



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**THIAGO FERNANDES ANÍCIO COSTA**

**ESTUDO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE NA  
MELHORIA DA CONFIABILIDADE DOS ATIVOS CRÍTICOS: O  
CASO DO DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO DE UMA EMPRESA  
SIDERÚRGICA**

**OURO PRETO - MG  
2022**

**THIAGO FERNANDES ANÍCIO COSTA**

**thiago9198@gmail.com**

**ESTUDO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE NA  
MELHORIA DA CONFIABILIDADE DOS ATIVOS CRÍTICOS: O  
CASO DO DEPARTAMENTO DE MANUTENÇÃO DE UMA EMPRESA  
SIDERÚRGICA**

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 Luís Vieira da Silva

**OURO PRETO – MG  
2022**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C837e Costa, Thiago Fernandes Anicio.

Estudo da Manutenção Centrada em Confiabilidade na melhoria da confiabilidade dos ativos críticos [manuscrito]: o caso do Departamento de Manutenção de uma empresa siderúrgica. / Thiago Fernandes Anicio Costa. - 2022.

69 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira da Silva.

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

1. Manutenção. 2. Engenharia (Confiabilidade) - Manutenção. 3. Ativos Críticos. 4. Empresa siderúrgica. I. Silva, Washington Luís Vieira da. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

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



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Thiago Fernandes Anício Costa**

### **Estudo da Manutenção Centrada em Confiabilidade na melhoria da Confiabilidade dos Ativos Críticos: o caso do Departamento de Manutenção de uma empresa siderúrgica**

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

Aprovada em 03 de junho de 2022

#### Membros da banca

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

Washington Luis Vieira da Siva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/06/2022



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/06/2022, às 11:45, 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 **0351008** e o código CRC **C7B81B07**.

## **AGRADECIMENTO**

Ao meu orientador Washington Luís Viera da Silva, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Hernane e Furlan pela confiança e oportunidade.

À Stéfany por todo amor e apoio incondicional, sem você nada seria possível.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

Viva a vida republicana!

Os que voarem serão deuses.

*“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo.”.*

Paulo Freire

## RESUMO

COSTA, Thiago Fernandes Anício: **Estudo da Manutenção Centrada em Confiabilidade na melhoria da confiabilidade dos ativos críticos: O caso do Departamento de Manutenção de uma Empresa Siderúrgica**, 2022. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto

Este trabalho tem como objetivo analisar como a abordagem teórica da Manutenção Centrada em Confiabilidade pode auxiliar na melhoria da confiabilidade dos ativos do Departamento de Manutenção de uma empresa siderúrgica. Para tal fim foram realizadas pesquisas detalhadas acerca dos conceitos de manutenção, confiabilidade e manutenção centrada em confiabilidade. A metodologia utilizada foi baseada em estudo de caso e análise de aplicação teórica do método da Manutenção Centrada em Confiabilidade no setor escolhido. Através de um questionário respondido por um dos colaboradores da equipe de manutenção da empresa, foi possível conhecer um pouco sobre a política de manutenção utilizada pelas áreas de manutenção e, por conseguinte, analisar e discutir possíveis resultados diante da aplicação teórica do método. Dessa forma os resultados desse estudo sugerem, através da observação direta, a hipótese de identificação de falhas como a falta de uso de indicadores de performance essenciais na rotina de manutenção, bem como apresentar possibilidades propostas de melhorias como adotar o uso da árvore lógica de decisão na rotina de manutenção e definição de metas para rendimento/disponibilidade para os ativos críticos de produção, dentre outros.

**Palavras-chave:** Manutenção, Manutenção Centrada em Confiabilidade, ativos críticos, empresa siderúrgica.

## ABSTRACT

*This work aims to analyze how the theoretical approach of Reliability Centered Maintenance can help to improve the reliability of the assets of the Maintenance Department of a steel company. For this purpose, detailed research was carried out on the concepts of maintenance, reliability and reliability-centered maintenance. The methodology used was based on a case study and analysis of the theoretical application of the Reliability Centered Maintenance method in the chosen sector. Through a questionnaire answered by one of the employees of the company's maintenance team, it was possible to know a little about the maintenance policy used by the maintenance areas and, therefore, to analyze and discuss possible results in the face of the theoretical application of the method. Thus, the results of this study suggest, through direct observation, the hypothesis of identifying failures such as the lack of use of essential performance indicators in the maintenance routine, as well as presenting proposed possibilities for improvements such as adopting the use of the logical decision tree in the maintenance routine and definition of targets for yield/availability for critical production assets, among others.*

**Key-words:** *Maintenance, Reliability Centered Maintenance, critical assets, steel company.*

**LISTA DE SIMBOLOS**

$R(t)$  = confiabilidade no 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

$\beta$  = parâmetro de forma

$\alpha$  = parâmetro de escala

$\gamma$  = parâmetro de posição ou localização

## LISTA DE SIGLAS

DIR – Diretoria da Unidade

FMEA - Análise de Modos de Falha e Seus Efeitos

GACAT – Gerência de Área de Controle e Acondicionamento de Tarugo

GAEMA – Gerência de Área de Engenharia de Manutenção

GAMAC – Gerência de Área de Manutenção da Aciaria

GAMLA – Gerência de Área de Manutenção da Laminação

GAMRE – Gerência de Área de Manutenção da Redução

GAUTI – Gerencia de Área de Utilidades

GEACI – Gerência da Aciaria

GECTQ – Gerência de Controle de Tarugos e Qualidade

GEEMU – Gerência de Engenharia de Manutenção e Utilidades

GELAM – Gerência da Laminação

GERED – Gerência da Redução

KPI – Indicador de performance

LTA - Árvore Lógica de Decisão

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MTBF- Tempo médio entre falhas

MTTR- Tempo médio de reparo

RCM - Reliability-centered Maintenance

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Evolução da Manutenção .....	5
Figura 2 - Evolução das técnicas de manutenção .....	6
Figura 3: Desempenho X Tempo, manutenção corretiva não planejada .....	8
Figura 4: Curva da banheira .....	14
Figura 5: Função densidade de falhas em uma distribuição de Weibull.....	16
Figura 6: Formulário da FMEA.....	20
Figura 7: Diagrama estrutural da Árvore Lógica de Decisão.....	21
Figura 8: Formulário para registro de consequência das falhas .....	22
Figura 9: Representação da metodologia utilizada .....	25
Figura 10: Estrutura das gerências de manutenção.....	29

