

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



LUIS FERNANDO KER BEZERRA JÚNIOR

Estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas das perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração

Luis Fernando Ker Bezerra Júnior luisker95@gmail.com

Estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para auxiliar na
análise e detecção de falhas das perfuratrizes de uma empresa do
setor 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

B574e Bezerra Junior, 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. [manuscrito] / Luis Fernando ker Bezerra Junior. - 2019.

92f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira Silva.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Perfuratriz. 2. Fmea. 3. Mineração. 4. Tratamento de falhas. 5. Manutenção preventiva. I. Silva, Washington Luís Vieira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Titulo.

CDU: 621







UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA

Aos 02 dias do mês de Julho de 2019, às 17h 30min, na sala 23, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno Luis Fernando Ker Bezerra Júnior, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva, Profa DSc. Luís Antônio Bortolaia e Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira. O candidato apresentou o trabalho intitulado: "Estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas das perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração", sob orientação do Prof. DSc Washington Luís Vieira da Silva. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o(a) aluno(a) APAOVA DO

Ouro Preto, 02 de Julho de 2019.

Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva Professor Orientador

Professor Orientador

Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira

Professor Avaliador

Prof^a. DSc. Luís Antônio Bortolaia **Professor Avaliador**

Luis Fernando Ker Bezerra Júnior

Aluno

A Deus, dedico mais esta etapa vencida, sempre iluminando minha caminhada.

Aos meus pais, pelo amor e incentivo nos momentos mais difíceis.

À Escola de Minas, por todas as oportunidades oferecidas.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador DSc. Washington Luís Vieira da Silva, pelo incentivo ao tema e importante orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para a realização desta monografia.

Aos irmãos republicanos, por todas as experiências compartilhadas.



RESUMO

Este trabalho tem como objetivo promover um sistema de tratamento de falhas para as perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração. O estudo reuniu técnicas de engenharia que buscam assegurar que o ativo continuará desempenhando adequadamente a sua função por um determinado período de tempo reduzindo a quantidade de paradas não programadas, com isso aumentando o tempo de utilização do equipamento sem a ocorrência de falhas. Durante o estudo foi possível hierarquizar os sistemas mais críticos, fazer uma análise da causa-raiz dos problemas utilizando o método dos "Porquês" e analisar os modos e efeitos de suas falhas através do uso do método do FMEA, além de selecionar atividades de manutenções que eliminem ou minimizem as causas fundamentais dessas ocorrências. Os sistemas identificados como mais críticos foram o motor de combustão, elétrico, hidráulico, estrutura e comando. Esses sistemas foram desmembrados em conjuntos e componentes com a intenção de se chegar aos itens que mais apresentavam ocorrências de falhas. Os conjuntos mais críticos para o sistema motor de combustão foram motor de combustão, combustível e arrefecimento. Para o sistema hidráulico o conjunto mais crítico foi o tanque de óleo. No sistema elétrico o mais crítico identificado foi o conjunto alternador. No sistema estrutura foi o conjunto estrutura. O conjunto rotação do sistema comando apresentou como ponto mais crítico no tratamento de falhas das perfuratrizes estudadas. Durante os estudos, foi possível constatar que poderiam ser realizadas ações preventivas de troca ou reforma dos componentes, a fim de diminuir ou eliminar as paradas não programadas. A análise das falhas possibilitou concluir que, embora os sistemas fossem de naturezas diferentes e possuíssem componentes e itens distintos, as causas fundamentais de suas falhas eram semelhantes. Também foi constatado que as causas potenciais de falhas tinham relação com os seguintes fatores: erros do operador, utilização de itens de baixa qualidade, manutenções preventivas mal executadas ou inexistentes e falta de planejamento voltado para ações preventivas do setor de manutenção. Dessa forma, é possível propor atividades capazes de tratar as causas fundamentais das falhas encontradas, de modo que os resultados obtidos evidenciam a importância de desenvolver planos de manutenção sistematizados através da capacitação da equipe de manutenção, minimizando assim as paradas não programadas e fornecendo hierarquia de prioridades nas atividades de manutenção.

Palavras-chave:Perfuratriz, FMEA, Mineração, Tratamento de falhas, Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

This work aims to promote a study of fault treatment for the drilling systems of a mining company. The study brought together engineering techniques that seek to ensure that the asset will continue to perform its function properly for a certain period of time by reducing the number of unscheduled downtimes, thereby increasing the uptime of the equipment without the occurrence of failures. During the study, it was possible to rank the most critical systems, analyze the root cause of the problems using the 5 whys technique and analyze the modes and effects of their failures through the use of the FMEA method, besides selecting maintenance activities that eliminate or minimize the root causes of such occurrences. The systems identified as most critical were the combustion engine, electric, hydraulic, structure and command. These systems were dismembered in sets and components with the intention of arriving at the items that presented the most occurrences of failures. The most critical assemblies for the combustion engine system were combustion, fuel and cooling engines. For the hydraulic system the most critical set was the oil tank. In the electrical system the most critical identified was the alternator set. In the system structure was the set structure. The rotational set of the command system presented as the most critical point of the drilling equipment studied. During the studies, it was possible to observe that preventive actions could be taken to exchange or reform the components in order to reduce or eliminate unscheduled outages. The analysis of the failures allowed to conclude that, although the systems were of different natures and had different components and items, the fundamental causes of their failures were similar. It was also found that the potential causes of failures were related to factors such as: operator errors, use of low quality items, poorly executed or nonexistent preventive maintenance, and lack of planning for preventive actions in the maintenance sector. In this way, it is possible to propose activities capable of addressing the fundamental causes of the flaws encountered, so that the obtained results show the importance of developing systematized maintenance plans through the training of the maintenance team, thus minimizing unplanned downtime and providing hierarchy of priorities in maintenance activities.

Key-words: Drilling equipment, FMEA, Mining, Fault detection method, Preventive maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Organograma de Manutenção.	10
Figura 2: Exemplo de Ordem de Serviço.	12
Figura 3: Classificação das Falhas	16
Figura 4: Relação entre o Esforço e a Resistência.	18
Figura 5: Curva da Banheira.	19
Figura 6: Relatório FMEA	22
Figura 7: Diagrama de Árvore de Falhas.	23
Figura 8: Fluxograma para elaboração do Diagrama de Causa e Efeito	23
Figura 9: Esquema do Diagrama de Causa e Efeito	24
Figura 10: Método dos Por quês	25
Figura 11: Plano de ação com a ferramenta 5WHY	26
Figura 12: Materiais e Métodos	28
Figura 13: Desmonte de rocha	31
Figura 14: Equipamentos de carga.	32
Figura 15: Caminhão fora-de-estrada.	32
Figura 16: Ciclo de Mineração.	33
Figura 17: Organograma Inspeção Detectiva.	35
Figura 18: Modelo de perfuratriz percussiva	37
Figura 19: Componentes da perfuratriz.	37
Figura 20: Partes de uma perfuratriz rotativa.	39
Figura 21: Componentes de uma perfuratriz rotativa	39
Figura 22: Componentes de uma perfuratriz rotopercussiva.	40
Figura 23: Perfuratriz percussivo-rotativa.	41
Figura 24: Porcentagem de ocorrência de falhas em função das frotas das perfuratrizes	43
Figura 25: Diagrama de Pareto para o número de ocorrências em função das frotas	44

Figura 26: Número de ocorrências em função dos sistemas para a frota Ingersol DM45E45
Figura 27: Número de ocorrências em função dos sistemas para a frota Bucyrus SKF-X 46
Figura 28: Número de ocorrências em função dos sistemas para a frota Atlas COPCO F9-11.
Figura 29: Metodologia adotada na investigação das falhas nos sistemas
Figura 30: Porcentagem de falhas em função do conjunto Alternador – Sistema Elétrico 50
Figura 31: Porcentagem de falhas em função do conjunto Comando – Sistema Rotação51
Figura 32: Porcentagem de falhas em função do conjunto Estrutura – Sistema Estrutura52
Figura 33: Porcentagem de falhas em função do conjunto Tanque de Óleo – Sistema Hidráulico.
Figura 34: Porcentagem de falhas em função do conjunto Combustível – Sistema Motor de Combustão
Figura 35: Porcentagem de falhas em função do conjunto Motor de Combustão – Sistema Motor de Combustão
Figura 36: Porcentagem de falhas em função do conjunto Arrefecimento – Sistema Motor de Combustão
Figura 37: Diagrama dos Porquês para o conjunto Alternador pertencente ao sistema Elétrico.
Figura 38: Diagrama dos Porquês para o conjunto Motor de Combustão, pertencente ao sistema Motor de Combustão
Figura 39:Diagrama dos Porquês para o conjunto Combustível, pertencente ao sistema Motor de Combustão
Figura 40: Diagrama dos Porquês para o conjunto Arrefecimento pertencente ao sistema Motor de Combustão
Figura 41: Diagrama dos Porquês para o conjunto Tanque de óleo pertencente ao sistema Hidráulico
Figura 42: Diagrama dos Porquês para o conjunto Comando pertencente ao sistema Rotação.

Figura 43: Diagrama	dos Porquês para	o conjunto	Estrutura	pertencente	ao sistema Es	strutura.
						66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Funções de apoio
Tabela 2: Exemplo de Codificação de Equipamentos
Tabela 3: Balizadores em um Plano de Manutenção
Tabela 4: Índices de ocorrência, severidade e detecção para a construção do FMEA21
Tabela 5: Variáveis e Indicadores
Tabela 6: Organograma de Gerência de Manutenção
Tabela 7: Trecho da Planilha Excel disponibilizada pela empresa (parte 1)42
Tabela 8: Trecho da Planilha Excel disponibilizada pela empresa (parte 2)42
Tabela 9: Número de ocorrências e tempo de operação de cada frota das perfuratrizes43
Tabela 10: Número de ocorrências em função do tempo de operação da frota Ingersol DM45E
Tabela 11: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Sistema Elétrico49
Tabela 12: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Sistema Rotação50
Tabela 13: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Sistema Estrutura51
Tabela 14: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Sistema Hidráulico53
Tabela 15: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Motor de Combustão54
Tabela 16: Análise do modo e efeito de falha potencial do sistema motor de combustão69
Tabela 17: Análise do modo e efeito de falha potencial dos sistemas elétrico, hidráulico, rotação e estrutura

LISTA DE SÍMBOLOS

mm – milímetro

rpm – rotações por minuto

 $m^3/min-metro$ cúbico por minuto

kW-quilowatt

m-metro

HP – *Horse Power* (cavalo-vapor)

LISTA DE SIGLAS

PCM - Planejamento e Controle da Manutenção

MTBF - Mean Time Between Failure

MTTR - Mean Time to Repar

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

FTA – Failure Tree Analysis

PDCA -Plan-Do-Check-Act

RPN – Risk Priority Number

SUMÁRIO

1	IN	ΓRO	ODUÇÃO	1
	1.1	Fo	ormulação do Problema	1
	1.2	Ju	stificativa	2
	1.3	O	bjetivos	3
	1.3	.1	Geral	3
	1.3	.2	Específicos	3
	1.4	Es	strutura do Trabalho	3
2	RE	VIS	SÃO BIBLIOGRÁFICA	5
	2.1	M	anutenção: Uma Abordagem Geral	5
	2.2	G	estão da Manutenção	9
	2.2	.1	Organograma da manutenção	9
	2.2	.2	Tagueamento	10
	2.2	.3	Codificação de equipamentos	10
	2.2	.4	Ordem de manutenção	11
	2.2	.5	Planos de manutenção	12
	2.2	.6	Indicadores de manutenção	13
	2.3	Si	stema de Tratamento de Falhas	15
	2.3	.1	Introdução	15
	2.3	.2	Tipos de falhas	16
	2.3	.3	Círculo vicioso das falhas	17
	2.3	.4	Modelos para análise de falhas	19
	2.3	.5	Métodos para análise de falhas	20
	2.3	.6	Plano de ação e análise de resultados	25
3	MI	ETC	DOLOGIA	27
	3.1	Ti	po de Pesquisa	27
	3.2	M	ateriais e Métodos	28
	3.3	V	ariáveis e Indicadores	28
	3.4	In	strumentos de Coleta de Dados	29
	3.5	Ta	abulação dos Dados	30
	3.6	Co	onsiderações Finais	30
4	RE	SU	LTADOS	31

D	FFFD	PÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	5
6	CC	ONCLUSÃO	3
_	IXL		
5	RF	COMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	2
	4.3	Análise do Sistema de Tratamento de Falhas	42
	4.2	Descrição do Equipamento	36
	4.1	Características da Empresa Estudada	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Antigamente, os métodos de produção não exigiam muitos esforços, visto que não havia tanta concorrência no mercado e a tecnologia ainda não tinha alcançado os patamares atuais. Com a revolução industrial, o mundo passou a evoluir de forma gradativa, e as empresas passaram a adaptar essas melhorias acarretando em uma série de mudanças (SANTOS, 2003).

Assim, com esse desenvolvimento tecnológico, as indústrias tiveram seus métodos de produção aperfeiçoados, para que pudessem atender a alta demanda, prezando sempre pelos baixos custos e alta qualidade dos produtos. Para acompanhar os setores de produção em perfeito funcionamento com a máxima produtividade, o setor de manutenção se torna imprescindível para acompanhar o desempenho de todos os equipamentos (SANTOS, 2003).

Nas atividades de manutenção, Xenos (2004) aborda algumas atividades gerenciais ou funções de apoio, são elas: planejamento da manutenção, padronização da manutenção, orçamento da manutenção, educação e treinamento, peças-reservas e almoxarifado, tratamento de falhas dos equipamentos. Dentre essas funções, o tratamento de falhas dos equipamentos merece destaque neste estudo.

Logo, o conceito de tratamento de falhas consiste em diagnosticar as paradas não-programadas nos setores de produção, estabelecendo as contramedidas adequadas. Além disso, registrar todas as ocorrências de falhas dos equipamentos, possibilitando assim, identificar os fatores que mais prejudicam o perfeito funcionamento dos equipamentos para, posteriormente, reduzir suas ocorrências (XENOS, 2004).

O Brasil é uma grande potência na produção de minérios, sendo um dos principais produtores de ferro do mundo. No ramo da mineração, a eficiência operacional é o elemento fundamental que alavanca a competitividade entre as empresas. Por isso, é essencial ter o controle da disponibilidade dos equipamentos, obtendo o máximo de horas disponíveis para o setor de operações. Assim, é necessária uma boa gestão da manutenção, que inclui um eficiente sistema de tratamento de falhas (BARBOSA, *et al.*2001).

Portanto, este trabalho é direcionado para uma empresa do setor de mineração. Para a exploração do minério, a empresa tem uma série de máquinas como perfuratrizes, escavadeiras, pás carregadeiras, tratores de esteira, caminhões fora de estrada, dentre outros

equipamentos que necessitam de vistorias constantes representando grandes desafios para os setores de manutenção. A proposta deste estudo tem como foco as perfuratrizes, equipamentos que realizam perfurações em solo ou rochas, com o objetivo de produzir um furo ou poço, até uma certa profundidade.

Para o funcionamento ideal da perfuratriz, todos os componentes necessitam estar operando corretamente, sendo que a falha individual em um dos componentes, já compromete a disponibilidade física do equipamento como um todo. A simples remoção do sintoma, não resolverá o problema, visto que é uma ação específica e que se tornará insuficiente com o tempo. Assim, é evidente a importância da realização de um sistema de tratamento de falhas minucioso, visando substituir a manutenção corretiva pela preventiva a longo prazo, para não afetar a escala de produção no setor. Logo, de acordo com o contexto, tem-se a seguinte problemática:

Como o Sistema de Tratamentos de Falhas pode auxiliar na análise e detecção de falhas das perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração?

1.2 Justificativa

Nas empresas, especificamente nos departamentos de manutenção, a equipe de funcionários perde grande parte do tempo útil de trabalho concentrada nas recorrentes e inesperadas falhas nos setores de produção. Nesse sentido, com o intuito de evitar a ocorrência dessas avarias, o tratamento adequado é fundamental para trazer os benefícios desejados (SHROEDER, 2017).

Dentre essas vantagens, Shroeder (2017) destaca que o Sistema de Tratamento de falhas, quando aplicado corretamente, vai minimizar o número e o custo das paradas não planejadas desenvolvidas por falhas da máquina, e melhorar o desempenho global das plantas operacionais. Além disso, as despesas efetivas normalmente associadas com a operação da manutenção podem ser minimizadas substancialmente. Com relação a disponibilidade física, a prevenção de falhas trágicas e a constatação antecipada de problemas da máquina, eleva a vida operacional eficaz do maquinário do setor de mineração.

A partir do estudo do tratamento de falhas para as perfuratrizes será possível reduzir a duração das paradas de manutenção não-programadas, porque com o relatório das falhas feito, poderão ser produzidas contramedidas e definidos os projetos de melhoria dos equipamentos

com o propósito de aumentar a disponibilidade física e confiabilidade do equipamento estudado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Aplicar um estudo do Sistema de Tratamentos de Falhas para auxiliar na análise e detecção de falhas das perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre: Manutenção, Gestão da Manutenção, Sistema de Tratamentos de Falhas;
- Compreender o funcionamento dos diferentes tipos de perfuratrizes existentes.
- Elaborar um procedimento metodológico para verificar as condições do equipamento estudado;
- Construir Diagramas de Pareto para identificar os sistemas que mais apresentaram falhas durante o tempo de operação analisado;
- Identificar a causa raiz das falhas utilizando o Diagrama dos "Porquês";
- Construir uma análise do modo e efeito de falha para determinar a potencialidades das avarias e reduzir o número de prioridade de risco;
- Comparar os dados obtidos com a base teórica e analisar o sistema de tratamento de falhas para as perfuratrizes.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, onde se inicia formando o problema e sua justificativa para a realização deste trabalho, com seus respectivos objetivos.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica dos conceitos e teorias à respeito da manutenção. Também são relatados os diferentes tipos de gestão no departamento de manutenção e os métodos para elaboração de um Sistema de tratamento de falhas para que as mesmas sejam evitadas.

