



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



MARLLA FRANCIELLE ARAUJO SOARES

**ESTUDO DA PREVISIBILIDADE E EXECUÇÃO DAS ORDENS DE
MANUTENÇÃO CONDICIONAIS PARA UMA FROTA DE TRATORES
DE ESTEIRA: O CASO DE UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO**

OURO PRETO - MG
2025

MARLLA FRANCIELLE ARAUJO SOARES

marllaaraujo17@gmail.com

**ESTUDO DA PREVISIBILIDADE E EXECUÇÃO DAS ORDENS DE
MANUTENÇÃO CONDICIONAIS PARA UMA FROTA DE TRATORES
DE ESTEIRA: O CASO DE UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO**

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

S676e Soares, Marlla Francielle Araujo.

Estudo da previsibilidade e execução das ordens de manutenção condicionais para uma frota de tratores de esteira [manuscrito]: o caso de uma empresa de mineração. / Marlla Francielle Araujo Soares. - 2025. 57 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Washington Luis Vieira da Silva.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Manutenção. 2. Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). 3. Minas e recursos minerais. 4. Minas e recursos minerais - Máquinas industriais. I. Silva, Washington Luis Vieira da. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marlla Francielle Araujo Soares

Estudo da previsibilidade e execução das ordens de Manutenção condicionais para uma frota de tratores de esteira: o caso de uma empresa de mineração

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 13 de Agosto de 2025

Membros da banca

DSc. Washington Luis Vieira da Silva - 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 Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/08/2025



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/08/2025, às 08:18, 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 **0965649** e o código CRC **7509D5BA**.

Ao meu tudo, minha família que nunca saiu do meu lado, minha mãe, Eunice, meu pai, Francisco e meu irmão Kayon.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, Francisco e Eunice, que são minha maior fonte de inspiração e força. E ao meu querido irmãozinho Kayon, que sempre encontra uma maneira de iluminar meus dias. O apoio incansável, o carinho e o incentivo de vocês foram o alicerce em cada passo dessa jornada, tornando essa conquista tão de vocês quanto minha. Sei que a saudade apertou e os 685 quilômetros entre nós tornaram tudo ainda mais difícil, mas juntos superamos a distância e alcançamos nosso objetivo com todo o merecimento.

Agradeço ao Professor Washington, meu orientador, pela atenção, dedicação e compromisso ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação firme e constante, especialmente em relação aos prazos, mesmo eu nem sempre colaborando, foi fundamental para a realização deste TCC.

A gloriosa Escola de Minas, que, além do prestigioso ensino, me proporcionou conhecer amigos extraordinários.

“Todo caminho da gente é resvaloso. Mas também, cair não prejudica demais - a gente levanta, a gente sobe, a gente volta! O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.”.

Guimarães Rosa.

RESUMO

Este estudo aborda a previsibilidade da execução das ordens de manutenção condicional na frota de tratores de esteira de grande porte de uma empresa de mineração. A justificativa para a realização do trabalho é a necessidade de ter maior controle, fundamentos técnicos e lógicos para a elaboração das datas programadas para realizar as manutenções condicionais, com o objetivo de realizar o estudo da previsibilidade das ordens de manutenção condicionais, a partir da Disponibilidade Física, de equipamentos de uma empresa de mineração. A metodologia inclui análise de dados históricos e aplicação de indicadores de manutenção, buscando identificar os fatores que impactam na previsibilidade das falhas, sendo este um estudo de caso. Os resultados destacam que a integração entre inspeção, planejamento e controle da manutenção, são fundamentais para a realização das ordens condicionais no prazo planejado, uma vez que os principais desafios devem ser comunicados e controlados pelas duas equipes, já que no estudo analisado a Disponibilidade Física dos tratores é a menor entre as metas e está reduzindo a meta anual da mina, sendo então um ponto de atenção.

Palavras-chave: Manutenção, Planejamento e Controle de Manutenção, mineração, máquinas de mineração.

ABSTRACT

This study addresses the predictability of executing conditional maintenance orders on a fleet of mining company's bulldozers. The motivation for this work arises from the need for greater control, grounded in technical and logical fundamentals, to establish programmed dates for carrying out conditional maintenance tasks. The aim is to study the predictability of these maintenance orders based on the Physical Availability of equipment in a mining company. The methodology includes analysis of historical data and application of maintenance indicators, seeking to identify the factors that influence failure predictability; this is a case study. The results emphasize that the integration between inspection, planning, and maintenance control is crucial for executing conditional orders within the planned timeframe, as the main challenges must be communicated and managed by both teams. It is recommended that future actions focus on expanding the use of digital technologies, continuous training of teams, and systems integration, aiming to improve maintenance efficiency in the mining sector.

Keywords: Maintenance, Maintenance Planning and Control, Mining, Mining Equipment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da Manutenção.	6
Figura 2: Fluxograma de serviços.	13
Figura 3: Fluxograma ordens de manutenção da inspeção.	14
Figura 4: Níveis de criticidade.	15
Figura 5: fonte da carteira de serviços.	18
Figura 6: Etapas para realização do trabalho.	23
Figura 7: Organograma do estudo de caso.	28
Figura 8: Agregado da DF de janeiro a outubro de 2024.	30
Figura 9: DF de janeiro a outubro de 2024.	31
Figura 10: DF por frota.	31
Figura 11: Trator grande porte dianteira.	33
Figura 12 Trator 1 grande porte traseira.	34
Figura 13: Falhas na frota de tratores.	35
Figura 14: Planilha de controle do AMC.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Variáveis e indicadores.	24
---	----

LISTA DE SÍMBOLOS

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

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção;

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.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2.
1.3	Objetivos.....	3.
1.3.1	Geral	3.
1.3.2	Específicos.....	3.
1.4	Estrutura do Trabalho	4.
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3	METODOLOGIA.....	22.
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26.
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	40
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Dentro dos diversos desafios das empresas, a integração da estrutura organizacional é um dos principais, visto que funções organizacionais como produção, vendas e manutenção devem estar interligadas. Neste sentido, a manutenção passa a ser indispensável como suporte para a função produção.

De acordo com a Norma Regulamentadora Brasileira - NBR 5462 (1994, p.6), a definição de manutenção é “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Nesse contexto de ações técnicas e administrativas para a manutenção, o Planejamento e Controle da Manutenção - PCM é inserido como uma das áreas da manutenção. Viana (2014) apresenta o PCM como um dos progressos da manutenção para melhoria da saúde dos ativos. Assim, o mesmo autor aborda que a manutenção busca aumentar a disponibilidade física e afirma que se deve almejar a melhoria e qualidade constante, além de buscar e monitorar os parâmetros de melhoria e qualidade dos processos. Neste sentido, os indicadores de manutenção são essenciais para o monitoramento e controle dos processos de manutenção.

Os indicadores de manutenção são utilizados em várias empresas e em diferentes setores, como forma de monitorar e garantir o cumprimento das rotinas e processos, como afirma Viana (2014). O autor classifica os indicadores de manutenção:

- MTBF – *Mean Time Between Failures* – Tempo Médio Entre Falhas;
- MTTR – *Mean Time To Repair* – Tempo Médio Para Falha;
- Tmpf – Tempo Médio Para Falha;
- DF – Disponibilidade Física da maquinaria;
- Custo de Manutenção por Faturamento;
- Custo de Manutenção por Valor de Reposição.

Embora tenha essa classificação, o caso estudado tem indicadores específicos da empresa para cada tipo de manutenção, sendo a Aderência às Ordens Condicionais (AMC), referente a execução das atividades de manutenção preditiva ou condicional, expostas pelos

inspetores. O Xenos (2002) define a manutenção preditiva como sendo mais moderna, já que utiliza de diversas tecnologias para inspecionar os ativos em procura de alguma possível falha. Nesse sentido, a mineração é um setor da indústria que é necessário uma inspeção rigorosa dos seus ativos.

A previsibilidade das OM's são fundamentais para a logística de planejamento e execução da ordem, já que toda a organização é feita para ser realizada a atividade a partir da data estimada, portanto uma estimativa coerente com a realidade e levando em consideração os fatores principais para a aderência as ordens de manutenção condicional.

A mineração, segundo Curi (2014), é um fascínio da humanidade, desde a utilização dos minérios usados nas pinturas rupestres, até a atualidade com suas diversas aplicações. E o autor complementa que com a tecnologia moderna e a globalização, a qualidade da mineração está em constante evolução.

Com isso, precisa-se avaliar as principais falhas dos equipamentos e suas causas na execução das manutenções. Assim, é necessário verificar como a empresa realiza a previsibilidade e a execução das ordens condicionais, atentando-se para o planejamento das ordens de serviço, aprovisionamento do material e a programação das ordens. Diante disso, o estudo está direcionado a realizar a previsibilidade dessas ordens de serviço, a partir da análise da Disponibilidade Física (DF).

Portanto, diante do contexto, tem-se a seguinte problemática:

Como realizar o estudo da previsibilidade e a execução das ordens de manutenção condicionais na frota de tratores em uma empresa de mineração?

1.2 Justificativa

O trabalho também os principais desafios para uma colaboração eficaz entre a área do PCM, inspeção e execução, visando garantir a coesão na execução das atividades de manutenção.

Por esse motivo, é importante a análise da periodicidade das inspeções, ou seja, os parâmetros de tempo ou situações para se realizar uma inspeção. A partir desses dados e da proposta de melhoria, é possível estruturar um plano de ação que torne as manutenções condicionais mais eficazes, visando reduzir a probabilidade de falhas e garantir uma execução

de qualidade. Com a etapa de inspeção analisada e seus pontos críticos identificados, o estudo segue para a avaliação do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), que é fundamental para transformar os dados das inspeções em ações efetivas.

Portanto, o PCM é crucial para alcançar essas metas, uma vez que se tem como objetivo aperfeiçoar e controlar todas as etapas de monitoramento do ativo. Por isso, Viana (2014, p.4) afirma:

O impacto do Planejamento e Controle da Manutenção para a saúde de uma empresa é primordial, pois seria impossível um atleta competir com chances de vitória, se o seu organismo estivesse debilitado. A manutenção industrial cuida dos intramuros de uma companhia e o PCM a organiza e a melhora; se este for eficiente, a companhia terá saúde financeira para existir e colocar seus produtos no mercado, com qualidade superior e preço competitivo.

Nesta visão os indicadores entram para medir a qualidade de cada etapa da manutenção, e esses indicadores são uma importante ferramenta para o controle do processo de manutenção. O indicador em destaque seria a Disponibilidade Física da máquina, métrica importante para destacar quais máquinas e frotas estão com mais índices de tempo em inatividade, sendo a inativa fator mais trabalhado para não acontecer na manutenção.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Realizar o estudo da previsibilidade das ordens de manutenção condicionais, a partir da Disponibilidade Física, de equipamentos de uma empresa de mineração.