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Variáveis e indicadores utilizados na pesquisa .....	26
Tabela 2- Propostas sugeridas .....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa .....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral.....	3
1.3.2	Específicos .....	3
1.4	Estrutura do Trabalho .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1	Manutenção.....	4
2.1.1	Manutenção Corretiva.....	7
2.1.2	Manutenção Preventiva.....	9
2.1.3	Manutenção Preditiva .....	9
2.2	Confiabilidade.....	10
2.2.1	Indicadores e conceitos .....	11
2.3	Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC.....	17
2.3.1	Funções e padrões de desempenho .....	19
2.3.2	Falhas funcionais .....	19
2.3.3	FMEA .....	19
2.3.4	Árvore Lógica de Decisão.....	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>23</b>
3.1	Tipo de pesquisa.....	23
3.2	Materiais e métodos.....	25
3.3	Variáveis e Indicadores .....	26
3.4	Instrumento de coleta de dados.....	27
3.5	Tabulação dos dados .....	27
3.6	Considerações finais do capítulo.....	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
4.1	Características da empresa/setor .....	28
4.1.1	Sobre a empresa.....	28
4.2	Diagnóstico do MCC aplicado pela empresa.....	35

4.2.1	Gestão da manutenção .....	35
4.2.2	Estoque.....	36
4.2.3	Melhorias.....	37
4.2.4	Criticidade .....	38
4.2.5	Confiabilidade .....	38
4.2.6	Propostas de melhorias .....	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>42</b>
5.1	Conclusões.....	42
5.2	Recomendações.....	42
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>47</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Com a busca pela melhoria contínua e excelência produtiva pelas empresas, observa-se que funções organizacionais passam a ser essenciais no cotidiano empresarial, como: suprimentos, recursos humanos, vendas, produção e manutenção. Assim, a manutenção tornou-se uma das funções inevitáveis para qualquer empresa, oferecendo sempre suporte e segurança ao ciclo produtivo.

Segundo a NBR-5462 *apud Xenos et al.* (1998, p.18), a manutenção é definida como “a combinação de 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”.

Para Viana (2002), uma manutenção eficaz faz-se necessária de programas consistentes de forma a assegurar a confiabilidade da produção. Para Leemis *apud Fogliatto et al.* (2002, p.17), a confiabilidade é definida como “a probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado tempo e sob condições ambientais predeterminadas”.

Diante da necessidade em se ter ativos mais confiáveis e do avanço dos estudos sobre confiabilidade na década de 60, houve o surgimento da RCM - Reliability-centered Maintenance, em português Manutenção Centrada em Confiabilidade (RAUSAND, 1998).

De acordo com Moubrey (1997) a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é conceituada como um processo utilizado para assegurar que o ativo continue exercendo sua função requerida em seu contexto operacional, ou seja, confiabilidade funcional.

Para efeitos de aplicação do MCC do ponto de vista de proposta, foi selecionada uma empresa do ramo siderúrgico com foco na produção de aços longos em fio máquina, na qual são utilizadas como matérias-primas por indústrias diversificadas como: automobilística, de embalagens, limpeza, construção civil, naval, entre outras. Das funções organizacionais existentes na empresa tem-se a Gerência de Área de Engenharia de Manutenção, que possui a responsabilidade de evitar paradas e falhas no processo produtivo de toda a planta.

Para entender o funcionamento do setor de manutenção da empresa estudada e propor melhorias é importante ter uma visão clara da Manutenção Centrada em Confiabilidade

(MCC) e suas ferramentas a fim de evitar falhas, aumentar a confiabilidade dos ativos e consequentemente obter aprimoramento do setor, como proposto teoricamente. Assim, observou-se algumas atividades que o setor de manutenção vem enfrentando dificuldades, como: falta de padronização dos procedimentos de manutenção, necessidade de melhorar roteiros e planos de manutenção, deficiência dos resultados dos indicadores e da confiabilidade dos seus ativos. Assim, verifica-se a necessidade de investigar como a Manutenção Centrada em Confiabilidade pode auxiliar nos processos de manutenção da empresa estudada.

Diante desse contexto, tem-se a seguinte questão problema:

**Como a Manutenção Centrada em Confiabilidade pode auxiliar na melhoria da confiabilidade dos ativos críticos do Departamento de Manutenção de uma empresa siderúrgica?**

## **1.2 Justificativa**

A evolução das indústrias desde os primórdios da Primeira Revolução Industrial, junto à ambição humana, fomentou o desejo da melhoria contínua com enfoque em qualidade e custo mínimo. As fábricas se automatizam cada vez mais, e trazem consigo um crescimento emergente de novos conceitos e técnicas de manutenção (MOUBRAY, 1997).

Xenos (1998) afirma que os desafios industriais em busca da excelência produtiva colocaram a manutenção em evidência, tornando-a indispensável à produção, que passou a ser considerada como a base de toda a atividade industrial. Segundo Moubray (1997), esses desafios enfrentados atualmente não se tratam somente em aprender certas técnicas, e sim decidir quais são úteis ou não, diante de cada necessidade.

Para Moubray (1997), do ponto de vista de engenharia, a Manutenção Centrada em Confiabilidade deixou de ser uma técnica opcional e passou a ser essencial nas indústrias que almejam confiabilidade tanto de seus ativos quanto de produção.

Diante de tal importância, esta pesquisa tem como finalidade apresentar um estudo de caso abordando teoricamente como a metodologia MCC, seus conceitos e etapas de aplicação podem auxiliar na confiabilidade dos ativos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Geral**

Analisar como a Manutenção Centrada em Confiabilidade pode auxiliar na melhoria da confiabilidade dos ativos do Departamento de Manutenção de uma empresa siderúrgica.