O terceiro capítulo diz respeito à aplicação prática do trabalho, onde será feito um levantamento de dados do equipamento crítico em questão, e posteriormente um diagnóstico com base em todos os métodos realizados.

O quarto capítulo corresponde à comparação do Sistema de Tratamento de Falhas da perfuratriz, com a base teórica realizada no segundo capítulo. Serão feitas todas as considerações para concluir a raiz do problema e as medidas necessárias para o equipamento.

O quinto capítulo realizará recomendações para trabalhos futuros que poderão dar continuidade ao estudo.

O sexto capítulo buscará responder o problema levantado no início do estudo, propondo melhorias com a finalidade de preservar a frota de perfuratrizes utilizada na empresa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção: Uma Abordagem Geral

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas -NBR 5462/1994 *apud* Pallerosi (2007, p.1), a manutenção é definida como "combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida".

Para Moubray (2000), "manter" significa continuar em um estado existente, ou seja, a manutenção é o conjunto de técnicas de atuação para que os ativos físicos (equipamentos, sistemas, instalações) cumpram ou preservem sua função ou funções específicas.

A manutenção tem sido a atividade que mais sofreu mudanças na gestão da produção. O aumento do número e variedade de plantas, equipamentos e instalações são os responsáveis por essas alterações ao longo dos projetos de engenharia. Além disso, a evolução da organização e das responsabilidades da manutenção também corroboram para essas transformações (MOUBRAY, 1997).

Segundo Xenos (2004), o desgaste natural e o uso causam degradação nos equipamentos e instalações. A deterioração pode se manifestar de diversas maneiras, como no aspecto externo negativo dos equipamentos, perdas de desempenho, paradas de produção, elaboração de produtos de má qualidade e poluição ambiental. Essas manifestações têm uma grande influência negativa na qualidade e rendimento, principalmente nas empresas em que os equipamentos exercem um papel fundamental no setor.

Percebe-se, portanto, que as atividades de manutenção devem ser bastante amplas, necessitando de introduzir melhorias nos equipamentos. O processo simples de manter as condições originais dos equipamentos não contribui para o avanço da produção, e também não reduz a reincidência das falhas (XENOS, 2004).

Assim, Xenos (2004) divide as atividades da manutenção em atividades de manutenção e atividades de melhoria.

As atividades de manutenção visam manter as condições originais de operação e desempenho do equipamento, sem exceder as condições básicas de desempenho e

confiabilidade. As atividades de melhoria, por sua vez, têm o objetivo de aperfeiçoar as condições de operação iniciais, atingindo novos níveis de produtividade (XENOS, 2004).

Em resumo, qualquer comprometimento das condições físicas do equipamento prejudica seu desempenho e produtividade, afetando, por conseguinte, o resultado final das operações. A manutenção, de forma bastante abrangente, atua de forma direta e indireta para que as atividades de reparo e aperfeiçoamento sejam efetivadas (XENOS, 2004).

As atividades técnicas de manutenção englobam quatro diferentes métodos que serão explicados individualmente a seguir.

A manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (ABNT, 1994 *apud* PALLEROSI, 2007).

Ela pode ser subdividida em planejada ou não planejada. A manutenção corretiva não planejada é empregada em equipamentos que não sofrem monitoramento, ou seja, aqueles que não têm manutenção programada. Por outro lado, a manutenção corretiva planejada é a correção aplicada após um acompanhamento preditivo, ou por uma decisão gerencial de se operar até a falha do equipamento (PALLEROSI, 2007).

A manutenção preventiva, segundo Xenos (2004), é a principal atividade de manutenção em qualquer empresa, sendo realizada de forma periódica. Ela envolve tarefas sistemáticas, principalmente inspeções, reformas e trocas de peças. Quando levada em comparação com a manutenção corretiva estudada anteriormente, a manutenção preventiva tem um custo mais elevado, pois existe a necessidade de as trocas dos componentes serem feitas antes dos seus respectivos limites de vida.

Durante a manutenção preventiva, as atividades são planejadas individualmente, de acordo com as características específicas do equipamento. Elas variam, por exemplo: troca de componentes com vida útil estabelecida, limpeza do equipamento, local de instalação, entre outros. O objetivo desse tipo de manutenção é antecipar a falha do equipamento, instalação ou sistema de produção, o que resulta em paradas da planta, consideradas desnecessárias, mas que não podem ser desconsideradas em virtude dos benefícios gerados. Esse tipo de manutenção é realizado quando as falhas apresentam alto risco para a produção ou segurança do ambiente de trabalho (PALLEROSI, 2007).

Segundo Xenos (2004, p. 25), "a manutenção preditiva permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximos do seu limite de vida".

Esse tipo de manutenção consiste basicamente no acompanhamento dos equipamentos ou máquinas da empresa, de forma periódica, coletando o máximo de dados por meio de inspeções e monitoramento. Ela também pode ser definida como o acompanhamento de certos critérios da máquina que apontam seu desempenho, de forma ordenada, no intuito de identificar o momento correto de interferência do equipamento (KARDEC e CARVALHO, 2002).

É comum, em muitas empresas, a designação de uma equipe de engenheiros que tem a função exclusiva de gerenciar a manutenção preditiva. Sua grande importância é explicada pela sua simplicidade e favoráveis resultados. Um exemplo é o monitoramento da variação de vibração do equipamento, que permite identificar o momento da troca dos rolamentos. Outro exemplo consiste na identificação do momento de reformar componentes pela análise do óleo lubrificante (XENOS, 2004).

A engenharia de manutenção tem o propósito de aperfeiçoar seus equipamentos e serviços de forma contínua, aumentando a confiabilidade e garantindo a disponibilidade física de seus ativos sempre com intuito de obter métodos mais modernos. A definição foi originada pelo progresso do papel da manutenção como atividade concorrente das companhias e vai além da definição de um modo de atividade de manutenção, sendo assim outra maneira de executar a manutenção (BELMONTE e SCANDELARI, 2006).

Para um gerenciamento eficiente dos métodos de manutenção citados anteriormente, Xenos (2004) enumera uma série de funções de apoio de suma importância que serão explicados brevemente na Tabela 1 e de forma mais abrangente no decorrer do trabalho.

Tabela 1: Funções de apoio.

FUNÇÕES DE APOIO DA MANUTENÇÃO	DEFINIÇÃO BÁSICA
Tratamento de falhas dos equipamentos	São as atividades de remoção do sintoma das falhas e identificação das causas fundamentais estabelecendo as contramedidas adequadas. O registro e a análise dos dados sobre as falhas do equipamento também está incluso, o que permite identificar quais são as causas mais frequentes.
Padronização da Manutenção	Uso dos métodos técnicos e gerenciais relacionados com as atividades da manutenção, catálogo de peças, padrões de inspeção e procedimentos de testes dos equipamentos. Resumindo, é sistema relativo a elaboração, atualização, arquivamento e controle dos documentos relativos ao equipamento.
Planejamento da Manutenção	São as ações que preparam a manutenção preventiva estipulando quando serão executadas as ações.
Peças-Reservas e Almoxarifado	Consiste no armazenamento e controle, após serem adquiridas as peças de reposição, de acordo com as necessidades da manutenção preventiva. O baixo custo, boa qualidade e a quantidade das peças influenciam no bom funcionamento dos equipamentos.
Orçamento da Manutenção	Essa função tem a prerrogativa de distribuição e controle dos recursos financeiros do departamento. O orçamento abrange custos relativos a mão de obra, serviços terceirizados e materiais que o equipamento consome. Deve ser feito tendo como base o plano de manutenção.
Educação e Treinamento	É o ramo que tem o objetivo de capacitar o pessoal a desempenhar as funções dentro do departamento de manutenção. A habilidade insuficiente é uma das principais deficiências das corporações brasileiras. É importante um adequado tratamento para prevenir falhas nos equipamentos.

Fonte: Adaptado de Xenos (2004).

2.2 Gestão da Manutenção

Segundo Kardec e Nascif (2013), a organização da manutenção era um planejamento e administração de recursos para adequação à carga de trabalho. Atualmente, a organização da manutenção consiste na gerência e a resolução de problemas na produção, para que a empresa seja competitiva e também busque pela maximização dos resultados.

A manutenção, além de realizar a correção dos problemas rotineiros que ocorrem nas indústrias, deve ter uma melhoria constante, aproveitando ao máximo todos os recursos disponíveis no ambiente de trabalho. Assim, Viana (2002) explica que o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) representa um grande avanço, pois permite a possibilidade de implementar diversos recursos que objetivam uma busca pelo melhor desempenho possível. Ao PCM, cabe a administração de atividades e carteira de serviços da manutenção, de acordo com ordens de serviços e análises diversas para tratamento de dados.

Um dos benefícios provenientes do PCM é a redução dos desperdícios de mão de obra, tempo e materiais. A correta implantação desse planejamento, resulta em resultados mais favoráveis. Além disso, as linhas de produção dependem do funcionamento constante das máquinas, mantendo o volume de produção de acordo com o planejado (VIANA, 2002).

2.2.1 Organograma da manutenção

De acordo com Viana (2002, p. 19):

Normalmente em algumas indústrias quando nos referimos a produção, pensamos estar falando da operação, uma interpretação equivocada, pois a produção engloba a manutenção e a operação, sendo que estas ocupam o mesmo nível hierárquico dentro de uma organização produtiva.

Portanto, Viana (2002) evidencia que o PCM ocupa uma importante função no organograma da manutenção, conforme a Figura 1 exemplifica a organização de uma fábrica que ocupa um importante nível no departamento fundamental garantindo uma boa gerência do processo.

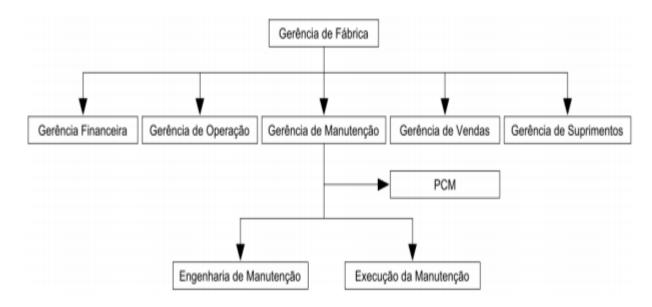


Figura 1: Organograma de Manutenção.

Fonte: Viana (2002).

2.2.2 Tagueamento

A palavra tagueamento representa a identificação da localização das áreas operacionais e suas respectivas máquinas. Tal localização se torna mais necessária por causa da necessidade de atuação organizada da manutenção (VIANA, 2002).

2.2.3 Codificação de equipamentos

Primeiramente, para realizar a codificação deve-se ter uma estrutura lógica, para prever o tipo de equipamento e a que estrutura ele está ligado. A próxima etapa é a de código "cego" ou sem sistemática (CABRAL, 1998).

Segundo Viana (2002), o intuito de codificar um equipamento é individualizá-lo para que possa receber a devida manutenção, e também para acompanhar sua vida útil, custos, histórico de falhas, etc. Assim, deve-se criar um padrão para realizar o registro contendo as informações que permitem a identificação do equipamento. A Tabela 2 exemplifica como é feita essa codificação.

Tabela 2: Exemplo de Codificação de Equipamentos.

Código	Descrição do Equipamento
VAT-0001	Válvula Termostática
VEC-0001	Válvula de Enchimento
VEC-0002	Válvula de Enchimento
MOT-0001	Motor Elétrico de 50 CV
MOT-0002	Motor Elétrico de 25 CV
VES-0001	Válvula de Escape
VES-0002	Válvula de Escape

Fonte: Viana(2002).

2.2.4 Ordem de manutenção

A Ordem de Manutenção é definida, de acordo com Viana (2002), como toda a permissão de trabalho de manutenção, que será executada. Assim, é realizada a organização e registro de todas as instruções que são redigidas via documento eletrônico ou em papel. De acordo com Silveira (2013), essas ordens podem ser divididas nos seguintes tipos:

- Ordem Corretiva: Requer execução imediata, utilizada para emergência e assim,
 não necessita de programação prévia;
- Ordem Planejada: Fazem parte do plano de manutenção preventiva, sendo requerida pelos clientes para serviços que não tem emergência, como na Corretiva, por exemplo;
- Ordem de Rota: é um tipo de rota utilizado somente para planos de manutenção que envolvem inspeção, lubrificação e manutenção preditiva;
- Ordem de Parada Geral: Com a mesma sistemática da Ordem Planejada, ela é utilizada para serviços realizadas em paradas de setor ou gerais.

Conforme a Figura 2, a estrutura de uma Ordem de Serviço deverá conter um cabeçalho contendo as informações de cadastro como Número da Ordem, Tag, Equipamento, Tipo de Manutenção, etc. Em seguida, deverá ser preenchida a descrição das tarefas a serem executadas e o histórico geral (MOREIRA, 2009).

	ORDI	BM DESERVIÇO
EQUIP AMENTO DESCRIÇÃO SERVIÇO	DATA	SOLIGITAÇÃO
NATERAIS/ PEÇAS NECESSA/BAS		
	Serviço Executado	
Téonico responsável:		
Data serviço://		Término: : h s
Manutenção: ☐ Correliva		
Comen tario s:		
<u> </u>		
Pen denola s:		
l		
<u> </u>		
Equipamento e sta liberado para p Equip. se encontra no spaditie si	Apro vação do serviço produção: higiene /segurança:	Strn ¥55o
tor superficiency and and		Annual Control
Aprovação operacional		Aprovação lecrica

Figura 2: Exemplo de Ordem de Serviço.

Fonte: Moreira (2009).

2.2.5 Planos de manutenção

De acordo com Xenos (2004), um plano de manutenção é um conjunto de ações preventivas acompanhadas de suas respectivas datas de execução. Estas ações devem estar definidas nos padrões de manutenção que devem conter instruções detalhadas sobre o que será inspecionado, possíveis reformas e trocas, e as formas como serão executadas. Portanto, sua meta é basicamente cumprir as ações preventivas necessárias.

A meta fundamental do Plano de Manutenção, de acordo com Barbosa *et al.* (2009, p.5), "é reduzir ou eliminar a incidência de falhas, paradas não planejadas e a degradação das

funções de um equipamento, bem como manter o processo de manutenção organizado, padronizado e com um fluxo contínuo de melhoria e monitoramento".

Para obter o melhor gerenciamento das Ordens de Manutenção, Viana (2002) sugere uma série de balizadores para compor a forma do Plano de Manutenção, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Balizadores em um Plano de Manutenção.

	D
Título do plano de manutenção:	Para posteriormente, poder vinculá-lo a equipamentos ou tags.
Grupo de Máquinas:	Informativo sobre a família que se aplica ao plano.
Periodicidade:	Período relativo à execução da OM. O início da contagem corresponde a data de encerramento da última OM gerada pelo plano. Assim, evita-se o acúmulo desnecessário de Ordens preventivas na carreira de serviço.
Tipo de dia:	Informa se a contagem leva em conta dias úteis ou corridos.
Data da ativação:	Consiste no marco inicial do plano, a partir do qual haverá contagens para geração das Ordens.
Equipe de Manutenção:	Encarregada da execução dos serviços.
Planejador:	Responsável.
Material de consumo:	Itens de estoque necessários para realização das tarefas contidas.
Especialidades:	Informar os mantenedores que irão realizar a tarefa.
EPI's	Equipamentos de proteção individual que serão utilizados pelos mantenedores durante a realização das tarefas.
Ferramentas:	Listagem de instrumentos necessários para as tarefas.
Equipamentos de apoio:	Máquinas auxiliares aos serviços de manutenção.

Fonte: Adaptado de Viana (2002).

2.2.6 Indicadores de manutenção

No decorrer do tempo, são utilizados alguns indicadores que permitem a comparação das características, que orientam as metas e objetivos a serem alcançados. Portanto, deve

ocorrer uma orientação para que as informações possam trazer benefícios na empresa por meio desses indicadores (VIANA, 2002).

Zen (2008) aponta alguns indicadores que são referências na gestão da manutenção, são eles:

- Hora de parada ou hora indisponível: indicador de disponibilidade do equipamento/máquina para o processo produtivo;
- Hora de espera: mede o tempo entre a comunicação da indisponibilidade da máquina até o momento do início do serviço de manutenção, medindo a capacidade de reação e organização da equipe de manutenção;
- Hora de impedimento: mede o tempo desperdiçado por motivos que bloqueiam a ação da equipe de manutenção, como falta de material (suprimentos), e, portanto, também mede o comprometimento de equipes auxiliares para o reparo da falha;
- Disponibilidade: corresponde à probabilidade de o equipamento estar disponível em um dado momento, ou seja, se a manutenção provê condições mínimas de controle assegurando atendimento à produção;
- Custo de manutenção: soma dos custos envolvidos na manutenção, inclusive o de perdas da produção;
- MTBF (*Mean Time Between Failure*) / TMEF (Tempo médio entre falhas): corresponde ao tempo médio entre a falha anterior e a próxima;
- MTTR (Mean Time to Repar) /TMPR (Tempo médio para reparo): tempo médio total para conserto da avaria;
- Confiabilidade: corresponde à chance de que uma máquina funcione sob condições esperadas durante um determinado período de tempo ou de ainda estar em condições de trabalho após determinado período de funcionamento;
- Manutenibilidade: chance de que um item avariado possa ser colocado em seu estado normal de funcionamento em dado período de tempo, quando a manutenção é realizada conforme processo normal da organização.

2.3 Sistema de Tratamento de Falhas

2.3.1 Introdução

A norma NBR 5462 (1994, p.3) define falha como sendo o "término da capacidade de um item desempenhar a função requerida".

A pane ocorre quando o ativo perde a capacidade de desempenhar a sua função programada,ou pela ausência de recursos externos necessários para o seu desempenho (ABNT, 1994 *apud* PALLEROSI, 2007, p. 16).

Norton (2013) também define falha, afirmando que um item pode falhar quando suas distorções alcançarem um grau que impossibilita o funcionamento, quando comparado com a maneira para que foi projetada originariamente. Não obstante ambas as condições serem falhas, as causas são diferentes, visto que materiais dúcteis deformam de forma significativa até o rompimento, enquanto materiais frágeis rompem sem mudanças em sua forma.

