a condição operacional prevista.

Essa interface representa a integração entre o modelo preditivo e a aplicação prática, demonstrando o potencial do sistema para auxiliar no monitoramento automatizado e na manutenção preditiva de compressores industriais.

Figura 2 - Interface gráfica homem-máquina (IHM)



Previsão de Fa... — □ ×

pressao_entrada_bar

pressao_saida_bar

temp_ar_saida_c

corrente_motor_a

vazao_m3h

vibracao_rms_mms

delta_p

temp_motor_c

horas_operacao

nivel_oleo_perc

Prever

Fonte: Próprios autores, 2025.

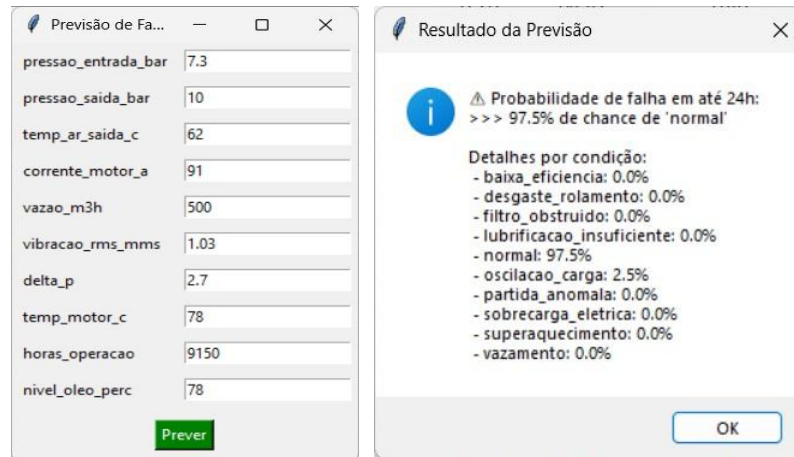
Abaixo está a demonstração da interface desenvolvida, exibindo tanto o preenchimento dos campos com os dados operacionais do compressor quanto as previsões geradas pelo modelo.

As simulações representam diferentes condições e ilustram como a rede neural responde a cada cenário, apresentando as probabilidades de ocorrência de falhas nas próximas 24 horas.

A interface exibe valores estáveis de operação, com pressões, temperaturas, corrente e vibração dentro das faixas ideais. O sistema opera em equilíbrio, sem

indícios de falha. O modelo previu alta probabilidade de operação normal, confirmando sua capacidade de reconhecer padrões estáveis de funcionamento, conforme (Figura 3).

Figura 3 - Interface mostrando resultado de condição normal de operação.

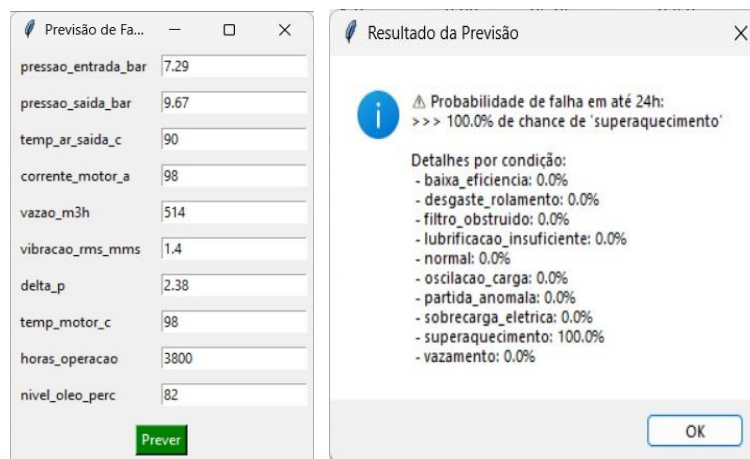


Fonte: Próprios autores, 2025.

Como exibido na Figura 4, os valores indicam aumento de temperatura do ar e do motor e corrente elétrica elevada, sugerindo sobrecarga térmica.

A rede neural identificou alta probabilidade de superaquecimento em até 24 horas, refletindo coerência entre os dados e o risco previsto.

Figura 4 - Interface mostrando resultado de condição de superaquecimento.

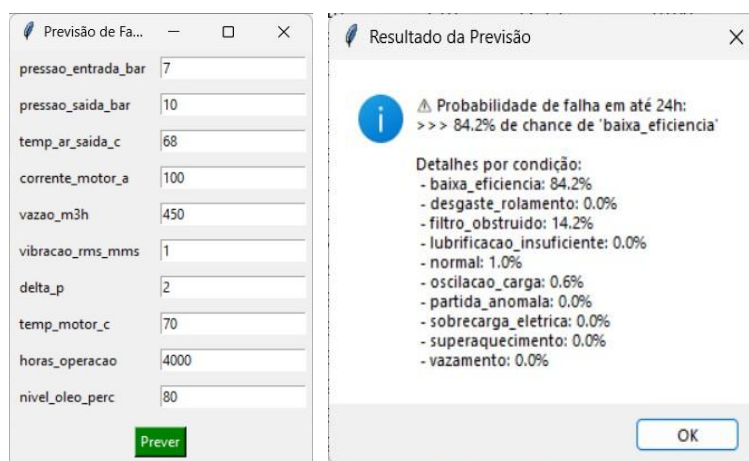


Fonte: Próprios autores, 2025.

Com os dados exibidos na Figura 5, a interface mostra variações de alguns parâmetros, enquanto os demais permanecem normais, indicando perda de desempenho.

O modelo apontou alta probabilidade de baixa eficiência em 24 horas, demonstrando sensibilidade para identificar degradações sutis no sistema.

Figura 5 - Interface mostrando resultado de baixa eficiência.



Fonte: Próprios autores, 2025.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho permitiu alcançar com êxito os objetivos propostos, demonstrando de forma prática o funcionamento de uma rede neural artificial aplicada à previsão de falhas em compressores industriais. A construção do modelo, desde a criação de um dataset simulado até o treinamento e validação da rede, possibilitou compreender como esse tipo de sistema aprende a reconhecer padrões e realizar previsões a partir de dados numéricos de sensores.

Os resultados obtidos demonstraram que a rede neural foi capaz de identificar diferentes condições operacionais do compressor, simulando com coerência situações como superaquecimento, desgaste mecânico e vazamento.

Além disso, a criação de uma interface gráfica funcional consolidou o projeto, mostrando como um sistema de previsão poderia ser aplicado em um ambiente industrial real, recebendo dados automaticamente de sensores e emitindo diagnósticos em tempo real.

Portanto, o trabalho cumpriu seu propósito principal de apresentar, de maneira didática e aplicada, o potencial das redes neurais artificiais na manutenção preditiva, servindo como base para futuras implementações com dados reais e integração a sistemas de monitoramento automatizados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR ISO 55000**: Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=332484>.

CHENG et al. Deep Reinforcement Learning for Cost-Optimal Condition-Based Maintenance Policy of Offshore Wind Turbine Components, **Ocean Engineering**, vol. 283, Set. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng>.

EXPLORER. **Manutenção Preditiva**: Como a Inteligência Artificial Ajuda a Reduzir Falhas Na Produção Industrial. Agência Explorer, 2025. Disponível em: agenciaexplorer.com.br/blog/industria/manutencao-preditiva-industrias/.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Inteligência Artificial Na Indústria 4.0**. Fundação Vanzolini, 14 Jan. 2025. Disponível em: vanzolini.org.br/blog/inteligencia-artificial-na-industria-4-0/.

HAYKIN, S. **Redes neurais**: Princípios e prática. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Disponível em:

IBM. **What Is a Neural Network?** IBM, 6 Out. 2021. Disponível em: www.ibm.com/think/topics/neural-networks.

JARDINE, A. K. S. **Maintenance, Replacement and Reliability: Theory and Applications**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. Disponível em: <https://www.routledge.com/Maintenance-Replacement-and-Reliability/Jardine/p/book/9780849370410>.

LOPES, Henrique A.; MARTINS, Daniela R.; PEREIRA, Tiago S. Indústria 4.0 e a evolução da manutenção preditiva: aplicações e desafios no ambiente fabril. **Revista Tecnologia & Inovação Industrial**, v. 15, n. 3, p. 45–58, 2022. Disponível em: <https://revistatecnologiaindustrial.com.br/artigo/ind-4-0-manutencao-preditiva>.

MOBLEY, R. Keith. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 2. ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750675314/an-introduction-to-predictive-maintenance>.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade**: Teoria e Prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2011. Disponível em: <https://www.atlas.com.br/livro/gestao-da-qualidade-teoria-e-pratica>.

RAO, S. S. **Engineering optimization: Theory and Practice**. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

RASHI; KAUSIK. AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of Its Diverse Applications, **Hybrid Advances**, vol. 7, n.100277, 23 Aug. 2024, p. 100277–100277. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773207X24001386. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100277>.

SANTOS, Vinícius A.; OLIVEIRA, Fernando R. Gestão e Planejamento da Manutenção Industrial: desafios e tendências na Indústria 4.0. **Revista Engenharia de Produção e Sistemas**, v. 9, n. 2, p. 77–91, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufrgs.br/engprod/article/view/10291>.

SALESFORCE. **Deep e Machine Learning: Qual a Diferença?** Salesforce, 30 Abr. 2018. Disponível em: www.salesforce.com/br/blog/machine-learning-vs-deep-learning/.

SERRADILLA et al. **Deep Learning Models for Predictive Maintenance: A Survey, Comparison, Challenges and Prospect**. Arxiv.org, 7 Oct. 2020. Disponível em: arxiv.org/abs/2010.03207.

SILVA, W.R. et al. **A Utilização de Redes Neurais na Previsão de Falhas de Equipamentos Mecânicos**, Conbrepro, 2023. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/2023/arquivos/10312023_221014_6541a5b2703cc.pdf.

SILVA, José E. Entre Sensores E Algoritmos: A Nova Lógica Da Manutenção Industrial. **Revista E&S**, 9 Jun 2025. Disponível em: revistaes.com.br/colunas/entre-sensores-e-algoritmos-a-nova-logica-da-manutenc-ao-industrial/

SPADINI, A.S. **Arquiteturas de Redes Neurais: Aplicações Na IA**. Alura, 30 Oct. 2024. Disponível em: www.alura.com.br/artigos/arquiteturas-de-redes-neurais.

VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES A COMBUSTÃO PARA MOTORES ELÉTRICOS EM CARROS COM MAIS DE 10 ANOS DE USO

Álvaro Lourencini Procópio¹, Vinícius Barrere Bortolini¹; Judson Barcelos Gonçalves²;

Joseete Pertel³

¹Acadêmicos de Engenharia Mecânica - Multivix São Mateus/ES

²Mestrando/Engenheiro Mecânico/ Docente - Multivix - São Mateus/ES

³Doutora/Docente - Multivix São Mateus/ES

RESUMO

O presente artigo destaca o aumento dos custos de manutenção e consumo de combustível a medida em que veículos automotores envelhecem, trazendo a luz uma solução para carros com mais de dez anos de uso que é abordada com ênfase em benefícios técnicos e financeiros, além disso aborda os tipos de motores elétricos e enfatiza a importância de informar aos proprietários de carros antigos sobre opções disponíveis e benefícios da transição para motores elétricos. Chegamos à conclusão de que a adoção de motores elétricos em vez de motores a combustão pode resultar em uma economia significativa de até 80% em cada 10 mil quilômetros rodados. A viabilidade financeira da conversão só se mostra após a diluição dos custos de implementação iniciais, também identificamos empecimentos legais, financeiros e tecnológicos que podem afetar a transição de motores a combustão de veículos mais antigos para novos modelos elétricos.

Palavras-chave: motores; transição; consumo.

ABSTRACT

This article highlights the increase in maintenance costs and fuel consumption as motor vehicles age, shedding light on a solution for cars over ten years old that is addressed with an emphasis on technical and financial benefits. Furthermore, it discusses the types of electric motors and emphasizes the importance of informing owners of older cars about available options and the benefits of transitioning to electric motors. We conclude that adopting electric motors instead of combustion engines can result in significant savings of up to 80% per 10,000 kilometers driven. The financial viability of the conversion only becomes apparent after diluting the initial implementation costs. We also identified legal, financial, and technological obstacles

that can affect the transition from combustion engines in older vehicles to new electric models.

Keywords: Motors, Transition, Consumption.

1 INTRODUÇÃO

Os custos de manutenção e consumo de combustível de veículos tendem a aumentar à medida que eles envelhecem. As peças desgastadas e a eficiência decrescente dos motores a combustão podem fazer com que os proprietários enfrentem muitos problemas. A questão de substituir motores a combustão por motores elétricos em carros com mais de dez anos de uso surge nesse contexto.

Buscando iluminar essa discussão abordaremos os benefícios, vantagens técnicas e financeiras da transição para veículos elétricos, que têm uma longa história de uso. Somado a isso, examinaremos os benefícios e desvantagens potenciais da troca neste contexto, bem como os obstáculos que podem surgir. Abordaremos também os empecilhos que os proprietários de carros mais antigos podem encontrar.

Para começar esta análise, falaremos sobre as vantagens dos motores elétricos em relação aos motores a combustão a luz de dois aspectos: manutenção e eficiência. Em seguida, a viabilidade financeira e os métodos úteis para implementar essa mudança. À medida que avançamos neste estudo, fica mais evidente a importância de avaliar minuciosamente a substituição de motores a combustão em veículos com mais de dez anos de uso.

A compreensão dos vários tipos de motores elétricos disponíveis é essencial quando se trata de trocar motores a combustão por motores elétricos, o design, a aplicação e a eficiência dos motores elétricos variam (Santos, 2020).

Alguns dos tipos de motores elétricos mais comuns incluem (ABECOM, 2022):

- Motor de Corrente Contínua (CC): Os veículos elétricos e híbridos usam este tipo de motor. Os motores de corrente contínua são úteis para uma variedade de aplicações e oferecem controle preciso da velocidade ().

- Motor de Corrente Alternada (CA): Os motores de corrente alternada são frequentemente usados em veículos elétricos devido à sua simplicidade e eficiência. Eles podem ser síncronos ou de indução, cada um com seus próprios atributos.

Motores de ímãs permanentes: Esses motores são conhecidos por sua eficiência e resposta rápida, pois criam um campo magnético com ímãs permanentes (Cravo, 2023).

Motor de Indução Trifásico: Esses motores são comuns em veículos elétricos e são conhecidos por serem confiáveis e não precisarem de muita manutenção (Cravo, 2023).

Para considerar a transição para motores elétricos, é crucial que os proprietários de veículos antigos estejam bem informados sobre as opções disponíveis, os custos envolvidos e os benefícios que podem ser obtidos.

Carros com mais de uma década de uso por vezes enfrentam uma variedade de problemas relacionados à manutenção do motor a combustão tais como: desgaste natural de peças e componentes, falhas por mal uso e o consumo aumentado de combustível. Essas questões afetam o desempenho do motor e também colocam os proprietários em um gravame financeiro, pois muitas vezes é necessário gastar muito dinheiro em reparos e manutenção (Santos, 2020).

Como resultado, os motores elétricos se tornam uma opção atraente e sustentável. Eles reduzem o impacto ambiental, a manutenção mais simples e os custos operacionais. (SEBRAE, 2023). Além disso, os motores elétricos têm demonstrado ser uma opção viável para os veículos mais antigos, que enfrentam a depreciação e a obsolescência crescentes. (Alves, 2019).

O foco desta pesquisa são os veículos de passeio com mais de dez anos de uso no Brasil. A avaliação considerou os fatores quilometragem, condições gerais do veículo, opções de conversão para motores elétricos e despesas associadas à transição, sanando os questionamentos quanto aos custos por quilometro rodado e como se compara aos custos de manutenção e consumo de combustível ao longo do tempo.

Somado a isso um levantamento anual dos custos associados levando em consideração o desgaste com o objetivo de diluir do custo de conversão para elétrico nos gastos já presentes nos motores Ciclo Otto ou Diesel dos carros populares, examinando obstáculos legais, financeiros e tecnológicos que podem afetar a conversão de veículos com mais de 10 anos de uso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MOTORES ELÉTRICOS: DESMISTIFICANDO OS “PRECONCEITOS”

Os carros elétricos estão causando grandes debates no mundo automobilístico. Espera-se que esses veículos sem ruídos, sem poluição e de alto desempenho tornem os motores internos a combustão obsoleto até 2025 (DE SOUZA, 2009). Nesse artigo, teremos como base os motores elétricos dos carros tesla para melhor compreensão sobre eles.

Um motor elétrico é um dispositivo que converte eletricidade para energia mecânica. A maioria dos motores elétricos opera por meio da interação entre o campo magnético do motor e a corrente elétrica em um enrolamento de fio. Essa interação gera uma força (conforme a Lei de Faraday) na forma de torque que é aplicada ao eixo do motor (Franchi, 2018).

Motor elétrico pode ser abastecido por meio de corrente contínua (CC), como por exemplo, baterias ou retificadores, ou por corrente alternada (CA), como por exemplo, os inversores, geradores elétricos e rede elétrica (Silva, 2016).

Os motores são a razão pela qual se observa muitas das tecnologias que são utilizadas no século XXI. Os mesmos elétricos são encontrados em carros, trens, ferramentas elétricas, ventiladores, ar-condicionado, eletrodomésticos, unidades de disco e muito mais. Alguns relógios elétricos usam até motores pequenos (ABECOM, 2022).

Existem diferentes tipos de motores que foram desenvolvidos para diferentes finalidades. O princípio básico subjacente ao funcionamento de um motor elétrico é a Lei da indução de Faraday. Ou seja, que uma força é criada quando uma corrente alternada interage com um campo magnético variável (Agostinho, 2018).

Desde a invenção dos motores, muitos avanços ocorreram nessa área da engenharia, que se tornou um assunto de extrema importância para os engenheiros modernos.

Os motores elétricos podem ser divididos em três tipos, os motores DC (corrente contínua), motores AC (corrente alternada) e motores de uso geral, sabendo que para cada tipo é subdividido em outras categorias, sendo eles motores síncronos ou motores assíncronos (ABECOM, 2022).

Ao mencionar motores de correntes alternadas muitos associam a vários tipos de motores como em tornos, fresas, esteiras rolantes, escadas rolantes e etc. Há

uma diversificação desses motores (CA), sendo eles monofásicos ou trifásicos. (Silva, 2016).

Motores de corrente alternada, ou seja, os motores elétricos monofásicos são os de uso mais comuns em aplicações comerciais. Eles utilizam dois condutores de entrada de energia elétrica, que podem receber tensões de 127 a 220 volts. No entanto, esse modelo de propulsor tem algumas particularidades. Se um corpo, objeto, ou um rotor de motor, estiver parado, ele vai continuar parado até que uma força externa, maior que a força de resistência que o mantém parado, atue sobre ele e altere esse estado de inércia (ABECOM, 2022).

Um corpo, objeto ou rotor de um motor só parará o movimento quando uma força contrária, maior do que a força que o mantém em movimento, frear seu movimento, o que ocorre é o equilíbrio mecânico de forças. Tudo isso está de acordo com as leis de Isaac Newton. Os motores monofásicos recebem a força gerada pelo campo magnético das bobinas do estator quando o rotor está em estado de inércia (parado). (ABECOM, 2022).

Em termos eletromagnéticos, não se cria diferença de potencial (defasagem), no caso entre o rotor e o estator. Assim, para que essa condição inicial seja vencida, de modo geral utiliza-se nos motores monofásicos um componente chamado de capacitor. Mas existem outras formas de iniciar o movimento (ABECOM, 2022).

Para fácil entendimento, o capacitor é uma força extra, onde levara o motor a girar inicialmente até chega no ponto de trabalho. Esse modelo de propulsor tem apenas um conjunto de bobinas (ABECOM, 2022).

Temos também os motores elétricos de corrente alternada, que são chamados de trifásicos ou monofásicos, sendo os mesmos de aplicação industrial que possui quatro condutores por onde entram a energia, recebendo tensões entre 220/380 e 380/660 volts. Vale ressaltar que esse propulsor possui três conjuntos de bobinas, o que contribuiu substancialmente para a qualidade e execução do motor (ABECOM, 2022).

Em suma, considerando todas as ponderações feitas, é possível afirmar que os carros elétricos são muito mais seguros que os carros de combustão interna, onde o custo de manutenção é muito menor que o carro de motor a combustão. Com as desvantagens do carro elétrico diminuídas, e com o advento da tecnologia aprimorada, os carros elétricos prometem se tornarem os carros do futuro.

2.2 O FUTURO DOS AUTOMÓVEIS

No mundo moderno, é importante levar em consideração as questões de tecnologia e informações porque as mudanças que a sociedade está enfrentando são acompanhadas por desenvolvimento no setor tecnológico. A qualidade e segurança vem em primeiro lugar, juntamente com outros conceitos e elementos relacionados, principalmente em relação aos problemas ambientais. É inegável que o avanço tecnológico e as inovações desse segmento modificaram comportamentos, dando mais liberdade de escolha e dinamismo de mercado, entretanto, a de se pontuar que essa liberdade não pode ser vista como algo absoluto, uma vez que a sociedade segue os padrões impostos pelo sistema econômico, limitando em muitos casos o querer das pessoas que esbarram nos entraves políticos e financeiros (UNIFG, 2022).

Existem muitos obstáculos que precisam ser superados antes que os carros elétricos sejam amplamente adotados. Uma grande barreira para os consumidores é que estes tendem a resistir a novas tecnologias que são pouco conhecidas. Valem notar que como barreiras comuns à adoção de qualquer nova tecnologia tem a falta de conhecimento por potenciais adotantes, altos custos iniciais e baixa tolerância ao risco. Tendências históricas sugerem que novas tecnologias sejam atraentes apenas para um pequeno grupo de consumidores que costumam ser pioneiros na adoção de tecnologias. Estes têm atitudes positivas em relação à novidade e provavelmente as adotarão. Por outro lado, os demais indivíduos ficam desconfortáveis com as mudanças tecnológicas e a incerteza, e, portanto, hesitam em aceitar inovações (UNIFG, 2022).

Não há como viver alheio a velocidade com que a sociedade tem progredido, sabendo que as transformações vieram para ficar, e tendem a fazer das mudanças tecnológicas uma realidade mais ampla e mais atuante em todos os setores da sociedade (UNIFG, 2022).

Projetar o futuro é considerar que carros elétricos não são mais utopia, e sim algo concreto, e mecanismo que impacta diretamente na forma com os sujeitos enxergam o meio e, sobretudo, modificam a forma com as empresas e companhias petrolíferas pensam o assunto.

O mercado global de carros elétricos está a todo vapor, mas mesmo se tratando de mercado internacional eles ainda são considerados carros caros, apesar de não terem altos custos com manutenção e não ter gastos com combustível, além do custo de energia elétrica ser menor e favorecer ainda mais a adesão nos mercados mais desenvolvidos, onde os carros elétricos estão presentes em cada esquina. No Brasil a venda e a procura por carros elétricos ainda se encontra em fase inicial com poucos números de carros desse modelo vendido por ano, apesar de que nos últimos

meses e anos anteriores temos visto muitos lançamentos de carros elétricos e híbridos no Brasil (UNIFG, 2022).

As companhias de petróleo estão revisando suas previsões de mercado e percebendo que os carros elétricos são um futuro quase inevitável. Um estudo da Bloomberg New Energy Finance descobriu que a OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) aumentou sua previsão de vendas de carros elétricos em cinco vezes até 2040 – de 46 milhões para 266 milhões de unidades.

Outras grandes empresas do segmento, como a Exxon Mobil e a BP, também decidiram rever os números levantados no ano passado, e ambas elevaram a previsão de 60 milhões para 100 milhões de veículos. No geral, as indústrias petrolíferas esperam que a chegada dos automóveis elétricos reduza a demanda de petróleo em 8 milhões de barris até 2040, igual à produção atual do Irã e do Iraque juntos.

Isso poderá levar à estagnação da demanda por petróleo nas próximas décadas e a um impacto significativo, seja, nos empregos ou no dinheiro transferida pela indústria cerca de US\$ 700 bilhões por ano.

O número de veículos elétricos na estrada tem consequências importantes para os fabricantes de automóveis, empresas petrolíferas, fornecedores de serviços de energia e outros, explica Colin McKerracher, diretor de análise avançada de transporte da BNEF (Bloomberg, 2017).

Existem grandes diferenças entre a rapidez com que a adoção deve ser e as visualizações mudam rapidamente. Alguns consultores estimam que os veículos elétricos representarão 90% das vendas em 2050, mas a BNEF que é uma organização de pesquisa que ajuda profissionais de energia a gerar oportunidades, acredita que a transição do combustível para a eletricidade não acontecerá até 2040, quando chegarão 530 milhões de novos veículos elétricos um terço da frota mundial.

2.3 VIABILIDADE DOS MOTORES ELÉTRICOS

Para implementar esta tecnologia no país é necessário a redução tributária, a criação de planos de incentivos e subsídios às montadoras de veículo, políticas públicas de incentivos a inserção da modalidade, além de investimento em infraestrutura.

Os veículos elétricos no Brasil ainda são pouco populares, pois os carros movidos a eletricidade são de base de energia renovável e não emitem gases poluentes. A poluição promovida pelos automóveis movidos a combustíveis fósseis, é um dos temas que tem gerado preocupações no mundo, e como resultado disso alguns países tem se empenhado a

desenvolver melhorias na qualidade de vida da população adotando o veículo elétrico (Martins, 2021, p.9).

É possível a transformação de um veículo a combustão em um veículo elétrico, mas primeiro é preciso levar em consideração algumas coisas; espaço de armazenamento da bateria, peso, chassi, transmissão e tipo de veículo. Você também deve se certificar de que realmente deseja usar um veículo elétrico antes de seguir em frente.

A viabilidade econômica do veículo elétrico é relativamente alta, pois ainda que seu valor de compra seja maior, o custo por km rodado é menor do que os veículos a combustão, perdendo somente em relação a autonomia. No que diz respeito a infraestrutura para abastecimento dos carros elétricos, é necessário na adaptação das cidades, com a locação de ponto de recarga dos veículos elétricos (Martins, 2021, p.9).

