



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**NATÁLIA PICCININI FABRO**

**Estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para Auxiliar na  
Análise e Detecção de Falhas em Caminhões Fora de Estrada: o  
caso de uma empresa de mineração**

**OURO PRETO - MG  
2021**

**Natália Piccinini Fabro**  
**nataliapiccinini13@gmail.com**

**Estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para Auxiliar na  
Análise e Detecção de Falhas em Caminhões Fora de Estrada: 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**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F131e Fabro, Natalia Piccinini .

Estudo do sistema de tratamentos de falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas em caminhões fora de estrada [manuscrito]: o caso de uma empresa de mineração. / Natalia Piccinini Fabro. - 2021.  
69 f.

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

1. Análise de modo e efeito de falha (FMEA). 2. Controle da qualidade total. 3. Caminhões - Rotas. 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

**Natália Piccinini Fabro**

**Estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para Auxiliar na Análise e Detecção de Falhas em Caminhões Fora de Estrada: 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 11 de Agosto de 2021

### 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 Luis 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 17/08/2021



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/08/2021, às 04:52, 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](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0212662** e o código CRC **C042D16C**.

A Deus dedico esta etapa vencida, meus pais e amigos, pelo apoio.

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais pelo incentivo, amor e carinho que me deram todo apoio para dar esse passo tão importante em minha vida.

Ao orientador e professor DSc. Washington Luis Vieira da Silva pela orientação neste trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Mecânica da UFOP por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho e da minha formação profissional.

As irmãs republicanas.

*“A persistência é o menor caminho do êxito.”*

Charles Chaplin

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo de tratamento de falhas em caminhões fora de estrada através de análises e detecção de falhas. Para isso, foi aplicada uma metodologia de estudo de caso aplicado a uma empresa de mineração para o estudo de falhas em caminhões fora de estrada, através de um banco de dados contendo registros e informações sobre as paradas programadas e não programadas desses caminhões. Foi utilizado técnicas de análises de tratamento de falhas como Método dos Por Quês e Análise do Modo e Efeito de Falhas para quantificação e qualificação das falhas ocorridas. A análise do histórico de dados de falhas dos caminhões fora de estrada possibilitou identificar que os sistemas que mais levaram a paradas não programadas foram os sistemas elétrico, estrutura, motor de combustão e frenagem. Os conjuntos que mais falharam no sistema elétrico foram bateria (19,87%), painel (18,01%) e cabine (17,18%). No sistema estrutura foram cabine (46,81%) e estrutura (32,09%). Para o sistema motor de combustão os sistemas que mais falharam foram arrefecimento (43,32%) e motor de combustão (24,55%). No sistema frenagem os conjuntos freio de serviço (36,02%) e freio traseiro (20,08%) obtiveram o maior índice de falhas. Embora os sistemas apresentem conjuntos e itens distintos, a causa raiz das falhas que levaram a paradas não programadas dos caminhões eram semelhantes, tendo como principais causas os fatores de itens de qualidade baixa que acarretaram a falha antes do prazo estipulado pelo fabricante, erros de operação, utilização de itens em tempo prolongado, ou seja, superior ao tempo de vida útil estipulado pelo fabricante e inexistência ou inadequada manutenção preventiva. Assim, o estudo permitiu a identificação dos modos e efeitos de falhas dos caminhões fora de estrada, para auxiliar na melhoria contínua do processo produtivo através de sugestões de manutenções preventivas, além de apresentar ações corretivas que eliminem ou minimizem as causas dessas falhas. Com a utilização da ferramenta FMEA constatou-se que os itens que obtiveram os maiores valores de RPN (número de prioridade de risco) foram bateria, retrovisor, fusível, fiação e mangueiras. O estudo permitiu identificar os sistemas, conjuntos e itens que mais levaram a paradas não programadas, recomendando ações capazes de tratar a causa raiz das falhas, como a substituição de itens de melhor qualidade e reparos em cabos e fiações, além de fornecer a hierarquia de prioridade de risco.

**Palavras-chave:** *FMEA, Método dos Por Quês, Caminhões Fora de Estrada, Tratamento de falhas, Manutenção Preventiva.*



## ABSTRACT

*The present work aims to carry out a study on the treatment of failures in haul trucks through analysis and failure detection. For this, a case study methodology was applied to a mining company for the study of failures in haul trucks, through a database containing records and information about scheduled and unscheduled stops of these trucks. Failure treatment analysis techniques such as the Why Method and Failure Mode and Effect Analysis were used to quantify and qualify the failures that occurred. The analysis of data base of haul trucks failures made it possible to identify that the systems that led the most to unscheduled stops were the electrical systems, structure, combustion engine and braking. The sets that failed the most in the electrical system were battery (19.87%), panel (18.01%) and cabin (17.18%). In the structure system were cabin (46.81%) and structure (32.09%). For the combustion engine system, the systems that failed were cooling (43.32%) and combustion engine (24.55%). In the braking system, the service brake (36.02%) and rear brake (20.08%) sets had the highest failure rate. Although the systems have different sets and items, the root cause of the failures that led to unscheduled truck stoppages were similar, with the main causes being the factors of low-quality items that caused the failure before the deadline stipulated by the manufacturer, operating errors, use of items for a long period of time, that is, longer than the lifetime stipulated by the manufacturer and lack of or inadequate preventive maintenance. Thus, the study allowed the identification of the modes and effects of failures of haul trucks, to assist in the continuous improvement of the production process through suggestions for preventive maintenance, in addition to presenting corrective actions that eliminate or minimize the causes of these failures. Using the FMEA tool, it was found that the items that obtained the highest RPN (Risk Priority Number) values were battery, rearview mirror, fuse, wiring and hoses. The study allowed us to identify the systems, sets and items that most led to unscheduled shutdowns, recommending actions capable of treating the root cause of failures, such as replacement of better-quality items and repairs to cables and wiring, in addition to providing the risk priority hierarchy.*

**Keywords:** *FMEA, Five Whys Method, Haul Trucks, Fault detection method, Preventive maintenance.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plano de manutenção. ....	10
Figura 2: Organograma exemplo de uma empresa. ....	11
Figura 3: Ordem de Serviço.....	14
Figura 4: Fluxograma do Sistema de Tratamento de Falhas. ....	15
Figura 5: Relação entre o Esforço e Resistência. ....	17
Figura 6: Classificação das Falhas.....	18
Figura 7: Curva da Banheira.....	20
Figura 8: Modelo de Ferramenta FMEA. ....	22
Figura 9: Modelo de Árvore de Falha. ....	24
Figura 10: Diagrama de Ishikawa.....	25
Figura 11: Detalhamento de um problema utilizando Método dos Por Quês. ....	26
Figura 12: Fluxograma dos materiais e métodos.....	31
Figura 13: Diagrama do processo de carregamento e transporte.....	34
Figura 14: Organograma da Gerência de Manutenção da Mina.....	35
Figura 15: Caminhão fora de estrada.....	36
Figura 16: Ocorrência de falhas em função das frotas de caminhões fora de estrada. ....	39
Figura 17: Fluxograma da metodologia utilizada na investigação das causas fundamentais das falhas.....	40
Figura 18: Ocorrência de falhas da frota de caminhões fora de estrada Caterpillar 777G.....	41
Figura 19: Ocorrência de falhas da frota de caminhões fora de estrada Caterpillar 789C.....	41
Figura 20: Ocorrência de falhas da frota de caminhões fora de estrada Caterpillar 789D.....	42
Figura 21: Ocorrência de falhas da frota de caminhões fora de estrada Komatsu 730E.....	42
Figura 22: Itens que falharam no Conjunto Bateria do Sistema Elétrico. ....	44
Figura 23: Itens que falharam no Conjunto Painel do Sistema Elétrico.....	44
Figura 24: Itens que falharam no Conjunto Cabine do Sistema Elétrico. ....	45

Figura 25: Itens que falharam no Conjunto Cabine do Sistema Estrutura. ....	46
Figura 26: Itens que falharam no Conjunto Estrutura do Sistema Estrutura. ....	47
Figura 27: Itens que falharam no Conjunto Arrefecimento do Sistema Motor de Combustão. .....	48
Figura 28: Itens que falharam no Conjunto Motor de Combustão do Sistema Motor de Combustão. ....	49
Figura 29: Itens que falharam no Conjunto Freio de Serviço do Sistema Frenagem. ....	50
Figura 30: Itens que falharam no Conjunto Freio Traseiro do Sistema Frenagem. ....	51
Figura 31: Diagrama dos “Porquês” para o Conjunto Bateria do Sistema Elétrico. ....	52
Figura 32: Diagrama dos “Porquês” para os Conjuntos Cabine e Painel do Sistema Elétrico. ....	52
Figura 33: Diagrama dos “Porquês” para o Conjunto Estrutura do Sistema Estrutura. ....	53
Figura 34: Diagrama dos “Porquês” para o Conjunto Cabine do Sistema Estrutura. ....	53
Figura 35: Diagrama dos “Porquês” para os Conjuntos Arrefecimento do Sistema Motor de Combustão. ....	54
Figura 36: Diagrama dos “Porquês” para os Conjuntos Motor de Combustão do Sistema Motor de Combustão. ....	55
Figura 37: Diagrama dos “Porquês” para os Conjuntos Freio de Serviço e Freio Traseiro do Sistema Frenagem. ....	57

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Plano de inspeção diária do operador. ....	9
Tabela 2: Planilha de inspeção mensal de mecânico de manutenção. ....	9
Tabela 3: Codificação de Equipamentos. ....	13
Tabela 4: Índices de ocorrência, severidade e detecção para a construção do FMEA. ....	22
Tabela 5: Tabela explicativa da ferramenta 5W2H. ....	28
Tabela 6: Variáveis e indicadores. ....	31
Tabela 7: Dados gerais técnicos. ....	37
Tabela 8: Principais sistemas dos caminhões fora de estrada. ....	37
Tabela 9: Planilha com o histórico de manutenção dos caminhões fora de estrada parte 1. ....	38
Tabela 10: Planilha com o histórico de manutenção dos caminhões fora de estrada parte 2. ....	38
Tabela 11: Dados de ocorrências das frotas de caminhões fora de estrada. ....	39
Tabela 12: Conjuntos do Sistema Elétrico que falharam. ....	43
Tabela 13: Conjuntos do Sistema Estrutura que falharam. ....	46
Tabela 14: Conjuntos do Sistema Motor de Combustão que falharam. ....	48
Tabela 15: Conjuntos do Sistema Frenagem que falharam. ....	50
Tabela 16: FMEA dos sistemas motor de combustão, elétrico, frenagem e estrutura. ....	59
Tabela 17: Ações recomendadas para os sistemas elétrico, estrutura, motor de combustão e frenagem. ....	62

**LISTA DE SIGLAS**

FCA – Fato, Causa e Ação

PCM – Planejamento e Controle de Manutenção

EPI – Equipamento de Proteção Individual

RPN – *Risk Priority Number*

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

FTA – *Failure Tree Analysis*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
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 .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Manutenção: uma abordagem geral.....	5
2.2	Gestão da Manutenção.....	8
2.2.1	Planejamento de Manutenção .....	8
2.2.2	Organograma da Manutenção.....	10
2.2.3	Tagueamento e Codificação de Máquinas e Equipamentos .....	12
2.2.4	Ordem de Serviço .....	13
2.3	Sistema de Tratamento de Falhas .....	15
2.3.1	Tipos de Falhas .....	16
2.3.2	Curva da Banheira .....	19
2.3.3	Métodos para Análise de Falhas .....	21
2.3.3.1	Análise dos Modos e Efeitos de Falha - FMEA.....	21
2.3.3.2	Análise da Árvore de Falhas - FTA .....	24
2.3.3.3	Diagrama de Causa e Efeito .....	25
2.3.3.4	Método dos Por Quês .....	26
2.3.3.5	Plano de ação - FCA.....	27
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
3.1	Tipo de Pesquisa.....	29
3.2	Materiais e Métodos .....	30
3.3	Variáveis e Indicadores .....	31
3.4	Instrumento de Coleta de Dados.....	32
3.5	Tabulação dos Dados .....	32
3.6	Considerações Finais .....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>

4.1	Características da Empresa.....	33
4.2	Descrição do Equipamento.....	36
4.3	Detecção e Análise de Falhas Utilizando Sistemas de Tratamento de Falhas.....	38
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>61</b>
5.1	Conclusões.....	61
5.2	Recomendação para Trabalhos Futuros.....	63
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>64</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Atualmente, o setor da manutenção desempenha papel muito importante dentro de uma empresa, sendo necessário à sua atuação em manter os equipamentos sempre disponíveis para utilização para não haver perda de produção no processo. Nessa situação, a agilidade na liberação de um equipamento e manutenções preventivas e preditivas detectando e atuando na causa raiz de possíveis problemas futuros se tornam primordiais. Logo, o intuito é buscar minimizar os tempos de paradas de uma planta industrial de forma a detectar antecipadamente falhas nos equipamentos (BALDISSARELLI e FABRO, 2019).

Para que uma empresa trabalhe com alta produtividade, o setor da manutenção se torna imprescindível nesta função para que os equipamentos estejam em perfeito funcionamento atendendo a alta demanda por produção, visando qualidade e baixo custo de operação (SANTOS, 2003).

Segundo Kardec e Nascif (2013), “a manutenção é definida como as atividades necessárias para garantir a disponibilidade das funções dos equipamentos e instalações, de maneira a atender um processo produtivo e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados para a empresa”.

De acordo com a norma NBR 5462 (1994, p.3) a falha é o “término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”.

Diante do exposto, o tratamento de falhas consiste em verificar a importância de uma ocorrência específica, a severidade e identificar a causa do problema através de análise de paradas e falhas dos equipamentos, estabelecendo ações adequadas. O registro de falhas dos equipamentos se torna imprescindível para identificar os fatores que são cruciais no funcionamento dos equipamentos e com isso tomar contramedidas para reduzir suas ocorrências (BEZERRA JÚNIOR, 2019).

Dentro de várias metodologias a serem utilizados no tratamento de falhas, o FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falha) e o FCA (Análise de Causa Raiz) são as ferramentas de tratamento de falhas mais usuais (PASSAMAI e CASTILHO, 2007).

Este trabalho é direcionado para desenvolver metodologia adequada para tratamento de falhas de caminhões fora de estrada do setor de mineração. A proposta deste estudo tem



como foco nesses caminhões que desenvolvem papel crucial na operação de uma mina, podendo parar a produção de uma mineradora devido o seu não funcionamento.

Para o funcionamento ideal desses caminhões todos os componentes necessitam estar em condições de operação, sendo que falhas individuais em seus componentes comprometem a sua funcionalidade acarretando paradas ou perda de eficiência. Com isso, é evidente a importância da realização de um tratamento de falhas, buscando substituir manutenções corretivas pelas preventivas com o intuito de não afetar o processo industrial e, conseqüentemente, os custos de produção na qual estão relacionados a indisponibilidades dos equipamentos.

Uma manutenção adequada possui efeitos diretos nos custos do produto final de uma empresa. Diante da necessidade de identificar e qualificar as falhas que ocorrem com caminhões fora de estrada com o intuito de aprimorar a manutenção no setor de mineração, segue o seguinte questionamento:

**Como o estudo do Sistema de Tratamento de Falhas pode contribuir para a melhoria do processo de manutenção através da análise e detecção de falhas de caminhões fora de estrada de uma empresa de mineração?**

## **1.2 Justificativa**

Nas empresas, a manutenção vem recebendo uma maior atenção por ser um importante pilar na gestão da produção, sendo imprescindível para conquistar os objetivos principais que são aumento de produção alinhado a redução de custos, qualidade e segurança. Para isso, faz-se necessário maior agilidade na detecção e resolução de problemas no setor produtivo (SHROEDER, 2017).

O objetivo da manutenção é sempre maximizar a disponibilidade dos equipamentos, mantendo os equipamentos ao menos em situação necessária a operação até que se organize uma parada programada (TIMÓTEO, 2018).

A necessidade de redução de custos em uma empresa se torna cada vez mais vital para a sua competitividade. Para isso, se faz necessário buscar ferramentas e metodologias que auxiliam na melhoria constante dos processos industriais. A utilização do sistema de tratamento de falhas, quando aplicado corretamente, é uma ferramenta que auxilia a minimizar o impacto sobre o funcionamento dos equipamentos, através da detecção e eliminação de reincidências de falhas e aumentando a sua confiabilidade. Essas ferramentas

minimizam o número e o custo das paradas não programadas e melhoram o desempenho global de uma indústria (TIMÓTEO, 2018).

Para Bezerra Júnior (2019), com o sistema de tratamento de falhas é possível obter vantagens no sentido de sistematizar o diagnóstico das falhas e auxiliar na detecção e eliminação das ocorrências de falhas dos equipamentos, fornecendo hierarquia de prioridades nas atividades do setor de manutenção, eliminando assim desperdícios de peças, redução de estoques desnecessários e aumento da confiabilidade dos equipamentos.

A partir do estudo do sistema de tratamento de falhas em caminhões fora de estrada no setor da mineração, será possível reduzir a duração e as ocorrências de paradas não programadas através do relatório de modo de falhas e efeitos, sendo elaboradas contramedidas e produzindo projetos de melhoria com a finalidade de aumentar a disponibilidade dos caminhões.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Analisar como o Sistema de Tratamentos de Falhas pode auxiliar na análise e detecção de falhas de caminhões fora de estrada em uma empresa de mineração.

#### **1.3.2 Específicos**

- Realizar um estudo teórico sobre: manutenção, métodos de manutenção, gestão da manutenção, Sistemas de Tratamentos de Falhas e Análise e Modo de Efeito de Falhas (FMEA);
- Elaborar um procedimento operacional e fornecer um diagnóstico para análise e verificação das condições operacionais dos caminhões fora de estrada;
- Comparar os dados obtidos com a base teórica e identificar através da Análise e Modo de Efeito de Falhas (FMEA) os problemas comumente encontrados em caminhões fora de estrada.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O trabalho está dividido em seis capítulos, onde o capítulo 1 é apresentado a formulação do problema, justificativa, objetivo geral e específicos e a estrutura do trabalho. O

capítulo 2 é fundamentado na revisão bibliográfica, na qual trata da fundamentação de conceitos e teorias à respeito da manutenção mecânica, além de detalhar métodos de gestão na gerência de manutenção industrial e os métodos para elaboração de um sistema de tratamento de falhas em caminhões fora de estrada. No capítulo 3 é demonstrada a metodologia e métodos utilizados na pesquisa, onde, através da análise de dados, é realizado um diagnóstico do problema. O capítulo 4 contempla os resultados e discussões referente ao estudo desta pesquisa, que apresenta as considerações necessárias para resolução da causa raiz da falha. A conclusão do trabalho é apresentada no capítulo 5, o qual apresenta os pontos importantes e resumidos dos resultados deste trabalho, buscando responder o problema levantado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manutenção: uma abordagem geral

A definição da palavra manutenção começou a ser conhecida no século XVI na Europa central, com a criação do relógio mecânico, surgiram os primeiros técnicos em assistência e montagem. Ao longo da Revolução Industrial, no século XVIII, a manutenção foi se consolidando devido a necessidade de reparos mais significativos nos equipamentos, sendo desenvolvidas técnicas de organização, planejamento, gerenciamento e controle nas empresas (MORO e AURAS, 2007).

Os problemas relacionados a manutenção são inúmeros e abrangem todos os setores sejam eles industriais, agricultura, educação, serviços, pesquisas científicas, equipamentos de saúde, entre outros. Diante disso, torna-se importante a aplicação de técnicas de manutenção buscando sempre a melhor eficiência nos quesitos disponibilidade, desempenho e qualidade dos equipamentos (TRINDADE, 2015).

De acordo com Viana (2002), a manutenção deve estar sempre a procura de melhorias constante, com o intuito de aproveitamento máximo dos equipamentos. Para Viana (2002), os operadores dos equipamentos devem ser treinados para manterem as máquinas em funcionamento nas indústrias.

A incessante busca pela melhoria dos métodos e técnicas na Engenharia de Manutenção e a utilização e exigência de máxima disponibilidade dos equipamentos são cruciais para um bom desempenho de produção (BEZERRA JÚNIOR, 2019).

A degradação e o desgaste natural ocorrem nos equipamentos, sendo manifestada negativamente de diversas maneiras como perda de desempenho, paradas de produção, perda de qualidade nos produtos e poluição ambiental. A simples necessidade de manter o equipamento nas condições originais de projeto não reduz a reincidência de falhas pois não irá contribuir no avanço de produção (XENOS, 2014).

Os principais métodos de manutenção são definidos pela NBR 5462 (1994) como a manutenção corretiva, preditiva e preventiva. Um novo modelo de manutenção denominada de Manutenção 4.0 agrega conceitos mais modernos utilizando tecnologias de controle e automação aplicado nos processos industriais (DOCKHORN, 2019).

A correta aplicação desses métodos de manutenção leva ao aprimoramento da produção com menor custo. O método mais adequado para o processo depende de como

ocorreu a falha, o tipo e o grau de consequência para o processo, sempre levando em consideração o custo da prevenção. Existem situações, como no caso de falhas ocorridas devido condições climáticas, se tornam em uma falha de caráter não previsível (XENOS, 2014).

De acordo com Kardec e Nascif (2013), a manutenção corretiva é definida como uma “ação de corrigir uma falha ou baixo rendimento do equipamento”, sendo efetuada após a ocorrência da falha. Lucatelli (2002) destaca que este tipo de manutenção é o mais antigo e utilizado em indústrias que não possuem um planejamento de manutenção bem estruturado.

Para Moro e Auras (2007), a manutenção corretiva pode ser dividida em dois modos, sendo inesperada ou ocasional. A inesperada procura identificar e reparar os defeitos repentinos nas máquinas que estão operando continuamente. Já o modo ocasional são reparos realizados nas máquinas sem que a falha ocasione a falha ou pane do equipamento.

A manutenção corretiva é caracterizada por intervenções sem um planejamento prévio, sendo realizada com o intuito de corrigir o problema após a pane do equipamento, evitando assim maiores transtornos ao processo, ao meio ambiente e ao trabalhador. Esse tipo de manutenção possui custo elevado, execução demorada e o investimento é relativamente baixo (VIANA, 2002).

Para Dockhorn (2019), a manutenção corretiva deve ser utilizada apenas quando há uma falha de caráter emergencial, por se tratar de um método de manutenção caro e com maior perda de tempo, sendo considerado o pior tipo de manutenção existente.

O custo e o tempo são elevados devido em sua maioria a manutenção corretiva ser de modo ocasional, elevando assim o lucro cessante. O lucro cessante é considerado como o prejuízo causado devido uma parada na produção (GAIO, 2016).

A manutenção preventiva é definida por Kardec e Nascif (2013) como sendo uma “intervenção realizada no equipamento que tem por objetivo reduzir ou evitar a falha, anteriormente planejada e num período previamente definido”.

De acordo com Xenos (2014), a manutenção preventiva é o método de manutenção mais importante de uma empresa. Ela possui um custo de manutenção elevado, pois realiza troca de itens ou componentes antes do final da vida útil. Porém, o lucro cessante é menor devido a otimização dos tempos de paradas, evitando perdas maiores de produção, problemas ambientais e maior segurança para os colaboradores que trabalham diretamente envolvido com o equipamento.

Para Viana (2002) a manutenção preventiva ajuda a obter um maior controle do equipamento e reduz a probabilidade de falhas. Exemplos desse tipo de manutenção são as inspeções, substituição de itens ou componentes, lubrificação, limpeza, ajustes, entre outros.

A manutenção preventiva é realizada através de um plano de manutenção predeterminado sendo analisado a frequência e modo de falha dos equipamentos, essas frequências podem ser atreladas ao tempo, produtividade, quilometragem, eficiência, entre outros (DOCKHORN, 2019).

Para esse tipo de manutenção, o investimento é alto pois faz-se necessário um maior número de colaboradores e com um nível de capacidade técnica elevada para manipular ferramentas de controle de tratamento de falhas e manter estoque de peças de reposição. O ganho da manutenção preventiva está na otimização do tempo, pois é identificado previamente o tempo exato de parada para a realização da manutenção através um plano de manutenção e no maior controle sobre as falhas (PALLEROSI, 2007; GAIO, 2016).

De acordo com a norma NBR 5462 (1994), a manutenção preditiva utiliza técnicas de análises de falhas prevendo quando o item ou componente irá falhar. Esse tipo de manutenção utiliza técnicas de análise através de meios de amostragens e supervisão dos equipamentos.

Ou seja, a manutenção preditiva consegue encontrar falhas em equipamentos ainda no início de ocorrência, momento em que a falha ainda não é prejudicial para o processo de produção. Com a identificação prematura da falha, torna-se mais eficaz o planejamento para manutenção, eliminando a falha, reduzindo o tempo de parada programada e reduzindo os custos (KARDEC e CARVALHO, 2002; KARDEC e NASCIF, 2013).

Os custos relacionados a esse tipo de manutenção são menores quando comparados aos custos com manutenção corretiva ou preventiva. Porém, o investimento inicial é maior, pois se faz necessário ter equipe de colaboradores mais capacitados e ter equipamentos de análise sofisticados para coletar dados de medições (DOCKHORN, 2019).

Segundo Santos (2009), os dados são coletados muitas vezes de forma manual e servem para analisar parâmetros específicos de cada equipamento. Alguns parâmetros podem ser destacados como sendo ensaios elétricos, análise de termografia, vibração, energia acústica e análise do óleo.