Segundo Callister (2008, p. 130):

A falha de materiais de engenharia é quase sempre um evento indesejável por vários motivos: vidas humanas que são colocadas em perigo, perdas econômicas, e a interferência na disponibilidade de produtos ou serviços. Embora as causas da falha e comportamento de materiais possam ser conhecidas, a prevenção de falhas é uma condição difícil de ser garantida. As causas usuais são a seleção e o processamento dos materiais de uma maneira não apropriada, e o projeto inadequado do componente ou sua má utilização. É uma das responsabilidades do engenheiro antecipar e planejar considerando possíveis falhas e, no caso de uma falha de fato ocorrer, avaliar a sua causa e então tomar as medidas de prevenção apropriadas para futuros incidentes.

Segundo Siqueira (2005), uma falha é definida pela interrupção ou alteração da capacidade de um equipamento de executar uma função específica. Completando esta afirmação, as falhas podem ser subdivididas sob vários aspectos, como, por exemplo, origem, extensão, velocidade, manifestação, criticidade ou idade. A Figura 3 relaciona estes aspectos, adicionando a classificação adotada pela Manutenção Centrada na Confiabilidade.

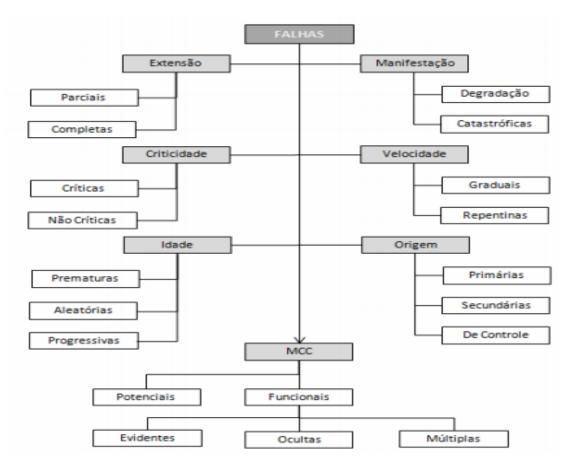


Figura 3: Classificação das Falhas.

Fonte: Siqueira (2005).

O equipamento pode estar em perfeitas condições de uso, ou completamente danificado. Todavia, ele também pode estar funcionando em uma velocidade menor do que a original ou até mesmo produzindo peças defeituosas. Essas condições podem ser vistas como falhas ou não, dependendo dos parâmetros mensurados, que definirão formas claras para os critérios de falhas (XENOS, 2004).

2.3.2 Tipos de falhas

As falhas podem ser segregadas em duas classificações diferentes para que possam ser estudadas com intuito de diminuir suas ocorrências (PEREIRA, 2009):

- -Devido aos erros humanos;
- -Devido à quebra de componentes ou subsistemas.

As falhas decorrentes de erros humanos geralmente podem ocorrer pela falta de capacitação técnica, enquanto as falhas do outro tipo são mais comuns e precisam ser seguidas por algum tipo de reparo ou conserto (PEREIRA, 2009).

No momento em que o equipamento é projetado, todos os testes para situações prováveis foram realizados, sendo que quando são aplicados em situações do cotidiano, ocorrem inadequações evidentes. As funções da máquina precisam de pessoas capacitadas para realizarem o controle e operação, aumentando a probabilidade de ocorrência de falhas. As falhas podem ser classificadas em erros (enganos de julgamento) e violações que são atos opostos aos procedimentos de operação (SLACK *et al.* 2002).

Segundo Pereira (2009), as falhas decorrentes de quebra de componentes ou subsistemas podem ser divididas em:

- Falhas aleatórias de componentes simples: são as avarias que são submetidas a
 esforços externos, como, por exemplo, as tensões mecânicas. Podem ocorrer
 falhas mais facilmente, em certas situações, em que o ativo não chega a
 quebrar, mas ficando bastante fragilizado (PEREIRA, 2009).
- Falhas aleatórias de componentes complexos: com o objetivo de melhorar a
 efetividade dos equipamentos, utiliza-se novas tecnologias, que acarretam em
 componentes mais complexos, reduzindo a probabilidade da ocorrência de
 falhas. Essa complexidade entende-se pelo aumento na confiabilidade das
 informações, redução nas dimensões ou melhora na interface (PEREIRA,
 2009).
- Falhas relacionadas à idade do ativo: com o tempo, a máquina tende a ficar mais propícia a apresentar falhas, simplesmente pelo processo do uso constante que vai desgastando os componentes. Isso ocorre mesmo obedecendo a todos os limites especificados, porém, ocorrerá redução da vida útil com a má utilização do equipamento (PEREIRA, 2009).

2.3.3 Círculo vicioso das falhas

De acordo com Xenos (2004), existem diversas causas possíveis que ocasionam as falhas nos equipamentos. De forma simples, elas podem ser divididas em: uso inadequado, falta de resistência e manutenção inadequada.

O uso inadequado representa a aplicação de cargas que estão acima da capacidade de suporte do equipamento e pode resultar em falhas durante a operação. A falta de resistência é uma característica do equipamento resultante de deficiências durante a realização do projeto,

erros na especificação de materiais e falhas nos processos de conformação e montagem (XENOS, 2004).

A manutenção inadequada, por sua vez, significa que as ações preventivas necessárias para evitar que os equipamentos se deteriorem, não estão sendo executadas de forma correta ou estão sendo insuficientes (XENOS, 2004).

Os equipamentos, quando iniciam a operação, são submetidos a esforços que provocam sua deterioração. Esse processo, ao longo do tempo, diminui a resistência do equipamento. Quando a resistência cair abaixo dos esforços que a máquina estiver submetida, ocorrerá a falha, conforme demonstrado na Figura 4. Além disso, tanto o Esforço (E) quanto a Resistência (R) são representadas de acordo com suas distribuições estatísticas relacionada com um valor médio. Caso não ocorra sobreposição das distribuições, não corre o risco de haver falhas. Isso ocorre devido a resistência ser sempre maior que o esforço (XENOS,2004).

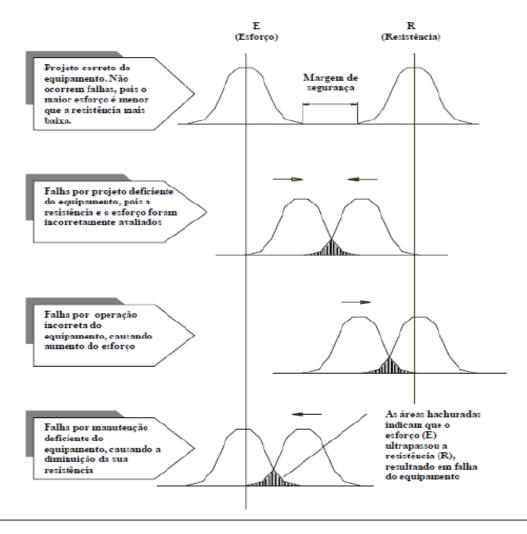


Figura 4: Relação entre o Esforço e a Resistência.

Fonte: Adaptado de Xenos (1998).

2.3.4 Modelos para análise de falhas

Conforme Siqueira (2005), a manutenção pode ser relacionada com a demanda de aplicação de um método correto, segundo o conceito da curva da banheira, que é dividida em três partes do ciclo de vida de um equipamento.

Para Souza (2011), um gráfico usado para a análise de equipamentos juntamente com seu histórico de manutenção, recebe o nome de curva da banheira. Essa caracterização se justifica pelo formato que o gráfico apresenta de acordo com a vida dos equipamentos, mostrando-se presente desde a sua instalação, seguido dos ajustes para que seja utilizado corretamente na empresa. A curva do gráfico apresentado na Figura 5 se encerra com o final da vida útil do equipamento, quando suas falhas voltam a crescer de forma exponencial. Todas as etapas da curva variam com o tempo, sendo abreviadas ou prolongadas conforme o tipo de manutenção, que pode ser corretiva, preventiva ou outros tipos citados anteriormente.

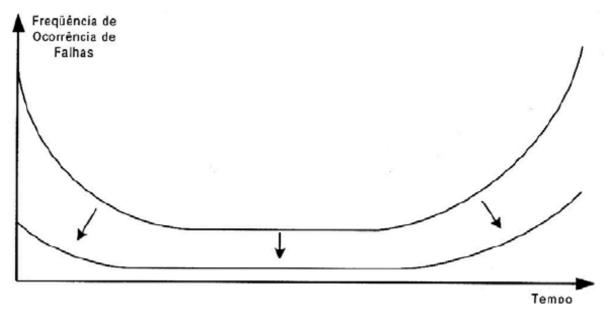


Figura 5: Curva da Banheira. Fonte: Xenos (2004).

De acordo com Souza (2011), a primeira parte da curva diz respeito a etapa de início de funcionamento dos componentes, denominada como "Mortalidade Infantil", sendo classificada como uma altíssima taxa de falhas, mas que conforme o tempo passa, vai apresentando uma diminuição que tende a um valor constante, conforme a Figura 5. Ainda nessa fase, pode-se afirmar que as falhas são relacionadas com o amaciamento, controle de qualidade, materiais que não estão de acordo com as especificações, erros nos processos de fabricação, deficiência nos testes iniciais e outros fatores.

A segunda parte é definida por Souza (2011), como "Período de Taxa de Falhas Constante", onde sua função é linear. Essa fase corresponde a grande parcela do tempo de vida dos componentes do sistema em que ele está em perfeito funcionamento. Essas falhas estão relacionadas a diversos fenômenos naturais, diversos esforços e erros humanos. Durante a fase, é recomendado realizar diversas vistorias como por exemplo, de lubrificação, reaperto de possíveis folgas, vibrações. Assim, recomenda-se utilizar peças com boa qualidade, para diminuir a probabilidade de ocorrência de novos erros.

Finalmente, a terceira parte é classificada como "Período de Falhas Devidas à Deterioração", sendo uma fase seguida das taxas constantes, e como o próprio nome sugere, está ligada aos processos de deterioração. A taxa de falhas sobe rapidamente de forma exponencial, sendo que estão constantemente ligadas ao período de vida útil dos equipamentos e seus desgastes devido à fadiga ou corrosão. É importante também realizar o tratamento das falhas no menor tempo possível, para evitar possíveis prejuízos maiores posteriormente (SOUZA, 2011).

2.3.5 Métodos para análise de falhas

2.3.5.1 Análise dos Modos e Efeitos de Falha - FMEA

O FMEA foi desenvolvido com o intuito de realizar o reconhecimento e a avaliação das potenciais falhas que poderiam ocorrer em um processo. Essa técnica de confiabilidade identifica formas de diminuir a probabilidade de ocorrência dessas falhas, e assim, criando um laudo que permita um melhor resultado do processo (FOGLIATO e RIBEIRO, 2009).

De acordo com Kardec e Nascif (2013), o FMEA é muito importante, principalmente para a identificação de potenciais falhas, e também, dos efeitos que podem ocasionar em processos, equipamentos e sistemas.

Segundo Houland e Rausand *apud* Schneider (2001), os objetivos do método FMEA são os seguintes:

- Definir quais os potenciais de falhas e possíveis efeitos;
- Fazer com que os modos de falhas sejam considerados, sem exceção;
- Estabelecer prioridades em todas as ações corretivas, definindo suas bases;

• Identificar todas as formas para realizar os testes requeridos que certifiquem um projeto.

Para a construção do FMEA é necessário a verificação dos índices de ocorrência, severidade e detecção. Esses índices são mostrados na Tabela 4.

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

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

Fonte:Silveira (2018).

A Figura 6 apresenta um relatório da Análise do Modo e Efeito de Falha Potencial, realizado por uma empresa. Neste formulário, estão contidas diversas informações importantes que permitem identificar, por exemplo, o equipamento e o que o usuário deseja que o sistema realize dentro do padrão de desempenho. Além disso, existem campos que

possibilitam o preenchimento dos efeitos e consequências da falha, bem como a ação corretiva recomendada para cada falha apresentada.

ANÁLISE DE MODO E EF Nº. FEMEA: 122 Área: Resfriamento de Cubas Sistema: Bombeamento		FEITO DE FALHA POTEI Data de Início: 27-08-2012 Revisão: 01 Equipe:	NCIAL Responsável: Preparado por:		Telefone:											
Nome do Componente	Função do componen te	Causa(s) ou modo(s) de falha	Efeito(s) Potencial(is) de Falha(s)	OCORR (tab1) (O)	SEVER (tab2) (S)	DETEC (tab3) (D)	RISCO (NPR) (O)*(S)*(D)	Ação Corretiva Recomendada								
M212 - Motor	Bombear	Estator - Falha de isolamento	Perda de Fluxo	4	3	4	48									
Elétrico	água para a caixa d'água	a caixa	a caixa	a caixa	a caixa	a caixa	a caixa	Estator - Enrolamento danificado	Perda de Fluxo	5	3	8	120	Realizar inspeção mensalmente no estator		
								a caixa d'água								
	central	Estator – Vibração Excessiva	Perda de Fluxo	8	3	8	192	Realizar análise de vibração mensalmente								
		Estator – Rolamento Travado	Perda de Fluxo	8	5	5	200	Realizar inspeção semanal no rolamento								

Figura 6: Relatório FMEA. Fonte:Silveira (2018).

2.3.5.2 FTA- Análise da Árvore de Falhas

De acordo com Sakurada (2001), o FTA consiste em uma dedução formalizada que detecta as possíveis razões de ocorrência de falhas. Estas causas têm relação direta com o anormal comportamento do equipamento, tais como erros humanos.

Esta ferramenta, frequentemente usada em sistemas críticos para segurança e confiabilidade, tem o objetivo de encontrar modos de falhas do evento realizando a análise do sistema em todo o ambiente de operações. O modelo utiliza elementos binários que tem a função de visualizar e determinar as diversas relações entre os vários níveis de hierarquia, a partir da ocorrência de um evento principal (NASA, 2000).

Segundo Helman e Andery (1995), o método FTA possibilita algumas vantagens, por exemplo:

- Detectar aspectos pertinentes de um sistema com base na falha;
- Definir os planos de manutenção de equipamentos que estão centrados em confiabilidade;
- Identificar os modos de falhas do sistema;
- Obter mais compreensão do sistema;
- Análise individual das falhas do sistema.

Na Figura 7, a árvore de falha é aplicada para uma falha em um motor elétrico. O evento, que pode ser uma falha prevista, é denominado evento de topo e está indicada pela seta azul. A partir desse evento, outras falhas são detalhadas até que os eventos básicos indiquem a resolução do diagrama. A cor amarela representa as falhas que compõem o limite de resolução do diagrama.

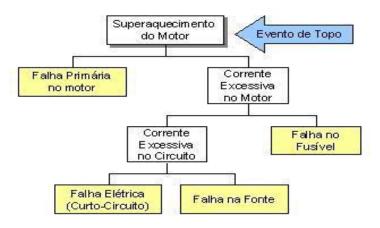


Figura 7: Diagrama de Árvore de Falhas. Fonte: Hayrton (2010).

2.3.5.3 Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito, popularmente conhecido como espinha de peixe, pelo seu formato semelhante ao esqueleto do peixe, é um instrumento que permite apresentar a relação que existe entre o processo (efeito) e os fatores (causas) que podem afetar consideravelmente o resultado considerado (WERKEMA, 1995).

O fluxograma na Figura 8 apresenta os passos para a elaboração do diagrama de causa e efeito.

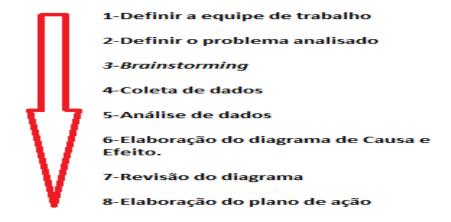


Figura 8: Fluxograma para elaboração do Diagrama de Causa e Efeito. Fonte: Adaptado de Werkema (1995).

A primeira etapa é a formação da equipe de atividades. Os integrantes do estudo devem estar bem atualizados a respeito do processo com uma equipe multidisciplinar. O problema deve ser determinado para que seja objeto de estudo. A equipe realiza o *brainstorming* no intuito de descobrir as causas que afetam o problema. Posteriormente, é realizada a coleta e análise dos dados, para que se possa obter as informações que auxiliam no processo, a função do equipamento e os motivos que causam o problema.

Para a elaboração do diagrama, uma espinha dorsal é desenhada no sentido horizontal. A partir dela, as espinhas menores serão traçadas representando as causas do problema. As causas primárias são as seguintes: métodos, máquinas, matéria-prima, meio ambiente, mão de obra, medidas. Esses fatores representam os motivos que desencadearam o problema a partir de outras causas secundárias e terciárias. As razões mais significativas devem ser descobertas pela equipe de estudo. O esquema está representado na Figura 9.

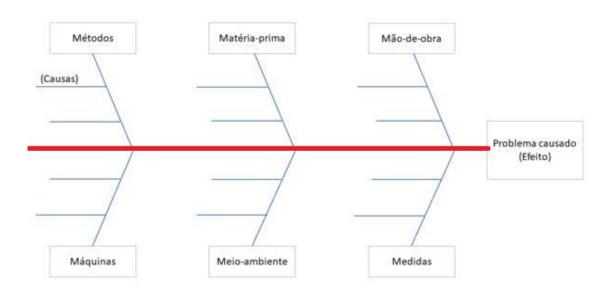


Figura 9: Esquema do Diagrama de Causa e Efeito Fonte: Adaptado de Marshall *et al.* (2006).

2.3.5.4 Método dos Porquês

Finalmente, o método dos porquês procura as causas dos problemas e determina as ações que sejam apropriadas para impedir possíveis reincidências. A análise de falhas que determinam a causa é simples quando comparada a outros processos (KARDEC e NASCIF, 2009).

Segundo Xenos (2004), durante a tomada das ações corretivas, é preciso perguntar "Por quê?" muitas vezes até que as reais causas fundamentais possam ser identificadas. O método é formado por essa maneira de investigar as causas fundamentais sendo que a

ausência desse método acarreta em uma busca superficial, que não permite a identificação das causas fundamentais.