### **1.3.2 Específicos**

- Realizar estudo teórico sobre manutenção, confiabilidade e metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade;
- Elaborar um procedimento metodológico para identificar as contribuições do MCC no setor estudado;
- Desenvolver um roteiro para realizar um diagnóstico do setor estudado;
- Aplicar um procedimento para verificar quais abordagens do MCC são aplicadas pela empresa;
- Comparar a base teórica com os resultados obtidos para analisar as contribuições teóricas do MCC em relação a confiabilidade dos ativos.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a formulação do problema, a justificativa do trabalho e seus objetivos. O segundo capítulo trata da fundamentação teórica dos conceitos e teorias abordando a manutenção, confiabilidade e Manutenção Centrada em Confiabilidade. Para o terceiro capítulo tem-se a metodologia aplicada na pesquisa assim como as ferramentas utilizadas. No quarto capítulo são apresentados quais procedimentos do MCC são abordados pela empresa. Para finalizar o trabalho, tem-se o quinto capítulo em que será apresentado as conclusões deste trabalho e as possíveis sugestões.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manutenção

Segundo o dicionário Aurélio (2010, p. 1332), manutenção é conceituada como “as medidas necessárias para a conservação ou permanência de alguma coisa ou situação” e como “os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”.

De acordo com a NBR 5462 (1994, p. 6), manutenção pode ser definida como “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou realocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”, a mesma norma NBR 5462 (1994, p. 1) também estabelece um item como “qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente”.

Tavares (1999) trata a manutenção como algo indispensável para o processo produtivo de qualquer organização, sua função é fornecer recursos para que haja uma relação eficiente entre operação e produção, a fim de que seja possível manter os sistemas e equipamentos em boas condições de funcionamento, evitando-se o desgaste e deterioração causados, eventualmente, por falhas humanas e desgaste natural.

Nos últimos 30 anos a atividade de manutenção evoluiu talvez mais do que qualquer outra disciplina de gerenciamento. Essas mudanças devem-se a um conjunto de fatores como: aumento da complexidade de projetos, diversidade de maquinário e surgimento de novas técnicas de manutenção. Essas atitudes evidenciam o crescimento da conscientização da relação entre a qualidade do produto e a produção, tanto a ampliação da maturidade gerencial quanto a importância da manutenção como função estratégica para o aperfeiçoamento de resultados e competitividade (MOUBRAY, 1997).

Para Kardec & Nascif (2009) a evolução da manutenção pode ser dividida em quatro gerações, pode-se observar o constante aumento das expectativas e conceitos, bem como o surgimento de novas técnicas e medidas de manutenção com o passar dos anos; como mostra a Figura 1.



Figura 1- Evolução da Manutenção  
Fonte: Mortelari (2011)

A figura 1 evidencia as quatro gerações da manutenção assim como seu desenvolvimento no decorrer do tempo.

Conforme Kardec & Nascif (2009), a Primeira Geração engloba o período pré-Segunda Guerra Mundial (1939-1945), tempo em que a indústria era pouco mecanizada, sendo a maioria de seus ativos relativamente simples e superdimensionados. As demandas da sociedade na época eram outras, com isso a produção não era prioridade para as fábricas, o que tornava a manutenção sistemática desnecessária, com foco apenas em limpeza, lubrificação e assistência técnica somente após quebra de equipamento.

O cenário mudou bastante pós Segunda Guerra Mundial, afirma Moubrey (1997), as demandas cresceram drasticamente, a produção passou a ser prioridade e a mão de obra tornou-se escassa, ocasionando no aumento da mecanização industrial e complexidade de maquinário, marcando o início da Segunda Geração que ocorreu entre os anos 50 e 70.

Na década de 60, a busca por uma produtividade maior, bem como disponibilidade e confiabilidade, acarretou intervenções periódicas nos equipamentos com a finalidade de se evitar paradas na produção, surgindo assim a manutenção preventiva. A partir daí, percebeu-se a importância de ter um planejamento a ser seguido, bem como ter o controle dos custos de manutenção que cresceram em paralelo as inovações e quantidade de ativos, conduzindo para surgimento do planejamento e controle de manutenção, um dos mais importantes integrantes da manutenção moderna (KARDEC; NASCIF, 2009).

A partir da década de 70, a paralização da produção era motivo trivial de preocupação devido a tendência do sistema *just-in-time*, que visava uma produção enxuta e sem estoque. O crescimento acentuado da automatização fez com que a confiabilidade e disponibilidade se tornassem pilares essenciais para o processo produtivo (MOUBRAY, 1997).

O constante foco em confiabilidade e disponibilidade, que são as medidas de performance mais importantes existentes, ocasionou o aprofundamento e ramificação de medidas adotadas na Terceira Geração, originando a Quarta, na qual podemos observar o surgimento de novas preocupações e atividades como manutenibilidade, segurança, análise de falhas, gerenciamento de ativos, entre outros (KARDEC; NASCIF, 2009).

O avanço das técnicas de manutenção ao longo dos anos foi essencial para a evolução e formação das ferramentas utilizadas na manutenção atual, e pode ser evidenciado na Figura 2.

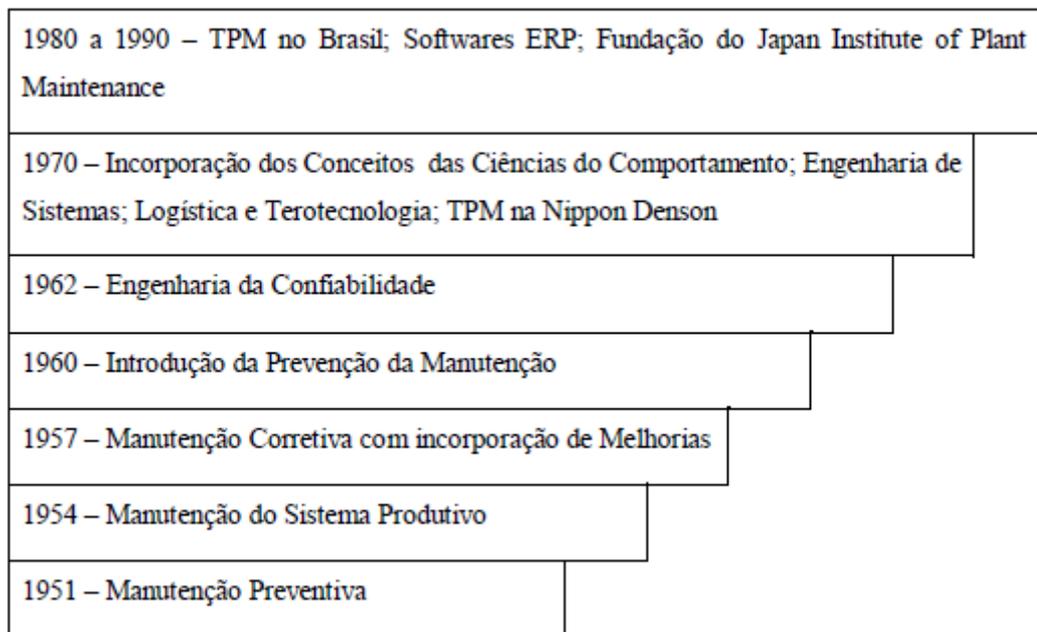


Figura 2 - Evolução das técnicas de manutenção  
Fonte: Adaptado de Viana (2002)

