



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia de  
Produção  
Curso de Graduação em Engenharia de Produção

---

# **ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE PARADAS PARA MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE DE PROCESSO DE UM VIRADOR DE VAGÕES**

**Patriki da Costa Amorim Claro**

Ouro Preto

2020

**Análise das ocorrências de paradas de máquina para manutenção e confiabilidade de processo de um virador de vagões**

Patriki da Costa Amorim Claro

Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheiro de Produção na Universidade Federal de Ouro Preto defendida e aprovada em 20 de novembro de 2020 como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Produção.

**Orientador:** Prof. Dr. Helton Cristiano Gomes

Ouro Preto

2020

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C592a Claro, Patriki da Costa Amorim .  
Análise das ocorrências de paradas de máquina para manutenção e confiabilidade de processo de um virador de vagões. [manuscrito] / Patriki da Costa Amorim Claro. - 2020.  
52 f.: il.: color., gráf., tab.. (Série: 0104673)

Orientador: Prof. Dr. Helton Cristiano Gomes.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Máquinas - Manutenção e reparos . 2. Localização de falhas (Engenharia) . 3. Confiabilidade (Engenharia). 4. Análise de variância - Análise Estatística. I. Gomes, Helton Cristiano. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Patriki da Costa Amorim Claro

**ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS DE PARADAS PARA MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE DE PROCESSO DE UM VIRADOR DE VAGÕES**

Membros da banca

Prof. Helton Cristiano Gomes - Dr. - UFOP  
Prof. Cristiano Luís Turbino de França e Silva - Me. - UFOP  
Prof. Aloisio de Castro Gomes Júnior - Dr. - UFOP

Versão final  
Aprovado em 20 de novembro de 2020.

De acordo,

Prof. Dr. Helton Cristiano Gomes - Orientador



Documento assinado eletronicamente por **Helton Cristiano Gomes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/11/2020, às 13:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0104673** e o código CRC **F4B560AA**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.008815/2020-86

SEI nº 0104673

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000  
Telefone: - www.ufop.br

*Dedico este trabalho a todos os brasileiros que contribuíram  
e depositaram sua confiança para que eu pudesse me  
aperfeiçoar e cooperar com o desenvolvimento do país.*

## **AGRADECIMENTOS**

Assim como este trabalho é para a ciência, tudo em vida é feito com a colaboração de muitas pessoas e a elas eu dedico o meu total agradecimento por mais esta etapa concluída em minha vida.

Em especial as pessoas que desde sempre estiveram ao meu lado, os grandes mestres do meu caráter a qual os honro e prestígio a todo o tempo, meus pais, Magali e Valdeny e toda a minha família.

À minha amiga e companheira, Giulia, que esteve comigo durante essa jornada e foi a minha inspiração para nunca desistir de perseguir meus sonhos.

E também a todos os professores e funcionários e as demais instituições que me ajudaram, em especial a UFOP, Fundação Gorceix, DEPRO, CAEPRO, CAEM, República Pif-Paf, , ArcelorMittal, BakerTilly, IDOM e IAESTE.

## RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar e identificar as causas das paradas para manutenção de um virador de vagões de minério em uma empresa de siderurgia para que, descobrindo e atuando em cima das principais, se possa reduzir o tempo de parada e, conseqüentemente, aumentar a produtividade do processo. Para isso realizou-se, primeiramente, um estudo teórico abordando aspectos da manutenção, falhas, confiabilidade, estatística e ferramentas da qualidade. Dados relacionados às paradas foram obtidos do banco de dados da empresa estudada em um período de dois anos. Através da análise e interpretação dos dados junto a sustentação bibliográfica obtida, foi possível estratificar as causas das paradas e quantificá-las estatisticamente. Os resultados obtidos podem auxiliar nas tomadas de decisão da equipe de manutenção, uma vez que os dados trouxeram uma leitura mais assertiva de onde o problema viria a ocorrer, assimilando a causa e efeito. Dentre outros efeitos, espera-se que esta análise assegure a redução da quantidade e tempo de manutenção corretiva e conseqüentemente o custo por parada de máquina, além de garantir mais confiabilidade, segurança e disponibilidade da equipe de manutenção.

**Palavras-chaves:** Manutenção, Falhas, Confiabilidade, Análise Estatística

## **ABSTRACT**

This study aimed at analyzing and identifying the causes of stoppages for the maintenance of an ore car dumper in a steel company so that, by discovering and acting on the main ones, the stoppage time can be reduced and, consequently, the productivity of the process can be increased. For this purpose, a theoretical study was first carried out addressing maintenance aspects, failures, reliability, statistics and quality tools. Data related to the spares were obtained from the database of the company studied in a period of two years. Through the analysis and interpretation of the data with the obtained biographical support, it was possible to stratify the causes of the stoppages and quantify them statistically. The results obtained can help the maintenance team's decision making, since the data brought a more assertive reading of where the problem would occur, assimilating the cause and effect. Among other effects, it is expected that this analysis will ensure the reduction of the amount and time of corrective maintenance and consequently the cost per machine stop, in addition to ensuring more reliability, safety and availability of the maintenance team.

**Keywords:** Maintenance, Failures, Reliability, Statistical Analysis

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Virador de Vagões .....	18
<b>Figura 2</b> - Evolução da Manutenção .....	20
<b>Figura 3</b> - Métodos de manutenção e suas características .....	22
<b>Figura 4</b> - Diagrama de classificação de falhas.....	24
<b>Figura 5</b> - Curva PF (intervalo entre a falha potencial e a falha funcional).....	26
<b>Figura 6</b> - Materiais e Métodos.....	30
<b>Figura 7</b> - Dados antes do tratamento.....	33
<b>Figura 8</b> - Dados após tratamento.....	34
<b>Figura 9</b> - Tempo Médio Entre Falhas do Virador de Vagões .....	36
<b>Figura 10</b> - Taxa de Falhas do Virador de Vagões.....	37
<b>Figura 11</b> - Confiabilidade do processo do Virador de Vagões .....	38
<b>Figura 12</b> - Gráfico de Pareto: Quantidade de falhas pelo local da falha .....	43
<b>Figura 13</b> - Gráfico de Pareto: Horas acumuladas pelo local da falha .....	44
<b>Figura 14</b> - Gráfico de Pareto: Quantidade de falhas pela natureza da falha.....	45
<b>Figura 15</b> - Gráfico de Pareto: Horas acumuladas pela natureza da falha.....	46
<b>Figura 16</b> - Tabela dinâmica e mapa de calor da quantidade de falhas .....	47
<b>Figura 17</b> - Tabela dinâmica e mapa de calor das horas somadas por falha .....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Variáveis e indicadores de pesquisa .....	31
<b>Tabela 2</b> - Estratificação por área responsável pela ordem de serviço .....	35
<b>Tabela 3</b> - Quantidade de ocorrências de falhas por local da falha .....	39
<b>Tabela 4</b> - Duração da manutenção em horas por local da falha .....	40
<b>Tabela 5</b> - Quantidade de ocorrências de falhas por natureza da falha .....	41
<b>Tabela 6</b> - Duração da manutenção em horas por natureza da falha.....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>13</b>
1.1	Contextualização	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Justificativa	15
1.4	Estrutura do Texto	16
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>17</b>
2.1	Virador de Vagões	17
2.2	Conceito de Manutenção e Sua Evolução	18
2.2.1	Tipos de Manutenção	20
2.3	Falhas e Manutenção Centrada na Confiabilidade	23
2.3.1	Análise de Falhas	26
2.4	Confiabilidade	27
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>29</b>
3.1	Tipo de Pesquisa	29
3.2	Materiais e Métodos	30
3.3	Variáveis e Indicadores	31
3.4	Instrumento de Coleta de Dados	32
3.5	Tabulação de Dados	32
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>33</b>
4.1	Tratamento inicial dos dados	33

4.2	<b>Estratificação Inicial</b> .....	34
4.3	<b>Confiabilidade do Processo</b> .....	35
4.4	<b>Estratificação dos Causadores e Local das Falhas</b> .....	38
4.5	<b>Gráfico de Pareto</b> .....	42
4.5.1	<b>Local Afetado por Quantidade e Horas Parado</b> .....	43
4.5.2	<b>Natureza das Falhas por Quantidade e Horas Parado</b> .....	44
4.6	<b>Sintetização dos Resultados</b> .....	46
5	<b>Conclusão</b> .....	48
5.1	<b>Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
	<b>Referências</b> .....	50

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Contextualização**

Impulsionadas pela revolução industrial que transformou a produção artesanal na produção por meio de máquinas, as empresas, almejando manter-se competitivas no mercado, vem adotando técnicas de produção sofisticadas que diminuem o custo e tempo de produção para manufaturar maiores volumes de produtos que devem atender um nível específico de qualidade. Nesse cenário, um dos aspectos mais importantes para a produção contínua é, não apenas a confiabilidade, mas também a disponibilidade do equipamento. Portanto, torna-se imprescindível uma equipe e um plano de manutenção satisfatório para que seja garantida esta premissa. Kardec e Nascif (2009) definem que a missão da manutenção é assegurar a disponibilidade dos equipamentos, assim como as instalações, para que possam atender um roteiro de produção, ou prestação de serviços, sempre buscando redução de custos, preservação do meio ambiente, confiabilidade e segurança.

A confiabilidade é um atributo amplamente utilizado no exercício da manutenção e, dadas suas características, pode ser definida como a probabilidade de que um item possa desempenhar sua função requerida por um intervalo de tempo estabelecido sob condições definidas de uso (KARDEC E NASCIF, 2001, p.96). A NBR 5462 (1994) assegura que a falha é quando um item perde a capacidade de exercer a função demandada durante um período de tempo sob circunstâncias especiais, ocorrendo ao item, em seguida, um estado de pane.

Portanto, para compreender melhor o objeto de estudo é fundamental entender os conceitos e definições da manutenção assim como suas principais subcategorias e também como tratar as falhas quando ocorrerem ou antes mesmo de uma avaria. Essa abordagem do problema é auxiliada através da aplicação de uma análise de falhas adequada com a confiabilidade do processo para prevenir futuras disfunções.

O presente estudo foi realizado na área de gerência de produção de sinter em uma empresa siderúrgica localizada no estado do Espírito Santo. Para isso,

especificamente foi analisado o processo do virador de vagões, que resumidamente consiste em: uma máquina de descarga de vagões de trem utilizada em grandes plantas de indústrias, como mineração e siderurgia, para realizar a descarga de minérios como por exemplo, o de ferro. Seu funcionamento consiste basicamente no acoplamento de um "braço posicionador" entre o vagão dianteiro e o secundário fazendo com que ele fique na posição de descarga, mais precisamente, em cima de um silo, estrutura de metal em formato de funil destinada ao recebimento de material. Uma vez posicionado, outros ganchos são fixados acima do vagão e a máquina realiza um giro em torno do seu próprio eixo fazendo com que a carga se incline horizontalmente e, por efeito da gravidade, caia sobre o silo. Uma vez recebida, a carga é enviada para o pátio de minérios ou direto ao alto-forno através de um sistema de correias transportadoras.