Os melhores veículos para converter devem ter espaço de armazenamento adequado para as baterias, especialmente sob os assentos ou no porta-malas. Também se faz necessário estimar quantas baterias precisará antes de começar. Obviamente, deve evitar manter suas baterias ao ar livre para protegê-las contra possíveis perigos.

O peso do veículo também é um fator importante porque afeta a eficiência energética. Mais sucintamente, um veículo leve não consome tanta energia em comparação com veículos pesados. Sem mencionar que terá um alcance maior com um veículo elétrico leve (Alves, 2019).

Como as baterias adicionam mais peso ao veículo, deve se evitar a conversão de veículos com problemas de chassi. Além disso, deve se evitar também veículos com muita ferrugem ou peças quebradas, embora seja possível facilmente converter um veículo sem motor (Alves, 2019).

Por último, mas não menos importante, os veículos manuais são melhores para converter do que os veículos de transmissão automática. Isso ocorre porque os motores manuais são menos complexos e mais leves do que as transmissões automáticas. Alguns dos veículos a gasolina mais populares para conversão incluem o Celta, Gol, Fusca, Ford F-150, Ford Mustang, Chevrolet Camaro, Nissan Hardbody, Chevrolet Colorado, Chevrolet Corvette e qualquer picape Toyota (Alves, 2019).

Um ponto de suma importância a ser considerado e analisado é a postura das indústrias petrolíferas frente à ascensão dos carros elétricos no mercado, de modo que suas decisões terão reflexo imediato no cenário nacional e internacional.

Na década de 90, um carro chamado EV1 dirigia sem poluição na Califórnia. Denominado “carro do futuro”, usava eletricidade e tinha autonomia de 260 quilômetros. Foi considerado o modelo elétrico mais rápido e eficiente de todos os tempos. Um carro promissor da General Motors tinha compradores em potencial, mas a empresa fabricante queria recolher e destruir todos os veículos, demitir trabalhadores e encerrar o projeto (Rezende, 2009).

Por trás desse setor, é possível identificar o papel da indústria do petróleo e de toda a geopolítica, que mostra a superioridade do motor de combustão interna em termos de autonomia e lucro. Ao mesmo tempo, a morte do EV1 vem de uma época em que a gasolina ficou mais barata devido à descoberta de novas jazidas de petróleo, o que influenciou muito o desenvolvimento e uso de motores que operavam com tecnologias renováveis e limpas (Camelo, 2015).

Também digno de nota é a atenção dada aos protótipos de motores híbridos, ou motores movidos a células de hidrogênio, ganhando dos fabricantes de automóveis e da política do governo dos EUA em detrimento das baterias elétricas. A lentidão e a disparidade entre a retórica e as metas dos governos estadual e federal também fomentaram um cenário em que as montadoras poderiam atuar com diferentes pressões e coalizões para derrubar a lei elaborada pelo governo da Califórnia e argumentar que há demanda por carros elétricos (Camelo, 2015).

Apesar da tecnologia existente, o petróleo era um combustível tão básico no século 20 que era chamado de “ouro negro”. Mesmo após a crise do petróleo (1973-1980), o mundo apostou na gasolina para investir em pesquisa e diversificação de combustíveis. O carro elétrico parecia destinado a filmes de ficção científica ou projetos experimentais, mas essa história tende a mudar.

Com o desenvolvimento generalizado nos países mais desenvolvidos, globalmente, 1% dos veículos vendidos atualmente são elétricos e circulam principalmente na Europa, Estados Unidos, Japão e China. Isto é apenas o começo. As próximas décadas serão de grande crescimento para o setor (Vaz, 2015).

O mercado de petróleo não é mais tão lucrativo quanto costumava ser e espera-se que muitas reservas de petróleo se esgotem. Além disso, o alto preço da gasolina nas bombas desestimula o consumidor a comprar seu próprio carro e gera tumultos sobre o preço das passagens do transporte público (Ross, 2015).

Mas o principal fator dessa mudança repentina é a pressão dos países desenvolvidos para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, que causam o

aquecimento global e o aumento da temperatura média do planeta. Os motores movidos a combustíveis fósseis são responsáveis por um quinto das emissões mundiais de dióxido de carbono (Albuquerque, 2007).

Além disso, a fumaça emitida pelos gases de escape dos veículos tradicionais é a principal fonte de poluição do ar nas cidades e causa sérios problemas de saúde para a população. Por exemplo, na cidade de São Paulo, há três vezes mais partículas poluentes no ar do que o limite considerado seguro pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Os carros elétricos têm emissões diretas zero ou muito baixas. Além de serem ecologicamente corretos, os carros elétricos são mais silenciosos e geram menos ruídos no trânsito. Por não exigir explosões, o motor também não faz barulho (Alves, 2019).

Esses recursos melhorariam a qualidade de vida na cidade. Independentemente do que acontecerá com o clima do planeta nos próximos anos, a assinatura de acordos semelhantes ao Acordo de Paris reduzirá drasticamente as emissões de dióxido de carbono no mundo e caminhará para um cenário com matrizes energéticas mais limpas (Rei, 2017).

A indústria automobilística vem sendo assunto recorrente em conferências mundiais acerca do meio ambiente. Isto ocorre, pois o setor de transportes é responsável por cerca de 25% das emissões de gases do efeito estufa e é a área em que as irradiações de carbono mais crescem desde o ano 2000, em níveis globais. Em 2015 ocorreu a 21ª Conferência das Partes (COP21), em Paris, onde foi assinado um acordo por 195 países, incluindo o Brasil, que se comprometeram a reduzir o nível de emissão de gases do efeito estufa a fim de que o aumento da temperatura média mundial não chegue a mais de 1,5 °C em relação aos níveis pré-industriais até o fim do século, o que ficou conhecido como Acordo de Paris. Em decorrência desse acordo, países europeus anunciaram o fim da comercialização de veículos com motores a combustão interna (VCI) nos próximos vinte anos e o investimento para incentivo à produção em larga escala de veículos com motorização híbrida ou elétrica. O Brasil, por sua vez, se propôs a reduzir a emissão de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, até 2025, e 43% abaixo dos níveis de 2005, até 2030. Para que isso ocorra, o país vai aumentar a participação da bioenergia sustentável em 17% e chegar a uma porção estimada de 45% de energias renováveis em sua matriz energética, no ano de 2030, além de reflorestar uma área de 12 milhões de hectares (UNIFG, 2022).

Governos de vários países já oferecem incentivos para promover a produção e uso de carros elétricos, como incentivos fiscais e leis especiais. Além disso, são feitos investimentos em infraestrutura, como a implantação de postos públicos de recarga de energia elétrica.

3 METODOLOGIA E MÉTODO DA PESQUISA

O presente estudo tem a perspectiva de verificar, analisar e refletir, através da pesquisa bibliográfica, a relação dos motores elétricos e sua aplicação em veículos convencionais. Essas fontes incluem livros, artigos científicos, revistas e recursos online.

Como resultado, foi realizada uma seleção de materiais para o estudo com base em fatores como relevância, autoridade do autor e data de publicação.

Além do exposto, uma revisão abrangente da literatura que examina os principais conceitos e teorias relacionados a motores elétricos e suas aplicações em veículos tradicionais. Isso envolveu a leitura atenta dos textos e a coleta de informações relevantes, bem como o incentivo à produção e aquisição em larga escala, ponderando a relação dos motores elétricos com a questão ambiental e os benefícios a toda sociedade.

Com base nesses dados, foi realizada uma análise dos vários métodos e tecnologias de aproveitamento de motores elétricos, bem como métodos de conversão de carros já existentes no mercado e empresas que realizam o feito em carros convencionais, enfatizando suas características, custos e eficiência.

Foi sintetizado o material coletado e destacado as tendências e conclusões mais importantes relacionadas à instalação de motores elétricos em carros convencionais com mais de dez anos de uso. Discutiu-se também os benefícios, problemas e possibilidades da adoção de motores elétricos ao analisar as descobertas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de conversão não é uma tarefa simples, depende de um bom plano e conhecimentos técnicos, contudo abordamos um passo a passo simples de como elaborar o projeto para determinado carro e por consequente avaliar os custos envolvidos. Analisamos os custos de montar um motor elétrico em um carro popular e com mais de dez anos de uso com parâmetros médios de potência e torque para a pesquisa se expandir em diferentes modelos.

Analisando o mercado nacional de carros populares levantamos valores médios de potência e torque presentes nos carros que satisfazem o consumidor

brasileiro perante a demanda nacional, esses valores são respectivamente 70 cavalos-vapor de potência e 10 Kgfm de torque. Tendo em vista esses parâmetros abrangemos a pesquisa e montamos um passo a passo de como realizar a conversão.

4.1 MOTOR ELÉTRICO E INVERSOR (POWERTRAIN)

Com a pesquisa bibliográfica relacionada anteriormente foi constatado a necessidade de um motor elétrico de indução trifásico de aproximadamente 45kW de pico e 10 Kgfm de torque para gerar a potência equivalente aos parâmetros da pesquisa, em conversão direta precisaríamos de um motor de 50 kW contudo em motores elétricos temos um aproveitamento de até 97% de energia se comparado a um motor convencional, isso justifica o motor com potência inferior ter o mesmo aproveitamento.

O inversor é aquele que converte a corrente contínua da bateria para a corrente alternada necessária para girar o motor trifásico o mesmo deve atender os parâmetros do motor elétrico e das baterias escolhidas.

Para referente estudo foi utilizado o powertrain da WEG que é uma empresa global de equipamentos eletrônicos e atua no Brasil com soluções para sistemas elétricos. O Motor elétrico presente nos catálogos da empresa, que é facilmente encontrado em seu site e que atende os nossos requisitos foi um WTE500 que se trata de um motor elétrico de indução com potência de pico 43.4 kW e torque máximo de 14.2 kgfm, somado a isso incluímos o Inversor CVW500 também presente nos catálogos WEG que supre a demanda dos parâmetros do motor de tensão nominal de bateria e possui tecnologias como frenagem regenerativa para maior autonomia do nosso projeto.

4.2 SELEÇÃO E PREPARAÇÃO DAS BATERIAS

Para selecionarmos as baterias foram feitos cálculos de capacidade e voltagem, concluímos que o material das baterias será o Lítio e os parâmetros para o motor e inversor funcionar serão 110 volts de tensão nominal e tensão máxima de 130 volts, o conjunto de baterias também precisa fornecer 275 Amperes de forma contínua e 550 Amperes por até 2 minutos para garantir máxima performance do conjunto, além de ser capaz de possuir autonomia de 8 horas.

Uma das empresas que vende essa solução e que foi escolhida para esse artigo é a Faraday Electric Move que com os parâmetros necessários consegue fabricar o banco de baterias.

4.3 GERENCIAMENTO DE ENERGIA

Nos carros com motores a combustão o gerenciamento de combustível mais usual se dá por meio da injeção eletrônica que é controlada pela Electronic Control Unit (ECU), se trata de um computador que recebe dados do veículo por sensores e controla a injeção do motor, no sistema elétrico faz se necessário um sistema semelhante o Vehicle Control Unit (VCU) que faz basicamente o mesmo da ECU contudo com parâmetros do carro elétrico, gerenciando a bateria, a demanda de energia do motor, demanda de potência e torque em tempo real, também controla os demais sensores do carro.

Esse requisito foi solucionado por meio da empresa FuelTech que é uma fabricante de injeção eletrônica brasileira e possui soluções na área elétrica com as injeções programáveis FT450, FT550 e FT600 que estão presentes nos catálogos da empresa em seu site oficial, como nosso projeto busca uma maneira eficiente e mais viável ao consumidor final foi considerado usar a FT450 pois a mesma supre toda demanda e possui custo-benefício melhor se comparado as similares.

4.4 REMOÇÃO DO MOTOR A COMBUSTÃO E INSTALAÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO

Nesse passo faz-se necessário a remoção do motor a combustão e do sistema de alimentação relacionado como tanque de combustível entre outros, somado a isso a limpeza e preparação do compartimento do motor.

Para instalar o conjunto são necessárias algumas adaptações: coxim de segurança e caixas protetoras das baterias. Os custos envolvidos nessa parte de instalação são muito variáveis de acordo o modelo do carro contudo levamos em consideração um valor médio de fabricação e mão de obra.

4.5 MECÂNICA

Tendo em vista as variações dos câmbios de veículos faz-se necessário o desenvolvimento de um flange e um acoplamento do eixo para conectar o motor elétrico ao mesmo, além de adquirir sistemas de bomba de refrigeração para o resfriamento do motor e banco de baterias, o radiador e ventoinhas podem ser as mesmas do carro visto que a demanda não é necessariamente alta, contudo, necessita-se o estudo de acordo o modelo do veículo.

Quanto ao ar-condicionado é necessário um compressor elétrico pois o mecânico que geralmente é equipado em carros com mais de 10 anos de uso necessita estar acoplado ao motor e em rotação constante, o que não ocorre no motor elétrico pois este permanece desligado quando não há utilização do powertrain.

Também foi necessário considerar um sistema de bomba de vácuo para o sistema de frenagem do veículo bem como um assistente para direção mecânica pois a hidráulica que geralmente equipa esses modelos de carros não pode mais ser usada, pelo mesmo motivo anteriormente citado.

Vale ressaltar que existem características que se anulam para os cálculos de peso/potência, exemplo: reduzimos o peso do motor em $\frac{1}{4}$ pois o escolhido para estudo tem apenas 52kg, o peso das baterias que, embora seja maior que o tanque de combustível cheio não extrapola o diferencial da redução de peso do motor.

4.6 ELÉTRICA ADICIONAL

Para a instalação também foi necessário cotar os carregadores e chicotes para a devida interligação do conjunto, essas soluções também são fornecidas pela empresa Fueltech.

Os componentes são o Carregador de bordo (OBC), conversor DC-DC para a bateria original do veículo, conector tipo 2 (padrão brasileiro), chicote para injeção, diversos relés e sensores de velocidade.

4.7 SEGURANÇA E REGULAMENTAÇÃO

Um veículo convertido precisa de alterações em sua documentação, necessita-se de regulamentar em uma agência do DETRAN antes de poder trafegar legalmente em vias públicas. Como resultado, a oficina que executou o serviço deve

possuir um CCT (Certificado de Capacitação Técnica) e o veículo um CAT (Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito). Esses certificados são necessários para homologar a conversão do veículo (marca, modelo e versão) e garantir os padrões de segurança, seguindo os mesmos procedimentos para qualquer solicitação de alteração veicular.

4.8 CUSTOS DE MANUTENÇÃO EM CARROS COM MOTORES A COMBUSTÃO A CADA 10 MIL KM

Foi realizado o levantamento de custos sobre manutenção e combustível que não teremos nos motores elétricos. É importante ressaltar que custos com pastilha de freio e disco de freio, bem como pneus e seguro não entram na discussão pois estes estão presentes no carro após a conversão.

Tabela 1 – Custos a cada 10 mil km (gasolina)

Sedan médio	Km da troca / reparo	Preço médio	A cada 10mil km
Óleo 3 unidades	5000	R\$ 180,00	R\$ 360
Filtro de óleo	10000	R\$ 50,00	R\$ 50
Escapamento + peças	30000	R\$ 400,00	R\$ 135
Filtro de gasolina	20000	R\$ 50,00	R\$ 25
Filtro de ar	10000	R\$ 12,00	R\$ 12
Bomba de Comb. + Alternador + Radiador + Correias.	50000	R\$ 2.000,00	R\$ 400
Recondicionador do motor	130000	R\$ 5.000,00	R\$ 380
Gasolina	10km/l	R\$ 6,80	R\$ 6800
Revisão	10000	R\$ 590,00	R\$ 690
Total			R\$ 8852

Fonte: Próprios autores, 2023.

A Tabela 1 mostra os custos a cada ciclo de revisão de 10 mil quilômetros rodados, porém é válido ressaltar que os custos de manutenção são aumentados quanto mais depreciado são os componentes dos motores, é de fato comum que um carro com mais de 10 anos de uso apresenta maior número de chances de quebra que um carro mais novo, esse é um dos pontos que contam na consideração da viabilidade.

4.9 CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO CONJUNTO ELÉTRICO E GASTOS A CADA 10 MIL KM

Representado nas Tabelas 2 e 3 estão os custos médios de implementação e de rodagem a cada 10 mil quilômetros do conjunto elétrico, é de se pensar do porquê não foi levado em conta custos com eventuais manutenções no sistema. Porém, isso se dá ao fato de que as manutenções com sistema de arrefecimento que é o componente que pode vir a falhar com maior frequência e presente no motor a combustão não ter sido considerados na Tabela 1, os custos dos mesmos embora pouco diferentes se anulam.

Tabela 2 – Custos de implementação (elétrico)

Custos Implementação	Km da troca / reparo
Powertrain	R\$ 41.990
Baterias	R\$ 18.000
VCU	R\$ 3.440
Mecânica + Mão de obra	R\$ 6.000
Regulamentação	R\$ 500
Elétrica Adicional	R\$ 4.600
Total	R\$ 74.530

Fonte: Próprios autores, 2023.

Tabela 3 – Custos a cada 10 mil km (elétrico)

Custos a cada 10mil km	Preço médio por KM	A cada 10mil km
Energia	R\$ 0.12	R\$ 1200
Baterias (1000 ciclos) até serem trocadas	R\$ 0.06	R\$ 600
Total		R\$ 1800

Fonte: Próprios autores, 2023.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado os devidos cálculos podemos concluir que o custo de substituição dos motores a combustão para motores elétricos traz uma economia de 80% a cada 10 mil quilômetros rodados (R\$ 7.052,00).

Contudo devido ao alto custo de implementação em veículos populares a viabilidade só se apresenta depois da diluição dos preços de implementação, conseguimos esse resultado dividindo o valor da economia a cada 10 mil quilômetros pelo valor da implementação, fazendo isso encontramos a economia a partir do décimo ciclo de 10 mil km, ou seja, a viabilidade se aplica a partir dos 100 mil quilômetros rodados.

REFERÊNCIAS

ABECOM. **Você conhece quais os principais tipos de motores elétricos?** 2022. Disponível em: <https://www.abecom.com.br/tipos-de-motor-eletrico/>. Acesso em: 4 jun. 2023.

ALVES, Ricardo Ribeiro. **Sustentabilidade empresarial e mercado verde: a transformação do mundo em que vivemos.** Editora Vozes Limitada, 2019.

AGOSTINHO, Luís Carlos Morujo. **Emulação de um motor de combustão interna através de um acionamento eletromecânico de velocidade variável utilizando um motor de indução trifásico.** Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.

BLOOMBERG. **Grandes petroleiras percebem ameaça de veículos elétricos.** 2017. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/bloomberg/2017/07/14/grandes-petroleiras-percebem-ameaca-de-veiculos-eletricos.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em: 5 jun. 2023.

CAMELO, Ana Paula; de ARAÚJO, Daniela Camila; DOS SANTOS, Jean Carlos Ferreira. **O fantasma do carro elétrico.** 2015.

CRAVO, Edilson. **Tipos de Motores Elétricos: quais são eles e onde aplicá-los?**. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/tipos-motores-eletricos/>. Acesso em: 13 out. 2023.

DE ALBUQUERQUE, Bruno Pinto. **As relações entre o homem e a natureza e a crise socioambiental.** Rio de Janeiro, RJ. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), 2007.

DE SOUZA, Carlos Leite; DI CM AWAD, Juliana. **Cidades Sustentáveis: Desenvolvimento Sustentável num Planeta Urbano.** Bookman Editora, 2009.

EKKO GREEN. **Kit De Conversão Para Carros Elétricos. Como Funciona e Quanto Custa**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://ekkgreen.com.br/kit-de-conversao-para-carros-eletricos/>. Acesso em: 1 nov. 2023.

FARADDY. **Baterias para motores eletricos.** 19 de fevereiro de 1998. Disponível em: <https://faraday.com.br/#>. Acesso em: 28 out. 2023.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos.** Saraiva Educação SA, 2018.

FUELTECH. **ECU para carros elétricos.** Disponível em: <https://fueltech.com.br/>. Acesso em: 28 out. 2023.

GUERRA, Guilherme. **WEG quer converter carros brasileiros a combustão em elétricos**. Estadão, [s. l.], 29 set. 2019. Disponível em: <https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/weg-fueltech-carro-eletrico-combustao/>. Acesso em: 4 out. 2023.

SANTOS, Max Mauro Dias. **Veículos elétricos e Híbridos: Fundamentos, Características e Aplicações**. [S. l.: s. n.], março 2020. ISBN 8536532815.

SEBRAE. **Carros elétricos: desafios e oportunidades no Brasil**. Inovação, [s. l.], 23 maio 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/carros-eletricos-desafios-e-oportunidades-no-brasil,6d088e029bf28810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 31 out. 2023.

SILVA, Gabriel Avellar. **Viabilidade de instalações elétricas residências e comerciais em corrente contínua**. 2016.

MARTINS, Breno M. **Motor brushless na conversão de veículos à combustão em elétricos**. 2021. Disponível em: https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2871/1/MOTOR_BRUSHLESS_NA_CONVERS%C3%83O_DE_VE%C3%8DCULOS_Trabalho_Final_de_Curso_II_Aluno_Bre_nno_Mendes_Martins.pdf. Acesso em: 22 maio 2023.

PETRUZELLA, Frank D. et al. **Motores Elétricos e Acionamentos**. [S. l.: s. n.], 2013. ISBN 8580552575.

REI, Fernando Cardozo Fernandes; GONÇALVES, Alcindo Fernandes; DE SOUZA, Luciano Pereira. Acordo de Paris: Reflexões e desafios para o regime internacional de mudanças climáticas. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 29, p. 81-99, 2017.

REZENDE, R. S. **Sucesso e fracasso organizacional: um estudo de caso da General Motors**. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Administração)±Instituto COPPEAD de Administração±COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro±UFRJ, Rio de Janeiro.

ROSS, Michael L. **A maldição do petróleo**. BOD GmbH DE, 2015.

UNIFG. **Motores a combustão: alternativas e desafios**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/22758/1/Motores%20a%20combust%C3%A3o-%20alternativas%20e%20desafios.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

VAZ, Luiz Felipe Hupsel; BARROS, Daniel Chiari; CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de. **Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento**. 2015.

WEG. **WEG fornece Powertrain e baterias para nova frota de ônibus elétricos**. 2023. Disponível em: <https://www.weg.net/nstitucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-fornece-powertrain-e-baterias-para-nova-frota-de-onibus-eletricos-da-transcol>. Acesso em: 28 out. 2023.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM PERMUTADOR DO TIPO FEIXE DE TUBOS NO PRÉ-AQUECIMENTO DE ÓLEO TÉRMICO

Bruno Sena de Souza¹, Ítalo Matos¹, Maycon Carlete¹, Pedro Junior Zucatelli²

¹Acadêmicos de Engenharia Mecânica - Multivix São Mateus/ES

²Doutor em energia/Docente - Multivix São Mateus/ES

RESUMO

No cenário industrial, a busca por processos com maior eficiência e pela melhoria da gestão dos recursos tem se tornado muito importante para obter vantagens competitivas, menores custos e alta produtividade. A utilização de energias perdidas para o aquecimento de outros sistemas é um forte aliado para aqueles que desejam esse objetivo. Esse trabalho apresenta um sistema de recuperação de calor para pré-aquecimento do óleo térmico, utilizando um permutador que reaproveita a energia, em forma de calor, dos gases de exaustão de uma turbina a gás, utilizada para compressão de gases de uma planta de tratamento de gás. Para que isso seja possível, foram apresentados os principais conceitos referentes à permutadores, através de revisão bibliográfica, para expor o tema e posteriormente avaliar a eficácia desse equipamento no processo de aquecimento do óleo térmico. O projeto foi implantado na UTGC – Unidade de Tratamento de Gás de Cacimbas em Linhares – ES. A metodologia adotada baseia-se nas informações encontradas nos ensinamentos literários e nos dados necessários para os cálculos de rendimento e eficiência térmica, que foram obtidos de forma experimental pelos autores, utilizando instrumentos para coleta das variáveis do sistema e comparados com os dados de projeto inicial, fornecidos por documentos internos da empresa. Os resultados mostram que os rendimentos dos experimentos foram maiores que os fornecidos pelos projetos, devido a operação da turbina no momento da coleta de dados, mas que ambos operavam de forma eficiente, alcançando o resultado necessário esperado pelo equipamento na temperatura final do óleo térmico.

Palavras-chave: permutador; óleo térmico; gases exaustos; transferência de calor; rendimento energético.

ABSTRACT

In the industrial landscape, the pursuit of more efficient processes and improved resource management has become crucial for achieving competitive advantages, lower costs, and high productivity. Utilizing wasted energy to heat other systems is a strong ally for those seeking this goal. This work presents a heat recovery system for preheating thermal oil, using a heat exchanger that reuses the energy, in the form of heat, from the exhaust gases of a gas turbine used for gas compression in a gas treatment plant. To achieve this, the main concepts related to heat exchangers were presented through a literature review, to introduce the topic and subsequently evaluate the effectiveness of this equipment in the thermal oil heating process. The project was implemented at the UTGC – Cacimbas Gas Treatment Unit in Linhares – ES. The methodology adopted is based on information found in literature and on the data necessary for the calculations of yield and thermal efficiency, which were obtained experimentally by the authors, using instruments to collect the system variables and compared with the initial design data, provided by internal company documents. The results show that the yields from the experiments were higher than those provided by the designs, due to the turbine's operation at the time of data collection, but that both operated efficiently, achieving the necessary result expected by the equipment at the final temperature of the thermal oil.