1.3.2 Específicos

- Realizar o estudo teórico sobre: manutenção, Planejamento e Controle da Manutenção e indicadores de manutenção;
- Elaborar um procedimento metodológico para selecionar a frota do equipamento para realizar a previsibilidade e execução das ordens de manutenção;
- Analisar a frota com menor DF do último ano em relação às ordens condicionais para realizar a previsibilidade das ordens dos equipamentos selecionados.

1.4 Estrutura do Trabalho

A estrutura do trabalho é realizada com cinco capítulos, com o objetivo de analisar de maneira detalhada a previsibilidade das ordens de manutenção condicionais de equipamentos de mineração.

O primeiro capítulo detalha a formulação do problema, com os questionamentos iniciais, acerca da manutenção em uma empresa de mineração. Também é realizada a justificativa do questionamento, do qual enfatiza a importância da gestão de manutenção, e a comunicação assertiva do PCM com a inspeção para uma manutenção de qualidade. Por fim, nesse capítulo é listado os objetivos gerais e específicos do estudo.

O segundo capítulo aborda o referencial teórico, destacando os conceitos básicos e objetivos acerca da manutenção, como: os tipos de manutenção, as práticas do PCM na indústria e como é realizado os cálculos de indicadores. Portanto, é fundamental a aplicação do capítulo para a realização do estudo.

No terceiro capítulo é apresentado a metodologia aplicada no estudo, com os formatos de pesquisa utilizados, assim demonstrando quais são os procedimentos técnicos para a realização da pesquisa. Quais são os materiais e métodos empregados, e como é realizado as etapas de desenvolvimento com as variáveis disponíveis e como é feita a tabulação dos dados.

No quarto capítulo, o desenvolvimento mostrado e discutido no estudo é analisado. Descreve-se a forma realizada para a escolha da frota, os detalhes do equipamento, o histórico de falhas e o controle do AMC, para assim chegar na questão da previsibilidade das OM's de manutenção condicional e quais são os fatores que devem ser levados em conta para a realização.

O quinto capítulo conclui o trabalho com os resultados obtidos a partir de toda a análise realizada. E também tem as recomendações para pesquisas futuras, relacionadas ao tema da previsibilidade de manutenção, para possibilitar mais desenvolvimento da questão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

A manutenção, vem do latim “*manus tenere*” que significa manter o que se tem, esse conceito é antigo, e se tornou um tema complexo, caminhando de acordo com a modernidade e as necessidades da economia, de acordo com Gregório (2018). O mesmo autor afirma que a manutenção industrial é um objeto de estudo desde o início da Revolução Industrial, quando os trabalhos começaram a ser primordialmente mecanizados.

De acordo Rocha (1995, p.12), “a manutenção cabe zelar pela conservação da indústria, especialmente de máquinas e equipamentos, devendo antecipar-se aos problemas através de um contínuo serviço de observação dos bens a serem mantidos”. Portanto, a visão do autor diz que a manutenção requer mais do que apenas manutenções corretivas, e sim observar e eliminar possíveis falhas.

A definição da manutenção está estabelecida, conforme normas, dicionários e diversos autores, e para Almeida (2005), o princípio básico e objetivos são os mesmos, manter o funcionamento das máquinas e equipamentos, decorrendo de técnicas, em que a produtividade e custo estejam em sua máxima qualidade. Em outras palavras significa o uso dos métodos da manutenção de acordo com a necessidade do processo e ao mesmo tempo preservando a segurança e o meio ambiente.

Considerando os marcos históricos e econômicos do mundo como refletores do desenvolvimento da manutenção, o Kardec *et al* (2009), dividiu a manutenção em quatro gerações. A Figura 1 aborda cada geração da manutenção e as suas características.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO							
Primeira Geração		Segunda Geração		Terceira Ger-		Quarta Geração	
1940 1950		1960 1970		1960 1990		2000 2010	
• Conserto após a talha		• Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento		• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente		• Maior confiabilidade • Melhor relação custo-benefício • Segurança • Infiuir nos resultados do negocio • Gerenciar os ativos	
• Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham		• Todos os equipamentos se comportam a idade e, por isso, a falham		• Existência de 6 padroes de falhas (Nowlan & Heap e Moubrey) Ver Capitulo 5		• Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento • Unificação das Manutenções Preventiva	
• Habilidades voltadas para o reparo		• Planejamento mandal da manutenção • Comoutardores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo) • Softwares otentes Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a conffabilidade		• Monitoramen-to da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Péquenos e rápidos computadores • Softwares potentes • Projetos vo-ltados para a confiabilidade		• Incease da Manutenção Preditiva e Monitoramento • Unificação das falna e seus modos de cirola • Unificação da Manutêncões Preventiva e Corretiva • Contratato por resultados	

Figura 1: Evolução da Manutenção.
Fonte: Kardec et al (2009).

Para Kardec *et al* (2009) a primeira geração da manutenção, ocorreu antes da Segunda Guerra mundial, o cenário das indústrias era de pouca mecanização nos processos de fabricação, ou seja, poucas máquinas e as que tinham eram máquinas superdimensionadas. Segundo a Figura 1, a manutenção desta geração, era realizado serviços básicos como limpeza, lubrificação e correções após falhas, basicamente utilizando a manutenção corretiva como estratégia.

A segunda geração da manutenção por volta dos anos 1950 a 1970, basicamente entre a Segunda Guerra Mundial até meados dos anos 70, de acordo com a Figura 1 do Kardec *et al* (2009). É a geração que o autor determina que com o crescimento da demanda proveniente da guerra há o decréscimo da mão de obra, assim a mecanização ganhou uma alta entre as empresas. Seguindo com o raciocínio do Kardec *et al* (2009), esse investimento em máquinas tornou a urgência em uma disponibilidade física maior e um controle de paradas das máquinas programadas para suprir as necessidades de produção. E o autor finaliza afirmando que com essa narrativa o conceito de manutenção preventiva foi estudado e implementado.

Nesta implementação, segundo Kardec *et al* (2009), foi utilizada intervalos agendados e fixos para a realização das manutenções preventivas, embora por outro lado, com os recursos e logísticas da época o custo nessas intervenções era considerado alto, assim com esse motivo se teve o Planejamento e Controle da Manutenção para integrar a manutenção.

A partir da década de 70, nesse período o sistema produtivo *just in time* estava em alta, e essa metodologia tinha o objetivo de evitar o desperdício e apenas fabricar o necessário para a produção. Dessa forma, esse fato motivou a confiabilidade e disponibilidade física a serem essenciais para manter as empresas (KARDEC *et al* 2009). E o autor termina essa geração revelando que com os clientes mais exigentes, esses princípios básicos da manutenção eram primordiais para alcançar os parâmetros de qualidade e produção exigidos. Portanto, nesta geração se fez presente a inspeção das condições da máquina para as paralisações, assim implementando o método da manutenção preditiva

Em tese, a quarta geração da manutenção perpétua até os dias atuais. Ela é caracterizada por minimização de manutenções corretivas e preventivas, e o aumento de análises de falhas, preocupação com segurança, meio ambiente, gerenciamento de ativos e a mais tecnológica em relação ao monitoramento das máquinas e com fundamentos em manutenção da confiabilidade e manutenibilidade Sendo assim uma manutenção voltada para as técnicas da engenharia da manutenção para garantir menos falhas e mais disponibilidade física dos ativos (KARDEC *ET AL*, 2009).

Dessa forma, com a constante evolução da manutenção, Almeida (2005), destaca que embora a manutenção possa passar a ideia errônea em que é algo apenas em relação a máquinas e equipamentos na execução de suas atividades. Na verdade, a manutenção tem importância em diversos fatores para o autor, sendo um desses, a logística de projetos de máquina. Almeida (2005) termina constatando outras atividades importantes para a manutenção:

- Desenvolver um equipamento os projetistas devem pensar na manutenção como fator crucial;
- Desenvolvimento das peças para facilitar a sua manutenção e retirada;
- Projeto ter um plano de manutenção eficaz e ágil.

2.2 Métodos de manutenção

Atualmente, com a evolução tecnológica e econômica, a manutenção é vista com mais complexidade do que apenas reparos quando os ativos falham, como visto anteriormente no capítulo 2.1. Por esse motivo ocorre uma divisão de tipos de metodologias da manutenção, como sendo as principais, a manutenção corretiva, preventiva e preditiva. Para compreender e aplicar essas metodologias, deve-se levar em consideração cada particularidade dos tipos de manutenção e seus benefícios (SELEME, 2015).

Entre as diversas classificações entre os autores, tem-se a abordagem do Seleme (2015), classificando as manutenções em:

- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Corretiva não Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Produtiva Total;
- Manutenção Centrada na Confiabilidade.

O autor Xenos (2002) classifica a importância dos métodos de manutenção e abrangem outros, sendo eles:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Produtiva;

Conforme Almeida (apud Bueno, 2020), afirma que a manutenção tem outras subdivisões possíveis. São as seguintes manutenções:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Produtiva Total (TPM);
- Manutenção Centrada na Confiabilidade;
- Gestão de ativos.

Para fins de aplicação do estudo, a base teórica está direcionada para compreensão dos três principais métodos de manutenção, que são: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

2.2.1 Manutenção corretiva

Para Xenos (2002), a manutenção corretiva tem a definição simples, é a manutenção em que é feita após o ativo falhar para que ele volte ao funcionamento. Embora a definição não tenha grandes discussões, Xenos (2002) afirma que o fato de utilizar a manutenção corretiva como estratégia é visto como um plano de algumas empresas, caso o custo, tanto o valor do reparo e o valor da parada da produção, seja mais baixo para empresa do que utilizar métodos de manutenção preventiva. No entanto, o Bueno (2020) contradiz que a manutenção corretiva é a manutenção com maior custo e como umas das causas para abaixar a saúde do ativo, independente da análise de custo.

Embora tenham essa discordância, é de consenso que a manutenção corretiva necessita de recursos básicos para maior rapidez em sua execução. Os recursos seriam um almoxarifado com as principais peças que danificam de acordo com o número da demanda, equipamentos e ferramentas para as intervenções e uma equipe para realizar os serviços necessários (BUENO, 2020).

O Seleme (2015) define a manutenção corretiva ou manutenção emergencial, em uma manutenção não planejada ou planejada, classifica essas manutenções do seguinte modo: a manutenção corretiva não planejada é uma falha em que a produção não espera e sem controle de onde está a falha; e a manutenção corretiva planejada é quando utiliza métodos de

monitoramento, como sensores, para monitorar o quão perto o sistema está se desgastando e está perto da falha.