A figura 2 mostra a evolução das técnicas de manutenção a partir da década de 50, no princípio a maior preocupação era a periodicidade da manutenção sobre o ativo, ou seja, manutenção baseada no tempo, no entanto a partir da década de 70 a confiabilidade ganhou espaço e fez com que o foco fosse direcionado para a manutenção baseada nas condições do equipamento.

### 2.1.1 Manutenção Corretiva

Segundo a NBR 5462 (1994, p. 7) manutenção corretiva é definida como “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”, já Kardec & Nascif (2009, p. 38) citam como “a atuação para a correção de falha ou do desempenho menor do que o esperado”.

De acordo com Xenos (1998), a manutenção corretiva é sempre executada após o acontecimento da falha, e deve-se considerar diversos fatores antes de se optar por essa técnica de manutenção como: viabilidade econômica, riscos de parada da produção e peças de reposição.

Duas condições devem ser consideradas quanto a manutenção corretiva, são elas: a ocorrência da falha e o desempenho deficiente indicado pelo acompanhamento operacional. A partir disso, a manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes: não planejada e planejada (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para Kardec & Nascif (2009, p. 39), define-se manutenção corretiva não planejada, também conhecida como Emergencial ou Não Programada, como “a correção de falha de maneira aleatória”, e é caracterizada pela atuação da manutenção após ocorrência da falha, com isso têm-se custos bastante elevados, uma vez que a quebra inesperada pode ocasionar paradas de produção não programadas e perda da qualidade do produto. A Figura 3 mostra a representação da manutenção corretiva não planejada de um determinado ativo que apresentou uma queda de desempenho com o tempo.

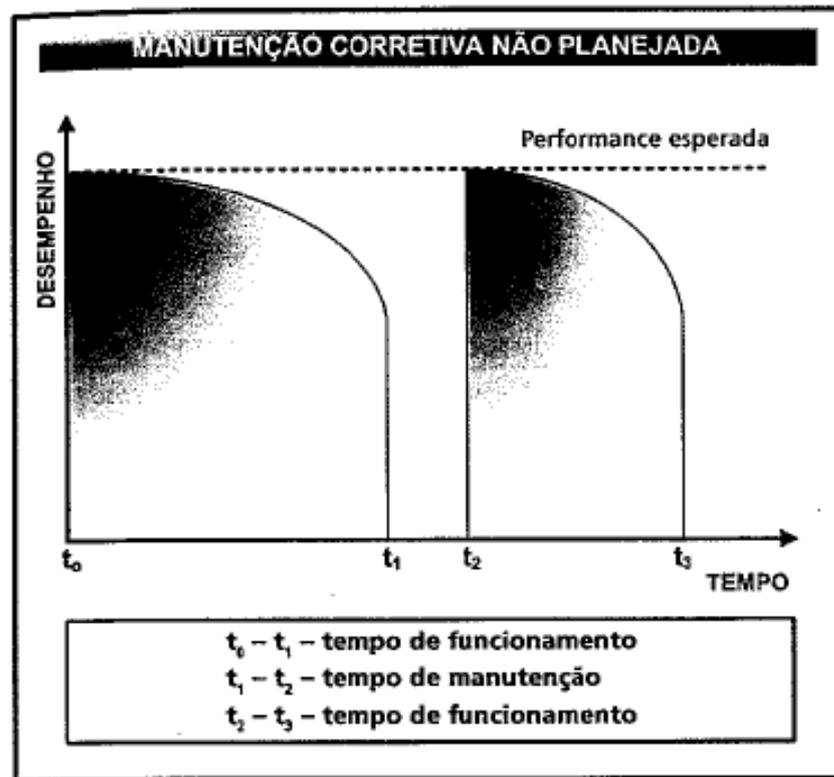


Figura 3: Desempenho X Tempo, manutenção corretiva não planejada  
 Fonte: Kardec & Nascif (2009, p. 41)

Observa-se, no gráfico 1, que o tempo até a falha é aleatório e  $t_0 - t_1$  é diferente de  $t_2 - t_3$ . O aspecto das curvas é apenas representativo, portanto, não deve ser considerado que o equipamento apresenta queda de desempenho logo após ter entrado em operação

Portanto, observa-se que a manutenção não planejada não traz nenhum tipo de benefícios uma vez que pode acarretar prejuízos de maquinário, pôr em risco a integridade da produção e seus colaboradores, afetar diretamente na qualidade do produto, entre outros.

Manutenção corretiva planejada é aquela utilizada para eliminar a falha potencial a fim de se evitar a falha funcional do equipamento, sua adesão como técnica de manutenção escolhida pode advir de diversos fatores, tais como: melhor planejamento dos serviços, viabilidade financeira, existência de sobressalentes, segurança – a falha não apresenta risco para a produção ou operadores, entre outros (KARDEC; NASCIF, 2009).

É válido ressaltar que uma manutenção planejada é sempre mais efetiva, barata e segura do que uma manutenção emergencial, e pode sim ser uma estratégia conveniente quando aplicada de forma correta pela equipe de manutenção conforme a necessidade.

### **2.1.2 Manutenção Preventiva**

A NBR 5462 (1994, p. 7) conceitua manutenção preventiva como aquela “efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item”, enquanto Viana (2002) à classifica como todo serviço de manutenção realizado em maquinário que esteja operando corretamente, sem falhas, em estado de zero defeito.