De acordo com Xenos (2014), as empresas que realizam a prática da manutenção preditiva possuem uma equipe de engenheiros exclusiva e capacitada para realizar esse gerenciamento. Esse tipo de manutenção se resume na obtenção de dados através do

acompanhamento periódico dos equipamentos, com o objetivo de identificar o momento certo de intervenção.

Ainda segundo Xenos (2014) para que haja uma boa gestão da manutenção voltada ao aumento de confiabilidade dos equipamentos se faz necessário uma série de funções de apoio da manutenção, sendo elas: tratamento de falhas dos equipamentos, padronização da manutenção, planejamento de manutenção, peças reservas, orçamento, educação e treinamento dos colaboradores.

## **2.2 Gestão da Manutenção**

A gestão da manutenção busca a consolidação de rotina focado na melhoria contínua das atividades executadas em uma empresa, buscando aumentar a confiabilidade, segurança e disponibilidade dos equipamentos para que a empresa busque ser competitiva no mercado buscando sempre melhoria nos resultados e aproveitando todos os recursos disponíveis no ambiente de trabalho (GAIO, 2016).

De acordo com Kardec e Nascif (2013), para prática de uma boa gestão de manutenção é necessário elaborar planos de manutenção e inspeção, realizar análise e tratamento de falhas, capacitar e treinar os colaboradores.

### **2.2.1 Planejamento de Manutenção**

Segundo Viana (2002), o gerenciamento da manutenção teve seu desenvolvimento com o avanço da melhoria no Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), na qual permitiu implementar diversos recursos buscando um melhor desempenho através da redução de tempo, materiais e custos com mão de obra. A organização é beneficiada como um todo, mantendo sempre o volume de produção dentro do planejado. Ou seja, a produção engloba a manutenção e a operação na qual ambas estão no mesmo nível hierárquico em uma organização.

Planos de manutenção devem ser elaborados diante da recomendação do fabricante do equipamento e, também, de acordo com necessidades e realização de inspeções. Com o intuito de detectar os modos e efeitos de falhas devem ser executados planos de inspeções visuais, planos de intervenção preventiva, monitoramento dos equipamentos, troca de itens de desgaste e roteiro de lubrificação (VIANA, 2002).

Para Chiquito e Veloso (2018) a inspeção e o monitoramento dos equipamentos devem ser realizados tanto pelo operador do equipamento quanto pelos mecânicos, sendo essa inspeção dada de modo diário, semanal, quinzenal, mensal, bimestral, semestral, anual e bianual. Na Tabela 1 mostra um exemplo de um plano de inspeção diária de um operador e na Tabela 2 mostra um exemplo de plano de inspeção mensal de um mecânico.

Tabela 1: Plano de inspeção diária do operador.

Logotipo	PLANILHA DE INSPEÇÃO DIÁRIA OPERADOR				
Operador:	Data: 00/00/0000	Nº Equip:	Sim	Não	Não Aplicável
Tempo:	5 minutos	Anomalia Dia Anterior Foi resolvida			
A inspeção deve ser executada no início do turno de trabalho					
Item		OK	Ñ OK	Resp.	
1	A máquina está limpa			Operador	
2	Guias do Barramento sem riscos e limpadores de cavaco perfeitos			Operador	
3	Nível de Óleo Sistema Central está no nível correto			Operador	
4	Nível de Óleo Unidade Hidráulica está no nível correto			Operador	
5	Os mancais do eixo Z estão Lubrificados			Operador	
6	Contra ponto está lubrificado			Operador	
Observações:					

Fonte: Chiquito e Veloso (2018).

Tabela 2: Planilha de inspeção mensal de mecânico de manutenção.

Logotipo	PLANILHA DE INSPEÇÃO MENSAL MECÂNICO DE MANUTENÇÃO				
Mecânico:	Data: 00/00/0000	Nº Equip:	Sim	Não	Não Aplicável
Tempo:	5 minutos	Anomalia Mês Anterior Foi resolvida			
A inspeção deve ser executada entre turnos					
Item		OK	Ñ OK	Resp.	
1	Verificar se não há cavaco engripando a placa auto-centrante			Mecânica	
2	Inspecionar as tubulações das porcas dos fusos dos eixos X e Z			Mecânica	
3	Controlar a pressão da Unidade Hidráulica 25kgf			Mecânica	
4	Verificar o nivelamento do ar para que o dreno funcione corretamente, limpar o filtro com ar comprimido			Mecânica	
5	Limpar o reservatório de óleo refrigerante			Mecânica	
Observações:					

Fonte: Chiquito e Veloso (2018).

As Tabelas 1 e 2 destacam o detalhamento de um plano de inspeção do equipamento em determinada periodicidade, onde as tarefas estejam em linguagem simples indicando uma sequência lógica da execução da tarefa.

De acordo com Xenos (2014), o plano de manutenção consiste em classificar a importância do equipamento no processo produtivo, definir a periodicidade de inspeção e manutenção e verificar a eficácia do planejamento de manutenção utilizando ferramentas de controle.



Barbosa e outros (2009), propõem que para elaboração de um plano de manutenção, seja realizado a coleta de dados, mapeamento do processo, padronização dos procedimentos, capacitação dos colaboradores e monitoração. A Figura 1 mostra um modelo esquemático da implantação de um plano de manutenção.



Figura 1: Plano de manutenção.  
Fonte: Barbosa *et al.* (2009).

A implantação de um plano de manutenção identificado na Figura 1, se dá através da coleta de informações dos operadores sobre as falhas das máquinas. O mapeamento do processo consiste em definir áreas e responsabilidades. Criação de padrões através de um manual da manutenção. Implantar um modelo de capacitação e desenvolvimento dos colaboradores. E sempre avaliar os resultados.

O objetivo principal do plano de manutenção é eliminar ou reduzir ao máximo a incidência de falhas, degradação dos equipamentos, paradas não programadas e manter o processo de manutenção organizado e dentro de padrões estabelecidos (BARBOSA *et al.*, 2009).

### 2.2.2 Organograma da Manutenção

O organograma da manutenção tem o objetivo designar responsabilidades aos colaboradores do setor de manutenção de forma clara e objetiva. Seeling (2000) identificou em seu trabalho oito pontos críticos que devem ser estruturados no setor de manutenção para obter um bom gerenciamento que foram eles:

- Falta de um cargo de liderança em todos os turnos de trabalho;

- Falta de um software ou controle de dados de manutenção;
- Ausência de indicadores de performance;
- Inexistência de manutenções preventivas e preditivas;
- Inexistência de documentação de serviços prestados;
- Planejamento ineficiente das manutenções;
- Lay-out inadequado do setor de manutenção;
- Deficiência no controle de estoque de peças reserva.

Para Seeling (2000), a estratégia de dividir a equipe de manutenção em uma indústria traz benefícios como redução no tempo de paradas em manutenções corretivas, aumento na disponibilidade dos equipamentos, melhoria no atendimento aos outros setores da empresa, controle mais eficaz do processo de manutenção e aumento na produtividade do setor de manutenção. A Figura 2 mostra um exemplo de um organograma do setor de manutenção.

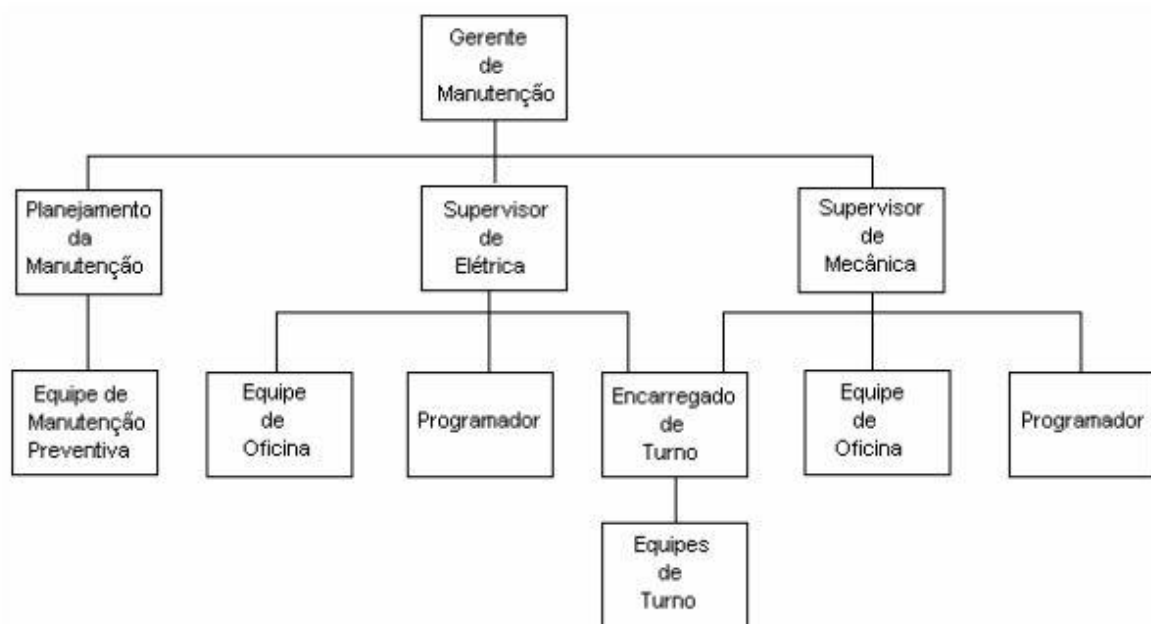


Figura 2: Organograma exemplo de uma empresa.  
Fonte: Seeling (2000).

No organograma apresentado na Figura 2, é possível visualizar com clareza a designação de responsabilidades e de hierarquias, deixando o setor mais objetivo. Dentro do cenário proposto por Seeling (2000) na Figura 2, há divisão da equipe do setor de manutenção da empresa na qual o planejamento de Engenharia de Manutenção ficou definida para executar o planejamento e controle das atividades e outra parte da equipe focada na execução

das tarefas de manutenção mecânica e elétrica seguindo uma programação gerenciada através de um plano de manutenção.

### **2.2.3 Tagueamento e Codificação de Máquinas e Equipamentos**

O tagueamento (tag) é uma ferramenta que auxilia na identificação da localização dos equipamentos e das áreas de uma empresa, ajudando na organização do ambiente de trabalho. Essa ferramenta é essencial para identificação e verificação dos dados de cada equipamento como número de quebra, falhas, modelo, marca, data, hora, custo, entre outros (VIANA, 2002). Para Moretti e outros (2019), o tagueamento é essencial para o planejamento e programação de intervenção de manutenção, compra correta de materiais e coletar informações para a gestão de equipamentos como falhas, custo e disponibilidade.

A codificação dos equipamentos é necessária para uma boa gestão da manutenção com o intuito de obter maior controle da manutenção. Os equipamentos necessitam ter um código único de cada equipamento e devem conter suas informações técnicas (SILVA, 2014).

Segundo Furmann (2002), a codificação significa tomar um ato de identificar equipamentos, sistemas ou estruturas dentro de uma organização, com o objetivo de facilitar a conservação de dados e obter informações mais precisas e rápidas. A codificação dos equipamentos é realizada através de critérios de reciprocidade de operação, proximidade física ou setorial, e tomando sempre o cuidado em simplificar a visualização e a identificação do equipamento na empresa.

De acordo com Chiquito e Veloso (2018), as informações necessárias para a codificação de um equipamento são:

- Localização setorial do equipamento;
- Dados de identificação;
- Número de identificação patrimonial;
- Fabricante;
- Marca;
- Modelo;
- Número de série;
- Informações técnicas (dados técnicos e administrativos).

De acordo com Viana (2002), para criar a codificação de um equipamento deve-se tomar como base um padrão de registro contendo informações claras permitindo a sua identificação. A Tabela 3 mostra exemplos de codificação de equipamentos.

Tabela 3: Codificação de Equipamentos.

<b>Código</b>	<b>Descrição do Equipamento</b>
ME - 0001	Motor Elétrico de 50 CV
ME - 0002	Motor Elétrico de 25 CV
SE - 0002	Silo de Espera
SP - 0007	Silo de Preparação
TC - 0026	Correia Transportadora
TC - 0027	Correia Transportadora
VA - 0001	Válvula de Ar
VG - 0005	Válvula de Gás

Fonte: Adaptado de Viana (2002).

Para Viana (2002), a codificação possui os objetivos de evitar duplicidade e facilitar o controle de estoque de equipamentos e materiais, padronização de materiais e facilitar a comunicação interna em uma organização.

#### **2.2.4 Ordem de Serviço**

A ordem de serviço (OS) está atrelada ao planejamento de manutenção de uma empresa e pode ser definida como a “permissão de trabalho de manutenção”, sendo o documento base para a manutenção executar a intervenção no equipamento de modo a garantir que tarefas importantes sejam executadas, além de facilitar o entendimento ao técnico de manutenção sobre o serviço a ser executado (VIANA, 2002).

O documento gerado na ordem de serviço deve conter informações como data da manutenção, número da ordem de serviço, código e tag do equipamento, nome do equipamento, centro de custo, responsável em executar a ordem de serviço e histórico do equipamento (tipos de intervenções, causa, tempos de serviço executados). Logo após a execução do serviço é realizado um registro sobre a intervenção com o intuito de sempre alimentar o histórico do equipamento (VIANA, 2002; CARVALHO *et. al*, 2009). A Figura 3 mostra um exemplo de ordem de serviço.


		ORDEN DE SERVIÇO	
EQUIPAMENTO _____		DATA SOLICITAÇÃO _____	
DESCRIÇÃO SERVIÇO			
MATERIAIS/ PEÇAS NECESSARIAS			
Serviço Executado			
Técnico responsável: _____			
Data serviço: ____ / ____ / ____		Início: ____ h e	Término: ____ : ____ h e
Manutenção: <input type="checkbox"/> Corretiva <input type="checkbox"/> Preventiva		Horimetro: _____ h e	
Comentários:			
Pendências:			
Aprovação do serviço			
Equipamento está liberado para produção:		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Equip. se encontra no padrão e higiene / segurança:		<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
_____		_____	
Aprovação operacional		Aprovação técnica	

Figura 3: Ordem de Serviço.  
Fonte: Carvalho *et al.* (2009).

Para Freitas (2016), as ordens de serviço podem ser divididas em quatro tipos:

- Ordem corretiva: ordem de intervenção imediata no equipamento, executada sem programação por ser de origem emergencial;
- Ordem de rota: ordem de manutenção preditiva, sendo executada através de planos de manutenção;
- Ordem planejada: ordem de manutenção preventiva, executada com uma programação predefinida sem caráter emergencial;
- Ordem de parada geral: ordem de manutenção preventiva, porém sendo executada após a parada do setor.

De acordo com Viana (2002), para obter o melhor planejamento e gerenciamento das ordens de serviço se faz necessário listar uma série de itens como sendo:

- Título da ordem de serviço;
- Tipo de máquina ou equipamento;
- Periodicidade;
- Data da ativação;
- Responsável pela execução do serviço de manutenção (planejador);
- Equipe de manutenção;
- Materiais e ferramentas utilizadas;
- Equipamentos de proteção individual (EPIs).

### 2.3 Sistema de Tratamento de Falhas

Segundo Oliveira e outros (2010), as falhas são não conformidades nas atividades em uma empresa, sendo necessitado cada vez mais pesquisas sobre o assunto com o intuito de obter maior controle e prevenção de falhas no processo produtivo. Existem várias técnicas de tratamento de falhas que abordam o assunto, neste trabalho utiliza-se as técnicas de Análise de Modo e Efeito de Falhas (FMEA), Análise da Árvore de Falhas (FTA), Método dos Por quês, Plano de Ação (FCA) e Diagrama de Causa e Efeito. Cada técnica possui seus potenciais e benefícios para análise e controle de falhas.

Um sistema de tratamento de falhas é definido por Xenos (1998) como sendo “uma estrutura formal de gerenciamento de informações sobre falhas e das ações subsequentes.” A Figura 4 mostra o fluxograma do sistema de tratamento de falhas definido por Xenos (1998).

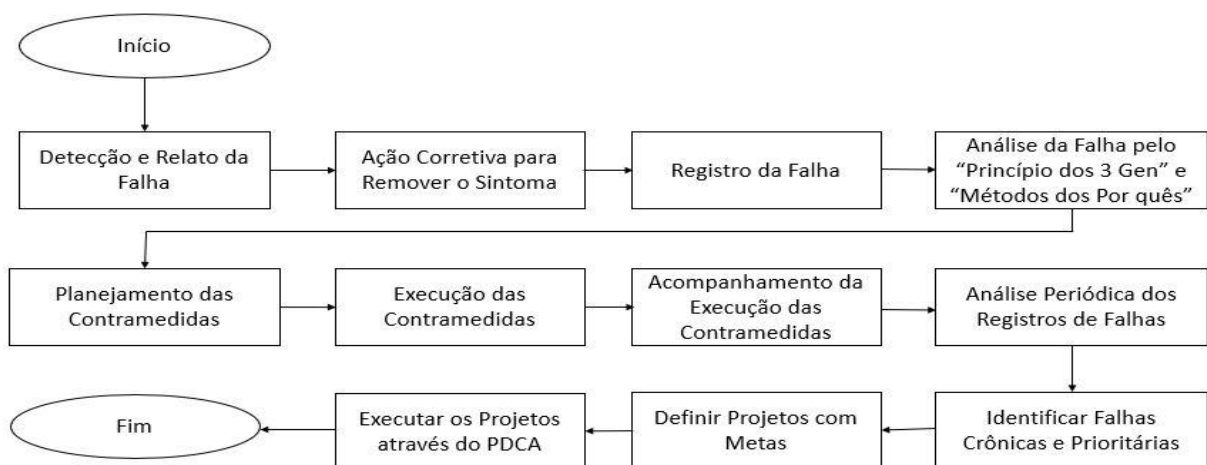


Figura 4: Fluxograma do Sistema de Tratamento de Falhas.  
Fonte: Carvalho *et al.* (2009).

Este sistema identificado na Figura 4 permite instruir as equipes de manutenção à buscar as causas fundamentais das falhas e estabelecer medidas eficazes (XENOS, 1998).

Aliado a essas técnicas, a compreensão do processo produtivo de uma empresa, ou seja, a coleta e mapeamento das falhas permitem uma melhor identificação e ação mais eficaz no tratamento de falhas (ALMEIDA e FAGUNDES, 2005).

Segundo a norma NBR 5462 (1994) a falha é quando “um item ou componente para de desempenhar a sua função planejada”.

As falhas também podem ser definidas como um “evento indesejado sendo responsável por erros e mal funcionamento de itens ou equipamentos” (ALMEIDA *et al.*, 2006).

Embora as falhas estejam sempre presentes nos processos produtivos, elas possuem diferentes graus de importância para o bom desempenho do processo, sendo algumas cruciais para que não haja grandes prejuízos financeiros, ambientais e de segurança (OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Callister Junior e Rethwisch (2008), a falha de materiais é quase sempre evento indesejável pois pode provocar acidentes que levam a perdas econômicas, redução na qualidade do produto e risco de acidentes aos colaboradores e clientes. A prevenção de falhas é uma condição difícil de ser garantida, suas principais causas são a utilização inapropriada do equipamento no processo, erro de projeto ou desgaste natural dos itens que o compõem. Para isso, se faz necessário um estudo de engenharia de manutenção para que se possa antecipar e planejar a manutenção dos equipamentos antes que a falha ocorra. É função do engenheiro avaliar e tomar medidas de ações preventivas para evitar novas falhas.

### **2.3.1 Tipos de Falhas**

Para Xenos (2014) a falta de resistência, uso e manutenção inadequada são causas possíveis para que as falhas ocorram. A falta de resistência é de origem do próprio equipamento, sendo ocasionado por erro de projeto, erros de especificações e fabricação ou montagem deficiente.

Prevenir e corrigir falhas constituem os objetivos principais da manutenção, para alcançar tais objetivos se faz necessário conhecer e entender o funcionamento dos

equipamentos, bem como o modo e os efeitos das falhas que podem ocorrer (SIQUEIRA, 2005).

A utilização inadequada do equipamento ocasiona em falhas quando o mesmo está submetido a esforços acima da capacidade especificada ou utilização de forma incorreta sem tomar os cuidados básicos de preservação (XENOS, 2014).

Os equipamentos são submetidos a esforços que irão provocar o desgaste natural dos itens diminuindo a resistência do equipamento. As falhas ocorrem quando essa resistência for abaixo dos esforços que o equipamento for submetido (XENOS, 1998). A Figura 5 mostra a relação entre esforço e resistência dos equipamentos.

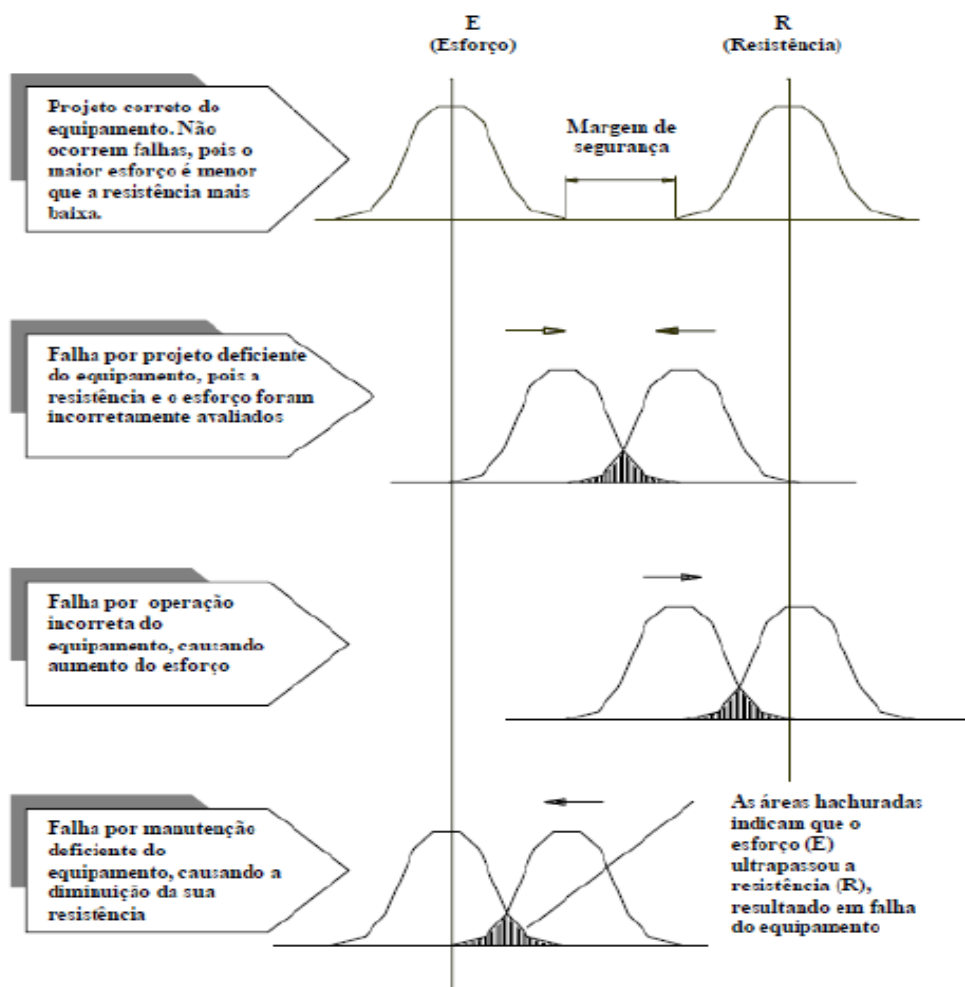


Figura 5: Relação entre o Esforço e Resistência.  
Fonte: Xenos (1998).

De acordo com Siqueira (2005), as falhas podem ser classificadas e divididas em seis aspectos sendo eles pela extensão, manifestação, criticidade, velocidade, origem e idade,



sendo relacionado esses seis aspectos à Manutenção Centrada na Confiabilidade. A Figura 6 mostra um organograma da classificação das falhas.

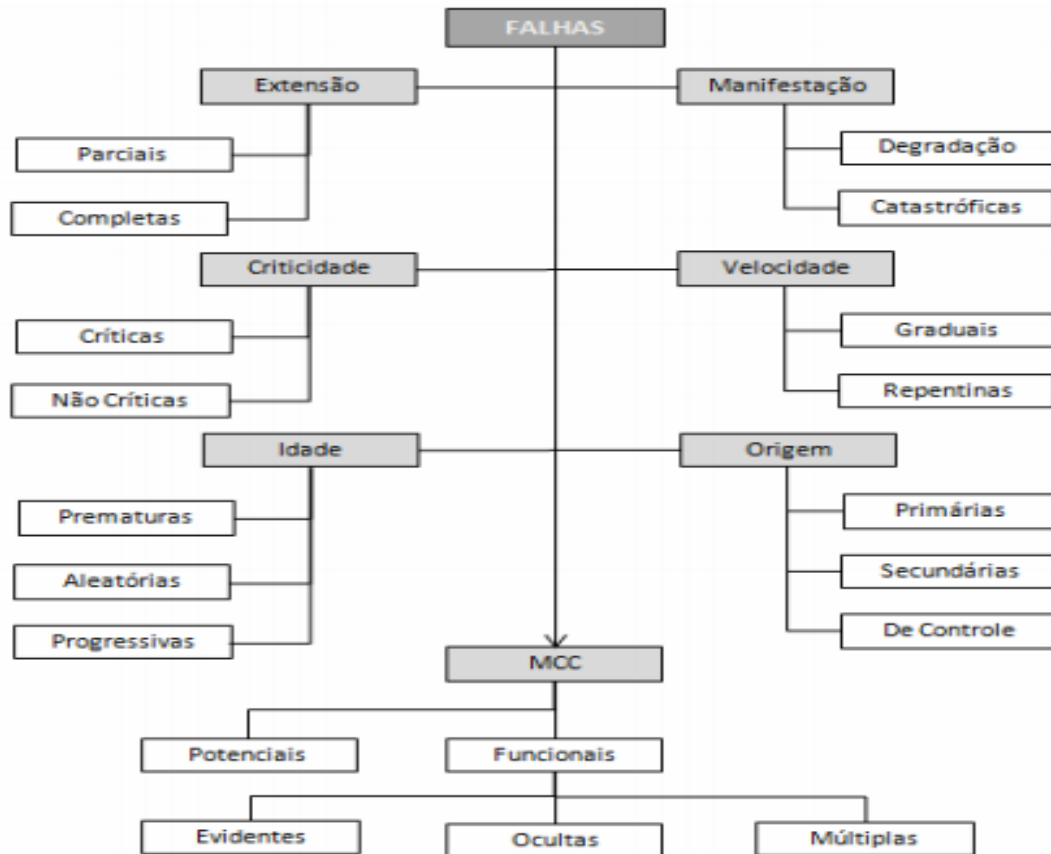


Figura 6: Classificação das Falhas.  
Fonte: Siqueira (2005).