Esta análise tem o intuito de entender as avarias do sistema e estratificar as inúmeras falhas que ocorrem durante o processo para que os envolvidos possam, a princípio, priorizar os principais causadores das falhas e melhorar o tempo de disponibilidade da máquina atuando sobre o problema de forma concisa e sistêmica. Para isso, buscamos responder a seguinte questão de pesquisa: Quais são os principais agentes causadores das falhas no objeto de estudo e qual a sua amplitude?

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é analisar, estratificar e quantificar as falhas ocorridas no processo do virador de vagões em uma planta siderúrgica, através da aplicação de métodos como análise de falhas, confiabilidade, estatística e ferramentas da qualidade.

Os objetivos específicos são:

- Desenvolver um estudo teórico sobre os temas que abordam a manutenção e confiabilidade de equipamentos;
- Analisar bases de dados referente ao objeto de estudo;
- Estratificar e quantificar os causadores de falha no processo;
- Demonstrar a dimensão dos agentes de falhas do processo.

### 1.3 Justificativa

A proposta deste trabalho surge da necessidade de aumentar o controle do processo e a disponibilidade do virador de vagões, mais especificamente, no descarregamento do minério de ferro. A redução do número de falhas acarreta a otimização do processo, que por sua vez traz benefícios como: menor tempo e frequência de parada de máquina, diminuição de custo, maior controle e ganho de produção.

A manutenção tem como objetivo principal nas empresas reduzir, o quanto possível, as falhas para aumentar a disponibilidade física de seus ativos. Guiadas pela premissa econômica de que, para satisfazer as necessidades do cliente, o produto deve ter o menor custo, promovendo o melhor benefício, as empresas adotam essa busca pela qualidade a um preço acessível para crescerem em suas respectivas áreas, superando seus concorrentes ou ao menos se mantendo competitivas no mercado mundial.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), nos programas de manutenção, um dos indicadores elementares se tratando de confiabilidade é a disponibilidade de equipamentos. A confiabilidade possui diversas técnicas e ferramentas que permitem encontrar e aplicar melhorias nas causas das falhas que provocam o dano de maior influência no processo. Ela, uma vez aplicada, atribui melhorias como o aumento da produção e disponibilidade física do equipamento.

De acordo com Kardec e Nascif (2001), o termo falha origina-se quando se identifica a situação de que o equipamento em questão não apresenta o desempenho esperado. Ainda segundo os autores, a falha pode ser identificada como: defasagem ou diminuição da qualidade do produto; parada da produção; diminuição do ritmo de produção; produção em regime instável; perda da função do comando ou proteção. Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que o objetivo da realização das manutenções é prevenir as falhas, e quando elas ocorrerem, recompor o sistema produtivo a seu estado normal de operação. Portanto, a manutenção se relaciona com a

confiabilidade, uma vez que ela tem como objetivo manter a produção contínua, sem avarias e sem perda de qualidade.

Com isso, pode-se perceber que se uma análise de falhas, junto a um estudo de confiabilidade, for aplicada de maneira eficiente, é possível aumentar a disponibilidade física do virador de vagões, assim como a qualidade e confiabilidade do processo. Por outro lado, quanto menor o número de paradas, menores os custos de manutenção e tempo de produção.

#### **1.4 Estrutura do Texto**

O primeiro capítulo introduz o tema do trabalho, descrevendo a formulação do problema, seus objetivos, gerais e específicos, e sua justificativa. No segundo capítulo é feita uma investigação teórica sobre os conceitos que abordam o tema do trabalho. Já no terceiro capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a realização do trabalho, assim como foi feita a coleta de dados. No quarto capítulo serão exibidos e discutidos os resultados obtidos pelo estudo e o embasamento teórico. Enfim, no quinto capítulo é onde se concluirá sobre os benefícios e vantagens que o trabalho exibiu.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Virador de Vagões

A produção siderúrgica possui diferentes modais onde ocorrem as chegadas de matéria-prima no processo, e estas entradas ocorrem em diferentes etapas. Na empresa analisada neste estudo de caso, a sucata metálica utilizada em um processo mais avançado como o da aciaria, chega utilizando o modal rodoviário. Já o coque utilizado como combustível pelo alto-forno tem o carvão mineral como sua principal matéria-prima que chega através de navios que fazem a descarga pelo porto uma vez que este material é totalmente importado. Outro exemplo é o insumo mais utilizado no processo de redução que ocorre no alto-forno que são as pelotas de minério de ferro, este material é quase que totalmente adquirido através de correias transportadoras vindas diretamente de uma empresa de mineração situada ao lado da planta em análise.

Portanto, assim como os outros modais citados anteriormente, o virador de vagões é um sistema de descarga de matéria-prima através do modal ferroviário extremamente importante para o processo, não só pela agilidade que ele realiza a descarga de matéria prima por um baixo custo relativo, mas também pela variedade de insumos que ele pode processar.

Neste estudo de caso, por se tratar de otimização logística, o virador de vagões basicamente realiza a descarga de minérios de ferro finos e granulados, porém, caso necessário ele poderia realizar a descarga de outros materiais como o calcário, que chega através de caminhões uma vez que os fornecedores estão situados em cidades próximas, e também pelotas de minério de ferro que são transportadas através de correias transportadoras como mencionado anteriormente.

O virador de vagões é o equipamento utilizado para realizar a descarga de matérias-primas no início do processo de manufatura. Os insumos chegam através de composições ferroviárias, e esta aguarda pela sua sequência de descarga uma vez posicionada no pátio de manobras (PERINI, 2010). De acordo com Cruz (2003), este equipamento é acoplado a composição ferroviária através de um braço mecânico dando início ao processo de descarga. O virador de vagões então gira o vagão em

torno do seu próprio eixo, fazendo com que o minério seja despejado sobre silos de minério que por sua vez alimentam o sistema de correias transportadoras. Uma vez despejado o minério de um vagão o próprio mecanismo possui um sistema de tração para puxar toda a composição e posicionar o próximo vagão, não necessitando de uma locomotiva para realizar este processo.

Na unidade estudada, a descarga de vagões é feita através de um virador de vagões com capacidade de 2.500 t/h. Os vagões são posicionados e descarregados sem desacoplar, utilizando-se de engates rotativos como mostrado na Figura 1.

**Figura 1 - Virador de Vagões**



**Fonte:** Pesquisa direta (2019)

## 2.2 Conceito de Manutenção e Sua Evolução

Quando analisada a literatura, percebe-se que a manutenção pode ser abordada por diferentes aspectos. Ela pode ser definida de acordo com o instante e o ambiente onde a análise é feita, ou seja, depende da perspectiva. Todavia, todas as definições convergem para a mesmo conceito e finalidade do que é a manutenção.

De acordo com Dohi *et al.* (2001), os sistemas de produção industriais sofrem uma deterioração de acordo com a sua utilização e seu ciclo de vida útil. Este fenômeno ocasiona interferências negativas no processo, como aumento dos custos de produção, perda de desempenho e qualidade e o aumento da probabilidade de ocorrência de acidentes. Portanto, a adoção de uma política de manutenção é fundamental para amenizar esses distúrbios no processo.

De forma mais técnica, a NBR 5462 (1994) define a manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. De modo geral, a missão da manutenção vai além de cumprir com sua finalidade, ela também deve assegurar a confiabilidade e disponibilidade do item físico ou instalação, garantindo a segurança, o baixo custo e preservando o meio-ambiente (KARDEC e NASCIF, 2009). Para Mobley *et al.* (2008), sendo otimista, a manutenção é uma ciência que, uma vez executada, influenciará, mais cedo ou mais tarde, sobre a grande maioria, senão todas as outras ciências.

Desde a sua concepção, a manutenção tem tido muitas fases, com grandes avanços e particularidades ao longo do tempo. Geralmente, são listados pelos autores as quatro maiores gerações da manutenção e suas contribuições para o processo produtivo.

A manutenção, embora despercebida, sempre existiu, mesmo nas épocas mais remotas. Começou a ser conhecida com o nome de manutenção por volta do século XVI na Europa central, juntamente com o surgimento do relógio mecânico, quando surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência. Tomou corpo ao longo da Revolução Industrial e firmou-se, como necessidade absoluta, na Segunda Guerra Mundial. No princípio da reconstrução pós-guerra, Inglaterra, Alemanha, Itália e principalmente o Japão alicerçaram seu desempenho industrial nas bases da engenharia de manutenção. Nos últimos anos, com a intensa concorrência, os prazos de entrega dos produtos passaram a ser relevantes para todas as empresas. Com isso, surgiu a motivação para se prevenir contra as falhas de máquinas e equipamentos. Além disso, outra motivação para o avanço da manutenção foi a maior exigência por qualidade. Essas motivações deram origem a uma manutenção mais planejada (MORO, 2007, p. 6).

**Figura 2 - Evolução da Manutenção**

Geração Ano	1ª Geração 1940 - 1950	2ª Geração 1960 - 1970	3ª Geração 1980 - 1990	4ª Geração 2000 - 2010
Aumento das expectativas em relação à manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conserto após falha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidade crescente maior vida útil do equipamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior confiabilidade;</li> <li>• Maior disponibilidade;</li> <li>• Melhor relação custo-benefício;</li> <li>• Preservação do meio ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior confiabilidade;</li> <li>• Maior disponibilidade;</li> <li>• Preservação do meio ambiente;</li> <li>• Segurança;</li> <li>• Influir nos resultados do negócio;</li> <li>• Gerenciar os ativos.</li> </ul>
Visão quanto à falha do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existência de 6 padrões de falhas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir drasticamente falhas prematuras.</li> </ul>
Mudança nas técnicas de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejamento manual da manutenção computadores grandes e lentos manutenção preventiva (por tempo).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção preditiva;</li> <li>• Análise de risco;</li> <li>• Computadores pequenos e rápidos;</li> <li>• Softwares potentes;</li> <li>• Grupos de trabalho multidisciplinares;</li> <li>• Projetos voltados para a confiabilidade;</li> <li>• Contratação por mão de obra e serviços.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoramento da condição;</li> <li>• Minimização nas manutenções e corretiva não planejada;</li> <li>• Análise de falhas;</li> <li>• Técnicas de confiabilidade;</li> <li>• Manutenibilidade;</li> <li>• Engenharia de manutenção;</li> <li>• Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e custo do ciclo de vida;</li> <li>• Contratação por resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição;</li> <li>• Minimização nas manutenções e corretiva não planejada;</li> <li>• Análise de falhas;</li> <li>• Técnicas de confiabilidade;</li> <li>• Manutenibilidade;</li> <li>• Engenharia de manutenção;</li> <li>• Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e custo do ciclo de vida;</li> <li>• Contratação por resultados.</li> </ul>

**Fonte:** Adaptado de Kardec e Nascif (2001)

A tabela da Figura 2 apresenta uma adaptação dos principais eventos ocorridos nas quatro grandes gerações da manutenção e suas características. Na primeira coluna temos como referência as características das principais evoluções ocorridas. Por exemplo, pela perspectiva do aumento das expectativas em relação a manutenção, visão quanto a falha e as mudanças nas técnicas de manutenção. Nas demais colunas, são apresentadas as evoluções ocorridas em cada uma destas abordagens citadas cada uma em sua geração.