A manutenção preventiva, quando executada na periodicidade correta, deve ser a principal técnica de manutenção a ser utilizada em qualquer empresa. Nela são envolvidas tarefas sistemáticas que devem ser executadas regularmente, como: inspeções, reformas e troca de peças. É, relativamente, mais cara quando comparada a manutenção corretiva, uma vez que os componentes têm que ser trocados de forma a evitar-se a falha, ou seja, anteceder o fim de vida útil da peça, contudo, quando se olha para o custo total, na maioria das situações, a manutenção preventiva é mais em conta do que a corretiva, visto que se têm o controle das paradas de produção evitando-se, assim, interrupções inesperadas. Mas vale lembrar que seu custo pode superar os da corretiva quando não é bem planejada (XENOS, 1998).

Apesar de ser mais barata em diversas situações, Kardec & Nascif (2009) salientam alguns fatores devem ser considerados antes de adotar a manutenção preventiva, como: riscos de perigo ao meio ambiente, sistemas complexos com operação contínua, por oportunidade em ativos com alta criticidade de difícil liberação operacional, dificuldade inspecionar o equipamento, entre outros.

Para a execução bem-sucedida dessa técnica de manutenção, faz-se necessário uma série de pré-requisitos como: estoque de sobressalentes, disponibilidade de uma equipe de manutenção eficiente e um planejamento estratégico bem definido. Infelizmente, devido ao alto custo financeiro desses fatores, diversas empresas não optam pela manutenção preventiva, no entanto é facilmente perceptível a diferença entre a eficiência produtiva e os custos a longo prazo entre as organizações que adotam essa prática de manutenção.

### **2.1.3 Manutenção Preditiva**

Viana (2002) afirma que a manutenção preditiva, ou manutenção controlada, são “tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha”, já a NBR 5462 (1994, p. 7) a define como a “manutenção que permite

garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva”.

A manutenção preditiva tem como objetivo prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, para que assim o ativo opere de forma contínua pelo maior tempo possível, e quando intervenção, fruto do acompanhamento preditivo, é realizada na verdade é uma manutenção corretiva planejada (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para Xenos (1998) essa técnica de manutenção permite a otimização da troca e/ou reforma dos componentes do maquinário, estendendo, assim, o intervalo de manutenção e até permitindo prever quando seu limite de vida útil estará próximo.

Segundo Kardec & Nascif (2009) existem algumas condições básicas para se adotar a manutenção preditiva, tais como: as falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas, deve ser economicamente vantajoso, o equipamento ou sistema devem permitir algum tipo de monitorização ou medição, entre outros. Já para Soeiro (2017) as condições dependem do tipo de indústria, maquinário e equipe disponível, sendo necessário o comprometimento de todos e investimento em equipamentos, para que, assim, os resultados sejam satisfatórios e precisos.

As técnicas preditivas mais comuns empregadas destacam-se: análise de óleo, análise de vibração e a termografia, porém o método ideal depende do tipo de maquinário e equipe disponível para o monitoramento da atividade, visando um acompanhamento eficiente de forma a se chegar à causa raiz da falha (SOEIRO, 2017).

Dessa forma, a partir das técnicas preditivas é possível otimizar a programação de manutenção e informações sobre a vida útil das peças, tornando possível a redução de falhas e paradas não programadas bem como manter o ativo em sua função requerida por mais tempo.

## **2.2 Confiabilidade**

Define-se confiabilidade como “a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”, em que o termo “confiabilidade” é usado como uma medida de desempenho (NBR 5462, 1994, p. 3), já Leemis (1995) aponta que a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de

exercer adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período e condições preestabelecidas.

Os estudos sobre confiabilidade têm o objetivo de estipular se um item é confiável ou não, ou seja, mesmo que não seja possível atingir a total certeza, busca-se estabelecer probabilidades de maquinário e/ou seus componentes para que consigam cumprir suas funções predeterminadas, sob condições estipuladas, com êxito (ROCHA, 2019).

É muito comum as definições entre confiabilidade e qualidade se misturarem entre si uma vez que se relacionam constantemente. Rocha (2019) conceitua qualidade como a capacidade do ativo ou serviço atender as expectativas em termos de funcionamento.

A principal diferença entre esses dois conceitos é que a confiabilidade se relaciona com o tempo, enquanto a qualidade não, por isso a qualidade está associada a capacidade de projetar produtos que incorporem características, sendo elas qualitativas ou quantitativas, otimizadas para atender as necessidades requeridas (FLOGIATTO; RIBEIRO, 2009).

Segundo Kardec & Nascif (2009), pode-se calcular a confiabilidade a partir da equação:

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

Onde:  $R(t)$  = confiabilidade no 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

### 2.2.1 Indicadores e conceitos

Para o entendimento da confiabilidade na íntegra, faz-se necessário a compreensão de diversos conceitos e indicadores que a acompanham, na qual destacam-se: manutenibilidade, disponibilidade, taxa de falhas, tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo, tempo médio para falha e distribuição de Weibull.

A partir desses índices e definições é possível definir se um ativo e/ou sistema pode ser considerado confiável ou não, a partir de análises quantitativas e qualitativas.

As análises quantitativas são aquelas voltadas à medição de desempenho do equipamento, peças e/ou sistemas, englobando sua quantidade de falhas e a frequência em que

ocorrem, tempos de paradas por falhas, custos, entre outros, faz-se uso da estatística para que seja possível estudo e previsão de desempenho a partir de dados históricos do maquinário (ROCHA, 2019).

Já as análises qualitativas buscam entender os mecanismos da falha de forma aprofundada: como e por que ocorrem, e suas consequências para o sistema (ROCHA, 2019).

### **2.2.1.1 Manutenibilidade**

A NBR 5462 (1994, p. 3) cita manutenibilidade como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições preestabelecidas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos.

O conceito de manutenibilidade, segundo Kardec & Nascif (2009), além de ter relação direta com o indicador de efetividade operacional, abrange itens como: redução de custos, planejamento da manutenção, capacitação de colaboradores, suporte à engenharia de projetos, entre outros. Para os autores, o momento mais adequado para analisar a manutenibilidade de um ativo, componente ou sistema é na fase de projeto, e ainda reiteram que, independentemente da atuação, é sempre possível melhorar a manutenibilidade.