Para Siqueira (2005), as falhas de origem primária em um equipamento são falhas decorrentes de deficiências dos próprios itens ou componentes mesmo respeitando os limites de operação.

Segundo Pereira (2009), as falhas podem ocorrer devido à quebra de itens ou componentes do equipamento ou devido a erros humanos. As falhas devido a erros humanos ocorrem pela falta de capacitação e treinamento dos operadores e técnicos de manutenção relacionados ao uso e manutenção adequada do equipamento. As falhas devido à quebra de itens ou componentes são as mais comuns, podendo ser divididas em falhas aleatórias de componentes simples, falhas aleatórias de componentes complexos e falhas relacionadas a idade.

As falhas graduais são devido a uma mudança gradual nas características do equipamento com o tempo, podendo ser corrigidas com manutenção programada preventiva.

As falhas catastróficas ocorrem de maneira repentina, resultando na incapacidade de um item desempenhar a sua função requerida (CALLISTER JUNIOR e RITHWISCH, 2008).

As falhas aleatórias de componentes simples do equipamento ocorrem devido a esforços externos, em algumas situações a falha não ocorre de maneira catastrófica, porém o equipamento fica fragilizado e pode acarretar perda de eficiência. Já as falhas aleatórias de componentes complexos são devido a utilização de novas tecnologias com o intuito de reduzir a probabilidade de falhas. Essas novas tecnologias aumentam a confiabilidade, melhoram a interface e reduzem dimensões de itens e componentes (PEREIRA, 2009).

Para Callister Junior e Rithwisch (2008), segundo a criticidade das falhas, uma falha crítica é aquela que ocasiona em perda produtiva e riscos à segurança. Já a falha não crítica é aquela que não interfere no processo, nem no funcionamento do equipamento.

Falhas relacionadas à idade do equipamento se dá devido a redução do tempo de vida útil na qual o equipamento fica mais propício a apresentar falhas diante do desgaste natural dos componentes mesmo seguindo criteriosamente os limites especificados de utilização (PEREIRA, 2009).

Segundo Kardec e Nascif (2013), as falhas potenciais na Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é uma condição de falha mensurável e identificável que ocorre antes da falha funcional do equipamento. As falhas funcionais ocorrem devido algum item do equipamento não ter a capacidade de desempenhar a sua funcionalidade mesmo dentro dos limites desejados de desempenho especificado.

### **2.3.2 Curva da Banheira**

Um modelo muito utilizado na análise e identificação de falhas está relacionado a um gráfico denominado de curva da banheira. Esse nome se dá devido ao formato da curva do gráfico de acordo com o tempo de vida útil dos equipamentos (REIS e ANDRADE, 2009).

Para Souza e Alvares (2008), este gráfico é usado para a análise de falhas dos equipamentos juntamente com o histórico de manutenção. O gráfico da curva da banheira é apresentado na Figura 7, ele inicia com o início da utilização do equipamento, caracterizado por grandes taxas de falha, seguido por uma queda e permanência constante de falhas e encerra com o final de vida útil do equipamento com as falhas crescendo de forma exponencial. As etapas variam com o tempo de funcionalidade do equipamento podendo ser o

tempo de vida útil ser prolongado ou retardado a depender dos tipos de manutenções realizadas.

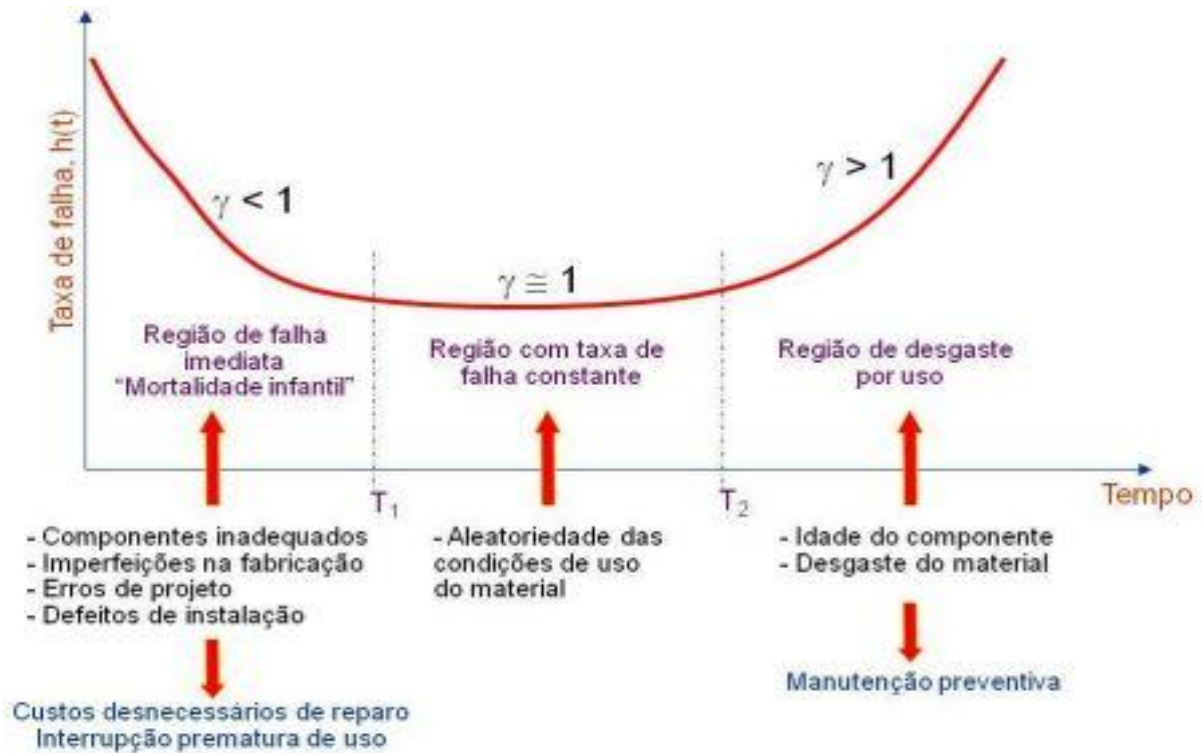


Figura 7: Curva da Banheira.  
Fonte: Reis e Andrade (2009).

Segundo Souza e Alvares (2008), curva da banheira é dividida em três etapas do ciclo de vida útil do equipamento. A primeira etapa, denominada de Região de Falha imediata "Mortalidade Infantil", diz respeito a instalação e início de funcionamento do equipamento e possui uma função exponencial decrescente ( $\gamma < 1$ ). De acordo com Reis e Andrade (2009), esta etapa possui uma elevada taxa de falhas devido a componentes inadequados, imperfeições na fabricação, erros de projeto e defeitos de instalação na qual geram custos desnecessários de reparo e interrupções prematuras do processo produtivo.

A segunda etapa possui uma função linear ( $\gamma = 1$ ) e é definida por Reis e Andrade (2009), como Região com Taxa de Falhas Constante. Segundo Souza Alvares (2008), essa etapa possui a maior parcela de tempo de vida do equipamento está relacionada a erros humanos, esforços diversos e fenômenos naturais, ou seja, está relacionada a aleatoriedade das condições de uso do equipamento. Para corrigir e evitar as falhas nesta etapa, Souza e Alvares (2008), sugerem realizar algumas intervenções como lubrificação, apertos em folgas e acompanhamento quanto a temperatura, vibrações e nível e qualidade de óleos.

A terceira e última etapa, possui função exponencial crescente ( $\gamma > 1$ ) e é denominada de Região de Desgaste por Uso, na qual está ligada ao processo de deterioração do equipamento. Essa deterioração é devido ao final de vida útil do equipamento e desgaste por fadiga ou corrosão dos itens e componentes (REIS e ANDRADE, 2009).

### **2.3.3 Métodos para Análise de Falhas**

As metodologias e métodos para Análise de Falhas surgiram a partir da necessidade de minimização de custos em uma empresa com o intuito de se manterem competitivas no setor de produção. A aplicação das ferramentas para tratamento de falhas é primordial para reduzir os impactos negativos sobre a funcionalidade dos equipamentos visando melhorias na qualidade, segurança e confiabilidade. Os métodos visam a eliminação de reincidência de falhas através de histórico de manutenção e tratativas das falhas (TIMÓTEO, 2018).

#### **2.3.3.1 Análise dos Modos e Efeitos de Falha - FMEA**

A Análise dos Modos e Efeitos de Falha – FMEA (do inglês: *Failure Mode and Effects Analysis*), foi criada com o objetivo de identificar e avaliar a potencialidade de falhas que podem ocorrer em um processo. Essa técnica permite adicionar um fator de criticidade na análise de falha e identifica formas de diminuir a probabilidade de ocorrência das falhas, criando um diagnóstico que permite melhorar o processo (FOGLIATO e RIBEIRO, 2009).

De acordo com Matos e outros (2014), através da utilização da ferramenta FMEA é possível aumentar a confiabilidade dos equipamentos e a redução de custos da empresa, devido a diminuição no número de falhas através de manutenções preditivas e preventivas.

Para Silveira (2018), os objetivos desta técnica de análise de falhas são considerar todos os modos de falhas, definir potenciais de falhas e seus efeitos, estabelecer prioridades nas ações de manutenção corretivas e preventivas e identificar as formas para realizá-las.

O FMEA permite a identificação de falhas e seus efeitos no processo, podendo esses serem classificados quanto a severidade de sua ocorrência e detecção (KARDEC e NASCIF, 2013). Através desta análise é possível quantificar o impacto de cada tipo de falha e com isso tomar ações de controle que previnam o aparecimento de novas falhas. Esta quantificação se dá de forma padronizada. Silveira (2018) quantificou em seu trabalho os índices de ocorrência (probabilidade), severidade e detecção das falhas, mostrado na Tabela 4.

Tabela 4: Índices de ocorrência, severidade e detecção para a construção do FMEA.

Índice	Ocorrência	Severidade	Detecção
1	Chance Remota de Falha	Efeito não detectável no sistema	Detecção quase certa do modo de falha
2	Frequência muito baixa: 1 vez a cada 5 anos	Baixa severidade causando aborrecimento leve no cliente	Probabilidade muito alta de detecção
3	Pouco Frequente: 1 vez a cada 2 anos		Alta probabilidade de detecção do modo de falha
4	Frequência baixa: 1 vez por ano	Severidade moderada: cliente hora insatisfeito com perda de desempenho perceptível	Moderadamente alta probabilidade de detecção do modo de falha
5	Frequência ocasional: 1 vez por semestre		Moderada probabilidade de detecção do modo de falha
6	Frequência moderada: 1 vez por mês		Baixa probabilidade de detecção do modo de falha
7	Frequente: 1 vez por semana	Severidade alta com alta insatisfação do cliente	Probabilidade muito baixa de detecção do modo de falha
8	Frequência elevada: algumas vezes por semana		Probabilidade remota de detecção do modo de falha
9	Frequência muito elevada: 1 vez ao dia	Severidade muita alta: risco potencial de segurança e problemas graves de não-conformidades	Probabilidade muito remota de detecção do modo de falha
10	Frequência máxima: várias vezes ao dia		Não é possível detectar o modo de falha

Fonte: Silveira (2018).

A Figura 8 apresenta um modelo de ferramenta da Análise do Modo e Efeito de Falha, realizado por Domingues (2017). Este relatório, possui os campos para inserir informações importantes do equipamento como nome do equipamento, componente de falha, função do componente, modo de falha, efeito da falha, consequência da falha, ocorrência, severidade, detectabilidade, risco e ação corretiva recomendada para a falha abordada. Sendo o risco calculado através dos índices de ocorrência, severidade e detecção.

Equipamento	Componente	Função do componente	Modo de falha	Efeito da falha	Consequência da falha	Ocorrência	Severidade	Detectabilidade	Risco	Ação Corretiva Recomendada
						(0-10)	(0-10)	(0-10)	(0*S*D)	
Motor	Carçaça	Proteção	Fragilidade da carçaça	Trincas	Danos aos componentes internos					Troca do material da carçaça.

Figura 8: Modelo de Ferramenta FMEA.

Fonte: Domingues (2017).

Para Fogliatto e Ribeiro (2009) o modo de falha descreve o modo que ocorreu a falha do equipamento. Os efeitos potenciais de falhas são definidos como os defeitos resultantes do modo de falha. Sendo também destacado a consequência ocasionada pelo defeito.

Ainda segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a severidade (S) é destacada como o efeito que a falha tem sobre o equipamento ou processo. A ocorrência (O) é a probabilidade que a falha venha a ocorrer. A detecção (D) é uma estimativa da detecção das causas das falhas antes que um item ou componente falhe. Os critérios de avaliação de severidade, ocorrência e detecção estão apresentados na tabela 2, sendo classificados de 1 a 10.

O número de prioridade de risco (NPR) ou apenas denominado de risco (R) como na Figura 8, é calculado através da expressão  $R = S \times O \times D$ . Este número é utilizado como indicador de prioridade nas ações de correção do processo, quanto maior esse valor maior deve ser o foco dado para determinada falha. O risco aumenta à medida que cresce os índices de severidade, ocorrência e a probabilidade de não detecção (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

A ferramenta FMEA é fundamentada na medida do risco das falhas. Para Kardec e Nascif (2013), para um desenvolvimento desta ferramenta ser bem-sucedida se faz necessário envolvimento de muitas pessoas para a determinação da taxa de risco. A equipe responsável pela FMEA deve ser montada com pessoas que possuam conhecimentos em diversas áreas como manufatura, materiais, montagem, qualidade, entre outros.

Relatórios de anomalias, manuais de operação, treinamento e segurança, especificações e normas aplicáveis são importantes documentos para dar suporte na montagem do relatório de FMEA (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

As ações corretivas recomendadas visam reduzir a ocorrência, severidade e a probabilidade de não detecção da falha corrigindo a falha e melhorando o processo (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), os riscos devem estar em constante avaliação mesmo após as ações corretivas serem executadas, com o intuito de avaliar os resultados obtidos.

Os custos do desenvolvimento da ferramenta FMEA são altos, porém os gastos são retornados com o desenvolvimento das ações bem efetivas pela economia de evitar as falhas no processo. A ferramenta FMEA sendo bem aplicada pode trazer excelentes benefícios a organização, reduzindo as falhas e consequentemente os custos de operação (KARDEC & NASCIF, 2009).

### 2.3.3.2 Análise da Árvore de Falhas - FTA

A Análise da Árvore de Falhas – FTA (do inglês: *Fault Tree Analysis*) é uma análise de dedução de cima para baixo, na qual detecta as possíveis razões de ocorrências de falhas. Essa análise utiliza a lógica booleana a (lógicas E e OU) combinando eventos para identificar as falhas básicas que desencadeiam as falhas ao nível principal (NASA, 2000; SAKURADA, 2001).

O FTA tem como objetivos detectar modos de falhas através da análise de todo o ambiente do processo produtivo, definir planos de manutenção centrados em confiabilidade, análise individual de falhas e maior compreensão do sistema (YAMANE e SOUZA, 2007).

A utilização da ferramenta FTA possui maior enfoque em sistemas complexos, podendo haver interações de múltiplas causas potenciais de falhas. Esta ferramenta é utilizada após a ocorrência da falha para se obter informações do motivo da falha e aplicar ações corretivas (YAMANE e SOUZA, 2007).

Na Árvore de Falhas a não conformidade ou o efeito se localiza no topo da árvore e no primeiro nível do diagrama se localizam as causas gerais qualificados como os 6 M's: matéria prima, meio ambiente, mão de obra, método, medição e máquina. No segundo nível é descrito as principais causas de cada causa geral (YAMANE e SOUZA, 2007). A Figura 9 mostra um modelo de árvore de falha.

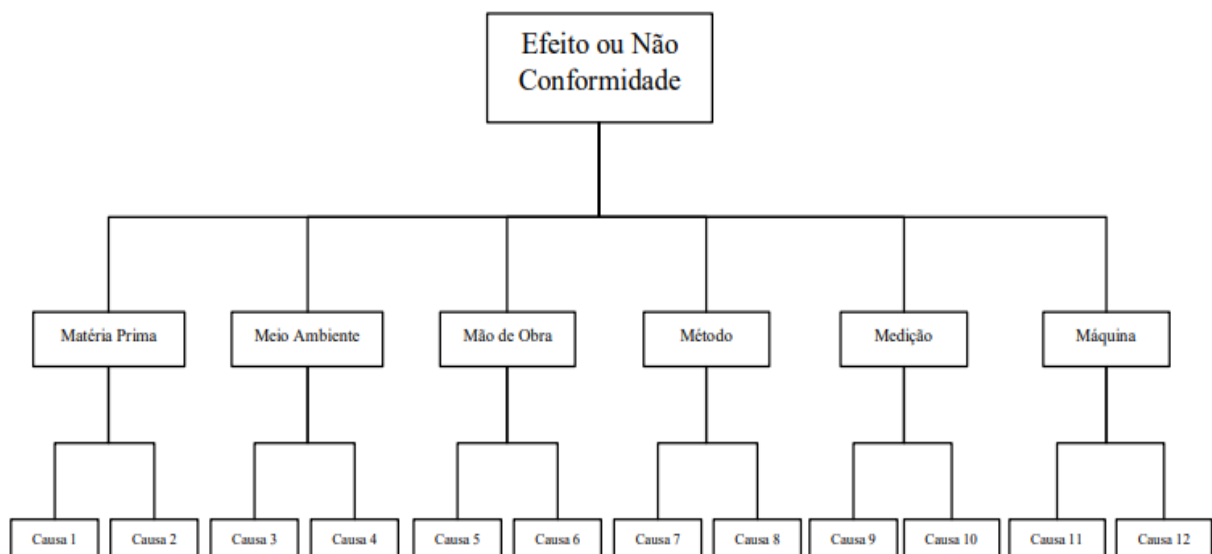


Figura 9: Modelo de Árvore de Falha.  
Fonte: Yamane e Souza (2007).

### 2.3.3.3 Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como espinha-de-peixe, ou Diagrama de Ishikawa, consiste em uma ferramenta gráfica usada para representar fatores de influência sobre um determinado problema ou falha. Esta ferramenta é muito utilizada na área de gerenciamento e controle de qualidade de processos. Através da análise realizada por essa ferramenta é possível identificar e entender as origens de uma falha (FERROLI *et al.*, 2002).

O Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta de análise de falhas que permite identificar a relação que existe entre o processo as possíveis causas que podem afetar um resultado esperado (WERKEMA, 1995).

A quantidade de causas para se chegar ao problema (efeito) são divididas em 6 fatores chamados de 6Ms: materiais, mão-de-obra, meio ambiente, máquinas, métodos e medição. Esses fatores são as causas que levaram ao problema a partir de causas secundárias. O diagrama de Ishikawa, representado na Figura 10, é elaborado através do desenho de uma espinha dorsal no sentido horizontal identificando o efeito, e as espinhas menores representando as suas possíveis causas (ISHIKAWA, 1993).

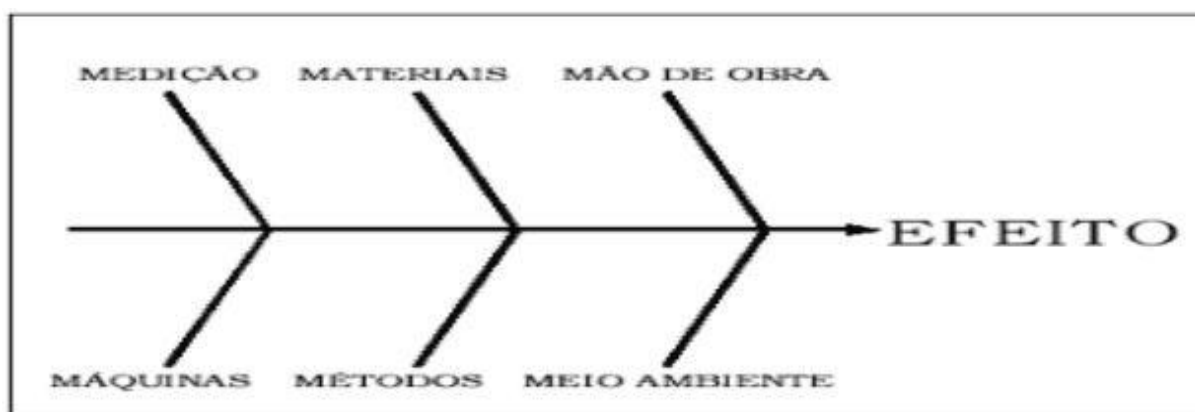


Figura 10: Diagrama de Ishikawa.  
Fonte: Adaptado de Ishikawa (1993).

De acordo com Werkema (1995) para elaborar um Diagrama de Causa e Efeito se faz necessário definir a equipe de trabalho, identificar o problema, realizar coleta de dados e informações através de um *Brainstorming*, relatar as possíveis causas dentro dos 6 Ms e, através de uma análise do diagrama, identificar as causas verdadeiras, para então elaborar um plano de ação para solução do problema.



Para Sabino (2009) o resultado deste diagrama é fruto de um *Brainstorming* da equipe, onde o objetivo é registrar e apresentar dados e informações inerentes ao problema através da exposição de ideias de maneira disciplinada.

#### 2.3.3.4 Método dos Por Quês

O Método dos Por Quês é uma ferramenta utilizada para encontrar a relação entre causa e efeito de um problema ou falha, tendo como objetivo principal encontrar as causas raízes para se elaborar um plano de ação para correção do problema evitando possíveis reincidências (KARDEC e NASCIF, 2009).

Para Xenos (2014), o Método dos Por Quês consiste em perguntar 5 vezes o porquê de um problema com o intuito de se chegar na sua causa raiz. Esse método é praticado através da visitação do local onde ocorreu o problema, observar as evidências e entender o motivo. Possui as vantagens em ser de fácil aplicação e entendimento por não envolver testes de hipóteses, regressões ou ferramentas estatísticas avançadas (PEREIRA, 2009). A Figura 11 mostra uma representação esquemática para detalhamento de um problema e utiliza o Método dos Por Quês para obtenção da causa raiz.

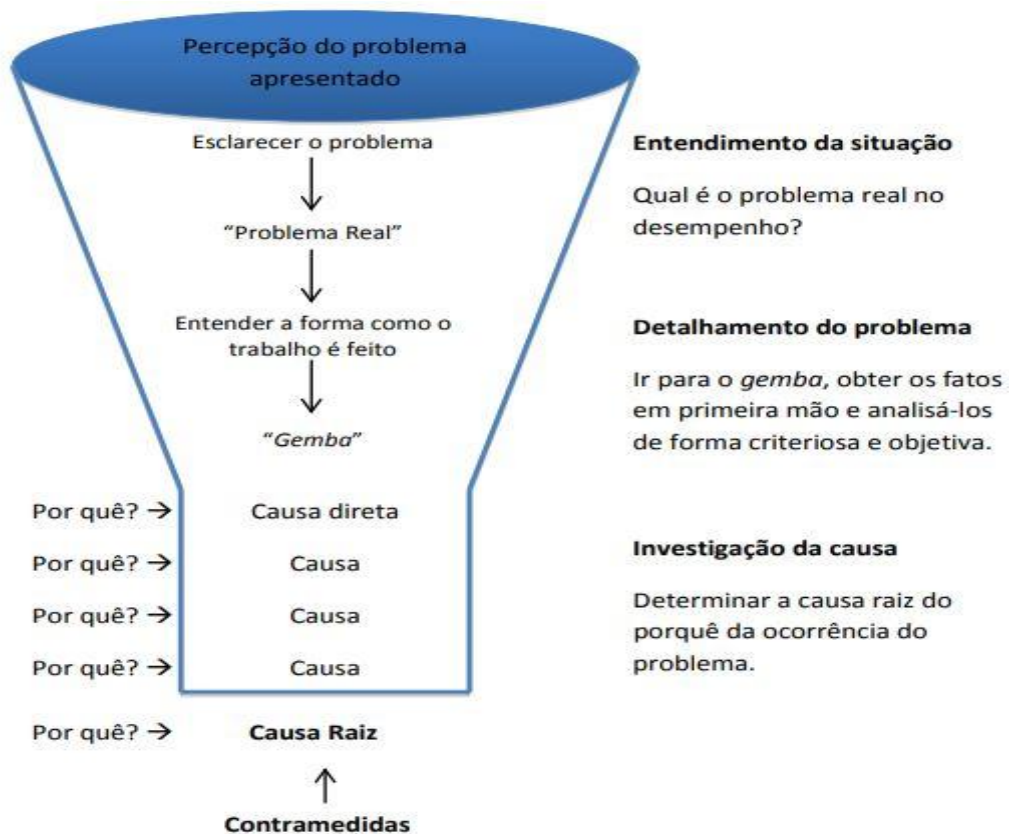


Figura 11: Detalhamento de um problema utilizando Método dos Por Quês.  
Fonte: Shook (2008).