### 2.2.1 Tipos de Manutenção

Normalmente, a classificação do tipo de manutenção é feita de acordo com o modelo de planejamento das atividades e os objetivos do método de manutenção a ser executado, sendo que a distinção entre esses métodos está no momento em que a atividade de manutenção é realizada (MOBLEY *et al.*, 2008). Há um consenso entre os autores em dividir a manutenção em três segmentos, sendo eles: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva. Onde cada uma delas é abordada nos tópicos a seguir.

### **a) Manutenção Corretiva**

A NBR 5462 (1994) define tecnicamente a manutenção corretiva como a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane e é destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Bloom (2006) abrange uma classificação mais geral e menos técnica sobre o que é a manutenção corretiva. Segundo o autor, ela pode ser definida como todo trabalho executado em um item que sofreu ou está sofrendo uma falha com objetivo de repará-la. Também pode-se classificar a manutenção corretiva em duas subcategorias: manutenção corretiva planejada, onde o reparo é realizado um tempo após a falha, e manutenção corretiva não planejada ou de emergência, onde a reparo ocorre imediatamente após a ocorrência da falha (BRANCO FILHO, 2008).

### **b) Manutenção Preventiva**

É definida de forma técnica pela NBR 5462 (1994) como a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, e é destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. Viana (2002) descreve a preventiva como a manutenção realizada em máquinas em condições de operação ou estado de zero defeito. São atividades realizadas em intervalos previamente planejados e fazem o uso de técnicas particulares, seja pelas datas de depreciação do item pelo fabricante ou por experiência operacional de quando ocorrem os períodos de falha. Portanto, a manutenção preventiva é definida como um programa de manutenção, nele está contido técnicas preditivas, ações embasadas no tempo e manutenção corretiva fornecendo um auxílio abrangente para todo o processo (MOBLEY *et al.*, 2008). Enfim, Kardec e Nascif (2009) consideram algumas situações importantes em que a manutenção preventiva deve ser utilizada:

- Incapacidade da aplicação da manutenção preditiva, ou seja, inviabilidade financeira e execução técnicas;
- Aspectos obrigatórios de segurança ou da instalação;
- Paradas de oportunidades de equipamentos críticos;
- Sistemas complexos ou de processos contínuos.

### c) Manutenção Preditiva

Para Moro (2007), a manutenção preditiva é uma fase avançada de um plano global de manutenção e significa prever as condições de funcionamento dos equipamentos permitindo sua operação contínua pelo maior tempo possível. Todo o controle se dá pela observação (monitoramento) destas condições. No exemplo de um mancal de rolamento, podemos aplicar este método pela observação do nível de ruído. Dessa forma, Viana (2002) define a manutenção preditiva como tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar o desempenho da máquina ou as peças, por monitoramento, medidas ou controle estatístico de processo e tendem a prever quando uma falha virá a ocorrer.

De forma mais técnica, a NBR 5462 (1994) define a manutenção preditiva como a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, baseando-se na aplicação sistemática de técnicas de análise, fazendo uso dos meios de supervisão centralizados ou de amostragem. Isso faz com que ocorra a redução ao mínimo da necessidade da manutenção preventiva a diminuição da manutenção corretiva. Ela também pode ser conceituada como a união de ações de acompanhamento das variáveis ou parâmetros do processo que apontam a performance ou desempenho dos itens, de modo sistemático, visando definir a necessidade ou não de intervenção (MORO, 2007).

De modo geral, pode-se resumir os principais objetivos da manutenção preditiva em: parada do equipamento no momento certo, redução das intervenções, aumento de disponibilidade do item, redução de custos e parâmetros preventivos pré-determinados (SPAMER, 2009).

Portanto, em uma equipe de manutenção, o processo de escolha do método adequado deve se basear em critérios técnicos e econômicos para cada item ou sistema, podendo ser eleito um método isolado ou até mesmo a fusão dos três. Um programa de manutenção eficaz faz uso da combinação dos métodos de maneira apropriada, considerando as vantagens e desvantagens de cada um (PAPIC *et al.*, 2009).

**Figura 3** - Métodos de manutenção e suas características



Fonte: Pesquisa direta (2020)

A Figura 3 mostra, resumidamente, o papel e as diferenças mais relevantes de cada um dos três principais segmentos de manutenção. A princípio ela pode ser dividida se já ocorreu uma falha ou não. Para o primeiro caso, quando uma falha ocorre deve-se tratá-la aplicando as técnicas de manutenção corretiva (sem planejamento prévio). Já no caso de uma falha que ainda não veio ocorrer, deve-se utilizar das técnicas da manutenção preventiva (planejamento prévio) e/ou preditiva (monitoramento do item).

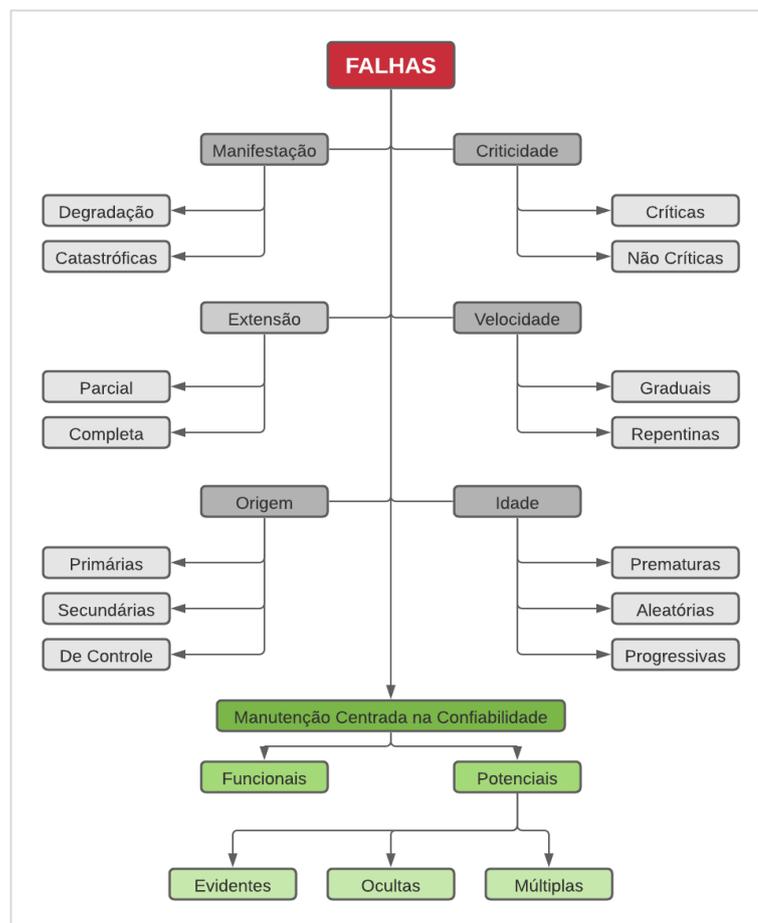
### 2.3 Falhas e Manutenção Centrada na Confiabilidade

De acordo com Siqueira (2005), chama-se de falha um evento que ocorre fazendo com que um dispositivo ou item não consiga exercer sua função requerida ou esperada devido a ocorrência de uma interrupção ou alteração de sua capacidade. Para a NASA (2000), a falha acontece quando ocorre a interrupção da função ou desempenho esperados e adequados. A manutenção centrada na confiabilidade investiga a ocorrência das falhas a vários tipos de níveis: sistema, subsistema, componentes, e, por vezes, até o nível das peças. O principal propósito de uma competente equipe de manutenção é manter o sistema em funcionamento e sem avarias ao menor custo possível, ou seja, uma vez identificada a falha, a manutenção

deve abordar o problema de modo que ela obtenha informações inequívocas em cada um dos níveis do sistema citados. Ainda de acordo com a NASA (2000), quando o farol de um carro apresenta uma pequena avaria, o sistema como um todo pode não sofrer uma falha, isso ocorre porque os componentes podem ser degradados ou de fato falhar e não causar prejuízos significativos que comprometam o funcionamento como um todo. Por outro lado, mesmo que não ocorra de fato nenhuma única falha em um componente, é possível que o sistema falhe devido a degradação combinada de vários componentes.

De acordo com Siqueira (2005), pode-se complementar esta definição classificando as falhas sob muitos outros aspectos como: manifestação, criticidade, extensão, velocidade, origem ou idade. O diagrama apresentado na Figura 4 ilustra a relação destes aspectos.

**Figura 4 - Diagrama de classificação de falhas**



**Fonte:** Adaptado de Siqueira (2005)

O diagrama da Figura 4 apresenta as várias possíveis causas de uma falha e suas sub-ramificações. Ele aponta para um sistema universal que pode ser utilizado para tratá-las e preveni-las, a manutenção centrada na confiabilidade.

Como dito anteriormente, o propósito da manutenção é prevenir possíveis falhas e repará-las quando vierem a ocorrer, portanto, como mostrado na Figura 4, é imprescindível entender e conhecer as formas como os sistemas falham. Para a manutenção centrada na confiabilidade, esse estudo assim como a identificação e a documentação das funções, são componentes essenciais (SIQUEIRA, 2005).

Portanto, seguindo os princípios da manutenção centrada na confiabilidade, pode-se classificar, estratificar e relacionar as causas das falhas com o efeito que elas produzem sobre o sistema em que estão inseridas de duas formas:

**Falha Funcional** – definida quando um sistema está inapto para responder adequadamente a um padrão de desempenho pré-estabelecido em projeto. É uma falha funcional quando o item perde por completo a capacidade de realizar a função para o qual foi designado, porém, no entanto, também pode ser classificada como uma falha funcional a incapacidade de operar no nível pré-especificado como satisfatório;

**Falha Potencial** – momento em que a falha surge no equipamento em seu estágio inicial, portanto, não afeta por completo o desempenho do item, mas diminui sua performance ao longo do tempo. Por exemplo, quando um equipamento continua operando de acordo com a performance desejada, porém, identifica-se que a temperatura do equipamento está muito alta. Esse aumento de temperatura é um sinal de uma falha potencial (DUTRA, 2018).