Kardec & Nascif (2009) expressam que para que haja otimização, perante a manutenibilidade, deve-se levar em consideração fatores como:

- Requisitos qualitativos – Acessibilidade, padronização, possibilidade de regulagem, visibilidade das partes que terão manutenção, entre outros.
- Requisitos quantitativos – Tempo médio de reparo, tempo médio entre falhas, quantidade de sobressalentes em estoque.
- Suporte logístico – Auxiliar no objetivo da manutenção, manter a disponibilidade do sistema, de forma a providenciar meios para que a tarefa seja executada da forma mais eficiente possível através de: ferramental, transporte, mão de obra, entre outros.

A manutenibilidade pode ser determinada em função do tempo necessário para a execução da manutenção do ativo, objetivando sempre que o tempo utilizado seja menor ou igual ao estimado no projeto (OLIVEIRA; PEREIRA; SILVA; 2017).

Percebe-se que a manutenibilidade, quando executada corretamente, influencia pontualmente no estabelecimento da disponibilidade de componentes, peças e/ou sistema,

negligenciá-la pode afetar diretamente na qualidade dos serviços prestados e, conseqüentemente, no custo operacional de qualquer empresa.

### 2.2.1.2 Disponibilidade

Teles (2020) define disponibilidade como “a porcentagem de tempo em que um equipamento esteve desempenhando a sua função requerida”, enquanto a NBR 5462 (1994, p. 2) refere-se à disponibilidade como a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função durante um intervalo de tempo determinado.

O conceito de disponibilidade pode variar de acordo com a capacidade de reparo de uma unidade, em unidade não-reparáveis, as definições de disponibilidade e confiabilidade se equivalem, enquanto em reparáveis os possíveis estados da unidade durante um determinado período são “funcionando” ou “em manutenção”, ou seja, em reparo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Para Oliveira *et al.* (2017), a disponibilidade pode ser representada pelo percentual de tempo em que o sistema está operando, a partir da seguinte equação (1):

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

A disponibilidade  $A$  representa a probabilidade que um dado ativo e/ou sistema esteja disponível para operação quando requisitado,  $MTBF$  é o tempo médio entre falhas e  $MTTR$  expressa o tempo médio de reparo.

### 2.2.1.3 Taxa de falhas

Kardec & Nascif (2009), definem taxa de falhas como “o número de falhas por unidade de tempo”, enquanto a NBR 5462 (1994, p. 11) a conceitua como a razão da probabilidade condicional de que a falha de um item ocorra em determinado período.

As taxas de falhas podem ser divididas em três classes: crescente, na qual o equipamento tem mais probabilidade de falhar com o tempo, decrescente, em que a incidência de falha diminui com o tempo, e constante, em que a probabilidade de falha do equipamento se torna estacionária (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A Figura 4 exemplifica as três classificações apresentadas pelas taxas de falhas.

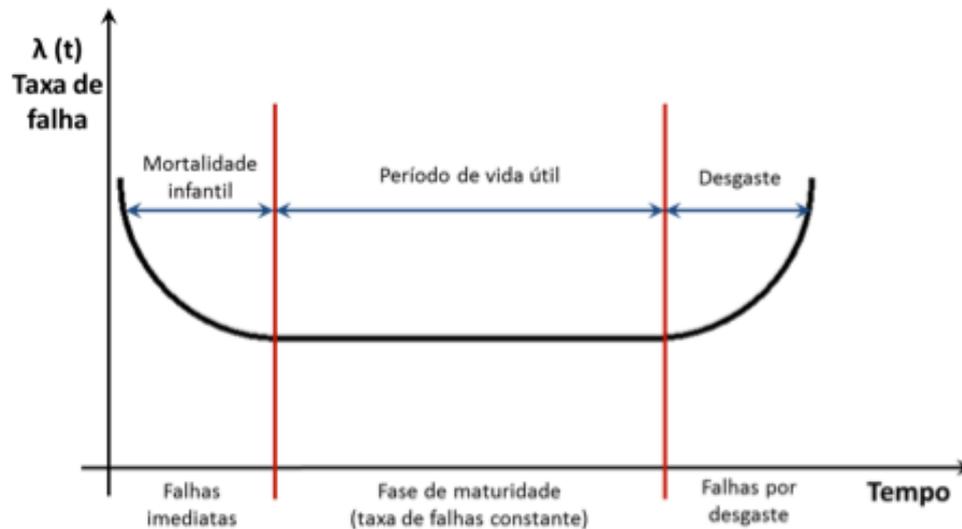


Figura 4: Curva da banheira  
 Fonte: Leão & Andrade (2015)

A Figura 4 ilustra uma curva característica típica da vida útil de um equipamento, componente ou sistema, também conhecida como curva da banheira. Segundo Fogliatto & Ribeiro (2009), a curva da banheira pode ser dividida em três períodos distintos, representando as taxas de falhas, tais como:

- I. **Mortalidade Infantil** – Primeira etapa da curva, é representada pela taxa de falha decrescente, na qual observa-se grande incidência de falhas, que podem ser oriundas de defeitos de fabricação, projeto ou instalação, que diminuem com o decorrer do tempo.
- II. **Vida Útil** – Simbolizada pela taxa de falha estacionária, em que verifica-se uma quantidade menor de falhas, em relação à primeira etapa, constante ao longo do tempo. A ocorrência de falhas origina-se de fatores menos controláveis, podem ser, inclusive, aleatórios, tais como fadiga e/ou corrosão, provenientes de interações do item com o meio, acarretando uma previsão mais difícil.
- III. **Desgaste** – Reflete a taxa crescente de falhas, nota-se um aumento na quantidade de falhas no decorrer do tempo, essas que, geralmente, estão relacionadas ao desgaste natural do item.

Portanto, a curva da banheira pode ser considerada como uma ferramenta de manutenção válida, com o objetivo auxiliar na escolha do método de manutenção mais adequado para o equipamento, levando em consideração seu tempo de vida útil, naquele devido momento.

#### 2.2.1.4 Tempo médio entre falhas

O tempo médio entre falhas origina-se do inglês *MTBF – Mean Time Between Failure*, e é um indicador de confiabilidade que se refere a vida média de uma população (KARDEC; NASCIF, 2009). O *MTBF* pode ser calculado a partir da fórmula:

$$MTBF = \frac{HD}{NC}$$

HD representa as horas disponíveis do equipamento para operação enquanto NC simboliza o número de intervenções corretivas neste ativo no período.