Keywords: heat exchanger; thermal oil; exhaust gases; heat transfer; energy efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O calor e a temperatura estão presentes no cotidiano do ser humano, seja no seu desenvolvimento ou na sua existência propriamente dita. É importante fazer uma distinção entre os dois, já que à primeira impressão é que se trata do mesmo assunto. Os dois são distintos por Bauer, Westfall e Dias (2013), onde o calor é definido com um tipo de energia térmica que está voltada ao movimento cinético de átomos e moléculas de um elemento dentro de um sistema com sua vizinha ou entre dois elementos. Já a temperatura é apresentada como a capacidade que um objeto tem de transferir esse calor ao seu entorno, sendo que a energia, em forma de calor, será sempre transferida do elemento que possuir maior temperatura para o elemento que possui menor temperatura. Logo, o termo frieza é apenas uma expressão que

está relacionada com a ausência de calor em um corpo, sendo essa sentida pela fonte quente que está cedendo calor para a fonte fria.

Como abordado anteriormente, o uso do calor e suas propriedades de transferência são de suma importância para a vida. Sua utilização vai desde processos domésticos com o aquecimento de alimentos no fogão, retirada de calor na utilização de um refrigerador até processos industriais, onde, diversos ramos utilizam fluidos térmicos para a efetividade de seus processos, seja na área do gás, do petróleo, indústrias alimentícias, usinas termelétricas, refinarias, fábricas de produtos químicos entre outros.

Cada processo tem sua particularidade em que precisa ser utilizado fluidos aquecidos para inserir ou retirar calor do sistema. Para tal finalidade, se dispõe de um equipamento para transferência de calor chamado permutador apresentado por Bergman e Lavine (2019, p.418):

O processo de troca de calor entre dois fluidos que estão a diferentes temperaturas e se encontram separados por uma parede sólida ocorre em muitas aplicações de engenharia. O equipamento usado para implementar essa troca é conhecido por trocador de calor, e suas aplicações específicas podem ser encontradas no aquecimento de ambientes, em sistemas de ar-condicionado, na produção de potência, na recuperação de calor em processos e no processamento químico.

Os permutadores de calor ainda podem ser utilizados em sistemas de recuperação de calor, utilizando a energia perdida de processos de queimas de combustíveis para pré-aquecer outro sistema (Bergman; Lavine, 2019).

Processos eficientes são aqueles em que se produz mais com as menores perdas, aprimorando assim seus custos e ao mesmo tempo tornando o processo o mais ecologicamente correto possível. Isso não é tarefa fácil, pois muitas variáveis estão ligadas a processos de combustão alimentados por combustíveis fósseis. Dentre essas variáveis, uma tem um grande destaque: a perda de energia na forma de calor que não é aproveitada pelo processo desejado. Sistemas de melhorias para o reaproveitamento de energias térmicas devem ser estudados e aprimorados nas indústrias, obtendo cada vez mais rendimentos melhores, acarretando assim em um menor custo operacional e menor degradação ambiental (Barros Junior, 2001).

Para Daitx (2010) reduzir os custos é um desafio de toda companhia e representa um dos recursos de gerenciamento mais aplicados nos momentos com maior variação no mercado. As organizações, devem lidar com as oscilações do

mercado, as crises e utilizar metodologias em processos apropriados para o gerenciamento de custos.

De acordo com Costa (2012) devido a essa tendência, as companhias têm a incumbência de investir em serviços, novos produtos e principalmente em novas estratégias que assegurem o atendimento do mercado. Para que isso ocorra são imprescindíveis novos investimentos, às vezes pequeno ou às vezes alto, porém fundamentais ao novo padrão empresarial.

A importância desse trabalho é mostrar como é eficaz o reaproveitamento de energias perdidas de processos a combustão, visto que, esse aproveitamento pode ser utilizado em outros processos, além de diminuir a emissão de poluentes na atmosfera, algo que vem sendo muito debatido na atualidade.

A implementação de um sistema de recuperação de calor para o pré-aquecimento do óleo térmico gera a economia de dinheiro e produto, pois os fornos aquecedores devem queimar menos gás combustível para alcançar a temperatura de processo desejada, gases esses que também são produtos dos processos de separação da unidade, que sendo utilizados para alimentar os fornos aquecedores, deixam de ser comercializados. Com a utilização desse sistema regenerativo, tem-se a diminuição de consumo e emissão de poluentes provenientes da queima do combustível.

Esse trabalho tem embasamento teórico para compreensão do que é um sistema de recuperação de calor e os equipamentos envolvidos. Com isso, foi apresentado a importância desse sistema para a recuperação de energias perdidas do processo de compressão de gases, bem como a avaliação do seu desempenho através de métodos experimentais. O equipamento estudado foi implantado em uma unidade de tratamento de gás localizado na região de Linhares no estado do Espírito Santo, sendo esse dimensionado para atender internamente os processos da planta e suas individualidades.

O objetivo geral desse trabalho foi verificar se o novo permutador instalado é satisfatório na troca térmica, concedendo ao fluido o aquecimento mínimo necessário do óleo, para que o mesmo chegue com uma temperatura maior ao forno, gastando menos energia térmica para aquecê-lo e conseqüentemente economizando a queima de gás.

E como objetivos específicos esse trabalho se propõe: Avaliar o rendimento teórico do projeto; verificar o coeficiente global de transferência de calor entre os

fluidos; avaliar a temperatura final do óleo aquecido; avaliar o rendimento do permutador em operação em todos os experimentos; avaliar se o rendimento experimental satisfaz as necessidades do projeto; avaliar entre o projeto teórico e experimental qual possui melhor rendimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FLUIDOS TÉRMICOS PARA TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Se enquadram nesse grupo fluidos que possuem características físicas capazes de realizar a transferência energética necessária para aquecer ou resfriar sistemas térmicos, sendo considerado meio condutor de energia térmica da fonte geradora, sendo um aquecedor, caldeira etc. para um determinado ponto que realizará o consumo dessa energia. Desta forma, pode-se reconhecer que o fluido térmico mais conhecido é a água, seja na fase líquida ou vapor. Talvez a utilização industrial mais conhecida desse fluido é na utilização do vapor de água para acionamento de máquinas térmicas, como por exemplo, a turbina a vapor, que aproveita a energia térmica do vapor gerado por uma caldeira para realizar trabalho mecânico e posteriormente utilizar esse trabalho para outras finalidades, como a geração de energia elétrica, acionamento de turbo máquinas (Moran et al., 2018).

Alguns fatores são importantes na escolha do fluido a ser utilizado, dentre eles: estabilidade térmica, calor específico, condutividade térmica, baixa viscosidade e alta vida útil. Logo, entende-se que a temperatura do processo é muito importante, pois um fluido que não possua as características necessárias pode sofrer alterações físicas indesejáveis, como a mudança de fase, a qual implicaria no processo de transferência de calor. Por isso, a tecnologia de sistemas aquecidos por fluidos orgânicos, como o óleo, em sua fase líquida é a mais comum em sistemas industriais. Isso pode ser observado na passagem a seguir de Kolosque (2015, p.1):

O uso do aquecimento de fluido térmico orgânico é vantajoso, pois representa baixo investimento e rápido retorno. Ele possui amplas aplicações em sistemas de aquecimento em uma faixa de temperaturas que oscila de 0°C a 400°C, o que evita, nesta banda, as desvantagens resultantes do uso da água quente e do vapor saturado. Porém, são em temperaturas acima de 180°C que se encontram as maiores aplicações.

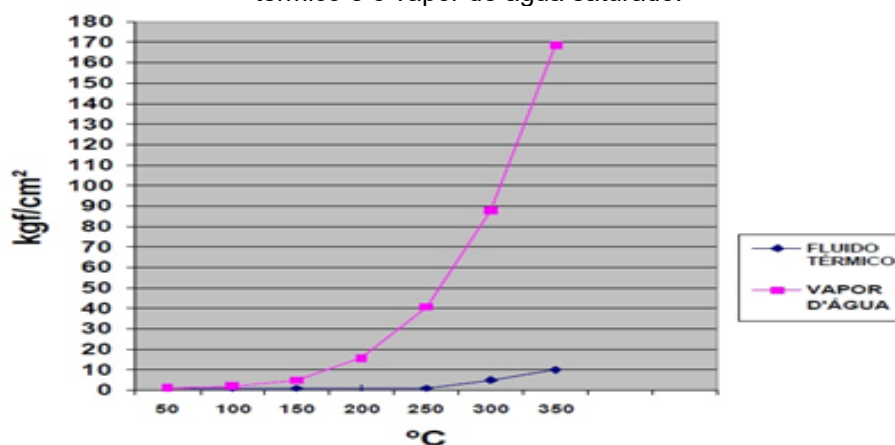
Observa-se ainda que os sistemas que utilizam fluidos orgânicos conseguem ter um controle mais preciso relacionado a temperatura, evitando superaquecimento não desejado para o sistema. Outro ponto chave é o menor custo de manutenção se comparado com sistemas de vaporização de água (Barros Júnior, 2001).

O mesmo sistema pode funcionar adicionando calor ou retirando, conforme necessidade do equipamento. Comparado com um sistema de geração de vapor, tem-se como grande vantagem o trabalho a altas temperaturas e baixas pressões, além de não ocorrer corrosão por oxidação, não sendo necessário um sistema para tratamento de água e consumo inexistente do mesmo, diminuindo custos operacionais, uma vez que não há a necessidade de reposição do fluido por ser um sistema fechado.

Além disso, a utilização de óleos combustíveis apresenta um controle mais exato de sua temperatura, podendo controlar o ponto de trabalho com mais exatidão, o que evita superaquecimentos indesejados em pontos localizados (Barros Júnior, 2001).

A Figura 1 mostra a relação pressão x temperatura dos dois fluidos, conforme ocorre variação de temperatura de processo.

Figura 1 - Comparação das pressões de trabalho para as diversas temperaturas, entre o fluido térmico e o vapor de água saturado.



Fonte: Barros (2001).

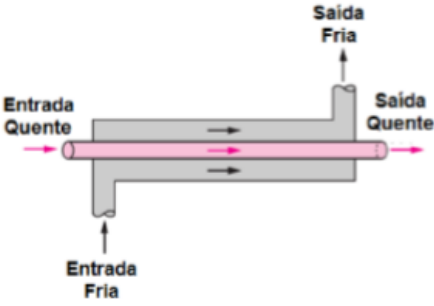
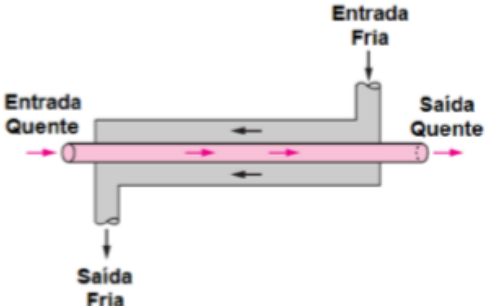
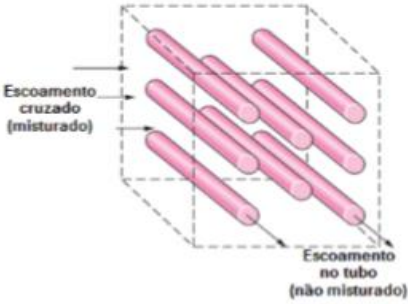
Pela Figura 1, pode-se verificar que fluido de vapor de água apresenta pressões de trabalhos muito superior ao do óleo em temperatura elevada. Devido a esse acontecimento, a utilização de vapor de água obrigaria que o sistema fosse mais reforçado, o que o tornaria mais caro (Barros Júnior, 2001).

2.2 PERMUTADORES DE CALOR

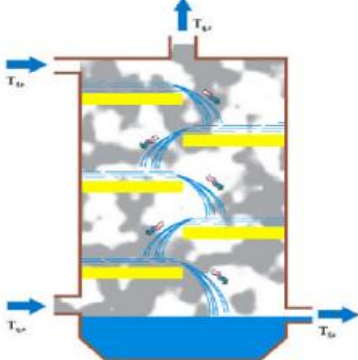
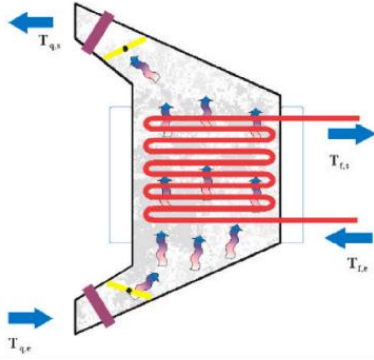
Os permutadores de calor são classificados e distinguidos pela classificação do fluxo do fluido transportado, pelo tipo de contato que ocorre a transferência de calor e pela sua construção.

Os fluxos podem ser classificados como paralelos, para fluidos que se movem em mesmo sentido, tendo o mesmo destino inicial e final, contracorrente para fluidos que circulam em sentidos opostos, entrando e saindo por extremidades opostas, e correntes cruzadas para fluxos perpendiculares entre si, ocorrendo entre eles mistura ou não (Bohorquez, 2014).

As Figuras 2.1 a 2.3 demonstram a classificação do fluxo dos fluidos nos permutadores.

Figura 2.1 – Fluxo paralelo.	Figura 2.2 – Fluxo contracorrente.
	
Fonte: Bohorquez, 2014.	Fonte: Bohorquez, 2014.
Figura 2.3 – Fluxo cruzado.	
	
Fonte: Bohorquez, 2014.	

Quanto ao tipo de contato, pode-se classificar como contato direto (Figura 3.1), onde ocorre mistura de massa dos fluidos através do contato entre si, ou indireto (Figura 3.2), onde os fluidos são separados entre si por paredes sólidas, não ocorrendo assim o contato direto entre os fluidos envolvidos, sendo esse talvez o modelo mais comum e utilizado em aplicações indústrias (Bohorquez, 2014).

Figura 3.1 – Contato direto.	Figura 3.2 – Contato indireto.
	
Fonte: Bohorquez, 2014.	Fonte: Bohorquez, 2014.

Referente ao tipo de construção, pode-se separar o mesmo em três grandes grupos de permutadores, sendo esses: Duplo tubo, casco e tubo e placas (Araújo, 2002).

De forma simplificada, os permutadores duplos tubos são compostos por duplos tubos em seu interior, separando os fluidos de trabalho entre tubos concêntricos. Um fluido escoava através do tubo menor, enquanto o outro escoava através do espaço formado entre o tubo menor e o tubo maior. Esse tipo de permutador permite ainda o arranjo de dois tipos de escoamentos já definidos anteriormente: escoamento paralelo e contracorrente (Araújo, 2002).

Os autores Bergman e Lavine (2019) diferenciam o permutador de configuração tubular com o permutador casco e tubo. Esse, por sua vez, se dispõe de diversos tubos que estão dispostos dentro de uma carcaça, de forma a fazer a transferência de calor entre um fluido que escoava dentro dos tubos com outro fluido escoando entre o espaço vazio da carcaça com os tubos.

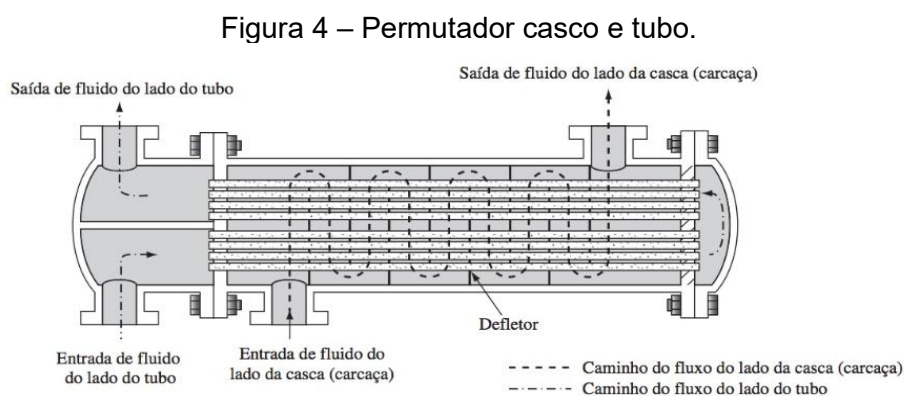
2.2.1 PERMUTADOR TIPO CASCO E TUBO

Talvez esse seja o tipo mais utilizado em processamentos industriais e químicos, pela sua construção e pelo seu rendimento na transferência de calor. Nesse equipamento sua construção é descrita da seguinte maneira: Um fluido é forçado ao escoamento longitudinal e internamente em diversos tubos dispostos ao longo do permutador, em quantidades aos quais dependem do projeto, de maneira a causar um fluxo de entrada e saída nos bocais de sucção e recalque do permutador.

Outro fluido é forçado ao escoamento no sentido transversal aos tubos internos do permutador e não no sentido longitudinal, pois é possível alcançar um coeficiente de transferência de calor melhor quando o fluido é escoado em tal sentido, aumentando o poder da convecção forçada.

Para se permitir esse tipo de escoamento cruzado, são dispostos defletores, também conhecido como chicanas, ao longo dos tubos para realizarem a divisão e não permitirem um fluxo no sentido longitudinal do equipamento, além de servirem como suporte aos tubos e evitarem assim vibrações indesejadas (Araújo, 2002).

A Figura 4 apresenta o modelo construtivo de um permutador casco e tubo com defletores e um passe no casco e dois passes no tubo.



Fonte: Kreith, 2014.

O coeficiente de transferência de calor depende não só do espaçamento dos tubos, da velocidade de escoamento do fluido e das propriedades do fluido, mas depende também do espaço e do formato dos defletores.

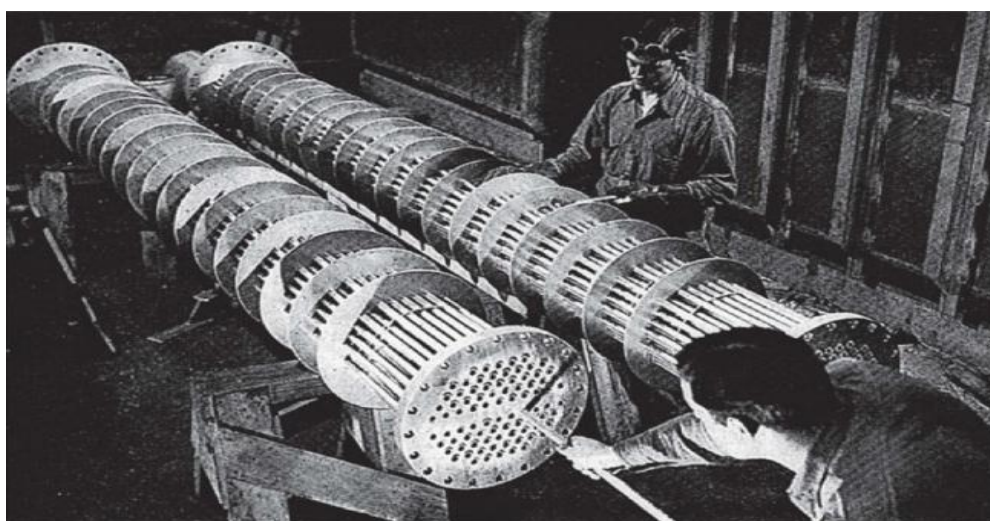
Outra coisa a ser considerada são as perdas de cargas que ocorrem com os vazamentos entre os furos dos defletores para a passagem dos tubos, e entre o

encontro dos defletores com a parte interna da carcaça do permutador, demonstrado na Figura 5. Por ser muito complexo dimensionar essa perda, utiliza-se a aproximação dos resultados encontrados multiplicados por 0,6 em consideração dos vazamentos e desvios encontrados (Kreith; Manglik; Bohn, 2014).

Outro ponto a ser observado é o tipo de fluido que será utilizado e o tamanho que o equipamento ocupará, bem como seu peso final após a construção, pois como fluidos gasosos possuem um poder de convecção inferior quando comparados a fluidos líquidos, é necessário aumentar de forma significativa a área de contato de transferência térmica, o que pode resultar em um equipamento que não seja viável financeiramente ou que não se enquadre no projeto inicial (Kreith; Manglik; Bohn, 2014).

A Figura 5 demonstra a parte interna de um permutador, composto pelo conjunto de tubos e defletores.

Figura 5 – Feixe de tubo do trocador de calor com defletores.



Fonte: Kreith, 2014.

Na Figura 5 é possível observar que os defletores assumem um papel importante no processo de direcionamento e controle do fluxo do fluido na carcaça. Além disso, as chicanas, juntamente com as chapas de tubo na extremidade, permitem o alojamento de vários tubos em seu interior, que é chamado de feixe de tubos, mantendo os tubos na posição correta de projeto e diminuindo ao máximo o vazamento entre os tubos e os furos de fixação nas chicanas e chapas de tubo (Janna, 2016).

2.3 BALANÇO ENERGÉTICO

Para a realização do cálculo do balanço energético, é necessário utilizar propriedades dos fluidos com base nas temperaturas de entrada e saída, nas capacidades térmicas e nos valores das vazões mássicas, adotando que não haja mudança de fases e que a capacidade térmica seja constante ao longo da troca térmica (Coelho, 2016).

Tendo isso em vista, aplica-se a primeira lei da termodinâmica para o cálculo do fluxo de calor termodinâmico, representados pelas Equações 1 e 2, para o cálculo do fluxo de calor do fluido quente e frio respectivamente.

	$Qq = \dot{m}q \cdot Cpq \cdot (Tq,ent - Tq,sai)$	(1)
	$Qf = \dot{m}f \cdot Cpf \cdot (Tf,ent - Tf,sai)$	(2)

Em que:

\dot{m} - Vazão mássica do fluido (kg/s)

Cp - Capacidade térmica do fluido

T - Temperatura

Os subscritos q e f significam as fontes quentes e frias respectivamente e os subscritos *ent* e *sai* significam entrada e saída respectivamente.

2.4 FLUXO DE CALOR ATRAVÉS DA MÉDIA LOGARÍTMICA (LMTD)

As temperaturas dos fluidos não são constantes ao longo de toda área de troca térmica do permutador, fazendo assim com que a razão do fluxo de calor varie ao longo do percurso do fluido no permutador. Isso ocorre devido a variação pontual das temperaturas quentes e frias nas seções de encontro (Çengel; Ghajar, 2012).

Para calcular a taxa de transferência de calor, é necessário encontrar a média logarítmica da diferença de temperaturas (LMTD) dos fluidos que percorrem o permutador. Há diferença entre o método para encontrar o LMTD, conforme o arranjo estrutural do equipamento (Souza, 2013). Para permutadores de arranjo contracorrente, o LMTD é dado por:

$LMTD = \frac{(T_{q,ent} - T_{f,sai})(T_{q,sai} - T_{f,ent})}{\ln[(T_{q,ent} - T_{f,sai}) / (T_{q,sai} - T_{f,ent})]}$	(3)
--	-----

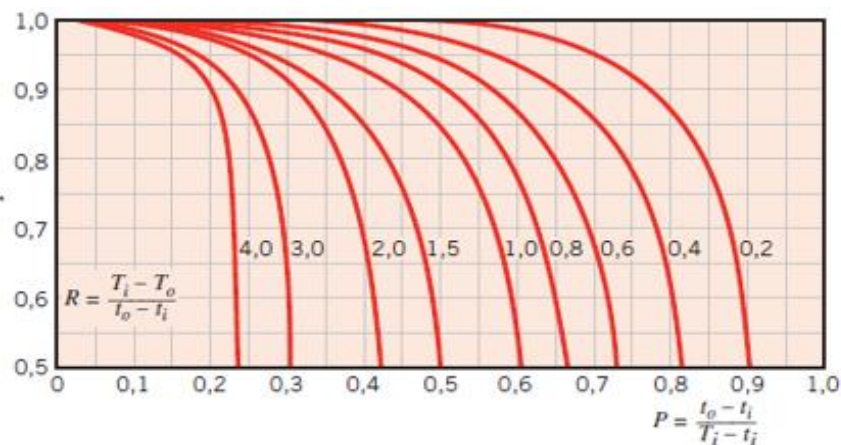
O uso do LMTD padrão é restrito a utilização de trocadores paralelos e contracorrentes com um passe no casco ou no tubo (Souza, 2013).

Para trocadores de calor mais complexo, com arranjos com vários passes na carcaça e tubo ou trocadores que apresentam arranjo de feixes cruzados, com fluidos misturados ou não, se faz necessário a aplicação de um fator de correção Ft para modificar a equação de derivação média de temperatura, pois calculá-la se torna uma tarefa muito complexa, sendo facilitada pela aplicação do fator de correção (Bergman; Lavine, 2019).

A Equação 4 demonstra a aplicação desse fator de correção na equação da média logarítmica e a Figura 6 apresenta o gráfico para obtenção do fator de correção para permutadores com escoamento cruzado.

$\Delta T_{médio} = LMTD * Ft$	(4)
--------------------------------	-----

Figura 6 - Fator de correção para um trocador de calor de escoamento cruzado, com único passe, com um fluido misturado e o outro não misturado.



Fonte: Bergman; Lavine, 2019.

Os valores de P e R são constantes que são definidas pelas temperaturas de entrada e saída dos fluidos. Os subscritos T_i e T_o se referem aos valores de

temperatura de entrada e saída no casco respectivamente, e os subscritos t_i e t_o se referem os valores de temperatura de entrada e saída no tubo respectivamente (Bergman; Lavine, 2019).

A Equação 5 corrige o fluxo de calor para um permutador de fluxo cruzado.

$Q = U * A * \Delta T_{\text{médio}}$	(5)
---------------------------------------	-----

Em que:

U : Coeficiente global de transferência de calor

$\Delta T_{\text{médio}}$: Valor corrigido da diferença logarítmica para permutadores de fluxo cruzado

A : Área estimada de troca térmica

2.5 CÁLCULO DA EFICIÊNCIA

A eficiência de trocador de calor ξ pode ser definida realizando uma relação simples entre a taxa de transferência de calor real do equipamento com um valor máximo possível de transferência de calor, considerando que essa troca seja realizada em uma área infinita de trocador de calor de configuração contracorrente.

Para essa, considera-se que a temperatura de saída do fluido quente alcança na troca térmica o mesmo valor da temperatura de entrada do fluido frio, ou seja, essa analogia compara a taxa real momentânea com a maior taxa possível, limitante pela segunda lei da termodinâmica, configurando assim a energia máxima disponível ao equipamento. O fluido que apresentar menor coeficiente de capacidade térmica, terá uma maior variação em suas temperaturas iniciais e finais (Welty; Rorrer; Foster, 2017).

