



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LÁZARO AUGUSTO ANDRADE

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE MELHORIA DE
UM FILTRO SEPARADOR DE DIESEL PARA UMA FROTA DE
CAMINHÕES FORA DE ESTRADA**

**OURO PRETO - MG
2025**

LÁZARO AUGUSTO ANDRADE
lazaro.andrade@aluno.ufop.edu.br

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE MELHORIA DE
UM FILTRO SEPARADOR DE DIESEL PARA UMA FROTA DE
CAMINHÕES FORA DE ESTRADA**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Washington Luis Vieira da Silva.

OURO PRETO – MG
2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A553e Andrade, Lázaro Augusto.

Estudo da aplicação da manutenção de melhoria de um filtro separador de diesel para uma frota de caminhões fora de estrada. [manuscrito] / Lázaro Augusto Andrade. - 2025.
60 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. WASHINGTON LUIS VIEIRA SILVA.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Veículos a motor - Frotas - Caminhões - Manutenção. 2. Combustíveis para motores - Diesel. 3. Caminhões - Caminhões fora de estrada. 4. Eficiência industrial. 5. Desempenho - Indicadores. I. SILVA, WASHINGTON LUIS VIEIRA. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lázaro Augusto Andrade

Estudo da aplicação da manutenção de melhoria de um filtro separador de diesel para uma frota de caminhões fora de estrada

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 12 de Fevereiro de 2025

Membros da banca

DSc. Washington Luis Vieira da Siva - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Diogo Antônio de Sousa (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Sávio Sade Tayer (Universidade Federal de Ouro Preto)

Washington Luís Vieira da Siva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 19/02/2025



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/02/2025, às 17:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0867617** e o código CRC **3AE869E3**.

À minha mãe, Conceição, ao meu pai, Joaquim, e à minha irmã, Camila, que me ensinaram que, mesmo quando eu não confiava em mim, podia confiar neles, que sempre confiaram em mim.

AGRADECIMENTO

Ao menino que já quis um pouco de cada curso e profissão, cujos sonhos nunca tiveram fim, hoje posso falar que enfim nos encontramos na Engenharia Mecânica e estamos concluindo mais uma caminhada. Com isso, agradeço especialmente aos meus pais, Conceição e Joaquim, e à minha irmã Camila por todo o apoio. Sem vocês, nada seria possível.

Agradeço à DIFERENCIAL, à PRECAM e à Coordenação de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Mina por todo aprendizado. Reconheço também o ensino de qualidade da Universidade Federal de Ouro Preto, da Escola de Minas e de cada um de seus professores, em especial ao professor Washington, pela paciência e atenção nos momentos de lecionar e orientar.

Sou grato pelos anos de amizade das repúblicas mais próximas, assim como pelos amigos de Ouro Preto, amigos da mecânica e amigos de Monlevade. Também sou grato pelo acolhimento e anos de parceria aos irmãos da Butantan.

É ótimo poder olhar para trás e perceber como cada experiência, relação e aprendizado moldou, e continuará moldando, o jovem que ingressou na UFOP há 5 anos em uma pessoa melhor.

Este é apenas o começo de uma nova jornada. Que possamos continuar a buscar nossos sonhos com a mesma determinação e paixão que nos trouxeram até aqui.

“Um dia o sofrimento vai acabar.”

David Lynch

RESUMO

ANDRADE, Lázaro Augusto. **Estudo da aplicação da manutenção de melhoria de um filtro separador de diesel para uma frota de caminhões fora de estrada.** 2025. 60 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2025.

Este trabalho tem como objetivo geral aplicar a manutenção de melhoria de um filtro separador de diesel que possa impactar em uma frota de caminhões fora de estrada. A pesquisa justifica-se pela necessidade de otimizar o desempenho operacional dos caminhões, que frequentemente enfrentam falhas nos filtros separadores de diesel, comprometendo sua eficiência. Através da aplicação dessa manutenção, busca-se avaliar seu impacto em indicadores relevantes, como a disponibilidade física dos equipamentos, o tempo médio de reparos e o tempo médio entre falhas. A metodologia utilizada consiste em um estudo de caso, onde foram coletados dados sobre a eficiência na separação de água e retenção de partículas contaminantes, além de informações sobre o tempo médio entre falhas e a quantidade total de filtros trocados durante o período de observação. A análise dos dados foi realizada com base em relatórios e planilhas que permitiram uma avaliação detalhada dos indicadores de desempenho da frota. Os resultados indicam que, embora a implementação dos novos filtros não tenha gerado melhorias imediatas e expressivas nos indicadores de desempenho, o tempo médio entre falhas apresentou um impacto positivo, evidenciando que os caminhões apresentaram menos falhas operacionais, o que é essencial para a eficiência da frota. A quantidade total de filtros trocados durante o período de observação também foi um indicativo positivo, sugerindo uma maior durabilidade dos componentes analisados e contribuindo para a melhoria do tempo médio entre falhas. Embora os indicadores não tenham mostrado uma evolução expressiva, a implementação dos novos filtros proporcionou uma base sólida para decisões estratégicas na gestão da frota, com o número de trocas de filtros reduzindo de, no ápice, 102 incidências, para apenas 15. Em suma, a pesquisa conclui que foi possível aplicar a manutenção de melhoria para o filtro separador.

Palavras-chave: manutenção, manutenção de melhoria, filtros separadores de diesel, caminhões fora de estrada, eficiência operacional, indicadores de desempenho.

ABSTRACT

ANDRADE, Lázaro Augusto. *Study of the application of improvement maintenance of a diesel separator filter for a fleet of off-road trucks*. 2025. 60 p. Thesis (Bachelor's degree in Mechanical Engineering) – Federal University of Ouro Preto, Ouro Preto, 2025.

This work aims to apply the improvement maintenance of a diesel separator filter that can impact a fleet of off-road trucks. The research is justified by the need to optimize the operational performance of the trucks, which frequently face failures in the diesel separator filters, compromising their efficiency. Through the application of this maintenance, the goal is to evaluate its impact on relevant indicators, such as the physical availability of equipment, average repair time, and mean time between failures. The methodology used consists of a case study, where data was collected on the efficiency of water separation and retention of contaminant particles, in addition to information about the average time between failures and the total number of filters replaced during the observation period. The data analysis was performed based on reports and spreadsheets that allowed a detailed evaluation of the performance indicators of the fleet. The results indicate that, although the implementation of the new filters did not generate immediate and significant improvements in performance indicators, the average time between failures showed a positive impact, indicating that the trucks experienced fewer operational failures, which is essential for the efficiency of the fleet. The total number of filters replaced during the observation period was also a positive indicator, suggesting greater durability of the analyzed components and contributing to the improvement of the mean time between failures. Although the indicators did not show significant evolution, the implementation of the new filters provided a solid basis for strategic decisions in fleet management, with the number of filter replacements reducing from a peak of 102 incidents to just 15. In summary, the research concludes that it was possible to apply the improvement maintenance of diesel filters.

Keywords: *maintenance, improvement maintenance, diesel separator filters, off-road trucks, operational efficiency, performance indicators.*

LISTA DE SIMBOLOS

T_{Total} – total de horas trabalhadas;

n – número de intervenções;

% – símbolo de porcentagem (valor dividido por cem) $[x/100]$;

Σ – símbolo representativo de somatório matemático simples de parcelas;

h – horas.

LISTA DE ABREVIACÕES

HMC – Horas de Manutenção Corretiva;

NBR – Norma Brasileira;

DF – Disponibilidade Física;

MTBF – *Mean Time Between Failures* – Tempo Médio Entre Falhas;

MTTR – *Mean Time To Repair* – Tempo Médio de Reparo.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Filtro separador de água do diesel aplicada em um caminhão | 14 |
| Figura 2 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos..... | 17 |
| Figura 3 – Fluxograma resumido do processo de remoção do minério até o envio | 20 |
| Figura 4 – Organograma dos setores, da presidência até a coordenação para a realização do estudo..... | 22 |
| Figura 5 – Componentes de um ciclo básico de operações de transporte | 24 |
| Figura 6 – Motor a diesel de um caminhão fora de estrada..... | 25 |
| Figura 7 – Diferentes sistemas de filtragem em um caminhão fora de estrada com o sistema de filtragem de combustível em destaque | 28 |
| Figura 8 – Sistema de filtragem de combustível do caminhão fora de estrada | 30 |
| Figura 9 – Impacto de NICs por frotas de equipamentos | 30 |
| Figura 10 – Principais conjuntos impactados por quantidade de NICs..... | 31 |
| Figura 11- Principais conjuntos itens por quantidade de NICs | 31 |
| Figura 12 - Principais soluções para as falhas e a quantidade de NICs a que estão relacionadas. | 31 |
| Figura 13 – Características do filtro apresentado | 32 |
| Figura 14 – Partículas repelidas do combustível após utilização do filtro em testes | 33 |
| Figura 15 – Esquema apresentado da adaptação do filtro para os caminhões fora de estrada . | 33 |
| Figura 16 – Características do filtro apresentado com adaptações para os caminhões fora de estrada..... | 34 |
| Figura 17 – Filtro devidamente instalado em um caminhão | 34 |
| Figura 18 – Particulado expurgado do filtro após um dia de funcionamento do caminhão na mina | 35 |
| Figura 19 – Acompanhamento mensal dos valores e metas de DF | 37 |
| Figura 20 - Acompanhamento mensal dos valores e metas de MTTR..... | 37 |
| Figura 21 - Acompanhamento mensal dos valores e metas de MTBF..... | 38 |
| Figura 22 – Acompanhamento mensal de troca de filtros | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Variáveis e indicadores adotados..... | 18 |
| Tabela 2 – Impactos das trocas de filtros na DF e no MTTR ao longo do tempo..... | 37 |
| Tabela 3 – Impactos das trocas de filtros no MTBF ao longo do tempo..... | 39 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 | Formulação do Problema..... | 1 |
| 1.2 | Justificativa..... | 3 |
| 1.3 | Objetivos..... | 4 |
| 1.3.1 | Geral | 4 |
| 1.3.2 | Específicos..... | 4 |
| 1.4 | Estrutura do Trabalho | 4 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 6 |
| 2.1 | Manutenção | 6 |
| 2.2 | Métodos de Manutenção..... | 7 |
| 2.2.1 | Manutenção Corretiva | 7 |
| 2.2.2 | Manutenção Preventiva | 8 |
| 2.2.3 | Manutenção Preditiva | 9 |
| 2.3 | Manutenção de Melhoria | 9 |
| 2.4 | Indicadores de Manutenção | 11 |
| 2.5 | Filtros..... | 13 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 16 |
| 3.1 | Tipo de Pesquisa..... | 15 |
| 3.2 | Materiais e Métodos | 16 |
| 3.3 | Variáveis e Indicadores | 17 |
| 3.4 | Instrumento de Coleta de Dados..... | 18 |
| 3.5 | Tabulação de Dados..... | 19 |
| 3.6 | Considerações Finais do Capítulo | 19 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 20 |
| 4.1 | Características da Empresa..... | 20 |
| 4.2 | Equipamento Estudado | 23 |
| 4.2.1 | Caminhão Fora de Estrada | 23 |
| 4.2.2 | Sistemas do Equipamento | 25 |
| 4.2.3 | Sistema de Filtragem de Combustível | 28 |
| 4.2.4 | Diagnóstico | 30 |
| 4.3 | Aplicação da Manutenção de Melhoria de Um Filtro Separador | 32 |

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 4.4 | Análise dos Indicadores..... | 35 |
| 5 | CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES..... | 41 |
| 5.1 | Conclusão | 40 |
| 5.2 | Recomendações | 41 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 43 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução ao Problema

Em um mundo cada vez mais interligado pela globalização, no qual a competitividade do sistema capitalista eleva-se cada vez mais, empresas de diferentes setores devem buscar métodos e técnicas para gerir e atender eficientemente o processo produtivo.

Dessa forma, a boa gestão de ativos e de processos torna-se, portanto, segundo Kardec *et al* (2014), um elemento crucial para garantir a eficiência operacional e a competitividade no mercado. Nesse contexto, a manutenção surge como uma gestão estratégica para o processo produtivo, sendo não somente uma atividade corretiva, como também ferramenta proativa que contribui para a otimização dos recursos, a minimização dos custos e a maximização da produtividade e da qualidade.

Logo, a manutenção eficaz, conforme Souza (2008), pode, desse modo, ser um diferencial competitivo para as empresas, independentemente do setor em que atuam.

Diante disso, a manutenção, como parte integrante da gestão estratégica, assume uma definição mais ampla e complexa. De acordo com Xenos (2014), a manutenção consiste na diminuição ou retardo no desgaste de equipamentos. O conceito apresentado é corroborado pelas Normas Brasileiras, como por exemplo a NBR 5462/1994, que define a manutenção como os procedimentos adotados por diversos departamentos para garantir que os equipamentos e instalações estejam em condições de uso.

Desse modo, tanto Xenos (2014) quanto a NBR 5462/1994, enfatizam a importância da manutenção para garantir a funcionalidade dos ativos. Portanto, a manutenção vai além da simples reparação de falhas, envolvendo uma série de atividades proativas e preventivas que contribuem para a eficiência operacional e a competitividade das empresas.

É então importante destacar que a manutenção envolve uma variedade de atividades e métodos, todos voltados para garantir a funcionalidade e eficiência dos ativos. Como exposto por Xenos (2014), a manutenção pode ser dividida em várias categorias, incluindo manutenção preventiva, preditiva e corretiva. Cada uma dessas categorias tem suas próprias técnicas e metodologias, todas projetadas para prevenir falhas, prever problemas futuros e corrigir problemas existentes.

A escolha do método de manutenção adequado depende de vários fatores, incluindo o tipo de ativo, a natureza do negócio e os recursos disponíveis. Independentemente do método

escolhido, o objetivo final da manutenção é sempre garantir que os ativos possam desempenhar suas funções requeridas de maneira eficiente e eficaz.