2.2.2 Manutenção preventiva

As manutenções preventivas, para Bueno (2020), são as manutenções realizadas sem o ativo ter apresentado algum defeito, e feitas de acordo com o tempo estipulado pela fabricante. Tem o objetivo de mitigar ou minimizar manutenções emergenciais e as principais atividades dessa manutenção são: lubrificação, limpeza, inspeções e trocas de peças ou periféricos (BUENO, 2020).

Segundo Xenos (2002), a manutenção preventiva é a manutenção mais importante em uma empresa, embora pelo fato de ser uma manutenção sistemática e periódica, pode ser considerada a mais cara em relação a comparação da manutenção corretiva com o custo de manutenção, uma vez que há a troca de peças e periféricos antes da sua vida útil acabar.

Já para Seleme (2015), existem diversas justificativas para a realização das manutenções preventivas e as suas vantagens são diversas. Sendo umas das principais a baixa no custo, uma vez que, uma manutenção preventiva tem menos gastos do que uma possível manutenção corretiva. Outra vantagem que ele cita, seria para a saúde do ativo, já que com uma manutenção eletromecânica ou de lubrificação o ativo aumenta a sua vida útil. E Seleme (2015) continua afirmando, outro benefício da manutenção preventiva seria a conveniência em planejar e programar suas paradas para manutenção, assim organizando a logística dos trabalhos para efetuar a manutenção. E finaliza, com a importância de levar a cultura de preservação para a equipe de produção.

Essas manutenções na indústria são organizadas por meio de um plano de manutenção, abrangendo as manutenções preventivas essenciais para o equipamento, as principais ações dos planos essenciais para a manutenção preventiva são: inspeção, manutenção, calibração, teste, alinhamento, regulagem e instalação (SELEME, 2015).

Segundo Bueno (2020), as principais formas de determinar o tempo para a realização da manutenção preventiva são: a forma de calendário, em que estipula uma data no calendário para realizar a manutenção; e tempo de funcionamento do equipamento, pode ser por tempo de funcionamento da máquina (horímetro) ou pela quilometragem. O autor explica também, que esses períodos de tempos são estipulados pelo fabricante, e alerta, que quando a manutenção

chega cada vez mais perto do limite máximo para a sua realização, mais alta é a porcentagem para o equipamento falhar.

2.2.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva ou manutenção controlada é um método de manutenção que utiliza de inspeções e testes para verificar a necessidade de alguma manutenção, segundo Xenos (2002). É uma forma de minimizar a manutenção corretiva ou preventiva (NBR 5462, 1994).

De acordo com Seleme (2015), a manutenção preditiva é mais do que apenas inspeções é uma forma tecnológica e inovadora para ter exatidão de quando realizar a troca do periférico, e não necessita do método de ciclo de vida. Seleme (2015) afirma que as principais atividades para condicionar os equipamentos são: testes de vibração, teste de óleo, sensores elétricos e análises de desgastes; sendo basicamente todos os possíveis testes não destrutivos.

Para Xenos (2002), a previsibilidade da manutenção preditiva é tão detalhista que é eficaz que com o monitoramento, pode-se saber quando o componente ou peça irá falhar, assim sendo uma manutenção com menor custo do que a preventiva. Embora para Xenos (2002) a manutenção preditiva e preventiva deve coexistir e cooperar uma com a outra para um processo de manutenção de qualidade.

Os objetivos da manutenção preditiva, segundo Teles (2019, p. 43), são:

- Determinar antecipadamente a necessidade de serviços de manutenção numa peça ou componente específico de uma máquina ou equipamento;
- Eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
- Aumentar o tempo de disponibilidade da máquina;
- Reduzir as intervenções de corretiva;
- Impedir o aumento dos danos;
- Aproveitar a vida útil total dos componentes e de um equipamento;
- Aumento do grau de confiabilidade das máquinas e equipamentos.

2.3 Planejamento e Controle da Manutenção

O Planejamento e Controle da Manutenção, de acordo com Viana (2014), é um método da manutenção em que foca em cada etapa da manutenção e suas atividades. E completa

afirmando, que além disso, é um fator importante para a produção, já que a manutenção e a operação resultam diretamente na produção.

O PCM, para o Branco Filho (2008), é essencial para diversas atividades de gerenciamento da manutenção na empresa, exerce diversas atividades que contribuem para alcançar as características de uma manutenção de qualidade, dentro delas está: controle de todos os processos de logística para execução das atividades, seja no planejamento da programação, gestão de componente, gestão do *Kanban*, planejar as ordens de manutenção e verifica e identifica os principais gargalos no processo.

Para melhor entendimento do estudo é necessário entender a organização da manutenção, sendo: os cargos da manutenção, os planos de manutenção e os principais dados do PCM (VIANA, 2014).

2.3.1 Organização da manutenção

O tagueamento vem da palavra inglesa *Tag*, é de suma importância para a organização da manutenção, através deste é possível identificar e mapear todos os ativos da empresa, além de organizar o planejamento das manutenções dos diversos equipamentos, de acordo com Viana (2014). Já o Teles (2019), afirma os fatores para a utilização das *Tag*, uma etiquetagem correta e lógica, pode ser fundamental para a segurança, a rastreabilidade, a identificação funcional e a localização geográfica do equipamento.

As *Tag*, segundo Viana (2014) são divididas em em níveis:

1. Gerência;
2. As áreas;
3. Sistemas;
4. Aglutinadores;
5. Equipamentos.

O quinto nível é uma forma simples e coesa para identificar equipamentos, assim tendo como base para, além das medidas físicas, a tag é fundamental para realizar análises diversas, como o histórico de falhas e principais recorrências do equipamento (VIANA, 2014).

2.3.2 Definição dos Fluxogramas de Serviços

O próximo passo, após o tagueamento, da manutenção, de acordo com Viana (2014) é

a definição dos fluxogramas de serviços. Na Figura 2 o autor define essa parte organizacional da seguinte forma:

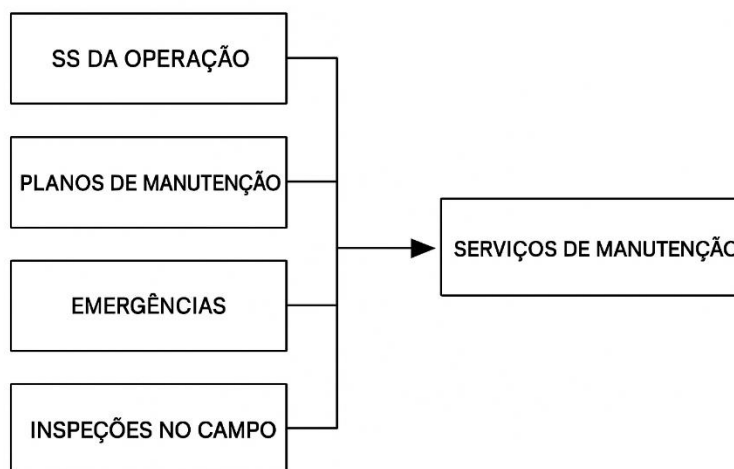


Figura 2: Fluxograma de serviços.
Fonte: Viana (2014).

Como visto na Figura 2, os serviços de manutenção são divididos em quatro partes: solicitação de serviço de operação, planos de manutenção, emergências e inspeções no campo.

Sobre a solicitação de serviço, Viana (2014), caracteriza como os serviços em que a equipe da operação observa uma falha no equipamento, porém antes de ser aberto a Ordem de Manutenção – OM, é passado para o supervisor do operador, este certifique-se que a falha vista é uma atividade que ainda não está no sistema, para evitar duplicidade, após essa verificação é efetivado a solicitação de serviço.

As OM's geradas a partir do plano de manutenção, para Viana (2014), passam diretamente para o planejamento, responsável por decidir se vai liberar ou não, são automáticos de acordo com a data do último ciclo da atividade, a data para sua realização vai depender de como é contado o prazo do plano, tendo a opção calendário ou horímetro.

Os serviços de manutenção emergenciais são as atividades críticas da máquina em que sem a realização da atividade o ativo não pode funcionar, sendo assim, necessita de rapidez na execução e essa OM não passa pelo planejamento, desta forma o executante tem total comando nessas ordens emergenciais (VIANA, 2014).

As ordens de manutenção via inspeção seguem um fluxograma diferente das ordens emergenciais, como visto na Figura 3:

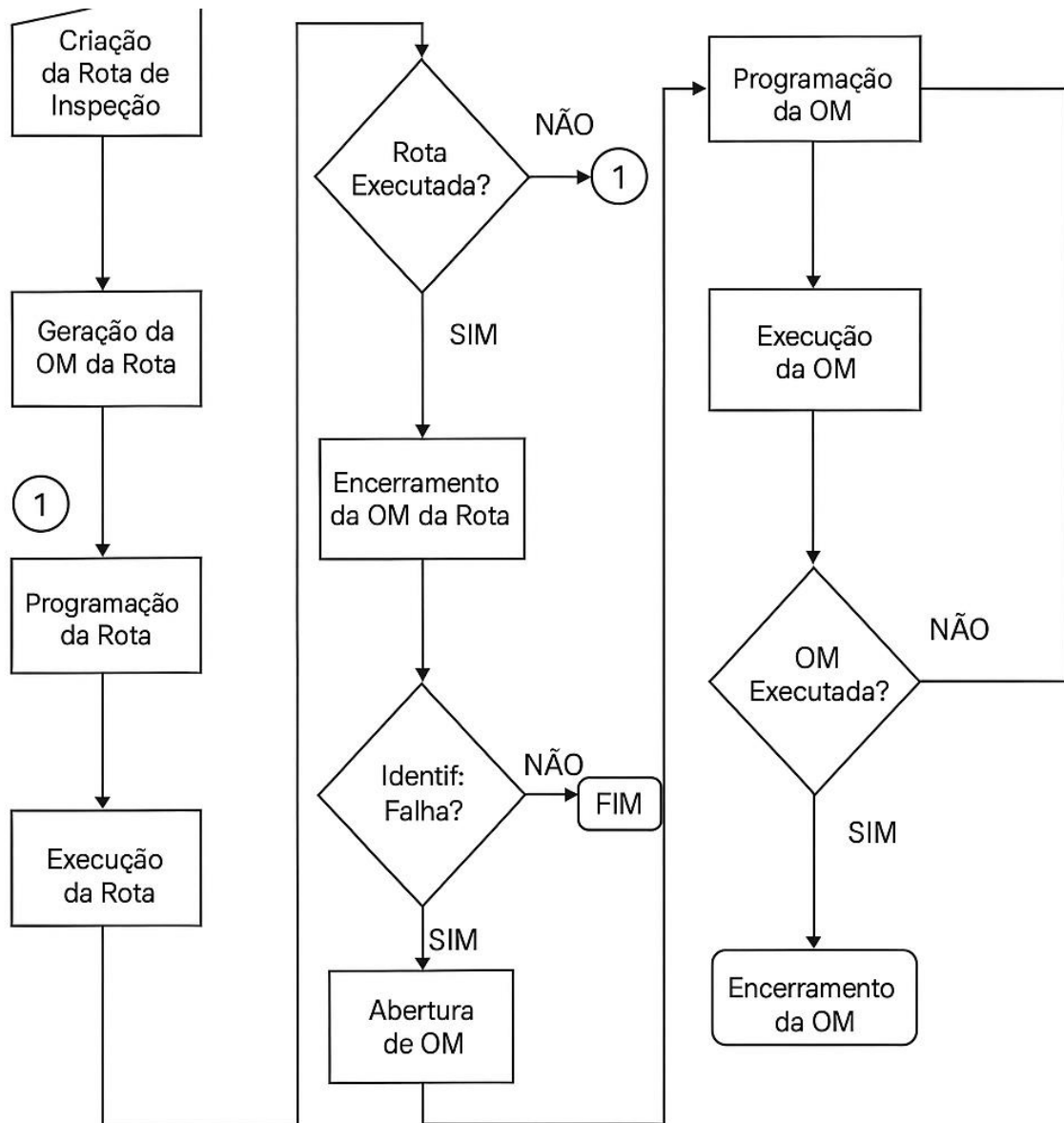


Figura 3: Fluxograma ordens de manutenção da inspeção.
Fonte: Viana (2014).

Pode-se notar na Figura 3 que o fluxograma começa com a criação da rota de inspeção, essa criação é feita através de uma OM da rota, então passa por uma programação, sendo assim tendo as informações básicas para executar a atividade de inspeção da rota. Caso a rota seja executada deve-se seguir o próximo passo que é o encerramento da OM da rota, se não, o fluxograma volta para a programação da rota. Durante a execução da rota, caso tenha falhas vistas pelos inspetores, é necessário a abertura de uma OM, se não tiver nenhuma falha o fluxograma termina. Após a abertura de OM, ela é programada para execução, caso a OM seja

realizada, ela é encerrada caso contrário a OM é novamente programada. A OM apenas é encerrada com a sua execução total.

2.3.3 Principais dados PCM

Os materiais de manutenção são um dos dados importantes para o Planejamento e Controle da Manutenção. E para um almoxarifado eficiente para a manutenção, tem-se baseado em dois principais objetivos, de acordo com Viana (2014), são: ter uma quantidade e diversidade dos materiais, de forma a gerir as principais necessidades da manutenção, assim não tendo paradas do equipamento por falta de material; e limitar o estoque, para gerir com eficiência os custos.

Outra informação importante para o PCM é a urgência do serviço de manutenção, assim para resolver a problemática, faça-se necessário a utilização de uma Matriz de prioridade, que por sua vez é uma análise lógica para fim de classificar as atividades com mais urgência a serem executadas de acordo com a Criticidade do equipamento e o Nível de urgência do serviço, como observado por Viana (2014). Essa análise tem diversos fatores e é impacto nos seguintes segmentos: segurança no trabalho, meio ambiente, qualidade do produto e operacionalidade da planta, Viana (2014).

O Teles (2019) classifica a prioridade de diferentes máquinas em três níveis, como visto na Figura 4:

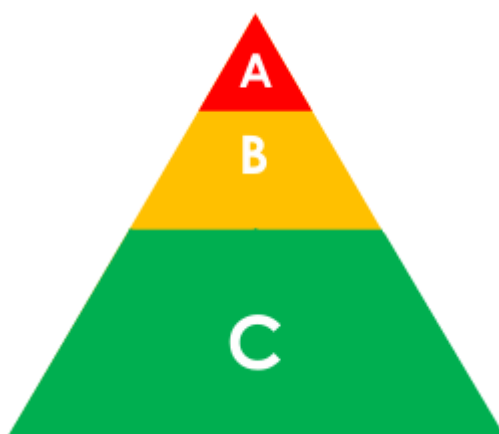


Figura 4: Níveis de criticidade.
Fonte: Teles (2019).

Nível A: São os equipamentos mais importantes;

Nível B: São os equipamentos de importância intermediária;

Nível C: São os equipamentos de menor importância.

E para a efetividade dessa Matriz de prioridade a utilização dela deve ter porcentagens entre os níveis, nível A no máximo 20% da frota, nível B entre 30% e 40% e nível C entre 40% e 50%, dessa forma adquire a estratégia na qual está incluindo ações para abaixar a criticidade do ativo, afinal onde tudo é crítico, nada é crítico (TELES, 2019).

Um dos dados importantes para manutenção é o Histórico de manutenção, através dele em que se pode fazer tomadas de decisões de acordo com as falhas relatadas anteriormente e das tendências das máquinas em falhar em determinado componente, como relatado por Viana (2014), utilizando os filtros que os usuários quiserem consultar como alguns dos elementos anteriormente, como data, tag, equipamento, elemento, causa, sintoma e intervenção.

2.3.4 Os homens da manutenção

Um dos homens da manutenção, é o executante de manutenção, o qual tem-se diferenciado em não ser uma tarefa apenas dos técnicos de manutenção, uma vez que um dos executantes, são os operadores das máquinas, já que tem o contato diário e direto com a máquina, sendo assim responsáveis e comprometidos com as atividades de manutenção de lubrificação, limpeza, tarefas elementares de manutenção, engaxetamento, reaperto e inspeções iniciais, sendo classificado como uma operação da manutenção autônoma (VIANA 2014).

O planejador de manutenção é outra função importante para a manutenção, através das atividades que exerce, segundo Teles(2019), as funções são:

- Gerenciar os Planos de Manutenção Preventiva, Preditiva, Lubrificação e Inspeção;
- Elaborar procedimentos técnicos das atividades de manutenção;
- Dimensionar os recursos necessários para o bom cumprimento das atividades;
- Gerenciar a carteira de serviços planejados e que em breve irão passar para a programação;
- Revisar constantemente o escopo técnico das atividades de manutenção, visando encontrar pontos de melhorias, com base em experiências passadas.

Para Viana (2014) são fundamentais as para a efetividade e eficiência nas atividades de manutenção, uma vez que, é necessário a interface com três cargos: Planejador, Programador e Coordenador de materiais para serem realizadas.

O supervisor de manutenção é outro papel importante na organização da manutenção, responsável por gerir a equipe e tem, segundo Teles (2019), equilibrar três pontos: Gestão de

pessoas, a equipe de manutenção, gestão de ativos, equipamentos e gestão de processos, procedimentos e padrões.

Dessa forma, o Viana (2014) atribui as habilidades das quais fazem necessário para uma boa gestão do supervisor, as habilidades são:

- Pensamento sistemático;
- Capacidade de realização;
- Estratégia;
- Criatividade;
- Respeito e controle;
- Motivar;
- Orientação e gerenciamento;
- Coordenação de ações de pronto atendimento;
- Controle de pessoal;
- Custo de manutenção;
- Facilitação a programas corporativos;
- Gestão de segurança.

E Viana (2014) atribui essas habilidades distintas, pois o supervisor precisa controlar além do humor da equipe, partes técnicas das operações e também de custos.

2.3.5 Os Planos de Manutenção

Para Teles (2019), o plano de manutenção é classificado como a principal ferramenta para a confiabilidade, já que Teles (2019, p.136) afirma que “o objetivo principal de um plano de manutenção é minimizar o impacto de eventos não planejados em segurança, meio ambiente e rentabilidade comercial”.

Os planos de manutenção são essenciais para a estratégia de manutenção da empresa, uma vez que ele contém as principais atividades para manutenção preventiva, segundo Viana (2014). E o mesmo autor atribui os planos de manutenção em cinco categorias: planos de inspeções visuais, roteiros de lubrificação, manutenção de troca de itens de desgaste e plano de intervenção preditiva.

Os planos de inspeções visuais para Viana (2014) é uma atividade simples e periódica da qual observa-se do equipamento o ruído, temperatura, condições de conservação, vibração entre outros e para sua efetividade a inserção de uma Rota de Inspeção objetiva e eficaz.

Roteiros de lubrificação são importantes justamente por preservarem os componentes da máquina, assim reduzindo atritos e minimizando o desgaste, dessa forma a inserção de um roteiro de lubrificação no plano de manutenção de uma empresa é fundamental (XENOS 2002).

De acordo com Teles (2019), o método para troca de itens de desgaste deve seguir uma periodicidade, sendo ela a determinar a vida útil do item, sem a necessidade de reavaliação, ou seja, após o tempo determinado o item é trocado sem ter que gerar um nova OM para avaliá-lo.

Os planos preditivos para Viana(2014, p.99) “tem a proposta de monitorar a maquinaria, de forma a acompanhar os seus ‘sintomas’, avaliando-os na busca de possíveis anormalidades”, e completa destacando o papel importante de uma boa comunicação da engenharia e PCM para avaliar e executar as atividades preditivas estipuladas pelos técnicos de inspeção preditiva.

2.3.6 Planejando e Programando a Manutenção

Entre os diversos pontos do planejamento e programação da manutenção, a carteira de serviços tem um destaque primordial, uma vez que todas as pendências de manutenção do maquinário devem estar registradas em uma OM e o conjuntos de todas essas OM's é a carteira de serviço (VIANA, 2014), portanto a carteira de serviço é constituída de acordo com a Figura 5:

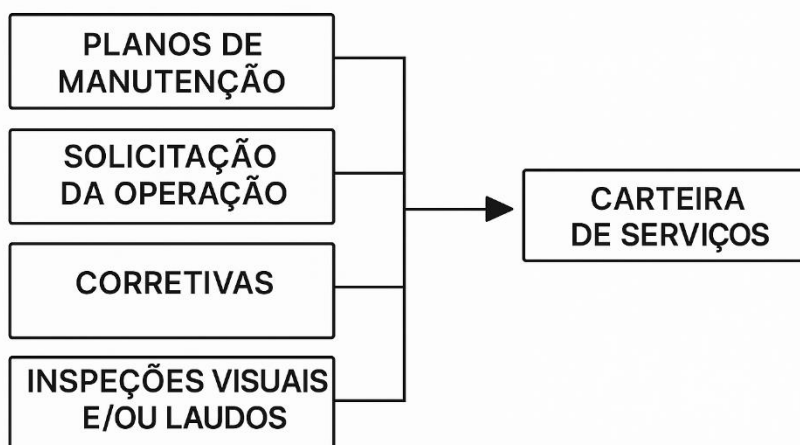


Figura 5: fonte da carteira de serviços.
Fonte: Viana (2014).