A Equação 6 mostra como o cálculo de eficiência está relacionada com as temperaturas e coeficientes caloríficos dos fluídos.

$\varepsilon = \frac{C_q(T_{q,ent} - T_{q,sai})}{C_{min}(T_{q,ent} - T_{f,ent})}$	(6)
---	-----

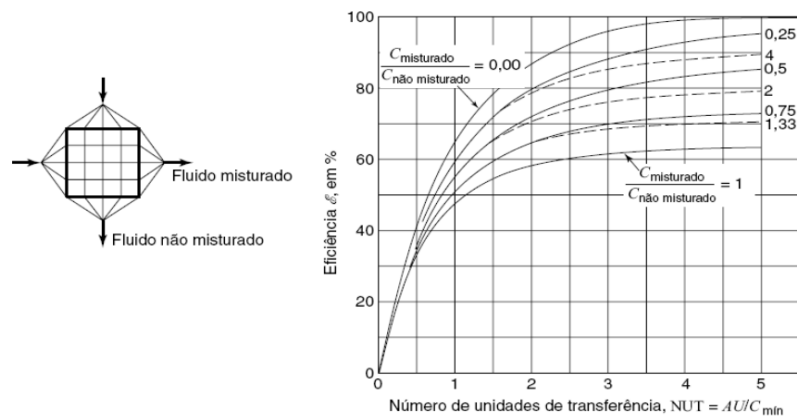
Em que:

C_q : Relação entre \dot{m} e C_p do fluido quente.

C_{min} é o menor valor entre as relações de \dot{m} e C_p dos fluidos quentes e frios.

Para trocadores de fluxo cruzado, sua eficiência pode ser estimada por um gráfico de eficiência definido, que é apresentada pela Figura 7, relacionando o número de NUT com as relações dos coeficientes caloríficos dos fluidos (Welty; Rorrer; Foster, 2017).

Figura 7 - Trocador de calor para um dos fluxos não misturados.



Fonte: Welty (2017).

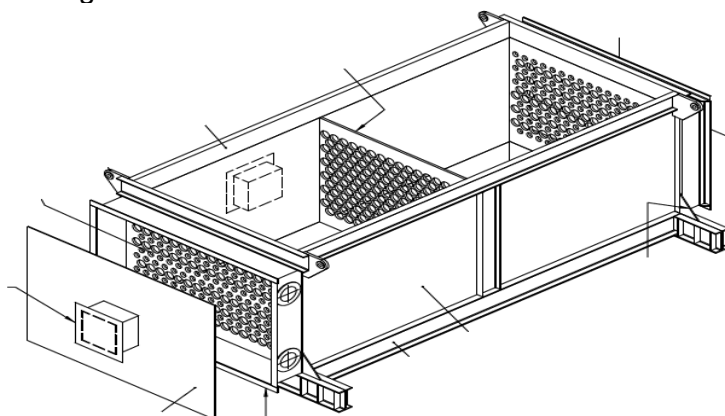
Com a Figura 7 é possível verificar que o valor da eficiência é alterado pela variação do número de NUT e pela relação dos coeficientes dos fluidos misturados e não misturados, representados aqui pelos fluidos no interior e exterior dos tubos, sendo que qualquer um deles pode assumir ambos papeis, dependendo da construção do trocador de calor (Welty; Rorrer; Foster, 2017).

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

Para obtenção do estudo proposto, foi utilizado um permutador de calor do tipo feixes de tubos com casco retangular e dimensões de 4,25 metros de comprimento por 2,0 metros de altura e 2,0 metros de largura. Essa configuração é apresentada pela Figura 8 que demonstra a vista isométrica do equipamento para compreensão da disposição do feixe de tubos e construção física do equipamento (Documento Interno, 2020).

Figura 8 - Vista Isométrica do trocador de calor.



Fonte: Documento interno da empresa

A Figura 8 demonstra que seu interior é multitubular, pois é percorrido por 17 tubos de 2" de diâmetro externo, sendo que cada tubo executa 12 passes no casco, totalizando assim 204 tubos para troca térmica, que estão dispostos ao escoamento dos gases de entrada em fluxo cruzado, representado pela Figura 2.3.

Cada tubo possui 4.100 metros de comprimento para troca térmica, totalizando 846 metros de tubulação no permutador. Os tubos possuem aletas circulares, com altura de 13mm e estão dispostas com um perfil de 188 aletas a cada metro de tubo, dispondo ao permutador aproximadamente 157.000 aletas. Somando-se as áreas das aletas e a área exposta do tubo externo, tem-se uma área de aproximadamente 607 m² (Documento Interno, 2020).

3.2 DESCRIÇÃO DO MODELO DE ESTUDO

Por se tratar de um sistema real, sendo esse já desenvolvido e implantado, foi realizado um estudo de caso para o entendimento real do problema, como ele funciona e o porquê de sua implantação. Isso pode ser visto por Yin (2014, p.4) que mostra que o estudo de caso é uma modalidade muito utilizada quando se colocam questões do tipo “por que” ou “como”, que são situações onde o pesquisador não possui controle sobre os eventos que ocorrem em algum contexto da vida real.

Gil (2017, p.34) ressalta que a utilização do estudo de caso vem crescendo por diferentes propósitos, tais como: “exploração de situações da vida real, descrição do contexto ao qual está sendo realizada a investigação, formulação de hipóteses ou teorias e explicar variáveis causais que determinam fenômenos complexos que não poderiam ser explicados através de experimentos”.

O tipo de pesquisa realizada teve como objetivo explicar, de forma teórica e prática, o assunto abordado. Para isso, estudos do tipo descritivo e explicativos foram utilizados. Para Gil (2017, p.26) pesquisas do tipo descritivas são importantes, pois “explicam as características de determinado fenômeno, relacionando variáveis”. Já a pesquisa explicativa identifica fatores determinantes que ocorrem nos fenômenos estudados. É o tipo de pesquisa mais profunda, que aproxima o conhecimento da realidade, pois tem o objetivo de explicar causas e motivos, sendo esse o estudo mais complexo a ser realizado, devido aos erros que possam ser cometidos.

A natureza da pesquisa possui característica qualitativa e quantitativa, ou seja, o enfoque de pesquisa é mista, pois o objetivo é explorar e medir os fenômenos que ocorrem no estudo em campo. Para isso, foram coletados dados de variáveis importantes no processo.

O conceito de coleta de dados pode ser melhor entendido por Sampieri, Collado e Lucio (2013, p.31):

A coleta de dados se fundamenta na medição (medimos as variáveis ou os conceitos contidos nas hipóteses). Essa coleta é realizada quando utilizamos procedimentos padronizados ou aceitos por uma comunidade científica. Para que uma pesquisa seja crível e aceita por outros pesquisadores, temos de demonstrar que esses procedimentos foram seguidos. Como nesse enfoque o que se pretende é medir, os fenômenos estudados devem conseguir ser observados ou se referir ao “mundo real”. Como os dados são produtos de medições, eles são representados por números (quantidades) e devem ser analisados com métodos estatísticos.

As variáveis mensuradas nesse experimento foram fundamentais no cálculo de rendimento do fluxo de calor e eficiência do equipamento, dentre elas: temperatura de entrada e saída dos gases no permutador, temperatura de entrada e saída do óleo térmico e vazão mássica de ambos os fluidos.

A coleta dos dados do modelo teórico de projeto foi obtida através da folha de dados do equipamento, utilizando documentação interna da empresa, que é caracterizada como uma fonte primária de informação. Nela contém informações essenciais do desenvolvimento dos projetos iniciais na aplicação do equipamento.

Esses dados foram tratados e apresentados conforme Figura 8 da sessão resultados e discussões. Já para o modelo experimental proposto por esse trabalho, os dados foram coletados de forma experimental por observação participante, que é caracterizada como uma pesquisa exploratória, com o intuito de formulação de problemas, desenvolvimento de hipóteses, familiaridade do pesquisador com o fenômeno e capacidade de entendimento dos conceitos observados, pois há a participação direta do pesquisador com o ambiente do problema de pesquisa, sendo possível a manipulação de variáveis para controle dos fatores pertinentes (Marconi; Lakatos, 2017). As variáveis foram registradas e avaliadas através de instrumentos industriais instalados nos locais de interesse do equipamento, sendo seus dados analisados e tratados, conforme a Tabela 1 e 2 da sessão resultados e discussões.

3.3 DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Para avaliação das temperaturas de entrada e saída dos fluidos, foram utilizados termo resistores, que são elementos primários do tipo transdutores, ou seja, elementos que sentem uma variável física e se modificam conforme essa variável se altera, concedendo um sinal de saída resultante. Após concedido o sinal, esse é enviado a um TIT (Temperature indicator transmitter) que é um instrumento transmissor e indicador de temperatura, que interpreta esse sinal, demonstrando quantitativamente o valor dessa variável em valor digital, além de transmitir um sinal de comando de saída para uma interface CLP/Supervisório (Bega, 2011).

Para a vazão mássica do óleo, foram utilizadas placas de orifício, como elementos primários, que restringem a passagem do fluido, diminuindo sua velocidade e criando uma diferença de potencial de pressão na entrada e saída, que sendo medido e interpretado representa a vazão do fluido (Fialho, 2013). O sinal

gerado pela placa de orifício é enviado a um FIT (Flow indicator transmitter), que é um instrumento transmissor e indicador de vazão, o qual interpreta o sinal e quantifica o valor da variável em um display digital, além de transmitir um sinal de comando para uma interface CLP/Supervisório (Alves, 2010).

Para os gases exaustos, não havia, no momento da coleta experimental, instrumentos instalados para medição da vazão, pois o mesmo só foi implementado no momento da coleta de dados dos projetos iniciais. Portanto, os valores experimentais de vazão mássica dos gases exaustos foram calculados aplicando a equação de balanço energético, igualando as Equações 1 e 2 para obtenção da mesma.

Todo o trabalho tem embasamento teórico para explicar os efeitos que ocorrem em um permutador de calor e aproximá-lo ao estudo de caso proposto. Essas informações foram obtidas através de fontes secundárias de pesquisa tais como: Livros, artigos científicos, monografias, dissertações e publicações online encontradas em sites acadêmicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DADOS DOS PROJETOS

Para a análise de desempenho do permutador de calor no pré-aquecimento do óleo térmico, foi realizado uma comparação entre o projeto inicial de operação do equipamento e os valores obtidos de forma experimental por esse trabalho. O equipamento foi projetado com base em duas possibilidades de aplicação na planta, sendo essas as aplicações mais comuns, baseadas em estudos realizados pelo corpo de engenharia da companhia.

Para o primeiro projeto, foram utilizados dados médios dos gases exaustos pelo processo de compressão do gás de Golfinho. Nesse projeto, foram considerados os valores de vazão nominal dos gases exaustos da turbina e da vazão do óleo necessária para atender a demanda de troca térmica das plantas de processamento de gás natural de Golfinho. Os valores nominais desse projeto estão dispostos na Figura 9 abaixo pela folha de dados do equipamento.

Figura 9 - Folha de dados do equipamento do caso Golfinho.

TÍTULO:		UNIDADES RECUPERADORAS DE CALOR									
GERAL											
EQUIPAMENTO: UNIDADE DE RECUPERAÇÃO DE CALOR											
SERVIÇO: PRÉ-AQUECIMENTO DO ÓLEO TÉRMICO											
CASO OPERACIONAL: GÁS DE GOLFINHO (NOTA 2)											
TIPO:		VERTICAL				NÚMERO DE UNIDADES:			06 (NOTA 1)		
DESEMPENHO POR UNIDADE - RENDIMENTO, kW 5600.00											
CONFIG. (CASCO)		NA	SÉRIE	NA	PARALELO	INSTALAÇÃO:		X	VERTICAL	HORIZONTAL	INCLINADO
CONFIG. (TUBO)		NA	SÉRIE	NA	PARALELO						
CONDIÇÕES OPERACIONAIS (NOTA 2)											
						LADO DO CASCO			LADO DO TUBO		
						ENTRADA		SAÍDA	ENTRADA		SAÍDA
FLUIDO:						GÁS EXAUSTO (NOTA 3)			ÓLEO TÉRMICO (NOTA 4)		
VAZÃO		TOTAL (kg/h)				84600			120000		
		VAPOR (kg/h)				84600		84600	-		-
		ÓLEO TÉRMICO (kg/h)				-		-	120000		120000
TEMPERATURA (°C)						430		220 (NOTA 11)	142		209
PRESSÃO DE ENTRADA MEDIDA (kPa)						(NOTA 3)			15400 (NOTA 12, 13)		

Fonte: Próprios autores, 2023.

Para o segundo caso, foram utilizados dados médios dos gases exaustos pelo processo de compressão do gás de Peroá. Nesse projeto, foram considerados os valores de vazão nominal dos gases exaustos da turbina e da vazão do óleo necessária para atender a demanda de troca térmica das plantas de processamento de gás natural de Peroá.

Os valores nominais desse projeto estão dispostos na Figura 10 abaixo pela folha de dados do equipamento.

Figura 10 – Folha de dados do equipamento do caso Peroá.

TÍTULO:		UNIDADES RECUPERADORAS DE CALOR									
GERAL											
EQUIPAMENTO: UNIDADE DE RECUPERAÇÃO DE CALOR DESPERDIÇADO (WHRU)											
SERVIÇO: PRÉ-AQUECIMENTO DO ÓLEO TÉRMICO											
CASO OPERACIONAL: GÁS DE PEROÁ (NOTA 2)											
TIPO:		VERTICAL				NÚMERO DE UNIDADES:			06 (NOTA 1)		
DESEMPENHO POR UNIDADE - RENDIMENTO, kW 3429.00											
CONFIG. (CASCO)		NA	SÉRIE	NA	PARALELO	INSTALAÇÃO:		X	VERTICAL	HORIZONTAL	INCLINADO
CONFIG. (TUBO)		NA	SÉRIE	NA	PARALELO						
CONDIÇÕES OPERACIONAIS (NOTA 2)											
						LADO DO CASCO			LADO DO TUBO		
						ENTRADA		SAÍDA	ENTRADA		SAÍDA
FLUIDO:						GÁS EXAUSTO (NOTA 3)			ÓLEO TÉRMICO (NOTA 4)		
VAZÃO		TOTAL (kg/h)				56000			145600		
		VAPOR (kg/h)				56000		56000	-		-
		ÓLEO TÉRMICO (kg/h)				-		-	145600		145600
TEMPERATURA (°C)						430		220 (NOTA 11)	183		215,6
PRESSÃO DE ENTRADA MEDIDA (kPa)						(NOTA 3)			15500 (NOTA 12, 13)		

Fonte: Próprios autores, 2023.

Em ambos os projetos houve a estimativa da potência gerada pelos equipamentos ligados aos casos operacionais específicos, observando que ocorreu a mudança de desempenho entre as unidades devido as diferentes características de vazão e temperatura dos fluídos considerados no projeto.

4.2 DADOS EXPERIMENTAIS

Para os valores experimentais, foram coletados os dados necessários para estimar o rendimento do equipamento solicitado no momento da operação de compressão do gás de golfinho. Os dados foram coletados através dos instrumentos industriais descritos na metodologia desse trabalho.

Para os experimentos 1 e 2, foram realizadas três medições em tempo real, obtendo os dados necessários para os cálculos.

Os valores encontrados estão relacionados nas Tabelas 1 e 2, sendo que para determinar a vazão mássica do fluído quente, foram efetuadas estimativas através da igualdade entre as Equações 1 e 2 de balanço energético, motivo esse informado na metodologia de pesquisa.

Tabela 1 – Dados referente ao experimento 1.

Experimento 1					
Fluido quente			Fluido frio		
Vazão mássica (Kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	Vazão mássica (Kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)
102.600,00	498,5	229,2	166.320,00	152	225
102.600,00	498,73	229,69	168.120,00	152,2	225,12
102.600,00	499	229,7	169.560,00	152,21	225,2

Fonte: Próprios autores, 2023.

Tabela 2 – Dados referente ao experimento 2.

Experimento 2					
Fluido quente			Fluido frio		
Vazão mássica (Kg/h)	Temperatura de entrada	Temperatura de saída	Vazão mássica (Kg/h)	Temperatura de entrada	Temperatura de saída
97.992,00	467,56	219,35	166.644,00	149,73	213,37
98.028,00	467,58	219,51	167.184,00	149,73	213,38
98.064,00	467,71	219,66	168.660,00	150	213,4

Fonte: Próprios autores, 2023.

Utilizando os valores dos experimentos 1 e 2, calculou-se a média logarítmica de temperatura para um permutador de fluxo cruzado, utilizando as premissas de correlação entre as Equações 3 e 4 com a Figura 6, para obter o valor corrigido da média logarítmica.

Dispondo desse dado, efetuou-se o cálculo do fluxo de transferência de calor do equipamento, ou seja, o seu desempenho energético, aplicando os conceitos da Equação 5.

Obtendo o fluxo de calor e isolando a incógnita U , nessa equação, obtém-se o valor do coeficiente global de transferência global de calor, que mede o valor efetivo de transferência de calor entre os fluidos por meio das paredes dos tubos dispostos em seu interior. Os valores encontrados estão descritos nas Tabelas 3 e 4 abaixo.

Tabela 3 – Resultado dos cálculos referente ao experimento 1.

Experimento 1		
Fluxo de calor (KW)	Média logarítmica de temperatura	Coefficiente global de transferência de calor (W)
8772,58	144,33	100,14
8764,11	144,58	99,87
8772,58	144,64	99,92

Fonte: Próprios autores, 2023.

Tabela 4 – Resultado dos cálculos referente ao experimento 2.

Experimento 2		
Fluxo de calor (KW)	Média logarítmica de temperatura	Coefficiente global de transferência de calor
7722,42	132,55	95,98
7720,90	132,67	95,88
7723,12	132,61	95,94

Fonte: Próprios autores, 2023.

Para o cálculo da eficiência do equipamento, utilizou-se a Equação 6 para encontrar a eficiência em contracorrente e compará-la com os valores encontrados de fluxo cruzado, através da análise realizada na compilação de Welty da Figura 7.

Assim, foram encontrados os valores de eficiência dos projetos e experimentos representados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de eficiência dos projetos e experimentos.

Comparações	Eficiência contracorrente	Eficiência fluxo cruzado
Projeto 1	85,02%	83,00%
Projeto 2	75,69%	73,00%
Experimento 1	77,67%	74,00%
Experimento 2	78,07%	74,00%

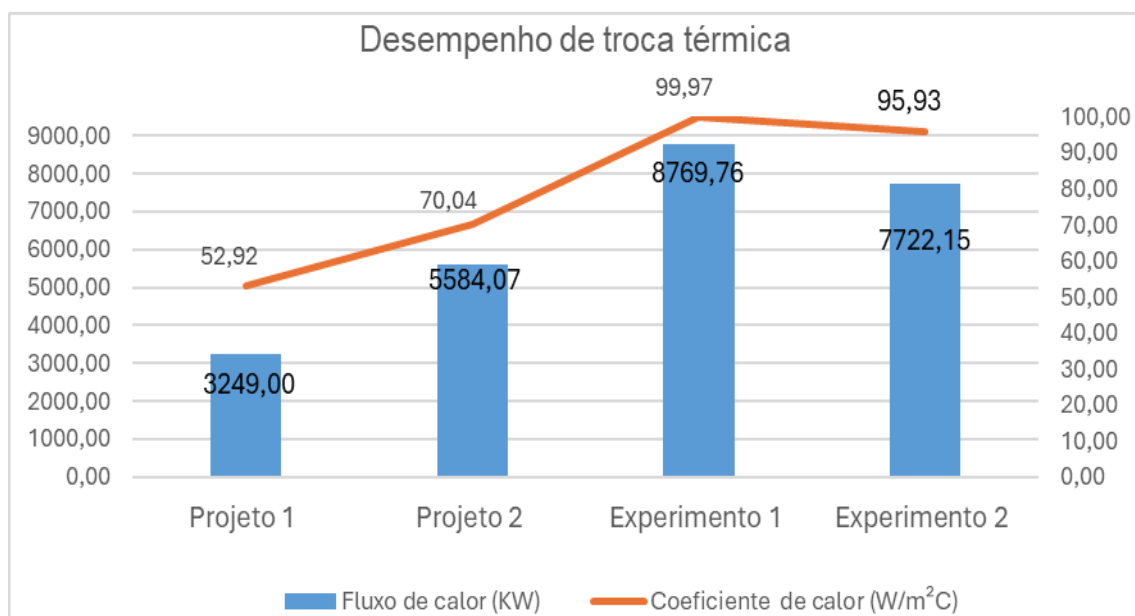
Fonte: Próprios autores, 2023.

4.3 AVALIAÇÕES DAS TROCAS ENERGÉTICAS DOS PROJETOS E EXPERIMENTOS

Realizando uma relação entre os valores de projeto e os valores experimentais, bem como o cálculo do coeficiente global de transferência de calor de ambas as situações, pode-se verificar que a transferência de calor do equipamento está diretamente ligada com a vazão mássica e temperatura do gás, pois esta é a fonte quente da troca térmica e que o fluxo de calor do equipamento sofre modificação conforme se alteram essas variáveis.

De igual maneira, o coeficiente global de transferência de calor é modificado conforme se altera a capacidade do fluxo de calor que o permutador transfere. Relacionando os valores médios obtidos dessas duas variáveis, nas tabelas acima, é possível verificar no Gráfico 1 o comportamento da variação do coeficiente global de transferência de calor com a variação do desempenho energético dos projetos e experimentos.

Gráfico 1 - Desempenho energético.



Fonte: Próprios autores, 2023.

O Gráfico 1 mostra que os valores de transferência térmica alcançados nos experimentos são maiores que os projetados. Isso pode ser explicado pelo

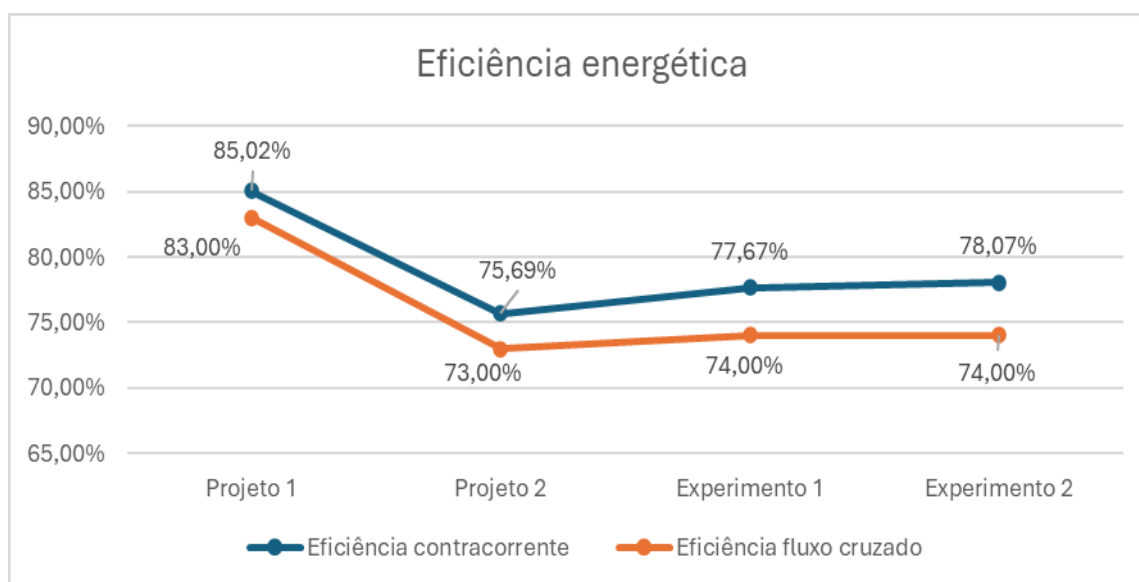
desempenho da turbina a gás, responsável pela exaustão dos gases quentes, que operava acima da carga calculada de ambos os projetos.

No experimento 1, onde houve a maior transferência de calor e temperatura final do óleo, a turbina operava próximo de sua totalidade disponibilizada pelo fabricante, no valor de 102.900,00 Kg/h e 500°C a exaustão dos gases.

4.4 AVALIAÇÕES DAS EFICIÊNCIAS ENERGÉTICAS DOS PROJETOS E EXPERIMENTOS

Para melhor análise das comparações dos valores de eficiência do permutador nas duas configurações de fluxo e a visualização do seu comportamento, com base nas situações de aplicação, utilizou-se o Gráfico 2 para representar sua variação ao longo dos experimentos realizados. O Gráfico 2 demonstra a eficiência do sistema em cada projeto.

Gráfico 2 - Eficiência energética do sistema.



Fonte: Próprios autores, 2023.

É possível verificar que conforme o valor do fluxo de calor aumenta, o rendimento do equipamento também aumenta de forma sucinta. Entretanto, mais importante do que o fluxo de calor é a diferença de temperatura inicial e final que o permutador deve oferecer ao fluido frio.

Isso pode ser observado comparando os resultados da eficiência do projeto 1 com os demais. Mesmo sendo a situação que se demanda menos energia térmica das comparações realizadas, essa necessitava de menor diferença de temperatura inicial e final do óleo, com um ΔT (Diferença de temperatura) de 32 °C, sendo que as demais configurações exigiam um ΔT de 64 °C ou mais.

Além disso, a configuração contracorrente se mostrou pouco mais eficiente do que a cruzado. Isso é compreensível, visto que as perdas de cargas consideradas pela configuração cruzada são consideradas nos fatores de correção apresentados nesse trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse trabalho, pode-se verificar que o rendimento apresentado pelo permutador em operação foi satisfatório, atendendo as premissas iniciais mínimas do projeto. Além disso, relacionando esses dados, percebe-se que o rendimento do equipamento empregado no momento dos experimentos superava o rendimento teórico do projeto.