No Método dos 5 Por Quês, geralmente subentende-se que no primeiro porquê obtêm-se o sintoma ou causa direta do problema, no segundo temos uma desculpa, no terceiro o culpado, no quarto a causa e no quinto a causa raiz (AGUIAR, 2014).

#### **2.3.3.5 Plano de ação - FCA**

A metodologia de aplicação de plano de ação - FCA (fato, causa e ação) é descrita como uma forma de realizar diagnóstico de problemas, prevenir os riscos e gerar melhorias nos processos. O fato é o problema, a causa são os motivos e a ação é atitude desenvolvida para corrigir o problema. Essa metodologia pode ser utilizada como ação corretiva ou preventiva nos processos e tem o objetivo de identificar a raiz dos problemas e criar ações para solução (MARSHALL JÚNIOR *et al.*, 2012).

Segundo Marshall *et al.* (2012), o plano de ação orienta as ações que deverão ser implementadas para a correção de uma falha, servindo de referência às tomadas de decisão de um projeto.

Para Werkema (1995) o planejamento de um plano de ação deve ser elaborado através de reuniões com a equipe envolvida e elaborar um plano com base na ferramenta de análise de falhas 5W2H. Deve ser desenvolvido um *check-list* contendo as atividades que serão desenvolvidas.

A ferramenta 5W2H tem o objetivo de responder sete perguntas com o intuito de realizar um plano de ação para dado problema (BRUM, 2013). As perguntas para o desenvolvimento desta ferramenta são descritas na Tabela 5.

Tabela 5: Tabela explicativa da ferramenta 5W2H.

<b>Passos</b>	<b>Conteúdo das respostas</b>	<b>Exemplo de perguntas</b>
What	Ações necessárias ao tema analisado	-O que deve ser ou está sendo feito? -Quais os insumos do problema/processo? -O que se pretende extrair do problema/processo?
Why	Justificativas das ações	-Quais os métodos, materiais e tecnologias que devem ser utilizados? -Por que ocorre este problema? -Por que executar desta forma? -Para que atuar neste problema?
Where	Locais influenciados pelas ações	-Onde ocorre/ocorreu o problema? -Onde é preciso atuar para corrigir o problema?
Who	Responsabilidades pelas ações	-Quem são os agentes envolvidos? -Quem conhece melhor o processo? -Quais pessoas deverão executar o plano de ação?
When	Definir prazos	-Quando começar e terminar? -Quando deverão ser executadas cada etapa do plano?
How	Métodos a serem utilizados	-Como será executado o plano? -Como registrar as informações necessárias? -Como definir as etapas do processo?
How Much	Definir orçamento	-Quanto será o custo envolvido? -Quanto custará os recursos necessários? -Quanto custa corrigir o problema?

Fonte: Brum (2013).

A Tabela 5 parte de meta e diretrizes para organizar as ações determinando o que será feito, por qual motivo, por quem, como, quando e onde será executada, e por fim, estimando o quanto a ação irá custar (BRUM, 2013).

Traçar um plano de ação através da metodologia FCA é essencial para tratar a causa raiz dos problemas, com isso acarretando aumento na eficiência da manutenção.

No capítulo 3 será apresentado os procedimentos utilizados neste estudo para podermos atingir os resultados no capítulo 4.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos, materiais e métodos utilizados na coleta e análise dos dados desta pesquisa.

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

De acordo com Tartuce (2006), a metodologia científica é o “estudo sistemático e lógico dos métodos empregados nas ciências, seus fundamentos, sua validade e sua relação com as teorias científicas”. Ainda segundo Tartuce (2006), a metodologia científica se desenvolve seguindo regras e procedimentos estabelecidos para se realizar uma pesquisa, através de conhecimentos precisos e ordenados adequados para formulação de conclusões.

A forma de abordagem da pesquisa pode ser de dois tipos como pesquisa quantitativa ou pesquisa qualitativa. Para Richardson (2017), essas pesquisas se diferem quanto ao uso ou não de instrumentos estatísticos. A abordagem quantitativa mensura a coleta de informações e utiliza técnicas estatísticas de análise. A abordagem qualitativa interpreta os fenômenos que não podem ser mensurados por métodos matemáticos e estatísticos.

As pesquisas podem ser classificadas em três tipos quanto aos seus objetivos sendo eles a pesquisa descritiva, explicativa e exploratória (GIL, 2017).

Segundo Gil (2017), as pesquisas descritivas são pesquisas de opiniões ou mercadológicas que possuem o objetivo de descrever as características de determinada população ou fenômeno. Essa pesquisa se dá de forma a identificar, registrar e analisar as características relacionadas a um processo.

Para Marconi e Lakatos (2021), as pesquisas explicativas definem modelos teóricos e geram hipóteses através de deduções lógicas através de experimentos que envolvem o registro, análise, interpretação e identificação das causas e efeitos de um fenômeno ou processo.

As pesquisas exploratórias têm a finalidade de registrar fatos e ideias objetivando adquirir familiaridade com o problema, tornando o mais conciso e explícito. Neste tipo de pesquisa são empregados procedimentos sistemáticos para análise de dados. O levantamento de dados se dá através de fontes secundárias, levantamento de experiências, estudo de casos e observação do evento. O pesquisador deve estabelecer critérios e técnicas para desenvolver e modificar conceitos e concepções (MATTAR, 2013; GIL, 2017).

O trabalho é de pesquisa exploratória, baseando-se em revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2, na qual foi demonstrado diversas técnicas que possibilitarão encontrar os resultados para o estudo de casos de falhas operacionais em caminhões fora de estrada.

Este trabalho possui uma forma de abordagem de pesquisa do tipo qualitativo e quantitativo, pois são analisados os modos e os efeitos de falhas dos equipamentos industriais estudados, e quantifica medidas de confiabilidade e ações corretivas e preditivas através de ajustes estatísticos de paradas não programadas.

Quanto aos procedimentos técnicos abordados em uma pesquisa podem ser de forma de estudo de caso, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, pesquisa-ação e pesquisa participante (SEVERINO, 2018).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram abordados os procedimentos classificados em pesquisa bibliográfica, demonstrada no capítulo 2 através de análises de livros, artigos e publicações, pesquisa documental, utilizada na coleta de dados de paradas programadas e não programadas dos equipamentos, e o estudo de caso, tratando de um tema específico obedecendo uma metodologia de tratamento de falhas nos equipamentos.

Através dos tipos de pesquisa apresentados, considera-se que o trabalho abordado é de característica qualitativa e quantitativa, de caráter exploratório, bibliográfico, documental e estudo de caso.

### **3.2 Materiais e Métodos**

Este trabalho passou inicialmente por uma formulação de um problema questionando o modo de tratamento de falhas em equipamentos industriais, seguido de uma revisão bibliográfica e a metodologia a ser abordada no desenvolvimento do estudo em questão. Em seguida, houve a descrição detalhada do sistema operacional, funcionamento dos caminhões fora de estrada, coleta e análise das informações em um banco de dados de uma mineradora. Os dados colhidos da manutenção programada e não programada foram estratificados. Através dos dados fez-se um modelamento utilizando *software* permitindo realizar a análise das causas potenciais de falhas, modos e efeitos de falhas. Estas análises permitiram eximir a conclusão do estudo realizado e sugerir sugestões para minimizar e corrigir as falhas através dos resultados encontrados. Os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa está detalhado na Figura 12.

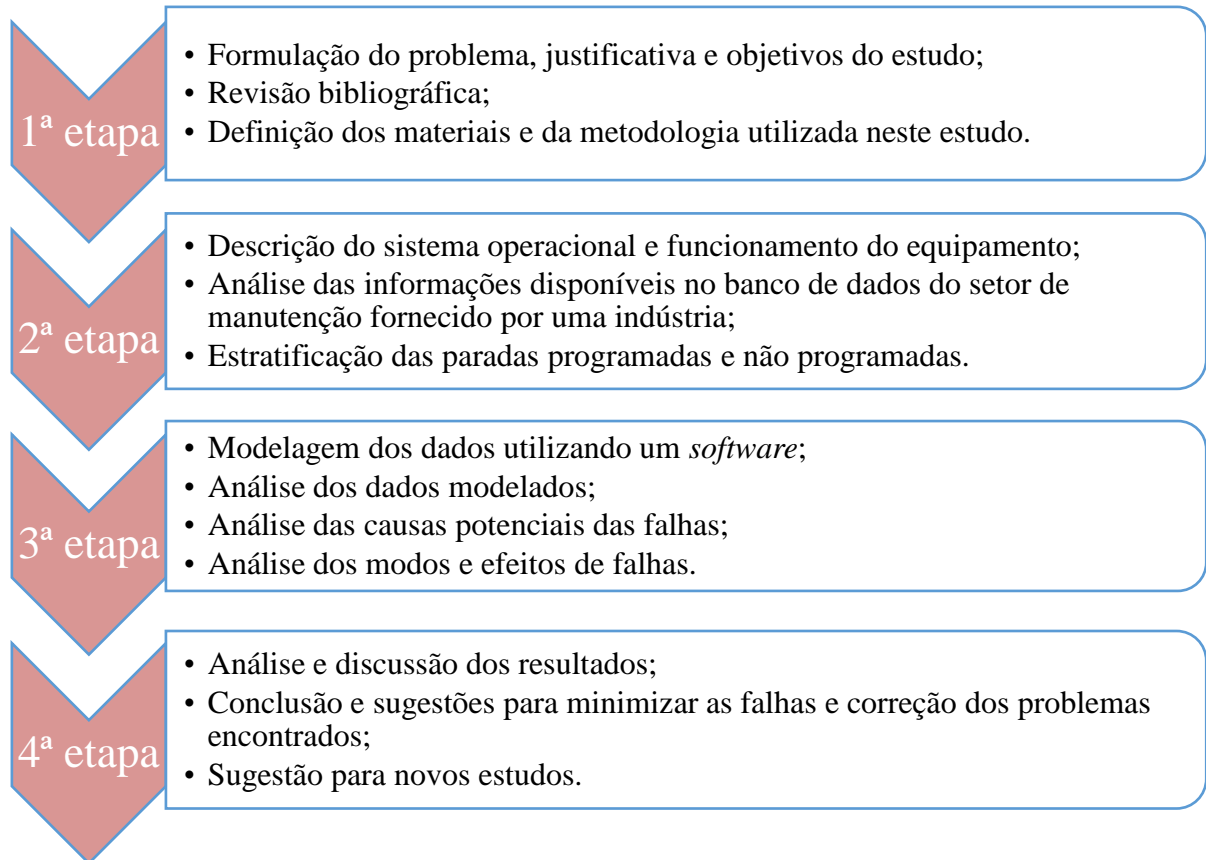


Figura 12: Fluxograma dos materiais e métodos.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

### 3.3 Variáveis e Indicadores

As variáveis são as propriedades e fatores mensuráveis ou potencialmente mensuráveis que são diferenciadas em um estudo (KÖCHE, 2014).

Os indicadores podem ser utilizados como ferramenta de controle e melhoria da qualidade dos processos. Eles são usados para mensurar os processos e desempenho dos equipamentos, com o intuito de monitorar e quantificar desvios (DOCKHORN, 2019).

A Tabela 6 apresenta as variáveis e indicadores utilizados neste trabalho.

Tabela 6: Variáveis e indicadores.

Variáveis	Indicadores
Sistema de Tratamento de Falhas	Diagrama de Pareto Histograma Método dos Por Quês Análise do Modo e Efeito de Falhas Árvore de Falhas

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Conforme demonstrado na Tabela 6, a variável adotada foi o Sistema de Tratamento de Falhas, e os indicadores adotados como medida de controle e identificação no tratamento das falhas foram o Diagrama de Pareto, Histograma, Método dos Por Quês e Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA).

### **3.4 Instrumento de Coleta de Dados**

Os dados de falhas dos equipamentos disponibilizados por uma indústria são obtidos através de planilhas de intervenções caracterizadas em paradas programadas ou não programadas. Através dos registros das falhas é criado um histórico do equipamento com a objetivo de auxiliar na tomada de ação para realizar os reparos e auxiliar nos tratamentos de falhas.

Com isso, os instrumentos de coleta de dados consistem na análise direta das informações contidas nas planilhas de intervenções.

### **3.5 Tabulação dos Dados**

A tabulação dos dados foi através da utilização do *software Microsoft Excel*, para obter melhor entendimento e visualização das informações obtidas. Os resultados obtidos foram registrados utilizando o *software Microsoft Word*.

### **3.6 Considerações Finais**

No capítulo 3 foram descritos os tipos de pesquisa e definidos quais foram utilizados neste trabalho, assim como os materiais, métodos, variáveis, indicadores, instrumentos de coleta de dados e os meios de tabulação dos dados. O capítulo a seguir aborda o estudo de caso, apresentando os equipamentos industriais estudados, o desenvolvimento da aplicação da metodologia abordada neste estudo e a análise e discussão dos resultados obtidos.

## 4 RESULTADOS

O presente estudo é focado no sistema de tratamento de falhas para auxiliar na detecção de falhas em frotas de caminhões fora de estrada que atuam no cenário de transporte de materiais em uma mineração a céu aberto.

### 4.1 Características da Empresa

A empresa estudada é uma mineradora de médio porte que atua no segmento de extração de minério de ferro. A extração do minério de ferro hematítico, constituído basicamente por hematita, magnetita, goethita, além de alguns minerais de ganga, é encontrado em rochas nas dependências da mineradora. A operação de extração deste minério envolve perfuratrizes, escavadeiras, pás carregadeiras e caminhões fora de estrada.

As perfuratrizes são máquinas de perfuração utilizadas na obtenção de furos em solos ou rochas, capazes de alojar cargas explosivas e fazer furos de sondagem.

As escavadeiras e pás carregadeiras são equipamentos utilizados para escavar e mover grandes massas de minérios por meio de sistema de braços articulados, auxiliando no carregamento deste material nos caminhões fora de estrada. Os caminhões fora de estrada exercem o papel importante no transporte do minério até a planta de beneficiamento. A planta possui o objetivo de classificar, separar e concentrar o minério de ferro.

A empresa estudada possui a logística de movimentação interna de materiais bem estruturada e gerenciada, tendo como prioridade o funcionamento máximo dos equipamentos utilizados na extração e transporte do minério. Diante disso, o principal objetivo é evitar que paradas não programadas aconteçam, com o intuito de não comprometer as metas de produção.

A atividade da mineradora inicia através do desmonte do solo sendo realizado pelas escavadeiras e tratores. Em área onde é necessária a detonação prévia do solo, utilizam as perfuratrizes para realizar a perfuração da rocha e alocar os explosivos. Após a detonação do solo são utilizadas pás carregadeiras e escavadeiras na escavação do solo e para auxiliar no carregamento dos caminhões fora-de-estrada. Em sua frota de equipamentos, a mineradora também possui tratores de pneu, moto niveladoras, retroescavadeiras e caminhões pipa para condicionamento da mina.

A Figura 13 ilustra a movimentação interna de minério em caminhões fora-de-estrada.



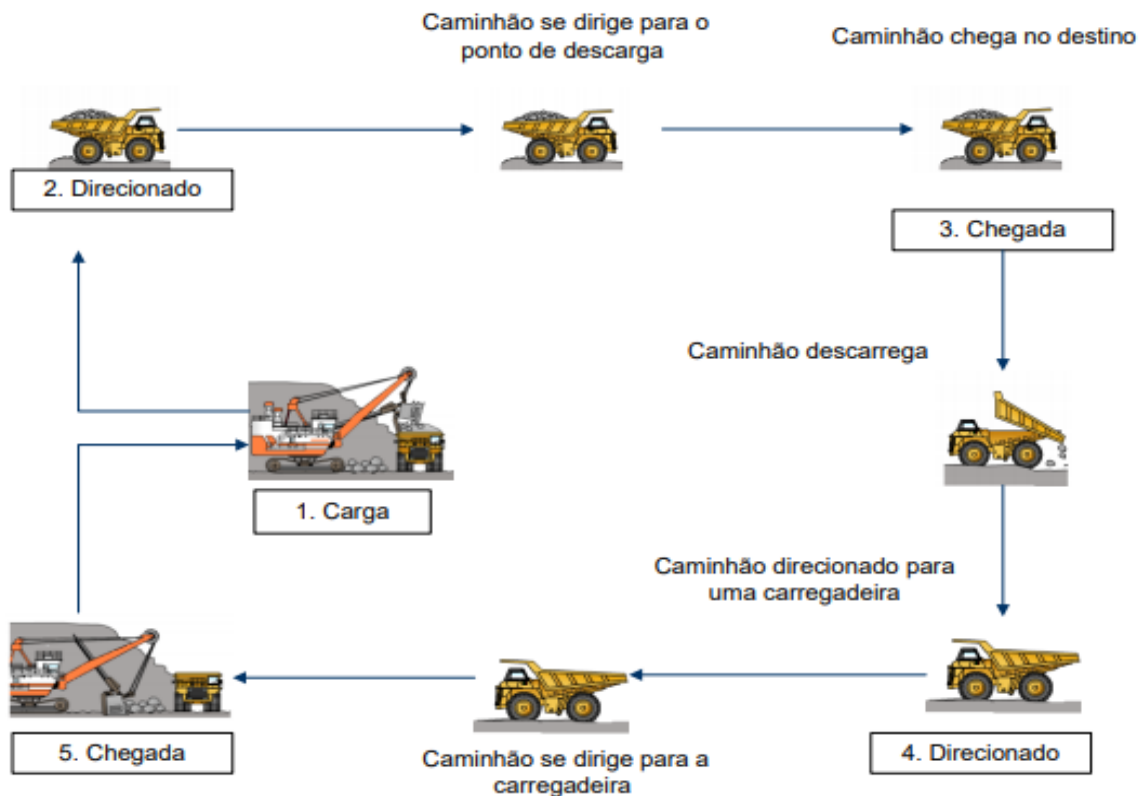


Figura 13: Diagrama do processo de carregamento e transporte  
 Fonte: Quevedo (2009).

O caminhão fora de estrada é carregado com minério por uma carregadeira. Em seguida, o caminhão se dirige até o ponto destinado a pilha de minérios onde são formados os lotes para a usina de beneficiamento como mostrado na figura 13. Primeiramente, os blocos de minério sofrem redução granulométrica ao serem triturados em um britador de mandíbula. Em seguida, o material é classificado por granulometria através de conjunto de peneiras. Por último, o minério é transportado por caminhões basculantes para o porto e escoado para clientes no exterior.

A gerência de manutenção da mina é responsável por gerir uma frota de 112 equipamentos móveis entre eles estão perfuratrizes, pás carregadeiras, escavadeiras, moto niveladoras, retroescavadeiras, tratores de pneu, caminhões basculantes e caminhões fora-de-estrada. As equipes de manutenção são subdivididas em dois grupos distintos, sendo eles de equipamentos de carga e desmonte e equipamentos de transporte como mostrado na Figura 14.

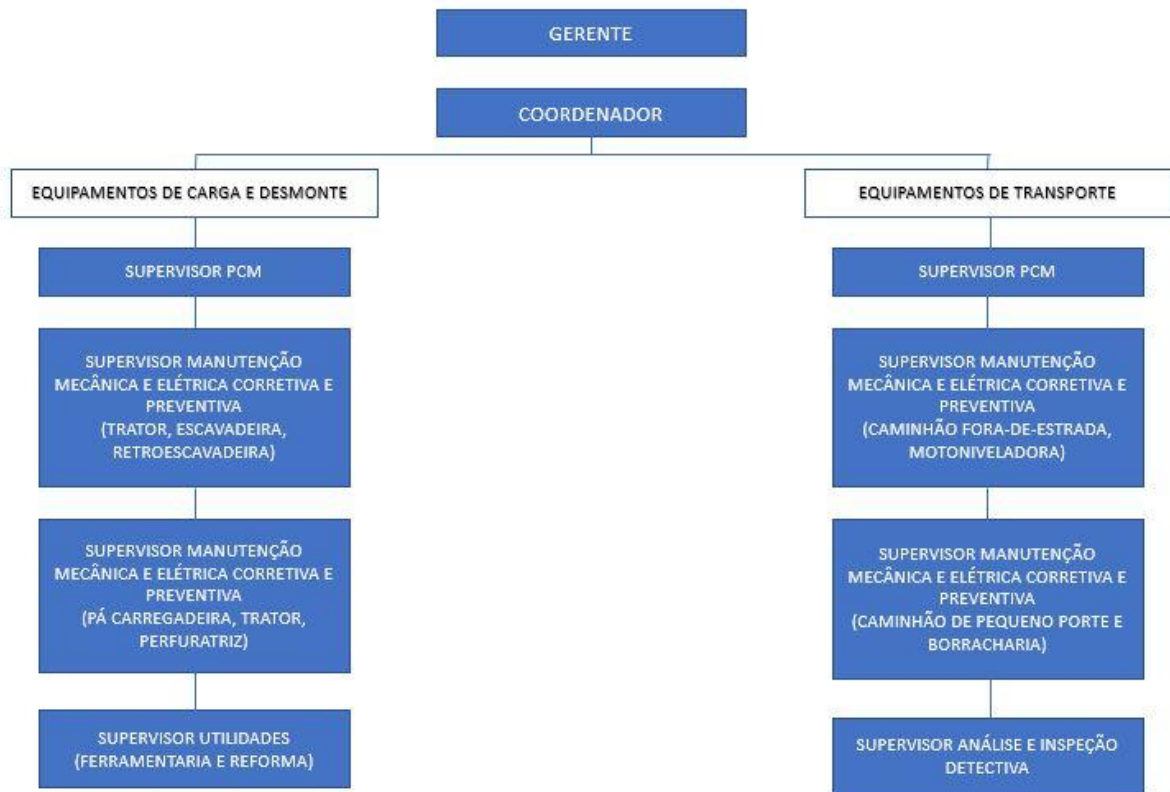


Figura 14: Organograma da Gerência de Manutenção da Mina.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

O organograma da gerência de manutenção da mina possui 16 supervisões indicadas na Figura 14. Cada supervisão possui uma equipe responsável por realizar manutenções e atividades cotidianas de inspeção e lubrificação em determinado grupo de equipamentos.

A Supervisão do PCM ou Planejamento e Controle de Manutenção possui a função de realizar pedidos de compra de peças e programação de ordens de serviço, controlando indicadores da manutenção e a entrega de materiais. Através das ordens de serviço são delegadas funções as equipes de execução para realização da manutenção corretiva e preventiva nos equipamentos. As equipes de execução auxiliam na identificação da causa raiz das falhas e no desenvolvimento de melhorias nos equipamentos.

A coordenação é responsável por realizar análises de falhas, indicadores de manutenção, elaboração de projetos de redução de custos, trabalhos de melhoria contínua, elaboração de relatórios diários de manutenção e suporte nos processos de planejamento programação e controle da manutenção.

O presente trabalho foi realizado através de análise de dados que foram alimentados com informações envolvendo inspeção detectiva, envolvendo manutenção corretiva, preventiva e planejamento e controle de manutenção com o intuito de promover um estudo do

sistema de tratamentos de falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas nos caminhões fora-de-estrada utilizados no transporte de minério nesta mineradora.

## 4.2 Descrição do Equipamento

O presente trabalho foi realizado para auxiliar na análise e detecção de falhas em caminhões fora de estrada. Os caminhões fora de estrada, Figura 15, são equipamentos com grande capacidade de transporte de materiais, desenvolvidos para exercer atividades no setor da mineração e construção.



Figura 15: Caminhão fora de estrada.  
Fonte: Caterpillar (2012).

Esses caminhões possuem estrutura diferenciada nas caçambas, caixas, pneus e eixos quando se comparado aos caminhões rodoviários. Essas características garantem que esse equipamento consiga transportar cargas elevadas numa faixa entre 25 e 400 toneladas a depender do modelo.

O transporte de cargas elevadas, além de maximizar a produtividade, ajudam na redução de custos por tonelada de material produzido. Mesmo os caminhões fora de estrada terem dimensões superiores às de caminhão de pequeno porte, eles possuem a mesma facilidade de manobras por terem o mesmo valor de raio de giro. A caçamba do caminhão fora de estrada é elevada fazendo com que o impacto do material carregado seja reduzido, sendo então necessário trabalhar em conjunto com pás carregadeiras e escavadeiras para atuar no carregamento.

As vias da mineração possuem características adequadas para que os caminhões fora de estrada sejam operados de maneira eficiente e com segurança. Por se tratar de caminhões com capacidade de até 186 toneladas, as vias possuem curvas mais abertas.

Os caminhões fora de estrada podem possuir chassi rígido ou articulados. Os caminhões que apresentam chassi rígido normalmente possuem tração nas rodas traseiras e são ideais para movimentar em vias bem conservadas. Os caminhões com chassi articulado apresentam tração em todas as rodas, têm a capacidade de movimentar sob diferentes condições climáticas, vias com acesso pouco conservado e com até 35° de aclave.

Possuem ainda um sistema de lubrificação centralizada, o que faz com que todos os pontos recebam a dosagem correta sem a necessidade da intervenção do mecânico. Os óleos utilizados devem possuir as características descritas no manual do caminhão.

A calibragem dos pneus também é de suma importância para a operação, caso o pneu esteja vazio pode exceder a temperatura de trabalho, fazendo com que a carcaça comece a descolar.