Para Viana (2002), a aplicabilidade deste índice é acompanhar o comportamento do componente, diante das ações mantenedoras. Um valor alto de *MTBF* é bastante positivo pois indica que o número de intervenções corretivas é pequeno.

#### 2.2.1.5 Tempo médio de reparo

O tempo médio de reparo, em inglês *Mean Time To Repair (MTTR)*, é uma medida básica de confiabilidade que aponta o tempo médio em que o ativo encontra-se indisponível para operação (VIANA, 2002). É possível obter-se o *MTTR* a partir da seguinte equação:

$$MTTR = \frac{HIM}{NC}$$

HIM ilustra o somatório das horas de indisponibilidade para operação e NC representa o número de intervenções no equipamento durante o período.

É lógico observar que, um *MTTR* baixo significa menos tempo de indisponibilidade do ativo e paradas de produção, e, conseqüentemente, maior eficiência da equipe de manutenção em lidar com manobras corretivas e preventivas.

#### 2.2.1.6 Tempo médio para falha

O tempo médio para falha, do inglês *Mean Time To Failure (MTTF)*, é compreendido pela média de tempo em que ativo permanece em funcionamento até falhar, é geralmente utilizado para produtos não-reparáveis (VACCARO, 1997). Pode-se calcular o *MTTF* pela seguinte fórmula:

$$MTTF = \frac{HD}{N^{\circ} \text{ de Falhas do Equipamento}}$$

HD compreende o total de horas disponíveis do equipamento para operação.

Viana (2002) ressalta que para componentes que não sofrem reparos, ou seja, são descartados após a falha, e em seguida substituídos, têm o *MTTF* igual a zero.

### 2.2.1.7 Distribuição de Weibull

O método de Weibull é a distribuição mais utilizada para modelar dados de confiabilidade devido sua versatilidade e fácil interpretação. Com sua análise é possível a determinação de expectativas, previsão de falhas e descrição de fases da vida útil de uma vasta diversidade de ativos (MINITAB, 2019).

Segundo Simonetti *apud* Rocha (2019, p. 112), a distribuição de Weibull baseia-se em três parâmetros:

- I. Parâmetro de forma ( $\beta$ ): é conhecido também como inclinação da distribuição e define a forma da curva  $f(t)$ . Quando  $\beta$  adota valores entre 0 e 1,  $f(t)$  apresenta frequências elevadas na parte inicial da vida, associadas a defeitos originados no projeto, na produção ou operação.

Para  $\beta=1$ ,  $f(t)$  equivale à função de distribuição exponencial, ou seja, a taxa de falhas é constante, ilustrada na fase intermediária da curva da banheira, em que as falhas ocorrem de forma aleatória, de forma que  $\beta>1$  implica que há um processo de deterioração do equipamento ou sistema. A Figura 5 mostra mudanças na forma de  $f(t)$  para diferentes valores de  $\beta$ .

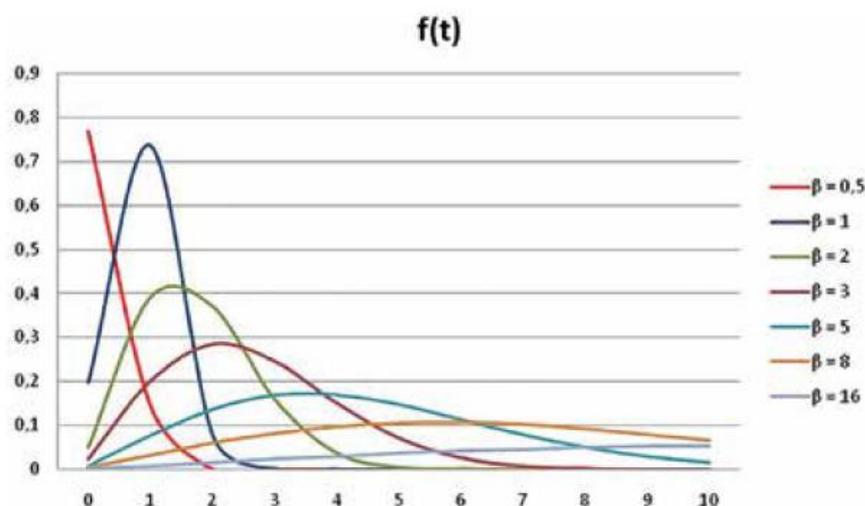


Figura 5: Função densidade de falhas em uma distribuição de Weibull  
Fonte: Rocha (2019)

A Figura 5 ilustra a função da densidade de falhas para a distribuição de Weibull para diversos valores do parâmetro de forma  $\beta$ , permitindo-se analisar as taxas de falhas encontradas bem como suas possíveis causas.

- II. Parâmetro de escala ( $\alpha$  ou  $\eta$ ): este parâmetro está associado à vida característica de um determinado componente, ou seja, o tempo, quantidade de ciclos, entre outros. Segundo Barbosa (2008, p. 33), o parâmetro de escala corresponde “ao valor de  $t$  no qual existem aproximadamente 63,2% de probabilidade do que o componente venha a falhar”.

Portanto, de acordo com Simonetti *et al.* (2009), quando  $\beta$  mantém-se constante, com o aumento de  $\alpha$ , a curva é esticada para a direita, enquanto sua altura diminui, mantendo sua posição e forma. Consequentemente, a diminuição de  $\alpha$  comprime a curva para a esquerda, aumentando sua altura.

- III. Parâmetro de posição ou localização ( $\gamma$ ): indica a localização em que a  $f(t)$  se origina. Na maior parte das aplicações,  $\gamma=0$ , no entanto, existem situações específicas em que  $\gamma>0$ , em que a distribuição começa à direita da origem, ou seja, só poderão ocorrer falhas depois de um dado tempo em que o ativo ou sistema for colocado em operação.

Apesar de multifuncional, a distribuição de Weibull, pode não funcionar com tanta eficiência para falhas designadas por reações químicas e/ou processos de degradação (MINITAB, 2019).