Isso foi possível devido a operação da turbina estar muito acima do valor nominal do projeto, o que aumentou consideravelmente a vazão mássica do fluido quente, confirmando que a quantidade de fluxo de calor ofertado por um permutador está diretamente ligada ao valor de vazão mássica do fluido quente, considerando que não haja mudança de fase do fluido, conforme apresentado pelas referências teóricas.

Além disso, foi verificado que a eficiência do sistema é proporcional ao fluxo de calor empregado pelo equipamento, mas o fator determinante da eficiência é a menor diferença de temperatura necessária concedida ao óleo térmico para atender a demanda operacional.

Percebe-se que os valores obtidos de temperatura final do óleo superavam os de projeto, pois no modelo de Golfinho, que era o modelo determinante, a temperatura final do óleo era de 209°C. Já no experimento 1, onde foi obtido maior potência entregue pelo permutador, a temperatura final do óleo era de 229°C.

Obtendo esses valores e relacionando com a necessidade térmica da planta, pode-se concluir que não era necessário realizar uma carga térmica final do óleo nos

fornos aquecedores, superando em muito o projeto que visava apenas um pré-aquecimento do óleo, para que por fim houvesse a carga final nos fornos.

Com isso, os fornos ficaram apenas em Standy-By, caso fosse necessário realizar a parada da turbina de forma programada ou por manutenção corretiva, o que gerou não só apenas economia na quantidade de gás processada nos bicos injetores dos fornos para aquecimento do mesmo, mas também gerou economia nos gases que eram exaustos pelos fornos, contribuindo assim para um sistema mais ecologicamente sustentável.

Como o sistema proposto atuava em temperatura elevada, torna-se difícil mensurar, com exatidão, as propriedades caloríficas dos fluidos, além da volatilidade elevada das temperaturas no decorrer do processo de troca térmica, onde foi necessário trabalhar com aproximações para os cálculos realizados.

Como melhoria para futuras análises, pode-se trabalhar com fluidos tabelados e em temperaturas mais usuais, para que essas propriedades não sofram mudanças drásticas e possam ser extraídas por tabelas de bibliografias conhecidas, para uma melhor exatidão dos cálculos realizados.

Trabalhar com permutadores que possibilitem a mudança no tipo de escoamento do fluido da carcaça, alternando entre escoamentos cruzados, contracorrentes e paralelos, proporcionarão análises interessantes a serem discutidas para compreensão da mudança do rendimento e da eficiência do equipamento com a variação do tipo de escoamento.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

ARAUJO, Everaldo Cesar da Costa. **Trocadores de calor**. São Paulo: EdUFSCar, 2002.

BARROS JUNIOR, Joaquim Luiz. Integração de utilidades, recuperação de calor e cogeração em sistemas de aquecimento de fluido térmico. **Konus**. Disponível em: http://www.konus.com.br/public/uploads/artigos/_542a377fbd2e4.pdf. Acesso em: 30 maio. 2020.

BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D.; DIAS, Hélio. **Relatividade, oscilações, ondas e calor**. São Paulo: AMGH, 2013.

BEGA, Egídio Alberto. **Instrumentação industrial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

BERGMAN, Theodore L.; LAVINE, Adrienne S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BOHORQUEZ, Washington Orlando Irrazabal. Aula 23 - Trocadores de calor. **UFJF**. Disponível em: http://www.ufjf.br/washington_irrazabal/files/2014/05/Aula-23_Trocadores-de-Calor.pdf. Acesso em: 1 jun.2020.

ÇENGEL, Yunus A; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: Uma abordagem prática**. 4.ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

COELHO, João Carlos Martins. **Energia e fluídos: Transferência de calor**. 3.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2016.

COSTA, Roberto Luiz. **Redução de custos: na empresa líder de soluções em informática LTDA**. Projeto de graduação em administração – FPL. Minas Gerais, 2012. Disponível em: https://www.fpl.edu.br/2018/media/pdfs/graduacao/tcc/2012/tcc_roberto_luiz_costa_2012.pdf. Acesso em: 1 jun. 2020.

DAITX, Maximiliano Soares. **A viabilidade de implementação das melhores práticas de redução de custos em micro, pequenas e médias empresas no Rio Grande do Sul**. Projeto de graduação em administração – UFRGS. Rio Grande do Norte, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/29624/000768782.pdf?sequence=1>. Acesso em: 1 jun. 2020.

DOCUMENTO INTERNO. **Memorial descritivo da unidade recuperadora de calor**. 2020.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Instrumentação industrial: Conceitos, aplicações e análises**. 7. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2013.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

JANNA, William S. **Projetos de sistemas fluidotérmicos**. 4. Ed. São Paulo: Cengage Learning , 2016.

KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M.; BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

KOLOSQUE, Everton. Fluido térmico orgânico NSF HT1, para transferência de calor é uma opção vantajosa para indústria alimentícia. **Klueber**. Disponível em: https://www.klueber.com/ecomaXL/get_blob.php?name=Fluido_de_transferencia_de_calor.pdf. Acesso em: 31 mai. 2020.

LOPES, Patrícia Beatriz dos Santos. **Estudo de um permutador de calor para aplicação em sistemas de recuperação de energia térmica**. Dissertação em engenharia automível - IPL. Leiria, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/61799241.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2020.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

MORAN, Michael J. et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, Maria Del Pilar Baptista. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: PENSO. 2013.

SOUZA, Monique Silveira. **Análise térmica de um trocador de calor do tipo casco e tubos para resfriamento do resíduo de uma unidade de destilação atmosférica**. Projeto de graduação em engenharia mecânica - UFRJ. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9972/1/monopoli10007837.pdf>. Acesso em: 31 maio. 2020.

TROCADOR DE CALOR **Trocador de calor**. Disponível em: <<http://www.trocadordec calor.com.br/trocador-de-calor>>. Acesso em: 31 maio. 2020.

WELTY, James R.; RORRER, Gregory L.; FOSTER, David G. **Fundamentos de transferência de momento, de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DO ÓLEO LUBRIFICANTE

Emerson Tonn Gomes¹; Arthur Farias Silva²; Josete Pertel³

¹Acadêmico de Engenharia Mecânica - Multivix São Mateus/ ES

²Engenheiro Mecânico/ Docente - Multivix São Mateus/ ES

³Doutora/ Docente - Multivix São Mateus/ ES

RESUMO

O gerenciamento de resíduos provenientes do petróleo é uma questão ambientalmente relevante, dado o seu impacto negativo nos ecossistemas e na saúde humana quando não tratado de forma adequada. Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre as práticas de gerenciamento desses resíduos, explorando as estratégias de coleta, tratamento, destinação final e o quadro normativo existente. Através da análise de artigos científicos, publicações técnicas e relatórios governamentais, busca-se entender os principais desafios enfrentados pelo setor e as soluções mais adotadas para minimizar os impactos ambientais. A metodologia adotada envolve uma revisão bibliográfica de fontes acadêmicas e visita técnica a fonte geradora de resíduos permitindo uma análise crítica sobre as melhores práticas para o gerenciamento sustentável dos resíduos de óleo usado. Concluímos que grande parte do óleo usado não recebe um destino ambientalmente correto, muitas das vezes por falta de conhecimento dos profissionais que lidam com esse resíduo no dia a dia ou por falta de logística em algumas regiões para se dar o destino ideal ao óleo usado.

Palavras-chave: resíduos; sustentabilidade; óleo lubrificante; reaproveitamento.

ABSTRACT

The management of petroleum waste is an environmentally relevant issue, given its negative impact on ecosystems and human health when not properly treated. This work aims to conduct a systematic literature review on waste management practices, exploring collection, treatment, final disposal strategies, and the existing regulatory framework. Through the analysis of scientific articles, technical publications, and government reports, we seek to understand the main challenges faced by the sector and the most adopted solutions to minimize environmental impacts. The methodology adopted involves a bibliographic review of academic sources and a technical visit to

the waste-generating source, allowing for a critical analysis of best practices for the sustainable management of used oil waste. We conclude that a large part of used oil does not receive an environmentally correct destination, often due to a lack of knowledge among professionals who handle this waste on a daily basis or due to a lack of logistics in some regions to give used oil the ideal destination.

Keywords: waste; sustainability; lubricating oil; reuse.

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, o desenvolvimento econômico acelerado tem gerado impacto significativo no meio ambiente, evidenciado por mudanças climáticas e a crescente escassez de recursos naturais não renováveis. Esse progresso, muitas vezes, tem sido baseado na exploração intensiva e insustentável dos recursos naturais, levando à degradação ambiental e ao comprometimento dos ecossistemas. A relação desequilibrada entre crescimento econômico e sustentabilidade demonstra a necessidade urgente de novas abordagens para assegurar um futuro ambientalmente responsável (Martine; Alves, 2018).

Assim, as questões ligadas à sustentabilidade têm atraído o interesse do poder público e servem como referência para garantir o desenvolvimento econômico, com práticas capazes de reduzir impactos negativos à saúde pública e ao meio ambiente. O adequado manejo e descarte do óleo lubrificante pelas empresas se torna essencial, pois essa questão ultrapassa os benefícios econômicos envolvidos (Amarante, 2018).

O uso de óleo lubrificante é necessário para o funcionamento de máquinas, veículos automotivos e equipamentos industriais. Esses fluidos exercem um papel crucial na redução do atrito entre peças móveis, no controle da temperatura durante o funcionamento e na ampliação da vida útil dos componentes mecânicos (Silva; Silva, 2024). No entanto, após o uso, o óleo acumula contaminantes, como partículas metálicas, produtos resultantes da oxidação, fuligem e outros resíduos, tornando-se um material perigoso para o meio ambiente e para a saúde humana. A gestão dessa eliminação tornou-se uma importante questão ambiental, especialmente devido ao seu alto potencial de contaminação (Amarante, 2018).

A magnitude do problema é ressaltada por vários estudos que apontam os efeitos contrabalançados do descarte inadequado do óleo que já foi usado. Segundo

Teixeira *et al.*, (2015), uma pequena quantidade de óleo é capaz de contaminar milhares de litros de água, criando uma película fina sobre a superfície que impede a oxigenação, afetando diretamente a fauna e a flora aquática.

Além disso, a maioria dos óleos lubrificantes possuem metais pesados, como cádmio, chumbo e zinco, que podem se acumular no solo e nos lençóis freáticos, prejudicando a qualidade da água potável e a fertilidade do solo. Sem manejo correto, os resíduos de óleo lubrificante representam uma ameaça ao meio ambiente, uma vez que a degradação natural desses compostos pode levar décadas, ou até séculos (Teixeira *et al.*, 2015).

Com a crescente conscientização sobre os impactos ambientais dos resíduos perigosos, o gerenciamento adequado de óleos usados passou a ser regulamentado por diversos países. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, define as diretrizes gerais para a gestão de resíduos, incluindo as obrigações de coleta seletiva e destinação adequada de resíduos perigosos, como o óleo usado (Brasil, 2010). A PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada entre fabricantes, distribuidores, consumidores e o poder público, com o objetivo de garantir que o ciclo de vida dos produtos seja gerenciado de maneira sustentável (Brasil, 2010).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) também desempenha um papel fundamental no controle e fiscalização do gerenciamento de óleo no Brasil. A Resolução ANP nº 16/2008 regulamenta o recolhimento, o rerrefino e a reciclagem do Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC), essa norma visa reduzir o impacto ambiental e aumentar a reutilização de recursos, por meio de práticas de reciclagem e regeneração do óleo.

Teixeira *et al.*, (2015), destaca que o refino é uma das soluções mais eficientes para o tratamento de óleo de lubrificação usado, pois permite que o produto seja restaurado às condições originais de lubrificação, preservando suas características técnicas e diminuindo necessidade de desgaste de novas matérias-primas.

A nível internacional, os países têm procurado implementar políticas que incentivem a economia circular na qual tem como objetivo o fechamento dos processos produtivos, com a recolocação dos resíduos no processo de produção, diminuindo o seu descarte no meio ambiente e reduzindo a extração de nova matéria prima (Foster *et al.*, 2016).

Na União Europeia, por exemplo, o rerrefino de óleo usado é uma prática consolidada, com legislação que impõe metas de coleta e recuperação de óleo. Além disso, o bloco europeu oferece incentivos fiscais para empresas que investem em tecnologias de refino e na melhoria da infraestrutura de coleta (Souza, 2009). Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) também promoveu campanhas de conscientização sobre o destino adequado do óleo usado e a importância do rerrefino como parte da estratégia nacional de gestão de resíduos perigosos (Souza, 2009).

De um ponto de vista tecnológico, o desenvolvimento de novas metodologias de reciclagem tem sido fundamental para a evolução do setor. Os avanços nas tecnologias de purificação do óleo usado, como a destilação a vácuo e o uso de solventes, aumentam significativamente a eficiência do processo de rerrefino, permitindo a recuperação de óleos com alto grau de contaminação (SINDICOM, 2019). Além disso, o uso de estudos em processos de desmetalização tem permitido a remoção de metais pesados de forma mais eficaz (Teixeira *et al.*, 2015).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o gerenciamento de resíduos de óleo usado, com foco nos processos de coleta, tratamento, reciclagem e destinação final, além de analisar o impacto das políticas públicas e regulamentações na promoção de um manejo sustentável. Através da análise de publicações científicas e visitas técnicas, busca-se identificar as melhores práticas adotadas no Brasil e em outros países, bem como discutir os principais desafios notados e analisar se as leis e normas estavam sendo seguidas corretamente nas visitas técnicas as empresas geradoras, assim como, os avanços na implementação dessas práticas. Ao final, pretende-se contribuir para o debate sobre a importância de um gerenciamento eficiente de resíduos de OLUC, como parte fundamental de uma estratégia ambiental mais ampla.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 COLETA E ARMAZENAMENTO DE ÓLEO LUBRIFICANTE USADO

A coleta e o armazenamento de óleo lubrificante usado são etapas cruciais no gerenciamento adequado desse resíduo perigoso. O processo envolve a remoção do óleo contaminado de veículos, maquinários e equipamentos, seguido de seu

transporte para centros de armazenamento ou tratamento. O correto seria a estocagem do óleo usado, fundamental para evitar a contaminação do solo, da água e do ar, assim como garantir a segurança dos trabalhadores e da comunidade ao redor. O sistema de coleta é responsável por garantir que o óleo usado seja removido dos pontos de utilização e enviado para tratamento, evitando o descarte incorreto (SINDICOM, 2019). No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei n.º 12.305/2010, estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, incluindo a coleta e destinação final adequada de resíduos como o óleo usado (Brasil, 2010).

O conceito de responsabilidade compartilhada é uma abordagem crucial para garantir que todos os agentes, incluindo fabricantes, distribuidores e consumidores, estejam envolvidos no processo de gerenciamento do descarte (Souza, 2009).

Porém, a falta de regulamentação específica para pequenos geradores “pequenas empresas e oficinas geradoras de OLUC” contribui para o descarte inadequado do óleo. Em muitas localidades, o óleo é descartado em sistemas de esgoto ou diretamente no solo, o que causa impactos ambientais graves. O desenvolvimento de políticas que promovam a criação de pontos de coleta acessíveis e a fiscalização rigorosa são medidas essenciais para mitigar esse problema. A implementação de programas de logística reversa, conforme previsto na PNRS, é uma estratégia eficaz para aumentar a taxa de coleta e reciclagem do óleo lubrificante usado (Schuelter *et al.*, 2010).

O armazenamento do óleo usado requer cuidados rigorosos para evitar vazamentos e contaminações. Segundo a ANP, o óleo lubrificante usado é considerado um descarte perigoso, devendo ser armazenado de forma segregada, em recipientes adequados e locais devidamente preparados para evitar a infiltração de contaminantes no solo e nas águas subterrâneas (ANP, 2020).

A Resolução ANP n.º 16/2008 regulamenta o armazenamento de OLUC, especificando que os recipientes de armazenamento devem ser impermeáveis e possuem barreiras de contenção para evitar derramamentos (ANP, 2020).

O armazenamento inadequado de óleo usado é uma das principais causas de poluição ambiental em regiões urbanas e industriais. O óleo armazenado em recipientes deficientes ou em áreas sem infraestrutura ou então comprometida pode infiltrar-se no solo ou ser arrastado por águas pluviais, atingindo corpos d'água e causando danos graves à vida aquática (Schuelter *et al.*, 2010).

Nos últimos anos, aconteceram avanços consideráveis no desenvolvimento de tecnologias para o armazenamento de resíduos perigosos. A utilização de sensores em tanques de armazenamento permite o monitoramento em tempo real dos níveis de óleo e a detecção de vazamentos, aumentando a segurança e evitando o risco de contaminação. Além disso, sistemas automatizados que controlam temperatura e pressão garantem que o óleo usado seja mantido nas condições ideais, preservando sua qualidade para o refino (Schuelter *et al.*, 2010).

Apesar dos avanços, o Brasil ainda enfrenta desafios importantes no que diz respeito à coleta e armazenamento de óleo usado e a falta de infraestrutura adequada, a baixa fiscalização e o desconhecimento por parte de pequenos geradores comprometem a eficiência do sistema (Martine; Alves, 2015; Amarante, 2018).

2.2 TRATAMENTO E RECICLAGEM DO ÓLEO LUBRIFICANTE

O tratamento e a reciclagem do óleo lubrificante usado são etapas essenciais para a diminuição dos impactos ambientais e à promoção de uma economia circular. O processo de reciclagem é conhecido como rerrefino, uma técnica que transforma o OLUC em uma matéria-prima renovada, devolvendo-o ao mercado com a mesma qualidade dos produtos novos. A reciclagem evita o descarte inadequado e reduz a necessidade de exploração de novos recursos naturais, como o petróleo bruto. A implementação de tecnologias de rerrefino é um dos principais mecanismos para alcançar a sustentabilidade no setor (Silveira *et al.*, 2006).

O tratamento do óleo lubrificante usado envolve diversas etapas para remover contaminantes, como partículas sólidas, água, aditivos degradados e produtos de oxidação. O primeiro passo no tratamento é a filtração, que remove os sólidos em suspensão. Posteriormente, são realizados processos de destilação e desidratação, que separam a água e outros compostos voláteis, permitindo que o óleo base seja recuperado para reutilização (Souza, 2009).

A destilação é uma das etapas principais no tratamento do óleo usado. Ela permite a separação dos diferentes componentes do óleo com base em suas características físico-químicas, como o ponto de ebulição. A destilação a vácuo é uma técnica amplamente utilizada, pois opera a temperaturas mais baixas do que a destilação atmosférica, o que evita a degradação térmica do óleo. Após essa etapa, o óleo pode ser submetido a tratamentos adicionais, como a hidrogenação, que

removem os resíduos de compostos insaturados e melhoram a estabilidade do produto final (Silveira *et al.*, 2006).

Um avanço tecnológico importante no tratamento do óleo usado é o uso de técnicas de purificação avançadas, como a adsorção e a proteção por solventes. Técnicas como essa permitem a remoção de compostos polares e metais pesados, resultando em um óleo de alta pureza, adequado para ser reutilizado em aplicações industriais. A utilização de nanomateriais como adsorventes, por exemplo, tem sido anunciada como promissória, devido à sua alta capacidade de adsorção e à seletividade no tratamento de resíduos perigosos (Silveira *et al.*, 2006).

Sendo considerado uma solução ambientalmente correta para a gestão de resíduos perigosos, o processo de rerrefino é de grande importância para o tratamento eficaz do óleo. No Brasil, o rerrefino também é regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que estabelece normas específicas para a operação de empresas de rerrefino e a destinação final dos resíduos provenientes do processo (ANP, 2020).

De acordo com Muniz e Braga (2015) a reciclagem de óleo usado gera uma economia significativa de energia, já que o processo consome cerca de 30% a menos de energia do que a produção de óleo lubrificante a partir de óleo bruto. Essa economia de energia se traduz em uma menor pegada de carbono para a indústria de empreendimentos, contribuindo para a redução das mudanças climáticas (Muniz e Braga, 2015).

Do ponto de vista econômico, também oferece vantagens significativas, comercialização de óleo rerrefinado pode ser uma atividade lucrativa para as empresas que operam no setor de resíduos, especialmente em países onde há incentivos fiscais e subsídios governamentais para práticas de economia circular. A criação de um mercado robusto para produtos refinados não apenas gera empregos, mas também contribui para a diversificação da matriz energética, tornando o setor menos dependente de recursos fósseis (Muniz; Braga, 2015).

Embora o rerrefino proporcione uma série de benefícios, sua implementação em larga escala enfrenta desafios consideráveis. Um dos principais obstáculos é a logística de coleta do óleo usado, especialmente em regiões com infraestrutura deficiente. Outro desafio está relacionado ao custo inicial das instalações de rerrefino, pois o investimento necessário para construir e operar uma planta de refino é significativo, o que pode ser uma barreira para a entrada de novas empresas no

mercado. Além disso, a legislação ambiental rigorosa exige que as empresas adotem tecnologias avançadas de controle de poluição, o que aumenta ainda mais os custos operacionais (Almeida; Dutra; Guimarães, 2022).

Outro fator que influencia a adoção do rerrefino é a conscientização do público. Ainda que o rerrefino seja amplamente conhecido e incentivado em alguns países, como os Estados Unidos e a União Europeia, no Brasil, a prática ainda é pouco difundida entre pequenos geradores de OLUC. Campanhas educativas e programas de conscientização são necessários para informar a população sobre os riscos do descarte inadequado de óleo usado e os benefícios do rerrefino (Silva; Ribeiro; Crispim, 2014). Outra perspectiva futura importante é o fortalecimento das políticas de incentivo à economia circular. De acordo com Silva, Ribeiro e Crispim (2014) a criação de incentivos fiscais e subsídios governamentais para empresas que adotam práticas sustentáveis, como o rerrefino de óleo usado, pode acelerar a adoção dessa tecnologia no Brasil. A implementação de marcos regulatórios mais rígidos para o descarte de óleo usado e a exigência de que os fabricantes incorporem ou refinem em suas cadeias de produção também são estratégias que podem ser consideradas (Silva; Ribeiro; Crispim, 2014).

O tratamento e a reciclagem do óleo usado, por meio do rerrefino, são práticas fundamentais para a proteção ambiental e a promoção de economia. O processo de rerrefino reduz a contaminação ambiental, economiza recursos naturais e gera benefícios econômicos significativos, tornando-se uma solução sustentável para a gestão de resíduos perigosos. Apesar dos desafios logísticos e financeiros, os avanços tecnológicos e as políticas públicas voltadas para a sustentabilidade estão contribuindo para a expansão do refino no Brasil e em outros países. O futuro da reciclagem do óleo usado depende, portanto, do fortalecimento dessas políticas e da conscientização sobre a importância do rerrefino para a preservação dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais (Muniz e Braga, 2015).

2.3 DESTINO FINAL E ASPECTOS LEGAIS

Segundo Amorim (2023), o petróleo brasileiro não possui as características mais adequadas para a produção de óleo básico, no qual é o principal insumo utilizado na fabricação dos óleos lubrificantes, por este motivo grande parte dessa matéria prima é importada de outros países onde o petróleo possui características ideais para a fabricação de óleo básico.

Por isso o rerrefino do óleo lubrificante usado tem grande influência para a economia do país, pois dessa forma é possível aumentar a quantidade de ciclos de vida útil dos lubrificantes reutilizando sua matéria prima para a produção de novos lubrificantes, assim a quantidade de matéria prima que é importada acaba sendo muito menor.

Além da importância para a economia do país, a destinação final do óleo usado é uma questão de grande relevância ambiental e legal, uma vez que a gestão incorreta desse óleo pode causar sérios danos ao meio ambiente e à saúde pública. O descarte correto do óleo usado é regulamentado por um conjunto de leis e diretrizes que visam minimizar os impactos negativos e promover práticas sustentáveis (Silva; Ribeiro; Crispim, 2014).

A responsabilidade compartilhada é uma maneira muito interessante de dividir a responsabilidade de destinar os resíduos sólidos como o OLUC de maneira ecologicamente correta, através de atividades individualizadas entre os indivíduos que estão ligados a esta cadeia como fabricantes, importadores, comerciantes, distribuidores, consumidores e os responsáveis pelos serviços de limpeza pública (Almeida *et al.*, 2021).

No Brasil, o gerenciamento de resíduos, incluindo o óleo usado, é regulamentado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei nº 12.305/2010. Esta lei busca promover a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, desde a sua produção até o descarte final (Brasil, 2010).

A Resolução nº 362/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) regula especificamente o gerenciamento do transporte de óleo usado, determinando que este descarte deve ser coletado e destinado a instalações que realizam o rerrefino ou a recuperação de energia (Brasil, 2010). Essa resolução proíbe o descarte do óleo usado em aterros sanitários e cursos d'água, e estabelece que as empresas geradoras de óleo usado devem manter registros e comprovantes de destinação adequada, promovendo a transparência e a responsabilidade dessas empresas na gestão desse resíduo (Brasil, 2010).

Os geradores do OLUC que é óleo lubrificante usado ou contaminado, que incluem oficinas mecânicas, postos de troca de óleo, indústrias e empresas de transporte, têm a responsabilidade legal de destinar especificamente seus resíduos. A PNRS estabelece que a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos é

compartilhada entre todos os envolvidos na cadeia produtiva, desde os fabricantes até os consumidores finais (Brasil, 2010).

As empresas que geram o OLUC por meio de suas atividades como oficinas e postos de troca de óleo têm a responsabilidade de receber e armazenar de forma correta esse resíduo seguindo as normas que regulamentam esta atividade, para que periodicamente as empresas de coleta licenciadas pelos órgãos ambientais e autorizadas pela ANP, possam recolher esse resíduo e destiná-lo as empresas que iram reciclá-lo da forma correta. As empresas geradoras em cada coleta recebem um certificado de coleta de OLUC (CCO), assim como uma remuneração baseada na quantidade de óleo coletado (Romanel, 2022).

A fiscalização do cumprimento das normas de gerenciamento do óleo usado é fundamental para garantir a proteção ambiental. Os órgãos ambientais, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), desempenham um papel crucial na supervisão das atividades de coleta e destino do OLUC. Segundo as fiscalizações visam garantir que as empresas cumpram as normas e adotem práticas de gestão adequadas, podendo aplicar prejuízos em caso de descumprimento (Silva; Ribeiro; Crispim, 2014).