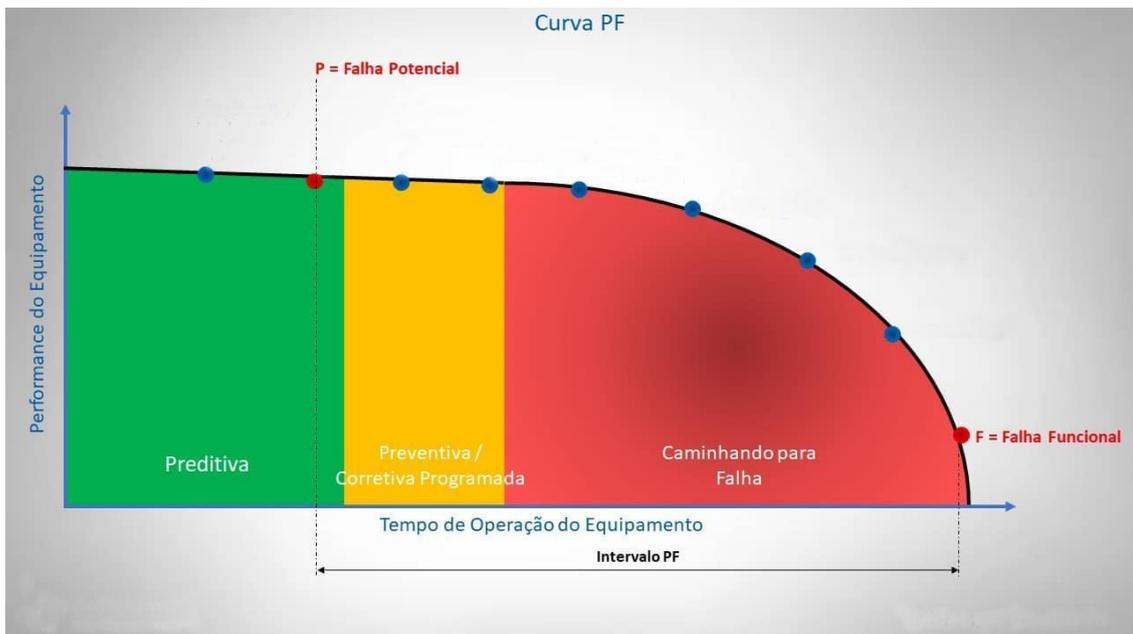
Ainda de acordo com Dutra (2018), as falhas funcionais são reclassificadas pela manutenção centrada na confiabilidade em outras três subcategorias de acordo com sua visibilidade:

**Falha Evidente** – é identificada pelos funcionários da operação durante as atividades habituais;

**Falha Oculta** – não é detectada pelos funcionários de operação durante as atividades habituais;

**Falha Múltipla** – combinação de uma falha oculta mais uma segunda falha, ou evento, que a torne evidente.

**Figura 5** - Curva PF (intervalo entre a falha potencial e a falha funcional)



**Fonte:** Adaptado de Dutra (2018)

A Figura 5 demonstra como é o comportamento da falha potencial e da falha funcional. No primeiro caso, percebe-se que ela pode ser detectada através da manutenção preditiva uma vez que a falha está em seu estágio inicial, o que não afeta drasticamente o funcionamento do item, porém, se não tratada, diminui o desempenho da máquina ao longo do tempo. Já no segundo caso, é notável que este se encontra em um período crítico pois a falha implica na perda total (ou quase total) da função do item, ou seja, a parada da máquina.

### 2.3.1 Análise de Falhas

Slack *et al.* (2009) afirmam que uma vez ocorrida uma falha, a análise de falhas é uma das principais metodologias para o tratamento. Embora simples, a análise de falhas pode ser atribuída como uma das atividades chave para as empresas ao se

depararem com a ocorrência de falhas ou desvios em relação ao desempenho para qual foi planejado e desenvolvido.

A norma NBR 5462 (1994) define análise de falhas como um exame lógico e sistemático de um item que falhou, para identificar e analisar o mecanismo, a causa e as consequências da falha. Ela é uma técnica de análise e prevenção de falhas que deve ser aplicada sempre que ocorrer uma não conformidade de qualquer tipo de natureza em diversos aspectos como em projetos, processos e produtos (MARTINS E LAUGENI, 2007).

Fogliatto e Ribeiro (2009) reforçam que o conhecimento formal através do resultado da análise de falhas e da minimização de sua ocorrência provê uma rica variedade de contextos nos quais surgem considerações acerca da confiabilidade. Ainda de acordo com os autores, a técnica para análise de falhas, segundo o método da manutenção centrada na confiabilidade, é utilizada para evidenciar a vulnerabilidade de um sistema e revelar as causas raízes. Pode-se classificar a análise de falhas como componente das atividades de melhoria contínua, ou seja, são ferramentas para análise e diagnóstico. Portanto, torna-se evidente que é não só possível a aplicação desta ferramenta nesse estudo assim como é, segundo a literatura, fortemente indicado a sua implementação em sua totalidade com o objetivo de resolver os principais problemas propostos que são analisar, estratificar e quantificar as falhas ocorridas no processo do virador de vagões.

## 2.4 Confiabilidade

Confiabilidade, segundo a NASA (2000), é a probabilidade de que um elemento irá resistir a um determinado intervalo de funcionamento, nos termos especificados de condições de funcionamento, sem avarias. A probabilidade condicional de falha mede a probabilidade de que um determinado item, ao entrar em uma determinada idade ou intervalo, irá falhar durante esse período. Se a probabilidade condicional de falha aumenta com a idade, o item mostra características de desgaste. A probabilidade condicional de falha reflete o efeito negativo global da idade sobre a confiabilidade.

A probabilidade do funcionamento adequado de um item sem que ocorra nenhum tipo de avaria ou obstrução dentro de um intervalo de tempo, ciclo, distância, etc. é o

que interessa a manutenção, pois, quanto mais precisa for essa probabilidade, maior o controle da manutenção sobre o item. Essa probabilidade de funcionamento adequado do item é denominada como confiabilidade (SIQUEIRA, 2005). A NBR 5462 (1994) classifica a confiabilidade de maneira mais direta e específica. De acordo com a norma, confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar a finalidade para qual foi projetado sob condições especificadas e durante um determinado intervalo de tempo.

Segundo Kardec e Nascif (2007), pode-se calcular a confiabilidade de um item utilizando a Expressão (1), de acordo com a distribuição exponencial (taxa de falha constante):

$$R(t) = e^{-(\lambda t)} \quad (1)$$

Em que:

$R(t)$  = confiabilidade a qualquer tempo  $t$ ;

$e$  = base dos logaritmos neperianos ( $e = 2,718$ );

$\lambda$  = taxa de falhas (número total de falhas por período de operação);

$t$  = tempo previsto de operação.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo são expostas as atividades para desenvolvimento da pesquisa, abordando suas principais características como o tipo de pesquisa, materiais e métodos adotados, variáveis e indicadores e instrumentos de coleta e tabulação de dados.

#### **3.1 Tipo de Pesquisa**

Pretende-se com esta pesquisa compreender as principais causas das paradas em decorrência de falhas e como elas podem contribuir diretamente no desempenho e confiabilidade do virador de vagões, objeto de estudo. Para isso foi feita a investigação através de uma abordagem exploratória, quantitativa e qualitativa.

A pesquisa pode ser definida como um processo sistemático e formal de desenvolvimento do método científico. O principal atributo da pesquisa é instigar respostas para questionamentos mediante o emprego de procedimentos científicos (GIL, 2008). Ainda de acordo com Gil (2002), a pesquisa pode ser classificada como descritiva, exploratória ou explicativa. Para o autor, a pesquisa descritiva promove a descrição das características de determinado fenômeno ou população. Por outro lado, se tratando da investigação exploratória, Vergara (1997) afirma que esta é realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Por ser uma sondagem, não comporta hipóteses que por sua vez poderão surgir no decorrer ou ao final do trabalho de pesquisa. Finalmente, Gil (2002) conceitua a investigação explicativa como a que identifica as causas que contribuem ou definem um fenômeno ou população.

Segundo Creswell (2010), as pesquisas podem ser classificadas como quantitativa, qualitativa ou a combinação entre as duas. A pesquisa quantitativa é a que classifica e analisa as informações encontradas, transformando-as em números. Esses, por sua vez, são utilizados pela estatística através da porcentagem, médias, medianas, desvio-padrão, dentre outras (MORESI, 2003).

Por outro lado, segundo Gressler (2004), o modelo qualitativo pode ser observado como:

“Essa abordagem é utilizada quando se busca descrever a complexidade de determinado problema, não envolvendo manipulação de variáveis e estudos experimentais. Por meio dela, reúnem-se informações sobre os fenômenos investigados com o uso de entrevistas abertas e não direcionadas, depoimentos, histórico de ocorrência dos fatos, estudo de casos.”

Durante o presente trabalho foram investigados os motivos para o transtorno causado pelas constantes paradas do virador de vagões para a realização de manutenções não programadas. Também foi feito uma análise dos fatos sem manipulação, o que significa que a pesquisa feita no trabalho pode ser incorporada a três tipos de investigação citados anteriormente, a pesquisa exploratória, qualitativa e quantitativa.

### 3.2 Materiais e Métodos

Os materiais e métodos utilizados estão descritos nos passos destacados na Figura 6.

**Figura 6 - Materiais e Métodos**



Fonte: Pesquisa direta (2020)

De acordo com o fluxograma exibido na Figura 6, o estudo teve início com a determinação do problema, que no caso é identificar quais os principais agentes causadores das falhas no virador de vagões e quantificar essas avarias. Para resolver o problema foi feita uma revisão bibliográfica abrangendo os tópicos relacionados ao estudo de caso com a finalidade de entender o problema e como solucioná-lo, assim como obter um referencial para comparar os resultados. Em seguida foi realizada uma coleta de dados e informações no banco de dados particular da empresa. Posteriormente, foi realizado uma avaliação de qual metodologia irá ser seguida com relação aos dados obtidos. Por fim, foi realizado uma análise para a avaliação dos resultados obtidos.

### 3.3 Variáveis e Indicadores

A fim de simplificar o estudo, na Tabela 1 são apresentadas as principais variáveis e indicadores do presente trabalho.