Dessa forma, ao compreender os métodos de manutenção, é importante ressaltar a manutenção preventiva, que, conforme apresentada por Xenos (2014), consiste em um método proativo que envolve a realização de atividades de manutenção em um cronograma predeterminado, com o objetivo de prevenir falhas antes que elas ocorram. Isso pode incluir a substituição de peças que estão perto do fim de sua vida útil, a realização de inspeções regulares para identificar possíveis problemas e a implementação de melhorias para aumentar a eficiência e a confiabilidade dos ativos. Esse método visa manter, ou retornar, as condições do equipamento para as suas condições originais, mantendo assim seu funcionamento inicial.

Contudo, os métodos de manutenção não podem ser pautados apenas no retorno às condições originais ou remoção de falhas, sendo assim, Xenos (2014) aponta a manutenção de melhoria é um método que se concentra na otimização do desempenho dos ativos. Isso pode envolver a implementação de novas tecnologias ou processos, a reconfiguração de sistemas existentes para aumentar a eficiência, ou a realização de modificações para melhorar a confiabilidade ou a vida útil dos ativos. A manutenção de melhoria é geralmente realizada em resposta a uma análise de desempenho ou a um problema identificado durante a manutenção preventiva. Sendo ambos os métodos de manutenção cruciais para a gestão eficaz de ativos e desempenham um papel importante na garantia da eficiência operacional e da competitividade das empresas.

Uma empresa de mineração atua no mercado de ferrosos, possuindo grande produção e, por conta disso, utiliza um grande contingente de equipamentos mecânicos. Dentre o maquinário utilizado, destaca-se a frota de 40 caminhões fora de estrada, responsáveis por transportar o material retirado da mina até as pilhas de acúmulo, viabilizando a continuidade do processo. Devido à importância dessas máquinas, a empresa implementa um processo de manutenção para evitar paradas e a indisponibilidade física desses ativos. Nesse contexto, os filtros separadores de diesel são componentes críticos no sistema de alimentação dos motores a diesel, removendo água e partículas contaminantes do combustível antes que ele chegue ao motor. Falhas ou saturação desses filtros podem resultar em contaminação do diesel, levando a problemas como perda de potência e falhas de ignição, o que pode causar paradas não programadas nos caminhões. Portanto, a manutenção adequada desses filtros é essencial para otimizar o desempenho da frota e garantir a eficiência operacional da empresa.

O ambiente de operação dos caminhões fora de estrada na mina favorece a rápida deterioração de seus componentes devido a diversos fatores, como a baixa qualidade das vias, más condições de operação, combustível inadequado, inconsistências na manutenção e a grande quantidade de sujeira durante o abastecimento. Esses problemas resultam na saturação dos filtros separadores de diesel, levando à perda de desempenho e à indisponibilidade dos ativos, o que pode gerar sérios danos ao sistema do motor a combustão. Nesse contexto, são utilizadas diversas estratégias de manutenção, incluindo a manutenção preventiva, que visa evitar falhas antes que ocorram, e a corretiva, que se baseia na reparação de falhas já ocorridas. No entanto, a manutenção de melhoria foi selecionada para promover melhores resultados de performance, já que se concentra na otimização dos processos e na implementação de novos filtros separadores, visando a aumentar a durabilidade e a eficiência operacional dos caminhões.

De acordo com o contexto, têm-se a seguinte pergunta:

Qual o impacto da aplicação da manutenção de melhoria de um filtro separador de diesel na eficiência operacional e disponibilidade de uma frota de caminhões fora de estrada em mineração?

1.2 Justificativa

Devido à grande necessidade dos ativos de transporte da mina, faz-se necessária a utilização correta das técnicas de manutenção e a constante busca pela melhoria desse processo. Realidade acentuada dentro do cenário crítico apresentado, com recorrentes falhas nos filtros separadores de diesel dos caminhões de estrada.

Conforme Viana (2002), a disponibilidade física dos equipamentos é o principal produto da manutenção. Desse modo, é por meio da aplicação dos conceitos de manutenção que é buscada a elevação da disponibilidade física dos equipamentos de mina, com o trabalho em questão focando-se na melhoria dos indicadores dos caminhões fora de estrada.

Diante disso, o estudo a seguir visa aplicar a manutenção de melhoria em caminhão foras de estrada e comparar os indicadores performados pelos equipamentos com diferentes filtros.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar o impacto da manutenção de melhoria de um filtro separador de diesel em uma frota de caminhões fora de estrada.

1.3.2 Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre: manutenção, métodos de manutenção, melhoria da manutenção, indicadores de manutenção e filtros;
- Elaborar um procedimento metodológico para coletar os dados de falhas, paradas, indicadores e custos relacionados ao sistema de filtragem dos caminhões fora de estrada dentro da empresa de mineração;
- Realizar diagnóstico da situação inicial dos indicadores dos equipamentos;
- Propor a implementação de um filtro para caminhões fora de estrada, a partir da manutenção de melhoria;
- Comparar os indicadores dos caminhões em ambos os cenários.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, cada um com um foco específico que busca aprofundar a análise da manutenção de melhoria de filtros de diesel em caminhões fora de estrada.

No primeiro capítulo, aborda-se a formulação do problema, detalhando as questões que motivaram a condução da pesquisa. Também é apresentada a justificativa para a escolha do tema, destacando a relevância da otimização do desempenho operacional dos caminhões e os desafios enfrentados devido às falhas nos sistemas de filtragem. Além disso, são delineados os objetivos geral e específicos do estudo.

O segundo capítulo oferece uma fundamentação teórica sobre os conceitos e práticas de manutenção, com ênfase em manutenção de melhoria, indicadores de manutenção e filtros. São discutidos os princípios que regem a manutenção de melhoria, assim como as implicações de sua aplicação nos indicadores de desempenho da frota. Com isso, são identificados os métodos e técnicas relevantes que possibilitam a maximização da eficiência dos equipamentos.

No terceiro capítulo, a metodologia utilizada na pesquisa é apresentada em detalhe. Descreve-se o tipo de pesquisa realizada, a abordagem do estudo de caso, os materiais e métodos empregados para a coleta de dados, e os critérios para análise das informações obtidas. Essa seção é crucial para garantir a transparência e a replicabilidade do estudo.

O quarto capítulo é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos na pesquisa. São analisados os dados coletados, com a comparação dos indicadores de desempenho da frota antes e depois da implementação dos filtros separadores de diesel. Este capítulo permitirá uma avaliação crítica da eficácia da manutenção de melhoria e seu impacto na operação dos caminhões.

Por fim, o quinto capítulo conclui o trabalho com uma síntese dos principais resultados da pesquisa, discutindo suas implicações práticas e teóricas. Recomendações para futuras pesquisas e sugestões para melhorias na manutenção dos filtros de diesel são apresentadas, visando contribuir para a contínua evolução das práticas de manutenção em frotas de caminhões fora de estrada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

Segundo Moubray (1997), a manutenção, ao longo da história, passou por transformações significativas, moldadas por diversos fatores, como o aumento da diversidade de itens físicos (instalações, equipamentos e edificações), projetos mais complexos, novas técnicas e mudanças na organização da manutenção. O autor destaca momentos históricos chave nos quais o processo de manutenção foi revolucionado, até, finalmente, alcançar o atual patamar de relevância dentro do processo produtivo.

Conforme Moubray (1997) aponta, no período anterior a 1914, a manutenção era considerada secundária no processo produtivo. As indústrias não possuíam equipes especializadas, e a abordagem predominante era a manutenção corretiva. Ou seja, os equipamentos eram reparados apenas após falhas ou quebras, sem um planejamento sistemático. Todavia, nos anos 30, com a Segunda Guerra Mundial, surgiu a necessidade de aumentar a produção industrial. As indústrias criaram departamentos de manutenção para evitar avarias, indo além da simples correção. A manutenção preventiva começou a ganhar espaço, visando maximizar a produção das máquinas.

Smith (2004) destaca que, na década de 80, com o advento dos computadores, a manutenção se sofisticou ainda mais. Tecnologias passaram a integrar o planejamento, controle e análise. A manutenção preventiva continuou a evoluir, tornando-se uma prática essencial. Por fim, o autor expõe que, nos últimos 20 anos, a manutenção enfrentou mudanças constantes, com o crescimento da conscientização sobre segurança, meio ambiente e qualidade do produto. Além disso, como apontado por Smith (2004), a busca por alta disponibilidade e redução de custos impulsionou novas atitudes e habilidades nas equipes de manutenção.

A trajetória apresentada revela como a manutenção se adaptou às demandas do mercado e à evolução tecnológica, tornando-se uma peça fundamental na eficiência das operações industriais. Consistindo, segundo a NBR 5462/1994, na combinação de ações técnicas, administrativas e de supervisão que tem como objetivo manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Logo, como apontado por Filho (2018), a manutenção desempenha um papel fundamental na sociedade moderna, ao passo que, quando realizada de forma correta e regular, prolonga a vida útil de equipamentos, máquinas e infraestruturas, evitando substituições

frequentes e reduzindo o desperdício. Além disso, aumenta a confiabilidade dos ativos, mantendo os ativos em boas condições e minimizando falhas e interrupções não planejadas.

Filho (2018) discorre também sobre o impacto da manutenção na economia de custos, defendendo que o investimento na manutenção preventiva é mais econômico do que lidar com reparos emergenciais, com a redução de custos operacionais a longo prazo. Juntamente aos pontos levantados, o autor defende que a adequada contribui para a sustentabilidade, pois evita o descarte prematuro de ativos e reduz o impacto ambiental. Enfim, é então possível concluir que a manutenção é essencial para a eficiência, segurança e sustentabilidade de nossa sociedade.

2.2 Métodos de Manutenção

Conforme apresentado anteriormente, é possível perceber a importância da manutenção ao longo de momentos históricos e, principalmente, sua relevância atualmente. No entanto, embora, consista, principalmente, em manutenções corretiva, preventiva, preditiva e de melhoria, a manutenção pode ser aplicada por meio de diferentes técnicas em diferentes contextos, como exposto a seguir por diferentes autores.

2.2.1 Manutenção Corretiva

Como citado por Moubay (1997) ao tratar das eras da manutenção, a manutenção corretiva é a forma mais arcaica de manutenção, funcionando de forma emergencial ao consistir na correção de falhas ou perdas de desempenho. Essa visão é corroborada por Xenos (2014), que atesta a sua utilização após a ocorrência das falhas, priorizada pelo, inicial, custo mais baixo e não previsão de possíveis problemas nos equipamentos.

Contudo, embora Pinto e Xavier (2001) corroborem com as visões apresentadas, expondo que a manutenção corretiva ocorre posteriormente à falha, minando o tempo de planejamento para execução do serviço, os autores defendem a divisão desse tipo de manutenção em duas vertentes: a corretiva planejada e a corretiva não planejada.

Pinto e Xavier (2001) caracterizam a manutenção corretiva planejada pela antecipação e programação das intervenções necessárias para corrigir falhas ou degradações de desempenho. Segundo os autores, essa abordagem é baseada em informações coletadas através de monitoramento contínuo e análise de dados operacionais. As principais características da manutenção corretiva planejada incluem programação, custo, qualidade e segurança.

Por outro lado, Pinto e Xavier (2001) apontam a manutenção corretiva não planejada pela ocorrência reativa a falhas inesperadas, caracterizando-se pela necessidade de intervenções

imediatas. Em suma, as principais características dessa abordagem incluem imprevisibilidade, custo elevado e comprometimento da qualidade e da segurança.

A reflexão sobre essas considerações sugere que a abordagem corretiva pode não ser a mais vantajosa para as equipes de manutenção em qualquer circunstância. Entretanto, Xenos (2014) identifica alguns benefícios associados a essa prática, argumentando que a manutenção corretiva pode ser economicamente mais viável em comparação com estratégias que se concentram na prevenção de falhas por meio de estudos e planejamento. O autor ressalta que, se a escolha recair sobre a manutenção corretiva, é crucial adotar certas medidas para garantir sua eficácia mínima. Essas medidas incluem avaliar o impacto das paradas de produção causadas por falhas nos equipamentos, assegurar a disponibilidade de peças de reposição para uma rápida substituição e registrar as ocorrências para evitar sua reincidência.

2.2.2 Manutenção Preventiva

Gurski e Rodrigues (2008) defendem que a função da manutenção é agir antes da quebra, e não é corrigir o ativo danificado. Diante disso, conforme, Viana (2002) manutenção preventiva é uma estratégia proativa que deve acontecer em equipamentos que não estejam em falha e visa evitar paradas e garantir o funcionamento adequado dos ativos ao longo de sua vida útil. Essa abordagem é baseada em um plano previamente elaborado, que estabelece intervalos de tempo ou condições específicas para a realização de intervenções.

Segundo Pinto e Xavier (2001), a manutenção preventiva deve seguir uma intervalos regulares, independentemente do estado atual do equipamento. Isso permite que as empresas mantenham um cronograma de manutenção que minimize o risco de falhas inesperadas. O que vai ao encontro do objetivo principal da manutenção preventiva, segundo Monchy (1989), que é reduzir a probabilidade de falhas, garantindo que os equipamentos operem de maneira confiável.

Além disso, Xenos (2014) ainda defende que, embora a manutenção preventiva exija investimentos regulares, ela pode resultar em economias significativas a longo prazo, evitando custos associados a paradas não programadas e reparos emergenciais. É possível corroborar a visão de Xenos (2014) e Pinto e Xavier (2001) com Monchy (1989), que defende a preventiva como diretamente relacionada à extensão da vida útil dos ativos, uma vez que as intervenções são realizadas antes que ocorram falhas significativas, que enfatiza a importância de um sistema confiável para evitar intervenções corretivas não programadas.