O trabalho foi realizado com a frota de caminhões dos modelos Caterpillar 777G, Caterpillar 789C, Caterpillar 789D e Komatsu 730E. Os dados gerais técnicos da frota de caminhões fora de estrada estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7: Dados gerais técnicos.

<b>CAMINHÕES FORA DE ESTRADA</b>				
<b>Especificações</b>	<b>777G</b>	<b>789C</b>	<b>789D</b>	<b>730E</b>
Modelo do Motor	Cat® C32 ACERT™	Cat® 3512B EUI	Cat® 3516C EUI	Komatsu® SSA16V159
Potência Bruta	765 kW	1.417 kW	1.566 kW	1.492 kW
Potência Nominal	683kW	1.320 kW	1.468 kW	1.388 kW
Carga útil nominal	89,4 ton	177 ton	181 ton	186 ton
Capacidade de caçamba	64,1 m <sup>3</sup>	105 m <sup>3</sup>	120 m <sup>3</sup>	77 m <sup>3</sup>

Fonte: Pesquisa direta (2021).

A Tabela 8 descreve os principais sistemas e suas respectivas funções nos caminhões fora de estrada.

Tabela 8: Principais sistemas dos caminhões fora de estrada.

<b>SISTEMAS</b>	<b>FUNÇÃO</b>
Válvulas	Controlar as válvulas dos motores a diesel de combustão interna.
Arrefecimento	Controlar a temperatura dos motores utilizando ar e água. A água circula nos canais de refrigeração absorvendo o excesso de calor gerado nos cilindros.
Alimentação	Fornecer a mistura de ar e combustível utilizado na queima para produção de energia gerado no motor.
Hidráulico	Movimentar a caçamba do caminhão.
Elétrico	Fornecer energia e dar comando elétricos ao caminhão. Composto por bateria, motor de partida, alternador, cabos de distribuição e lâmpadas.
Lubrificação	Distribuir o óleo pelo motor. O óleo ajuda a reduzir o desgaste abrasivo, ruídos e auxilia no arrefecimento do motor.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Para o funcionamento dos caminhões, sem que haja paradas não programadas, se faz necessárias ações preventivas nos sistemas descritos na Tabela 8. A falha de seus componentes pode comprometer a operação, ocasionando em perda de produção e segurança operacional.

### 4.3 Detecção e Análise de Falhas Utilizando Sistemas de Tratamento de Falhas

A análise dos sistemas de tratamentos de falhas de 4 frotas distintas de caminhões fora de estrada da mineradora foi realizada utilizando uma base de dados contendo um histórico de paradas compreendidas entre as datas de 1 de janeiro de 2020 a 5 de abril de 2021.

Os dados disponibilizados estão em modelo de planilha como mostrado nas Tabela 9 e 10. Para a montagem do histórico foi utilizado o *software Microsoft Excel*.

Tabela 9: Planilha com o histórico de manutenção dos caminhões fora de estrada parte 1.

Tipo	DataIni	DataFim	Duração	Comentário
Manut Programada	01/01/2020 07:38	01/01/2020 07:43		0 COMPLEMENTOS BOX#REALIZADO COMPLEMENTO
Manut Nao Programada	01/01/2020 05:23	01/01/2020 08:49	3,359999895	VAZAMENTO DE OLEO NA VÁLVULA LOCKUP#TROCADO ANEL DA VALVULA LOCKUP, COMPETAD
Manut Nao Programada	01/01/2020 04:35	01/01/2020 09:12	4,559999943	VAZAMENTO DE OLEO HIDRAULICO // NÃO BASCULAT#TROCOU ANEL DA CONEXÃO DA SAIDA I
Manut Nao Programada	01/01/2020 08:55	01/01/2020 12:02	3,119999886	LIMITANDO VELOCIDADE#EITO LIMPEZA NO MODULO INTERFECAE E SUBSTITUIDO FUSUVEL DI
Manut Programada	01/01/2020 11:01	01/01/2020 11:07		0 COMPLEMENTOS BOX#REALIZADO COMPLEMENTO
Manut Nao Programada	01/01/2020 06:11	01/01/2020 12:31	6,239999771	VAZAMENTO OLEO DIFERENCIAL #COMPLETADO 59 L DE ÓLEO DE TRANSMISSÃO, SUBSTITUIDC
Manut Nao Programada	01/01/2020 09:41	01/01/2020 15:14	5,519999981	VIDRO DA PORTA NAO SOBE/ CORRIMÃO LE BAMBEANDO #FOI FECHADO VIDRO DA PORTA/ TI

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Tabela 10: Planilha com o histórico de manutenção dos caminhões fora de estrada parte 2.

Frota	LocComponente	Componente	Falha	Causa	Efeito
Komatsu 730E	Lubrificação	Reservatório de graxa	Reservatório de graxa	Nível	Completar
CAT 789D	Transmissão	Caixa de transferência	Válvula	Vazamento	Vedar
CAT 777G	Frenagem	Freio de serviço	Conexões	Vazamento	Vedar
Komatsu 730E	Elétrico	Painel	Fusível	Mau contato	Reparar
CAT 789D	Lubrificação	Reservatório de graxa	Reservatório de graxa	Nível	Completar
CAT 777G	Lubrificação	Lubrificação centralizada	Tubo	Vazamento	Trocar
CAT 789D	Estrutura	Cabine	Vidro	Sujeira	Limpar

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Nas Tabelas 9 e 10 é possível encontrar os registros das paradas programadas e não programadas, a data inicial da manutenção ou falha e do fim da manutenção, tempo de duração da parada, comentário sobre o motivo a parada, o modelo da frota, o sistema, o componente e o item que falhou, a falha, causa e o efeito da falha.

Primeiro foi realizado um agrupamento dos registros das quatro frotas de caminhões fora de estrada. A Tabela 11 contabiliza o número de ocorrências de paradas não programadas de cada frota de caminhão.

Tabela 11: Dados de ocorrências das frotas de caminhões fora de estrada.

<b>Frotas</b>	<b>Número de ocorrências</b>
Caterpillar 777G	928
Caterpillar 789C	623
Caterpillar 789D	2.492
Komatsu 730E	260
<b>Total</b>	<b>4.303</b>

Fonte: Pesquisa direta (2021).

A frota de caminhões fora de estrada Caterpillar 789D foi aqui apresentou maior número de ocorrências de falhas, seguido pelas frotas Caterpillar 777G, Caterpillar 789C e Komatsu 730E, respectivamente.

O gráfico representado pela Figura 16 foi construído para identificar a porcentagem de ocorrência de falhas em função das quatro frotas estudadas.

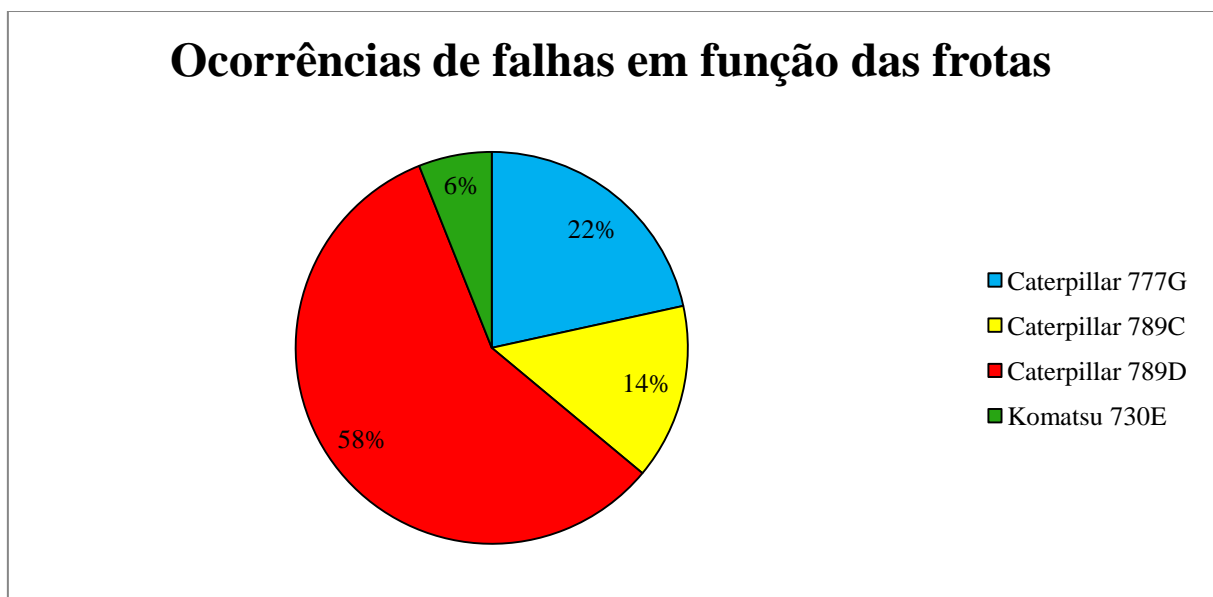


Figura 16: Ocorrência de falhas em função das frotas de caminhões fora de estrada.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Com os resultados encontrados nos dados foi possível identificar que a frota que apresenta o menor número de ocorrências de falhas foi a do modelo Komatsu 730E e a que apresentou o maior número de ocorrências foi a frota do modelo Caterpillar 789D.

Para o desenvolvimento do presente estudo foi identificado os quatro sistemas de maiores incidências de falhas nas quatro frotas de caminhão fora de estrada. Seguido por identificação dos quatro conjuntos que mais falharam dentro desses sistemas e dos itens que falharam em cada conjunto. Em seguida, foi analisado o motivo da falha ter ocorrido chegando assim na causa fundamental da falha. A metodologia utilizada está detalhada no fluxograma da Figura 17.

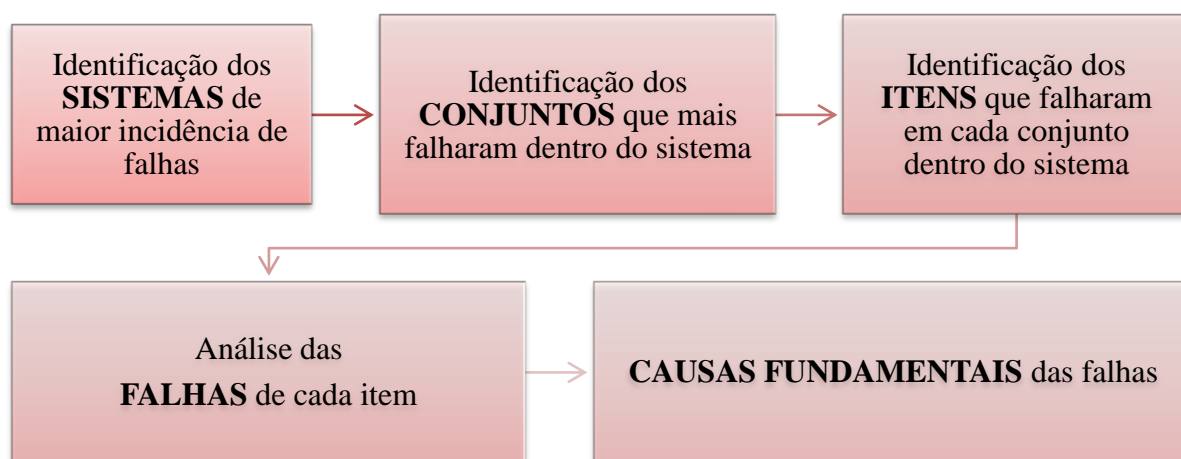


Figura 17: Fluxograma da metodologia utilizada na investigação das causas fundamentais das falhas.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

Através da análise dos dados de manutenção não programada, foram construídos Diagramas de Pareto, Figuras 18 a 21, com a finalidade de mostrar as contribuições de cada sistema de componentes que mais falharam em cada frota, com isso facilitando a identificação dos sistemas onde as ações devem ser priorizadas.

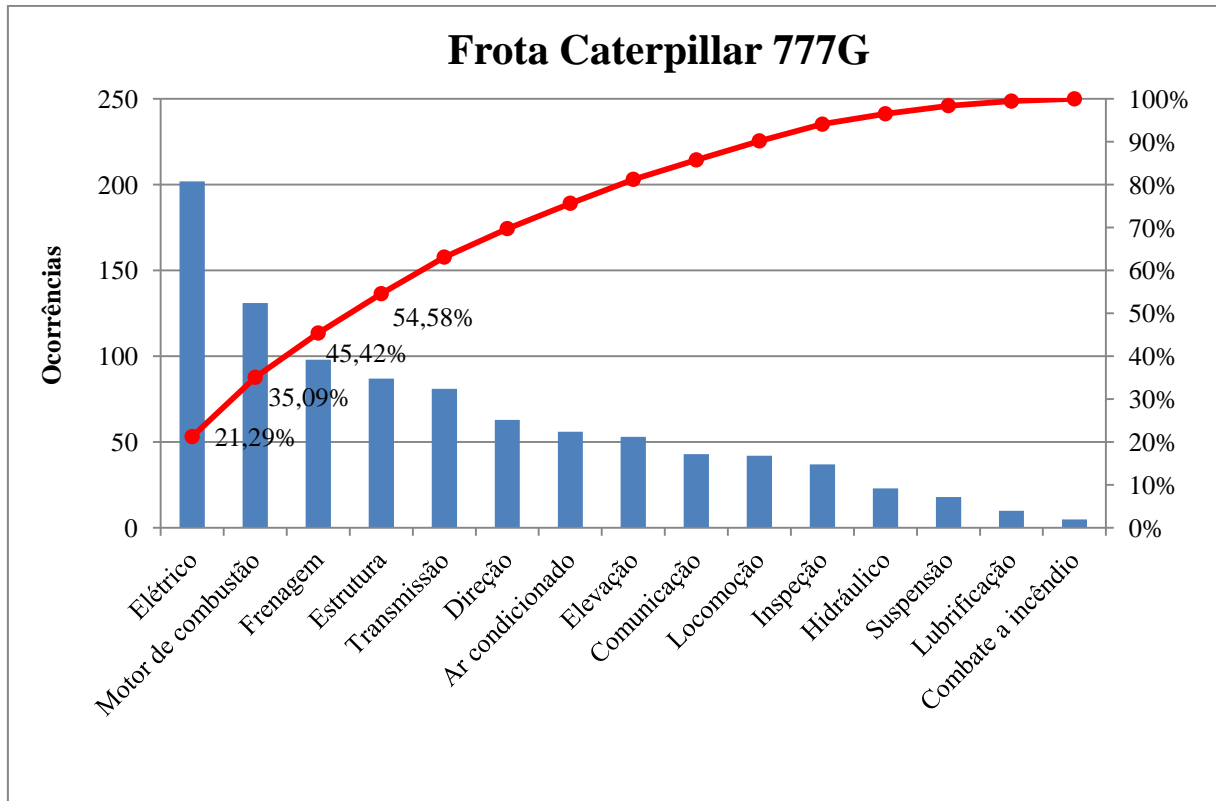


Figura 18: Ocorrência de falhas da frota de caminhões fora de estrada Caterpillar 777G.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

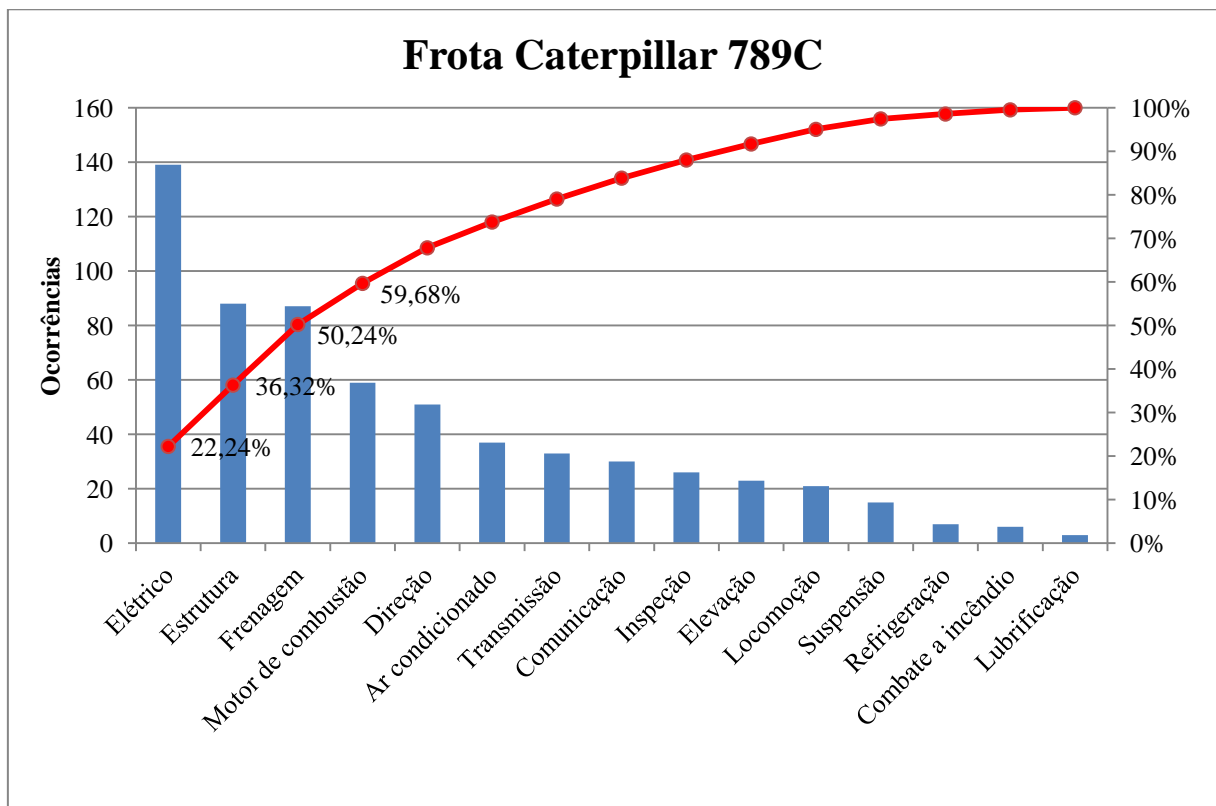


Figura 19: Ocorrência de falhas da frota de caminhões fora de estrada Caterpillar 789C.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).



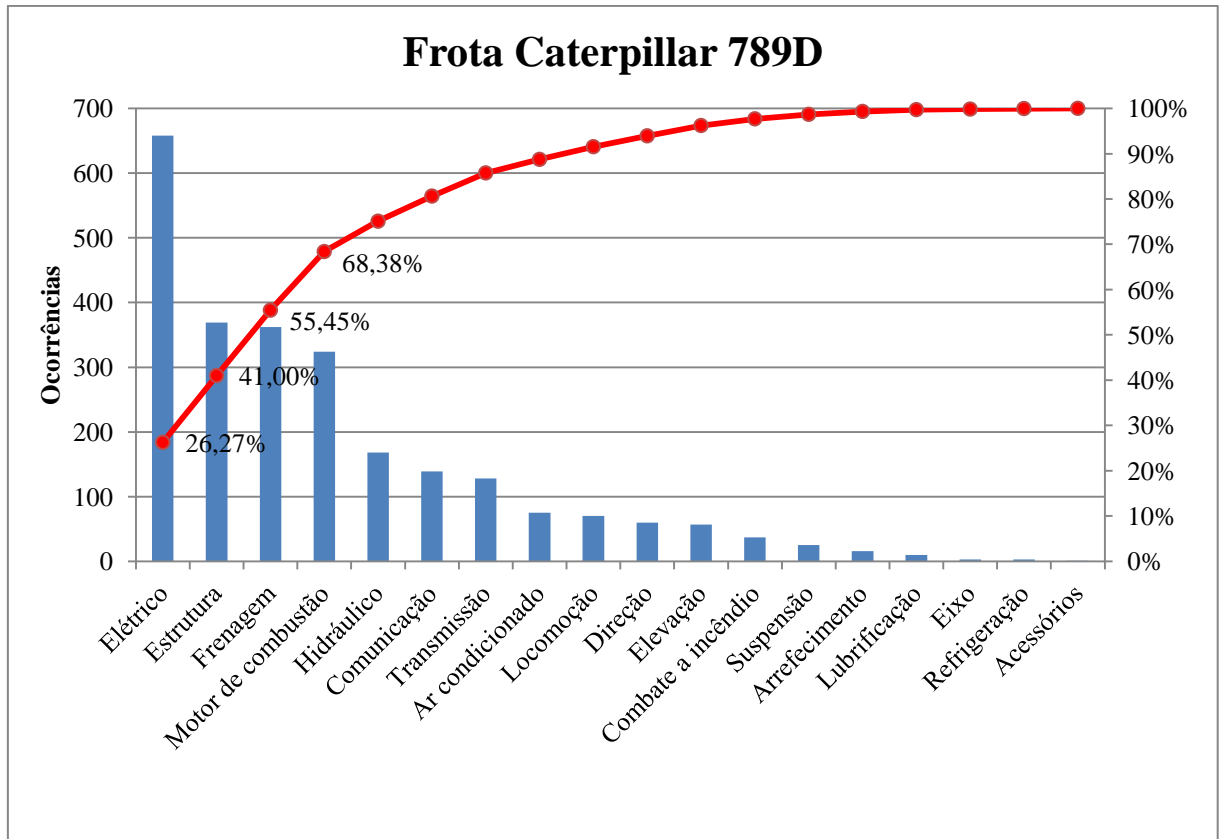


Figura 20: Ocorrência de falhas da frota de caminhões fora de estrada Caterpillar 789D.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

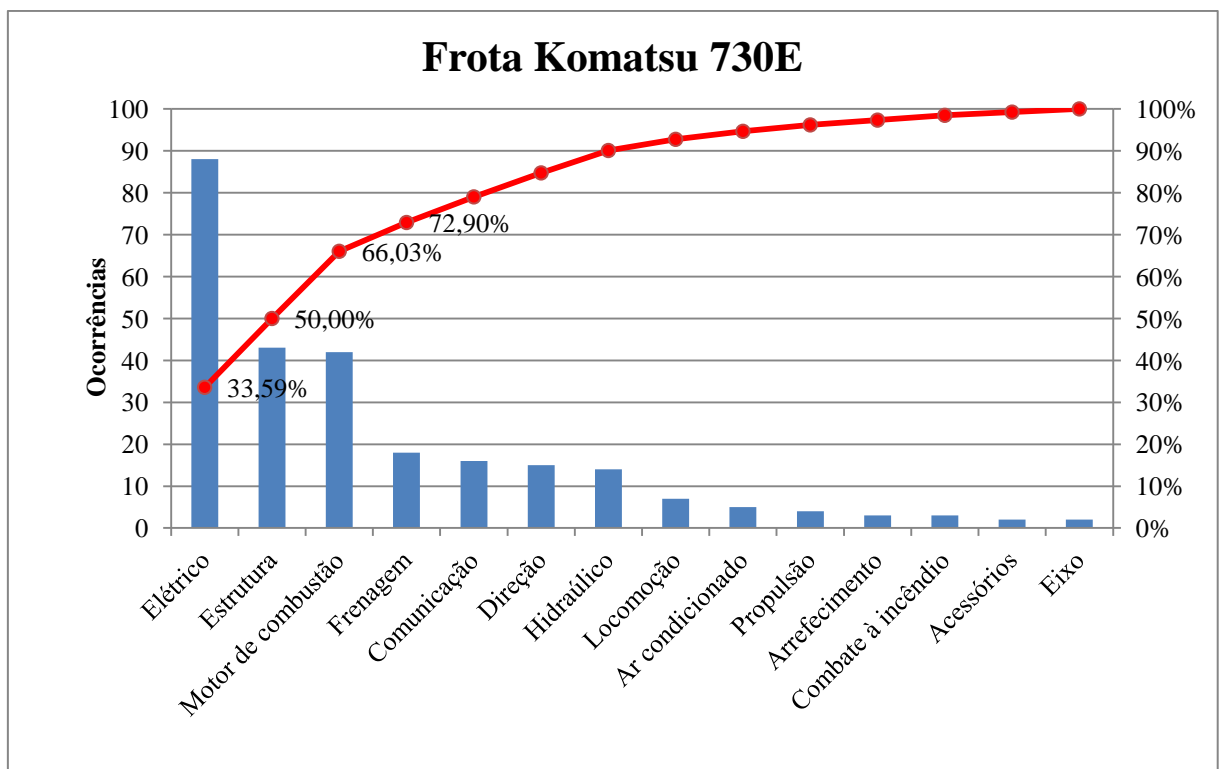


Figura 21: Ocorrência de falhas da frota de caminhões fora de estrada Komatsu 730E.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

As frotas de caminhões fora de estrada estudadas possuem uma tendência comum de falhas em quatro sistemas sendo eles os sistemas Elétrico, Estrutura, Motor de Combustão e Frenagem. Diante disso, esses sistemas foram investigados para encontrar as causas fundamentais das falhas e reduzir as paradas não programadas, obtendo assim maior eficiência de operação e produção.

O Sistema Elétrico foi o sistema que mais apresentou falhas nas quatro frotas estudadas, como mostrado nas Figuras 18 a 21. A Tabela 12 detalha os conjuntos de componentes que mais falharam no sistema Elétrico dos caminhões fora de estrada.

Tabela 12: Conjuntos do Sistema Elétrico que falharam.