**Tabela 1** - Variáveis e indicadores de pesquisa

Variáveis	Indicadores
Indicadores de Manutenção	Disponibilidade Física
	Tempo entre Falhas
	Tempo médio de Reparo
Análise de Falhas	Diagrama de Pareto
	Estratificação
	Confiabilidade
	Criticidade
	Taxa de falhas

**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

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

Para dar embasamento à elaboração da investigação, foi realizada uma pesquisa bibliográfica muito abrangente, contando com livros, artigos, dissertações de mestrado e teses dourado, além de revistas, periódicos e sites sobre os assuntos abordados. Por meio dessa investigação bibliográfica detalhada, tornou-se plausível conseguir melhores conclusões sobre as principais causas a serem tratadas no problema analisado. Durante o trabalho, toda informação encontrada, foi coletada e registrada em arquivos do *Microsoft Word* e *Excel*.

O principal item de análise do estudo foi extraído de uma base de dados de uma empresa siderúrgica de grande porte, sendo, assim, possível realizar a comparação dos métodos utilizados com a bibliografia estudada.

### **3.5 Tabulação de Dados**

A importação dos dados foi obtida através do sistema SAP da empresa e também do resultado de cálculos e funções do *Microsoft Excel*. O *software* utilizado para tabulação dos dados importados e o programa utilizado para documentação dos resultados foram, respectivamente, o *Microsoft Excel* e o *Microsoft Word*.

No capítulo a seguir será tratado o estudo de caso apresentando o objeto de estudo, a aplicação prática proposta e os resultados obtidos.

## 4 RESULTADOS

Como descrito na metodologia, os resultados foram obtidos a partir do uso de dados fornecidos pelo sistema de ordem de serviço da unidade. Neles foram aplicados uma série de análises e ferramentas para obter com precisão as principais causas e sua intensidade relacionada com as paradas para manutenção do virador de vagões.

### 4.1 Tratamento inicial dos dados

O relatório da ordem de serviço, em parte, não possui critérios de preenchimento pré-estabelecidos. Isso significa que o responsável pelo relatório da falha poderia descrever a mesma situação ocorrida anteriormente com palavras diferentes, isso implica por exemplo, que no momento da estratificação de dados poderiam ocorrer duplicatas com falhas no mesmo local e de mesma origem, como o exemplo a seguir: “travamento do braço” e “braço posicionador travado”.

Figura 7 - Dados antes do tratamento

Histórico de quebra e manutenção preventiva do virador de vagões dos últimos 2 anos			
Área	Nome do Equipamento	PP	Motivo
Operação	Virador de Vagões		braço posicionador fora de posição devido quebra do sensor
Operação	Virador de Vagões		regular limite dos calços
Mecânica	Virador de Vagões		desengate do vagão
Operação	Virador de Vagões		problema no braço posicionador
Mecânica	Virador de Vagões	X	parada programada
Elétrica	Virador de Vagões		desarme do braço posicionador
Operação	Virador de Vagões		limpeza na rodas equalizadoras do berço
Operação	Virador de Vagões		reunião com encarregado da equipe
Operação	Virador de Vagões		roda equalizadora do berço
Operação	Virador de Vagões		roda equalizadora do berço
Operação	Virador de Vagões		defeito eletrico
Mecânica	Virador de Vagões	X	pan feeder 01 parado para manutenção
Mecânica	Virador de Vagões	X	pan feeder 01 parado para manutenção
Mecânica	Virador de Vagões	X	pan feeder 01 parado para manutenção
Operação	Virador de Vagões		retirada do andaime do pan feeder 01
Mecânica	Virador de Vagões	X	pan feeder 01 parado para manutenção
Mecânica	Virador de Vagões		pan feeder manutenção
Elétrica	Virador de Vagões		sensor do grampo solto do berço
Operação	Virador de Vagões		descarrilhamento de vagões
Elétrica	Virador de Vagões		defeito eletrico no braço
Mecânica	Virador de Vagões		defeito no braço posicionador

Fonte: Empresa estudada (2019)

A Figura 7 mostra parte do banco de dados utilizado para a pesquisa, nela está contido a área de operação, o nome do equipamento, a coluna PP que significa parada programada e o motivo da parada. Como citado anteriormente, a coluna “Motivo” é preenchida manualmente, o que permite que o responsável pela ordem de serviço descreva o local e causa do problema com suas palavras, podendo gerar duplicatas.

**Figura 8 - Dados após tratamento**

Histórico de quebra e manutenção preventiva do virador de vagões dos últimos 2 anos					
Área	Nome do Equipamento	PP	Motivo	Local de Defeito	Natureza da parada
Operação	Virador de Vagões		braço posicionador fora de posição devido quebra do senso	Braço Posicionador	Quebra
Operação	Virador de Vagões		regular limite dos calços	Calço	Desregulado
Mecânica	Virador de Vagões		desengate do vagão	Vagão	Outros
Operação	Virador de Vagões		problema no braço posicionador	Braço Posicionador	Problema
Mecânica	Virador de Vagões	X	parada programada	Geral	Manutenção Programada
Elétrica	Virador de Vagões		desarme do braço posicionador	Braço Posicionador	Desarme
Operação	Virador de Vagões		limpeza na rodas equalizadoras do berço	Rodas Equalizadoras	Limpeza
Operação	Virador de Vagões		reunião com encarregado da equipe	Local Impreciso	Outros
Operação	Virador de Vagões		roda equalizadora do berço	Berço de Atracação	Outros
Operação	Virador de Vagões		roda equalizadora do berço	Berço de Atracação	Outros
Operação	Virador de Vagões		defeito elétrico	Sala Elétrica	Defeito
Mecânica	Virador de Vagões	X	pan feeder 01 parado para manutenção	Pan Feeder	Manutenção Programada
Mecânica	Virador de Vagões	X	pan feeder 01 parado para manutenção	Pan Feeder	Manutenção Programada
Mecânica	Virador de Vagões	X	pan feeder 01 parado para manutenção	Pan Feeder	Manutenção Programada
Operação	Virador de Vagões		retirada do andaime do pan feeder 01	Pan Feeder	Outros
Mecânica	Virador de Vagões	X	pan feeder 01 parado para manutenção	Pan Feeder	Manutenção Programada
Mecânica	Virador de Vagões		pan feeder manutenção	Pan Feeder	Manutenção Programada
Elétrica	Virador de Vagões		sensor do grampo solto do berço	Grampos	Outros
Operação	Virador de Vagões		descarrilhamento de vagões	Vagão	Outros
Elétrica	Virador de Vagões		defeito elétrico no braço	Braço Posicionador	Defeito

**Fonte:** Adaptado de empresa estudada (2019)

A Figura 8 mostra, parcialmente, o banco de dados utilizado e como foi solucionado o problema das eventuais duplicatas da coluna “motivo”. Para isso, foram acrescentadas mais duas colunas (“Local de Defeito” e “Natureza da Parada”) para padronizar o local e motivo da falha. Portanto, uma vez que os dados foram padronizados, as análises se tornaram satisfatórias.

## 4.2 Estratificação Inicial

Como apresentado na tabela da Figura 8, cada ordem de serviço pode ser realizada por diferentes áreas responsáveis, sendo elas: mecânica, operação e elétrica. Portanto, visando compreender melhor os dados, foi feita uma estratificação dos dados para identificar onde ocorreram a maioria das falhas e qual o tempo de manutenção que cada uma dessas áreas demandou. Este pode ser um fator

significativo porque em muitos casos a falha pode predominar em uma certa área, porém, a solução para o problema pode ser simples, o que demanda pouco tempo de manutenção. Isso implica que, partindo do pressuposto que se o importante é que o equipamento esteja em funcionamento, podemos assumir que é melhor que ele falhe mais vezes e fique pouco tempo em manutenção do que falhe poucas vezes e demande um período de manutenção superior ao que falhando muitas vezes.

**Tabela 2** - Estratificação por área responsável pela ordem de serviço

Área Responsável	Contagem de Paradas por Falha		Duração em Horas da Manutenção	
		%		%
Mecânica	66	28%	435	60%
Operação	70	30%	166	23%
Elétrica	96	41%	123	17%
Total general	232	100%	724	100%

**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

A Tabela 2 confirma a premissa descrita. Como pode-se observar, o equipamento parou para solucionar falhas elétricas 96 vezes (41%), enquanto parou para solucionar falhas mecânicas apenas 66 (28%), com uma diferença de 30 paradas. Por outro lado, a duração, em horas, das manutenções pela área elétrica foram apenas de 123 (17%), enquanto as de mecânica foram de 435 (60%), com uma diferença de 312 horas.

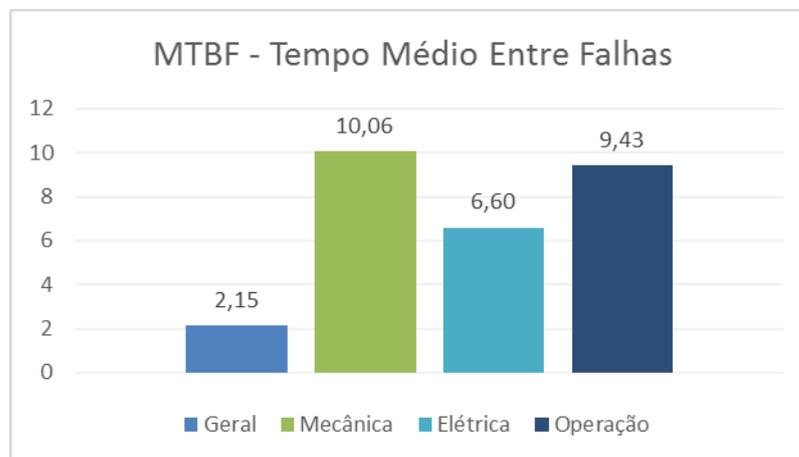
Demonstra-se, com isso, que por mais que tenha ocorrido mais falhas elétricas, o problema é rapidamente solucionado e a máquina retorna a sua operação normal, enquanto, das poucas vezes que ela para por natureza mecânica, permanece muito mais tempo fora de operação para que a manutenção ocorra. Este fato assegura que, neste estudo de caso, as paradas de origem mecânica merecem mais atenção dos que as demais devido à superioridade de sua duração para manutenção.

### 4.3 Confiabilidade do Processo

Como abordado na literatura, a confiabilidade interessa a manutenção pois, quanto mais preciso for esse cálculo, maior o controle da manutenção sobre a máquina (SIQUEIRA, 2005). Portanto, é recomendado que se calcule a confiabilidade para que se saiba a probabilidade do funcionamento da máquina por um período de tempo estipulado.