Como se pode notar na Figura 5 todas as atividades de manutenção são constituídas carteira de serviço, os planos de manutenção, mostrando a importância da carteira de serviços e seu gerenciamento.

2.4 Indicadores de manutenção

Para Gregório *et al* (2018, p.58) “os dados coletados na indústria, ao serem tratados, serão transformados em informações que auxiliarão os gestores. Parte dessas informações está relacionada às métricas e aos indicadores de processos.” Essa afirmação se dá pelo fato da importância dos indicadores de manutenção para tomadas de decisão na indústria.

A classificação de indicadores pode ser dividida em diversas categorias, sendo elas indicadores de custo, eficiência, desempenho, entre essas categorias têm as métricas de cada, como a de desempenho, monitorando os principais indicadores de manutenção (DE PAULA, 2021).

Segundo Viana (2014), os indicadores de manutenção são parte da rotina da manutenção, e o PCM é responsável por indicar quais são aplicáveis na área, uma vez que essa escolha é direcionada de acordo com o contexto e necessidade da empresa.

Embora o indicador seja uma importante ferramenta de coleta de dados, deve-se atentar a forma de utilizá-lo para alcançar o objetivo desejado. E para isso Gregório (2018), difere os indicadores em dois tipos: indicador direcionador (*drives*), em que identifica a causa raiz; e indicador de resultado (*outcome*), acompanha o impacto.

Os principais indicadores e mais utilizados nesse estudo são:

- MTBF – *Mean Time Between Failures* – Tempo Médio Entre Falhas;
- MTTR – *Mean Time To Repair* – Tempo Médio Para Falha;
- DF – Disponibilidade Física do maquinário;

O MTBF é calculado com a divisão das horas disponíveis do equipamento pelo número de intervenções corretivas no equipamento (VIANA 2014). Pode-se fazer o seguinte exemplo para calcular o MTBF da semana em uma máquina, seria 168 horas dividido pelo número de vezes que a máquina parada, dessa forma, se máquina teve duas intervenções o MTBF dela é 84, e quanto o MTBF está aumentando significa que há diminuição de paradas de manutenção.

O cálculo do MTBF de acordo Viana (2014) é a seguinte Equação 1:

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

As variáveis são:

HD= Horas Disponíveis;

n = número de intervenções corretivas.

O cálculo do MTTR por De Paula (2021) classifica não apenas uma visão das ordens de manutenção corretiva, mas abrange a manutenção planejada, assim, o MTTR traduz a eficiência da equipe de manutenção para esse tempo médio. Uma divisão das horas de manutenção corretiva pela somatória dos eventos ocorridos.

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

As variáveis são:

HMC = Horas de Manutenção Corretiva;

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

Já o DF, segundo Viana (2014) pode ser calculado de maneiras diferentes, sendo explicado duas formas, a primeira seria com a divisão entre as horas trabalhadas e as horas totais no período estudado multiplicado por cem para ter o valor em porcentagem, já a segunda forma seria o tempo total de operação e o tempo de paralisação, porém diferente com da primeira equação o divisor é a multiplicação das horas trabalhadas e as horas totais no período estudado, já o dividendo seria apenas o tempo de operação, como a primeira forma de cálculo da DF.

O cálculo da DF das duas formas de calcular de acordo Viana (2014) são as seguintes Equações:

$$DF = \frac{HT}{HG} * 100\% \quad (3)$$

As variáveis são:

HT = Horas trabalhadas;

HG = Horas totais do período.

$$DF = \frac{HO}{HO + HM} * 100\%$$

As variáveis são:

HO = Horas total de operação;

HM = Horas totais de paralisação preventiva e corretiva.

Por fim, para o Xenos (2014) afirmar que o indicador de disponibilidade física é crucial para uma visão da operação em quais são as máquinas que têm mais tempo de produção e quais são as que mais falham.

Diante das informações expostas sobre os indicadores, pode-se afirmar a importância que os indicadores têm para a gestão de ativos, pois possibilitam uma visão geral do desempenho da manutenção nos equipamentos e demonstra onde pode ter fragilidade. A análise e execução de ações decorrentes dos valores dos indicadores são fundamentais para o êxito de uma alta produtividade.

Dessa forma, a manutenção eficiente depende da escolha adequada dos métodos de manutenção aplicados, do planejamento e controle das ações e do acompanhamento dos indicadores. A integração entre essas atividades permite reduzir falhas, otimizar recursos e aumentar a confiabilidade dos equipamentos. Assim, a gestão da manutenção se torna essencial para garantir a continuidade operacional e uma boa saúde do ativo.

Diante do contexto, o capítulo de revisão bibliográfica serviu para consolidar a base teórica do conteúdo estudado, com o objetivo de auxiliar no entendimento do problema e para sua resolução.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

Para Ander-Egg (1978), a pesquisa é primordial para encontrar respostas em diversos segmentos, tanto pelo teor crítico e analítico que uma pesquisa precisa ter. Já para Marconi e Lakatos (2007, p.43) "pesquisa é um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais".

Esse estudo de caso tem como objetivo ser exploratório e abordar e segmentos qualitativos da manutenção, utilizando procedimentos técnicos de pesquisas bibliográficas acerca do tema e documentos da empresa dos procedimentos operacionais padrão.

Sendo uma pesquisa qualitativa o Creswell apud Soares (2019, p.21) classifica como:

Se dá quando o pesquisador estuda os fenômenos em seus ambientes naturais, tentando interpretá-los a partir do modo como são vistos. Sendo assim, esse tipo de pesquisa envolve a coleta e utilização de uma série de materiais empíricos (tais quais estudo de caso, experiência pessoal, observação, históricos, interação de fenômenos ou fatores, entre outros), relativos à rotina e aos entraves observados na análise em questão.

Conforme definição do Gil (2008), a pesquisa científica com metodologia exploratória tem o objetivo de investigar um tema no qual necessita de uma análise mais aprofundada no qual ainda não foi totalmente explorado. E como uma investigação, o processo do pesquisador seria amplo para identificar os pontos importantes e os próximos passos para entender melhor o assunto, melhorando assim as hipóteses de resolução.

Já a acerca dos procedimentos técnicos de pesquisa, para Gil (2017), tem-se a define os seguintes métodos: bibliográfica, documental, experimental, ensaio clínico, estudo caso, estudo de coorte, levantamento de campo, estudo de caso, pesquisa etnográfica, pesquisa fenomenológica, teoria fundamentada nos dados, pesquisa-ação, pesquisas mistas, pesquisa participante e pesquisa narrativa.

O estudo pode aplicar mais de um método de pesquisa, sendo uma estratégia para aprofundar ainda mais sobre a questão em destaque. A pesquisa bibliográfica é utilizada para apresentar definições e diferentes abordagens sobre a manutenção, com base em diversos autores, o que proporciona uma compreensão ampla do tema. Já o estudo de caso, por ser mais direcionado e específico, permite uma análise prática e contextualizada. A integração entre a revisão bibliográfica e o estudo de caso traz uma base teórica sólida para interpretar as causas e os efeitos observados no estudo (GIL, 2008).

Outro método implementado é o documental, apresentando normas padrões da empresa estudada com os procedimentos normativos, fluxogramas e ações diversas de acordo com o setor, sendo definida por Marconi e Lakatos (2010) envolvendo três etapas: a seleção dos documentos, a leitura e a análise dos dados.

3.2 Materiais e Métodos

Para este estudo, foi essencial uma análise das operações realizadas e suas principais atividades críticas para a execução das manutenções condicionais da empresa. Com isso, foram desenvolvidas etapas a serem seguidas para a problemática, conforme ilustrado na Figura 6.

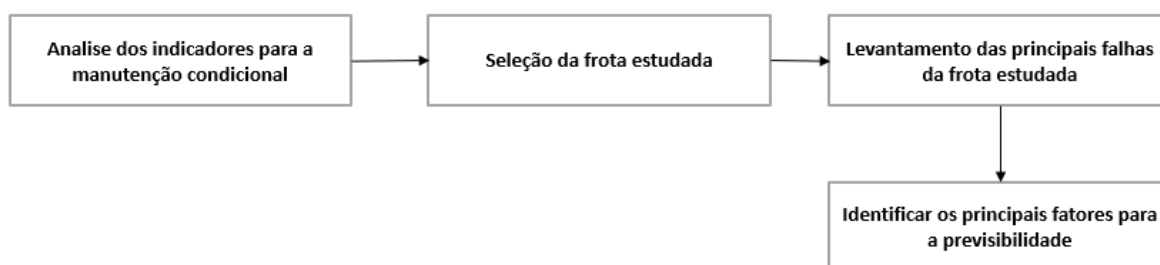


Figura 6: Etapas para realização do trabalho.
Fonte: Pesquisa direta (2024).

De acordo com a Figura 6, a metodologia utilizada foi dividida em cinco etapas. Para a realização da primeira etapa, utiliza-se o programa *Power Bi* para estudar os equipamentos e selecionar a frota, a partir da Disponibilidade Física, no período de janeiro a outubro de 2024.

A partir dessa análise, é feita a seleção da frota de equipamentos a partir da ocorrência de falhas. Após essa etapa é realizado uma análise com o histórico das Ordens de Manutenção Condicional do período proposto, e na quarta etapa é identificado os principais motivos para a não execução das ordens e analisada a tolerância de datas associadas. E para finalizar, é realizada a previsibilidade de execução das ordens de manutenção condicionais na frota escolhida.

3.3 Variáveis e indicadores

Como o estudo apresenta várias variáveis e indicadores, é importante assimilar esses dois conceitos. Para Gil (2002), a variável pode ser aplicada em diversos sentidos e em diferentes contextos, embora a classificação dela não possa ser quantificada em números, mas sim com aspectos de alta e baixa incidência. Segundo o autor, os indicadores podem tanto ser classificações numéricas como não, vai depender do formato utilizado para a situação, e os indicadores se destacam em relação a mensurar alguns casos das variáveis.

A Tabela 1 representa as variáveis e os seus indicadores do estudo de caso.

Tabela 1- Variáveis e indicadores.

Variáveis	Indicadores
Indicadores de manutenção	DF – Disponibilidade Física AMC – Aderência a Manutenção Condicional

Fonte: Pesquisa direta (2024).