Conforme Pereira (2009), a simplicidade de aplicação é a grande vantagem do método, que permite a identificação das causas fundamentais sem quaisquer processos complexos como estrutura gráfica. A Figura 10 mostra o uso do método para a identificação de uma anomalia.

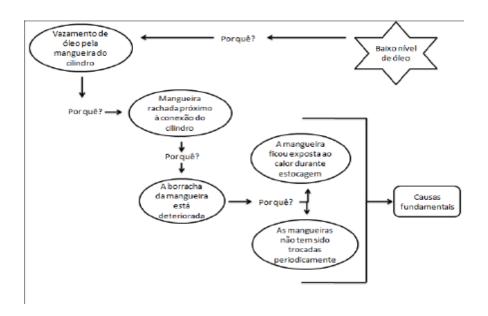


Figura 10: Método dos Porquês. Fonte: Adaptado de Xenos (2004).

2.3.6 Plano de ação e análise de resultados

A implementação das ações do plano deve ser acompanhada de forma periódica e rigorosa. Isto é realizado a partir de várias reuniões que propõem contramedidas para serem implementadas no plano de ações. Caso essas medidas não ocorram, todas as falhas voltarão a ocorrer com o tempo. Durante a estruturação das contramedidas, as melhores propostas juntamente com seus respectivos planos de execução e validade devem ser atingidas e verificadas durante as reuniões (XENOS, 2004).

De acordo com Xenos (2004), as contramedidas estabelecidas também devem considerar a possibilidade de introdução de melhorias e modificações no projeto do equipamento, evitando a reincidência das falhas. Diante disso, é importante avaliar a relação custo/benefício das melhores propostas para evitar investimentos desnecessários.

Uma importante ferramenta na análise de falha que tem o objetivo de formalizar todas as ações que foram obtidas nos métodos anteriores com a elaboração de um plano de ação é a 5W1H que representa as iniciais em inglês, das perguntas (MARSHALL *et al.*, 2006):

- O quê? (What);
- Quem? (Who);
- Quando? (When);
- Onde? (Where);
- Por quê? (Why);
- Como? (How).

A Figura 11, apresenta um modelo do plano de ação elaborado em uma tabela, onde cada coluna está contida a pergunta e as ações necessárias.

PLANO DE AÇÃO						
O QUE	QUEM	QUANDO	ONDE	POR QUE	сомо	
* Relacionar as ações a serem realizadas	* Identificar as pessoas responsáveis pelas ações	* Determinar o prazo para execução da ação	* Identificar onde será realizada a ação	* Justificar a necessidade da ação	* Descrever como será o que será feito para alcançar a ação	

Figura 11: Plano de ação com a ferramenta 5WHY.

Fonte: Adaptado de Marshall et al. (2006).

Com o estudo da análise de falhas realizado, utilizando as técnicas explicadas anteriormente, um plano de ação deve ser elaborado para combater as causas fundamentais que proporcionam as falhas do equipamento. O objetivo é evitar todas as recorrências a partir de uma sequência de ações preventivas (XENOS, 2004).

Segundo Xenos (2004), se o plano de ação conter as causas fundamentais da falha, todas as medidas devem ser padronizadas e adotadas no setor operacional. A adoção de métodos que evitam a ocorrência da causa primária, consiste em realizar uma padronização que tem o objetivo de evitar que a falha ocorra. Para tornar esse processo eficiente, todos os padrões de operação devem ser revisados juntamente com os planos de manutenção, comunicando todas as mudanças para a equipe interna capacitando-a de acordo com os novos padrões.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

Em relação a natureza, a pesquisa pode ser subdividida em qualitativa e quantitativa. Aquela pode ser definida, segundo Lakatos *et al.* (2003), como sendo o tipo de pesquisa que tem o objetivo de compreender os fenômenos envolvidos a partir de um estudo de particularidades e experiências individuais. Por outro lado, a pesquisa quantitativa concentra o estudo em uma coleta de dados numéricos, quantificando o problema e apontando preferências ou comportamentos, por exemplo.

Este trabalho foi desenvolvido com maior prevalência da pesquisa qualitativa, pois a partir de falhas recorrentes em um equipamento, ocorre todo o processo de identificação e tratamento das falhas, por uma série de métodos existentes, que buscam encontrar soluções para o problema a partir de um estudo fundamentado.

Segundo Marconi (2003), os objetivos da Pesquisa Exploratória são a formulação de questões ou de um problema, que tem a finalidade de desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade com o ambiente para uma pesquisa mais concisa e também modificar conceitos. São empregados procedimentos sistemáticos com o objetivo de obter observações empíricas ou para análise de dados. Esse tipo de pesquisa se identifica com o Capítulo 2, pois são empregadas diversas técnicas que descrevem fenômenos e resultam em amostras que possibilitarão encontrar resultados.

Para a realização da pesquisa, foram realizados diversos procedimentos metodológicos que foram classificados a partir dos conceitos de Marconi (2003). A pesquisa bibliográfica, predominante no Capítulo 2, abrange uma série de publicações, livros e pesquisas já realizadas que englobam a Manutenção Centrada no Tratamento de Falhas. A pesquisa documental foi utilizada para coletar diversos dados que estão restritos a documentos, com diversas fontes primárias e secundárias que estão especificadas sobre suas origens. Por fim, o estudo de caso também se enquadra no respectivo trabalho, pois se trata de um tema específico e que obedece a uma rigorosa metodologia, investigando assuntos sobre diversos parâmetros para definir e tratar as recorrentes falhas.

3.2 Materiais e Métodos

A Figura 12 ilustra as etapas dos procedimentos utilizados na pesquisa, de forma generalizada.

1º etapa

- Revisão bibliográfica;
- Descrição dos problemas recorrentes na empresa;

2º etapa

- Análise das informações disponíveis no banco de dados fornecido pela empresa;
- Estratificação das paradas não programadas;
- Análise dos modos e efeitos de falhas;

3º etapa

• Análise dos dados modelados;

4º etapa

• Análise e discussão dos resultados.

Figura 12: Materiais e Métodos. Fonte: Pesquisa direta (2018).

De acordo com a Figura 12, foi realizado todo o estudo a respeito do tema, juntamente com a coleta de dados das falhas recorrentes na empresa. Conforme a sequência do fluxograma, as paradas não programadas foram estratificadas, os dados foram analisados e modelados. Posteriormente, todos os resultados foram discutidos para que pudesse ser elaboradas todas as ações necessárias para minimizar os desvios.

3.3 Variáveis e Indicadores

Para Köche (2009) variáveis podem tratar-se de propriedades, aspectos, características individuais, ou ainda fatores mensuráveis ou potencialmente mensuráveis, que podem ser

diferenciadas em um objeto de estudo através dos diferentes valores que podem assumir, com a finalidade de testar a relação enunciada em uma posição.

Os indicadores podem ser utilizados para controle e melhoria da qualidade dos processos ao longo do tempo. Assim, segundo Tadachi e Flores (1997), as características do produto estão ligadas à qualidade dos mesmos, relacionando os indicadores à demanda de gestão de desempenho. A Tabela 5 apresenta as variáveis e indicadores que foram utilizados.

Tabela 5: Variáveis e Indicadores.

Variáveis	Indicadores
	Círculo Vicioso de Falhas
	Diagrama de Causa e Efeito
Sistema de Tratamento de Falhas	FMEA
	FTA
	Método dos Porquês

Fonte: Pesquisa Direta (2018).

Verifica-se pela Tabela 5 que a variável utilizada foi o Sistema de Tratamento de Falhas, e os indicadores que serão adotados para controlar o processo de identificação e tratamento das falhas como o método dos Porquês, FMEA, dentre outros.

3.4 Instrumentos de Coleta de Dados

A partir do acesso ao banco de dados da empresa, foram utilizadas todas as informações a respeito das causas de falhas, que ocorreram no equipamento em um dado intervalo de tempo. O registro dessas falhas é utilizado para identificar o histórico de cada equipamento, com a finalidade de realizar os reparos necessários e dos métodos utilizados para o tratamento dessas falhas.

Os instrumentos que foram utilizados para a obtenção das informações sobre defeitos nos equipamentos foram a análise visual das planilhas disponibilizadas pela empresa.

3.5 Tabulação dos Dados

Os dados serão inseridos e analisados por meio do *SoftwareMicrosoft Excel*, para a melhor visualização das informações obtidas. Os dados encontrados foram registrados no *software MicrosoftWord*.

3.6 Considerações Finais

Neste capítulo, foi explicado sobre os tipos de pesquisa que foram utilizados para a execução do estudo, assim como as ferramentas de análise e métodos que levaram a concretização dos objetivos. O capítulo seguinte abrange o estudo de caso, no qual todos os conteúdos apresentados nas Referências Bibliográficas são utilizados para a aplicação prática e obtenção dos resultados.

4 RESULTADOS

4.1 Características da Empresa Estudada

A mineração envolve um grande processo envolvendo atividades e processos com o objetivo de extrair diferentes substâncias minerais a partir de massas minerais ou depósitos. Na sociedade moderna, os minérios tornaram-se indispensáveis, uma vez que todos os recursos humanos nos mais diferentes setores de fabricação necessitam de recursos provenientes da extração mineral.

A vida moderna necessita diretamente de recursos minerais para seu desenvolvimento. O minério de ferro, por exemplo, existente em grandes quantidades no Brasil, é a principal matéria prima do aço, sendo encontrado em automóveis, eletrodomésticos, na estrutura de casas, hospitais, estradas, ferramentas, viadutos, e outras infinidades de aplicações.

Existem diferentes formas de executar o processo de extração mineral, sendo algumas ocorridas de forma manual, e outras envolvendo trabalhos mais pesados que exigem equipamentos que suportam altas cargas de trabalho. As operações se iniciam com o planejamento das minas para averiguar a existência dos recursos. Após a localização encontrada, o material extraído é transportado da jazida por meio de operações de lavra até os pontos de descarga para que possa ser corretamente tratado em operações de beneficiamento de minérios.

Com o detalhamento do processo, pode-se compreender a função desempenhada por cada equipamento presente nas minas. Inicialmente, ocorre o desmonte do solo, realizado pelas perfuradoras ou perfuratrizes responsáveis pela perfuração da rocha. Posteriormente, as escavadeiras e tratores podem realizar o desmonte diretamente, ou realizam a detonação prévia para permitir maior celeridade e extração. A Figura 13 ilustra o processo de desmonte em rocha.



Figura 13: Desmonte de rocha. Fonte: Rossi (2011).

As escavadeiras e pás carregadeiras são responsáveis por extrair o material do ponto de carga e assim realizar o carregamento dos caminhões. As escavadeiras são colocadas na frente de lavra de material estéril, em razão de sua maior capacidade de suportar cargas, e as pás carregadeiras na frente de lavra de minério. A Figura 14 ilustra os equipamentos descritos anteriormente.



Figura 14: Equipamentos de carga. Fonte: Liebherr (2019).

Continuando o processo de extração mineral, os caminhões fora-de-estrada são os equipamentos encarregados de realizar o transporte do material entre os pontos de carga e descarga da mina. Os minérios podem ser levados para o beneficiamento e melhoramento, quando a medida se tornar necessária, ou diretamente até o mineroduto onde será levado para a distribuição. A Figura 15 ilustra o equipamento desempenhando sua função de transporte.



Figura 15: Caminhão fora-de-estrada.

Fonte: Pesa Cat (2019).

O processo tem continuidade com o beneficiamento do minério, onde as partículas são reduzidas por meio de britadores, tornando o transporte no interior da mina mais viável. Em seguida, as correias transportadoras realizam a locomoção do minério para a usina, onde o material é dividido por granulometrias e tratado na planta para que possa ser levado ao porto e distribuído para os clientes. A Figura 16 apresenta um panorama geral das etapas de produção.

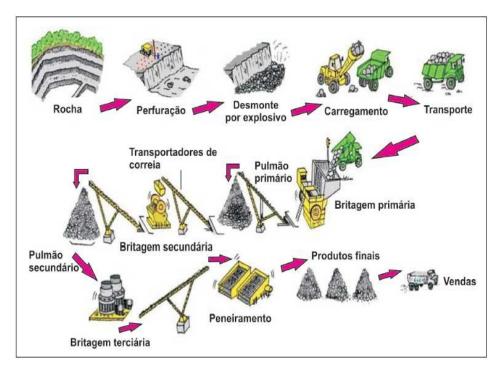


Figura 16: Ciclo de Mineração. Fonte: Iramina *et al.* (2009).

Uma vez que todos os equipamentos trabalham de forma conjunta, é importante que todos estejam aptos a desempenhar sua respectiva função sem apresentar falhas, para que as etapas conseguintes não sejam prejudicadas, pois paradas não programadas na extração de minérios resultam em altas perdas financeiras para a empresa.

Nesse sentido, o setor de manutenção deve garantir a confiabilidade de todos os equipamentos envolvidos no ciclo de mineração, a partir de inspeções programadas e planos de manutenção criteriosos.

A Gerência de Manutenção de Equipamentos da Mina tem a função de realizar essas inspeções e realizar a troca de peças e componentes de toda a frota de equipamentos móveis. Para a gerência destes equipamentos móveis, são divididos grupos com diferentes competências, como mostra o organograma da Tabela 6, que separa as máquinas de acordo com a função desempenhada.

Tabela 6: Organograma de Gerência de Manutenção.

Equipamentos de Carga e desmonte	Equipamentos de Transporte
Supervisor PCM	Supervisor PCM (Transporte e motoniveladoras)
Supervisor Manutenção Corretiva e preventiva (Trator, escavadeira e retroescavadeira)	Supervisor Manutenção preventiva (Caminhão de grande porte)
Supervisor Manutenção mecânica corretiva (Escavadeira)	Supervisor Análise e inspeção detectiva
Supervisor Manutenção elétrica corretiva e preventiva (Escavadeira e Pá mecânica)	Supervisor Manutenção mecânica preventiva (Caminhão pequeno porte e motoniveladora)
Supervisor Manutenção mecânica corretiva (Trator, perfuratriz e retroescavadeira)	Supervisor Manutenção mecânica preventiva (Caminhão de grande porte)
Supervisor de Lubrificação	Supervisor Manutenção mecânica corretiva (Caminhão pequeno porte e motoniveladora)
Supervisor Manutenção mecânica corretiva e preventiva (Pás carregadeiras)	Supervisor Manutenção mecânica corretiva (Borracharia, Caminhão de grande porte)
Supervisor Utilidades (Ferramentaria e reforma)	Supervisor Manutenção corretiva e preventiva (Caminhão pequeno porte e motoniveladora)

Fonte: Pesquisa Direta (2019).

O PCM ou Planejamento e Controle de Manutenção é a equipe encarregada de realizar as inspeções programadas, realizar a troca dos componentes defeituosos, criando planos de revisões e aprimorando ordens de serviço nos setores. Ela garante que todos os equipamentos

estarão aptos às suas funções sem prejudicar o processo produtivo da empresa. De acordo com as ordens de serviço, existem equipes de manutenção responsáveis por realizar as manutenções corretivas e preventivas requeridas. Além disso, ocorre o tratamento das falhas para se evitar futuros riscos repetitivos e melhorar a produtividade do equipamento.

O organograma, Tabela 6, também menciona as equipes responsáveis pela lubrificação dos equipamentos, que apesar da simplicidade do processo, causam grandes prejuízos quando executado incorretamente. Existem também equipes responsáveis pela troca de pneus das frotas e outras que são encarregadas de disponibilizar todo o ferramental usado na manutenção das máquinas em manutenção.

A inspeção detectiva é realizada por um conjunto de engenheiros, técnicos e inspetores que atuam de forma conjunta, atendendo toda a frota de equipamentos. A hierarquia dos funcionários é representada pelo organograma da Figura 17.

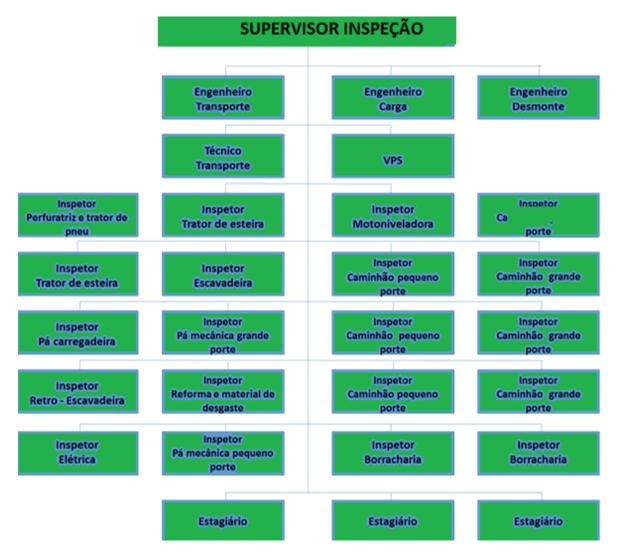


Figura 17: Organograma Inspeção Detectiva. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

No topo do organograma apresentado, os engenheiros são encarregados de analisar as falhas e acompanhar as paradas de manutenção, avaliar os inspetores e desenvolver métodos para diminuir a frequência de paradas não programadas. Além disso, os engenheiros também devem analisar os perfis de perdas e aplicar os conhecimentos de PDCA e 6-sigma. Finalmente, o foco da empresa está na redução de custos operacionais e bom atendimento para com as demandas dos clientes.

Seguindo a hierarquia funcional apresentada, os técnicos realizam o suporte administrativo e técnico dos engenheiros, garantindo a segurança das operações e a confiabilidade das máquinas a partir de inspeções periódicas que seguem o planejamento padrão. Os técnicos também solicitam compra de itens quando necessário, e solicitam correções com a abertura de ordens de manutenção.

Assim, a confiabilidade da frota de perfuratrizes foi feita por métodos de inspeção detectiva, envolvendo ainda manutenção corretiva, preventiva e planejamento e controle da manutenção.

4.2 Descrição do Equipamento

A perfuratriz realiza diferentes funções nos processos de mineração. Sua função compreende a coleta de amostras geológicas, determinação das amostras físicas e químicas do solo, identificação dos minerais e escavação. A abertura dos furos ocorre com uma distribuição geométrica determinada e posteriormente, são inseridos explosivos que auxiliam no processo de lavra da rocha.