2.2.3 Manutenção Preditiva

Autores como Bechtold (2010) consideram a manutenção preditiva como parte da preventiva, sendo uma abordagem avançada que utiliza técnicas de monitoramento e análise de dados para prever falhas antes que elas ocorram. Essa estratégia se baseia na coleta de informações em tempo real sobre o desempenho dos equipamentos, permitindo intervenções apenas quando necessário.

Conforme explicitado por Xenos (2014), a preditiva consiste em mais uma forma de inspecionar o equipamento, envolvendo técnicas de supervisão contínua, como o uso de sensores e tecnologias de monitoramento para coletar dados sobre o estado dos equipamentos. Isso permite que as empresas identifiquem tendências e padrões que possam indicar a necessidade de manutenção.

Diante disso, com a coleta de informações, é possível realizar a interpretação dos dados coletados, fundamental para a eficácia da manutenção preditiva. Segundo Bechtold (2010), profissionais de manutenção devem ser bem treinados para analisar os resultados e formular diagnósticos precisos, garantindo que as intervenções sejam realizadas no momento certo.

Conforme Viana (2002), Bechtold (2010) e Xenos (2014), essas condições viabilizam intervenções oportunas, já que, ao prever falhas antes que elas ocorram, a manutenção preditiva permite que as empresas realizem intervenções de forma planejada, minimizando o impacto na produção e reduzindo custos associados a paradas inesperadas. Os autores consideram essa abordagem como a uma das mais eficazes em termos de resultados operacionais, ligadas diretamente à melhoria da confiabilidade dos equipamentos, uma vez que as intervenções são baseadas em dados concretos e não em suposições.

Diante disso, é possível inferir que a manutenção preventiva e a manutenção preditiva são abordagens complementares que visam garantir a eficiência e a confiabilidade dos ativos industriais. Enquanto a manutenção preventiva é essencial para evitar falhas por meio de intervenções programadas com custo relativamente baixo, a manutenção preditiva oferece uma solução mais avançada, permitindo que as empresas realizem intervenções baseadas em dados concretos. A adoção dessas práticas pode resultar em melhorias significativas na operação, segurança e competitividade das empresas.

2.3 Manutenção de Melhoria

Xenos (2014) apresenta a manutenção de melhoria é uma abordagem estratégica que visa a otimização contínua dos processos de manutenção para aumentar a eficiência, reduzir

custos e melhorar a confiabilidade dos equipamentos. O autor afirma que este conceito é fundamental para empresas que buscam manter-se competitivas em um mercado dinâmico e em constante evolução.

Segundo Briales e Ferraz (2006), a melhoria contínua é essencial em um cenário competitivo, onde as empresas precisam atender às demandas dos clientes e se adaptar rapidamente às mudanças do mercado. Essa abordagem envolve a participação de todos os colaboradores, promovendo um ambiente de trabalho colaborativo e inovador.

Imai (1986) conceitua a filosofia *Kaizen*, que em japonês significa "mudança para melhor", é uma estratégia de gestão que enfatiza a melhoria contínua em todos os aspectos de uma organização. De acordo com Liker e Meier (2007), o *Kaizen* se concentra na eliminação de desperdícios e na padronização de processos, utilizando ferramentas como o 5S, o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) e a análise de causa raiz, sendo que a implementação do *Kaizen* requer um comprometimento de todos os níveis da organização, desde a alta gestão até os operadores de linha de produção.

Ferreira (2008) defende que a aplicação da filosofia *Kaizen* na área de manutenção pode resultar em melhorias significativas na eficiência operacional, pois a manutenção, quando gerida sob a ótica do *Kaizen*, busca não apenas corrigir falhas, mas também prevenir problemas futuros e otimizar os processos de manutenção. O autor destaca que a aplicação do *Kaizen* na Mercedes-Benz do Brasil resultou em um aumento na eficiência dos processos de manutenção, com a equipe se empenhando em manter as melhorias implementadas.

Os benefícios da melhoria contínua e da filosofia *Kaizen* são amplamente reconhecidos, ao passo que, conforme exposto no estudo realizado por Fraga e Lavarda (2019), a implementação do *Kaizen* em uma indústria de produtos de higiene pessoal trouxe resultados positivos, como a organização do ambiente de trabalho, a motivação dos colaboradores e a redução de custos operacionais. Os entrevistados associaram o *Kaizen* à melhoria contínua, destacando a importância do trabalho em equipe e do aprendizado constante.

Apesar dos benefícios, a implementação do *Kaizen* pode enfrentar desafios, já que colaboradores frequentemente mencionam dificuldades relacionadas a tarefas que dependem de terceiros e atividades que exigem sair da zona de conforto (FRAGA E LAVARDA, 2019). Essas barreiras podem ser superadas por meio de treinamentos e da promoção de uma cultura organizacional que valorize a melhoria contínua.

Por fim, é possível concluir com a visão de Briales e Ferraz (2006), concomitante à visão dos autores anteriormente expostos, que a melhoria contínua, por meio da filosofia

Kaizen, é uma abordagem eficaz para otimizar processos e aumentar a eficiência nas organizações. A sua aplicação na área de manutenção pode resultar em melhorias significativas, contribuindo para a competitividade e sustentabilidade das empresas. A adoção do *Kaizen* requer um comprometimento coletivo e uma cultura organizacional que valorize a inovação e a participação de todos os colaboradores (FRAGA E LAVARDA, 2019).

2.4 Indicadores de Manutenção

Segundo Pinto e Xavier (2001), os indicadores desempenham um papel crucial ao permitir que as organizações avaliem o desempenho de suas atividades de manutenção, identifiquem problemas e implementem soluções adequadas. A utilização de indicadores adequados não apenas facilita a medição de resultados, mas também alinha as atividades de manutenção aos objetivos estratégicos da empresa, promovendo uma gestão mais eficiente dos ativos.

De Paula (2021) afirma que indicadores de manutenção podem ser classificados em diversas categorias, incluindo indicadores de desempenho, de custo e de eficácia. Os indicadores de desempenho, por exemplo, são utilizados para monitorar a eficiência das operações de manutenção, como a disponibilidade física, taxa de falhas, tempo médio de reparos e o tempo médio entre falhas.

Diante disso, é importante destacar os principais indicadores utilizados nesse trabalho, sendo:

Tempo Médio Entre Falhas (MTBF):

Mean Time Between Failures, traduzido como “Tempo Médio Entre Falhas”, é definido por autores como Martins (2012) como a exposição da frequência do número de intervenções corretivas em um determinado período.

Megiolaro (2015) apresenta o cálculo do MTBF de acordo com a Equação 1:

$$MTBF = \frac{T_{Total}}{n} \quad (1)$$

Sendo que:

T_{Total} = Total de horas trabalhadas;

n = número de intervenções

Tempo Médio de Reparo (MTTR):

Mean Time To Repair, traduzido como “Tempo Médio Para Reparos”, é definido por De Paula (2021) como a exposição da eficiência da prática de manutenção da equipe responsável pelo ativo, tanto na manutenção planejada quanto na corretiva. Diante disso, o MTTR nada mais do que traduz o tempo médio de manutenção gasto pela equipe a fim de garantir que o equipamento ou sistema retorne à plena condição de trabalho. Segundo Biasotto (2006), o indicador tem como principal função monitorar a eficiência na adequação do ativo à sua função requerida, uma vez que o equipamento esteja fora de atividade devido alguma falha ou pane.

De Paula (2021) apresenta o cálculo do MTTR de acordo com a Equação 2:

$$MTTR = \frac{HMC}{\sum \text{Eventos Ocorridos}} \quad (2)$$

Sendo que:

HMC = Horas de Manutenção Corretiva

$$\sum \text{Eventos Ocorridos} = n \text{ (utilizado na Equação 1)}$$

Disponibilidade Física (DF):

Para Verri (2012), o indicador mais importante do processo de manutenção é a disponibilidade física. Conforme o autor, perdas em consequência de falhas em equipamentos são muito numerosas, e o objetivo da manutenção deve ser propiciar a máxima continuidade operacional através de uma grande disponibilidade física.

Xenos (2014) aponta que o indicador da disponibilidade física DF é definido como a probabilidade de um determinado ativo estar disponível para operação quando necessário, dessa forma a indisponibilidade física reflete o tempo de produção inviabilizado pela manutenção em determinado período.

Megiarolo (2015) aponta o cálculo da DF como a divisão do MTBF pela soma dos tempos MTBF e MTTR, o que acaba por revelar a porcentagem total de tempo em que o ativo esteve disponível, como exposto na Equação 3 a seguir:

$$DF = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\% \quad (3)$$

Ainda segundo Megiolaro (2015) é possível afirmar que os indicadores de manutenção são métricas utilizadas para avaliar a eficiência e a eficácia das atividades de manutenção em um sistema produtivo. Eles servem como ferramentas para monitorar o desempenho dos equipamentos e identificar áreas que necessitam de melhorias.

Viana (2020) defende que a implementação de um sistema de indicadores deve ser precedida por um entendimento claro dos processos internos da organização. Conforme o autor, o *benchmarking*, que envolve a comparação das práticas de manutenção com as melhores do setor, é uma estratégia recomendada para identificar áreas de melhoria e potencializar o desempenho, contudo, é fundamental que as empresas evitem armadilhas comuns, como a sobrecarga de indicadores, priorizando a qualidade e a relevância dos dados coletados.

Além disso, segundo Xenos (2014), a adoção de técnicas preditivas e a análise de falhas são práticas que podem ser monitoradas por meio de indicadores específicos, contribuindo para a redução de custos e a melhoria contínua dos processos de manutenção. A gestão eficaz dos indicadores de manutenção não apenas proporciona uma visão clara do desempenho atual, mas também fundamenta a tomada de decisões estratégicas que visam a maximização do retorno sobre o investimento em ativos.

Em suma, é possível concluir que os indicadores de manutenção são fundamentais para a gestão de ativos em ambientes industriais, permitindo que as organizações não apenas monitorem seu desempenho, mas também implementem melhorias contínuas que resultem em maior eficiência e redução de custos. A escolha e a aplicação adequadas desses indicadores são essenciais para o sucesso das operações de manutenção e, conseqüentemente, para a competitividade das empresas no mercado.

2.5 Filtros

Testezlaf (2008) define que a filtração envolve a passagem de um fluido através de um meio filtrante que retém as partículas sólidas, permitindo que o fluido limpo passe, sendo que o meio filtrante pode ser composto por materiais como areia, carvão ativado, membranas semipermeáveis, entre outros. A eficiência do processo de filtração depende de fatores como o tamanho das partículas, a velocidade do fluxo e as características do meio filtrante.

Diante disso, segundo Testezlaf (2008), filtros são dispositivos essenciais em diversos contextos, utilizados para separar partículas sólidas de líquidos ou gases. Eles são amplamente aplicados em indústrias, sistemas de tratamento de água, automóveis e até mesmo em sistemas de ventilação e ar-condicionado. A função básica de um filtro é reter partículas indesejadas,

permitindo que apenas o fluido ou gás desejado passe através do meio filtrante. Dessa forma, existem diversos filtros que podem ser aplicados a diversas situações, como:

Balachandran *et al* (1999) definem filtros mecânicos como os que funcionam através da obstrução física das partículas presentes no fluido, sendo que o meio filtrante, que pode ser uma tela, cartucho, areia ou discos, retém as partículas enquanto permite a passagem do fluido limpo. Conforme Balachandran *et al* (1999), a eficiência do filtro depende do tamanho das partículas que ele pode capturar e da capacidade de retenção do meio filtrante sendo que a unidade de medida microscópica utilizada para indicar o tamanho das partículas que o filtro é capaz de reter chama-se micron, logo, quanto menor a micragem de um filtro, melhor sua eficiência.

Brown (1993) fala sobre filtros HEPA (*High Efficiency Particulate Air*), capazes de filtrar partículas muito finas, incluindo alérgenos e algumas bactérias e vírus. Amplamente utilizados em hospitais e sistemas de ar-condicionado.

Mortier e Orszulik (2012) explicitam que filtros de óleo são essenciais em motores de automóveis e máquinas industriais para remover impurezas do óleo. Conforme os autores explicam, esses filtros funcionam forçando o óleo a passar através de um meio filtrante que retém as partículas contaminantes, após esse processo, o óleo limpo é então recirculado de volta ao motor, garantindo uma lubrificação adequada e prolongando a vida útil do motor, sendo que a eficiência do filtro depende do tipo de meio filtrante e do design do filtro.

Todavia, esse trabalho possui foco nos filtros separadores de água do diesel, exemplificados na Figura 1, que, segundo Weiser *et al* (2005), desempenham um papel crucial na manutenção da eficiência e durabilidade dos sistemas de injeção de motores a diesel, originados do aumento da utilização de veículos a diesel, que tornou mais evidente a necessidade sistemas de filtragem mais eficientes. Conforme explicitado pelo autor, os filtros são projetados para remover a água do combustível, que pode causar corrosão e danos aos componentes do motor, além de comprometer a eficiência da combustão.



Figura 1: Filtro separador de água do diesel aplicado em um caminhão.
Fonte: Posto de Óleo Suzano (2017).

Trautmann *et al* (2011) explicitam que a eficiência na separação de água é influenciada por diversos fatores, incluindo a tensão interfacial entre o combustível e a água, a estabilidade da emulsão e o tamanho das gotículas de água. A tensão interfacial, por exemplo, é afetada pela composição do combustível e pelos aditivos presentes, sendo que combustíveis com menor tensão interfacial apresentam maior dificuldade na separação da água. Além disso, a análise do tamanho das gotículas de água revela que, em condições reais, o tamanho médio das gotículas pode variar entre 20 a 50 μm , o que é significativamente menor do que os valores obtidos em testes padrão.