Pode-se notar que na Tabela 1 mostra a variáveis da manutenção com os seus indicadores, esses indicadores são fundamentais para demonstrar como está a saúde do ativo. Portanto, para o presente estudo essas variáveis são essenciais para seleção da frota, para assim realizar a previsibilidade das ordens de manutenção.

3.4 Instrumentos de coleta de dados

Para coleta de dados deste trabalho, utiliza-se a base de dados da planilha de *Excel* da Aderência a Manutenção Condicional mensal, e para o histórico dos principais indicadores estudados, é utilizado o programa *Power Bi*.

Na planilha de dados, cada linha é representada por uma Ordem de manutenção, e seguem o detalhamento de cada coluna:

- Supervisão;
- TAG da máquina;
- Nota de manutenção;
- Desvio;
- Centro de trabalho;
- Tipo de ordem;
- Status;
- Descrição da ordem;
- Aderência da ordem;
- Data de criação;
- Data mínima para execução;
- Data de conclusão desejada;
- Data máxima para execução.

3.5 Tabulação dos dados

As ferramentas utilizadas para a tabulação de dados incluem o *Microsoft Excel*, que é empregado para a criação de gráficos, e o *Microsoft Word*, que é utilizado para a elaboração e formatação dos relatórios e conclusões.

3.6 Considerações Finais do Capítulo

Esse capítulo apresenta a metodologia com os principais fatores para a realização do estudo, como os materiais e ferramentas necessárias. O próximo capítulo traz os resultados e discussões, a partir da análise de indicadores e dos históricos das máquinas.

4 RESULTADOS

4.1 A empresa

A mineração é responsável pela extração de minerais que servem de base de insumos para diversas indústrias, como a siderúrgica e a de construção civil, sendo um dos recursos mais exportados pelo Brasil. O setor é reconhecido por sua relevância na economia pelos aspectos tecnológicos e de empregabilidade, por impulsionar o crescimento de diversas cidades com a criação de empregos diretos e indiretos.

A empresa estudada tem como principal minério extraído o minério de ferro, sendo este transformado em diferentes produtos, como pelotas, finos e granulados de minério de ferro. Todas as atividades são feitas em uma mina a céu aberto, e a estrutura da planta da mina tem necessidades além da parte de extração, como a infraestrutura das estradas da mina, com equipamentos para de tratores e motoniveladoras. Para determinar os lugares de extração dos mineiros, o equipamento de perfuratriz é fundamental para essa decisão. Portanto, entre as diversas máquinas utilizadas diretamente na extração do minério há também maquinário para outras atividades.

O processo produtivo da mineração tem três principais etapas, que são: a extração ou lavra, beneficiamento e transporte. A extração do minério é a etapa realizada em minas a céu aberto, dessa forma, sendo a retirada do material do solo. Para isso é necessário equipamentos de grande porte, como retroescavadeiras, tratores e caminhões fora de estrada, além das explosões controladas. Após a extração, é feito o beneficiamento do minério, este é realizado com a parte de usina da mina, assim passando pela britagem, moagem e separação magnética, com o objetivo de remover impurezas e ter o maior teor de ferro, de acordo com as exigências do cliente. A última etapa do processo é o transporte, por meio ferrovias até os portos. Assim o material segue para diversos países, onde é utilizado na fabricação dos aços.

O organograma da empresa, conforme a Figura 7, consiste em uma estrutura hierárquica com os fluxos de responsabilidade entre os setores, para maximizar a eficiência dos processos organizacionais. A Presidência atua como representante em decisões estratégicas com alto impacto na empresa, e a Vice Presidência de Operações, responsável por alinhar os objetivos da empresa com a execução das atividades operacionais.

A Figura 7 apresenta o Organograma da empresa do estudo de caso:

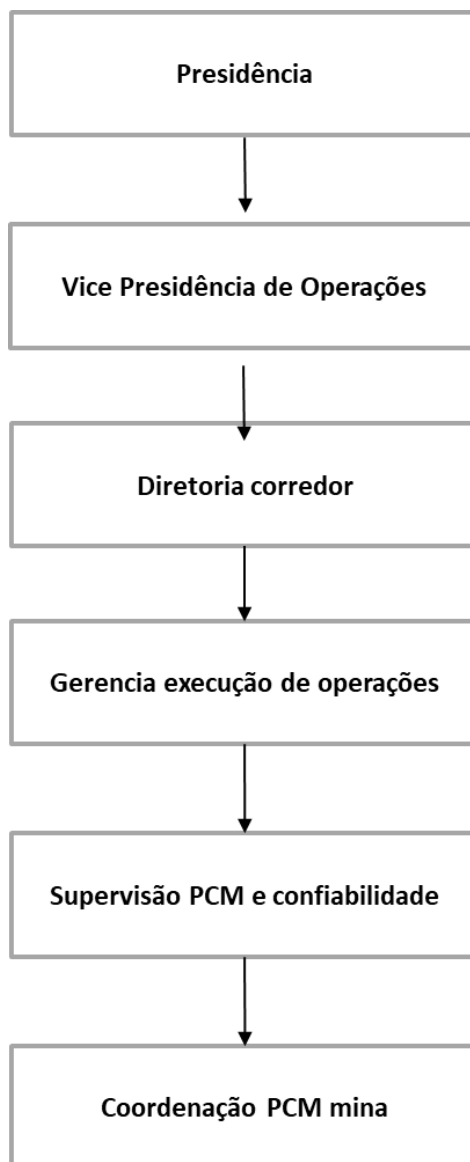


Figura 7: Organograma do estudo de caso.
Fonte: Pesquisa direta (2025).

Pode-se notar na Figura 7 que a divisão de Diretoria Corredor é por um fator geográfico da organização, assim sendo o Corredor um conjunto de minas próximas da mesma região. Após a divisão geográfica, a estrutura é dividida em Gerenciais por função, sendo o foco do estudo a executiva e operacional da empresa. A supervisão PCM e confiabilidade são unidas, embora realizem atividades diferentes, necessitam ter uma interface conjunta para uma

comunicação eficiente. Para a Coordenação PCM é trabalhado o planejamento para a manutenção dos equipamentos de mina das frotas de infraestrutura e carregamento.

É importante destacar a organização da Coordenação do PCM mina, que consiste em uma equipe respondendo apenas por um supervisor. Essa coordenação é responsável por duas frotas, sendo elas a de carregamento e a de infraestrutura. As funções são divididas por pessoa, sendo que o colaborador pode ser responsável por uma frota ou duas. A subdivisão do processo de aprovisionamento de materiais, ocorre de acordo com o insumo que os técnicos são responsáveis por repor. Dessa forma tem-se os seguintes profissionais:

- Planejador médio prazo infraestrutura;
- Planejador médio prazo carregamento;
- Planejador de curto prazo infraestrutura;
- Planejador de curto prazo carregamento;
- Planejador de notas infraestrutura;
- Planejador de notas carregamento;
- Programadora infraestrutura;
- Programadora carregamento;
- Preparador de materiais;
- Controlador de custos;
- Controlador de processos;
- Aprovisionador periféricos e ferramentaria;
- Aprovisionador de insumos contra incêndios;
- Aprovisionador de insumos diversos (óleo, graxa, gases e mangueiras);
- Aprovisionador de insumos de desgaste e soldagem.

Com a equipe completa e dividida de acordo com o modelo apresentado, a organização do PCM Mina fica com um supervisor e quinze especialistas trabalhando entre eles e integrando suas atividades.

4.2 Equipamentos

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de desempenho das frotas operacionais da mina. A partir dos indicadores de manutenção, é avaliada a Disponibilidade Física (DF) de cada frota, a fim de destacar qual delas apresenta os menores índices.

A equipe de manutenção atua em três frotas operacionais, subdivididas conforme os tipos de equipamentos: carregamento, infraestrutura e tratores. A frota de carregamento conta com o equipamento de carregadeira e retroescavadeira, a de infraestrutura seria a perfuratriz e por fim os tratores.

O indicador disponibilidade física é um dos indicadores mais analisados na manutenção. Na empresa estudada a visão da DF de todos os equipamentos citados está na Figura 8, que mostra a meta e o resultado até o momento. Sendo demonstrado a DF dos meses de janeiro a outubro do ano de 2024 com a meta anual de 65,32% de disponibilidade. Esse a meta é determinada pela empresa e tem mudanças anuais, ou seja, cada ano há mudanças do valor da meta, tanto para aumento quanto para diminuição.

DF anual	
Meta	65,32%
DF atual	65,77%

Figura 8: Agregado da DF de janeiro a outubro de 2024.
Fonte: Pesquisa direta (2025).

A DF na Figura 8 é das frotas de carregamento, a frota das perfuratrizes e a dos tratores de grande porte, demonstrando um valor levemente superior da meta anual, porém é importante destacar que os valores do mês de novembro e dezembro podem mudar o cenário da DF. Essa mudança de cenário é vista, pois, o indicador DF é contabilizado por períodos, e diversas variáveis podem abaixar ou aumentar esse número, dessa forma é um indicador em constante vigilância e que pode ter seu cenário mudado com falhas inesperadas.

A Figura 9 é a visão mensal do indicador sobre todas as frotas e mostra diferentes valores por mês levando em consideração o cenário da mina e quantidade de equipamentos. O mês com maior DF é o de fevereiro com 72,57%, outro fato que se pode notar é que entre os dez meses analisados apenas quatro conseguiram obter a disponibilidade desejada, são os meses: fevereiro, junho, julho e agosto.

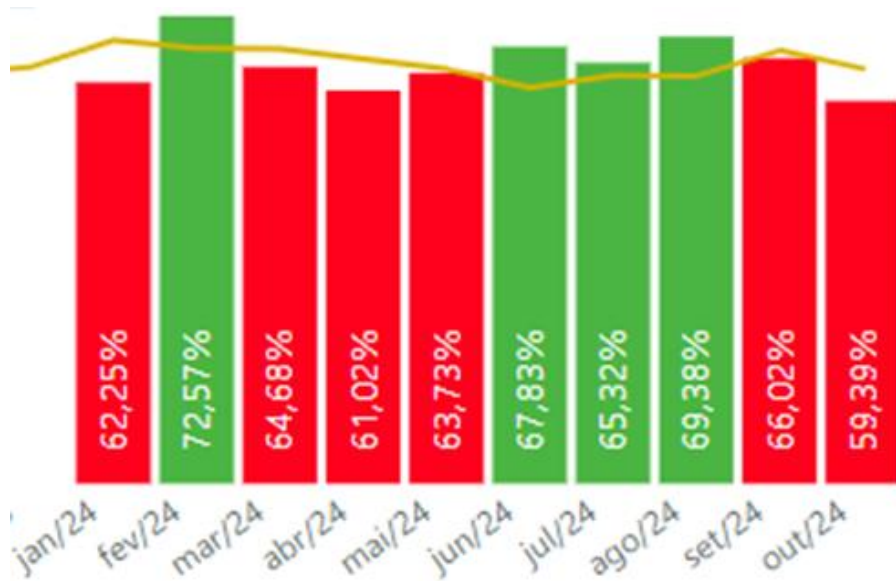


Figura 9: DF de janeiro a outubro de 2024.
Fonte: Pesquisa direta (2025).