No processo de mineração, as rochas são perfuradas pelo método de perfuração mecânica que podem ser divididas em perfuratrizes percussivas, rotativas e percussivo-rotativas.

As perfuratrizes percussivas realizam o trabalho manual de perfuração das rochas, sendo que seu acionamento é realizado por ar comprimido, embora existem outras que são acionadas a diesel ou gasolina, quando executadas em trabalhos mais leves. Embora ocorra a percussão, um giro da broca é produzido pela perfuratriz após cada golpe. Além disso, a cada intervalo entre duas percussões sequenciais, ocorre uma rotação de pequeno arco no círculo. A Figura 18 ilustra a perfuratriz percussiva.



Figura 18: Modelo de perfuratriz percussiva. Fonte: Matoski (2009).

Os componentes essenciais para o funcionamento da perfuratriz percussiva estão elencados na Figura 19, permitindo a maior compreensão dos três sistemas de percussão existentes.

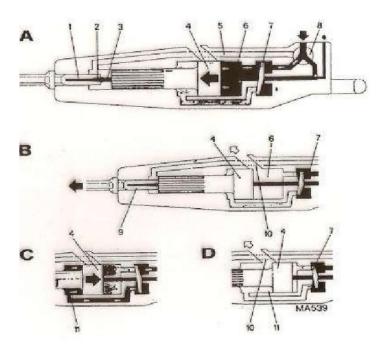


Figura 19: Componentes da perfuratriz. Fonte: (Meira, 2012).

- 1- Furo de Limpeza
- 2- Tubo para limpeza: água ou ar
- 3- Tubo para limpeza com ar

- 4- Pistão
- 5- Canal de ar para limpeza extra
- 6- Câmara do cilindro, traseira
- 7- Válvula oscilante
- 8- Válvula de controle
- 9- Punho de broca
- 10- Exaustão
- 11- Câmara do cilindro frontal dianteiro

A perfuratriz percussiva possui os seguintes sistemas:

-Sistema de percussão: Um pistão se movimenta dentro de um cilindro que é acionado pela impulsão provocada pela entrada de ar comprimido e as válvulas do sistema controlam a entrada e a saída.

-Sistema de rotação: Ocorre a rotação de um pequeno arco de círculo quando o pescoço do pistão golpeia o punho da broca. Quando o fluxo de ar comprimido entra na câmara, a cabeça do pistão é impulsionada e ocorre um giro do sistema pela broca.

-Sistema de limpeza: O avanço da perfuração causa uma série de resíduos que precisam ser removidos. O ar ou água de limpeza percorre a perfuratriz por um tubo interior que remove os rejeitos entre o furo e a broca.

A perfuração por rotação é realizada por um corpo cortante que gira realizando uma pressão constante na extremidade da haste. Um conjunto motor engrenagem se locomove para baixo ou para cima da coluna de perfuração, aplicando uma pressão necessária na broca de perfuração para que os dentes do bit vençam a resistência a compressão da rocha.

Os componentes das perfuratrizes percussivo-rotativos estão ilustrados na Figura 20.

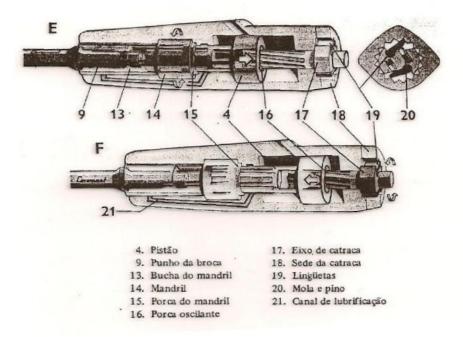


Figura 20: Partes de uma perfuratriz rotativa. Fonte: Matoski (2009).

As perfuratrizes rotativas são compostas por um chassi, gerador, compressor, motor hidráulico, motor principal, motor da cabeça rotativa, motor de propulsão, "patolas" niveladores e equipamentos de pressão e elevação. A plataforma dos equipamentos rotativos possui um mastro telescópico, podendo ser instalado em uma carreta que facilite seu transporte. A Figura 21 ilustra os componentes da perfuratriz rotativa.

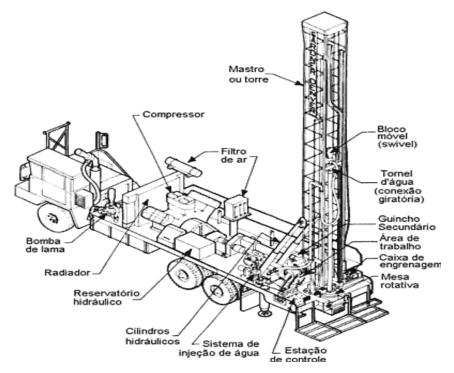


Figura 21: Componentes de uma perfuratriz rotativa. Fonte: Silva (2015).

As perfuratrizes rotativo-percussivas funcionam de forma bem similar com as perfuratrizes rotativas. Elas apresentam rotação contínua além das percussões sobre a broca, sendo utilizadas para diâmetros maiores que a percussiva (38 a 125mm). Os acionamentos da rotação e da percussão estão localizados fora do furo, e o sistema de rotação reversível pode girar as hastes em qualquer dos sentidos.

A análise de confiabilidade foi realizada com a frota de perfuratrizes dos modelos Ingersol DM45E, Bucyrus SKF-X e Atlas Copco F9-11. As máquinas possuem acionamento hidráulico sendo funcionadas a diesel em aplicações de superfície. Os componentes presentes estão descritos na Figura 22.

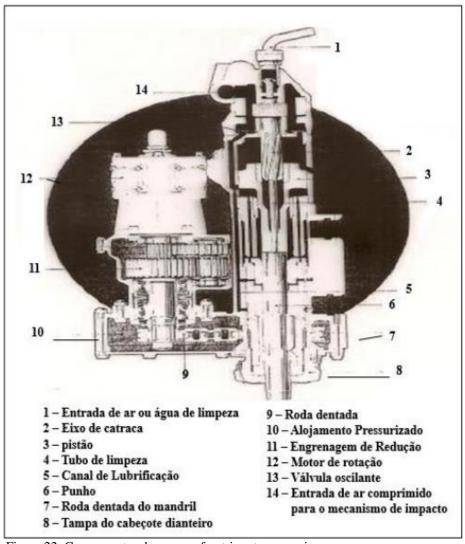


Figura 22: Componentes de uma perfuratriz rotopercussiva.

Fonte: Matoski (2009).

A Figura 23 mostra a perfuratriz rotopercussiva com uma lança reforçada de alta produtividade e fácil manutenção produzida pela Caterpillar. O motor diesel conta com um

sistema de monitoramento com desligamento automático e motores elétricos que oferecem a opção de troca de marcha.



Figura 23: Perfuratriz percussivo-rotativa. Fonte: Caterpillar (2012).

As características dessa perfuratriz são:

Faixa de Diâmetro do Orifício: 76,2 mm – 127 mm;

Profundidade Máxima do Orifício: 31 m;

Motor C9 Tier 3 224 kW (300 HP) a 1.800 rpm

Compressor: 9,9 m³/min;

Perfuratriz para Rochas: HPR4519 19 kW.

4.3 Análise do Sistema de Tratamento de Falhas

A análise do sistema de tratamento de falhas de 3 diferentes perfuratrizes e o estudo da análise de modos de falhas e efeitos (FMEA) desses equipamentos foi realizado a partir dos dados de paradas e manutenção não programadas cedidos por uma empresa do setor de mineração de grande porte.

Os dados analisados estão no intervalo compreendido entre julho de 2011 a julho de 2015 e contém informações importantes sobre as paradas não programadas dos ativos. Um exemplo da planilha disponibilizada pela empresa mineradora pode ser observado nas Tabelas 7 e 8. No modelo adotado pela planilha é possível encontrar nos registros as descrições sobre as datas de início e fim da parada não programada, o tempo de duração em horas, um breve comentário sobre o ocorrido, bem como a identificação dos sistemas, conjuntos e itens de cada equipamento ou sistema que falhou. Também é possível identificar a frota, o modelo, o fabricante, a causa da falha e o efeito (ação corretiva).

Tabela 7: Trecho da Planilha Excel disponibilizada pela empresa (parte 1).

Datalni T	DataFim ▼	Duração 🔻	Descrição	Comentário
14/10/2014 22:33	16/10/2014 19:45	45,1199989	MANUTENCAO NAO PROGRAMADA	"FAROL INFERIOR TRASEIRO ABAIXO DA MESA DE PERFURAÇÃO QUEIMADO / TEMPERATURA DE AR DO COMPRESSOR A 200°C / INJEÇÃO DE AGUA NÃO FUNCIONA/ FIXAR AFETERCULER
13/10/2014 14:49	13/10/2014 15:22	0,47999999	MANUTENCAO NAO PROGRAMADA	SOLENOIDE BOMBA DAGUA TRAVADA, BOMBA DÁGUA NÃO FUNCIONA
22/09/2014 10:32	22/09/2014 11:25	0,95999998	MANUTENCAO NAO PROGRAMADA	INJEÇÃO DE AGUA NÃO FECHA AGUA DIREITO- APAGOU MOTOR
27/11/2014 02:20	28/11/2014 11:30	33,1199989	MANUTENCAO NAO PROGRAMADA	ALARMOU ECM DO MOTOR (CODIGO: 61) E APAGOU MOTOR
22/09/2014 17:59	23/09/2014 04:02	10,0799999	MANUTENCAO NAO PROGRAMADA	APAGOU MOTOR. COMPLETOU 60 LTS DE ÓLEO MOTOR, 22 LTS DE HIDRÁULICO, 31 LRTS DE OLEO MARTELO, 26 LTS DE OLEO COMPRESSOR

Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Tabela 8: Trecho da Planilha Excel disponibilizada pela empresa (parte 2).

Eqpto 🔽	Grupo 💌	Modelo ▼	Fabricante 💌	LocComponente 🔽 Componente	▼ Falha ▼	Causa 🔽
PF1121	Perfuratriz	Atlas COPCC F9-11	Atlas COPCO	Motor de combustão Arrefeciment	Radiador	Sujeira
PF1121	Perfuratriz	Atlas COPCC F9-11	Atlas COPCO	Motor de combustão Arrefeciment	Bomba d'água principal	Travamento
PF1121	Perfuratriz	Atlas COPCO F9-11	Atlas COPCO	Motor de combustão Arrefeciment	vedação	Fixação
PF1121	Perfuratriz	Bucyrus SKF-X	Bucyrus	Motor de combustão Arrefeciment	o Mangueira	Vazamento
PF1121	Perfuratriz	Atlas COPCO F9-11	Atlas COPCO	Motor de combustão Combustível	Filtro	Fixação

Fonte: Pesquisa Direta (2019).

De acordo com as Tabelas 7 e 8, é possível notar que a empresa não utiliza planilhas no padrão FMEA para o registro dos dados. Os valores de ocorrência, severidade, detecção e do número de prioridade de risco (RPN) foi elaborado a partir da análise da tabela, bem como os estudos bibliográficos prévios sobre perfuratrizes no setor de mineração.

O estudo se iniciou com o agrupamento dos registros dos três modelos de perfuratrizes que sofreram falhas. O intuito dessa ação foi contabilizar o número de ocorrências de falhas do conjunto de perfuratrizes e as datas e horário do primeiro e último registro de cada uma delas, resultando na Tabela 9.

Tabela 9: Número de ocorrências e tempo de operação de cada frota das perfuratrizes.

Frotas	Número de Ocorrências de falhas	Data do primeiro dado	Data do último dado	Tempo de operação
Ingersol DM45E	2771	21/07/2011 04:18h	22/11/2014 15:30h	40 meses
Bucyrus SKF-X	353	08/11/2014 18:23h	08/07/2015 23:30h	8 meses
Atlas COPCO F9-11	53	20/09/2014 22:17h	23/11/2014 03:18h	2 meses
Total	3177			

Fonte: Pesquisa Direta (2019).

De acordo com a Tabela 9, a frota Ingersol DM45E é a que apresenta maior número de ocorrências e também o maior tempo de operação, seguida pelas frotas Bucyrus SKF-X e Atlas COPCO F9-11, respectivamente. O gráfico da Figura 24 foi construído para identificar a porcentagem de ocorrência de falhas em função das três frotas estudadas.



Figura 24: Porcentagem de ocorrência de falhas em função das frotas das perfuratrizes. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Com o intuito de facilitar a análise do estudo foi construído um Diagrama de Pareto para o número de ocorrências de falhas e paradas não programadas em função das frotas, como mostrado na Figura 25.

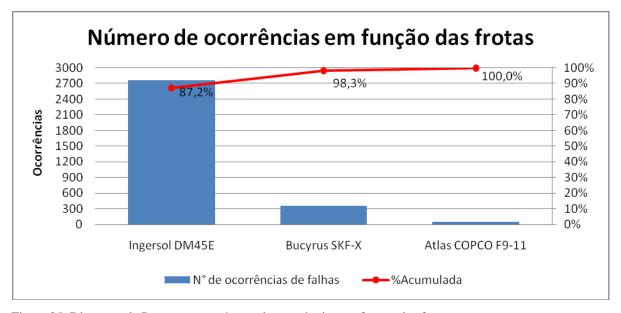


Figura 25: Diagrama de Pareto para o número de ocorrências em função das frotas. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Nota-se por meio da Figura 25, que a frota Ingersol DM45E apresenta maior porcentagem de ocorrência de falhas das perfuratrizes utilizadas na mina. Este fato se deve ao maior tempo de operação dessa frota de perfuratriz.

Devido a discrepância de tempo de operação entre as frotas de perfuratrizes não foi possível identificar qual o melhor modelo para a utilização na mineração. O estudo em questão identificou apenas os tipos de falhas ocorridas nas 3 diferentes frotas, bem como as ações corretivas que devem ser feitas para corrigir os problemas apresentados no melhor tempo hábil possível.

A partir da análise dos dados de manutenção não programada fornecidos pela empresa, foram construídos os Diagramas de Pareto representando os perfis de ocorrências dos sistemas mecânicos de cada perfuratriz a fim de que houvesse a identificação dos sistemas mais críticos, como mostrado nas Figuras 26, 27 e 28.Os diagramas têm como finalidade mostrar as contribuições relativas das falhas que produzem os problemas, identificando onde os esforços de ações corretivas devem ser priorizados (WERKEMA, 1995).

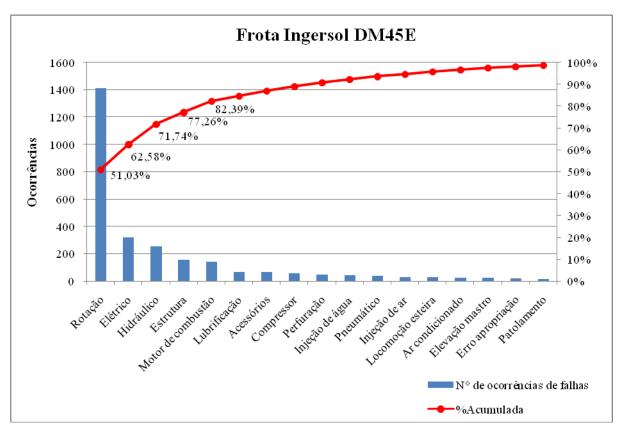


Figura 26: Número de ocorrências em função dos sistemas para a frota Ingersol DM45E. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A partir da Figura 26, é possível observar que a Frota Ingersol DM45E apresentou mais da metade do número total de ocorrências no Sistema Rotação (51,03%). Nota-se também que os sistemas Elétrico, Hidráulico, Estrutura e Motor de combustão apresentaram juntos 31,36% das falhas apresentadas pela frota. Dessa forma, os cinco sistemas que mais apresentaram falhas correspondem a 82,39% do total de ocorrências relatadas.

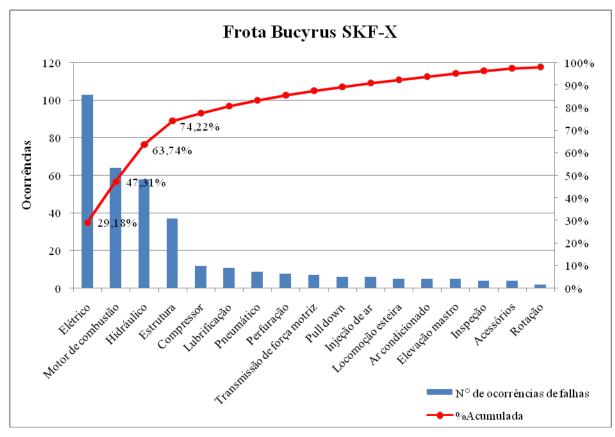


Figura 27: Número de ocorrências em função dos sistemas para a frota Bucyrus SKF-X. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A partir da Figura 27, é possível observar que o Sistema Elétrico foi o principal responsável pelas falhas na Frota Bucyrus SKF-X. Os sistemas Motor de Combustão, Hidráulico e Estrutura relataram juntos quase metade do total de ocorrências (45,04%). Levando em consideração os quatro principais sistemas responsáveis pelas falhas da frota analisada, acumula-se o total de 74,22% de ocorrências.

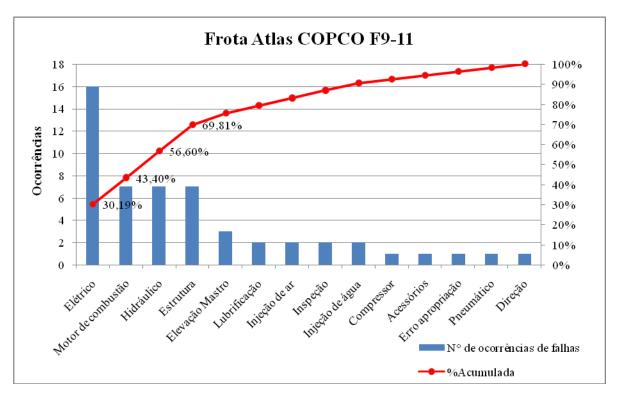


Figura 28: Número de ocorrências em função dos sistemas para a frota Atlas COPCO F9-11. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A partir do gráfico da Figura 28, observa-se que o principal causador das ocorrências de falhas na Frota Atlas COPCO F9-F11 foi o Sistema Elétrico (30,19%). Os sistemas Motor de combustão, Hidráulico e Estrutura totalizando juntos 39,62% das falhas acumuladas.