Neste estudo de caso, a confiabilidade foi calculada para as paradas em geral e também seguindo a estratificação anterior onde também se observa dados a respeito das falhas relacionadas a manutenção, operação e elétrica. A Figura 9 mostra os resultados gráficos obtidos do cálculo do *Mean Time Between Failures* (MTBF), ou em português Tempo Médio Entre Falhas, que é uma etapa anterior ao cálculo de confiabilidade. Como pode-se observar na Figura 9, espera-se que a cada 2,15 dias ocorra uma falha de qualquer natureza, a cada 10,06 dias ocorre uma falha de origem mecânica, a cada 6,60 ocorre uma falha de origem elétrica e a cada 9,43 dias ocorre uma falha de origem operacional.

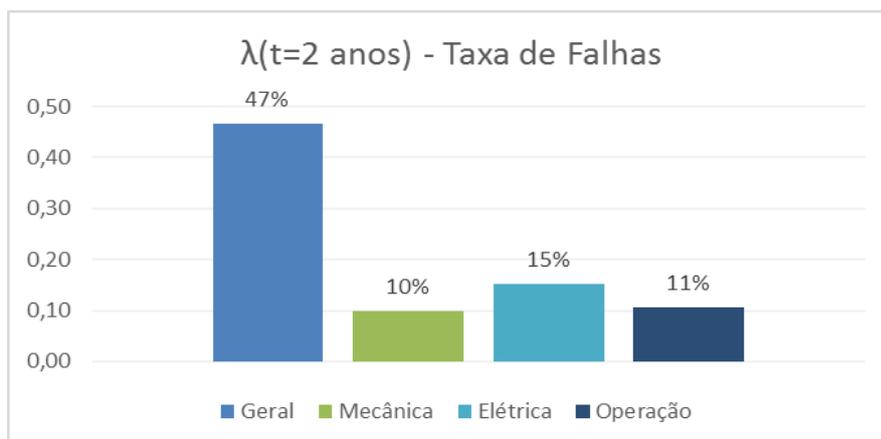
**Figura 9** - Tempo Médio Entre Falhas do Virador de Vagões



**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

Após o cálculo do MTBF deve-se encontrar a taxa de falhas antes de calcular a confiabilidade. Como pode-se ver graficamente, a taxa de falhas corresponde ao inverso do MTBF, portanto, quanto maior o MTBF, menor a taxa de falhas e vice-versa. Na Figura 10 pode-se ver que a máquina, no decorrer de dois anos, possui uma elevada taxa de falha, 47% em geral, 10% correspondente a falhas mecânicas, 15% a falhas elétricas e 11% relacionada a falhas de operação.

**Figura 10** - Taxa de Falhas do Virador de Vagões

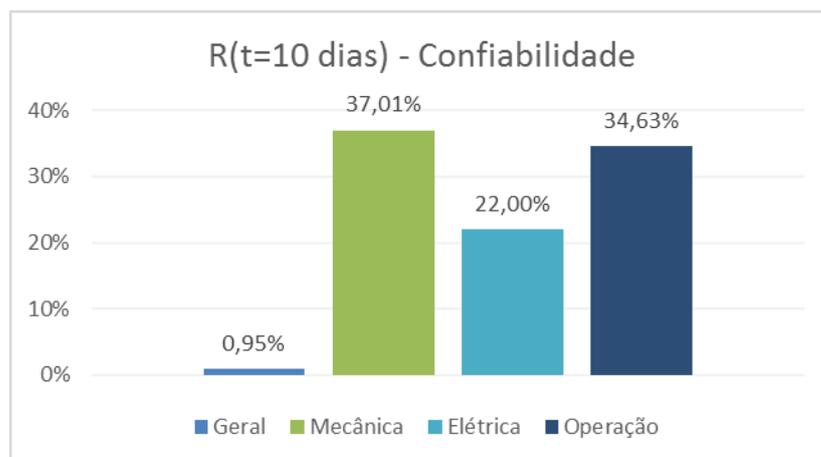


**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

Portanto, após o cálculo do MTBF e da taxa de falhas, chega-se ao resultado gráfico do cálculo de confiabilidade, utilizando da Equação (1). Como citado na literatura, a confiabilidade é relacionada a um período de tempo estabelecido. Para esta análise foi escolhido o período de 10 dias, uma vez que os resultados anteriores já apresentaram altos índices de falha.

De acordo com a Figura 11, pode-se assumir que a probabilidade do virador de vagões operar, de acordo com a suas especificações sem que ocorram falhas funcionais de nenhuma natureza, é de 0,95% nos próximos 10 dias. Para este estudo de caso, esta porcentagem é muito baixa pois significa que o equipamento não passa uma semana sequer sem apresentar defeito. Analisando separadamente, percebe-se que as falhas funcionais de natureza mecânica, elétrica e operação, em um período de 10 dias, são de 37,01%, 22% e 34,63% respectivamente, ou seja, de baixa confiabilidade.

**Figura 11 - Confiabilidade do processo do Virador de Vagões**



**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

Após a análise dos dados de confiabilidade, ficou comprovado que este processo/equipamento apresenta altos índices de falha em um curto período de tempo, ou seja, pouca confiabilidade, o que justifica a necessidade deste estudo que objetiva estratificar e quantificar as causas e o lugar onde ocorrem as falhas, como apresentado nos tópicos a seguir.

#### 4.4 Estratificação dos Causadores e Local das Falhas

Neste tópico é apresentado os valores agregados dos causadores e o local onde ocorrem as falhas por contagem e horas paradas para manutenção. Este procedimento é essencial para que, uma vez identificado o nicho e a localização dos erros, seja possível, conseqüentemente, concentrar esforços por parte da equipe de manutenção a fim de evitá-los.

A Tabela 3 apresenta o local e a quantidade ordenada de falhas ocorridas nele. Portanto, pode-se ver claramente a concentração de falhas ocorrida no braço posicionador que atingiu expressivas 88 falhas, 3 vezes mais que o segundo maior local, grampos com 27 falhas, seguido de berço de atracação com 24. Também foi possível notar que em alguns casos o erro ocorreu apenas uma vez e não voltou a se repetir como o caso da cremalheira, do cabo da lira e do mangote hidráulico.

**Tabela 3** - Quantidade de ocorrências de falhas por local da falha

Local da Falha	Contagem de Falhas
Braço Posicionador	88
Grampos	27
Berço de Atracação	24
Geral	15
<i>Pan Feeder</i>	12
Calço	11
Rodas Equalizadoras	8
Mandibula do Braço Posicionador	7
Sala Elétrica	6
Local Impreciso	6
Painel de Controle	5
Vagão	5
Correia Transportadora - M1S	3
Carro Posicionador	3
SFPI	2
Ventilador dos Motores	2
Chave Cames	1
Sistema de Câmeras	1
Mangote hidráulico	1
Cabo da Lira	1
Cremalheira	1
Eixo Flutuante	1
BF-1	1
<i>Hooper</i>	1
<b>Total</b>	<b>232</b>

**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

A Tabela 4 faz uma abordagem semelhante à da Tabela 3, porém considerando a duração em horas de manutenção. Portanto, seguindo a premissa do Tópico 4.2, percebe-se que mesmo o braço posicionador sendo responsável por quase 6 vezes mais do local de falha do que as classificadas como local geral, esta, por sua vez, possui o mais alto índice de horas paradas com 193,95 horas, seguida pelos locais mais expressivos como o braço posicionador, com 154,25 horas, e o *pan feeder*, com 127,18 horas. Uma explicação para esta diferença é o fato da manutenção programada tomar muito tempo para ser concluída e ser classificada como geral. Isso

explica, portanto, porque ela não ocorre com tanta frequência mas toma muito tempo para ser executada.

**Tabela 4** - Duração da manutenção em horas por local da falha

Local da Falha	Duração da manutenção em Horas
Geral	193,95
Braço Posicionador	154,25
<i>Pan Feeder</i>	127,18
Grampos	52,58
Vagão	41,50
Berço de Atracação	38,42
Mandíbula do Braço Posicionador	21,47
Calço	16,02
Sala Elétrica	13,48
Rodas Equalizadoras	11,23
Local Impreciso	9,70
Cremalheira	7,00
Painel de Controle	6,72
Mangote hidráulico	5,95
BF-1	4,95
Cabo da Lira	3,85
Ventilador dos Motores	3,67
Eixo Flutuante	3,67
Correia Transportadora - M1S	2,87
Carro Posicionador	2,83
SFPI	1,30
Chave Cames	1,00
<i>Hooper</i>	0,42
Sistema de Câmeras	0,32
<b>Total</b>	<b>724,32</b>

**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

A Tabela 5 segue o objetivo da Tabela 3, porém, desta vez quantificando o número de falhas de acordo com sua natureza. Portanto, pode-se perceber que a causa predominante foi o desarme com 84 ocorrências, quase 4 vezes mais que o segundo colocado, defeito com 23, seguido pela manutenção programada com 21. Neste caso, apenas poucas causas de falha não voltaram a se repetir.

**Tabela 5** - Quantidade de ocorrências de falhas por natureza da falha

Natureza da Falha	Contagem de Falhas
Desarme	84
Defeito	23
Manutenção Programada	21
Travamento	15
Outros	13
Falha	13
Entupimento	9
Quebra	9
Troca	8
Limpeza	8
Soldar Trinca	6
Rompimento	5
Manutenção	4
Desalinhamento	3
Vazamento	2
Acoplamento	2
Reparo	2
Problema	2
Calibração	1
Desregulado	1
Deslocado	1
<b>Total</b>	<b>232</b>

**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

A Tabela 6 segue o procedimento da Tabela 5, se distingue apenas por analisar os dados dos causadores por duração da manutenção (em horas). Porém, a ordem dos resultados se alterou, pois, a natureza da falha implica na quantidade de horas necessárias para tratá-la. Neste caso, confirma-se o que foi dito anteriormente, ou seja, que a manutenção programada apesar de não ocorrer com mais frequência como o desarme, é uma manutenção que toma muito tempo para ser concluída e por isso este expressivo valor de 313,62 horas paradas, quase 4 vezes maior que desarme com 80,75 horas, seguido por defeito com 70,58.

**Tabela 6** - Duração da manutenção em horas por natureza da falha

Natureza da Falha	Duração da manutenção em Horas
Manutenção Programada	313,62
Desarme	80,75
Defeito	70,58
Troca	37,05
Acoplamento	35,13
Outros	30,80
Soldar Trinca	23,85
Quebra	21,58
Travamento	18,88
Falha	17,88
Rompimento	17,15
Manutenção	11,35
Limpeza	11,23
Reparo	10,30
Entupimento	5,97
Calibração	4,95
Vazamento	4,95
Desalinhamento	2,87
Desregulado	2,02
Deslocado	1,72
Problema	1,68
<b>Total</b>	<b>724,32</b>

**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

Portanto, pode-se concluir que a natureza e o local das falhas estão concentrados em poucos causadores e locais. Também conclui-se que a contagem de falhas não necessariamente implica no principal causador de defeitos, caso seja assumido que o tempo em horas parado como o principal parâmetro.