Na Figura 10, observa-se o acumulado anual da DF de cada frota separadamente. Dentre as frotas sob responsabilidade do PCM e da confiabilidade da mina, a de tratores é a que possui a menor DF.

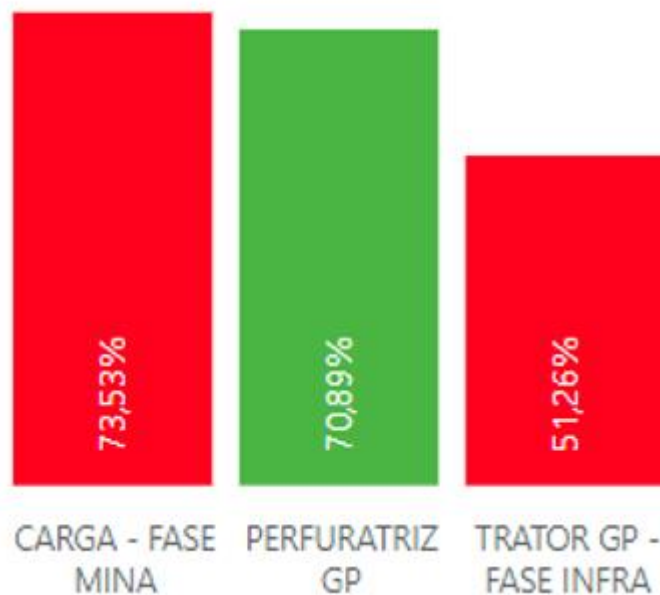


Figura 10: DF por frota.
Fonte: Pesquisa direta (2025).

Pode-se observar na Figura 10 que apenas a frota de perfuratriz atingiu a meta de Disponibilidade Física, o motivo seria, pois, cada frota tem sua meta, sendo dividida da seguinte

forma: carga tem a meta de 75%, perfuratriz é 70% e a de trator de grande porte é 60%, dessa forma apenas a frota de perfuratriz bateu a meta. Considerando esse indicador como critério para seleção, a frota de tratores foi escolhida para o estudo, com foco no aprofundamento dos principais desafios relacionados a esses equipamentos.

Os tratores têm como característica a alta potência com elevada tração, e inseridos na indústria da mineração fornecem capacidade para movimentação de matérias com grande estabilidade em terrenos acidentados, do qual é necessário para o ambiente de mineração.

Na empresa estudada há 5 modelos de tratores, entre eles há uma subdivisão, da qual é limitada pela capacidade de carga, portanto, tem dois tratores de grande porte e três de pequeno porte.

O estudo vai tratar dos tratores de grande porte, nesses meses tinha o total de seis tratores ativos e sete tratores se encontram em hibernação, que é o processo estratégico em que a engenharia, produção, PCM e execução de manutenção define para algumas máquinas. Nesse período a máquina não executa nenhuma operação. O tempo de hibernação pode variar a depender da demanda da empresa.



Figura 11: Trator grande porte dianteira.
Fonte: Pesquisa direta (2024).

Na Figura 11 e na Figura 12 mostram os principais componentes do trator de grande porte.



Figura 12 Trator 1 grande porte traseira.
Fonte: Pesquisa direta (2024).

Observa-se nas Figuras 11 e 12 os seguintes componentes enumerados, eles são:

1. Cabine - onde o operador comanda o trator;
2. Esteira - sistema de locomoção do trator;
3. Navalhas - parte inferior da lâmina que corta o material;
4. Lâmina de corte - parte frontal usada para empurrar os materiais;
5. Cilindro hidráulico - eleva ou abaixa a lâmina;
6. Contra peso do ripper - utilizado para equilibrar as forças;
7. Ripper - usado para romper o solo

Após conhecer a máquina é necessário entender os principais desafios para sua manutenção, com ponto para se analisar sendo o histórico de falhas. Com base no banco de dados das OM 's foram levantadas todas as falhas da frota de tratores, utilizando o diagrama de Pareto, dividida pelos componentes dos quais tiveram a falha associada. Esses dados são do período de janeiro de 2024 a outubro de 2024, como mostrado na Figura 13.

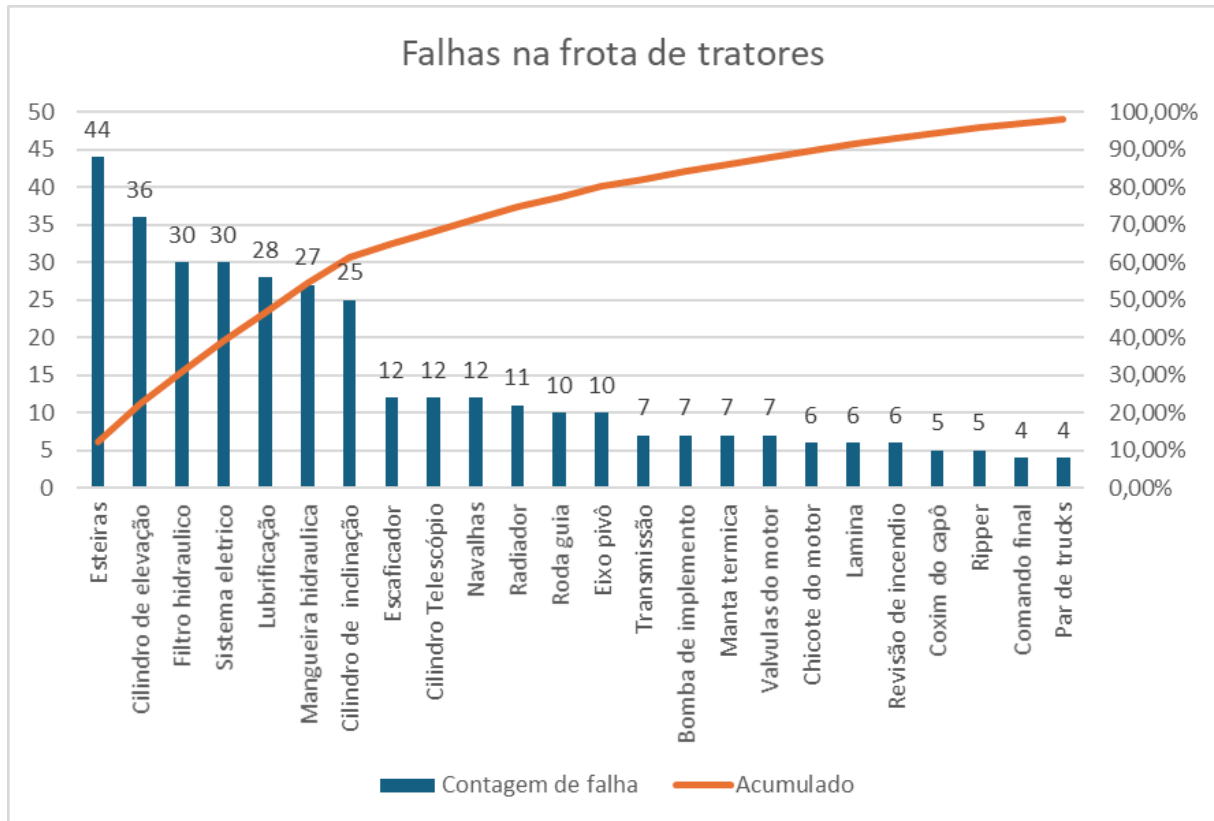


Figura 13: Falhas na frota de tratores.
Fonte: Pesquisa direta (2025).

Dentre as principais falhas, destacam-se os seguintes sistemas e componentes: o sistema de esteiras, cilindro de elevação, filtro hidráulico e sistema elétrico. As falhas destacadas totalizam 39,11% das falhas. Pode-se ter a associação do filtro hidráulico e o cilindro de elevação com o mesmo sistema de falha. Esse fator tem muito em consideração os desafios de uso, tanto o ambiente da mina, sendo adverso, quanto a carga elevada da qual é trabalhada, no entanto esses fatores devem ser considerados na manutenção e mitigados pela equipe, tanto nos planos de manutenção quanto em inspeções.

4.3 Previsibilidade das ordens condicionais da frota de tratores

Para entender a previsibilidade e como esse fator afeta o AMC deve-se entender como é realizada a planilha de dados das OM's. Na planilha de dados para o acompanhamento do indicador, cada linha é representada por uma Ordem de manutenção, e seguem o detalhamento de cada coluna:

- Supervisão;

- TAG da máquina;
- Nota de manutenção;
- Desvio;
- Centro de trabalho;
- Tipo de ordem;
- Status;
- Descrição da ordem;
- Aderência da ordem;
- Data de criação;
- Data mínima;
- Conclusão desejada;
- Data máxima.

Como o foco do estudo é a previsibilidade, os tópicos importantes de se destacar são: data de criação, data mínima, conclusão desejada e data máxima. A data de criação é quanto o inspetor identifica e cria a ordem de manutenção, nesse momento que o inspetor define a data da conclusão desejada, essa data pode ter mudanças no decorrer do processo, uma vez que a manutenção pode ter questionamentos de outros servidores da manutenção, assim pode ser adiada ou adiantada conforme discutido tecnicamente. Já a data mínima e máxima seriam os limites para realizar a OM, sendo que executar a OM antes da data mínima, acarreta em um gasto desnecessário e a OM não entraria no indicador como aderente, logo mesmo com a execução da OM ela estaria incorreta pelo processo produtivo, a data máxima é contada como depois dessa data a máquina pode falhar no item que seria feito na OM, todas as OM's realizadas fora do prazo são saldos negativos no contador do indicador.

O indicador do AMC é visto pelo programa *Power BI*, assim todas as áreas da mina podem olhar os números com atualização diária, porém como o PCM é responsável por esse indicador, há uma planilha de controle para todos os processos do PCM separadamente de acordo com a Figura 15 demonstra um exemplo da planilha de controle mensal do PCM.