Por fim, Trautmann *et al* (2011) defendem que o conceito de separação de água em filtros a diesel pode ser otimizado através da implementação de um sistema de filtragem em duas etapas. O primeiro estágio utiliza um meio filtrante que promove a aglomeração das gotículas de água, enquanto o segundo estágio é responsável pela separação efetiva da água. Essa abordagem não apenas melhora a eficiência da separação, mas também permite que o filtro mantenha um espaço de instalação reduzido, atendendo às demandas dos fabricantes de veículos.

Em suma, é visível a importância crítica dos filtros de diesel na operacionalidade dos caminhões fora de estrada, destacando seu papel essencial na proteção do motor e na otimização do desempenho da frota. A análise dos diferentes tipos de filtros, suas especificações e funções, juntamente com as práticas de manutenção adequadas, revela que a eficiência da filtragem está diretamente relacionada à durabilidade e confiabilidade dos equipamentos. A compreensão dos processos de contaminação, bem como a necessidade de inspeção e substituição regular dos filtros, permite que as empresas adotem estratégias proativas para mitigar falhas operacionais e prolongar a vida útil dos motores diesel. Portanto, a escolha apropriada e a manutenção eficiente dos filtros de diesel não apenas impactam os indicadores de desempenho da frota, mas também são fundamentais para garantir a continuidade das operações e a redução de custos a longo prazo.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

A pesquisa científica pode ser classificada de diversas maneiras, dependendo de sua finalidade, abordagem e procedimentos. Segundo Gil (2008), os principais tipos de pesquisa são: exploratória, descritiva e explicativa.

Gerhardt e Silveira (2009) defendem que a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, sendo recomendada quando o tema é pouco explorado e há poucas informações disponíveis.

A pesquisa descritiva, conforme Gil (2008), tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis, utilizando-se de técnicas padronizadas de coleta de dados, como questionários e observações sistemáticas. Já a pesquisa explicativa busca identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, sendo a mais complexa e detalhada, pois envolve a análise de causas e efeitos (GIL,2008).

A abordagem da pesquisa refere-se à forma como os dados serão analisados e interpretados. De acordo com Creswell (1998), as abordagens podem ser qualitativas, quantitativas ou mistas.

Parra Boente e Braga (2004), a abordagem qualitativa é focada na compreensão dos fenômenos a partir da perspectiva dos participantes, utilizando métodos como entrevistas, grupos focais e análise de conteúdo. Já a abordagem quantitativa, segundo Silva e Menezes (2001), baseia-se na quantificação de dados, utilizando técnicas estatísticas para análise, sendo comum o uso de questionários com perguntas fechadas e escalas de mensuração. Por fim, Creswell (1998) afirma que a abordagem mista combina elementos das abordagens qualitativa e quantitativa, proporcionando uma compreensão mais abrangente do problema de pesquisa.

Os instrumentos de coleta de dados são ferramentas essenciais para a obtenção de informações precisas e relevantes. De acordo com Marconi e Lakatos (2017), os principais instrumentos são: pesquisas experimentais, entrevistas e observação. Os questionários consistem em um conjunto de perguntas previamente elaboradas, aplicadas a um grupo de pessoas para obter informações específicas, sendo úteis para coletar dados quantitativos. As entrevistas são conversas estruturadas ou semiestruturadas com os participantes, permitindo a

coleta de dados qualitativos detalhados. A observação envolve a observação direta dos fenômenos em estudo, podendo ser participante ou não participante.

Gil (2008) defende que a escolha dos instrumentos de coleta de dados deve ser baseada em critérios de validade, confiabilidade e adequação ao objetivo da pesquisa. Segundo a validade refere-se à capacidade do instrumento de medir o que se propõe a medir, a confiabilidade indica a consistência dos resultados obtidos pelo instrumento em diferentes aplicações e a adequação relaciona-se à pertinência do instrumento em relação ao contexto e aos objetivos da pesquisa (GIL, 2008).

Segundo Marconi e Lakatos (2017), a escolha da área de pesquisa deve ser fundamentada na relevância do tema e na disponibilidade de recursos e dados. Diante do exposto, a pesquisa foi exploratória, ao passo que estuda o impacto da manutenção melhoria nos indicadores de uma frota de caminhões fora de estrada, o que a caracteriza também como um estudo de caso. Além disso, a pesquisa é de abordagem qualitativa para lidar com os dados e indicadores, sendo também uma pesquisa bibliográfica, já que envolve o estudo de fontes e referências para fundamentar as análises realizadas.

3.2 Materiais e Métodos

Nos capítulos iniciais desta pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os métodos de manutenção. Essas informações servem como base para orientar os pensamentos e a proposição de ações. A pesquisa teve início a partir da avaliação da necessidade de aprimorar os indicadores de desempenho de uma frota de caminhões fora de estrada, uma vez que os indicadores de DF, MTBF e MTTR apresentavam um grande potencial de melhoria.

Para uma melhor compreensão do tema específico do trabalho, é necessário coletar dados dos equipamentos diretamente na área de atuação, incluindo o sistema de paradas, procedimentos operacionais, históricos de manutenção e intervenções operacionais, além de relatos dos profissionais de manutenção envolvidos na rotina. Também são realizadas discussões envolvendo a engenharia de processos e de manutenção.

Com base na avaliação dos dados levantados, avaliando número de intervenções corretivas, disponibilidade física, tempo médio para reparos e tempo médio entre falhas, é possível então selecionar o sistema dos caminhões fora de estrada que mais prejudica os indicadores. Dessa forma, sendo possível selecionar o ofensor da frota a ser trabalhado.

Posteriormente a essa seleção, após o contato com os fornecedores, foi possível então identificar os filtros que possam vir a melhor atender as necessidades da frota de caminhões

fora de estrada. Diante disso, após a troca, é possível novamente levantar os indicadores dos equipamentos que tiveram os filtros trocados para, então, realizar a comparação com o cenário anterior e avaliar a viabilidade do processo. Diante disso, por fim, sendo possível expor a conclusão de toda essa análise nesse trabalho.

A Figura 2 é uma representação visual que ilustra as etapas e o fluxo de atividades realizadas durante a formulação do trabalho. Diante disso, a seguir pode-se avaliar as etapas dos procedimentos metodológicos realizados:

- **Observação da Necessidade de Atuação dentro do Atual Cenário:** Nesta etapa inicial, foi realizada uma análise das condições atuais da frota de caminhões fora de estrada para identificar os problemas enfrentados. Essa observação pode incluir a identificação de falhas recorrentes, a frequência de manutenções corretivas e o impacto delas na operação e disponibilidade dos caminhões;
- **Análise dos Sistemas Ofensores dentro da Frota:** Após identificar a necessidade de melhoria, a pesquisa envolve a análise dos sistemas que estão gerando as falhas. Isso pode incluir uma avaliação detalhada do desempenho dos filtros atuais e outros fatores que podem estar contribuindo para a degradação do desempenho do motor;
- **Seleção do Filtro Apresentado pelos Fornecedores:** Com base na análise dos sistemas ofensores, são solicitadas propostas de filtros a diversos fornecedores. Nesta fase, os filtros são avaliados quanto à eficiência, durabilidade e compatibilidade com os caminhões para assegurar que a solução escolhida será eficaz;
- **Avaliação dos Indicadores Após a Troca de Filtro em Equipamentos Selecionados:** Depois de implementar a troca do filtro em caminhões selecionados, os indicadores de desempenho são monitorados para avaliar o impacto da mudança. Essa avaliação é crucial para entender o efeito da nova filtragem nas operações;
- **Comparação Entre os Indicadores nos Dois Cenários:** Esta etapa envolve a comparação dos dados coletados antes e depois da instalação dos novos filtros. A análise permite uma avaliação dos impactos operacionais da manutenção de melhoria aplicada;
- **Exposição dos Resultados:** Por fim, os resultados obtidos a partir das etapas anteriores são organizados e apresentados. Isso pode incluir gráficos, tabelas e uma discussão dos resultados, oferecendo insights sobre a eficácia da manutenção de melhoria e contribuindo para a tomada de decisão fundamentada sobre possíveis ações futuras.

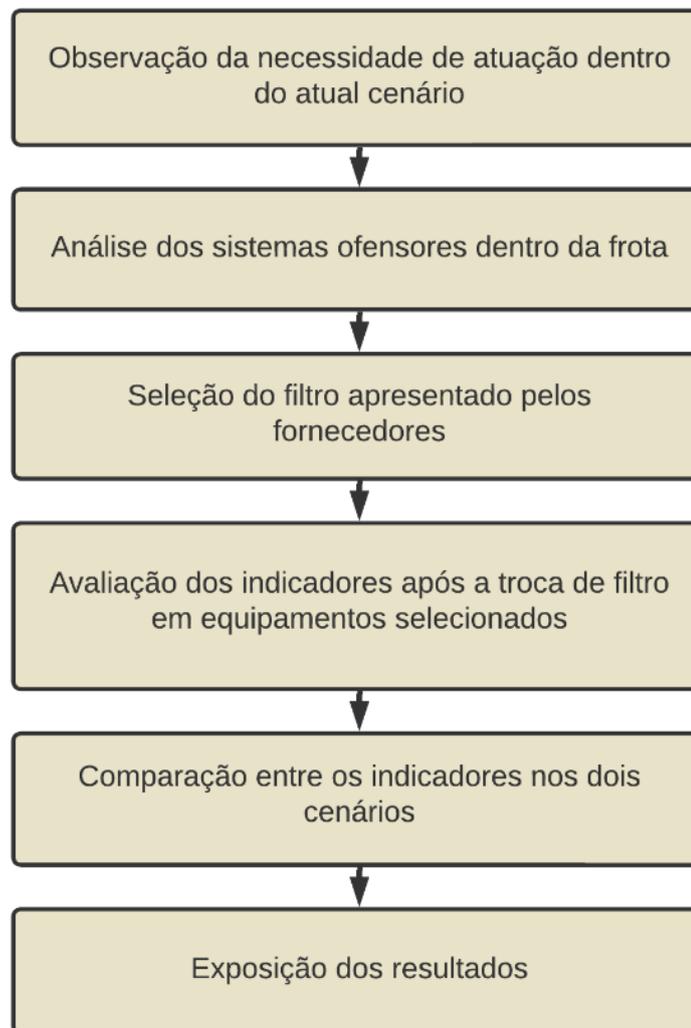


Figura 2 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos
Fonte: Pesquisa direta (2024)

3.3 Variáveis e Indicadores

Para um entendimento aprofundado do problema analisado, é imprescindível estudar as variáveis e indicadores envolvidos. Marconi e Lakatos (2003) destacam a importância das variáveis na investigação de situações complexas, ressaltando que um efeito não é causado por um único fator, mas pode ser influenciado por diversos elementos. Essa multiplicidade de influências torna essencial a identificação e análise das variáveis para compreender plenamente o fenômeno em estudo.

Segundo Marconi e Lakatos (2003), uma variável pode ser entendida como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional que contém ou apresenta valores discerníveis em um objeto de estudo e que é passível de mensuração. Essa definição amplia a compreensão sobre a natureza das variáveis, permitindo que sejam utilizadas de maneira eficaz na análise de dados e na formulação de hipóteses.

Na tabela 1 é possível visualizar as variáveis e indicadores utilizados nesse trabalho.

Tabela 1 – Variáveis e indicadores adotados

| Variáveis | Indicadores |
|------------------------|--|
| Manutenção de Melhoria | Equipamento Mão de Obra Gestão de Mudança Processo de Manutenção Disponibilidade Física MTBF MTTR Perfil de Perdas <i>Kaizen</i> |

Fonte: Pesquisa direta (2024)

3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Esse tópico diz respeito à determinação dos instrumentos necessários para a realização da coleta dos dados necessários para concluir o estudo.

Diante disso, esses dados foram obtidos por meio de:

- Diálogo com colaboradores dentro e fora de reuniões de rotina;
- Paradas no sistema;
- Planilhas de controle;
- Relatórios de indicadores;
- Pesquisa bibliográfica.

Os diálogos com os colaboradores foi importante para garantir uma visão diária e próxima da realidade, com diferentes pontos de vista, de diferentes áreas de atuação nos ativos, auxiliando a embasar a pesquisa.

As paradas, planilhas e relatórios são o principal material de apoio para a obtenção de dados brutos, permitindo avaliar de forma mais analítica quantidades e tempos de paradas a fim de ter mais assertividade com os indicadores.

Já a pesquisa bibliográfica garante o embasamento teórico para levar ao desenvolvimento do trabalho de forma acadêmica e com as referências corretas.

3.5 Tabulação dos Dados

A importação dos dados mensurados é feita a partir do Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina e do V-Confabilidade, além do Microsoft Excel. Diante disso, a tabulação desses dados é trabalhada utilizando-se do Microsoft Excel.

3.6 Considerações Finais do Capítulo

A metodologia empregada neste trabalho foi detalhadamente contextualizada ao longo deste capítulo. Foram abordados o tipo de pesquisa, os materiais e métodos utilizados, as variáveis e indicadores analisados, bem como as formas de coleta de dados. Além disso, foram mencionados os programas que serão utilizados para a tabulação dos dados coletados.

No próximo capítulo, é procedida a análise de todos os dados e informações obtidas através das técnicas de pesquisa e instrumentos aplicados. Essa análise permite que o estudo se concentre na proposição de melhorias que possam ser implementadas no equipamento em questão, além da elaboração de novos planos de manutenção, que podem incluir mudanças significativas para o aprimoramento do processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Características da Empresa

A empresa atua no setor de mineração e metais do Brasil, trabalhando mundialmente na produção, beneficiamento e exportação de minério de ferro. O produto final, o minério de ferro, é um insumo essencial para a indústria siderúrgica, sendo utilizado na fabricação de aço, que é um material fundamental em diversas aplicações, desde a construção civil até a fabricação de automóveis e eletrodomésticos. A relevância do minério de ferro na economia global é inegável, uma vez que o aço é um dos materiais mais consumidos no mundo.