É possível observar pelas Figuras 26, 27 e 28 que as três frotas possuem uma tendência comum de falhas, sendo que os maiores números de ocorrências estão para os sistemas: Elétrico, Motor de Combustão, Hidráulico e Estrutura. Tendo destaque o sistema de Rotação da frota Ingersol DM45E, na Figura 26, na qual apresentou o maior número de ocorrência de falha, porém para as outras frotas o sistema de rotação quase não apresentou problemas, o que é um indício desse sistema começar a falhar apenas em perfuratrizes que possuem maior tempo de operação. A Tabela 10 mostra o número de ocorrências de falhas da frota Ingersol DM45E de acordo com o tempo de operação. Nota-se que após 18 meses de operação é o tempo crucial para o maior índice de ocorrências de falhas desta frota.

Tabela 10: Número de ocorrências em função do tempo de operação da frota Ingersol DM45E.

Tempo total de operação	Número de ocorrências de falhas
6 meses	3
18 meses	3
30 meses	1400
40 meses	8

Em perfuratrizes que possuem menor tempo de operação, como é o caso das frotas Atlas COPCO F9-11 e Bucyrus SKF-X, apresentado nas Figuras 27 e 28, percebe-se que os sistemas que mais falharam foram o sistema elétrico, motor de combustão, hidráulico e estrutura, chegando a totalizar entre 69,81% e 74,22% das ocorrências das falhas.Há uma grande incidência de falhas causadas por deficiências de projeto ou componentes defeituosos em equipamentos que possuem pouco tempo de operação, assim como falhas provenientes de problemas de instalação, de modo que a ocorrência de falhas pode ser reduzida pela substituição de suas peças ou sistemas por outros mais confiáveis (FOGLIATTO & RIBEIRO, 2009; KARDEC & NASCIF, 2009).

Para dar continuidade aos estudos e propor meios de identificar a real falha das perfuratrizes, os cinco sistemas mais críticos, identificados nas Figuras 26 a 28, sendo eles o Elétrico, Motor de Combustão, Hidráulico, Estrutura e Rotação tiveram suas falhas investigadas com o intuito de encontrar as causas fundamentais das mesmas e combater o possível ciclo vicioso de falhas existente. As causas fundamentais das falhas são agrupamentos de várias outras causas menores (XENOS, 2004). A metodologia adotada no estudo é sintetizada na Figura 29.

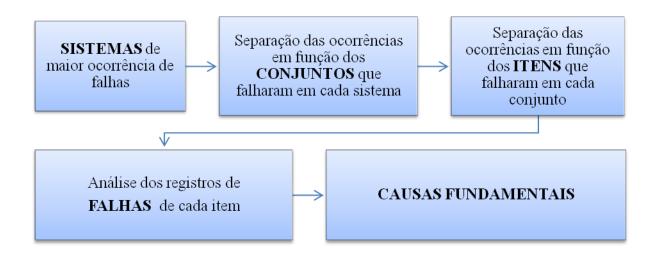


Figura 29: Metodologia adotada na investigação das falhas nos sistemas. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Como mostrado na metodologia, fez-se a separação dos cinco sistemas de maiores ocorrências de falhas nas frotas. As causas fundamentais das falhas são agrupamentos de várias outras causas menores (XENOS, 2004). Diante disso foi adotada tal metodologia para dar continuidade com a investigação para os sistemas Elétrico, Motor de Combustão, Hidráulico, Estrutura e Rotação. A Tabela 11 mostra o número de ocorrências de falhas dos conjuntos do Sistema Elétrico. O conjunto Alternador do Sistema Elétrico possui mais de

15% de ocorrências relacionada, sendo necessário hierarquizá-lo no estudo das causas das falhas.

Tabela 11: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Sistema Elétrico.

Sistema Elétrico				
Conjuntos	N° de ocorrências de falhas	%		
Alternador	80	18,22%		
Bateria	54	12,30%		
Painel	43	9,79%		
Compressor	40	9,11%		
Iluminação	29	6,61%		
Locomoção remota	26	5,92%		
Motor de combustão	24	5,47%		
Perfuração	24	5,47%		
Cabine	23	5,24%		
Lubrificação	18	4,10%		
Pneumático	9	2,05%		
Hidráulico	8	1,82%		
Posicionador	8	1,82%		
Mastro	7	1,59%		
Elevação	6	1,37%		
Motor de partida	6	1,37%		
Rotação	6	1,37%		
Chave de desacoplar	4	0,91%		
Módulo informações vitais	4	0,91%		
Transmissão de força	4	0,91%		
Patolamento	3	0,68%		
Controlador eletrônico	2	0,46%		
Injeção de água	2	0,46%		
Pull down	2	0,46%		
Sinalização	2	0,46%		
Arrefecimento	1	0,23%		
Chave de grifo	1	0,23%		
Frenagem	1	0,23%		
Guincho	1	0,23%		
Injeção de ar	1	0,23%		
Total	439	100%		

O gráfico apresentado na Figura 30 foi construído com a finalidade de analisar os impactos das falhas dos itens do Alternador no funcionamento do Sistema Elétrico.

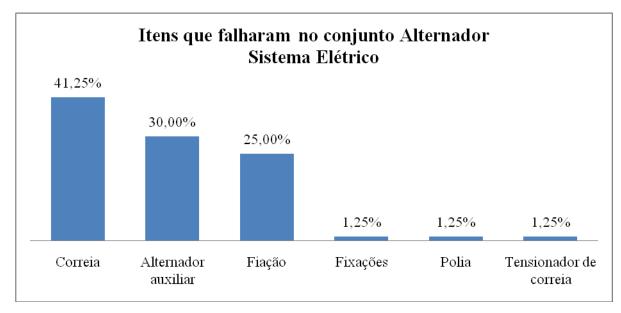


Figura 30: Porcentagem de falhas em função do conjunto Alternador – Sistema Elétrico. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A partir da análise da Tabela 11 e do gráfico apresentado na Figura 30, sobre os itens que falharam no Sistema Elétrico, é possível destacar que o conjunto Alternador é o que apresenta maior número de ocorrências no Sistema Elétrico (18,22%) e apresenta maior número de ocorrências nos itens:correia (41,25%), seguido por alternador auxiliar (30,00%), fiação (25,00%), fixações (1,25%), polia (1,25%) e tensionador de correia (1,25%).

A Tabela 12 mostra o número de ocorrências de falhas dos conjuntos do Sistema Rotação. O conjunto Comando do Sistema Rotação possui quase a totalidade do número de ocorrências de falhas, chegando a 98,94%.

Tabela 12: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Sistema Rotação.

Sistema Rotação				
Conjuntos	N° de ocorrências de falhas	%		
Comando	1401	98,94%		
Motor de rotação	12	0,85%		
Amortecedor de choque	1	0,07%		
Redutor de rotação	1	0,07%		
Suporte mangueiras	1	0,07%		
Total	1416	100%		

O gráfico apresentado na Figura 31 foi construído com a finalidade de analisar os impactos das falhas dos itens do Comando no funcionamento do Sistema Rotação.

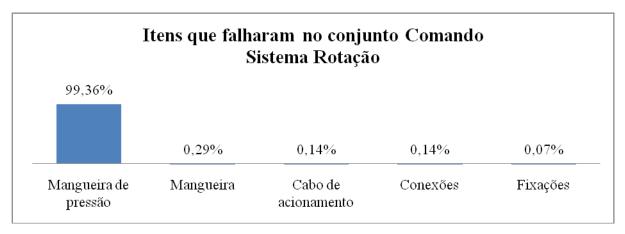


Figura 31: Porcentagem de falhas em função do conjunto Comando – Sistema Rotação. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A partir da análise da Tabela 12 e do gráfico apresentado na Figura 31, sobre os itens que falharam no Sistema Rotação, é possível destacar que o conjunto Comando é o que apresenta maior número de ocorrências no Sistema Rotação e apresentando quase sua totalidade de ocorrências de falhas no item mangueira de pressão (99,36%).

A Tabela 13 mostra o número de ocorrências dos conjuntos do Sistema Estrutura.

Tabela 13: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Sistema Estrutura.

Sistema Estrutura				
Conjuntos	N° de ocorrências de falhas	%		
Estrutura	109	55,33%		
Mastro	26	13,20%		
Cabine	25	12,69%		
Tanque de combustível	9	4,57%		
Enrolador de cabo	5	2,54%		
Chassis	3	1,52%		
Pivotamento	3	1,52%		
Barra estabilzadora	2	1,02%		
Caixa d'água	2	1,02%		
Cavalete de apoio mastro	2	1,02%		
Guincho auxiliar	2	1,02%		
Lança	2	1,02%		
Suporte da haste	2	1,02%		
Báscula	1	0,51%		
Carro inferior	1	0,51%		
Mesa do gira círculo	1	0,51%		
Roops	1	0,51%		
Suporte de cilíndro	1	0,51%		
Total	197	100%		

O gráfico apresentado na Figura 32 foi construído com o intuito de analisar os impactos das falhas dos itens da Estrutura no funcionamento do Sistema Estrutura.

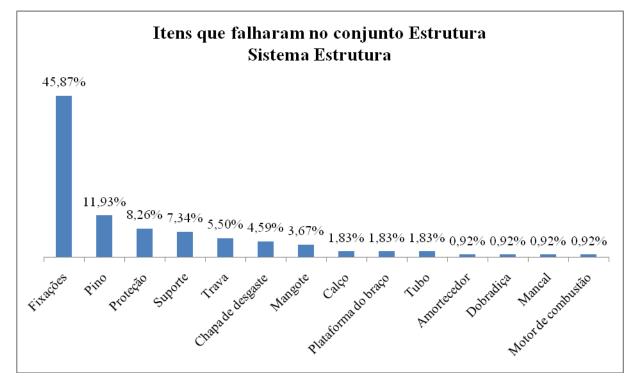


Figura 32: Porcentagem de falhas em função do conjunto Estrutura – Sistema Estrutura. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A partir da análise dos dados da Tabela 13 e da Figura 32 sobre os itens que falharam no Sistema Estrutura, é possível destacar que o conjunto Estrutura é o que apresenta maior número de ocorrências no Sistema Estrutura (55,33%) e os itens que apresentaram maiores ocorrências de falhas foram: fixações (45,87%), seguido por pino (11,93%), proteção (8,26%), suporte (7,34%), trava (5,50%), chapa de desgaste (4,59%),mangote (3,67%), plataforma do braço (1,83%), tubo (1,83%) e outros demais itens com menos de 1,00% cada.

A Tabela 14 mostra o número de ocorrências dos conjuntos do Sistema Hidráulico. O conjunto Tanque de óleo possui o maior do número de ocorrências de falhas.

Tabela 14: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Sistema Hidráulico.

Sistema Hidráulico		
Conjuntos	N° de ocorrências de falhas	%
Tanque de óleo	131	41,07%
Bomba hidráulica	42	13,17%
Bloco de distribuição	26	8,15%
Grupo de válvula	24	7,52%
Cilindro de elevação	16	5,02%
Filtro	13	4,08%
Cilindro inclinação central	12	3,76%
Arrefecimento	10	3,13%
PTO	7	2,19%
Radiador de óleo	4	1,25%
Bloco rotativo	3	0,94%
Bomba central	3	0,94%
Bomba de comando	3	0,94%
Comando	3	0,94%
Piloto	3	0,94%
Bomba de direção	2	0,63%
Bomba de rotação	2	0,63%
Motor hidráulico traseiro	2	0,63%
Cilindro de deslocamento lateral	2	0,63%
Cilindro remoção haste do escarificador	2	0,63%
Unidade hidráulica	1	0,31%
Bloco de comando central	1	0,31%
Bomba acessórios	1	0,31%
Bomba de giro	1	0,31%
Bomba do pull down	1	0,31%
Bomba locomoção remota	1	0,31%
Bomba principal	1	0,31%
Válvula de flutuação	1	0,31%
Motor da hélice	1	0,31%
Total	319	100%

Fonte: Pesquisa Direta (2019).

O gráfico apresentado na Figura 33 foi construído com o intuito de analisar os impactos das falhas dos itens do Tanque de óleo no funcionamento do Sistema Hidráulico.

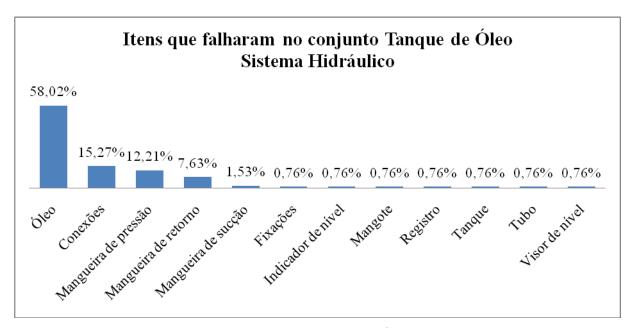


Figura 33: Porcentagem de falhas em função do conjunto Tanque de Óleo – Sistema Hidráulico. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A partir da análise da Tabela 14 e do gráfico apresentado na Figura 33 é possível destacar que o conjunto tanque de óleo é o que apresenta maior número de ocorrências no Sistema Hidráulico (41,07%) e apresenta maior número de ocorrências nos itens: óleo (58,02%), seguido por conexões (15,27%), mangueira de pressão (12,21%), mangueira de retorno (7,63%), mangueira de sucção (1,53 %), fixações (0,76%),indicador de nível (0,76%), mangote (0,76%), registro (0,76%), tanque (0,76%), tubo (0,76%) e visor de nível (0,76%).

A Tabela 15 mostra o resultado do número de ocorrências dos conjuntos do Sistema Motor de Combustão. Os conjuntos Combustível, Motor de Combustão e Arrefecimento possuem os maiores números de ocorrências de falhas no Sistema Motor de Combustão, chegando a totalizar 93,90%.

Tabela 15: Número de ocorrências e porcentagem dos conjuntos do Motor de Combustão.

Sistema Motor de Combustão		
Conjuntos	N° de ocorrências de falhas	%
Combustível	86	40,38%
Motor de Combustão	62	29,11%
Arrefecimento	52	24,41%
Admissão	7	3,29%
Turbocompressor	3	1,41%
Pneumático	2	0,94%
Estrutura	1	0,47%
Total	213	100%

Os gráficos apresentados nas Figuras 34 a 36 (Sistema Motor de Combustão) foram construídos com a finalidade de analisar os impactos das falhas de cada item no funcionamento dos conjuntos de maiores ocorrências. O conjunto Combustível no Sistema Motor de Combustão foi o conjunto com maior porcentagem de ocorrências de falha nesse sistema, como mostrado na Tabela 15.

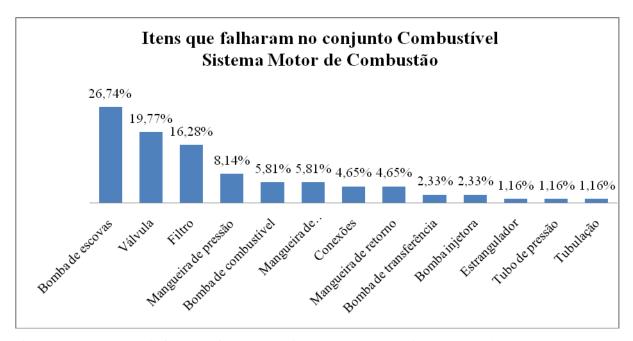


Figura 34: Porcentagem de falhas em função do conjunto Combustível – Sistema Motor de Combustão. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

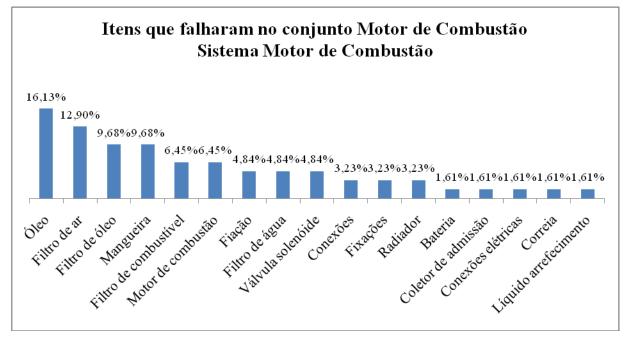


Figura 35: Porcentagem de falhas em função do conjunto Motor de Combustão – Sistema Motor de Combustão. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

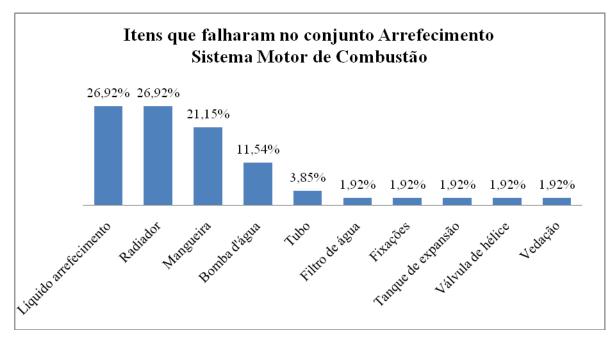


Figura 36: Porcentagem de falhas em função do conjunto Arrefecimento – Sistema Motor de Combustão. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Pelas Figuras 34 a 36, nas quais as falhas dos itens dos conjuntos combustível, motor de combustão e líquido arrefecimento são ilustradas, é possível destacar:

- O conjunto combustível tem maior número de falhas nos itens: bomba de escovas (26,74%), válvula (19,77%), filtro (16,28%), mangueira de pressão (8,14%) bomba de combustível (5,81%), mangueira de combustível (5,81%), conexões (4,65%), mangueira de retorno (4,65%), bomba de transferência (2,33%), bomba injetora (2,33%), estrangulador (1,16%), tubo de pressão (1,16%) e tubulação (1,16%);
- O conjunto motor de combustão apresenta maior número de ocorrências nos itens: óleo do motor (16,13%), filtro de ar (12,90%), filtro de óleo (9,68%), mangueira (9,68%), filtro de combustível (6,45%), motor de combustão (6,45%), fiação (4,84%), filtro de água (4,84%), válvula solenoide (4,84%), conexões (3,23%), fixações (3,23%), radiador (3,23%), e outros nove itens que totalizaram (14,52%);
- O item líquido de arrefecimento e radiador apresenta maior número de ocorrências no conjunto arrefecimento (26,92% cada), seguido por mangueira (21,15%), bomba d'água (11,54 %), tubo (3,85 %), filtro de água (1,92%), fixações (1,92%), tanque de expansão (1,92%), válvula de hélice e vedação (1,92%).