FEVEREIRO 2024

Status	MAQ MINA 1	PNEUS CARGA	MAQ MINA 2	GEST COMP CARGA	GEST COMP INFRA	CARGA	INFRA	GEST COMP CARGA MINA 2	Total Geral	%	ATUAL
Encerrada	5	7	22	8	12	77	148	1	280	56,91%	56,91%
Aguardando material	1		8	7	6	16	59		97	19,72%	
Aguardando programação			3	2	5	15	23		48	9,76%	
Não aderente postergação				1		13	17		31	6,30%	68,29%
Aguardando Serv. Externo			1		9				10	2,03%	
Aguardando export.			2	1		3	1		7	1,42%	
Não aderente			2			3	1		6	1,22%	7,52%
Em execução						3	3		6	1,22%	
Aguardando compra				2		1			3	0,61%	
Aguardando armazém	1			1					2	0,41%	PROJEÇÃO
Aguardando Reprogramação			1						1	0,20%	
Aguardando aprovação						1			1	0,20%	
Total Geral	7	7	39	22	32	132	252	1	492	100,00%	58,13%

Figura 14: Planilha de controle do AMC.

Fonte: Pesquisa direta (2025).

As colunas são divididas de acordo com a frota:

- *Status* - em qual etapa da manutenção a OM se encontra;
- Máquina mina 1 - equipamentos de responsabilidade de manutenção da equipe, mas que estão em outra mina;
- Pneus carga - controle apenas dos pneus;
- Máquina mina 2 - equipamentos de responsabilidade de manutenção da equipe mas que estão em outra mina;
- Gestão componentes carga - são as ordens de manutenção da qual é realizado no componente, pode ser troca ou manutenção no próprio, apenas da frota de carga;
- Gestão componentes infra - são as ordens de manutenção da qual é realizado no componente, pode ser troca ou manutenção no próprio, apenas da frota de infra;
- Carga - as manutenções realizadas na frota de carga;
- Infra - as manutenções realizadas na frota de infra, nessa visão os equipamentos de perfuratriz e tratores se juntam em uma única frota para controle;
- Gestão componentes carga mina 2- são as ordens de manutenção da qual é realizado no componente, pode ser troca ou manutenção no próprio, apenas da frota de infra;

Importante destacar na Figura 14 que o maior número de OM é dos equipamentos de carga.

As linhas são divididas de acordo com o *status* da OM:

- Encerrada - OM realizada;
- Aguardando material- material foi comprado, porém ainda não foi entregue;
- Aguardando programação - programação de quando a máquina vai parar na oficina;
- Não aderente postergação - caso específico do qual a OM foi adiada para uma data após a data máxima de manutenção;

- Aguardando Serv. Externo - é processo do qual empresas terceirizadas realizam manutenção em componentes (Ex: motor) e necessita da finalização desse serviço para realizar a manutenção;
- Aguardando export. - materiais dos quais são exportados;
- Não aderente - a manutenção foi realizada antes da data mínima;
- Em execução - OM sendo realizada;
- Aguardando compra - esperando provedor fazer pedido do material;
- Aguardando armazém - material está em posse do armazém ou centro de distribuição da empresa, aguardando o transporte do CD para a mina;
- Aguardando Reprogramação - a OM foi para a execução, porém por algum motivo diverso teve que voltar para ser reprogramada para outra data;
- Aguardando aprovação - esse status é em questão de alguma OM com valor alto do qual necessita de aprovação do supervisor de confiabilidade.

Os números apontados como indicadores do controle são:

- Atual - valor do indicador com apenas as ordens encerradas;
- Disponível - valor do qual o PCM propõe que pode ser atingido, considerando que as OM aguardando programação, em execução e aguardando armazém sejam realizadas no prazo, sendo um cenário otimista;
- Não aderente - a porcentagem dos não aderentes e não aderentes postergação;
- Projeção - são as OM encerradas e as em execução;

Após entender como funciona o controle do AMC, e destacar a frota, deve-se compreender os principais itens relacionados à previsibilidade, sendo o tempo gasto em cada etapa do processo de manutenção.

Para realizar a previsibilidade, as seguintes etapas são necessárias: abertura da ordem de serviço, planejamento da manutenção, provisionamento do material do serviço, e a programação da manutenção.

A abertura da ordem de serviço não tem consideração no tempo para se realizar a tarefa e sim parte de estipular a data de realização. Além disso, é importante a análise das ordens já em aberto da máquina e seu plano de manutenção, uma vez que não é necessário a abertura de uma OM se já está com o mesmo serviço aberto e antes do prazo estipulado para a execução.

O planejamento da manutenção é um momento importante para a OM, porém como visto em campo algumas manutenções tem um padrão já estabelecido, assim já tem uma pré-análise feita de como deve-se planejar, com os principais materiais e ações. Dessa forma, o planejador apenas deve conferir a estrutura padrão com a situação atual, e essa etapa é realizada com média de três a quatro dias.

Já o aprovisionamento tem um grande desafio do qual há diversas variáveis para analisar, são elas:

- Material exportado - materiais exportados têm um prazo maior para chegar na mina. A compra mais antecipada possível é necessária, porém deve ser realizada com cautela, já que essas compras tem alto valor, e deve-se consultar o controlador de custo para ter certeza que essa compra não vai afetar o orçamento do mês presente;
- Fornecedor, transporte e custo - a escolha do fornecedor é basicamente entre o fornecedor indicado pelo fabricante e demais fornecedores do mercado. A mineradora já tem os contratos para fornecedores dos quais podem ser realizadas as compras, mas a questão entre essas opções é sempre levada em consideração a situação da manutenção e o prazo, e há uma análise que leva em consideração qualidade, custo e prazo de entrega. Logo, o indicado pelo fabricante tem valor e prazos maiores;
- Garantia operacional - a garantia operacional é uma ferramenta importante para o prazo do aprovisionamento, uma vez que o material já está em pronta entrega, e a única ressalva seria o planejamento de uma eficiente garantia operacional. Essa decisão é além do aprovisionador, porém é notado a grande relevância da opinião desse profissional.

De acordo com os dados analisados e coletados sobre a frota de tratores, incluindo o histórico de falhas, a disponibilidade física dos equipamentos e o controle do AMC (Análise de Manutenção de Condições), foi possível identificar os principais fatores que influenciam na previsibilidade das ordens de manutenção condicional, como a periodicidade das inspeções e a eficácia na execução das ordens de serviço. As limitações encontradas envolveram aspectos logísticos e de registro de dados.

Dessa forma, para realizar a previsibilidade das ordens de manutenção condicional é necessário levar em consideração os fatos expostos e ter mais controle dos desafios para a realização da manutenção condicional.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

A previsão e a execução eficiente das ordens condicionais de manutenção na frota de equipamentos de mineração são muito importantes para a saúde do ativo e depende de uma gestão consistente e bem planejada, no qual o monitoramento do controle do AMC é fundamental.

Com os valores da DF dos meses de janeiro a outubro analisados, tem como ponto de advertência a inconstância em realizar o valor da meta do mês, e também como o valor do ultimo mês analisado sendo o pior do período. Outro ponto importante é que apenas quatro entre dez meses teve a meta batida, sendo então apenas quarenta por cento dos meses com saldo positivo no valor da meta anual.

É expressivo a diferença dos valores de DF entre as frotas, com a frota de tratores com quase menos vinte por cento a menos das frotas de carregamento e infraestrutura. Esse valor alerta a criticidade da manutenção dessas máquinas.

Portanto, quando se destaca as principais falhas dos tratores, entre as maiores falhas o sistema de elevação tem maior ocorrência, com a falha do cilindro e do filtro hidráulico, deve-se tratar com mais atenção esse sistema e como ele é executado em campo pelos operadores.

O estudo evidencia os desafios para uma previsão que considere as questões logísticas do PCM, esse fato permite uma visão aproximada entre as necessidades de manutenção e a execução das ordens. Além disso, a análise das atividades de inspeção, aliada a uma abordagem integrada de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), revela que a eficácia na previsão está relacionada à precisão dos dados coletados, reforçando a importância de uma comunicação eficiente entre as áreas de inspeção e planejamento.

Este estudo confirmou que uma gestão estruturada da previsibilidade das ordens condicionais pode gerar impacto positivo para uma maior disponibilidade dos tratores e reduzir custos operacionais, alinhando-se às melhores práticas de PCM. Assim, a implementação de ações estratégicas focadas na previsibilidade, com base nas etapas do PCM e seu *lead-time*, mostra-se uma prática indispensável para alcançar maior controle sobre a rotina de manutenção preditiva.

5.2 Recomendações

Baseando-se nos resultados obtidos, recomenda-se que futuras pesquisas e aplicações práticas considerem:

- Desenvolvimento de algoritmos ou modelos preditivos que integrem dados históricos de falhas, inspeções e manutenção para melhorar a confiabilidade das previsões de ordens condicionais;
- Capacitação das equipes de inspeção e planejamento para alinhamento de processos e troca de informações mais eficazes, potencializando a previsibilidade da manutenção;
- Estudo do impacto financeiro da previsibilidade na redução de custos operacionais e na produtividade da frota de equipamentos de mineração;
- Estudo do sistema de elevação na frota de tratores;
- Expansão do estudo para outros tipos de máquinas e equipamentos, visando criar um modelo mais abrangente de gestão da previsibilidade de manutenção na atividade mineradora.

Essas recomendações visam fortalecer a gestão de manutenção condicional, baseada na disponibilidade física, promovendo maior eficiência, menor tempo de parada não programada e aumento da vida útil dos equipamentos, contribuindo assim para a sustentabilidade e competitividade do setor de mineração.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2014.
- KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção Função estratégica**. 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2019.
- GIL, A. C. **Como elaborar um projeto de pesquisa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Atlas Ltda, 2017. 173 p.
- XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Belo Horizonte: Editora Desenvolvimento Gerencial, 1998.
- XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 2. Ed. Nova Lima: Falconi editora, 2014.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- SOUZA, Valdir Cardoso de. **Organização e gerência da manutenção: planejamento, programação e controle da manutenção**. 2.ed. São Paulo: All Print Editora, 2007.
- BRANCO FILHO, G. **A Organização do Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA., 2008.
- TELES, Eng. Jhonata. **Planejamento e controle da manutenção: uma metodologia passo a passo para a implantação do PCM**. Brasília: Engeteles, 2019.
- BUENO, E. R. F. **Gestão da manutenção de máquinas**. 1.ed. Curitiba: Editora Contentus, 2020.
- SELEME, R. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. 1. Ed. Curitiba, Intersaberes, 2015.
- CURI, A. **Minas a céu aberto: planejamento de lavra**. 1.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR5462: confiabilidade e maneabilidade: terminologia**. Rio de janeiro: ABNT, 1994.
- PAULA, R. F. **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.
- ALMEIDA, Antônio Tavares de. **Gestão de Manutenção**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005.