#### 4.5 Gráfico de Pareto

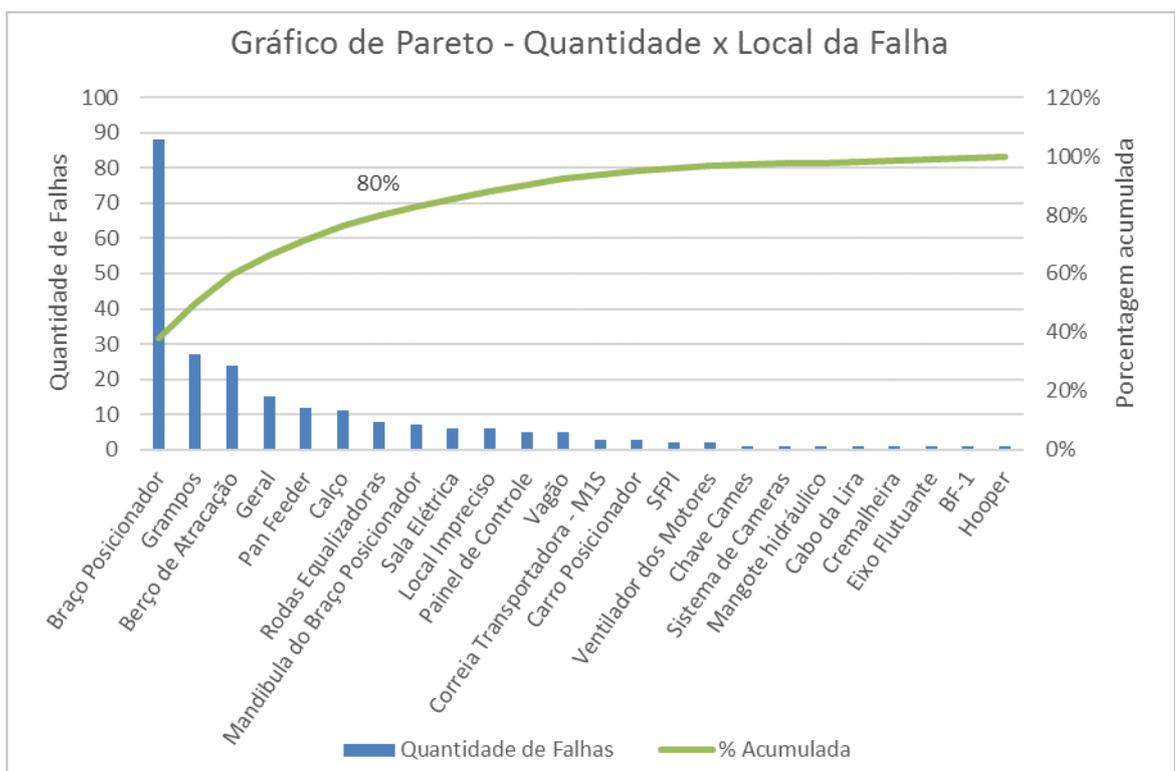
A análise das estratificações através do gráfico de Pareto tem como objetivo identificar os principais motivos das falhas satisfazendo a regra 80-20, onde 80% das consequências decorrem de 20% das causas, o que permite dizer que grande parte dos problemas se concentram em poucas causas. A principal diferença para um gráfico normal é que, no diagrama de Pareto, os itens são analisados através da porcentagem acumulada, o que nos permite observar a regra 80-20. As próximas

análises foram feitas seguindo o Tópico 4.4, na qual são examinadas separadamente por local de falha e natureza da falha.

#### 4.5.1 Local Afetado por Quantidade e Horas Parado

A princípio, analisou-se a porcentagem acumulada das falhas pelo local onde as avarias ocorreram. A Figura 12 comprova graficamente o expressivo índice de falhas do braço posicionador, mas também indica que seguindo a regra 80-20 os locais também responsáveis por 80% das causas são respectivamente: grampos, berço de atração, geral, *pan feeder* e calço.

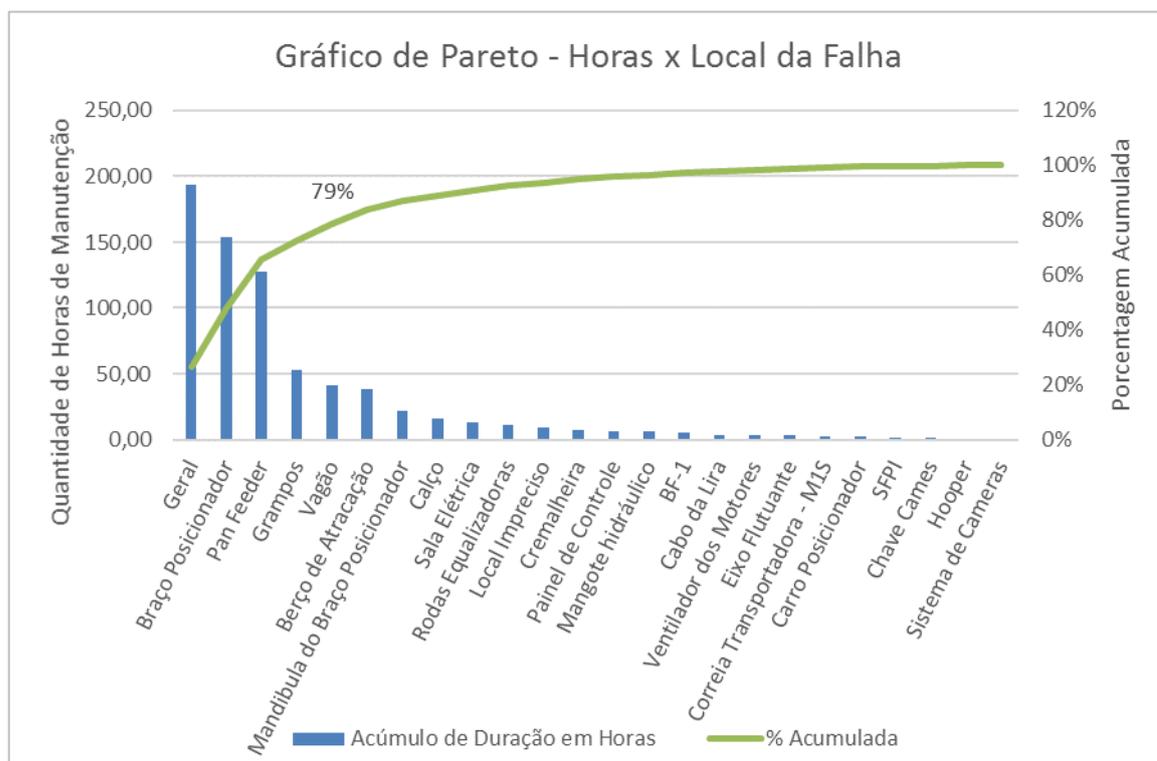
**Figura 12** - Gráfico de Pareto: Quantidade de falhas pelo local da falha



**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

A Figura 13 apresenta a mesma análise, porém, desta vez levando em consideração a quantidade de horas utilizadas para a realização da manutenção em cada um dos lugares de falhas. Percebe-se que a concentração das horas gastas para manutenção está contida nos principais locais, que são: geral, braço posicionador e *pan feeder*. No entanto, dentro dos 80% das consequências também se encontram grampos e vagão.

**Figura 13** - Gráfico de Pareto: Horas acumuladas pelo local da falha

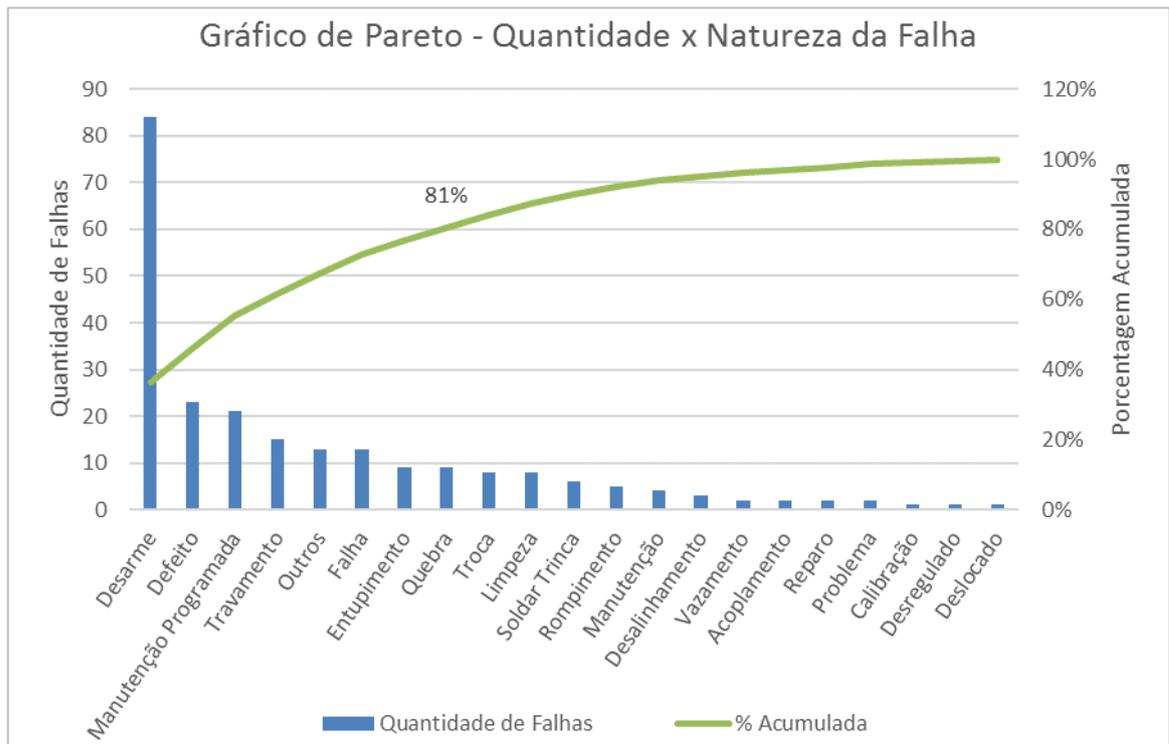


Fonte: Pesquisa direta (2020)

#### 4.5.2 Natureza das Falhas por Quantidade e Horas Parado

Analisou-se, agora, a porcentagem acumulada das falhas pela natureza que fizeram com que elas ocorressem. De acordo com a Figura 14, pode-se analisar graficamente o expressivo índice de falhas em decorrência do desarme, seguido dos outros itens que compõem os 80% das causas, que são, respectivamente: defeito, manutenção programada, travamento, outros, falha, entupimento e quebra.