No entanto, a efetividade da fiscalização enfrenta desafios importantes. A falta de recursos humanos e materiais nos órgãos ambientais, juntamente com a complexidade das redes de coleta, pode dificultar a atuação eficaz na fiscalização das práticas de gestão de resíduos (Silva; Ribeiro; Crispim, 2014). A corrupção e a falta de comprometimento de alguns agentes também podem comprometer a eficácia da fiscalização, tornando necessário o fortalecimento das instituições responsáveis e a implementação de políticas de integridade e transparência.

O avanço tecnológico poderá oferecer soluções inovadoras para a coleta e o tratamento do óleo usado. A implementação de sistemas de monitoramento e rastreamento baseados em tecnologia da informação pode facilitar a supervisão das práticas de gestão e aumentar a transparência. Tecnologias de purificação mais eficientes e econômicas também podem contribuir para a valorização do óleo usado como um recurso renovável (Amarante, 2018).

3 METODOLOGIA

A metodologia científica utilizada neste estudo combina pesquisa bibliográfica e visitas de campo para investigar o tema de forma abrangente e fundamentada. A coleta de dados de artigos e bibliografia foi eletrônica por meio da internet, e através da visita técnica.

Para a escrita desse artigo foram pesquisadas palavras-chave em sites de consulta como Google Acadêmico e Scielo. Foram utilizadas palavras como “óleo lubrificante”, “sustentabilidade” para que fossem selecionados apenas artigos que condissessem com o objetivo escolhido para ser abordado nesse estudo. Foram aceitos nesses trabalhos artigos publicados entre os anos 2000 a 2024, nacionais e internacionais, escritos em português ou língua estrangeira traduzidos para o português.

A pesquisa bibliográfica foi realizada inicialmente com o objetivo de obter uma base teórica sólida e entender os conceitos, dados históricos e discussões já fundamentadas sobre o tema (Gil, 2002). Esse levantamento de informações permitiu a identificação de autores-chave, teorias e práticas relevantes que desenvolvemos para embasar as análises subsequentes. Para garantir a atualização dos dados e a profundidade da abordagem, foram consultados artigos acadêmicos, livros, dissertações e publicações de fontes confiáveis, com foco em estudos publicados entre os anos 2000 a 2024.

A visita de campo, por sua vez, foi essencial para observar e coletar dados diretamente nos locais de interesse. Esse método possibilitou um contato prático com as variáveis em estudo, permitindo verificar a aplicação prática dos conceitos encontrados na literatura e obter uma perspectiva mais precisa das realidades locais.

Durante as visitas em três oficinas mecânicas na cidade de São Gabriel da Palha/ES, foram observados os processos envolvidos e registradas informações relevantes que desenvolvemos para a análise do contexto específico do estudo. Nesse momento, foram utilizados três critérios de observação. O primeiro foi a forma de como o OLUC era drenado dos reservatórios dos veículos para saber se havia os equipamentos apropriados para essa intervenção. O segundo era entender se as oficinas mecânicas armazenavam de forma correta o óleo usado e por último, verificar para onde o óleo utilizado era levado.

A combinação dos dados fornecidos pela pesquisa bibliográfica, com os dados encontrados em campo, permitiu uma triangulação metodológica que garantiu maior robustez aos resultados e conclusões da pesquisa.

A pesquisa é qualitativa e os dados encontrados serão analisados explorando os aspectos subjetivos sobre o tema e a abordagem bibliográfica envolverá uma revisão sistemática e crítica da literatura existente, incluindo artigos científicos, livros e outras fontes relevantes sobre o tema em questão. Os dados serão analisados por meio de análise e interpretação das informações da literatura científica disponível, contribuindo para o aprimoramento dos fundamentos teóricos relacionados ao tema (Alves *et al.*, 2021).

A coleta de dados de artigos e bibliografia foi eletrônica por meio da internet, e também através da visita técnica. Para a escrita desse artigo foram pesquisadas palavras-chave em sites de consulta como Google Acadêmico e Scielo. Foram utilizadas palavras como “óleo lubrificante”, “sustentabilidade” para que fossem selecionados apenas artigos que condissessem com o objetivo escolhido para ser abordado nesse estudo.

Foram aceitos nesses trabalhos artigos publicados entre 2000 a 2024, nacionais e internacionais, escritos em português ou língua estrangeira traduzidos para o português.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora a quantidade de OLUC tratado corretamente venha aumentando a cada ano, essa quantidade ainda é muito inferior a quantidade de óleo lubrificante comercializado, de acordo com um balanço lançado no início de 2022, o volume de OLUC recolhido no Brasil foi de 45,21% do volume de óleo lubrificante que foi comercializado em 2021, esse valor superou a meta nacional que era de 44,00% na Portaria Interministerial MMA/MME nº 475, de 2019 (Brasil, 2022).

No entanto esse valor ainda é baixo quando comparado a outros países como na Europa, onde a taxa de reciclagem de OLUC bate quantidades superiores a 48%, ou então em países como a Irlanda e o Reino Unido que se destacam com mais de 85% de reciclagem de rejeito perigoso (Soares, 2023).

Com essa discrepância entre a quantidade de OLUC tratado no Brasil quando comparado aos países europeus vemos o quão grande é a margem que pode ser melhorada na reciclagem de OLUC.

Durante a pesquisa, foram realizadas visitas a oficinas mecânicas, onde foi possível obter algumas conclusões e entender, na prática, por que a quantidade de OLUC reciclado é pequena em comparação ao volume de óleo lubrificante comercializado.

Na Figura 1, é apresentada uma foto tirada em uma das oficinas visitadas, onde é possível observar que a empresa possui um coletor de óleo adequado para realizar o serviço. Esse equipamento contribui para manter a oficina limpa e organizada e foi encontrado em todas as oficinas visitadas.

Figura 1 – Coletor de óleo lubrificante usado de veículos.



Fonte: Próprios autores, 2024.

Das oficinas visitadas nenhuma possuía uma estrutura adequada para o armazenamento de óleo usado, o que indica uma deficiência na parte de fiscalização dos órgãos competentes.

Na Figura 2, observamos o armazenamento incorreto de óleo usado. De acordo com a norma NBR 12235:1998, é obrigatório o uso de bacias de contenção para armazenar óleo em containers e tambores. Através disso, entendemos o motivo pelo qual os autores Schuelter *et al.* (2010) sugeriram a implementação de normas mais rigorosas para garantir que todos os estabelecimentos que manipulam o óleo usado possuam sistemas adequados de armazenamento.

Figura 2 – Reservatório de óleo usado da própria oficina.



Fonte: Próprios autores, 2024

Durante as visitas, conversamos com os colaboradores dessas empresas para entender o destino dado ao OLUC. Todos relataram que o óleo usado era coletado por empresas de reciclagem credenciadas que seguem as normas vigentes. No entanto, em uma das oficinas, um colaborador mencionou que uma pequena parte desse resíduo acaba sendo vendida ilegalmente para pessoas que o utilizam como impermeabilizante de madeira, prática proibida, pois, dessa forma, o óleo acaba entrando em contato com o meio ambiente.

Embora o Brasil tenha avançado na criação de políticas e regulamentações, desafios como a falta de infraestrutura e a dispersão dos pontos geradores ainda representam obstáculos significativos para a eficiência do sistema. Além da falta de fiscalização pelos órgãos responsáveis.

O desenvolvimento de tecnologias de coleta e armazenamento, a conscientização dos pequenos geradores e a implementação de incentivos fiscais são algumas das soluções que podem contribuir para um gerenciamento mais sustentável e eficiente. O cumprimento das normas ambientais e o fortalecimento das políticas públicas são essenciais para a proteção do meio ambiente e a promoção de uma economia circular no setor de óleos usados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gerenciamento de resíduos de OLUC é um desafio complexo que demanda uma abordagem integrada e abrangente, combinando práticas técnicas de coleta, tratamento e destinação final com políticas públicas bem estruturadas. A revisão da literatura mostra que, embora existam tecnologias avançadas para regenerar e reciclar o óleo usado, a eficácia dessas práticas depende de uma regulamentação rigorosa, infraestrutura adequada e conscientização de todos os envolvidos, incluindo geradores de resíduos, gestores e consumidores.

Além da importância da regulamentação, que estabelece normas de manejo e controle para o OLUC, as políticas públicas devem promover a economia, propiciando a reutilização e reciclagem do óleo usado. Países que implementam políticas rigorosas e incentivos fiscais para a reciclagem de OLUC apresentam resultados mais expressivos na redução do descarte inadequado, contribuindo para a preservação ambiental e a redução da poluição do solo e das águas.

Para garantir a eficácia do gerenciamento de OLUC, é fundamental que todos os envolvidos no processo estejam comprometidos com as boas práticas na gestão desses resíduos. Isso inclui o cumprimento das normas ambientais, a educação e conscientização dos trabalhadores e da sociedade sobre os riscos ambientais e à saúde associados ao descarte inadequado do OLUC.

A evolução contínua das tecnologias de reciclagem, como o rerrefino, apresenta grande potencial para aumentar a sustentabilidade do processo, evitando a necessidade de remoção de petróleo e evitando o impacto ambiental.

Além disso, a cooperação entre os setores público e privado é mostrada como essencial, pois uma abordagem colaborativa permite que o conhecimento e os recursos sejam otimizados, criando sinergias para um gerenciamento mais eficiente e sustentável dos resíduos.

Conclui-se, portanto, que o gerenciamento sustentável dos resíduos de óleo lubrificante requer não apenas o aprimoramento das tecnologias e processos de tratamento, mas também um esforço coletivo entre governo, indústria e sociedade para promover uma cultura de sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Gabriel do Vale et al. **Importância da responsabilidade compartilhada no sucesso de programas de logística reversa: proposição do projeto piloto isopor® amigo.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228931/vol%2003%20-49-60.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 nov. 2024.

ALMEIDA, Geovana; DUTRA, Flavio Galio; GUIMARÃES, Jairo. **Análise do sistema de gerenciamento do óleo lubrificante usado ou contaminado no município de Floriano.** 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/366532454_ANALISE_DO_SISTEMA_DE_GERENCIAMENTO_DO_OLEO_LUBRIFICANTE_USADO_OU_CONTAMINADO_NO_MUNICIPIO_DE_FLORIANO_1_ANALYSIS_OF_THE_USED_OR_CONTAMINATED_LUBRICANT_OIL_MANAGEMENT_SYSTEM_IN_THE_CITY_OF_FLORIANO>. Acesso em: 05 out. 2024.

ALVES, Keila et al. Saúde, bem-estar subjetivo e apego ao ambiente escolar em adolescentes, **Psic., Saúde & Doenças**, Lisboa, v. 22, n. 2, p. 567-577, 2021. Disponível em https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/87959696/822-libre.pdf?1656091795=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHealth_Subjective_Wellness_and_Attachmen.pdf&Expires=1731434990&Signature=bYCMMSnL4p89JNZ1P~oRb4Xea34E2XsRqm-oaCJAfkaWzk8TpluTDcOex~F8DkFtY-JkozLGFsMvVlLL9AKF6bCMjo6a90dHcgWd~tow35aNavSOo2stDEloI0MLzSWDb11n2qaRoUM--jEW4xC7xiZEA4Y-k1AjdrmjKlgIEWjoHxftPGIK1RRnQLxOgpRx5jb-POr5jEzP7MWxYH3qFxn7UN-TF1r5k-xAOccvj94uai3Ald-Tz3NX3BWCRxJgynJnjYfpiN-g6cSjM69Q5jBfv4ilWeVw5y3i9YkaQDdk2L~bUwOrD6xrrVm3h2zqfZZpdnG04pWeS qHoQ4IA___&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 22 out. 2024.

AMARANTE, I. C. S. Os impactos na saúde humana e no meio ambiente decorrentes do manejo e descarte indevidos dos resíduos de óleos lubrificantes, **Revista Jus Navigandi**, Teresina. abr. 2018. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/65324/os-impactos-na-saude-humana-e-no-meio-ambiente-decorrentes-do-manejo-e-descarte-indevidos-dos-residuos-de-oleos-lubrificantes>. Acesso em: 31 out. 2024.

AMORIM, Beatriz Palacio de. **Análise do mercado e desafios no rerrefino de óleos lubrificantes automotivos.** 2023. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/23556/1/BPAmorim.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2024.

ANP – **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.** Resolução ANP n° 16, 2008. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-16-2008_108978.html. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 30 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado** – 2022 (ano base 2021). Brasília/DF, setembro de 2022. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=25203. Acesso em: 03 out. 2024.

FOSTER, Allan; ROBERTO, Samanta Souza; IGARI, Alexandre Toshiro. **Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. Anais do Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>. Acesso em: 26 out. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projeto de Pesquisa**. 4 ed. São Paulo, 2002. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em: 22 out. 2024.

MARTINE, G.; ALVES, J. E. D. (2015). **Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade?** Revista brasileira de estudos de população, 32(3), 433-460. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepop/a/pXt5ZtxqShgBKDJVTDjfWRn/?for#>. Acesso em: 30 out. 2024.

MUNIZ, Isalena; BRAGA, Risete Maria Queiroz. 2015. **O Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados e suas Embalagens: Estudo de Caso de uma Empresa de Logística na Região Norte do Brasil**. Sistemas e Gestão. 442-457. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/292190329_O_Gerenciamento_de_Oleos_Lubrificantes_Usados_ou_Contaminados_e_suas_Embalagens_Estudo_de_Caso_de_uma_Empresa_de_Logistica_na_Regiao_Norte_do_Brasil. Acesso em: 05 out. 2024.

ROMANEL, Celso. **Governança pública como dimensão para mensuração do desempenho da logística reversa do óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC)**. 2022. Tese de Doutorado. PUC-Rio. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/61691/61691.PDF>. Acesso em: 09 nov. 2024.

SCHUELTER, Lucas Mello, et al. **Logística reversa de óleos lubrificantes automotivos usados ou contaminados**. Santa Catarina, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/126709/TCC_-_Lucas_Mello_Schuelter.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 31 out. 2024.

SILVA, Gustavo; SILVA, Sávio. **A importância da lubrificação em motores de combustão interna.** 2024. Disponível em: <https://repositorio.faculdefama.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/275/A%20IMPORTANCIA%20DA%20LUBRIFICA%C3%87%C3%83O%20EM%20MOTORES%20DE%20COMBUST%C3%83O%20INTERNA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 06 out. 2024

SILVA, Michel; RIBEIRO, Simone; CRISPIM, Diego; outros autores. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Artigo científico. **Avaliação do gerenciamento de resíduos de óleos lubrificantes e suas embalagens em oficinas mecânicas da cidade de Pombal-PB.** 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322136896_Revista_Verde_de_Agroecologia_e_Developolvimento_Sustentavel_ARTIGO_CIENTIFICO_Avaliacao_do_gerenciamento_de_residuos_de_oleos_lubrificantes_e_suas_embalagens_em_oficinas_mecanicas_da_cidade_de_Pombal-. Acesso em: 05 out. 2024.

SILVEIRA, Eva Lucia Cardoso; CALAND, Livia Basílio de; MOURA, Carla Verônica Rodarte de; MOURA, Edmilson Miranda. Determinação de contaminantes em óleo lubrificantes usados e em esgotos contaminados por esses lubrificantes. **Revista Química Nova**, v.29, nº6, p.1193-1197, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/244750511_Determinacao_de_contaminantes_em_oleos_lubrificantes_usados_e_em_esgotos_contaminados_por_esses_lubrificantes>. Acesso em: 31 out. 2024.

SINDICOM. Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes. **Anuário 2019.** Rio de Janeiro, 2019. Disponível em:<<https://sindicom.com.br/index.php/download/anuario-2019-sindicom/?wpdmdl=718&refresh=6730ca43356e51731250755>>. Acesso em: 01 nov. 2024.

SOARES, Mariana Pompeu. **Logística Reversa do Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC).** 2023. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/76601/3/2023_tcc_mpsoares.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.

SOUZA, Andressa Moreira de. **Fitorremediação de solos contaminados com óleos lubrificantes usados.** Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Química, 2009. 143 p. dissertação. Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp104810.pdf>. Acesso em: 31 out. 2024.

TEIXEIRA, Gelson Antônio; *et al.* **Sustentabilidade:** estudo de caso sobre o tratamento de óleos usados/contaminados das colhedoras de cana-de-açúcar de uma usina da região norte do Estado de São Paulo. 2015. Disponível em: <<https://unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistafafibeonline/sumario/36/30102015190743.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2024.

MELHOR APROVEITAMENTO NO CORTE DE CHAPAS: ESTUDO EM ENCARROÇADORA

Arilson Botazini dos Santos¹; Rodney Zanol¹; Ryan Lázaro de Siqueira Assunção¹;
Daniela Luz Leite²

¹Acadêmicos de Engenharia Mecânica – Multivix São Mateus/ES

²Mestre/Engenheira Química/Docente – Multivix São Mateus/ES

RESUMO

O presente estudo versa sobre o reordenamento técnico do processo de corte de chapas de aço em uma indústria encarroçadora no norte do Espírito Santo. Justifica-se no impacto econômico da gestão ineficiente de insumos metálicos, que causa desperdício de matéria-prima e prejuízos logísticos, responsáveis por perdas superiores a 20% no setor. O uso racional de recursos também se alinha à responsabilidade ambiental e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Portanto, buscou-se validar uma metodologia de corte afim de maximizar a eficiência produtiva, sob a ótica da Engenharia Mecânica. Adotou-se um estudo de caso qualitativo. O uso do Diagrama de Pareto permitiu identificar que 78% das 1.496 chapas descartadas em um mês se deviam a problemas de redimensionamento e programação de corte. A intervenção técnica envolveu a reconfiguração do plano de corte, o redimensionamento de chapas e o uso de modelagem matemática para otimização. A proposta técnica gerou uma economia global de R\$ 1.751.276,32 para a produção de 2.500 unidades do modelo de ônibus analisado. O aproveitamento em componentes críticos, como o assoalho xadrez, aumentou de 79% para 96%. Os dados indicam que a matéria-prima foi utilizada de forma produtiva e eficaz, com as sobras organizadas por tamanho, e o melhoramento do *layout*. Portanto, com o apoio das habilidades técnicas e operacionais que a Engenharia Mecânica oferece, realizou-se um projeto sustentável que alcançou uma vasta economia nos custos do processo.

Palavras-chave: chapas de Aço; encarroçadora; ônibus; diagrama de Pareto; reaproveitamento de chapas.

ABSTRACT

This study addresses the technical reorganization of the steel sheet cutting process in a bus body manufacturing industry in northern Espírito Santo. It is justified by the economic impact of inefficient management of metallic inputs, which causes waste of raw materials and logistical losses, responsible for losses exceeding 20% in the sector. The rational use of resources is also aligned with environmental responsibility and the Sustainable Development Goals (SDGs). Therefore, the aim was to validate a cutting methodology in order to maximize productive efficiency, from a Mechanical Engineering perspective. A qualitative-quantitative case study was adopted. The use of the Pareto Diagram allowed us to identify that 78% of the 1,496 sheets discarded in one month were due to problems with resizing and cutting scheduling. The technical intervention involved reconfiguring the cutting plan, resizing sheets, and using mathematical modeling for optimization. The technical proposal generated overall savings of R\$ 1,751,276.32 for the production of 2,500 units of the analyzed bus model. The utilization of critical components, such as the checkered floor, increased from 79% to 96%. The data indicate that raw materials were used productively and efficiently, with leftover materials organized by size, and the layout improved. Therefore, with the support of the technical and operational skills offered by Mechanical Engineering, a sustainable project was carried out that achieved significant cost savings in the process.

Keywords: steel sheets; bodywork manufacturer; bus; Pareto diagram; sheet metal recycling.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por processos industriais mais eficientes impõe desafios que envolvem vários fatores ao engenheiro mecânico, especialmente na manipulação de matérias-primas metálicas.

Nesse sentido, o presente estudo versa sobre o reordenamento técnico do processo de corte de chapas de aço no âmbito de uma indústria encarroçadora situada no norte do Espírito Santo, objetivando a mitigação de perdas por meio de abordagens analíticas, estruturadas sob os pilares da engenharia da manufatura (Kalpakjian; Schmid, 2018) ramo da engenharia que se dedica ao estudo, desenvolvimento e aperfeiçoamento de processos de fabricação, com foco em

transformar matérias-primas em produtos acabados da forma mais eficiente possível, com qualidade, segurança e custos controlados e da produção enxuta, uma filosofia de gestão desenvolvida originalmente pelo Sistema Toyota de Produção, que visa eliminar desperdícios, melhorar a eficiência e aumentar o valor para o cliente (Shingo, 1996).

Nesse ínterim, a partir da constatação de desperdícios substanciais no processo fabril, a presente pesquisa propõe um modelo de intervenção pautado em fundamentos técnicos e operacionais, explorando a atuação estratégica do engenheiro mecânico na reconfiguração do plano de corte.

A relevância desta pesquisa fundamenta-se em dois pilares estratégicos: o impacto econômico decorrente da gestão ineficiente de insumos metálicos, especialmente chapas de aço, e a necessidade premente de inovação operacional em setores produtivos inseridos em ambientes altamente competitivos e dinâmicos. A engenharia mecânica, por sua natureza multidisciplinar, oferece ferramentas analíticas e práticas capazes de reverter perdas, aumentar a eficiência e promover soluções sustentáveis e tecnicamente sólidas.

A má utilização de chapas metálicas implica não apenas desperdício de matéria-prima, mas também prejuízos logísticos, retrabalhos e aumento do custo por unidade produzida fatores que reduzem a competitividade de empresas, especialmente aquelas com margens operacionais estreitas. Segundo dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI), perdas industriais superiores a 20% no corte de materiais metálicos são comuns em empresas que não aplicam estratégias otimizadas de *layout* ou automação (CNI, 2022). Esse cenário evidencia a urgência de se repensar os métodos atuais, priorizando abordagens baseadas em dados, simulações computacionais e práticas de engenharia *lean*. Além disso, a produção brasileira de fundidos recuou 9,4% em 2023 em comparação com o ano anterior, totalizando 2,69 milhões de toneladas, o que demonstra uma subutilização da capacidade instalada e reforça a necessidade de otimização dos processos produtivos.

A justificativa também ganha força à luz das exigências do mercado contemporâneo, que demanda qualidade elevada, prazos curtos e custos reduzidos num tripé difícil de sustentar sem reestruturação técnica. A engenharia mecânica, por sua natureza multidisciplinar, reúne conhecimentos essenciais como análise de tensões, comportamento mecânico dos materiais, programação de corte e

integração com *softwares* CAD/CAM. Esses elementos, quando utilizados de forma estratégica, permitem ao engenheiro não apenas executar, mas repensar os processos produtivos, eliminando desperdícios ocultos, reduzindo variabilidades e otimizando o desempenho global do sistema, conforme destacam Kalpakjian e Schmid (2018).

De acordo com Veiga (2016), o engenheiro mecânico atua como elo entre a teoria e a prática produtiva, sendo responsável por modernizar processos e a por integrar a tecnologia nas indústrias. Destaca-se que a eficiência no uso de insumos metálicos extrapola a questão financeira e assume o papel de indicador da maturidade tecnológica e da responsabilidade ambiental de uma organização. Em tempos nos quais a sustentabilidade se firma como norteadora da produção industrial, o uso racional de recursos naturais — como o aço, cuja produção envolve altos custos energéticos e ambientais — torna-se imperativo. Segundo a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2024), a redução na produção nacional de fundidos nos últimos anos evidencia a necessidade de otimização dos processos produtivos e melhor aproveitamento dos insumos.

Nesse contexto, a gestão adequada desses recursos dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ambos recomendados pela ONU. Assim, a figura do engenheiro mecânico ganha centralidade por sua capacidade técnica de operar sistemas complexos e também por seu papel estratégico na construção de processos produtivos enxutos, precisos e sustentáveis. Como ressalta Marson (2014), a aplicação de métodos modernos de fabricação e o uso racional dos materiais são fundamentais para a competitividade e sustentabilidade industrial. O domínio sobre métodos de corte, aproveitamento de matéria-prima, simulação computacional e análise de perdas o qualifica como protagonista na transição da manufatura tradicional para uma manufatura inteligente, eficiente e ambientalmente consciente.

Portanto, essa investigação justifica-se como uma contribuição significativa tanto para a eficiência operacional das indústrias quanto para o avanço da engenharia como ciência aplicada à sustentabilidade e à competitividade global.

A investigação se circunscreve à análise técnico-produtiva do processo de corte de chapas metálicas, em um contexto fabril situado no norte do Espírito Santo. Sendo assim, a delimitação recai sobre as operações de transformação mecânica da

matéria-prima no setor de produção, com foco na proposição de um plano de corte racionalizado e tecnicamente viável, compatível com os requisitos estruturais da carroceria veicular.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como base a seguinte questão: De que maneira o engenheiro mecânico pode, por meio de intervenção técnica fundamentada, contribuir para o incremento da eficiência no aproveitamento de chapas metálicas em uma indústria encarroçadora de ônibus? Até mesmo porque, como cita Chagas (2020a, p. 6), “a redução de gastos desnecessários e o crescimento da conscientização ambiental, são fatores que impactam diretamente na decisão de grandes empresas a buscar novas formas de melhorar o aproveitamento de matéria-prima em suas fábricas.”

Dessa forma, a otimização dos processos de corte, aliada ao uso eficiente dos materiais, não apenas reduz custos operacionais, mas também promove um impacto ambiental positivo, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade. Portanto, o engenheiro mecânico, com seu enfoque técnico e multidisciplinar, tem o potencial de implementar soluções inovadoras que integrem os conceitos de produção enxuta, gestão de resíduos e redução de desperdícios, contribuindo para a competitividade e a modernização das indústrias no cenário atual. Nesse contexto, o profissional se torna um agente de extrema importância na reconfiguração dos processos produtivos, desempenhando um grande papel na maximização do aproveitamento das chapas metálicas e na busca pela excelência operacional.