A produção de minério de ferro envolve um processo complexo que começa com a extração do mineral em minas a céu aberto ou subterrâneas. A empresa opera em várias regiões do Brasil, onde as reservas de minério de ferro são abundantes. Utiliza tecnologia de ponta para garantir a eficiência e a segurança na extração, minimizando o impacto ambiental e promovendo a sustentabilidade. O compromisso com práticas responsáveis é um dos pilares da atuação, que busca não apenas maximizar a produção, mas também preservar os recursos naturais e as comunidades locais.

Após a extração, o minério de ferro passa por um processo de beneficiamento, que inclui etapas como britagem, moagem e separação. Essas etapas são cruciais para aumentar a concentração do mineral, removendo impurezas e preparando o produto para a comercialização. O beneficiamento é realizado em instalações modernas, equipadas com tecnologia avançada que assegura a qualidade do produto final. O minério de ferro beneficiado é então classificado e armazenado, pronto para ser transportado aos clientes.

O transporte do minério de ferro é uma parte vital da operação. A empresa utiliza uma infraestrutura robusta, que inclui ferrovias e terminais portuários, para garantir que o produto final chegue aos mercados consumidores de forma eficiente e segura. A logística é cuidadosamente planejada para otimizar os custos e os prazos de entrega, assegurando que os clientes recebam o minério de ferro em condições ideais para o uso em suas operações. Desse modo, um resumo dessa logística pode ser visualizado abaixo no fluxograma da figura 3.

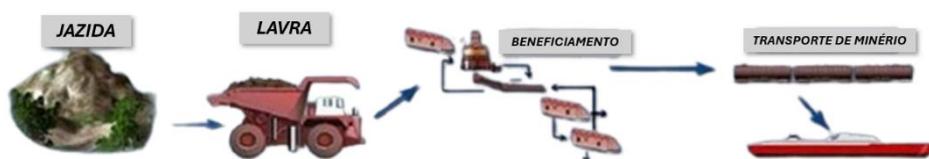


Figura 3 – Fluxograma resumido do processo de remoção do minério até o envio
Fonte: Mirante Engenharia (2021)

Além do minério de ferro, a empresa também produz níquel, cobre, carvão e outros minerais, diversificando seu portfólio e atendendo a diferentes segmentos do mercado. A produção de níquel, por exemplo, é essencial para a fabricação de baterias e ligas metálicas, enquanto o cobre é amplamente utilizado em eletrônicos e construção. Essa diversificação permite à empresa se adaptar às flutuações do mercado e atender a uma ampla gama de clientes em diferentes setores.

Outro ponto relevante é o organograma da empresa, conforme na Figura 4, estruturado de forma a garantir uma gestão eficiente e especializada em cada área de atuação. No topo da hierarquia, encontra-se a Presidência, responsável pela direção estratégica e pela tomada de decisões de alto nível. Abaixo da Presidência, está a Vice-Presidência de Operações, que supervisiona as atividades operacionais e assegura que os objetivos da empresa sejam alcançados de maneira eficaz.

Seguindo na estrutura, temos a Diretoria do Corredor, que coordena as operações específicas do corredor logístico, garantindo a fluidez e a eficiência dos processos. A Diretoria de Engenharia do Corredor, por sua vez, é responsável por todos os aspectos técnicos e de engenharia relacionados ao corredor, assegurando que as infraestruturas e os projetos estejam em conformidade com os padrões exigidos.

A Gerência de Engenharia de Mineração do Complexo foca na gestão das operações de mineração, otimizando os processos e garantindo a segurança e a produtividade. Finalmente, a Coordenação de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Mina, responsável pela produção de parte do material utilizado para a realização desse trabalho, é encarregada da manutenção e do bom funcionamento dos equipamentos de mineração, assegurando que estejam sempre operacionais e em condições ideais para seu funcionamento. Este organograma reflete uma organização bem definida e especializada, onde cada nível hierárquico desempenha um papel crucial para o sucesso da empresa.

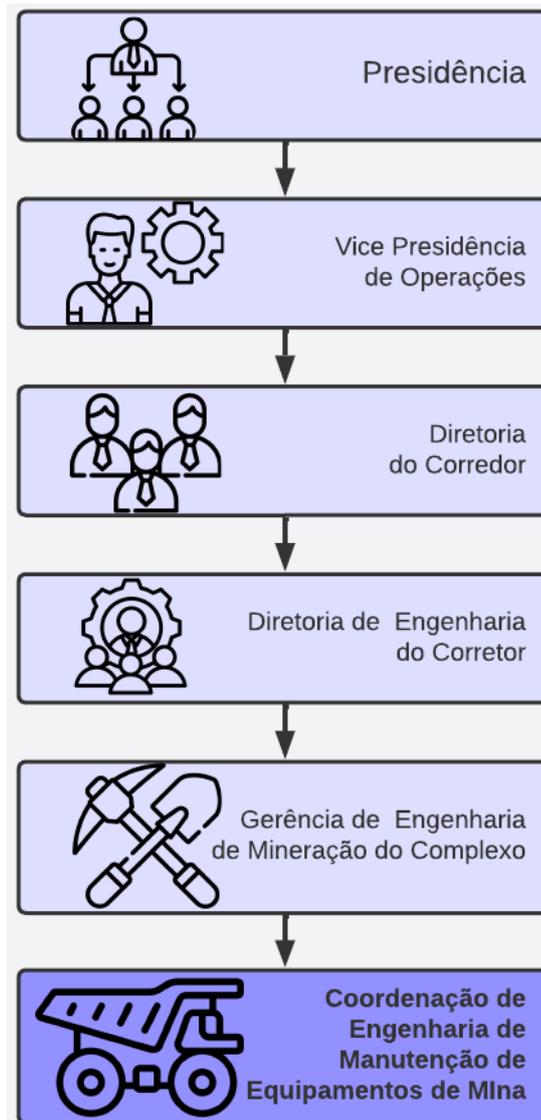


Figura 4 – Organograma dos setores, da presidência até a coordenação trabalhada para a realização do estudo
 Fonte: Pesquisa direta (2024)

Em resumo, a atuação no setor de mineração é marcada pela produção de minério de ferro e outros minerais essenciais, com um forte compromisso com a qualidade, a sustentabilidade e a responsabilidade social. O produto final não apenas desempenha um papel crucial na economia global, mas também reflete a dedicação em operar de maneira responsável e inovadora, contribuindo para o desenvolvimento econômico das regiões onde atua. Essa abordagem integrada é fundamental para garantir a competitividade no mercado global e a satisfação de seus clientes.

4.2 Equipamento Estudado

4.2.1 Caminhão Fora de Estrada

Os caminhões fora de estrada, também conhecidos como caminhões OHT (*Out Off Highway Trucks*), são veículos projetados especificamente para operar em terrenos acidentados e desafiadores, onde caminhões convencionais não conseguiriam transitar de forma eficiente. Esses veículos são amplamente utilizados em setores como mineração, construção civil pesada e exploração florestal, devido à sua robustez e capacidade de transportar grandes volumes de materiais.

Conforme apontado GOODS *et al* (2021), a história desses equipamentos remonta ao início do século XX, quando a necessidade de veículos capazes de operar em terrenos difíceis começou a surgir, especialmente durante as guerras mundiais. Esses primeiros veículos foram desenvolvidos para uso militar, com o objetivo de transportar tropas e suprimentos através de terrenos inóspitos. Após a Segunda Guerra Mundial, a tecnologia desenvolvida para esses veículos militares foi adaptada para uso civil, especialmente nas indústrias de mineração e construção (GOODS *et al*, 2021).

Conforme na Figura 3, após a extração, o minério precisa ser transportado das frentes de lavra até as áreas de processamento ou descarte, como pode ser visualizado de forma exclusiva do ponto de vista dos caminhões OHT na figura 5. Esses caminhões são capazes de carregar grandes quantidades de material em uma única viagem, aumentando significativamente a eficiência do transporte. Além do minério, grandes volumes de estéril, material de menor valor econômico, precisam ser removidos para acessar as camadas de minério.

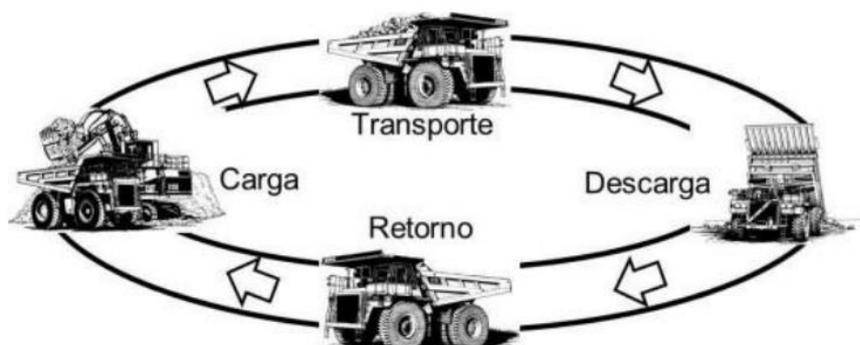


Figura 5 – Componentes de um ciclo básico de operações de transporte.
Fonte: Richards e West (2003)

Esses ativos são utilizados para transportar o material para áreas de deposição, contribuindo para a continuidade das operações de lavra. As minas frequentemente apresentam terrenos irregulares, com inclinações acentuadas e superfícies instáveis. Os equipamentos são projetados para operar nessas condições adversas, garantindo a segurança e a eficiência do transporte de materiais, então modelos modernos de caminhões fora de estrada incorporam tecnologias avançadas, como sistemas de telemetria e gerenciamento de frota, que permitem monitorar o desempenho dos veículos em tempo real, o que ajuda a otimizar as operações, reduzir custos e aumentar a produtividade (COPEGE, 2024).

A importância dos caminhões fora de estrada na mineração é inegável. Eles são fundamentais para a eficiência e produtividade das operações, permitindo o transporte de grandes volumes de materiais de forma rápida e segura. Além disso, a robustez e durabilidade desses caminhões contribuem para a redução de custos operacionais e de manutenção, uma vez que são projetados para suportar condições extremas de trabalho. A manutenção adequada desses veículos é essencial para garantir sua longevidade e desempenho. Inspeções regulares dos sistemas de freio, suspensão, pneus e componentes elétricos são necessárias para identificar e corrigir problemas antes que se tornem graves. A limpeza dos componentes também é crucial para evitar o acúmulo de detritos que podem causar danos ou sobreaquecimento.

4.2.2 Sistemas do Equipamento

Os caminhões fora de estrada possuem diversos sistemas essenciais que garantem seu desempenho, segurança e eficiência em terrenos desafiadores. Diante disso, a seguir, serão expostos os principais sistemas desses equipamentos, como motor a diesel, transmissão de força, estrutura, tecnologia, hidráulico e diversos sistemas de filtragem.

Segundo o manual do fabricante, disponibilizado pela empresa estudada, os motores a diesel dos caminhões fora de estrada são projetados para fornecer alta potência e torque, essenciais para o transporte de cargas pesadas em terrenos inclinados e desafiadores, o que reflete em um tamanho robusto para os componentes, como é possível perceber na Figura 6.

Esses motores são conhecidos por sua durabilidade e eficiência de combustível, características cruciais para operações de mineração onde a confiabilidade é fundamental. A eficiência do motor a diesel está diretamente ligada à qualidade do combustível utilizado. O uso de combustível de alta qualidade é essencial para garantir o desempenho ideal do motor, prevenir depósitos de carbono e minimizar o desgaste dos componentes internos.

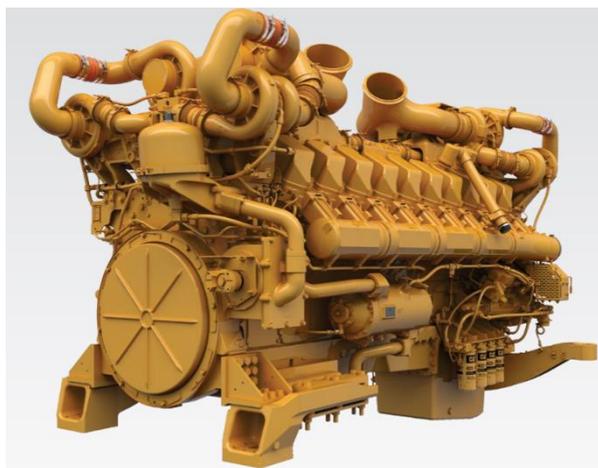


Figura 6: Motor a diesel de um caminhão fora de estrada
Fonte: Caterpillar (2023)

A transmissão de força é responsável por transferir a potência gerada pelo motor para as rodas, permitindo o movimento do veículo. Esses sistemas de transmissão são projetados para suportar cargas pesadas e operar de maneira eficiente em terrenos acidentados. A transmissão automática é comum nesses veículos, proporcionando mudanças de marcha suaves e otimizando o desempenho do motor em diferentes condições de operação.

Além disso, as transmissões modernas incluem sistemas de controle eletrônico que ajustam automaticamente as mudanças de marcha para maximizar a eficiência de combustível e o desempenho. A sinergia entre o motor a diesel e a transmissão de força é fundamental para garantir que a potência do motor seja utilizada de forma eficiente, proporcionando um desempenho robusto e confiável em ambientes desafiadores.

A estrutura dos caminhões fora de estrada é construída para suportar as condições extremas encontradas em operações de mineração. Esses veículos possuem chassis reforçados e materiais de alta resistência que garantem durabilidade e longevidade. A estrutura robusta é fundamental para suportar o peso das cargas transportadas e resistir ao desgaste causado por terrenos acidentados. Além disso, a estrutura é projetada para distribuir uniformemente o peso da carga, minimizando o estresse em pontos específicos e prolongando a vida útil do caminhão.