<b>Sistema Elétrico</b>		
<b>Conjuntos</b>	<b>Falhas</b>	<b>% individual</b>
Bateria	214	19,87%
Painel	194	18,01%
Cabine	185	17,18%
Transmissão	111	10,31%
Iluminação	93	8,64%
Balança	67	6,22%
Elevação	53	4,92%
Frenagem	32	2,97%
Motor de combustão	32	2,97%
Motor de partida	17	1,58%
Alternador	15	1,39%
Módulo	11	1,02%
Compressor	10	0,93%
Direção	10	0,93%
Hidráulico	8	0,74%
Sinalização	8	0,74%
Locomoção	5	0,46%
Arrefecimento	3	0,28%
Lubrificação	3	0,28%
Motor da bomba	2	0,19%
Circuito de alta tensão	1	0,09%
Controlador eletrônico	1	0,09%
Pneumático	1	0,09%
Rotação	1	0,09%
<b>Total</b>	<b>1.077</b>	<b>100%</b>

Fonte: Pesquisa direta (2021).

De acordo com a Tabela 12, o Conjunto Bateria obteve o maior índice de ocorrência de falhas neste sistema. As Figuras 22 a 24 mostram os itens que mais impactaram na ocorrência de paradas não programadas dos conjuntos Bateria, Painel e Cabine do Sistema Elétrico.

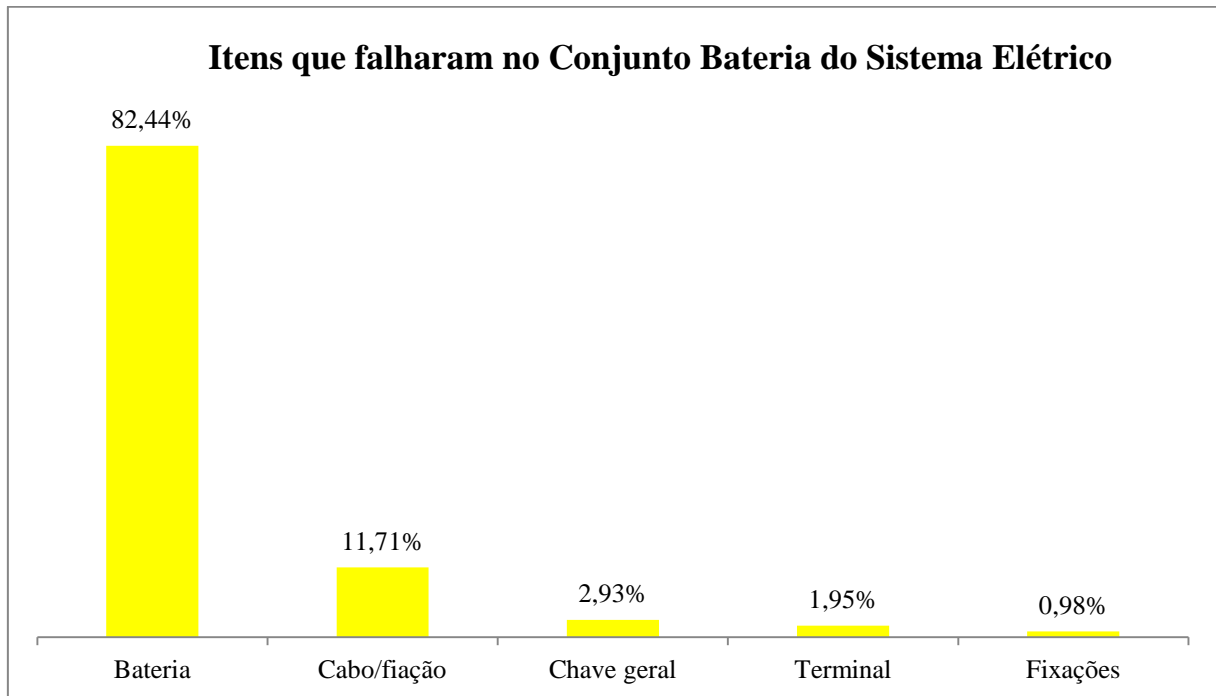


Figura 22: Itens que falharam no Conjunto Bateria do Sistema Elétrico.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

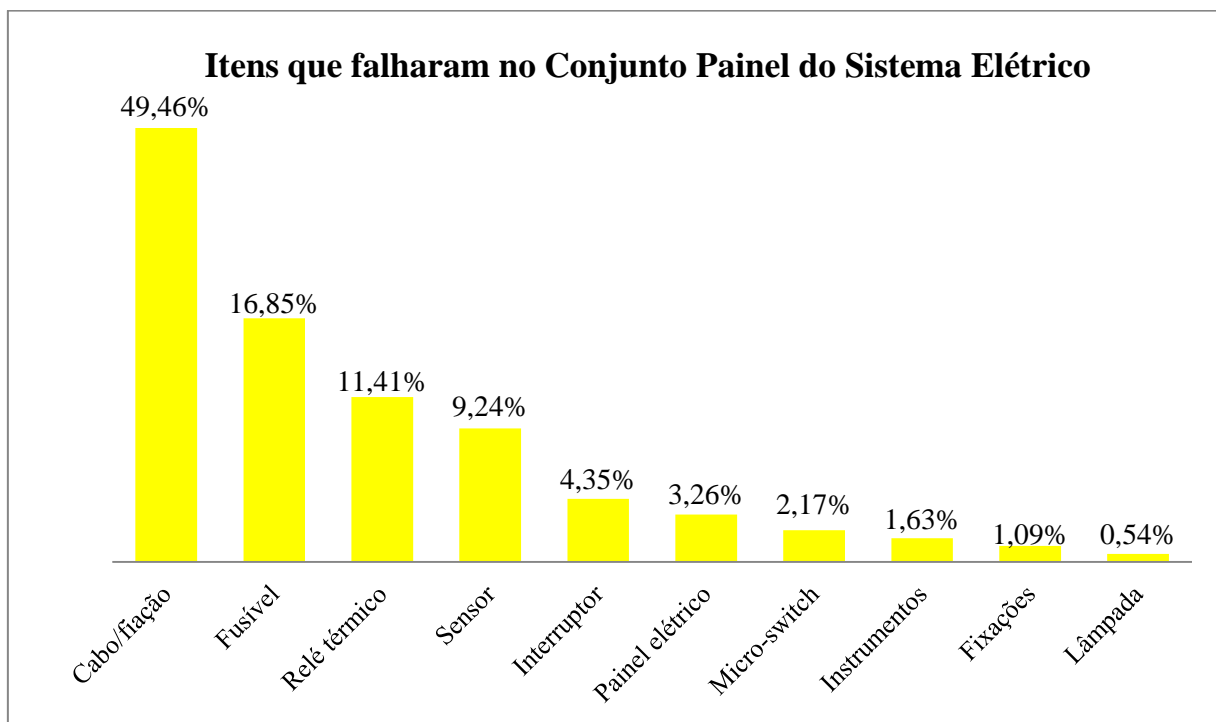


Figura 23: Itens que falharam no Conjunto Painel do Sistema Elétrico.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

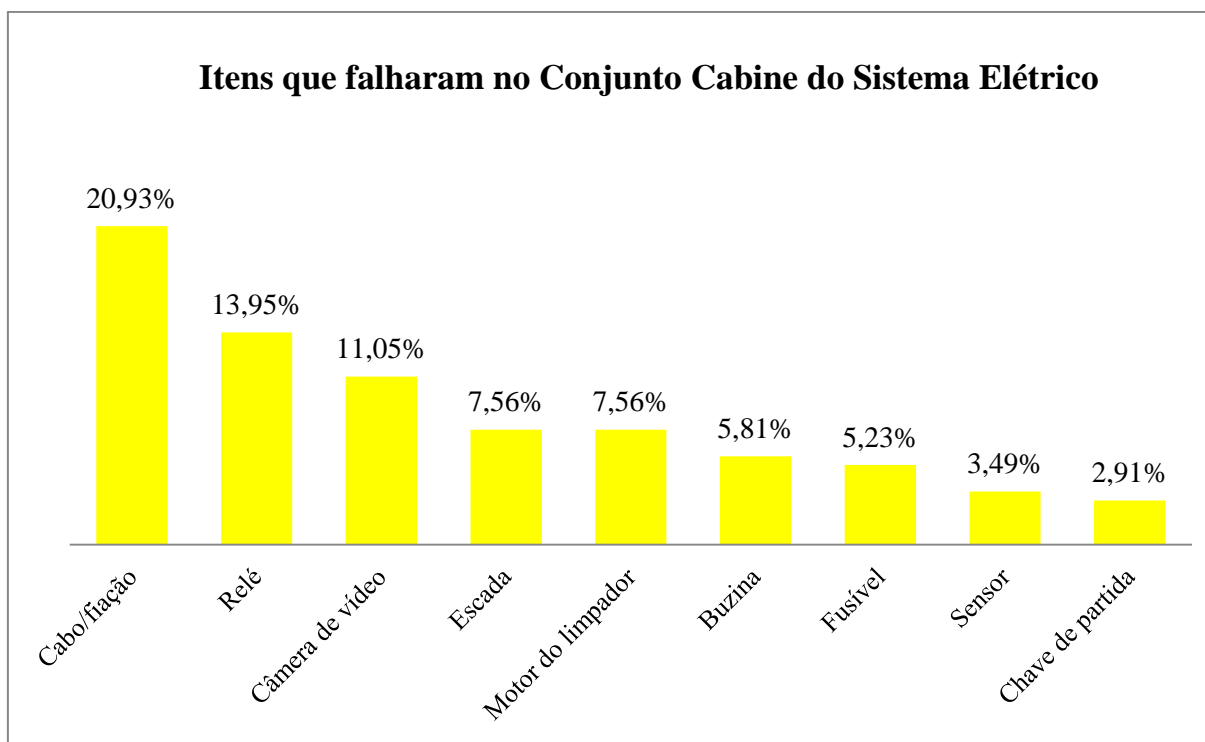


Figura 24: Itens que falharam no Conjunto Cabine do Sistema Elétrico.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

De acordo com as Figuras 22 a 24, onde mostra as falhas dos itens dos conjuntos bateria, painel e cabine é possível destacar:

- o conjunto bateria possui o maior índice de falhas nos itens: bateria (82,44%), seguido por cabo e fiação (11,71%), chave geral (2,93%), terminal (1,95%) e fixações (0,98%).
- o conjunto painel possui maior número de índices de falhas nos itens: cabo/fiação (49,46%), fusível (16,85%), relé térmico (11,41%), sensor (9,24%), interruptor (4,35%), painel elétrico (6,45%) e demais itens.
- o conjunto cabine possui índices de falhas nos itens: cabo/fiação (20,93%), seguido por relé (13,95%), câmera de vídeo (11,05%), escada (7,56%), motor do limpador de para-brisa (7,56%), buzina (5,81%), fusível (5,23%), sensor (3,49%) e chave de partida (2,91%).

Os conjuntos que falharam no Sistema Estrutura é mostrado na Tabela 13.

Tabela 13: Conjuntos do Sistema Estrutura que falharam.

Sistema Estrutura		
Conjuntos	Falhas	% individual
Cabine	264	46,81%
Estrutura	181	32,09%
Báscula	62	10,99%
Rabicho	26	4,61%
Caçamba	13	2,30%
Tanque de combustível	11	1,95%
Barra estabilizadora	2	0,35%
Eixo	2	0,35%
Âncora	1	0,18%
Barra equalizadora	1	0,18%
Mastro	1	0,18%
<b>Total</b>	<b>564</b>	<b>100%</b>

Fonte: Pesquisa direta (2021).

De acordo com a Tabela 13, os Conjuntos Cabine e Estrutura obtiveram os maiores índices de ocorrência de falhas no Sistema Estrutura. As Figuras 25 a 26 mostram os itens que mais impactaram na ocorrência de paradas não programadas destes conjuntos.

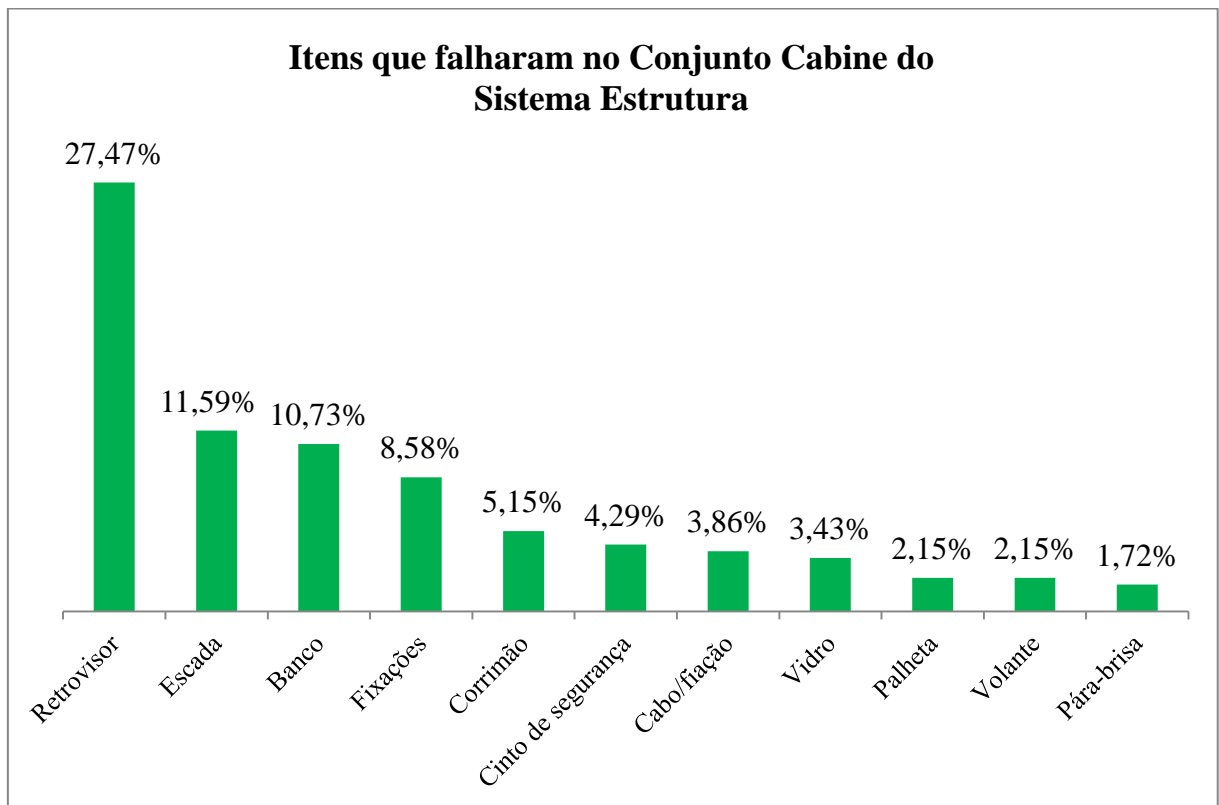


Figura 25: Itens que falharam no Conjunto Cabine do Sistema Estrutura.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

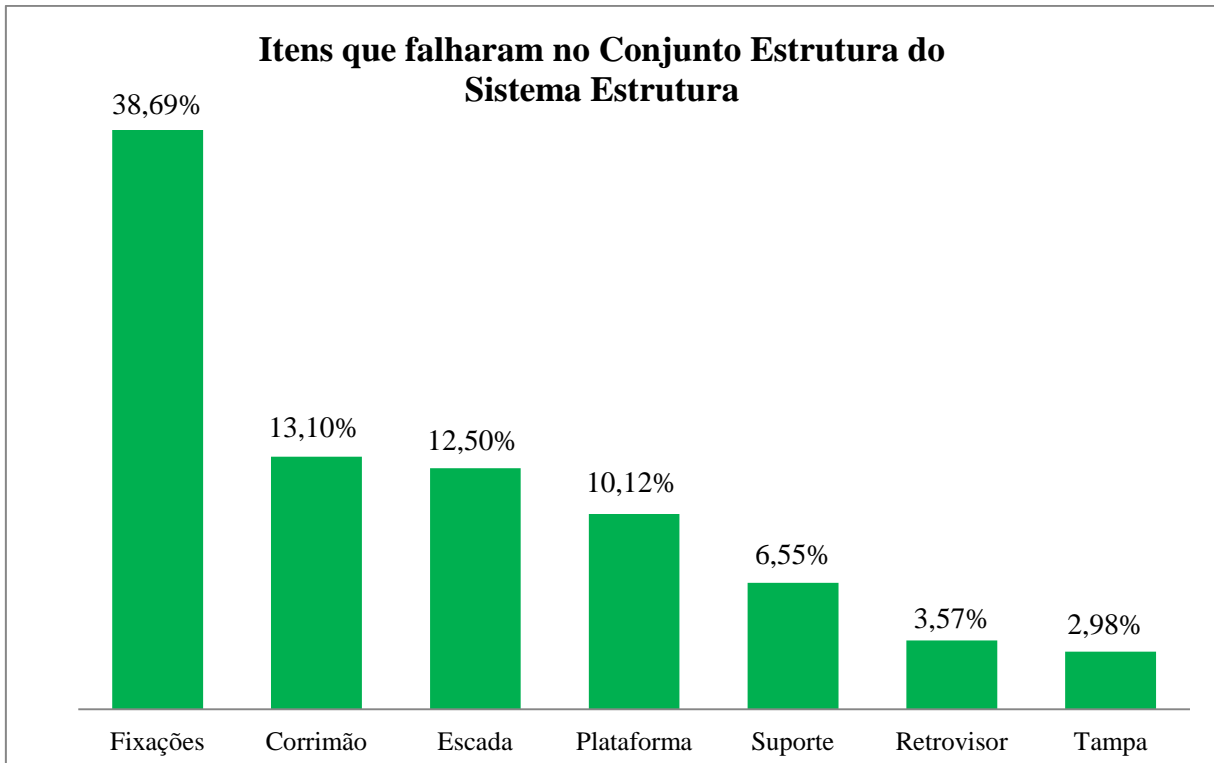


Figura 26: Itens que falharam no Conjunto Estrutura do Sistema Estrutura.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

De acordo com Figuras 25 e 26, onde mostra as falhas dos itens dos conjuntos cabine e estrutura é possível destacar:

- o item no Conjunto Cabine do Sistema Estrutura que apresenta maior índice de ocorrências de paradas não programadas é o retrovisor com 27,47%, seguido por escada (11,59%), banco (10,73%), fixações (8,58%), corrimão (5,15%), cinto de segurança (4,29%) e demais itens. Os itens retrovisor e cinto de segurança são itens neste conjunto com maiores atenções pois envolvem, entre outros fatores, questões de segurança dos trabalhadores na mineradora.
- o conjunto estrutura possui maior número de índices de falhas nos itens: fixações (38,69%), corrimão (13,10%), escada (12,50%), plataforma (10,12%), suporte (6,55%), retrovisor (3,57%), tampa (2,98%) e demais itens.

Os conjuntos que falharam no Sistema Motor de Combustão é mostrado na Tabela 14.

Tabela 14: Conjuntos do Sistema Motor de Combustão que falharam.

Sistema Motor de Combustão		
Conjuntos	Falhas	% individual
Arrefecimento	240	43,32%
Motor de combustão	136	24,55%
Combustível	120	21,66%
Turbocompressor	27	4,87%
Admissão	9	1,62%
Descarga	9	1,62%
Cabeçote	5	0,90%
Kit cilindro	2	0,36%
Pneumático	2	0,36%
Acionamento	1	0,18%
Elétrico	1	0,18%
Estrutura	1	0,18%
Lubrificação	1	0,18%
<b>Total</b>	<b>564</b>	<b>100%</b>

Fonte: Pesquisa direta (2021).

As Figura 27 e 28 destacam os gráficos dos itens que mais impactaram nas paradas não programadas relacionadas aos Conjuntos Arrefecimento e Motor de Combustão do Sistema Motor de Combustão.

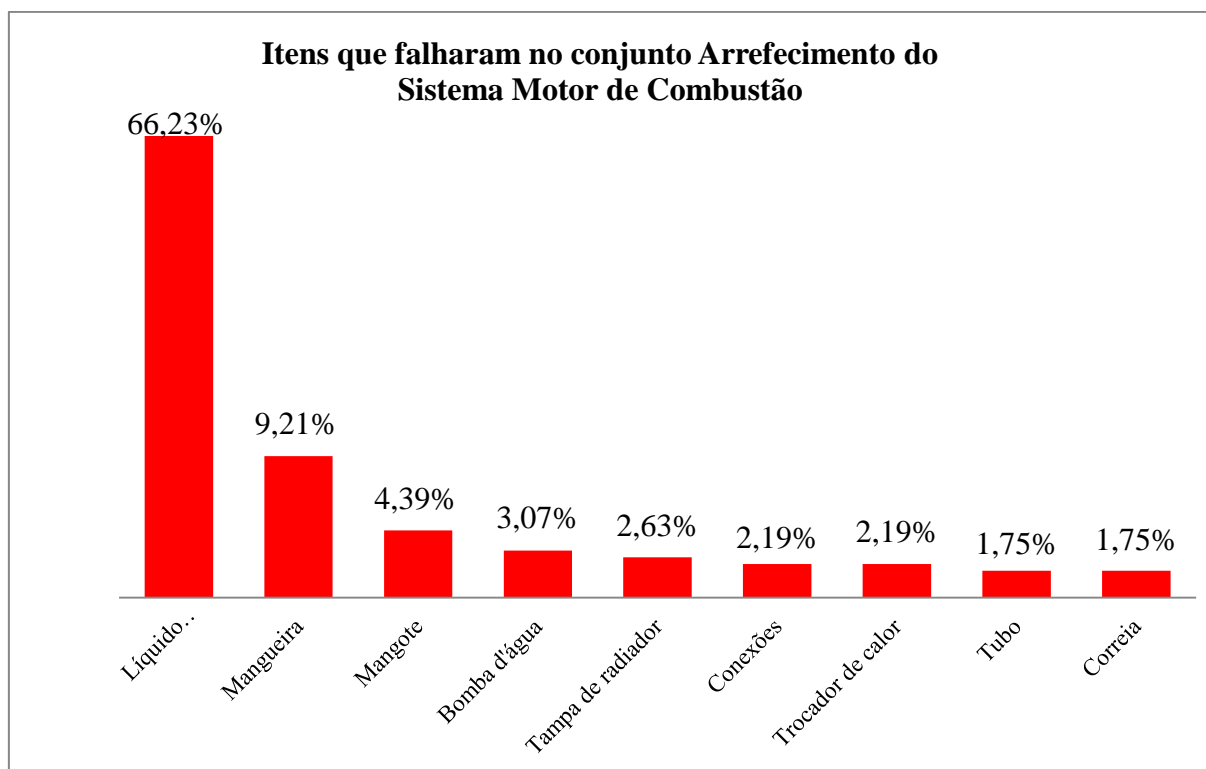


Figura 27: Itens que falharam no Conjunto Arrefecimento do Sistema Motor de Combustão.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

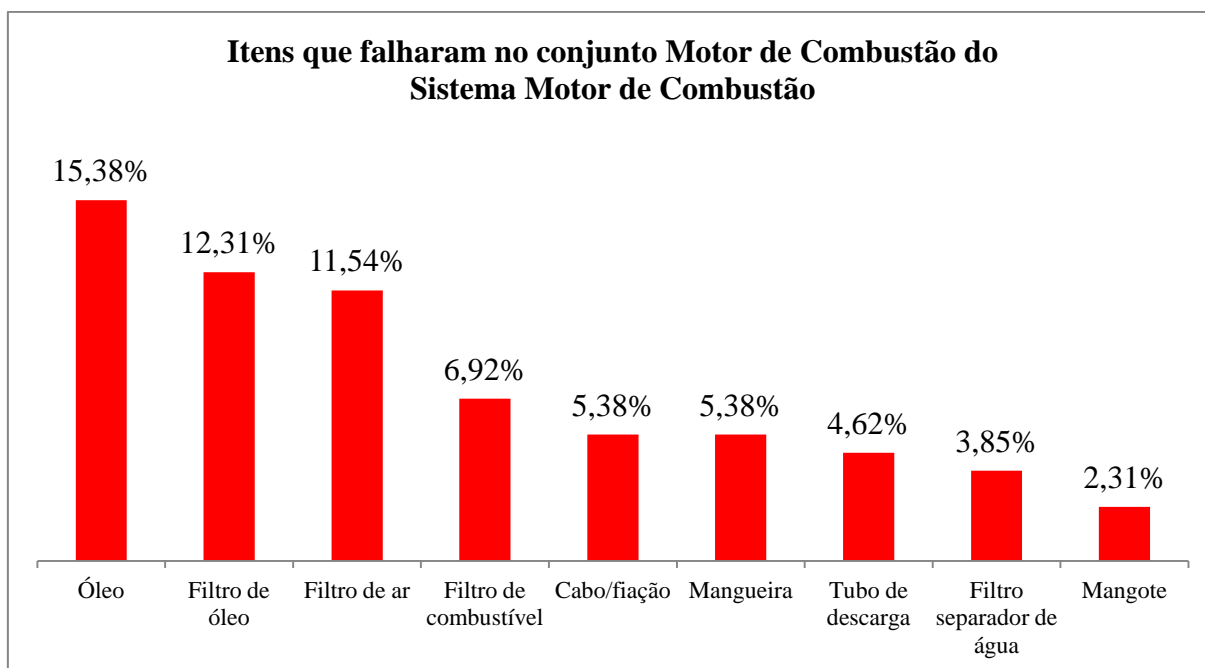


Figura 28: Itens que falharam no Conjunto Motor de Combustão do Sistema Motor de Combustão.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

De acordo com os dados das Figuras 27 e 28, onde mostra as falhas dos itens dos conjuntos Arrefecimento e Motor de Combustão do Sistema Motor de Combustão é possível destacar:

- o item no Conjunto Arrefecimento do Sistema Motor de Combustão que apresenta maior índice de ocorrências de paradas não programadas é o líquido arrefecimento com 66,23%, seguido por mangueira (9,21%), mangote (4,39%), tubos (3,07%), tampa de radiador (2,163%), conexões (2,19%) e demais itens.
- o conjunto Motor de Combustão possui maior número de índices de falhas nos itens: óleo (15,38%), filtro separador de água (12,31%), filtro de ar (11,54%), filtro de combustível (6,92%), cabo/fiação (5,38%), mangueira (5,38%), tubo de descarga (4,62%), filtro de óleo (2,98%), mangote (2,31%) e demais itens.