Considera-se que a implementação de um plano técnico de corte, desenvolvido a partir da aplicação de ferramentas da engenharia da qualidade e do conhecimento em Engenharia Mecânica, permitirá a redução significativa das perdas de matéria-prima no processo produtivo. Tal abordagem será capaz de otimizar o uso das chapas metálicas, garantindo a preservação das características mecânicas e estruturais do material, sem comprometer os requisitos técnicos e funcionais dos componentes fabricados.

Além disso, espera-se que essa intervenção leve à melhoria da eficiência operacional, com impactos positivos nos custos de produção, sem afetar a qualidade ou a segurança dos produtos finais, alinhando-se aos princípios da produção e sustentabilidade industrial.

Com o objetivo de propor e validar uma metodologia de corte de chapas metálicas que maximize a eficiência produtiva em uma indústria encarroçadora, sob a ótica técnica da Engenharia Mecânica, necessita-se de:

- Diagnosticar, por meio de análise empírica e documental, os principais pontos de perda no processo atual;
- Modelar um novo arranjo de corte tecnicamente fundamentado, respeitando os limites mecânicos do material;
- Aplicar ferramentas de análise da qualidade na estruturação e validação das melhorias propostas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As atribuições legais e técnicas do engenheiro mecânico abrangem desde o dimensionamento de estruturas até o planejamento de processos de fabricação. Em ambientes industriais complexos, sua atuação requer visão sistêmica, domínio técnico e responsabilidade quanto à segurança, viabilidade e inovação. Segundo Veiga (2016), esse profissional deve operar como elo entre a teoria aplicada e a operação produtiva. Isso posto, destaca-se a importância desse profissional na atuação desse tipo de serviço e no estudo aprofundado das técnicas aqui citadas.

Sendo assim, a atividade industrial, especialmente no setor metalomecânico, é intrinsecamente associada à eficiência no uso de insumos. Conforme Marson (2014) a evolução tecnológica aplicada à manufatura propiciou o desenvolvimento de métodos avançados de corte, como o corte a *laser*, cujos parâmetros operacionais, potência, velocidade e frequência devem ser ajustados conforme a resistência específica do material. A Engenharia Mecânica fornece a base teórica para a escolha das melhores condições de corte, a fim de preservar a integridade das chapas e maximizar seu uso.

Dito isso, é importante destacar que a otimização de chapas metálicas é uma prática essencial na engenharia mecânica moderna, exigindo não apenas o domínio do comportamento dos materiais sob solicitação, mas também a aplicação de modelagem matemática avançada e o uso de softwares CAD/CAM. Negligenciar o *layout* de corte pode resultar em perdas significativas de matéria-prima, impactando diretamente nos custos de produção. Com base nisso, estudos

recentes têm aprofundado a compreensão sobre as melhores práticas na otimização de cortes em chapas metálicas. Por exemplo, Chagas (2020b) desenvolveu um método para otimizar o planejamento de produção de peças que utilizam corte de chapas metálicas, focando na redução de custos e resíduos. Esse método considera a possibilidade de estocar um número definido de peças, permitindo um melhor aproveitamento das chapas e, conseqüentemente, uma diminuição no desperdício de material.

Além disso, a integração de *softwares* especializados tem se mostrado muito importante nesse processo. O uso de ferramentas como o Corte Certo permite a otimização do plano de corte, maximizando o aproveitamento da matéria-prima e reduzindo perdas. Esses *softwares* utilizam algoritmos avançados para definir a melhor disposição das peças nas chapas, considerando variáveis complexas e minimizando o risco de erros humanos. A aplicação de técnicas de otimização também se estende ao sequenciamento de corte, onde a ordem das operações influencia diretamente no tempo de produção, consumo de energia e desgaste das máquinas. Um sequenciamento eficiente, planejado por *softwares* especializados, garante que a máquina opere com os melhores parâmetros para cada etapa do corte, reduzindo o tempo de inatividade e maximizando a produtividade.

Portanto, cabe ao engenheiro mecânico compatibilizar formas geométricas, forças atuantes e economia de escala, com ferramentas avançadas e metodologias atualizadas para garantir a eficiência e sustentabilidade no processo de corte de chapas metálicas.

O Sistema Toyota de Produção (STP) é amplamente reconhecido como um modelo de gestão industrial voltado à eficiência operacional, sendo um dos pilares da chamada manufatura enxuta (*lean manufacturing*). Ele surgiu no Japão no período pós-guerra como uma resposta à escassez de recursos e à necessidade de produzir com alta qualidade e baixo custo. Seu criador, Taiichi Ohno (1997), enfatizava que a chave para o sucesso produtivo está na eliminação sistemática de desperdícios ao longo do processo fabril.

Nesse sentido, o STP tem como base a seguinte premissa: em vez de focar apenas no aumento da produtividade ou na expansão da capacidade produtiva, a remoção de tudo o que não agrega valor ao produto final deve ser valorizado. Isso inclui excessos de produção, movimentações desnecessárias, estoques mal gerenciados, retrabalhos e tempos de espera. A eliminação dessas ineficiências

proporciona, como resultado, a redução de custos e o aumento da qualidade e da satisfação do cliente.

Ohno (1997) concebeu o STP com base em dois princípios fundamentais: o *Just-in-Time* (JIT), que visa produzir exatamente o necessário, no momento certo e na quantidade correta, e a automação (Jidoka), que introduz a inteligência nas máquinas para parar automaticamente diante de problemas. Essa filosofia permite que a produção seja continuamente ajustada às demandas, ao mesmo tempo em que garante o controle de qualidade em tempo real.

Segundo Ghinato (2023), um dos estudiosos brasileiros mais respeitados na área de produção enxuta, o STP não é apenas um conjunto de ferramentas técnicas, mas sim uma filosofia de trabalho que promove o aprendizado contínuo, a padronização e a busca pela perfeição. Ele destaca, ainda, que a cultura organizacional baseada em respeito pelas pessoas e melhoria contínua (Kaizen) é tão importante quanto os métodos produtivos adotados. Nesse ínterim, nos últimos anos, pesquisadores e profissionais da indústria têm adaptado os princípios do STP a contextos diversos, inclusive fora da manufatura.

Ribeiro (2021) observa, por exemplo, que os conceitos do sistema Toyota vêm sendo incorporados na construção civil, com impactos positivos na coordenação logística de canteiros de obras, na redução de desperdícios de materiais e na melhoria do fluxo de trabalho. A aplicação do *Kanban* para controle visual, do mapeamento de fluxo de valor (VSM) e do *heijunka* (nivelamento da produção) tem contribuído para a previsibilidade e regularidade nos serviços, mesmo em ambientes complexos.

Nesse contexto, o engenheiro mecânico torna-se figura central para a implementação bem-sucedida dessa abordagem. Com sua formação técnica e visão sistêmica, esse profissional é responsável por alinhar os objetivos da produção com a realidade da cadeia de suprimentos, integrando ferramentas como o Just-in-Time (JIT), o Kaizen, o Kanban e os indicadores de desempenho (KPIs). De acordo com Ghinato (2023), a eficácia do Sistema Toyota de Produção depende diretamente da capacidade das organizações em promover o aprendizado contínuo e o envolvimento das pessoas, consolidando uma cultura baseada na padronização e na busca pela perfeição.

Além disso, conforme Ribeiro (2021) a aplicação dos princípios do STP tem se expandido para diversos setores produtivos, mostrando-se eficaz na redução de

desperdícios e na melhoria do fluxo de trabalho, especialmente quando associada a práticas de gestão visual e nivelamento de produção (*heijunka*). Nessa perspectiva, o engenheiro mecânico desempenha papel essencial na análise crítica de processos, na liderança de equipes multidisciplinares e no uso de tecnologias de informação para rastrear, controlar e otimizar o fluxo de materiais e informações.

Como destacam Oliveira, Mendes e Costa (2018) a implantação da filosofia *lean* em ambientes industriais depende da integração entre tecnologia e cultura organizacional, unindo práticas como o *Kaizen* e o *JIT* a sistemas digitais de monitoramento e controle. Sendo assim, a aplicação bem orientada do STP permite não apenas aumentar a eficiência e a competitividade industrial, mas também criar uma cultura organizacional orientada à excelência. Em um cenário de transformação digital, a filosofia *lean* continua relevante, sendo fortalecida pelo uso de *softwares* de simulação, análise de dados em tempo real e sistemas ciberfísicos, que ampliam a capacidade de resposta e a inteligência operacional das empresas.

O ciclo PDCA — acrônimo de *Plan, Do, Check, Act* — é um método iterativo voltado para a melhoria contínua de processos, e sua aplicação na engenharia mecânica tem se mostrado altamente eficaz na gestão da qualidade, manutenção e produtividade industrial. Sua estrutura permite uma abordagem sistemática para resolver problemas, monitorar indicadores de desempenho e promover a padronização de processos produtivos.

Na primeira etapa, Planejar (*Plan*), o foco está na identificação do problema, análise das causas e definição de metas claras. Ferramentas como o Diagrama de Ishikawa (também conhecido como espinha de peixe ou diagrama de causa e efeito) e o *Brainstorming* estruturado são frequentemente aplicados para levantar hipóteses sobre as origens de falhas ou gargalos nos processos. Essa fase exige forte embasamento técnico por parte do engenheiro mecânico, que deve considerar variáveis como tolerância de fabricação, condições operacionais e interferências no sistema.

A seguir, na fase de Execução (*Do*), as ações planejadas são implementadas em pequena escala ou em áreas-piloto, permitindo um teste controlado de suas consequências. Nesse momento, recursos como folhas de verificação, instruções de trabalho padronizadas e cronogramas operacionais são utilizados para garantir conformidade com o plano estabelecido. Na etapa “Verificar” (*Check*), os resultados obtidos são analisados com base em indicadores previamente definidos. A

comparação entre os dados reais e as metas permite avaliar a eficácia das ações. Gráficos de controle estatístico, análise de tendência e histogramas são ferramentas úteis para apoiar essa avaliação. Por fim, a fase final, “Agir” (*Act*), trata da padronização das melhorias bem-sucedidas ou da reformulação do plano em caso de desvios significativos. Aqui, o engenheiro deve registrar as lições aprendidas, revisar procedimentos e treinar os operadores para garantir a manutenção da melhoria ao longo do tempo.

Complementarmente, a ferramenta 5W2H é integrada ao ciclo PDCA para estruturar os planos de ação com clareza e objetividade. Por meio das perguntas *What, Why, Where, When, Who, How e How Much*, é possível detalhar cada etapa das intervenções, distribuindo responsabilidades e prazos com maior precisão. Essa metodologia contribui diretamente para a eficiência na implementação e no acompanhamento dos planos.

A relevância do PDCA na engenharia mecânica vem sendo confirmada em diversas publicações recentes. Depieri (2023) relata a aplicação bem-sucedida do PDCA em conjunto com o Diagrama de Ishikawa para reduzir perdas de varredura em uma indústria alimentícia, alcançando uma queda de 14,1% nas perdas e melhorando o faturamento anual.

Já Fernandes et al. (2020) demonstram que, mesmo em ambientes de pequeno porte, como oficinas mecânicas, a utilização do ciclo promove a organização das atividades e eleva a qualidade percebida pelo cliente. Além disso, em contextos de engenharia da manutenção, o ciclo PDCA é utilizado para aprimorar rotinas de inspeção, reduzir o tempo médio entre falhas (MTBF) e aumentar o tempo médio entre reparos (MTTR). Sistemas de gestão da manutenção assistidos por software (CMMS) permitem associar os dados coletados ao ciclo PDCA, facilitando a tomada de decisão baseada em evidências.

Atualmente, com a ascensão da Indústria 4.0, o PDCA passa a operar de forma integrada com tecnologias digitais, como sensores inteligentes, análise de dados em tempo real e sistemas ciberfísicos. Isso possibilita uma aplicação mais ágil e precisa da metodologia, permitindo a correção quase imediata de desvios e a detecção antecipada de falhas.

Segundo Oliveira (2022) a combinação do PDCA com ferramentas de *Business Intelligence* (BI) e Internet das Coisas (IoT) fortalece sua capacidade de resposta e seu potencial de transformação nos sistemas produtivos.

Portanto, o ciclo PDCA, por sua versatilidade, baixo custo e aplicabilidade prática, permanece como uma das ferramentas mais relevantes da engenharia mecânica contemporânea. Sua utilização correta não só conduz à resolução estruturada de problemas, mas também contribui para a consolidação de uma cultura organizacional voltada à excelência operacional e à inovação.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste estudo combina uma abordagem empírica com rigor técnico, com o objetivo de validar, em um ambiente fabril real, um modelo de otimização do processo de corte de chapas metálicas. A escolha dessa abordagem está fundamentada na necessidade de integrar teoria e prática para alcançar resultados significativos em contextos industriais reais, como explica Gil (2008), que destaca a importância de uma metodologia “que articule a observação direta com a análise quantitativa, visando a compreensão profunda do fenômeno estudado e a aplicação de soluções práticas”.

Nesse sentido, o delineamento metodológico foi cuidadosamente estruturado para integrar a fundamentação teórica, a observação sistemática das operações e a análise técnico- quantitativa dos dados coletados. Assim, buscou-se proporcionar uma avaliação rigorosa das intervenções propostas, alinhando-se com os princípios da pesquisa aplicada, em que se busca, a partir da observação empírica, validar teorias e proposições previamente estabelecidas. Desse modo, esse processo visa garantir a relevância e aplicabilidade dos resultados no contexto estudado, refletindo diretamente nas melhorias práticas observadas no processo de produção.

Além disso, a pesquisa reveste-se de caráter aplicado, na medida em que objetiva a resolução de um problema concreto, advindo da prática industrial. Quanto à abordagem, adota-se um modelo quali-quantitativo, compreendendo tanto a análise interpretativa dos processos operacionais quanto a quantificação das perdas e ganhos relativos à intervenção técnica.

Por fim, este trabalho possui natureza exploratória, por buscar ampliar o conhecimento sobre a realidade produtiva observada; descritiva, ao retratar os aspectos operacionais do processo de corte; e explicativa, por propor uma intervenção e avaliar seus efeitos. Em termos de meios, opta-se por um estudo de

caso único, ancorado em observação direta e coleta sistemática de dados na linha de produção de uma indústria encarroçadora de médio porte.

O foco analítico concentra-se sobre o setor de corte de chapas metálicas, localizado no pavilhão produtivo principal da empresa em questão, situada no norte do Espírito Santo. A amostra delimitada compreende as operações realizadas durante o período de um mês, incluindo registros de refugo, medições de aproveitamento e reuniões técnicas com operadores e engenheiros do setor.

A coleta de dados ocorrerá por meio de observação direta das operações de corte; registros fotográficos e planilhas de controle interno da empresa; análise documental de relatórios de perdas

Essas informações foram organizadas e tratadas com apoio de ferramentas gráficas e estatísticas, em conformidade com os preceitos da engenharia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A fim de preservar o nome da empresa analisada, esse trabalho adotou o título Indústria de Encarroçadora de Ônibus situada no Norte de São Mateus/ES. A Indústria supracitada, é uma multinacional brasileira, em expansão, respeitada e reconhecida no mercado. Possui treze fábricas ao redor do mundo, atuando em todos os mercados de ônibus atendendo as mais variadas necessidades e desafios que os clientes lhe apresentam, personalizando seu produto de acordo com as características dos locais onde serão utilizados os veículos.

Atualmente sua capacidade produtiva é de aproximadamente 15 ônibus por dia, onde se busca principalmente atingir as metas propostas através do SQDC (Segurança, Qualidade, Entrega e Custos).

Tem como filosofia de desenvolvimento o STP, uma vez que a produção trabalha com o sistema puxado entre os postos visando atender o posto seguinte (cliente) com o a melhor qualidade e o menor prazo possível de acordo com o JIT.

Os pesquisadores realizaram 4 visitas técnicas no setor de corte de chapas de aço, no qual foi permitido tirar fotos, assim como elaborar reunião de treinamento da equipe.

Na Indústria da pesquisa, em primeira visita técnica realizada pelos autores, constatou-se que as equipes responsáveis pelo setor de cortes das chapas de aço faziam todo o procedimento operacional sem se atentarem para as chapas de aço que sobravam. De forma que, estas ficavam espalhadas pelo chão do setor, sem organização; ou seja, os funcionários não se preocupavam em separá-las por tamanhos para serem mais bem aproveitadas. A primeira fase da Otimização é compreender o problema de uma forma geral e não específica, por exemplo, olhar para o ambiente de trabalho e observar a disposição das chapas de aço de maneira desordenada como mostra a Figura 1.

Figura 1: Sobras de Chapas de Aço na Empresa da Pesquisa



Fonte: Próprios autores, 2025.

Na fase seguinte realizou-se a modelagem do problema, onde há uma construção de um método matemático, dando sustentabilidade e suporte para resolver o problema, sendo conceituada de “programação linear”. Esta, consiste em utilizar equações de primeiro grau e outras para otimizar valores que estão maximizados ou minimizados.

4.2 DIAGRAMA DE PARETO COMO FERRAMENTA DE QUALIDADE

Esta fase representa a segunda fase da Otimização que é propor um método gráfico e sua aplicabilidade, permitindo a visualização do modelo matemático, criando uma região de soluções formada em um modelo linear conjunto das possíveis soluções do problema, isto é, o conjunto de pontos que obedecem ao grupo de restrições impostas pelo sistema em estudo. Porém, valorizando os

materiais no estoque, planejamento das ações e uma verificação sistemática. Foi utilizado o método gráfico por entender da complexidade das ações e a possibilidade de visualização, para assim, identificar e avaliar o desempenho (Moura *et al*, 2019 p.5).

A falta da otimização poderá se tornar um agravante na efetivação quando se trata de melhor aproveitamento, por isso, entender este processo e suas fases contribuirá neste projeto. Assim, nesta segunda fase pode-se dizer que o Diagrama de Pareto foi utilizado para determinar quais dos problemas devem ser priorizados, para não se desviar a outros assuntos irrelevantes ao projeto.

No caso, o problema no dimensionamento da matéria prima e dos planos de cortes das placas de aço são prioritários para a pesquisa como demonstra a Figura 2.

Figura 2: Diagrama de Pareto



Fonte: Próprios autores, 2025.

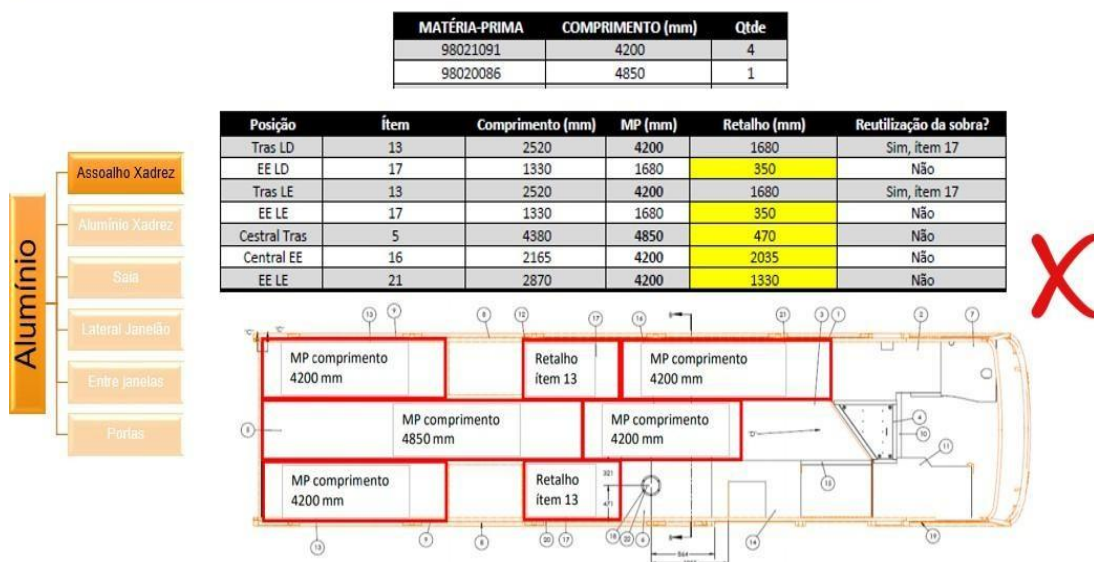
Sendo assim, constata-se que, no decorrer de um mês obteve-se 1.496 chapas descartadas sendo: 646 referentes a problemas de redimensionamento de matéria prima e 528 referentes a problemas de programação (plano de corte). No qual o percentual total foi de 78%.

Outros problemas como de projetos, ocasionados por erros na criação do projeto por parte da engenharia (7%); erros na dobra, ocasionados no setor subsequente fazendo com que a peça seja descartada como sucata (5%); erro operacional ocasionados pelo operador da máquina de corte a laser (5%) e erro de corte térmico, ocasionados pela própria máquina (4%), não serão tratados nesse estudo devido seu baixo percentual de ocorrências.

Observando a Figura 3 é priorizado a interatividade, permitindo a busca de solução, através do método gráfico utilizado que contou com a programação de um software voltado para ajudar no gerenciamento e na automatização de corte de chapas (matéria prima). Como exemplo de uma ferramenta de Qualidade segundo o autor Aguiar (2006), têm-se o método PDCA de controle de processos ou sistemas para atingir as metas necessárias à sobrevivência das empresas. Sua composição inclui: PLAN (planejamento), DO (execução), CHECK (verificação) e ACTION (ação).

Figura 3: Assoalho do Ônibus Atual

ESTADO ATUAL



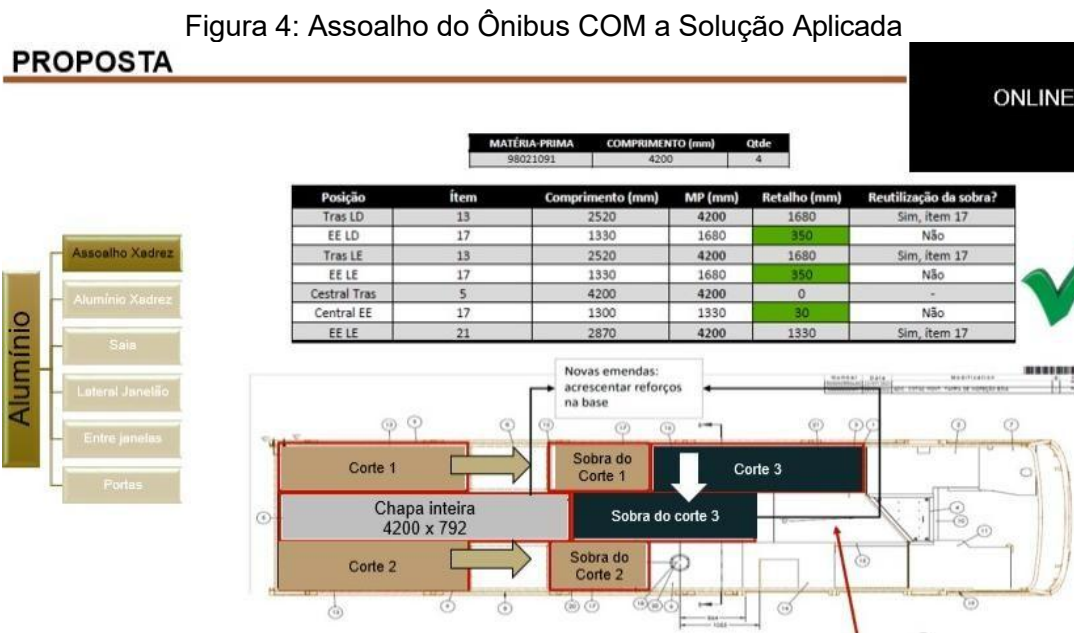
Fonte: Próprios autores, 2025.

São apresentadas as chapas de aço e os problemas de redimensionamento de matéria prima e do plano de corte da empresa; sua disposição interna do assoalho do ônibus, onde se dispõe de dois códigos com diferentes comprimentos da mesma matéria prima utilizada.

Nota- se que esse plano de corte gera sobras no processo que não podem ser aproveitadas para gerar outras peças fazendo assim com que seja necessário um gasto maior com matéria prima e conseqüentemente a diminuição do lucro final.

Assim, a solução aplicável está na Figura 4, que demonstra a solução aplicável para diminuir as sobras de chapas de aço, onde dispõe apenas um código de matéria prima cujo propósito final de diminuir as perdas. É utilizado também, acréscimo de alguns reforços na estrutura, fazendo com que as sobras diminuam

drasticamente. Isto quer dizer, que a maior sobra sem aproveitamento seja de 4200 mm x 350 mm.



Fonte: Próprios autores, 2025.

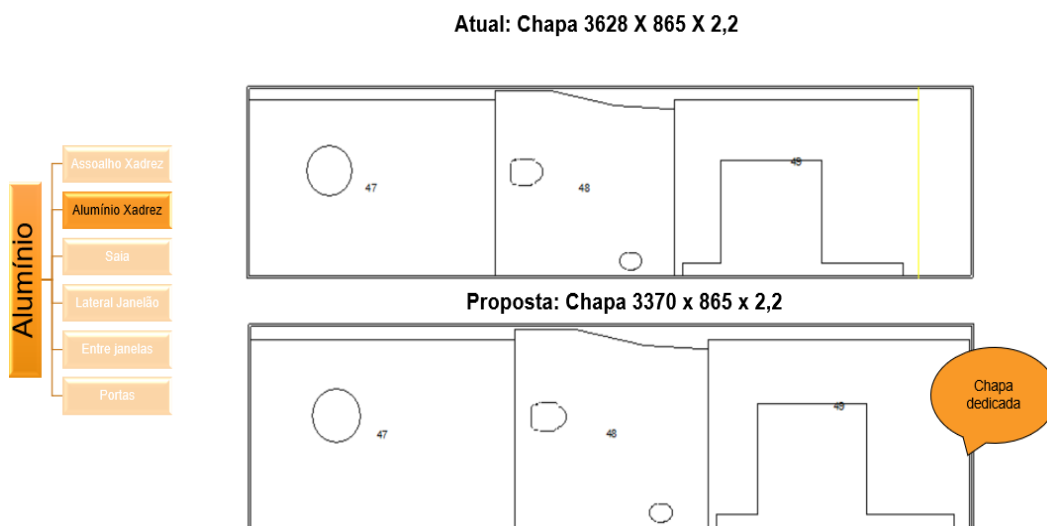
Observando a Figura 5, têm-se o comprimento da Chapa de Aço utilizada no Posto de Motorista com dimensão de 3628 x 885 x 2,2.