Após a identificação dos itens que apresentavam maiores índices de ocorrências de falhas e os seus respectivos percentuais de ocorrências no conjunto, realizou-se uma busca pelas causas fundamentais por meio de análise dos dados.

Para identificar a causa raiz das falhas utilizou-se o Diagrama dos "Porquês". Os primeiros itens abordados com esse método foram os responsáveis pelas ocorrências no conjunto Alternador do Sistema Elétrico, como demonstrado na Figura 37, que permite visualizar as possíveis causas fundamentais das falhas deste conjunto. Observando as ocorrências relacionadas ao alternador, percebe-se que as falhas desse item foram causadas devido à falta de manutenção preventiva, erros do operador e falta de acompanhamento pela equipe de manutenção a respeito das reais condições dos itens do equipamento.

As falhas ocasionadas pelo alternador podem estar relacionadas a correias danificadas ou desalinhadas devido ao mal tensionamento, ajuste ou não do alinhamento da mesma, e também devido a correia estar no fim da sua vida útil, o que tem relação direta com o uso excessivo do mesmo por um período de tempo maior do que o estipulado pelo fabricante, sem respeitar a periodicidade da troca ou manutenção. Outra possível causa das falhas elétricas do alternador poderia estar relacionada a um erro do operador, que deixou o circuito elétrico do equipamento ligado, levando ao descarregamento da bateria.

Outra relação das falhas do sistema Elétrico está ligada a fiação ou cabeamento do sistema devido a fiação danificada, cortada ou em mal contato. Um maior acompanhamento pela equipe de manutenção sobre as reais condições do sistema acarretaria em menos falhas existentes uma vez que a ação corretiva desses itens acarretou em paradas não programadas.

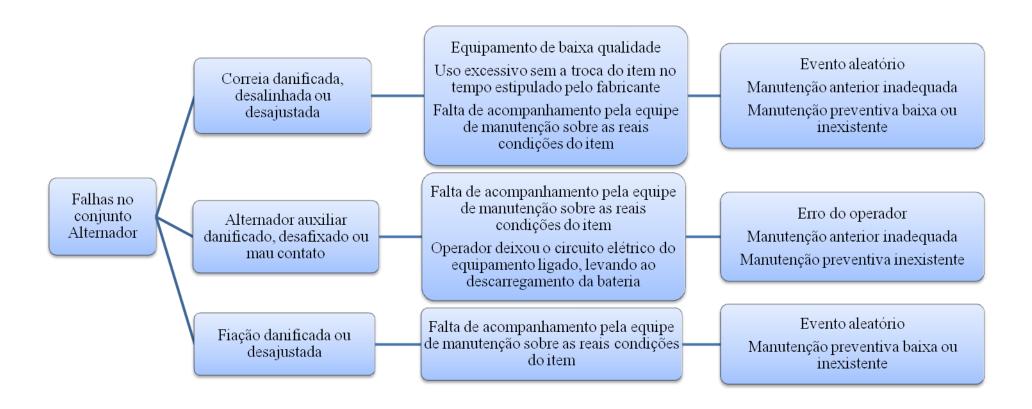


Figura 37: Diagrama dos Porquês para o conjunto Alternador pertencente ao sistema Elétrico. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Seguindo o estudo, os itens abordados com o método do Diagrama dos "Porquês" nos conjuntos combustível, motor de combustão e arrefecimento no sistema Motor de Combustão podem ser visualizados, respectivamente, nas Figuras 38 a 40.

Analisando-se os diagramas do sistema Motor de Combustão para o conjunto combustível, mostrado na Figura 38, motor de combustão, apresentado na Figura 39, e para o conjunto arrefecimento, Figura 40, nota-se que as causas principais das falhas dos seus itens estão relacionadas a:

- Baixa qualidade dos produtos, na qual falham antes do tempo estipulado pela manutenção;
 - Uso excessivo além do tempo estipulado pelo fabricante;
 - Falta de acompanhamento pela equipe de manutenção sobre as condições do item;
 - Erros do operador.

É observado nos resultados registrados que não existe planejamentos de ações preventivas para os itens dos três conjuntos ou, se houver ela não está sendo eficiente para bloquear as causas fundamentais e evitar a reincidência de falhas.

Observa-se, pela Figura 38, que houve falha no item motor de combustão devido aos filtros de óleo ou de ar estarem no final de sua vida útil, danificados ou obstruídos (saturados). Esses dados levam a suspeita de que esses itens foram utilizados por um tempo superior ao estabelecido pelo fabricante, sem a preocupação em fazer a periodicidade de troca exigida, mostrando que a equipe de manutenção esperou a ocorrência da falha para tomar medidas corretivas. Outra causa encontrada pode se dar à baixa qualidade dos filtros, que falharam antes do período de tempo programado pela equipe de manutenção.

Nas ocorrências de falhas relacionadas ao óleo do motor, a equipe de manutenção relata que o mesmo estava no final da sua vida útil, abaixo do nível recomendado pelo fabricante ou contaminado por partículas. O motivo de o óleo estar abaixo do nível ideal pode estar relacionado a vazamentos devido à fixação ineficiente de mangueiras, ou até mesmo por estarem danificadas ou obstruídas. Vale a pena ressaltar também que o motivo dos vazamentos pode se dar devido a baixa qualidade da mangueira, enquanto que a contaminação do óleo por partículas imiscíveis pode ter relação com o uso de filtro de óleo saturado na qual houve falha da equipe de manutenção em não realizar a periodicidade de troca no período estabelecido pelo fabricante.

Nota-se que, pela Figura 39, os itens como a bomba de escova e de combustível do conjunto Combustível foram ajustadas durante a operação da perfuratriz e que o filtro de combustível se encontrava no final de sua vida útil, danificado ou obstruído, evidenciando a falta de planejamento de atividades preventivas referentes ao bloqueio das causas raízes das falhas. O mesmo ocorre para os filtros de combustível e as mangueiras de pressão e de combustível, na qual se encontravam em final de vida útil, danificadas ou obstruídas. As válvulas do conjunto combustível se encontravam travando ou danificadas, um dos motivos se dá devido a sujeira acumulada evidenciando a falta de acompanhamento pela equipe de manutenção sobre as condições do item e a não realização de troca de alguns itens no período estabelecido pelos fabricantes.

A Figura 40 permite analisar as causas raízes das falhas do conjunto de Arrefecimento. A falha principal desse conjunto está relacionada ao líquido de arrefecimento que se encontrava com o nível de fluído abaixo do nível ou porque ele estava no fim da vida útil. O motivo dessa falha está relacionado a vazamentos em juntas e conexões danificadas, desalinhadas ou obstruídas, e a parada não programada devido ao fluido estar no final da vida útil se dá devido a falta de periodicidade de troca do mesmo e também a inexistência de uma manutenção preventiva. Outra possível causa é devido ao erro do operador que não seguiu o Procedimento Operacional Padrão (POP) para conferência e fechamento do recipiente de fluido na qual não houve o fechamento adequado da tampa do radiador e por isso o fluido evaporou ou vazou durante a operação do ativo.

A análise do diagrama também permite concluir que as ocorrências relacionadas às falhas das mangueiras e da bomba d'água danificadas, desafixadas ou obstruídas apresentam como possíveis causas fundamentais a baixa qualidade do item ou o uso excessivo, ou seja, além do período estabelecido pelo fabricante. Com isso, as falhas desses itens, assim como os itens dos conjuntos Combustível e Motor de Combustão podem ser eventos aleatórios devido a sua baixa qualidade ou ter relação com a ausência de manutenções preventivas.

Por fim, verifica-se que o radiador teve várias paradas não programadas durante a operação da perfuratriz, indicando falta ou falha no planejamento preventivo para troca ou manutenção prévia desse componente, bem como a verificação se os itens que compunham o radiador estavam dentro dos padrões de funcionamento como, por exemplo, o nível de líquido de arrefecimento.

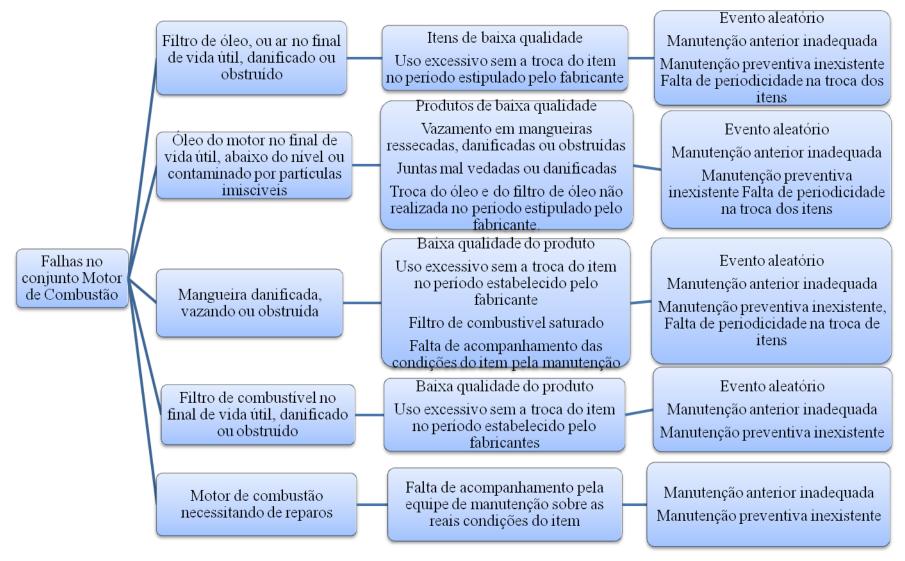


Figura 38: Diagrama dos Porquês para o conjunto Motor de Combustão, pertencente ao sistema Motor de Combustão. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

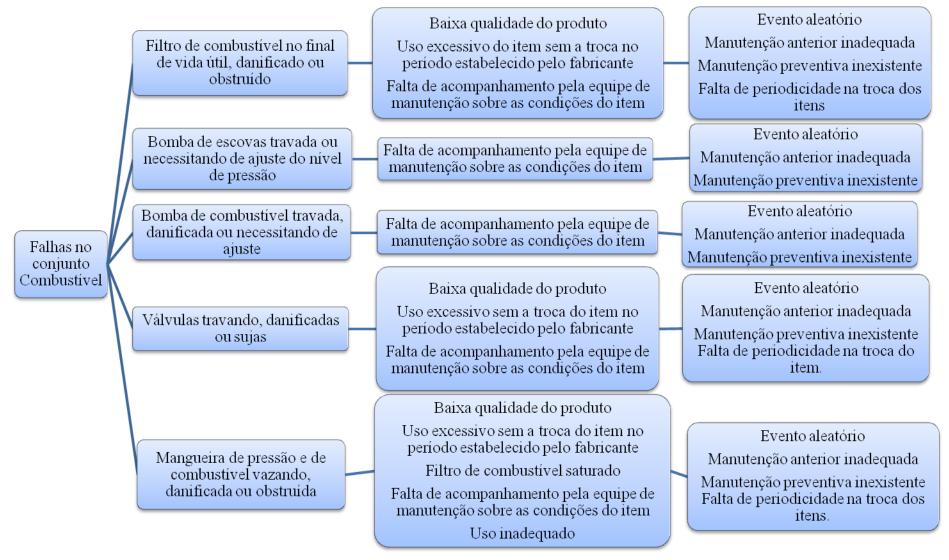


Figura 39:Diagrama dos Porquês para o conjunto Combustível, pertencente ao sistema Motor de Combustão. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

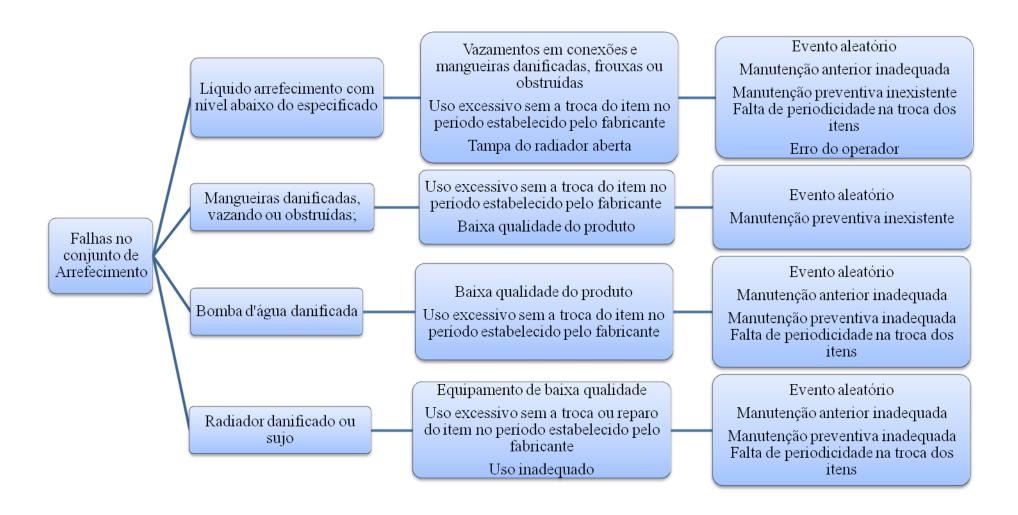


Figura 40: Diagrama dos Porquês para o conjunto Arrefecimentopertencente ao sistema Motor de Combustão. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A mesma análise pode ser realizada no sistema hidráulico. O Diagrama dos "Porquês" para o conjunto Tanque de Óleo desse sistema é apresentado na Figura 41. Pelo diagrama fica perceptível que as causas principais das falhas nesse conjunto são semelhantes às relatadas nos sistemas Motor de Combustão e Elétrico sendo elas a inexistência de manutenção preventiva, equipamentos e produtos de baixa qualidade e erros do operador. A falha principal do conjunto Tanque de Óleo está relacionada ao baixo nível de óleo, o uso excessivo além do período estabelecido pelo fabricante ou devido a baixa viscosidade ou está intimamente ligada ao uso excessivo do produto. Também existem registros de mangueiras e conexões desafixadas, danificadas ou obstruídas.

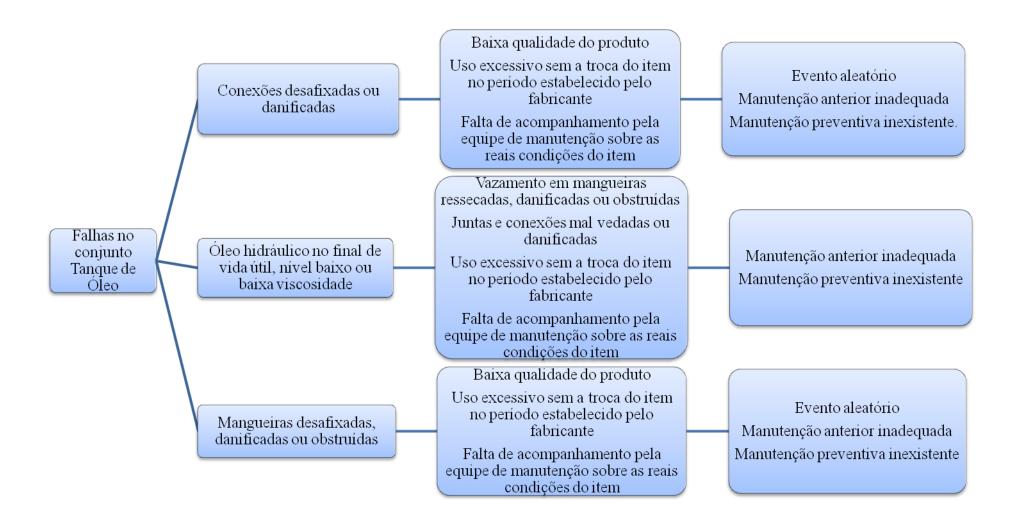


Figura 41: Diagrama dos Porquês para o conjunto Tanque de óleo pertencente ao sistema Hidráulico. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A análise também foi realizada no sistema Comando. O Diagrama dos "Porquês" para o conjunto Rotação desse sistema é apresentado na Figura 42. A falha principal desse conjunto está relacionada ao item mangueira de pressão na qual se encontraram danificadas, desafixadas ou obstruídas. Pelo diagrama fica perceptível que as causas principais de ocorrência de falhas nesse conjunto é a inexistência de manutenção preventiva, produtos de baixa qualidade e o uso excessivo sem a troca do item no período estabelecido pelo fabricante.



Figura 42: Diagrama dos Porquês para o conjunto Comando pertencente ao sistema Rotação. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Por fim, fez-se a análise do sistema Estrutura. O Diagrama dos "Porquês" para o conjunto Estrutura desse sistema é apresentado na Figura 43. As falhas principais desse conjunto estão relacionadas aos itens fixações e pinos na qual se encontram danificadas, desgastadas ou desafixadas. Pelo diagrama fica perceptível que as causas principais de ocorrência de falhas nesse conjunto é a inexistência de manutenção preventiva e o uso excessivo sem a troca do item no período estipulado.



Figura 43: Diagrama dos Porquês para o conjunto Estrutura pertencente ao sistema Estrutura. Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Embora os cinco sistemas sejam de naturezas diferentes, o Diagrama dos "Porquês" possibilitou a verificação de que as ocorrências de suas falhas possuem causas semelhantes.O

resumo das quatro principais causas de ocorrências de falhas nas perfuratrizes estudadas se deve a:

- Utilização de produtos e equipamentos de baixa qualidade que falham antes do tempo estipulado;
 - Falta de um plano e execução de manutenções preventivas;
 - Manutenções mal executadas;
 - Erros do operador da máquina.