A Tabela 15 mostra os conjuntos que falharam no Sistema Frenagem.



Tabela 15: Conjuntos do Sistema Frenagem que falharam.

<b>Sistema Frenagem</b>		
<b>Conjuntos</b>	<b>Falhas</b>	<b>% individual</b>
Freio de serviço	192	36,02%
Freio traseiro	107	20,08%
Freio dianteiro	69	12,95%
Freio de estacionamento	66	12,38%
Ajustador	22	4,13%
Bomba de freio	21	3,94%
Acumulador	18	3,38%
Refrigeração	17	3,19%
Piloto	7	1,31%
Pneumático	6	1,13%
Compressor	4	0,75%
Freio automático	2	0,38%
Conjunto de freio	1	0,19%
Reservatório de ar	1	0,19%
<b>Total</b>	<b>564</b>	<b>100%</b>

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Os gráficos representados pelas Figuras 29 e 30 identificam os itens que mais obtiveram ocorrências de falhas relacionadas ao Conjunto Freio de Serviço e Freio Traseiro do Sistema Frenagem.

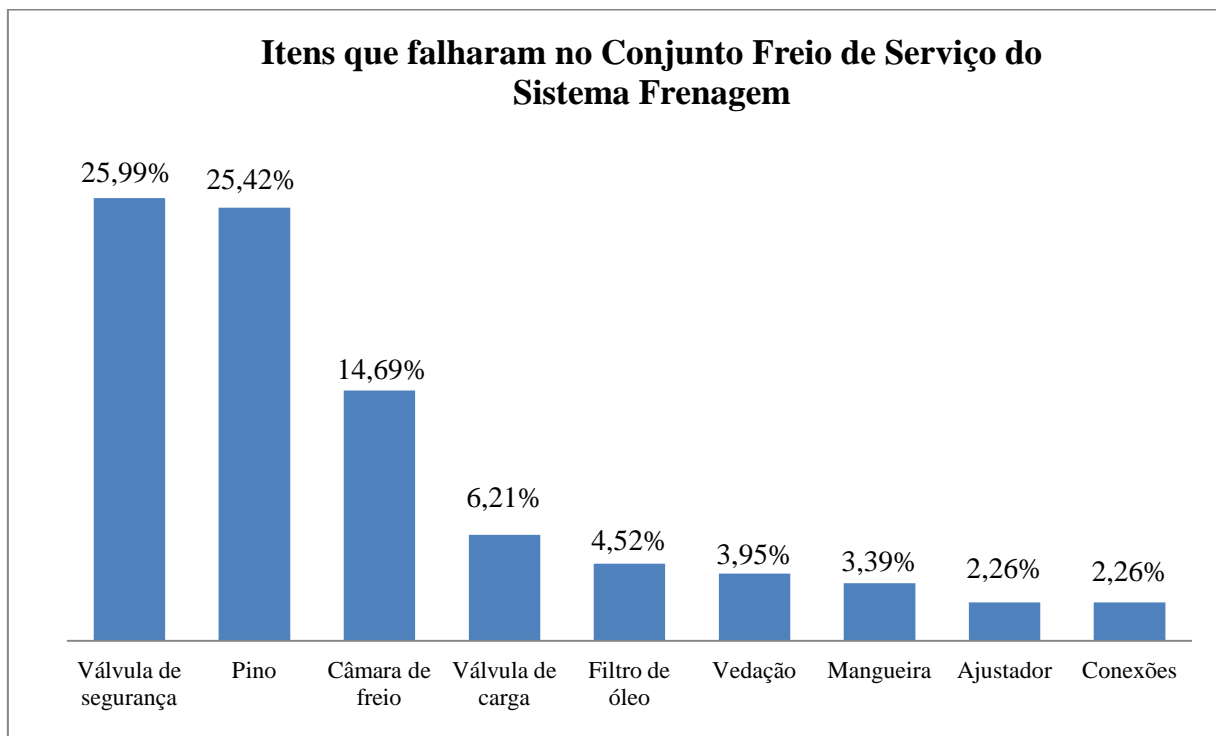


Figura 29: Itens que falharam no Conjunto Freio de Serviço do Sistema Frenagem.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

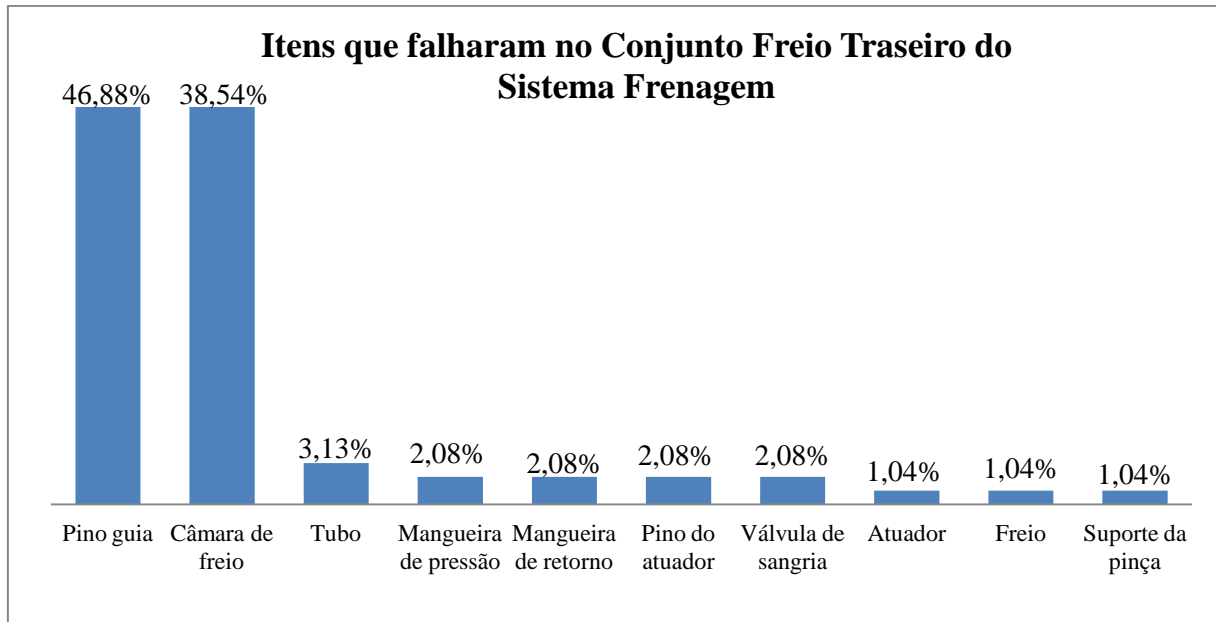


Figura 30: Itens que falharam no Conjunto Freio Traseiro do Sistema Frenagem.  
Fonte: Pesquisa direta (2021).

De acordo com os dados das Figuras 29 e 30, onde mostra as falhas dos itens dos conjuntos Freio de Serviço e Freio Traseiro do Sistema Frenagem é possível destacar:

- o conjunto Freio de Serviço possui maior número de índices de falhas nos itens: válvula de segurança (25,99%), pino (25,42%), câmara de freio (14,69%), válvula de carga (6,21%), filtro de óleo (4,52%), vedação (3,95%), mangueira (3,39%), ajustador (2,26%) e conexões (2,26%).
- o conjunto Freio Traseiro possui maior número de índices de falhas nos itens pino guia (46,88%) e câmara de freio (38,54%).

Com a identificação dos itens de cada conjunto que apresentaram maiores ocorrências de falhas, foi realizado a busca pela causa raiz utilizando o Diagrama dos “Porquês”. Os itens dos Conjuntos Bateria, Painel e Cabine do Sistema elétrico foram os primeiros investigados como demonstrado nas Figura 31 e 32, permitindo identificar as possíveis causas das falhas deste sistema.

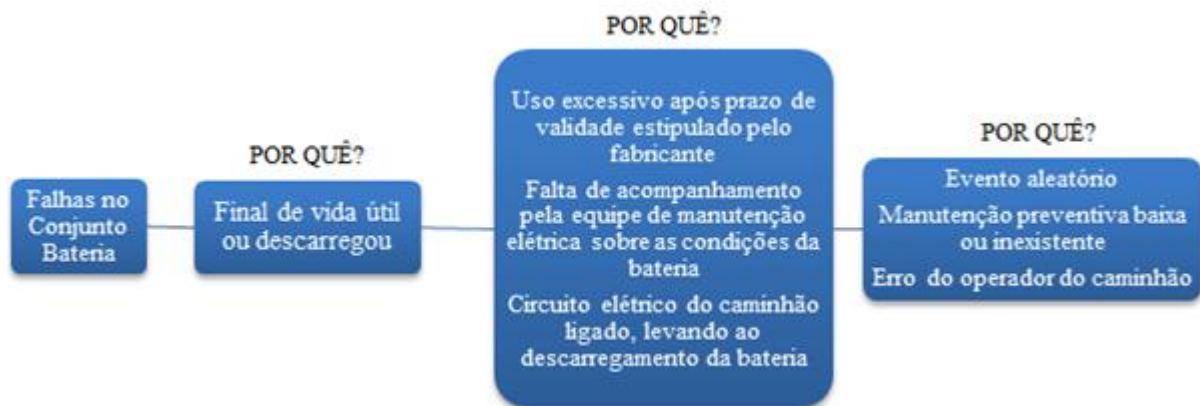


Figura 31: Diagrama dos “Porquês” para o Conjunto Bateria do Sistema Elétrico.  
Fonte: Pesquisa Direta (2021).

As falhas da Bateria foram causadas devido ao final de vida útil. As baterias possuem um prazo de validade determinado pelo fabricante. A parada não programada poderia ser evitada identificando o prazo máximo de uso das baterias e sendo realizado a sua troca em paradas programadas para outros itens. Outra causa do descarregamento da bateria está relacionada ao erro do operador por deixar o circuito elétrico do caminhão fora de estrada sem estar em operação ligado como mostrado no diagrama da Figura 31.

As outras falhas do Sistema Elétrico estão relacionadas as cabos e fiação devidos estarem danificados, cortados ou em mau contato, como mostrado no diagrama da Figura 32.

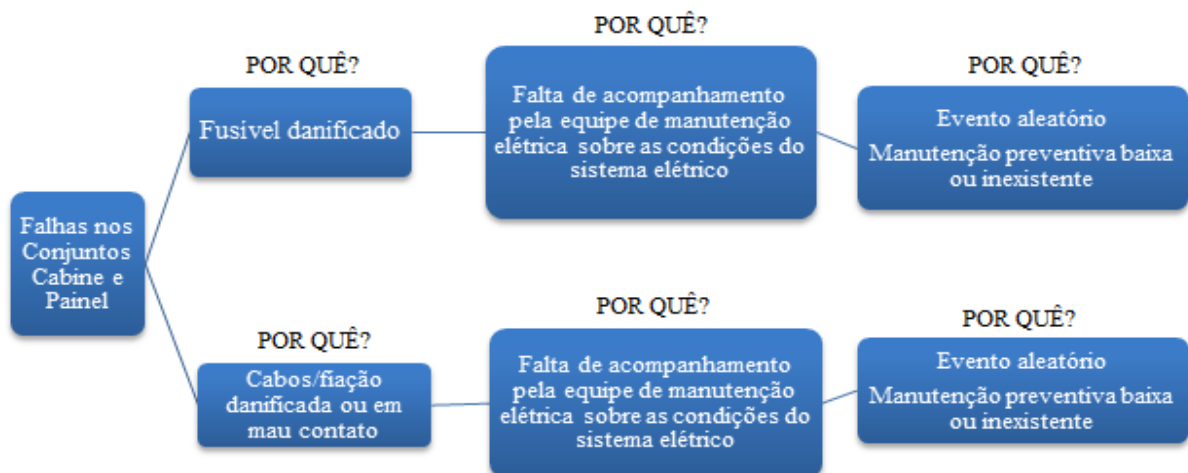


Figura 32: Diagrama dos “Porquês” para os Conjuntos Cabine e Painel do Sistema Elétrico.  
Fonte: Pesquisa Direta (2021).

O acompanhamento adequado pelos colaboradores da manutenção elétrica sobre as condições de operação do sistema elétrico do caminhão fora de estrada pode reduzir o índice de falhas deste item.

Outro item de grande índice de ocorrências de paradas não programadas está relacionado a queima ou rompimento dos fusíveis, que estão intimamente ligados as fiações e cabeamentos danificados ou em mau contato. Os fusíveis são utilizados para proteger, em caso de sobrecarga, os circuitos elétricos do caminhão fora de estrada, evitando a queima dos módulos do sistema elétrico.

Os itens analisados utilizando o Diagrama dos “Porquês” para o conjunto Cabine e Estrutura do Sistema Estrutura estão demonstrados nas Figuras 33 e 34.

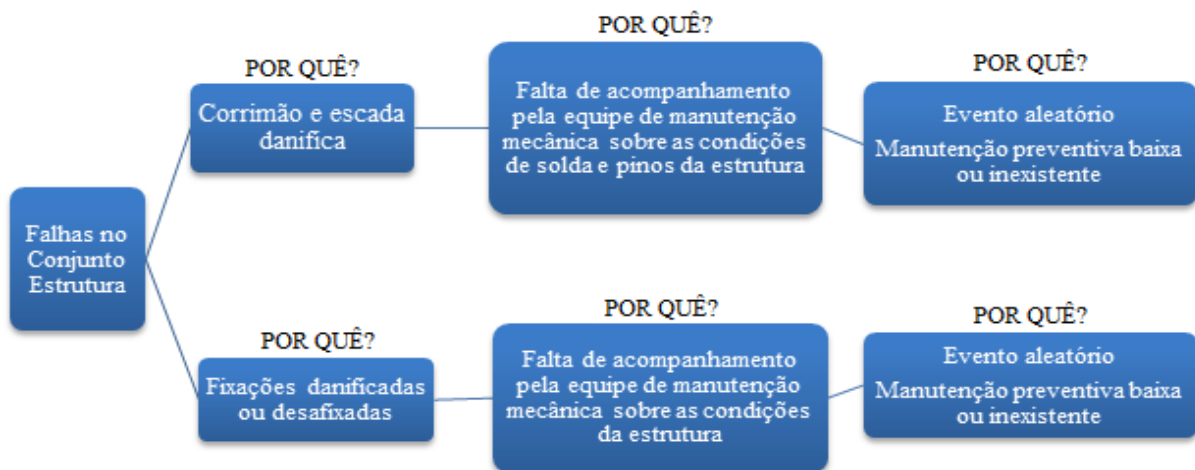


Figura 33: Diagrama dos “Porquês” para o Conjunto Estrutura do Sistema Estrutura.  
Fonte: Pesquisa Direta (2021).

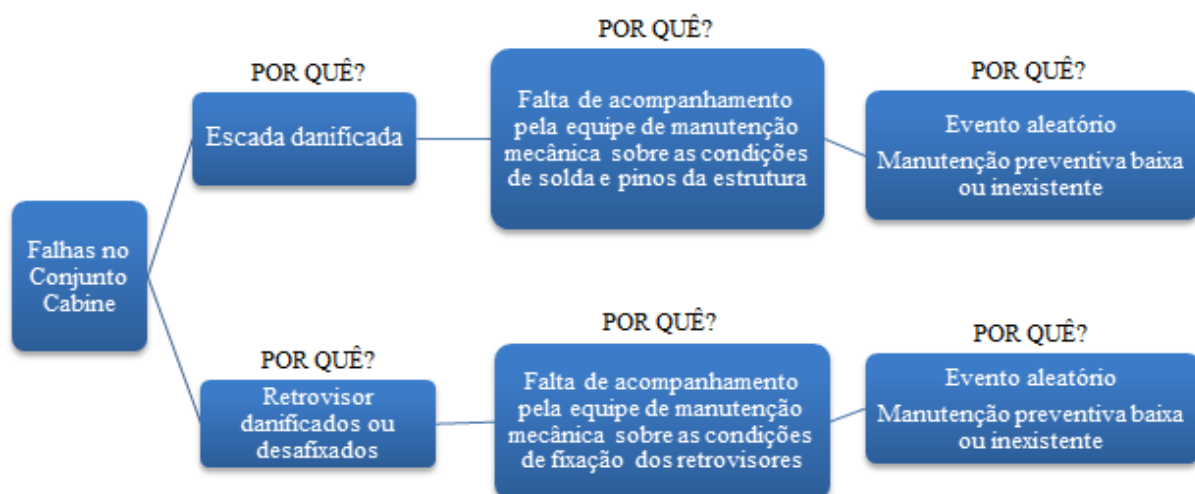


Figura 34: Diagrama dos “Porquês” para o Conjunto Cabine do Sistema Estrutura.  
Fonte: Pesquisa Direta (2021).

As principais falhas dos conjuntos Cabine e Estrutura, Figuras 33 e 34, estão ligadas aos itens fixações, retrovisor, corrimão e escada. As fixações encontram-se danificadas ou desafixadas, tendo sua causa principal ligada a falta de manutenção preventiva ou uso do item sem realizar a troca do item no tempo determinado.

Os retrovisores possuem suas principais causas ligadas a regulagens, quebras ou trincas originadas de erro de operação em campo. As regulagens são realizadas trocando as fixações desgastadas. Quando ocorre a quebra ou trinca do retrovisor ele é substituído.

Corrimão e escada são itens de segurança operacional, assim como o retrovisor. Em caso de corrimão ou escada danificada o veículo é parado imediatamente para realização da manutenção. As causas destas falhas estão ligadas a fixações, pinos, parafusos e soldas desgastadas ou danificadas.

Os principais itens do Conjunto Arrefecimento e Motor de Combustão do Sistema Motor de Combustão que tiveram as falhas investigadas utilizando o Diagrama dos “Porquês” estão descritos nas Figuras 35 e 36.

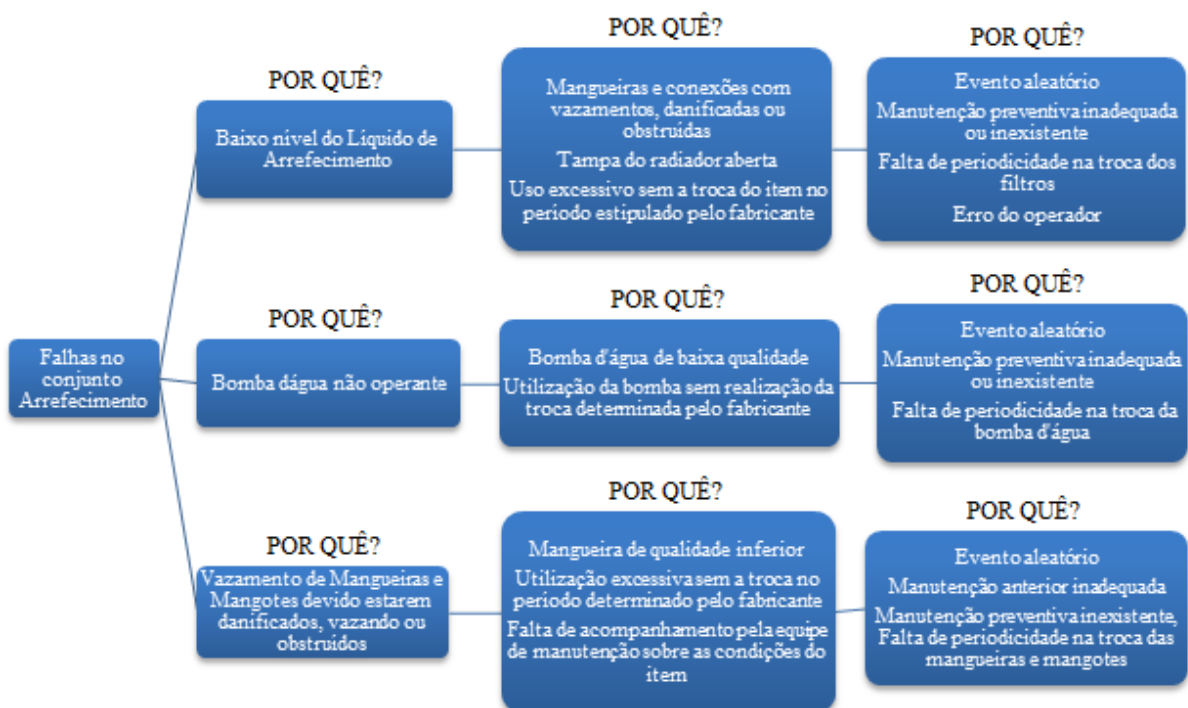


Figura 35: Diagrama dos “Porquês” para os Conjuntos Arrefecimento do Sistema Motor de Combustão. Fonte: Pesquisa Direta (2021).

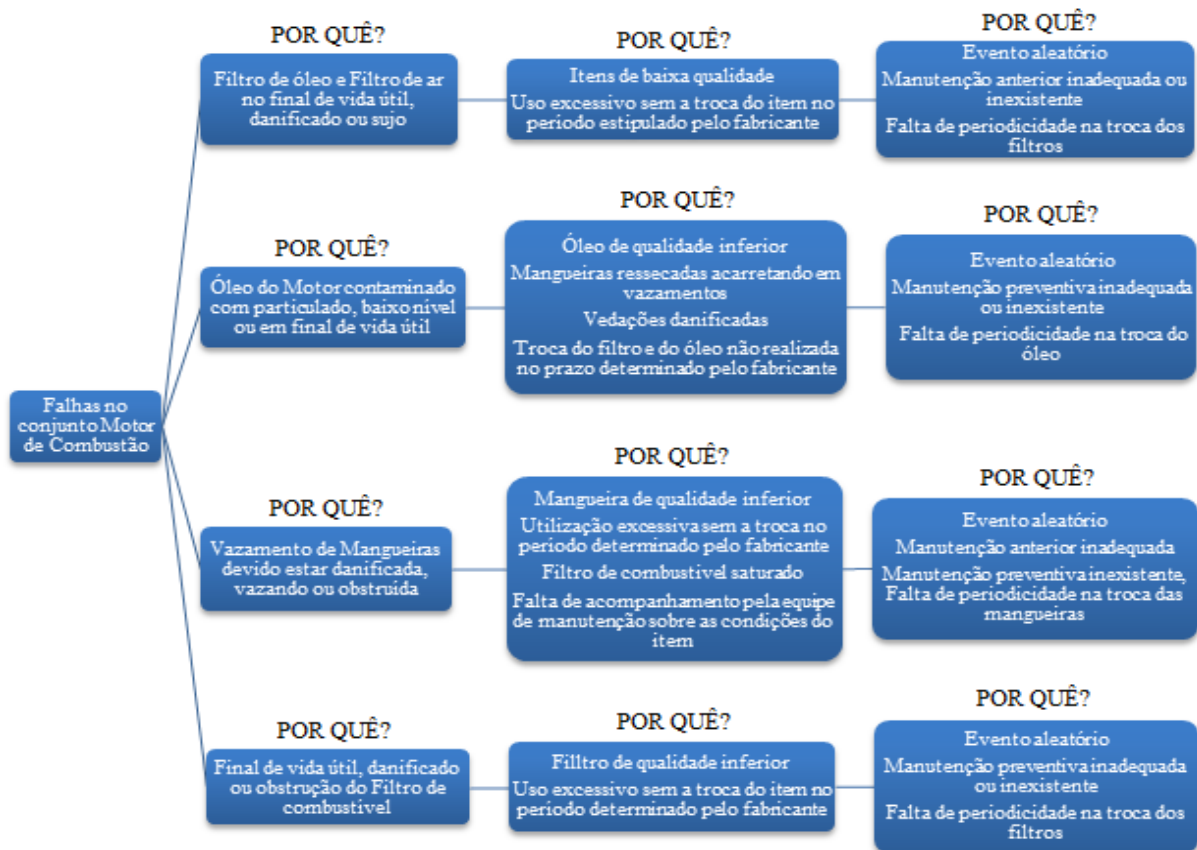


Figura 36: Diagrama dos “Porquês” para os Conjuntos Motor de Combustão do Sistema Motor de Combustão. Fonte: Pesquisa Direta (2021).

Através da análise dos diagramas das Figuras 35 e 36 para os conjuntos Arrefecimento e Motor de Combustão, respectivamente, pode-se destacar que as principais falhas dos itens podem ser relacionadas a:

- itens em final de vida útil determinado pelo fabricante;
- itens de baixa qualidade;
- erros de operação;
- acompanhamento ineficiente ou inexistente pela equipe de manutenção sobre o item.

O diagrama da Figura 35 permite visualizar as causas fundamentais das falhas no conjunto Arrefecimento do Sistema Motor de Combustão. O item principal deste conjunto é o líquido arrefecimento. As paradas não programadas relacionadas a este item se deu ao fato de estar em final de vida útil ou abaixo do nível estabelecido. A razão para o líquido estar abaixo do nível está relacionado a perda do fluido ocasionado por vazamentos em mangueiras, juntas e conexões. Os vazamentos ocorrem por esses itens estarem danificados, desajustados ou

obstruídos. A troca do líquido de arrefecimento também não tem sido cumprida de acordo com o tempo determinado pelo fabricante.