Após a solução aplicada para melhor aproveitamento houve um redimensionamento da matéria prima, no qual seu comprimento passou para 3370 mm, sendo necessário uma chapa dedicada.

Pode-se notar que a alteração, nesse caso, foi na largura da chapa passando de 1150 mm para 1000 mm (Figura 6), fazendo com que seja o aproveitamento da chapa passasse de 74,41% para 85,58% (Figura 7), obtendo uma economia de R\$ 182.677,33 nos 2500 ônibus produzidos. Na Solução aplicada para a saia do ônibus conforme a Figura 6, houve uma alteração do modo que foram dispostas as peças pequenas (sobras) no espaço, de forma que obteve um melhor aproveitamento da chapa de aço.

Figura 5: Solução Aplicada no Comprimento (Posto Motorista)

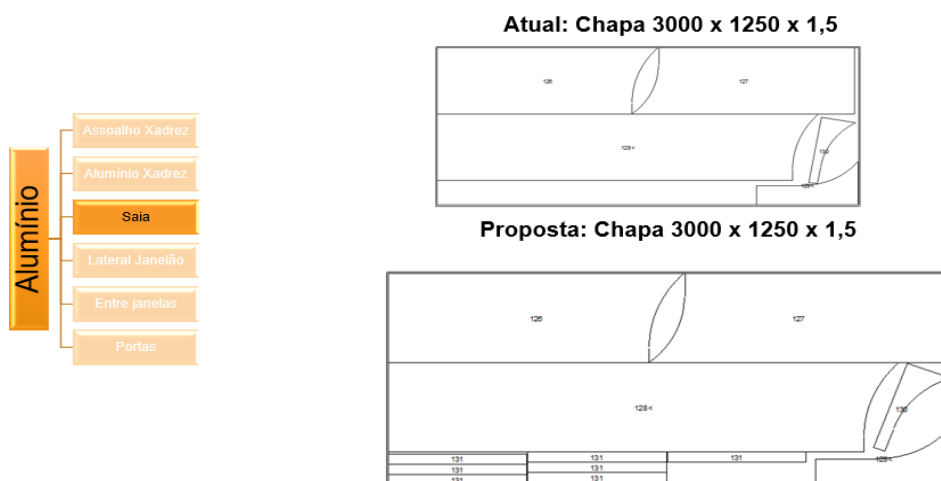
PROPOSTA – Posto Motorista



Fonte: Próprios autores, 2025.

Figura 6: Solução Aplicada no Aproveitamento da Chapa de Aço (Saia)

PROPOSTA – Next 2

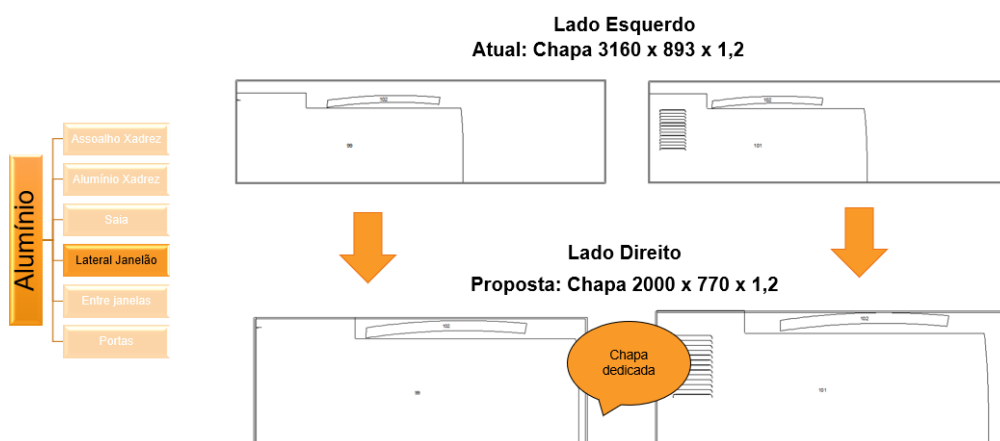


Fonte: Próprios autores, 2025.

Observando a Figura 7, na solução apresentada do plano de corte referente a lateral do janelão (Lateral Esquerda e Lateral Direita), houve um redimensionamento das matérias primas, onde suas dimensões passaram de 3160 mm x 893 mm para 2000 mm x 770 mm, sendo necessário uma chapa dedicada.

Figura 7: Solução Aplicada nas Dimensões da Chapa de Aço (Lateral do Janelão)

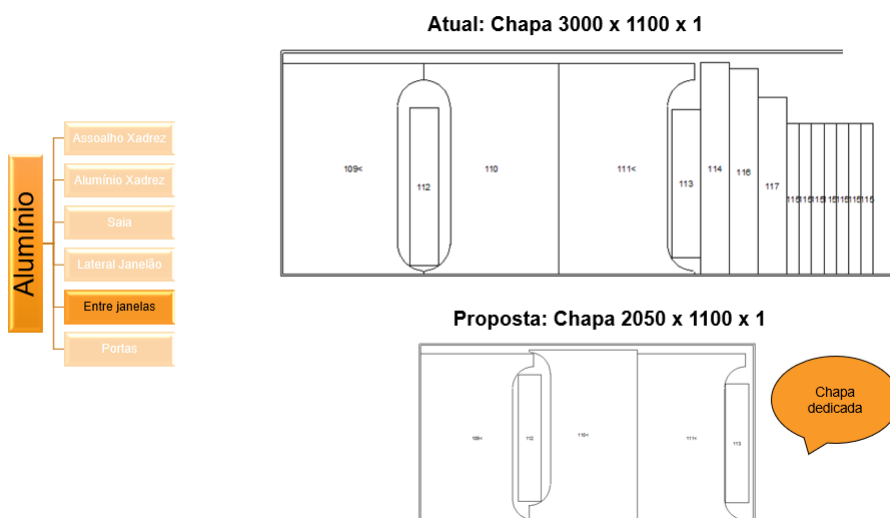
PROPOSTA



Fonte: Próprios autores, 2025.

Figura 8: Solução Aplicada no Comprimento da Chapa de Aço (Entre Janelas)

PROPOSTA



Fonte: Próprios autores, 2025.

Na Solução da Proposta de corte referente a chapas entre janelas (Figura 8), houve a retirada de algumas peças para realocação em outro plano de corte e o redimensionamento das matérias primas, onde seu comprimento passou de 3000 mm para 2050 mm, sendo necessário uma chapa dedicada.

Assim, após a exposição dos redimensionamentos das chapas de aço e as soluções aplicadas percebe-se que as empresas reconhecem sobre o melhor aproveitamento das chapas de aço, mas, querem obter lucros através dos procedimentos adotados.

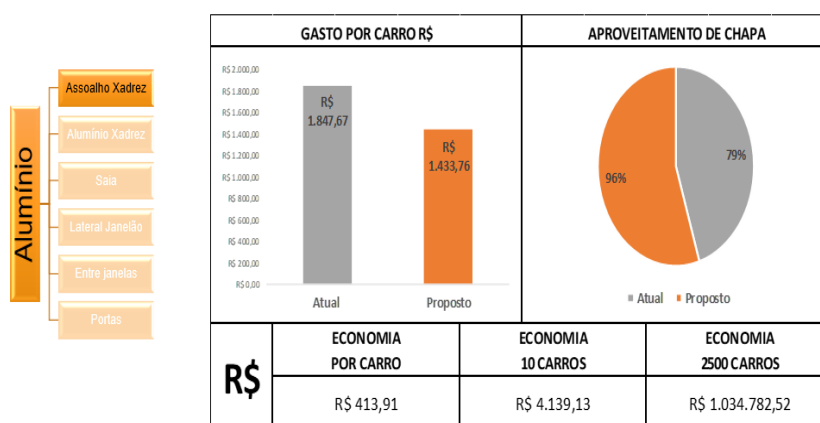
Definir os padrões de corte das chapas de aço, consiste em combinar várias peças para melhor utilizar as sobras e evitar que sejam desperdiçadas após o encaixe usado. Na proposta para a otimização do plano de corte referente a caixa de rodas, houve um redimensionamento da matéria prima cuja proposta está em melhor ocupar os espaços que seriam sobras para reduzir os custos de produção.

Como foi demonstrado através de figuras os procedimentos da aplicabilidade dos métodos e ferramentas de qualidade, percebe-se que demonstrar os lucros adquiridos também deva seguir os mesmos critérios.

Na Figura 9 observa-se os lucros adquiridos através das alterações presentes na proposta do assoalho xadrez, onde obteve-se uma economia de R\$ 1.034.782,52 nos 2.500 ônibus produzidos, uma vez que o aproveitamento da chapa de aço, nesse caso, foi de 79% para 96%.

Figura 9: Lucros Adquiridos ao aproveitar as Chapas de Aço do Assoalho

GANHOS – Assoalho

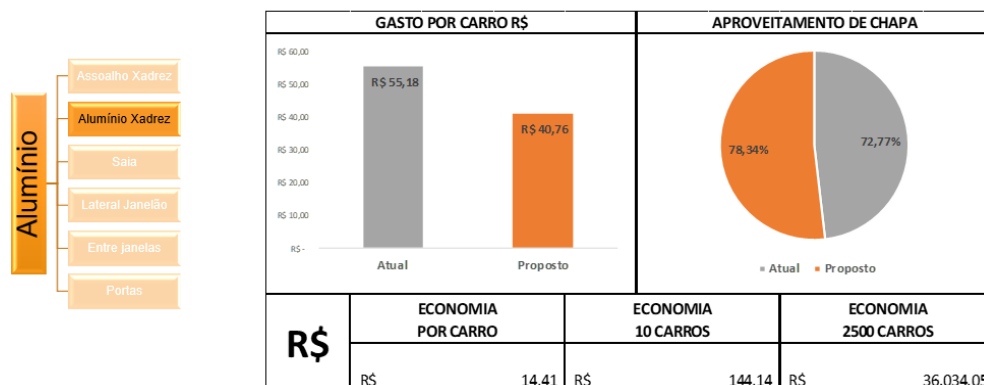


Fonte: Próprios autores, 2025.

Para os Lucros Adquiridos do Posto Motorista, o aproveitamento da chapa passou de 72,77% para 78,34% (Figura 10), obtendo uma economia de R\$ 36.034,05 nos 2.500 ônibus produzidos.

Figura 10: Lucros Adquiridos das Chapas de Aço no Posto Motorista

GANHOS – Posto do Motorista

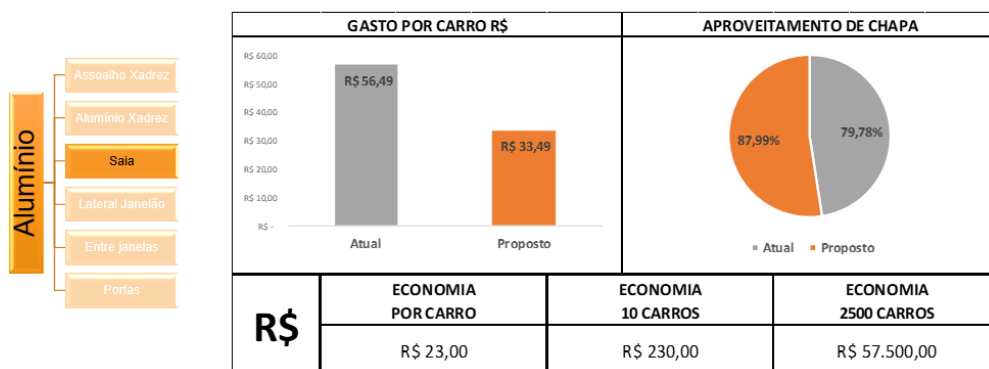


Fonte: Próprios autores, 2025.

Enquanto para os Lucros Adquiridos da Saia do ônibus (Figura 11), o aproveitamento da chapa passou de 79,78% para 87,99%, obtendo uma economia de R\$ 57.500,00 nos 2.500 ônibus produzidos.

Figura 11: Lucros Adquiridos - Saia

GANHOS

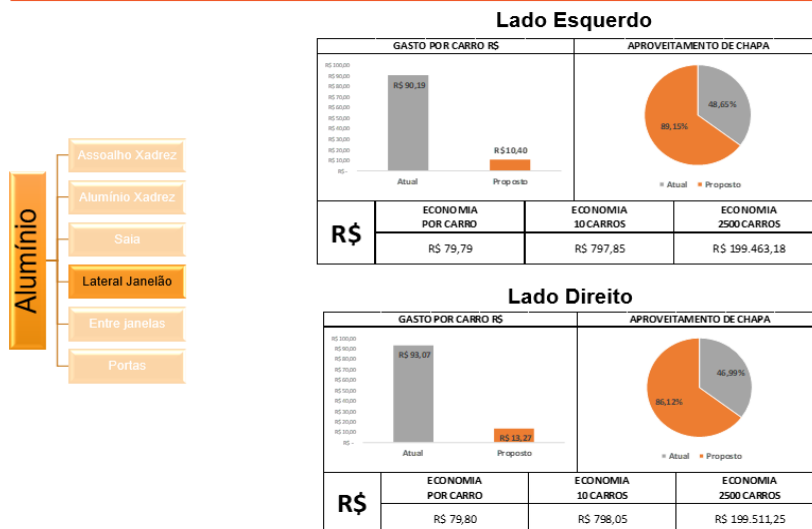


Fonte: Próprios autores, 2025.

Na Figura 12, sobre os lucros adquiridos, o aproveitamento da chapa da lateral esquerda passou de 48,65% para 89,15% (Figura 25), e do lateral direita passou de 46,99% para 86,12% obtendo uma economia de R\$ 199.463,18 na lateral esquerda e R\$ 199.511,25 na lateral direita para os 2.500 ônibus produzidos.

Figura 12: Lucros Adquiridos na Lateral do Janelão

GANHOS

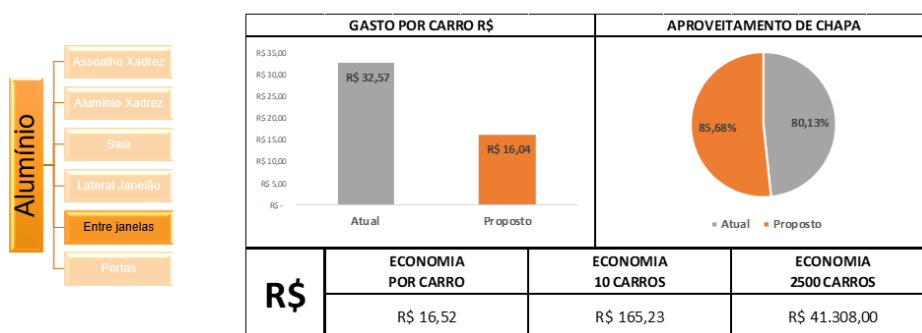


Fonte: Próprios autores, 2025.

Para a proposta quando as chapas entre janelas, o aproveitamento das chapas de aço passou de 80,13% para 85,68% (Figura 13), obtendo uma economia de R\$ 41.308,00 para os 2.500 ônibus produzidos.

Figura 13: Lucros Adquiridos com as Chapas Entre Janelas

GANHOS



Fonte: Próprios autores, 2025.

Assim, após a demonstração através das figuras os Lucros Adquiridos pela indústria, foi possível ter informação no âmbito geral da pesquisa que mostra que a proposta efetivada (Tabela 1).

Tabela 1: Economia global

Peças	Antes	Depois	Aproveitamento	Economia 1 carro	Economia 10 carros	Economia 2500 carros
Assoalho	R\$ 1.847,67	R\$ 1.433,76	17,00%	R\$ 413,91	R\$ 4.139,13	R\$ 1.034.782,52
Caixa de rodas	R\$ 101,00	R\$ 27,93	11,17%	R\$ 73,07	R\$ 730,71	R\$ 182.677,33
Posto Motorista	R\$ 55,18	R\$ 40,76	5,57%	R\$ 14,41	R\$ 144,14	R\$ 36.034,05
Entre Janelas	R\$ 32,57	R\$ 16,04	5,55%	R\$ 16,52	R\$ 165,23	R\$ 41.308,00
Lateral Janelão LE	R\$ 90,19	R\$ 10,40	40,50%	R\$ 79,79	R\$ 797,85	R\$ 199.463,18
Lateral Janelão LD	R\$ 93,07	R\$ 13,27	39,13%	R\$ 79,80	R\$ 798,05	R\$ 199.511,25
Saia	R\$ 56,49	R\$ 33,49	8,21%	R\$ 23,00	R\$ 230,00	R\$ 57.500,00
TOTAL	R\$ 2.276,17	R\$ 1.575,65	127,00%	R\$ 700,51	R\$ 7.005,11	R\$ 1.751.276,33

Fonte: Próprios autores, 2025.

A título de comparação, não foram encontrados trabalhos semelhantes que levassem em consideração a otimização e a análise de custo e economia de corte de chapas em processos produtivos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender o funcionamento interno de uma empresa encarregadora de ônibus e a busca por procedimentos técnicos proporcionaram a redução do custo no processo produtivo e conseqüentemente lucro para a empresa. O trabalho permitiu reconhecer a necessidade de o profissional em Engenharia estar atento e atualizado com as demandas do mercado.

De maneira geral as chapas de aço que eram refugadas e empilhadas sem nenhuma atenção foram revistas e tornaram-se úteis para a produção, ou seja, este olhar para o contexto geral da empresa, permitiu uma atenção especial a este material, no qual, a partir de estudos e aprofundamentos técnicos, será possível utilizar as chapas de aço descartadas através do redimensionamento de matéria prima e das alterações nos planos de corte utilizados pela indústria.

Com isso, obteve-se os benefícios dos resultados referente ao redimensionamento e as alterações nos planos de corte após a conclusão desse trabalho, sendo que ficou evidente que a matéria-prima se tornou produtiva e eficaz em sua utilização, podendo ter melhor aproveitamento em tamanhos que não eram usados anteriormente. E as ferramentas de qualidade tornaram-se efetivas quando a área externa deixou de ter as sobras empilhadas, ou seja, as matérias primas foram organizadas por tamanhos, facilitando o uso quando necessário e viabilizando o

melhor aproveitamento do layout do setor. Observou-se que há redução do custo no processo produtivo foi alcançada devido a uma economia de R\$ 1.751.276,32 na frota de 2.500 unidades do modelo de ônibus analisado (Figura 28), relacionado as sobras de matéria prima antes existente.

Sobre o Estudo de Caso foi possível reconhecer a união dos funcionários que lidam diretamente no corte das chapas de aço. Eles reconheceram a diferença e os impactos positivos do projeto, refletindo também na confiança adquirida pelo profissional em Engenharia e os gestores da empresa.

Sendo assim respondendo o questionamento feito como problema de pesquisa a maior vantagem em obter um melhor aproveitamento na utilização das chapas de aço em indústria Encarroçadora de ônibus foi o lucro calculado sobre a fabricação de 2.500 unidades; e se tratando do Engenheiro de Produção percebeu-se que seu apoio é fundamental para a realização do projeto. Isto porque, com suas habilidades técnicas, teóricas e operacionais houve maior credibilidade da proposta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Produção brasileira de fundidos recua em 2023 e se iguala à de 2021**. São Paulo: ABIFA, 2024. Disponível em: <https://abifa.org.br/site/producao-brasileira-de-fundidos-recua-em-2023-e-se-igual-a-de-2021/>. Acesso em: 2 jun. 2025.

CHAGAS, Rafael da Silva. **Sistema de apoio à decisão para planejamento da produção de peças de chapas metálicas**. 2020a. 94 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24720>. Acesso em: 25 maio. 2025.

CHAGAS, Ruan Rithelle de Faria Franco et al. **Método para otimização do planejamento de produção de peças que utilizam corte de chapas metálicas com foco em redução de custos e resíduos**. 2020b. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Sond Esp 80 - Mercado de insumos e matérias-primas**. Brasília: CNI, 2022. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-80-mercado-de-insumos-e-matérias-primas/>. Acesso em: 28 maio 2025.

DEPIERI, Túlio Sandrini. **A aplicação do Diagrama de Ishikawa e do ciclo PDCA na redução de perdas de varredura em uma indústria de massas.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, 22 jun. 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32647>. Acesso em: 06 abr. 2025.

FERNANDES, R.A.P.; PRADO TAVARES, P.H.C.; MIRANDA, C.A.S.; MEDEIROS, M.L. **Proposta de aplicação do ciclo PDCA como ferramenta de apoio ao gerenciamento de processos: estudo de caso em uma oficina mecânica localizada no município do Rio de Janeiro.** 2020. Anais/Proceedings. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/proposta-de-aplicao-do-ciclo-pdca-como-ferramenta-de-apoio-ao-gerenciamento-de-processos-estudo-de-caso-em-uma-oficina-mecanica-localizada-no-municpio-do-rio-de-janeiro-34575>. Acesso em: 8 abril. 2025.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just-in-Time: automação (Jidoka) e zero defeitos.** 2. ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2023. Disponível em: <https://www.ucs.br/educs/livro/sistema-toyota-de-producao-mais-do-que-simplesmente-just-in-time-autonomacao-jidoka-e-zero-defeitos-4021/>. Acesso em: 28 maio 2025.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. In: KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. **Manufatura: engenharia e tecnologia.** 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2018.

MARSON, J. A. **Processos de fabricação.** 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2014.

MOURA, C. R.; KRYSZYK, J. V.; ULBRICHT, G.; CHAGAS, G. M. P. Otimização de cortes bidimensionais em chapas através da aplicação de modelos matemáticos. **Revista Gestão Industrial**, v. 15, n. 3, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/54675713/Otimiza%C3%A7%C3%A3o_de_cortes_bidimensionais_em_chapas_atrav%C3%A9s_da_aplica%C3%A7%C3%A3o_de_modelos_matem%C3%A1ticos. Acesso em: 12 maio 2025.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, F. dos S.; MENDES, L. D. dos S.; COSTA, R. A. Implantação do sistema de produção enxuta em uma indústria de autopeças utilizando a metodologia lean manufacturing. **Anais do X SIMPROD, 2018.** Disponível em: <https://www.revistarefas.com.br/RevFATECZS/article/view/636>. Acesso em: 12 maio 2025.

OLIVEIRA, Sarah de Campos. **Ciclo PDCA 4.0: ferramentas da Gestão da Qualidade frente às tecnologias da Indústria 4.0.** Projeto de Graduação (Engenharia de Produção) — Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2022. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/38138/1/2022_SarahDeCamposOliveira_tcc.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

RIBEIRO, Virgílio. **Logística, Sistema Toyota de Produção e suas implicações na construção civil.** 2. ed. Curitiba: Appris, 2021. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/logistica-sistema-toyota-producao-suas-implicacoes-construcao-civil/p>. Acesso em: 2 jun. 2025.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção.** Porto Alegre: Bookman, 1996.

VEIGA, C. R. M. **O papel do engenheiro mecânico na modernização de processos industriais.** Disponível em: https://www.academia.edu/43358906/Gest%C3%A3o_da_Produ%C3%A7%C3%A3o_Organiza%C3%A7%C3%A3o_e_Planejamento. Acesso em: 12 maio 2025.

Mundo Tecnológico

Apresentação

A revista científica Mundo Tecnológico publica trabalhos técnicos culturais, científicos e/ou acadêmicos, nas áreas ligadas aos cursos oferecidos de graduação, desde que atenda aos objetivos da Instituição. Admite-se, de preferência, autor pertencente à Faculdade, sem limitar, contudo, as contribuições e intercâmbios externos, julgados pelo Conselho Editorial, de valor para a Revista e, sobretudo, para a sociedade brasileira.

Normas de Publicação

Os originais entregues para publicação deverão ser assinados pelo autor e seguir as seguintes normas:

1 Texto

- 1.1 Os trabalhos devem ser inéditos e submetidos ao Conselho Editorial, para a avaliação e revista de pelo menos, dois de seus membros, cabendo-lhe o direito de publicá-lo ou não;
- 1.2 O texto deve ser apresentado em formato A4 (210x297mm);
- 1.3 Os trabalhos e artigos não devem ultrapassar o total de vinte laudas, em espaçamento normal; resumos de dissertação e monografia, duas laudas e resenhas e/ou relatos, não devem ultrapassar quatro laudas;
- 1.4 O texto deve ser entregue em CD e impresso, sendo composto no editor de texto Word for Windows, com fonte Time New Roman 12;
- 1.5 O trabalho deve apresentar obrigatoriamente:
 - Título;
 - Nome(s) do(s) autor(es)
 - Breve currículo do(s) autor(es), enfocando as atividades mais condizentes com o tema trabalhado;
 - Introdução;
 - Corpo do trabalho;
 - Resultado e/ou Considerações finais;
 - Referências.

2 Referências

As referências deverão ser listadas imediatamente após texto, em ordem alfabética, obedecendo Normas Técnicas.

3 Citações

Qualquer citação no texto deverá ter obrigatoriamente identificação completa da fonte, acrescida da (s) página (s) de onde foi retirada a citação.

Pede-se aos autores

- Seguir rigorosamente o Manual de Normatização da Multivix, que se encontra a disposição de todos na Biblioteca e na intranet do site da Instituição;

- Linguagem condizente como produção científica, evitando abreviações, jargões e neologismos desnecessários;
- Objetividade quanto à construção do título do artigo;
- Apresentação do significado de cada sigla que conta do texto na primeira vez em que ocorre.

Considerações Finais

Os artigos são de inteira responsabilidade de seus autores e o Conselho de Editoração não se responsabilizará pelas opiniões expressadas nos artigos assinados.