De acordo com Silva (2018), é possível criar contramedidas eficazes no combate da reincidência desse tipo de falhas tais como:

- Elaborar planos de manutenções preventivas;
- Utilizar produtos de melhor qualidade que garantam maior confiabilidade;
- Capacitar e treinar a equipe de manutenção para que tenham o conhecimento necessário para realização das manutenções programadas e não programadas;
- Capacitar os operadores para que sejam capazes de analisar, identificar e definir irregularidades e as condições do ativo;
- Capacitar os operadores para que cumpram normas para manutenção (limpeza, lubrificação, ajustes, reparos, inspeção de itens como nível de óleo, líquido de arrefecimento, entre outros) e comunicar ao setor de manutenção qualquer anomalia.

Nota-se que muitas ocorrências poderiam ser evitadas se os operadores estivessem capacitados para identificar irregularidades e comunicá-las em tempo hábil à equipe de manutenção. Devem estabelecer uma melhoria no plano de manutenção da empresa mineradora de forma que a manutenção corretiva seja executada estabelecendo as condições mínimas requeridas para que não haja manutenções não programadas, enquanto que ações preventivas sejam estabelecidas para levar as perfuratrizes ao seu estado de rendimento máximo.

Com o intuito de identificar potenciais modos de falhas das perfuratrizes avaliando os riscos associados a estes modos, foi feito uma Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA - Failure Modes, Effects Analysis), para que fosse classificado em termos de importância e então receber as ações corretivas necessárias com a finalidade de diminuir a incidência de falhas.

O FMEA, apresentado nas Tabelas 16 e 17, tem como objetivo identificar, delimitar e descrever as não conformidades geradas através da utilização das perfuratrizes e seus efeitos e

causas, para através de ações corretivas e preventivas poderem eliminá-los. Foram identificadas as funções dos componentes que mais falharam nas perfuratrizes dos sistemas elétrico, hidráulico, rotação, motor de combustão e estrutura, bem como as possíveis causas potenciais de falhas já identificadas nas Figuras 35 a 41 através do Método dos "Porquês".Em seguida, foi identificado o Número de Prioridade de Risco (RPN – *Risk Priority Number*) obtido através da multiplicação dos índices de ocorrência, severidade e detecção. A identificação das cores para o Número de Prioridade de Risco (RPN) foi utilizada seguindo uma adaptação do estudo feito por Araújo e Cardoso (2011):

- RPN abaixo de 25 é identificado como modo de falha baixo;
- RPN entre 25 e 100, cor amarela, é identificado como modo de falha médio;
- RPN acima de 100, cor vermelha, fornece um resumo de modo de falha alto.

Analisando a Tabela 16, o conjunto combustível do sistema motor de combustão obteve os maiores valores de RPN, indicando que esse conjunto merece maior atenção na identificação de falhas potenciais das perfuratrizes. Dando maior destaque para os itens mangueiras e bomba de combustível, mostrando que suas causas potenciais são devido a desafixação, obstrução e danificação desses itens, recomendando-se a ação corretiva a sua troca ou ajuste do mesmo.

Os conjuntos alternador, tanque de óleo, comando e estrutura tiveram um modo de falha alto como mostrado na Tabela 17. Tendo maior destaque o item fiação do conjunto alternador e mangueiras dos conjuntos comando e tanque de óleo. As causas potenciais dos itens mangueiras são devido a desafixação, obstrução e danificação. E para o item fiação é devido ao mau contato ocasionado pela danificação ou desajuste do mesmo.

Tabela 16: Análise do modo e efeito de falha potencial do sistema motor de combustão.

Nome do componente	Função do componente	Modo(s) e causa potenciais de falha	Efeito potencial de falha	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detecção (D)	(RPN) O*S*D	Ação corretiva recomendada
Motor de combustão	Transformar a mistura combustível- ar em energia	Óleo – final de vida útil, nível baixo ou contaminado	Apagou o motor	5	7	2	70	Completar / drenar
		Filtro de óleo - final de vida útil, danificados ou obstruídos	Apagou o motor/baixo rendimento	5	4	6	120	Trocar
		Filtro de combustível - final de vida útil, danificados ou obstruídos	Sem partida/baixo rendimento	4	5	6	120	Trocar / desobstruir
		Motor de combustão - apagando ou travamento	Sem partida/apagou o motor	5	8	2	80	Monitorar / reparar
		Mangueiras - danificadas, desafixadas ou obstruídas	Apagou o motor/baixo rendimento	5	6	6	180	Trocar / desobstruir / vedar / fixar
Combustível	Fornecer energia	Filtro de combustível - final de vida útil, danificados ou obstruídos	Motor sem partida/baixo rendimento	4	4	6	96	Trocar / desobstruir
		Bomba de escovas - travadas ou danificadas	Baixo rendimento	6	3	5	90	Destravar / desobstruir
		Válvulas - danificadas, travadas ou sujas	Baixo rendimento	6	3	7	126	Trocar / destravar / limpar
		Mangueiras - danificadas, desafixadas ou obstruídas	Apagou o motor/ baixo rendimento	6	6	6	216	Trocar / desobstruir / vedar
		Bomba de combustível - travada ou danificada	Sem partida	5	8	6	240	Trocar / ajustar
Arrefecimento	Regular e controlar a temperatura	Líquido arrefecimento - nível baixo	Apagou o motor	6	7	1	42	Completar
		Mangueiras - danificadas, desafixadas ou obstruídas	Apagou o motor	5	6	5	150	Trocar / desobstruir / vedar
		Bomba d'água - danificada	Apagou o motor	5	8	4	160	Trocar / destravar / vedar
		Radiador – danificado ou sujo	Apagou o motor	6	8	3	144	Trocar / limpar

Fonte: Pesquisa Direta (2019).

Tabela 17: Análise do modo e efeito de falha potencial dos sistemas elétrico, hidráulico, rotação e estrutura.

Nome do componente	Função do componente	Modo(s) e causa potenciais de falha	Efeito potencial de falha	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detecção (D)	(RPN) O*S*D	Ação corretiva recomendada
Alternador	Gerar energia elétrica	Correia - danificada, desalinhada ou desajustada	Apagou o motor	6	7	5	210	Trocar / ajustar / alinhar
		Alternador auxiliar - danificado, desafixado ou em mau contato	Sem partida/apagou o motor	6	8	4	192	Trocar/ fixar
		Fiação - danificada ou desajustada	Sem partida/baixo rendimento	6	7	8	336	Trocar / emendar / isolar
Tanque de óleo	Fornecer óleo para o sistema hidráulico	Conexões - danificadas ou desafixadas	Baixo rendimento	6	5	8	240	Trocar / ajustar / fixar
		Óleo - final de vida útil, nível baixo ou baixa viscosidade	Apagou o motor	6	8	4	192	Completar ou drenar
		Mangueiras - danificadas, desafixadas ou obstruídos	Apagou o motor	6	8	6	288	Trocar / desobstruir / vedar
Comando	Habilitar o movimento	Mangueiras - danificadas, desafixadas ou obstruídos	Apagou o motor	8	8	5	320	Trocar / desobstruir / vedar
Estrutura	Manter a integridade física	Fixações e pinos - danificados ou desafixados	Baixo rendimento	6	4	7	168	Trocar / fixar

Fonte: Pesquisa Direta (2019).

A manutenção e inspeção devem ser executadas semanalmente nos componentes que obtiveram um modo de falha alto, com o intuito de minimizar e até mesmo eliminar as paradas não programadas. O FMEA foi elaborado observando critérios de ocorrência, severidade e detecção através do tempo de parada, número de incidência, facilidade na execução da manutenção e importância do item no funcionamento da perfuratriz em determinado componente. As ações corretivas recomendadas são dirigidas no sentido de mitigar a causa da falha ou eliminar o modo de falha. O objetivo do FMEA é reduzir o RPN tomando atitudes necessárias para que o RPN de todos os modos de falha seja inferior a 50, priorizando as falhas de maior severidade, em seguida as de maior ocorrência e, por último, as de pior detecção. Os valores de ocorrência, severidade e detecção variam para um mesmo item nos diferentes conjuntos, devido ao tempo para identificar e realizar a manutenção, agilidade necessária para a execução da manutenção e importância do determinado item no funcionamento daquele sistema. A severidade pode ser reduzida através da prevenção da falha. A ocorrência pode ser reduzida melhorando-se a qualidade do item a ser colocado na perfuratriz, almejando reduzir a frequência de troca do mesmo. E, por último, a detecção pode ser reduzida capacitando a equipe de manutenção com o objetivo de melhorar as técnicas de identificação do problema.

5 RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Baseado nos estudos realizados sugere-se:

- 1. Realizar um estudo de melhoria do processo de manutenção preventiva de sistemas de perfuratrizes do setor de mineração por meio de modelagem estatística de confiabilidade.
- 2. Elaborar um plano de manutenção preventiva a partir das identificações das ocorrências de falhas nas perfuratrizes.
- 3. Fazer uma análise da redução de valores de RPN em perfuratrizes no decorrer do tempo após a aplicação de um plano de manutenção preventiva, identificando as melhorias no processo.
- 4. Elaborar uma série de procedimentos operacionais padronizados para as atividades de execução e inspeção dos componentes das perfuratrizes.

6 CONCLUSÃO

A partir da metodologia utilizada neste estudo foi possível então responder ao questionamento principal desse trabalho: Como o Sistema de Tratamentos de Falhas pode auxiliar na análise e detecção de falhas das perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração?

Diante do estudo realizado neste trabalho foi possível contribuir para uma análise do sistema de tratamento de falhas com o intuito de melhorar o processo de manutenção de perfuratrizes de uma empresa do setor de mineração através de ações preventivas nos sistemas que eram mais comprometidos. A análise aprofundada realizada sobre as perfuratrizes permitiu verificar os principais sistemas e seus componentes que mais acarretavam em paradas não programadas, criando assim uma identificação de pontos de atenção para uma melhor agilidade do setor de manutenção. Permitiu-se também, conhecer a gravidade da falha bem como a melhor ação corretiva e preventiva a se tomar diante do problema.

Os estudos realizados através da análise do banco de dados da empresa e a triagem das falhas no período de cinco anos demonstraram diversos pontos onde são necessárias melhorias, tanto nas manutenções preventivas e corretivas quanto no planejamento e controle no setor de inspeção e manutenção.

Com o intuito de analisar as ocorrências de falhas, o presente trabalho identificou os sistemas, conjuntos e itens cujos índices de falhas resultavam em uma baixa confiabilidade, o que acarretava em um grande número de paradas não programadas. Os sistemas com maiores índices de ocorrências de paradas não programadas foram o sistema motor de combustão, hidráulico, elétrico, rotação e estrutura.

Os cinco sistemas foram desmembrados em conjuntos com a intenção de afunilar e identificar os componentes que apresentavam maiores percentuais de ocorrências. Os conjuntos mais críticos para o sistema motor de combustão foram combustível (40,38%), motor de combustão (29,11%) e arrefecimento (24,41%), juntos totalizaram 93,90% do total de ocorrências de falhas neste sistema. Para o sistema hidráulico o conjunto identificado como mais crítico foi o tanque de óleo, totalizando 41,07% do total das paradas não programadas. No sistema elétrico foi o conjunto alternador apresentando 18,22% das ocorrências de falhas neste sistema. Já para o sistema estrutura o conjunto identificado foi estrutura, totalizando 55,33% das falhas ocorridas. E por fim, para o sistema rotação o conjunto identificado com

maior número de ocorrências de falhas foi o comando, que apresentou 98,94%. O conjunto comando do sistema rotação foi o conjunto da perfuratriz com maior número de ocorrências de falhas em termos de número absoluto.

Neste presente trabalho foi utilizado o Diagrama dos "Porquês" para entender o que acontece quando cada um desses conjuntos falha, e de que maneira a interrupção da sua função, ou seja, a parada não programada, prejudica o funcionamento da perfuratriz. A partir da análise dos diagramas foi possível identificar que as causas básicas das falhas dos conjuntos dos cinco diferentes sistemas eram semelhantes e tinham relação direta com os fatores como utilização de produtos e equipamentos de baixa qualidade que falham antes do tempo estipulado, falta de um plano e execução de manutenções preventivas, manutenções inexistentes ou mal executadas e erros do operador da máquina.

Os padrões de modos de falhas apresentados pelas perfuratrizes foram identificados através de Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial (FMEA). O FMEA é considerado um elemento chave na prevenção de falhas e, confiabilidade de produtos e processos de uma organização, pois além de gerar uma economia em tempo e dinheiro através da identificação e resolução de falhas, garantem uma melhora na qualidade e produtividade do processo. No estudo em questão identificou-se que existe necessidade de ações pontuais nos itens combustível, alternador, tanque de óleo e comando na qual obtiveram os maiores valores de RPN necessitando de uma manutenção e inspeção semanal com o intuito de eliminar as paradas não programadas.

Com os resultados obtidos através da utilização do FMEA, é possível obter vantagens no sentido de sistematizar o diagnóstico das falhas e auxiliar na detecção e eliminação das ocorrências de falhas dos sistemas, fornecendo hierarquia de prioridades nas atividades do setor de manutenção.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, E. T.; CARDOSO, A. Z. **Avaliação dos Custos da Qualidade na Implantação da Fmea em Processo de Soldagem Gmaw.**VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT. Resende, 2011. 15p.

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

BARBOSA, R. A.; COSTA, F. N.; FERREIRA, L. M. L; NUNES, C. E. C. B.; ALVES, I. B.

S. Elaboração e Implementação de Um Plano de Manutenção Com Auxílio do 5S: Metodologia Aplicada em Uma Microempresa. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Enegep. Salvador, 2009. 14p.

BELMONTE, D. L.; SCANDELARI, L. **Gestão do conhecimento: aplicabilidade prática na gestão da manutenção.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005. 8p.

CABRAL, J.S.; Organização e Gestão da Manutenção. Edições Técnicas LTDA, 1998.

CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia dos Materiais: uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705p.

CATERPILLAR. 2012. Disponível em: https://pesa.com.br/product-showcase/caminhao-fora-de-estrada/index.html Acesso em: 28 out.2018.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** 1. ed. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009. 265p.

HAYRTON, **Mais uma ferramenta da qualidade: Fault Tree Analysis (FTA)** 2010. Disponível em:https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/07/02/mais-uma-ferramenta-da-qualidade-faut-tree-analysis-fta-ou-analise-da-arvore-de-falhas/ Acesso em: 25 out.2018.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. Análise de falhas (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA). Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995. 156p.

IRAMINA, W. S; TACHIBANA, I. K; SILVA, L. M.C; ESTON, S. M. Identificação e controle de riscos ocupacionais em pedreira da região metropolitana de São Paulo. REM- Revista da Escola de Minas vol. 62 nº4 Ouro Preto, 2009.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica.** 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2013. 440p.

KARDEC, A.; CARVALHO, C. **Gestão estratégica e terceirização**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 106p.

KÖCHE, José Carlos. Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação científica. Petrópolis: Vozes, 2009.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIEBHERR. 2019. Disponível em: https://www.liebherr.com/pt/bra/produtos/maquinas-de-construcao/terraplanagem/tratores-de-esteiras/tratores-de-esteiras.html Acesso em: 28 out.2018.

MARSHALL, I.; CIERCO, A. A.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B.; LEUSIN, S. **Gestão da Qualidade**. 8ª edição. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

MATOSKI, A. **Apostila de Perfuratrizes**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil. 2009.

MEIRA; **Perfuração de rocha: Classificação das perfuratrizes**. 2019.Disponível em: https://pt.slideshare.net/130682/perfuratriz> Acesso em: 28 nov.2018.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações.** 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 624p.

MOUBRAY, J. Reliability-centered Maintenance. New York: Industrial Press, 2000. 440p.

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

NORTON, R. L. **Projetos de Máquinas: Uma Abordagem Integrada.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1030p.

PALLEROSI, C. A. Confiabilidade: a quarta dimensão da qualidade. São Paulo: ReliaSoft Brasil, v.1, 2007.

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

ROSSI; **Desmonte em Rocha: Conceitos Basicos, Passo a Passo!** 2011. Disponível em: https://pedreirao.com.br/desmonte-em-rocha-conceitos-basicos-passo-a-passo/> Acesso em: 19 out.2018.

SAKURADA, E. Y. As técnicas de analises de modos de falhas e seus efeitos e analise de falhas no desenvolvimento e avaliação de produtos. 2001, 124f. Dissertação (Mestrado emEngenharia Mecânica) — Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

SANTOS, C. A. **Produção enxuta: uma proposta de método para introdução em uma empresa multinacional instalada no Brasil.** 2003, 238f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

SCHNEIDER, R. G., 2001. Metodologia Para Retroalimentação do Ciclo de Desenvolvimento de Produto com Dados de Confiabilidade Oriundos da Utilização do Produto em Campo. Dissertação de Mestrado. PPGEP/UFRGS; Porto Alegre-RS.

SILVA, M. R. Estudo de Confiabilidade Aplicado à Manutenção de Pás-Carregadeiras: O Caso de Uma Empresa de Mineração. 2018, 110f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) — Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SILVEIRA, C. B. **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: 19 out. 2018.

SILVEIRA, C; **Manutenção na indústria: como funciona?** 2013. Disponível em: https://www.banasqualidade.com.br/artigos/2013/10/manutencao-na-industria-como-funciona.php/> Acesso em: 19 out.2018.

SIQUEIRA, I. P. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2005. 408p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 747p.

SOUZA, J. B. Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

TAVARES, L. A.; CALIXTO, M.; POYDO, P. R. **Manutenção Centrada no Negócio.** 1. ed., Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 2005. 164p.

TADACHI, N.T., e FLORES, M.C.X. Indicadores da Qualidade e do Desempenho. 1ª.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997. 100p.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384p.

VIANA, H. R. G. **PCM, Planejamento e controle da manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 168p.

XENOS, H. G. Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Nova Lima: Falconi, 2004. 302p.

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