No diagrama da Figura 35, também é possível identificar que as falhas nas bombas d'água são devido a utilização excessiva sem realização da troca preventiva. Além de eventos aleatórios relacionado a baixa qualidade das bombas e da não existência da manutenção preventiva relacionada a este item.

É possível destacar no diagrama da Figura 36 que as falhas no conjunto Motor de Combustão estão ligadas ao fato de filtros de óleo, ar e combustível estarem danificados, saturados ou operando até o final de vida útil. Os filtros são utilizados sem a periodicidade de troca determinada pelo fabricante, com isso acarretando paradas não programadas para a substituição. Outra causa das falhas encontradas é a baixa qualidade dos filtros, que falharam antes mesmo do prazo.

As ocorrências de falhas no item óleo de motor está ligada ao baixo nível do óleo, na qual está diretamente relacionada ao fato de mangueiras estarem ressecadas, desafixadas ou obstruídas. Outra falha se deve ao fato de o óleo estar contaminado com partículas imiscíveis, onde a causa fundamental está relacionada a não realização da troca do óleo do motor no período determinado pelo fabricante.

Foi observado que os planejamentos de ações preventivas não estão sendo efetivos para a maioria os itens dois conjuntos citados nas Figuras 35 e 36.

Por último, foi realizado a análise do Sistema Frenagem para os Conjuntos Freio de Serviço e Freio Traseiro utilizando o diagrama do “Porquês”, mostrado na Figura 37. As principais causas de falhas desses conjuntos estão relacionadas a pinos, câmara de freio e válvulas de segurança.

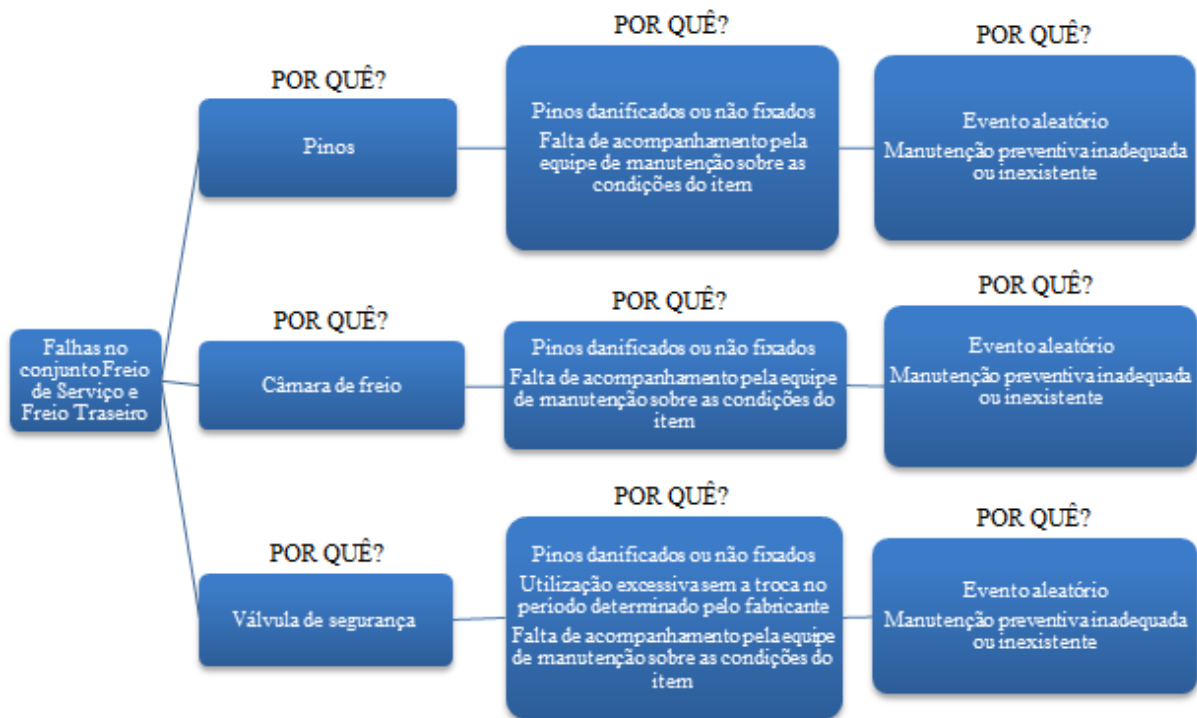


Figura 37: Diagrama dos “Porquês” para os Conjuntos Freio de Serviço e Freio Traseiro do Sistema Frenagem. Fonte: Pesquisa Direta (2021).

A origem da causa dos itens câmara de freio e válvula de segurança estão diretamente relacionadas com a falha dos pinos, como mostrado no diagrama da Figura 37. Essas falhas ocorrem devido ao desgaste do item ou fixação inadequada. Fica conclusivo que as principais causas de ocorrência de falhas no conjunto frenagem está ligado a manutenção preventiva inadequada, o que indica falta de planejamento na troca e manutenção do componente.

Os quatro sistemas estudados utilizando o Diagrama dos “Porquês” para análise das falhas em busca da causa raiz de ocorrência das falhas de maiores proporções em caminhões fora de estrada, possibilitou identificar que as falhas desses sistemas possuem causas semelhantes que são:

- uso de itens de baixa qualidade;
- manutenções preventivas inadequadas e até mesmo inexistentes em alguns itens;
- manutenções preventivas ineficientes;
- erros do operador do caminhão fora de estrada.

Contramedidas devem ser criadas para minimizar ou eliminar com as falhas que originam em paradas não programadas tais como:

- Planejamento de manutenções preventivas e preditivas;



- Uso de itens e componentes que garantem maior confiabilidade;
- Capacitação e treinamento de operadores, equipe de manutenção elétrica e mecânica para obter conhecimento necessário para analisar as condições do caminhão, identificar irregularidades e realizar manutenções adequadas.

Por fim, foi realizado uma Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) com o objetivo de classificar em termos de importância os riscos associados aos potenciais modos de falhas dos caminhões fora de estrada. Para execução desta análise, foi observado os critérios de ocorrência, severidade e detecção considerando tempos entre paradas, modo de execução da manutenção, incidência de falhas e importância do item para o funcionamento correto e seguro dos caminhões fora de estrada.

A importância de cada item foi estabelecida através da identificação do Número de Prioridade de Risco (RPN – *Risk Priority Number*), na qual é obtida após a multiplicação dos índices de ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D). Realizou uma adaptação do estudo feito por Araújo e Cardoso (2011) para o critério de identificação das cores do grau de importância no RPN onde:

- RPN menor que 25 é qualificado como modo de falha baixo e identificado com cor branca;
- RPN entre 25 e 100 é qualificado como modo de falha médio e identificado com cor amarela;
- RPN acima de 100 é qualificado como modo de falha alto e identificado com cor vermelha.

A Tabela 16 foi elaborada com o intuito de identificar e descrever as falhas ocasionadas nos sistemas mais críticos dos caminhões fora de estrada apontados neste estudo. Além de pontuar efeitos e causas fundamentais das falhas, propondo ações preventivas e corretivas para saná-las.

Tabela 16: FMEA dos sistemas motor de combustão, elétrico, frenagem e estrutura.

Componente	Função	Modos e causas potenciais da falha	Efeito potencial da falha	O	S	D	RPN	Ação
Motor de combustão	Transformar a mistura de combustível e ar em energia mecânica	Óleo – final de vida útil, nível baixo ou contaminado	Apagou o motor/baixo rendimento	5	7	2	70	Completar/drenar
		Filtro de óleo - final de vida útil, danificados ou obstruídos	Apagou o motor/baixo rendimento	5	4	4	80	Trocar
		Filtro de combustível - final de vida útil, danificados ou obstruídos	Sem partida/baixo rendimento	5	6	4	120	Trocar/desobstruir
		Filtro de ar - final de vida útil, danificados ou obstruídos	Sem partida/motor apagou	5	6	4	120	Trocar/desobstruir
		Mangueiras - danificadas, desafixadas ou obstruídas	Apagou o motor/baixo rendimento	5	5	5	125	Trocar/desobstruir/fixar
Cabine e Painel	Dar comandos elétricos	Fiação – danificada ou em mal contato	Báscula inoperante	7	5	6	210	Substituir/reparar
		Fusível - danificado	Báscula inoperante	7	5	7	245	Substituir
Bateria	Proporcionar energia aos componentes eletrônicos	Bateria - final de vida útil ou descarregada	Motor sem partida/baixo rendimento	8	5	5	200	Trocar
Arrefecimento	Regular e controlar temperatura do motor	Líquido arrefecimento - nível baixo	Apagou o motor	7	6	1	42	Completar
		Mangueiras - danificadas, desafixadas ou obstruídas	Apagou o motor	8	4	6	192	Trocar/desobstruir/vedar
		Bomba d'água - danificada	Apagou o motor	5	6	5	150	Trocar/destravar/vedar
Freio de serviço e Freio traseiro	Manter veículo imobilizado	Pino - danificada, desalinhada ou desajustada	Baixa eficiência de frenagem	4	8	5	160	Trocar/ajustar/alinhar
		Câmara de freio - danificado, desafixado ou em mau contato	Baixa eficiência de frenagem	4	8	5	160	Trocar/fixar/recuperar
		Válvula de segurança - danificada ou desajustada	Baixa eficiência de frenagem	4	8	5	160	Destravar/limpar/ajustar
Estrutura	Integridade física	Fixações - desgastados ou desafixados	Baixo rendimento	7	3	4	84	Trocar/fixar
Cabine	Integridade física	Retrovisor	Segurança	6	9	9	486	Trocar/fixar

Fonte: Pesquisa Direta (2021).

De acordo com a Tabela 16, é possível identificar que conjunto Cabine do Sistema Estrutura obteve os maiores valores de RPN devido ao elevado valor de severidade e detecção

do item Retrovisor. Esse conjunto merece atenção especial pois envolve, acima de tudo, questões de segurança aos colaboradores que transitam pela área. Outros itens de maiores relevâncias são as Baterias, Cabine e Painel do Sistema Elétrico, mostrando que os modos e causas potenciais das falhas são devido ao fim de vida útil da bateria e problemas com fiação e fusíveis, sendo recomendadas ações corretivas de substituição dos itens e reparos nos cabos e fiação.

Os resultados encontrados utilizando as ferramentas de análise de falhas contribuíram para identificar os sistemas mais críticos das frotas de caminhões fora de estrada, com isso pontuando os componentes e itens que merecem mais atenção, com o intuito de reduzir o número de paradas não programadas e conseqüente perdas de produção.

Como forma de melhorias para reduzir o número de paradas não programadas nas frotas de caminhões seria utilizar a ferramenta FMEA com o intuito de identificar os pontos mais críticos e realizar ações de melhoria como substituição de itens por outros de melhor qualidade, ajustar paradas programadas para que não aconteça a falha de algum item antes da programação, criar *check-list* de itens que sempre deveram ser analisados em toda parada programada, como por exemplo nível de líquido arrefecimento e óleo, além de observação das condições de mangueiras, cabos e fiações.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusões

O estudo teve o objetivo de utilizar o sistema de tratamento de falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas que originaram em paradas não programadas de caminhões fora de estrada em uma mineradora de médio porte. Para alcançar tal objetivo baseou-se em uma fundamentação teórica sobre manutenção, planejamento, padronização e sistemas de tratamento de falhas. Através da análise e interpretação de dados de um histórico de manutenção em um período de 1 ano e 3 meses, relacionadas a paradas não programadas de quatro frotas de caminhões fora de estrada, foi possível identificar quais sistemas, conjuntos e itens que mais falharam no período estudado. Foi também identificado os pontos que mais necessitam de intervenções corretivas e preventivas, com isso, auxiliando no planejamento e controle da manutenção.

Através da metodologia aplicada neste trabalho foi possível responder a problemática gerada: Como o estudo do Sistema de Tratamento de Falhas pode contribuir para a melhoria do processo de manutenção através da análise e detecção de falhas de caminhões fora de estrada de uma empresa de mineração?

Com o intuito de analisar e detectar as principais falhas que levaram ao maior número de paradas não programadas dos caminhões fora de estrada, o presente estudo identificou os sistemas, conjuntos e itens que apresentaram os maiores números de ocorrência de falhas. Foi identificado que os sistemas elétrico, estrutura, motor de combustão e frenagem apresentaram os maiores números de ocorrência de falhas nas quatro frotas de caminhões fora de estrada estudadas.

Os quatro sistemas que apresentaram os maiores números de ocorrências de falhas foram analisados pontualmente utilizando Diagrama de Pareto para identificar quais são os conjuntos mais significativos, indicando também quais os itens desses conjuntos devem ser priorizados.

Os conjuntos mais significativos para o sistema elétrico foram bateria (19,87%), painel (18,01%) e cabine (17,18%). O item bateria do sistema elétrico obteve o maior número de ocorrências de paradas não programadas registradas.

Os conjuntos mais significativos para o sistema estrutura foram cabine (46,81%) e estrutura (32,09%). O item retrovisor do sistema estrutura obteve o maior número de ocorrências de paradas não programadas registradas.

Para o sistema motor de combustão os sistemas mais significativos foram arrefecimento (43,32%) e motor de combustão (24,55%). Neste sistema o item que acarretou o maior número de paradas não programadas foi devido ao líquido de arrefecimento.

No sistema frenagem os conjuntos que mais falharam foram freio de serviço (36,02%) e freio traseiro (20,08%). A falha no item pino do sistema frenagem acarretou o maior número de ocorrência de falhas deste sistema.

Para entender a causa fundamental das falhas desses conjuntos foi utilizado o Diagrama dos “Porquês”. Através do diagrama foi possível detectar que as causas fundamentais das paradas não programadas dos conjuntos tinham fatores semelhantes como a inexistência ou inadequada manutenção preventiva, itens de qualidade baixa que acarretaram a falha antes do prazo estipulado pelo fabricante, erros de operação e utilização de itens em tempo prolongado, ou seja, superior ao tempo de vida útil estipulado pelo fabricante. A tabela 17 mostra um resumo das ações recomendadas para cada sistema.

Tabela 17: Ações recomendadas para os sistemas elétrico, estrutura, motor de combustão e frenagem.

<b>SISTEMA</b>	<b>AÇÕES RECOMENDADAS</b>
Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualificação dos operadores</li> <li>Periodicidade na troca de itens</li> <li>Troca de fabricante de itens</li> </ul>
Estrutura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualificação dos operadores</li> <li>Manutenção preventiva adequada para os itens fixações</li> </ul>
Motor de Combustão	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualificação dos operadores</li> <li>Periodicidade na troca de itens</li> <li>Troca de fabricante de itens</li> </ul>
Frenagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção preventiva adequada para os itens fixações e pinos</li> </ul>

Fonte: Pesquisa Direta (2021).

Com o intuito de hierarquizar as falhas potenciais em cada conjunto de itens, foi utilizado a ferramenta FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha), com isso, permitindo

classificar, em termos de relevância, os riscos potenciais de falhas em caminhões fora de estrada. Além de hierarquizar e identificar os modos e feitos de falhas, o uso dessa ferramenta possibilita reduzir custos de manutenção e operação, calcular o risco da falha de cada item, reduzir a ocorrência de paradas não programadas, identificar o tipo de serviço de manutenção adequado para cada falha, aumento da confiabilidade de operação e recomendação de ações corretivas e preventivas para cada falha.

Através do uso da ferramenta FMEA constatou-se que os itens que obtiveram os maiores valores de RPN (número de prioridade de risco) foram bateria, retrovisor, fusível, fiação e mangueiras. Levando a ações recomendadas de troca, reparos e fixação desses itens semanalmente em manutenções preventivas, com o intuito de reduzir o tempo de parada do caminhão fora de estrada.

A utilização da ferramenta FMEA pode ajudar a empresa a identificar os pontos mais críticos e com isso focar nos itens que mais acarretam paradas não programadas. Ações de melhoria dos itens como substituição por outros de melhor qualidade e elaboração de um *check-list* para realizar a parada programada pode reduzir as falhas como por exemplo analisar em toda parada o nível do óleo do motor, líquido arrefecimento, condições de mangueiras, cabos e fiações.

## **5.2 Recomendação para Trabalhos Futuros**

Após a realização do estudo, sugere-se para trabalhos futuros:

1. Estudo de melhoria na manutenção preventiva de caminhões fora de estrada aplicando-se modelagem estatística de confiabilidade;
2. Elaboração de plano de manutenção preventiva e corretiva voltado em otimização de tempo de paradas dos caminhões fora de estrada;
3. Avaliação da eficácia do plano de manutenção preventivo através da redução dos valores de RPN identificados no FMEA.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, Milena Cabral. **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação.** 2014. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ALMEIDA, Dagoberto Alves de; FAGUNDES, Liliane Dolores. **Aplicação da Gestão do Conhecimento no mapeamento de falhas em concessionária do setor elétrico.** Revista Produto & Produção, v. 8, n. 3, p. 63-79, out. 2005.

ALMEIDA, Dagoberto Alves de; LEAL, Fabiano; PINHO, Alexandre Ferreira de. **Gestão do Conhecimento na análise de falhas: mapeamento de falhas através de sistema de informação.** Revista Produção, v. 15, n. 1, p. 171-188, jan./mar. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994. 37p.

BALDISSARELLI, Luciano; FABRO Elton. **Manutenção Preditiva na indústria 4.0.** Scientia cum Industria, Caxias do Sul, v.4, n.1, p. 1-11, mar. 2018.

BARBOSA, Rafael Araújo; COSTA Fernanda Nunes; FERREIRA, Laura Maria Leite; NUNES, Carlos Eduardo de Carvalho Bacelar; ALVES, Itallo Bruno Santos. **Elaboração e Implementação de um Plano de Manutenção com Auxílio do 5S: Metodologia Aplicada em uma Microempresa.** XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, p.1-14, out. 2009.

BEZERRA JÚNIOR, Luis Fernando Ker. **Estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas das perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração.** 2019. 91f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

BRUM, Tarcísio Costa. **Oportunidades da Aplicação de Ferramentas de Gestão na Avaliação de Políticas Públicas: O Caso da Política Nacional de Resíduos Sólidos para a Construção Civil.** 2013. 72f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

CALLISTER JUNIOR, Willian D. RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução.** 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705p.

CARVALHO, André Moreira; GOMES, Geraldo Messias; BORGES, Marcio de Castro; FERREIRA JÚNIOR, Nilton Bráz. **Implantação de Sistema Informatizado para Planejamento e Controle da Manutenção – Empresa Vileplex**. 2009. 91f. Monografia (Tecnólogo em Manutenção Industrial) – Universidade Vale do Rio Doce, Governador Valadares, 2009.

CATERPILLAR. **Caminhão fora de estrada 777G**. 2012. Disponível em: <<https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10461079>>. Acessado em: 12 jul. 2021.

CHIQUITO, Anderson; VELOSO, Antônio Marcos Arouca. **Elaboração de um Plano de Manutenção Utilizando Conceitos de Manutenção Produtiva Total**. 2018. 66f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

DOCKHORN, Fernando da Silva Melo. **Manutenção 4.0 no Contexto da Universidade de Brasília – UnB**. 2019. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

DOMINGUES, Aron Henrique Junqueira. **Implementação de um Sistema de Análise de Falhas em um Usina Sucroalcooleira**. 2017. 54f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

FERROLI, Paulo Cesar Machado, LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; FERROLI, Régis Heitor; NETO, Miguel Fiod. **Discussão Conceitual dos Possíveis Desdobramentos dos Processos de Fabricação de Produtos**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba, p. 1-8, out. 2002.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009. 265p.

FREITAS, Laís Fulgêncio. **Elaboração de um Plano de Manutenção em uma Pequena Empresa do Setor Metal Mecânico de Juiz de Fora com Base nos Conceitos da Manutenção Preventiva e Preditiva**. 2016. 96f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

FURMANN, José Carlos. **Desenvolvimento de um Modelo para a Melhoria do Processo de Manutenção Mediante a Análise de Desempenho de Equipamentos**. 2002. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.



- GAIO, Evandro Dias. **Proposta de um Plano de Manutenção de um Equipamento Industrial Através da Utilização de Ferramentas da Manutenção Centrada em Confiabilidade.** 2016. 66f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 188p.
- ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de Qualidade Total: à maneira japonesa.** Rio de Janeiro: Campus, 1993. 222p.
- KARDEC, Alan; CARVALHO, Claudio Ribeiro. **Gestão estratégica e terceirização.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 106p.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção - Função Estratégica.** 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2013. 440p.
- KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de Metodologia Científica: Teoria da ciência e iniciação à pesquisa.** 34 ed. Petrópolis: Vozes, 2014. 184p.
- LUCATELLI, Marcos Vinícius. **Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalares.** 2002. 285f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica.** 9.ed. São Paulo: Atlas, 2021. 505p.
- MARSHALL JÚNIOR, Isnard; ROCHA, Alexandre Varanda; MOTA, Edmarson Bacelar; QUINTELLA, Odair Mesquita. **Gestão da Qualidade e Processos.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2012. 169p.
- MATOS, Diego Gomes de; SOUZA, José de; MOTTA, Clayton André Oliveira de; SCHAEFFER, Lirio. **Manutenção aplicada a equipamentos do sistema elétrico por intermédio de ferramentas da qualidade.** *Espacios*, v. 35, n. 2, p. 1–14, dez. 2014.
- MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de marketing.** 5.ed. São Paulo: GEN Atlas, 2013. 470p.
- MORETTI, Isabel Cristina; CRUS, Pâmela Gabrielle; GUIMARÃES, Thaís Correia. **Planejamento e controle da manutenção (PCM): um estudo de caso em uma empresa de confecção de bonés.** IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, p.1-11, dez. 2019.

MORO, Norberto; AURAS, André Paegle. **Introdução à Gestão da Manutenção**. Florianópolis: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2007, 32p.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Reliability Centered Maintenance Guide for facilities and Collateral Equipment**. Washington D. C.: NASA, 2000. 356p.

OLIVEIRA, Francisco de Paula. **Estratégica de manutenção: estrutura, ferramentas, benefícios, custos e melhoria contínua**. 2010. Disponível em: <<https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v6n1/v6n1a3.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

OLIVEIRA, Ualison Rebula; PAIVA, Emerson José; ALMEIDA, Dagoberto Alves. **Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas**. Produção, Santa Catarina, v.20, n.1, p. 77-91, jan./mar. 2010.

PALLEROSI, Carlos Amadeu. **Confiabilidade: a quarta dimensão da qualidade**. São Paulo: ReliaSoft Brasil, v.1, 2007.

PASSAMAI, Breno Dummer; CASTILHO, Gustavo Beccalli. **Nova Metodologia de Análise de Falha em Empresa de Refrigerante – Proposta e Estudo de Caso**. 2007. 80f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

PEREIRA, Mario Jorge. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009. 228p.

QUEVEDO, Johanna Mirelle Gómez. **Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto**. 2009. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

REIS, Luiz Otávio Rosa; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Análise de Falhas e da Posição na Curva da Banheira de Moldes Empregados em Equipamentos de Injeção**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, p.1-11 out. 2009.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2017. 424p.

SABINO, Claudia de Vilhena Schayer; MARIANI JÚNIOR, Rafael; SABINO, George Schayer; LOBATO, Wolney; AMARAL, Fernando Costa. **O uso do diagrama de Ishikawa como ferramenta no ensino de Ecologia no ensino médio.** Educação Tecnológica, v. 14, n. 3, p. 52-57, set./dez. 2009.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de análises de modos de falhas e seus efeitos e análise de falhas no desenvolvimento e avaliação de produtos.** 2001, 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

SEELING, Marcelo Xavier. **Desenvolvimento de um Sistema de Gestão da Manutenção em uma Empresa de Alimentos do Rio Grande do Sul.** 2000. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2000.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico.** 24. ed. São Paulo: Cortez, 2018. 320p.

SHOOK, J. **Gerenciando para o aprendizado: usando o processo de gestão A3 para resolver problemas, promover alinhamento, orientar e liderar.** São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008. 138p.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação.** Rio de Janeiro: Qualitymark. 2005. 374p.

SILVA, Marcos Rafael. **Estudo de confiabilidade aplicado à manutenção de pás carregadeiras: O caso de uma empresa de mineração.** 2018. 110f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **FMEA – Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos.** 2015. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/fmea-processo-analise-modos-falhas-efeitos/>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

SOUZA, Rodrigo de Queiroz; ALVARES, Alberto José. **FMEA and FTA Analysis for Application of the Reliability Centered Maintenance Methodology: Case Study on Hydraulic Turbines.** ABCM Symposium Series in Mechatronics, v.3, n.1, p. 803-812, dez. 2008.

TIMÓTEO, Josimar Nunes. **Importância da Utilização de Análise de Falha para Performance da Manutenção Industrial.** 2018. 9f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Ietec, Belo Horizonte, 2018.

TARTUCE, T. J. A. **Métodos de pesquisa**. Fortaleza: UNICE – Ensino Superior, 2006. Apostila.

TRINDADE, Bárbara Silva. **Estudo de Confiabilidade Aplicado à Manutenção de Perfuratrizes de Pequeno Porte: O Caso de uma Empresa de Mineração**. 2015. 104f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002, 192p.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, v. 2, 1995. 384p.

XENOS, Harilaus Georgius D'Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Nova Lima: Falconi, 1998. 302p.

XENOS, Harilaus Georgius D'Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. 2 ed. Nova Lima: Falconi, 2014. 405p.

YAMANE, Alexandre Kenji; SOUZA, Luiz Gonzaga Mariano. **Aplicação do Mapeamento de Árvore de Falhas (FTA) para Melhoria Contínua em uma Empresa do Setor Automobilístico**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, p. 1-7, out. 2007.