Os caminhões fora de estrada modernos incorporam diversas tecnologias avançadas que melhoram a eficiência e a segurança das operações. Sistemas de telemetria e gerenciamento de frota permitem monitorar o desempenho dos veículos em tempo real, otimizando as operações e reduzindo custos. Além disso, tecnologias de controle de tração e estabilidade melhoram o desempenho do caminhão em condições adversas, garantindo a segurança do operador e a eficiência do transporte. Essas tecnologias incluem sensores e sistemas de controle eletrônico que ajustam automaticamente a tração e a estabilidade do veículo com base nas condições do terreno.

Os sistemas hidráulicos dos caminhões fora de estrada são utilizados para operar diversos componentes, como a caçamba basculante e os sistemas de direção. Esses sistemas são projetados para fornecer a força necessária para mover grandes volumes de material e garantir a precisão nas operações de carga e descarga. A manutenção adequada dos sistemas hidráulicos é crucial para evitar vazamentos e garantir o desempenho eficiente do caminhão. Os sistemas hidráulicos modernos também incluem válvulas de controle eletrônico que melhoram a precisão e a eficiência das operações hidráulicas.

Os sistemas de filtragem dos caminhões fora de estrada, presentes na Figura 7, são essenciais para garantir a integridade e o desempenho dos diversos componentes do veículo. Esses sistemas removem contaminantes do ar, óleo, combustível e fluidos hidráulicos, prolongando a vida útil dos componentes e prevenindo falhas mecânicas. A seguir, detalham-se os principais sistemas de filtragem utilizados nesses caminhões:

O filtro de ar é responsável por remover partículas de poeira e outros contaminantes do ar antes que ele entre no motor. Em ambientes de mineração, onde a presença de poeira é constante, a eficiência do filtro de ar é crucial para proteger o motor e garantir seu desempenho. Filtros de ar de alta qualidade são projetados para capturar partículas extremamente pequenas, evitando que elas causem desgaste nos componentes internos do motor e reduzindo a necessidade de manutenção frequente.

O filtro de óleo remove contaminantes do óleo do motor, como partículas de metal e sujeira, que podem causar desgaste e danos aos componentes internos. A filtragem eficiente do óleo é essencial para manter a lubrificação adequada do motor, garantindo seu funcionamento suave e prolongando sua vida útil. Filtros de óleo de alta qualidade são projetados para suportar as condições extremas encontradas em operações de mineração, proporcionando proteção contínua ao motor

O filtro de óleo lubrificante desempenha um papel semelhante ao filtro de óleo do motor, mas é especificamente projetado para sistemas de lubrificação. Ele remove contaminantes do óleo lubrificante utilizado em diversos componentes do caminhão, como a transmissão e os sistemas hidráulicos. A filtragem eficiente do óleo lubrificante é crucial para garantir a operação suave desses sistemas e prevenir falhas mecânicas causadas por contaminantes

O filtro hidráulico integrado no tanque é responsável por remover contaminantes dos fluidos hidráulicos utilizados nos sistemas de direção, suspensão e operação da caçamba basculante. A filtragem eficiente dos fluidos hidráulicos é essencial para garantir a precisão e a eficiência das operações hidráulicas, prevenindo vazamentos e falhas nos componentes. Filtros

hidráulicos de alta qualidade são projetados para capturar partículas extremamente pequenas, garantindo que os fluidos hidráulicos estejam sempre limpos e livres de contaminantes.



Figura 7: Diferentes sistemas de filtragem em um caminhão fora de estrada com o sistema de filtragem de combustível em destaque.
Fonte: Adaptado de Donaldson (2024)

Todavia, o sistema de filtragem de mais relevância para o trabalho é o de diesel, como destacado na Figura 7, sendo discorrido a seguir.

4.2.3 Sistema de Filtragem de Combustível

O filtro de combustível é um dos componentes mais críticos nos sistemas de filtragem dos caminhões fora de estrada, especialmente em operações de mineração onde a qualidade do combustível pode variar. O filtro de combustível remove contaminantes do diesel, como partículas de sujeira e água, que podem causar danos aos injetores de combustível e outros componentes do sistema de injeção. A filtragem eficiente do combustível é essencial para garantir a combustão adequada e o desempenho do motor, prevenindo falhas e reduzindo a necessidade de manutenção. Filtros de combustível de alta qualidade são projetados para capturar partículas extremamente pequenas e separar a água do combustível, garantindo que apenas combustível limpo e puro entre no motor.

Os filtros de combustível são componentes críticos nos caminhões fora de estrada, especialmente em operações de mineração onde a qualidade do combustível pode variar significativamente. Esses filtros desempenham um papel vital na proteção do motor e na garantia de um desempenho eficiente e confiável. A seguir, detalham-se os principais aspectos dos filtros de combustível, sua importância e funcionamento.

Os filtros de combustível são essenciais para remover contaminantes do diesel antes que ele entre no sistema de injeção do motor. Contaminantes como partículas de sujeira, água e outros detritos podem causar danos significativos aos injetores de combustível e outros componentes do sistema de injeção, resultando em falhas mecânicas, perda de desempenho e aumento dos custos de manutenção. A filtragem eficiente do combustível é crucial para garantir a combustão adequada e o desempenho do motor, prevenindo falhas e reduzindo a necessidade de manutenção frequente.

Os filtros de combustível funcionam capturando e retendo contaminantes presentes no diesel. Eles são geralmente compostos por um meio filtrante de alta eficiência que pode capturar partículas extremamente pequenas. Além disso, muitos filtros de combustível modernos são projetados para separar a água do combustível, uma vez que a presença de água pode causar corrosão e outros danos aos componentes do sistema de injeção.

A água é um contaminante comum no diesel, especialmente em ambientes de mineração onde a umidade pode ser alta. Os filtros de combustível são equipados com separadores de água que removem a água do combustível, prevenindo a corrosão e outros danos aos injetores de combustível e componentes do motor.

Ao remover contaminantes do combustível, os filtros de combustível protegem os injetores de combustível e outros componentes críticos do sistema de injeção. Isso resulta em uma combustão mais eficiente, melhor desempenho do motor e menor necessidade de manutenção

Existem vários tipos de filtros de combustível utilizados em caminhões fora de estrada, cada um com características específicas para atender às necessidades das operações de mineração:

1. **Filtros Primários:** são os primeiros filtros no sistema de combustível e são responsáveis por remover as partículas maiores e a maior parte da água do diesel. Eles são geralmente instalados entre o tanque de combustível e a bomba de transferência.
2. **Filtros Secundários:** localizados após os filtros primários, os filtros secundários removem partículas menores e qualquer água residual que possa ter passado pelo filtro primário. Eles garantem que o combustível que chega aos injetores de combustível esteja extremamente limpo.
3. **Filtros de Alta Eficiência:** esses filtros são projetados para aplicações onde a qualidade do combustível é particularmente baixa ou onde a proteção máxima do motor é

necessária. Eles possuem meios filtrantes de alta eficiência que capturam partículas muito pequenas e oferecem uma separação de água superior.

A manutenção adequada dos filtros de combustível é essencial para garantir seu desempenho contínuo e a proteção do motor. Isso inclui a substituição regular dos filtros de acordo com as recomendações do fabricante e a inspeção periódica para detectar sinais de desgaste ou danos.



Figura 8: Sistema de filtragem de combustível do caminhão fora de estrada.
Fonte: Pesquisa direta (2024)

4.2.4 Diagnóstico

Com base nos dados do Sistema Integrado de Acompanhamento de Mina, Foi realizada a avaliação, por meio de diagramas de Pareto, dos principais ofensores entre os caminhões fora de estrada da mina trabalhada do período do dia 01/01/2023 a 01/01/2024, que apontou o número de intervenções corretivas (NICs) como um total de 8490. Com isso, foi possível perceber o grande impacto relacionado a falhas de motor diesel, totalizando 1590 NICs, distribuídos entre as 5 frotas, como exposto na Figura 9, no período observado.

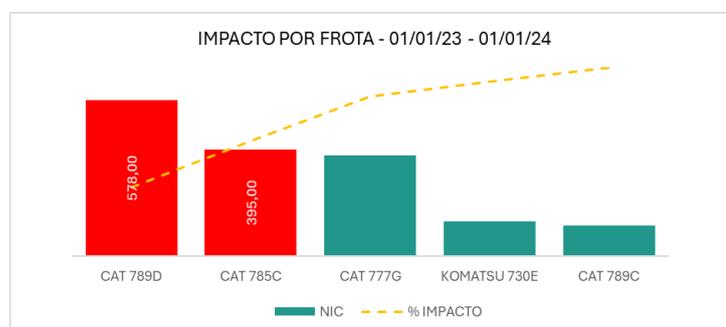


Figura 9: Impacto de NICs por frotas dos equipamentos
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Diante disso, ao avaliar aos principais conjuntos ligados às falhas de motor diesel, na Figura 10, fica evidente a grande presença de intervenções intrínsecas ao combustível e ao

motor a combustão propriamente dito, que serão ainda mais especificados nas seleções realizadas na Figura 11.

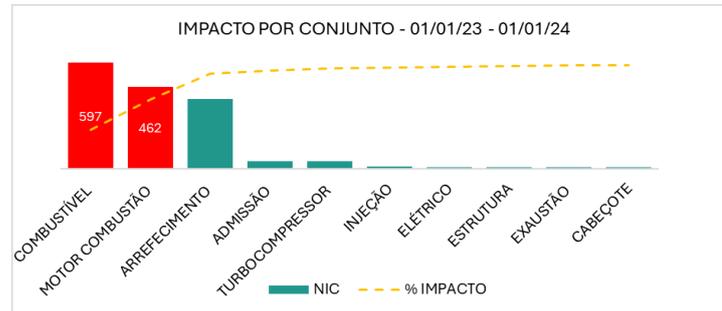


Figura 10: Principais conjuntos impactados por quantidade de NICs
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Dessa forma, ao extratificar os principais itens que geram impacto dentro do sistema ofensor, como é possível perceber na Figura 11, destaca-se a recorrência dos filtros separadores, com 581 NICs no período observado, gerando um grande ponto de atenção para o componente em questão. Além de 518 desses NICs estarem diretamente relacionados à falhas de obstrução.

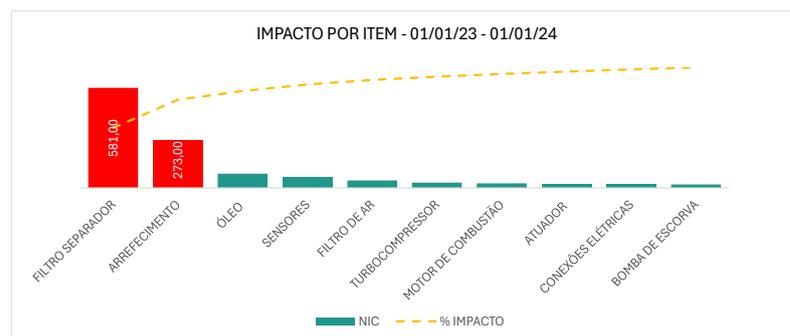


Figura 11: Principais itens impactados por quantidade de NICs
Fonte: Pesquisa direta (2024)

É importante ressaltar que, ao avaliar as principais soluções apresentadas para a totalidade de falhas relacionadas a motores diesel, como presente na Figura 12, 814 dos NICs dizem respeito a trocas, sendo 533 desses NICs ligados à troca de filtros separadores.

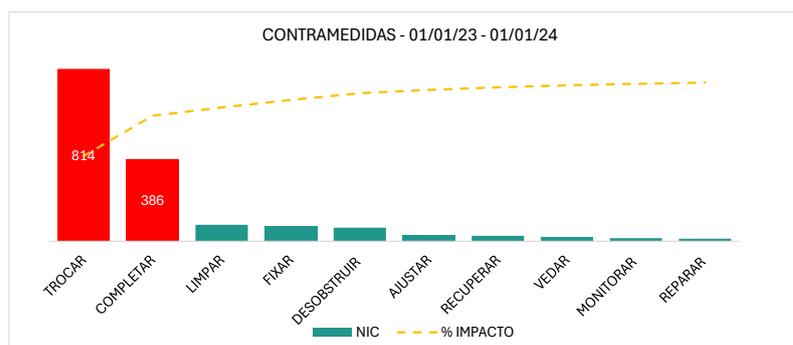


Figura 12: Principais soluções para as falhas e a quantidade de NICs a que estão relacionadas

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Diante do exposto, foi possível concluir que 533 das 1590 intervenções relacionadas a motores disel foram resolvidas pela troca de filtros separadores, totalizando cerca de 33,5% das intervenções relacionadas a esse sistema. Além desse quantitativo representar 5,96% de todas as 8490 intervenções realizadas durante todo o ano.

4.3 Aplicação da Manutenção de Melhoria de Um Filtro Separador

No início do ano de 2024 iniciaram-se estudos dos principais ofensores do perfil de perdas de uma frota de caminhões fora de estrada e, como apontado no Tópico 4.2.4, foi identificado que a troca de filtros separadores, no ano de 2023, foi responsável por 533 NICs. Esse quantitativo representou 33,5% das intervenções relacionadas a motores diesel e 5,96% das intervenções totais.

Desse modo, em busca de diminuir o número de NICs totais e alavancar o desempenho dos equipamentos em relação a indicadores, com uma pesquisa de mercado, foi possível avaliar os filtros de fibra de coco de uma empresa especializada em filtragem, e sua adaptação para instalação nos equipamentos das frotas 789 e 777, que apresentaram um grande número de paradas no período observado, como percebido na Figura 9.

A Figura 13 cita as principais características do filtro apresentado para a realização da melhoria, expondo a grande durabilidade do filtro, de até 1500 horas, composição de fibras de casca coco carregadas eletrostaticamente e capacidade de reter uma grande quantidade de contaminantes do combustível.