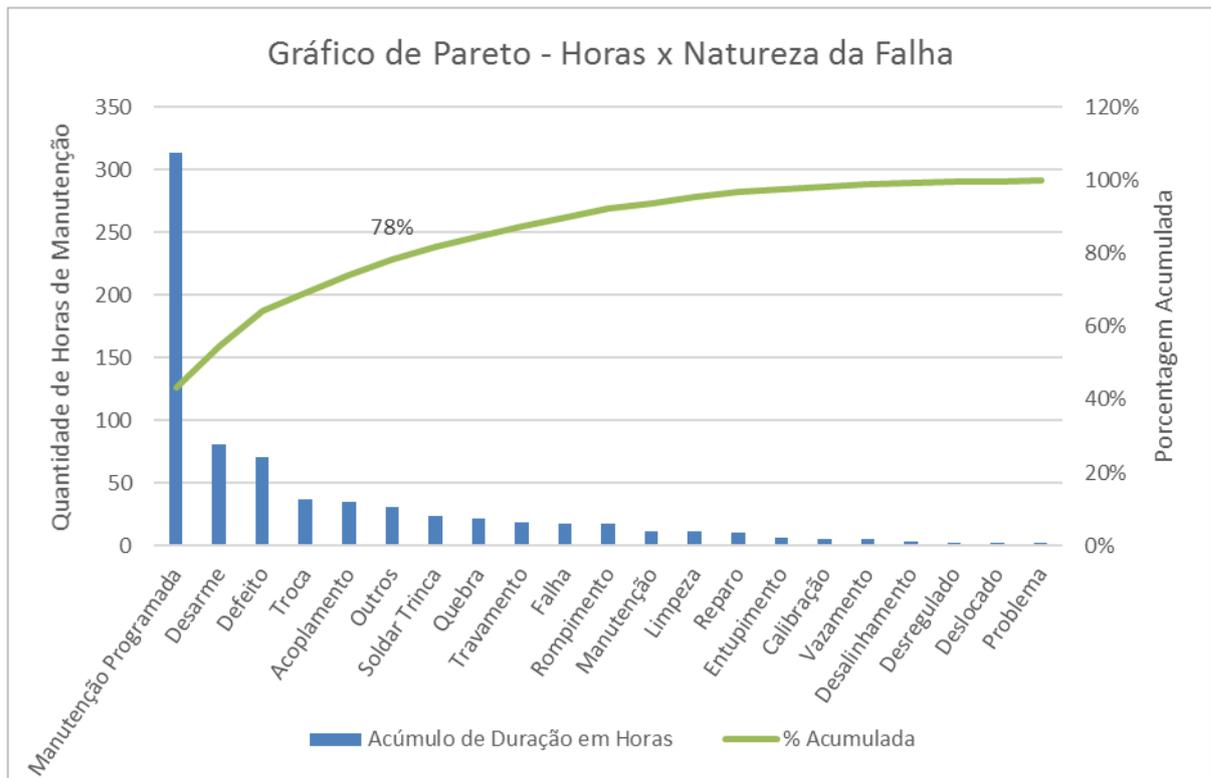
**Figura 14** - Gráfico de Pareto: Quantidade de falhas pela natureza da falha



**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

Na Figura 15 apresenta-se a mesma abordagem da Figura 14, porém desta vez levando em consideração a quantidade de horas utilizadas para a realização da manutenção causada pela natureza da falha. Percebe-se que os acúmulos das horas gastas foram principalmente em decorrência da manutenção programada. No entanto, também estão dentro dos 80% das consequências: desarme, defeito, troca, acoplamento e outros.

**Figura 15** - Gráfico de Pareto: Horas acumuladas pela natureza da falha



**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

#### 4.6 Sintetização dos Resultados

Esta abordagem sintetiza todos os cálculos e análises realizados até aqui através do uso da tabela dinâmica junto ao mapa de calor para apontar os principais locais e natureza das falhas. Para esta análise foi excluída a manutenção programada por não se tratar de uma falha funcional e ser uma atividade inerente da manutenção.

Na Figura 16 observa-se os principais resultados críticos filtrados e ordenados com o objetivo de auxiliar a equipe de manutenção na tomada de decisão de onde devem focar com mais cautela e urgência. A Figura 16 destaca as quantidades dos locais e naturezas de falha que ocorreram mais vezes neste período de tempo. Portanto, nota-se que os locais que merecem atenção inicial são: braço posicionador, grampos e berço de atração. Em seguida, temos as naturezas de falha que mais ocorreram: desarme, defeito e travamento. É interessante ressaltar que é recomendável dar atenção especial ao problema de desarme localizado no braço posicionador por sua disparidade em relação aos demais.

**Figura 16** - Tabela dinâmica e mapa de calor da quantidade de falhas

Contagem de Local de Defeito			
Local/Natureza	Desarme	Defeito	Travamento
Braço Posicionador	52	11	7
Grampos	2	4	2
Berço de Atracção	14	2	2

**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

A Figura 17 segue o modelo utilizado na Figura 16, porém, esta destaca a soma da duração da manutenção em horas dos locais e naturezas de falha que ocorreram com mais frequência neste período de tempo. Observa-se que os locais mais afetados seguem exatamente a Figura 16, em ordem de importância: braço posicionador, grampos e berço de atracção. Por outro lado, analisando as naturezas de falha percebemos que o terceiro item se diferencia do modelo anterior, sendo: desarme, defeito e troca. Ainda de acordo com a figura 16, o ponto crítico nesta análise também é o problema de desarme no braço posicionador, devendo este, receber atenção especial por parte dos responsáveis pela manutenção do equipamento.

**Figura 17** - Tabela dinâmica e mapa de calor das horas somadas por falha

Soma de Duração em Horas			
Local/Natureza	Desarme	Defeito	Troca
Braço Posicionador	44,467	41,183	21,250
Grampos	1,300	16,567	1,483
Berço de Atracção	14,200	2,900	

**Fonte:** Pesquisa direta (2020)

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou investigar e propor soluções para falhas em um virador de vagões de minério em uma empresa de siderurgia. Fizeram parte do universo amostral que o estudo foi fundamentado, os locais onde ocorreram as falhas e a natureza dos defeitos. As abordagens e o diagnóstico para caracterização das falhas foram realizados de acordo com uma coleta e análise de dados em relação aos registros das ordens de serviço para manutenção do equipamento. Foram características fundamentais para esta análise: área, nome do equipamento, data de início e término da manutenção, hora de início e término da manutenção, duração em horas, motivo. Todas as demais características abordadas foram obtidas através da filtragem e estratificação dos dados, como: local de defeito e natureza da parada.

Com o estudo da literatura do tema foi possível identificar a necessidade da utilização de ferramentas para análise de falhas no processo em questão. Os tipos de metodologias foram abordados no decorrer do trabalho, baseando-se em distintos autores, e seguida da aplicação prática nas questões a serem respondidas. Foi possível observar a compatibilidade dos resultados obtidos no Capítulo 4 com a literatura abordada no Capítulo 2.

Uma vez feita as análises foram identificadas 24 locais onde ocorreram as falhas e 21 motivos pelo qual elas ocorreram (natureza). Também foram realizados cálculos de confiabilidade, análises gráficas, estratificações e considerações finais. Esses dados podem ser encontrados no Capítulo 4 deste trabalho.

Os resultados obtidos nesse estudo têm o objetivo de auxiliar a equipe de manutenção envolvida no processo de modo que eles possam melhorar o critério de classificação dos defeitos encontrados no virador de vagões, assim como buscar reduzir a ocorrência dos problemas dando prioridade para atuar nos locais e causadores que ocorrem com mais frequência, e por fim, o banco de dados desenvolvido para este trabalho pode servir como base para que os encarregados continuem com as análises feitas até o presente momento.

No decorrer do estudo e realização deste trabalho foram identificados pontos adicionais que poderiam ser inseridos visando o aprimoramento da aplicação das técnicas de análise de falhas, sendo estes:

- Realizar as análises dos Tópicos 4.4 e 4.5 separados pelas áreas mecânica, operação e elétrica, com o objetivo de designar os defeitos das áreas correspondentes;
- Calcular a confiabilidade especificamente para os maiores causadores das paradas;
- Comparar o custo de uma eventual manutenção preventiva com o custo do tempo atual de máquina parada para identificar quantitativamente o valor que a empresa perde por não utilizar este tipo de manutenção que procura evitar que o defeito venha a ocorrer.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Norma Brasileira Regulamentadora 5462 – NBR 5462: **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BLOOM, N. **Reliability Centered Maintenance (RCM): implementation made simple**. 1a. ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2006.
- BRANCO FILHO, G. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1a. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.
- CRESWELL, J. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativos, quantitativos e misto**. 3ed. Porto Alegre. Artmed, 2010.
- CRUZ, A. V. A. **Otimização de planejamento com restrições de precedência usando algoritmos genéticos e co-evolução cooperativa**. Dissertação. DEE, PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2003.
- DOHI, T.; ASHIOKA, A.; OSAKI, S.; KAIO, N. **Optimizing the repair-time limit replacement schedule with discounting and imperfect repair**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 7, n. 1, p. 71-84, jan-abr 2001.
- DUTRA, J. T. **Curva PF: O que é e como usar**. Engeteles. [S.l.], [2018?]. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/curva-pf/>> Acesso em: 07 out. de 2020.
- FOGLIATTO, F.; RIBEIRO, J. A. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Elsevier Ed., 2009.
- GIL, A. C. – **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. – **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GRESSLER, L. A. **Introdução à pesquisa: projetos e relatórios**. São Paulo: Loyola, 2004.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. A. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualymark Ed., 2001. 96 p.

- KARDEC, A.; NASCIF, J. A. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualymark Ed., 2007.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. A. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualymark Ed., 2009.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.
- MOBLEY, R. K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, D. J. **Maintenance Engineering Handbook**. 7a. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- MORESI, E. **Metodologia da Pesquisa**, 2003 (Programa de Pós- Graduação stricto Sensu em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação).
- MORO, N. **Gestão da manutenção**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – Florianópolis, 2007. 6 p.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment**. Washington, 2000.
- PAPIC, L.; ARONOV, J.; PANTELIC, M. **Safety Based Maintenance Concept**. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, New Jersey (USA), v. 16, n. 6, p. 533–549, dez. 2009.
- PERINI, C. A. **Estudo do sistema de gestão de limpeza industrial no Porto de Tubarão**. Monografia do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Portuária da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Vitória, 2010.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3. ed.; São Paulo: Atlas, 2009.
- SPAMER, F.R. **Técnicas Preditivas de Manutenção de Máquinas Rotativas**. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

VERGARA, S. C. – **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 1997.

VIANA, H. R. G. **PCM, Planejamento e Controle de Manutenção**. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2002.