Figura 13: características do filtro apresentado
Fonte: Adaptado do manual da empresa (2024)

O filtro separador feito de coco apresenta menor micragem e, mesmo assim, um menor número de obstruções, pois a fibra de coco é eletrostaticamente carregada positivamente, fazendo com que partículas eletropositivas presentes no combustível sejam repelidas e desçam em direção ao dreno, onde podem ser expurgadas como pode-se perceber no teste realizado na Figura 14. Já os contaminantes eletronegativos são atraídos para a superfície do material

filtrante, onde ficam agregados até a saturação do filtro, embora possam ser expelidos com um jato de ar mesmo após essa situação, retornando o componente à operação após a desobstrução.



Figura 14: partículas repelidas do combustível após utilização do filtro em testes
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Com base nas informações apresentadas, após firmar contrato de teste dos filtros nos caminhões fora de estrada da frota, a empresa, de prontidão, realizou as alterações necessárias nas carcaças dos filtros a fim de viabilizar a compatibilidade com os equipamentos, resultando no componente presente no esquema da Figura 15. O filtro separador apresenta então refil de fácil remoção, que deve ser acoplado à carcaça de alumínio, devidamente projetada de modo a ser compatível com as conexões dos caminhões.

A nova carcaça apresenta também copo transparente na base para facilitar a visualização de impurezas repelidas eletrostaticamente e um parafuso purgador para realizar o expurgo desses contaminantes de forma facilitada. Além disso, a base da carcaça apresenta também uma rosca M12 para o acoplamento de sensores, facilitando a manutenção preditiva por meio da telemetria.

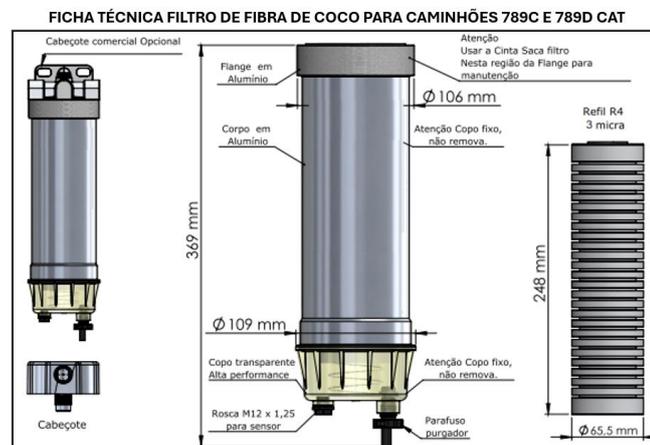


Figura 15: Esquema apresentado da adaptação do filtro para os caminhões fora de estrada
Fonte: Adaptado do manual da empresa (2024)

Juntamente ao esquema apresentado, foram também disponibilizadas características adicionais do filtro separador, Figura 16, expondo informações como material utilizado, faixas de potência e temperatura na qual deve funcionar, pesos e medidas. Somam-se a essas informações, as vantagens apontadas, destacando-se a maior capacidade de retenção de partículas sólidas, separação de praticamente toda a água capaz de contaminar o combustível, redução da emissão de poluentes em até 83%, otimização do consumo de diesel, corpo permanente (com troca apenas do refil) e, o destaque do trabalho, a considerável redução de intervenções para troca de filtros.

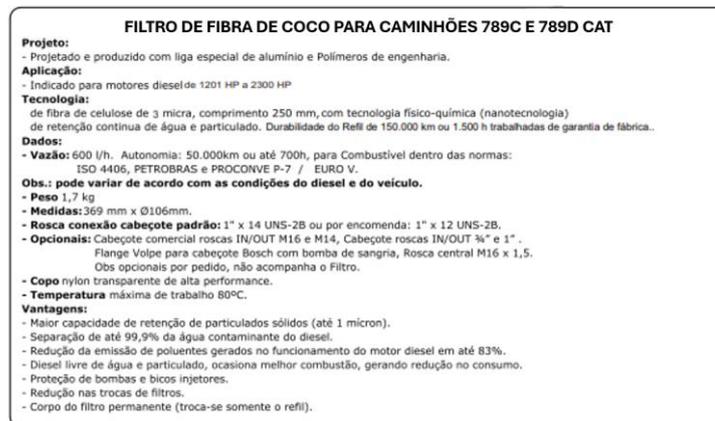


Figura 16: Características do filtro apresentado com adaptações para os caminhões fora de estrada
Fonte: Adaptado do manual da empresa (2024)

Então, com base nessas informações, os filtros separadores foram instalados em alguns equipamentos, Figura 17, a fim de realizar testes de performance e avaliar a evolução de seu desempenho com a utilização do novo componente. Como é possível perceber na Figura 18, após um dia de funcionamento na mina, a base do copo do filtro apresentava uma quantidade considerável de partículas, a ponto de serem vistas a olho nu, apontando rumo positivo para a manutenção de melhoria.



Figura 17: filtro devidamente instalado em um caminhão
Fonte: Pesquisa direta (2024)



Figura 18: Particulado expurgado do filtro após um dia de funcionamento do caminhão na mina
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Posteriormente, com o filtro performando 2500 horas sem necessidade de troca em um caminhão, sua aplicação foi gradativamente expandida para outros equipamentos da frota, com o objetivo de realizar a gestão de mudança em todos os equipamentos e utilização dos componentes em outras minas. Diante disso, a seguir, será possível realizar a comparação entre os cenários anterior e posterior à instalação do filtro na frota e efetivamente analisar o impacto da manutenção de melhoria nos indicadores.

4.4 Análise dos Indicadores

Dentro do trabalho foram avaliados dois cenários, o inicial, abrangendo os meses de janeiro de 2023 a novembro de 2023, e o cenário posterior à realização da gestão de mudança dos filtros separadores em todos os caminhões da frota, de dezembro de 2023 a abril de 2024. Diante disso, posteriormente a realização do processo de manutenção de melhoria, foi possível, com os dados coletados, realizar a análise dos principais indicadores anteriormente, e posteriormente à gestão de mudança. Dessa maneira, a seguir, serão analisados DF, MTTR, MTBF, a quantidade total de filtros separadores trocados e seu impacto em cada um desses indicadores. Além disso, é importante ressaltar que, para os indicadores, embora existam referências técnicas visadas pela empresa para cada um, suas metas são variáveis em relação aos meses.

Iniciando a análise pela disponibilidade física dos equipamentos, ao observar a Figura 19 é possível perceber que, anteriormente à instalação dos filtros separadores a meta de DF foi alcançada em um total de 3 meses, sendo também alcançada nos 3 primeiros meses após a mudança. No entanto, os valores do indicador enfrentam uma queda durante os meses de março e abril.

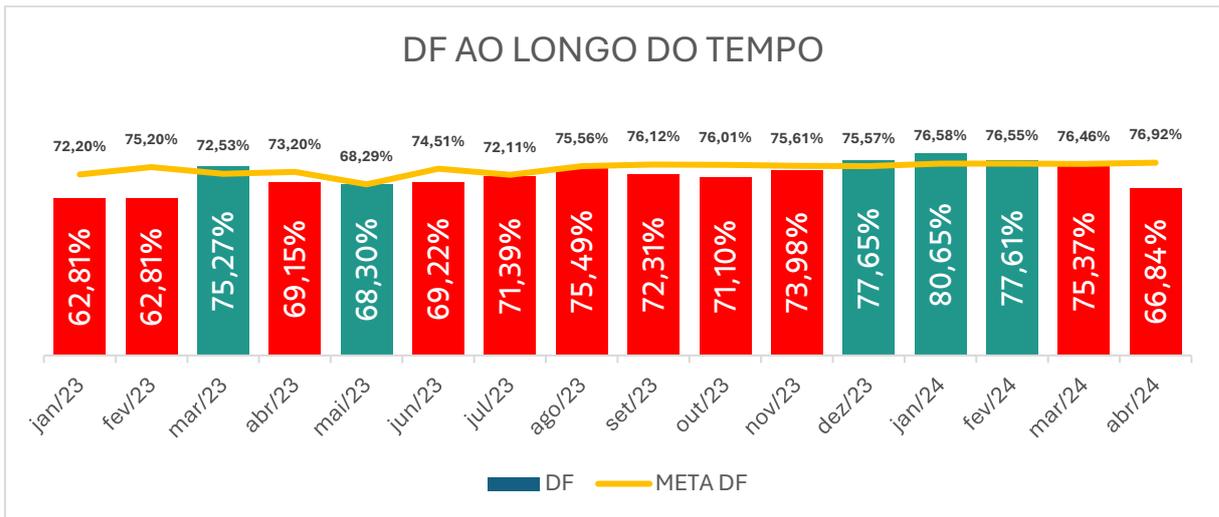


Figura 19: Acompanhamento mensal dos valores e metas de DF
Fonte: Pesquisa direta (2024)

De forma similar à disponibilidade física, o tempo médio de reparos, como é possível visualizar na Figura 20, alcança a meta mensal duas vezes antes da mudança e três vezes posteriormente. Contudo, no último mês analisado, o valor de horas do indicador quase duplicou, sendo maior alto do que qualquer um no período observado, mesmo antes da instalação dos novos filtros.

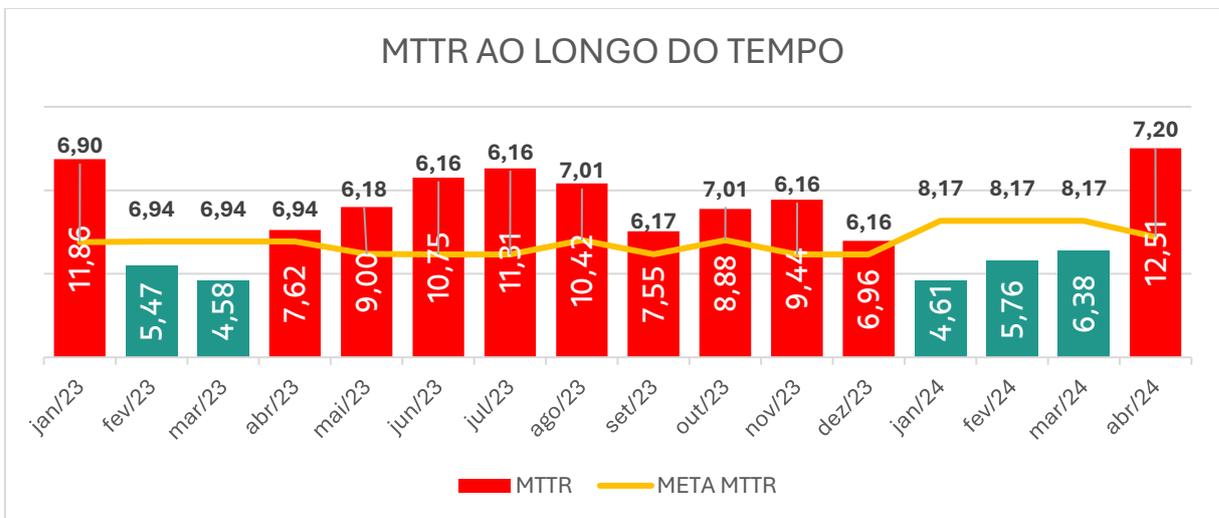


Figura 20: Acompanhamento mensal dos valores e metas de MTTR
Fonte: Pesquisa direta (2024)

Diante das informações apresentadas anteriormente, é possível inicialmente inferir que a troca dos filtros separadores não apresentou nenhuma alteração no cenário da frota de caminhões fora de estrada. Todavia, a Tabela 2 torna visível o impacto gerado na DF e no MTTR pela troca desses componentes.

Como presente na Tabela 2, o impacto, em porcentagem, da troca de filtros na DF é elevado até o mês de novembro, mas diminui consideravelmente a partir do mês de dezembro.

O que acontece de forma muito semelhante no impacto em relação à quantidade de horas no MTTR, com a quantidade de horas reduzindo de forma drástica a partir de dezembro e, em ambos os casos, alcançando o menor impacto em abril de 2024, último mês analisado.

Entretanto, é necessário ressaltar que, mesmo com a redução do impacto em ambos os indicadores, a melhoria não é percebida na visão mensal de DF e MTTR, ao passo que as trocas de filtros são realizadas de forma rápida, sendo processos que demandam poucas horas de manutenção. Dessa forma, as trocas de filtros, sozinhas, não são responsáveis por uma considerável diminuição na DF ou um considerável aumento no MTTR dos equipamentos.

Tabela 2 – Impactos das trocas de filtros na DF e no MTTR ao longo do tempo

| | IMPACTO DOS FILTROS NA DF | IMPACTO DOS FILTROS NO MTTR (h) |
|--------|---------------------------|---------------------------------|
| jan/23 | 0,11% | 0,04 |
| fev/23 | 0,63% | 0,09 |
| mar/23 | 0,29% | 0,05 |
| abr/23 | 0,37% | 0,09 |
| mai/23 | 0,72% | 0,21 |
| jun/23 | 0,65% | 0,23 |
| jul/23 | 0,66% | 0,26 |
| ago/23 | 1,10% | 0,47 |
| set/23 | 0,61% | 0,17 |
| out/23 | 0,51% | 0,16 |
| nov/23 | 1,00% | 0,36 |
| dez/23 | 0,43% | 0,14 |
| jan/24 | 0,56% | 0,13 |
| fev/24 | 0,36% | 0,09 |
| mar/24 | 0,25% | 0,06 |
| abr/24 | 0,11% | 0,04 |

Fonte: Pesquisa direta (2024)

É possível então analisar o último dos indicadores calculado, o tempo médio entre falhas, disposto ao longo do período observado na Figura 21. Em relação à DF e ao MTTR, o MTBF apresentou um cenário consideravelmente mais positivo no ano de 2023, ao passo que, anteriormente à mudança, esteve aderente à meta em 7 dos 11 meses, com o indicador caindo drasticamente no mês de agosto e seguindo esse cenário, embora alcançando a meta mais uma vez em novembro, antes das trocas. No entanto, a partir de dezembro de 2023, o indicador não apresentou melhorias consideráveis, alcançando a meta apenas no mês de fevereiro de 2024.

Diante da visão apresentada, fica aparente um cenário de baixa eficácia da manutenção de melhoria analisada. Contudo, a Figura 22 apresenta um pico de trocas de filtros no mês de agosto de 2023, o que comunica diretamente com o MTBF, impactado fortemente a partir desse mês, mesmo que aderente à meta em novembro.

A partir de dezembro é perceptível a mudança de cenário, com a diminuição no número mensal de trocas de filtros separadores de diesel ao longo dos meses. Dessa forma, mesmo não aderentes à meta, a quantidade de intervenções corretivas relacionadas à troca desses componentes ainda apresentaram grande impacto ao MTBF. Como exposto na Tabela 3, o impacto, em horas, no indicador começa a subir a partir do mês de abril, alcançando seu pico no mês de novembro e diminuindo consideravelmente a partir de dezembro.

De fato, o MTBF não alcançou a meta todos os meses após a mudança dos filtros, consequência de outras problemáticas resultando em intervenções nos ativos, elevando o número total de intervenções corretivas nos meses analisados. No entanto, é perceptível o grande impacto desse novo cenário no indicador, já que uma menor quantidade de NICs eleva o tempo médio entre paradas, aos poucos melhorando a saúde da frota e possibilitando com que as equipes responsáveis possam focar em outros ofensores a fim de alavancar o desempenho e confiabilidade dos ativos.

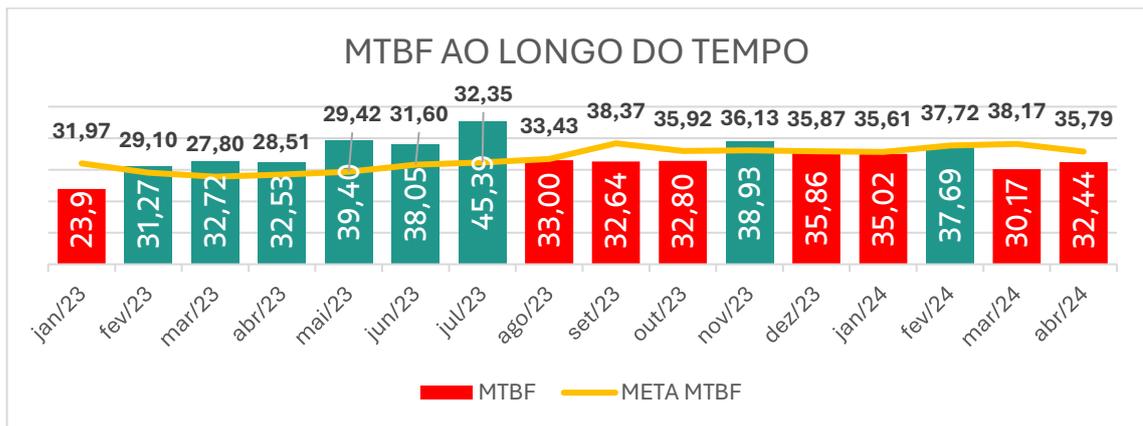


Figura 21: Acompanhamento mensal dos valores e metas de MTBF

Fonte: Pesquisa direta (2024)

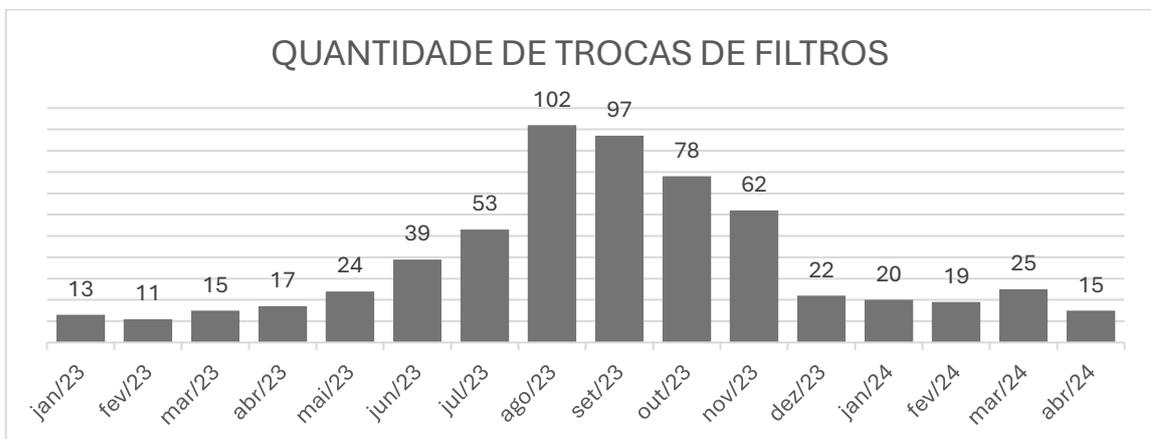


Figura 22: Acompanhamento mensal de troca de filtros

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Tabela 3 – Impactos das trocas de filtros no MTBF ao longo do tempo

| | IMPACTO NO MTBF (h) |
|--------|---------------------|
| jan/23 | 0,884517045 |
| fev/23 | 0,809341176 |
| mar/23 | 0,885920578 |
| abr/23 | 1,103812375 |
| mai/23 | 2,163844394 |
| jun/23 | 2,032808219 |
| jul/23 | 2,915963636 |
| ago/23 | 2,968253968 |
| set/23 | 2,865230769 |
| out/23 | 2,306943192 |
| nov/23 | 3,063020305 |
| dez/23 | 1,497001898 |
| jan/24 | 1,438193018 |
| fev/24 | 1,673154206 |
| mar/24 | 1,363924051 |
| abr/24 | 1,050971922 |

Fonte: Pesquisa direta (2024)

Diante do exposto, é possível concluir que, embora a influência da manutenção de melhoria na DF e no MTTR não tenha sido muito expressiva, seu impacto em horas de MTBF foi considerável, com o mês de abril de 2024 tendo esse valor 65,68% inferior ao de novembro de 2023. Ainda que a substituição dos filtros separadores diesel não tenha resultado sozinha na aderência dos indicadores às suas metas, ou mesmo referências técnicas, sua aplicação representou uma melhoria que viabiliza a mudança de cenário da frota, ao passo que, ao diminuir os esforços relacionados às intervenções corretivas de trocas desses componentes, permite maior foco no estudo de melhorar outras questões nos equipamentos, como o problema dentro dos próprios tanques de combustível que levam às obstruções dos filtros.

Sendo assim, a manutenção de melhoria dos filtros diesel, mesmo, de imediato, não gerando o alcance das metas dos indicadores analisados, pode apresentar impacto positivo na frota como um todo ao abrir caminho para a alavancagem dos indicadores no futuro, assim, aumentando o desempenho e a confiabilidade de toda a frota de ativos.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

A implementação de filtros separadores de água do diesel, que desempenham um papel crucial na eficiência e durabilidade dos sistemas de injeção de motores a diesel, mesmo que, imediatamente, não tenha resultado em melhorias notáveis nos indicadores de desempenho da frota, foi responsável por considerações relevantes para os equipamentos.

Na análise dos indicadores, foram avaliados diversos parâmetros que refletem o desempenho da frota após a implementação da manutenção de melhoria dos filtros separadores de diesel. A disponibilidade física dos equipamentos e o tempo médio de reparos mostraram um impacto relativamente baixo, indicando que, devido as trocas de filtros serem realizadas de forma rápida e não demandando de muitas horas de manutenção, sua influência direta nesses indicadores não foi tão expressiva.

Em contrapartida, o tempo médio entre falhas, embora sem aumento expressivo, apresentou maior impacto direto, evidenciando que os caminhões apresentaram menos falhas operacionais, o que é crucial para a eficiência da frota. A quantidade total de filtros trocados durante o período de observação também se mostrou um indicativo positivo, a maior durabilidade do componente analisado e contribuindo para a melhoria do MTBF.

A comparação entre os períodos anterior e posterior à instalação dos filtros separadores permitiu visualizar o impacto da manutenção de melhoria. Os dados coletados mostraram que a implementação dos novos filtros, mesmo não apresentando evolução expressiva nos três indicadores, proporcionou uma base sólida para a tomada de decisões estratégicas em relação à gestão da frota. A análise dos indicadores demonstrou que a manutenção de melhoria pode ser uma prática essencial para maximizar o retorno sobre o investimento em ativos e garantir a competitividade da empresa no mercado.

Em suma, a pesquisa conclui que a manutenção de melhoria dos filtros de pode garantir a eficiência operacional e a durabilidade dos motores a diesel. Pode-se então concluir que o cenário alcançado abre espaço para a correção de outras problemáticas nos equipamentos e processos e, principalmente, a aplicação de novas manutenções de melhorias, viabilizando assim a elevação de desempenho e confiabilidade de toda a frota de ativos da empresa.

5.2 Recomendações

A partir do trabalho apresentado, recomenda-se as seguintes propostas que poderão ser utilizadas em trabalhos futuros relacionados ao tema aqui abordado:

- Estudo da contaminação de sistema de motores diesel e tanques de combustível de uma frota de caminhões fora de estrada;
- Análise de eficácia da manutenção de melhoria de filtros de diesel de uma frota de caminhões fora de estrada ao longo de um ano;
- Estudo de confiabilidade de uma frota de caminhões fora de estrada um ano após a aplicação de uma manutenção de melhoria de filtros diesel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KARDEC, A. **Gestão de Ativos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica**. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR5462: confiabilidade e maneabilidade: terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- XENOS, H. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Edição 2. Nova Lima: Falconi, 2014.
- POSTO DE ÓLEO SUZANO. **Filtro sedimentador ou separador de água para veículos pesados**. Disponível em: <https://postodeoleosuzano.com.br/filtro-sedimentador-ou-separador-de-agua-veiculos-pesados/>. Acesso em: 04 ago. 2024.
- VIANA, H. R G. **Manual da Gestão da Manutenção**. [S. L.]: Engeteles, 2020.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. New York: Industrial Press Inc., 1997.
- SMITH, A. C. **Maintenance engineering handbook**. New York: McGraw-Hill Education, 2004.
- BRASIL, G. B. F. **Gestão Moderna da Manutenção**. São Paulo: Editora Érica, 2018.
- KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção Preditiva – Fator de sucesso na gestão empresarial**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção: Função Estratégica**. 2.ed. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2001.
- GURSKI, C. A. G.; RODRIGUES, M. **Planejando estrategicamente a manutenção**. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.
- BRIALES, J. A; FERRAZ, F. T. **Melhoria contínua através do Kaizen**. Revista eletrônica de economia, n. 7, 2006.
- FERREIRA, R. R; MONTEIRO, S. A. P. **O kaizen como sistema de melhoria contínua dos processos: um estudo de caso na Mercedes-Benz do Brasil LTDA planta Juiz de Fora**. 2008. 70p. Monografia (Bacharelado em Secretariado Executivo Trilíngue) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

- LIKER, J. K.; MEIER, D.. **The Toyota Way Fieldbook**. New York: McGraw-Hill, 2007.
- FRAGA, G; LAVARDA, C. E. F. **Melhoria contínua: um estudo sobre a filosofia *Kaizen* em uma indústria**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- IMAI, M. ***Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success***. New York: McGraw-Hill, 1986.
- MONCHY, F. **A Função Manutenção – Formação para a gerência da manutenção industrial**. São Paulo: Durban/Ebras, 1989.
- BECHTOLD, M. J. **Manutenção Mecânica**. Florianópolis: Confederação Nacional das Indústrias, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2010.
- MEGIOLARO, M. R. O. **Indicadores de manutenção industrial relacionados à eficiência global de equipamentos**. 2015. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.
- MARTINS, A. P. R. P. **A Influência da Manutenção Industrial no Índice Global de Eficiência (OEE)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- BIASOTTO, E. **Aplicação do BSC na gestão da TPM: estudo de caso em indústria de processo**. 2006. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- PAULA, R. F. de. **Indicadores de manutenção: uma revisão sistemática da bibliografia e aplicações nas empresas brasileiras**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.
- BROWN, R. C. **Air Filtration: An Integrated Approach to the Theory and Applications of Fibrous Filters**. Oxford: Pergamon Press, 1993.
- BALACHANDRAN, B.; LI, Y.-Y.; FANG, C.-C. **A mechanical filter concept for control of non-linear crane-load oscillations**. *Journal of Sound and Vibration*, v. 228, n. 3, 1999.
- MORTIER, R. M.; FOX, M. F.; ORSZULIK, S. T. **Automotive Lubricants and Testing**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- TESTEZLAF, R. **Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 604-613, 2008.

TRAUTMANN, P.; SCHÜTZ, S.; REYINGER, J.; et al. **New routes for water separation from diesel fuel.** MTZ Worldwide, v. 72, p. 30-35, 2011.

SARTOMO, A et al. **Current technology of biodiesel fuel filtration (water separator and contaminants) – Marine application – A short review.** AIP Conference Proceedings, v. 2646, n. 1, 27 abr. 2023.

WEISER, T.; LANG, H. P.; KLÖPFER, M. **A water separation concept for diesel fuel filter systems mounted on the pressure side.** MTZ Worldwide, v. 66, p. 15-17, 2005.

MIRANTE ENGENHARIA. **Da mina ao porto.** Disponível em: <https://miranteengenharia.com.br/mirante-da-mina-ao-porto/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

RICHARDS, M., WEST, S. **Fundamentals of earthmoving.** LACD Mining Equipment Forum. Calama, Chile. Novembro 2003.

DONALDSON. **Mining: Donaldson unearths better performance.** Disponível em: <https://www.donaldson.com/en-jp/engine/oem-systems/industries/mining/>. Acesso em: 02 dez. 2024.

CATERPILLAR. **Caminhão Fora-de-estrada 777.** Disponível em: https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/off-highway-trucks/off-highway-trucks/115641.html. Acesso em: 02 dez. 2024.