### 2.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC

Para Fogliatto & Ribeiro (2009, p. 217) a manutenção centrada em confiabilidade consiste em “um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas” enquanto Verzani & Sandrini (2018, p.1) afirmam que “se trata de um método estruturado para definir a estratégia mais eficiente de manutenção”.

Smith (1992, p.51) afirma que a manutenção centrada em confiabilidade tem o propósito de “preservar as funções do sistema, identificar os modos de falha que afetam essas funções, determinar a importância das falhas funcionais e selecionar as tarefas aplicáveis e efetivas na prevenção de falhas”. Para a execução do método da MCC, de acordo com Moubray (1997), faz-se necessário a utilização de sete perguntas sobre cada item em revisão ou sob análise crítica, que devem ser respondidas:

- i. Quais as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- ii. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- iii. O que causa cada falha funcional?
- iv. O que acontece quando ocorre cada falha?
- v. De que forma cada falha importa?
- vi. O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- vii. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa apropriada?

Segundo Smith & Hinchcliffe (2004), a metodologia MCC é completamente descrita em quatro objetivos principais:

- i. Preservar as funções do sistema
- ii. Identificar modos de falha que podem afetar tais funções
- iii. Priorização da importância da função requerida, via modo de falhas
- iv. Selecionar uma manutenção preventiva aplicável e efetiva para o modo de falha mais importante

Os mesmos autores afirmam que para desenvolver os quatro princípios apresentados anteriormente, e implementá-los de forma efetiva, faz-se necessário um processo de sete passos:

- i. Seleção do sistema e coleta de informações
- ii. Definição das fronteiras do sistema
- iii. Descrição e diagrama funcional do sistema
- iv. Funções e falhas funcionais do sistema – Preservar funções
- v. Análise de Modos de Falha e Seus Efeitos (FMEA) – Identificar modos de falha que afetam o funcionamento do sistema
- vi. Árvore Lógica de Decisão (LTA) – Priorização da importância da função requerida, via modo de falhas
- vii. Seleção de tarefas – Seleção de manutenções preventivas, aplicáveis e efetivas, para o sistema

A conclusão, de forma satisfatória e correta, desses sete passos promoverá a base de definição dos métodos de manutenção preventiva preferíveis para cada sistema, com um vasto

histórico de como esses métodos foram selecionados e porque são considerados as melhores alternativas dentre as opções disponíveis (SMITH; HINCHCLIFFE, 2004).

### **2.3.1 Funções e padrões de desempenho**

A definição das funções e padrões de desempenho estabelece a base do método de MCC, por isso todos devem estar cientes do que é esperado de cada equipamento, suas funções a serem cumpridas e o padrão de desempenho a ser mantido durante sua vida útil (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Portanto, é de suma importância compreender que cada ativo tem suas funções primárias e secundárias, como salienta Moubray (1997), em que podem ser definidas como sendo funções primárias aquelas que justificam a aquisição do ativo em primeiro lugar, funções que envolvem questões como velocidade, quantidade, qualidade, entre outros, e secundárias aquelas que já são esperadas que o ativo a faça, além de suas funções primárias.

### **2.3.2 Falhas funcionais**

A NBR 5462 (1994, p. 3) define falha como “término da capacidade de um item desempenhar a função requerida”. Souza & Lima (2003, p. 3) definem falha funcional como “a incapacidade de qualquer ativo cumprir uma função, para um padrão de desempenho que é aceita pelo o usuário”.

Diante desse problema, é sugestivo que a manutenção intervenha de alguma maneira a fim de se fazer o gerenciamento dessa falha, porém antes de utilizar o conjunto de ferramentas para tal, é preciso identificar os tipos de falha que podem acontecer, e para isso o MCC se divide em duas vertentes: primeiramente, quais circunstâncias podem ocasionar em um estado de falha, e, secundamente, quais ocasiões levam o item a um estado de falha (MOUBRAY, 1997).

### **2.3.3 FMEA**

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) – Análise de Modos de Falha e Seus Efeitos é conceituado como um método qualitativo de análise de confiabilidade que compreende o estudo dos modos de falha que podem existir para cada subitem, e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre outros subitens e sobre a função requerida do item (NBR 5462, 1994, p. 14).

Para Fogliatto & Ribeiro (2009):

A FMEA é uma técnica de confiabilidade utilizada que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial teórico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo (p. 173).

Tem-se como principal característica ser um processo indutivo, a FMEA pode trazer vários benefícios com sua aplicação, tais como: melhorar o programa de testes dos ativos, redução do custo global de produção, redução de falhas potenciais, redução do tempo de ciclo de um produto, desenvolvimento de uma metodologia para a prevenir defeitos de forma a se evitar detecção e correção, dentre outros (LAFRAIA, 2014).

A Figura 6 ilustra um formulário típico da FMEA.

ITEM:					DATA:					
SISTEMA:										

ITEM	PROCESSO	FUNÇÕES	MODO DE FALHA	EFEITOS DA FALHA	SEVERIDADE	CAUSAS	OCORRÊNCIAS	MEIOS DE DETECÇÃO	DETECÇÃO	RPN	AÇÕES CORRENTIVAS/PREVENTIVAS

Figura 6: Formulário da FMEA  
Fonte: Adaptado de Lafraia (2014)

É importante identificar todos os eventos que são razoavelmente prováveis de ocasionar cada estado de falha, esses eventos são definidos como modos de falha, e incluem aquelas que aconteceram no mesmo ativo ou similar sob as mesmas condições de operação. Também deve-se listar os efeitos da falha para ter conhecimento do que acontece quando cada modo de falha ocorre, devem ser inseridas informações como: qual a evidência que a falha ocorreu, de que modo ela ameaça à segurança ou o meio ambiente, de que modo afeta a produção ou operação, qual o dano físico pode ser causado pela falha e o que fazer para a reparação da falha (MOUBRAY, 1997).

### 2.3.4 Árvore Lógica de Decisão

A árvore lógica de decisão (LTA) tem como objetivo classificar o processo lógico de forma qualitativa com o propósito de enfatizar os recursos que devem ser dedicados a cada modo de falha existente no sistema (SMITH; HINCHCLIFFE, 2004).

A LTA, basicamente, faz uso do diagrama estrutural evidenciado na Figura 7:

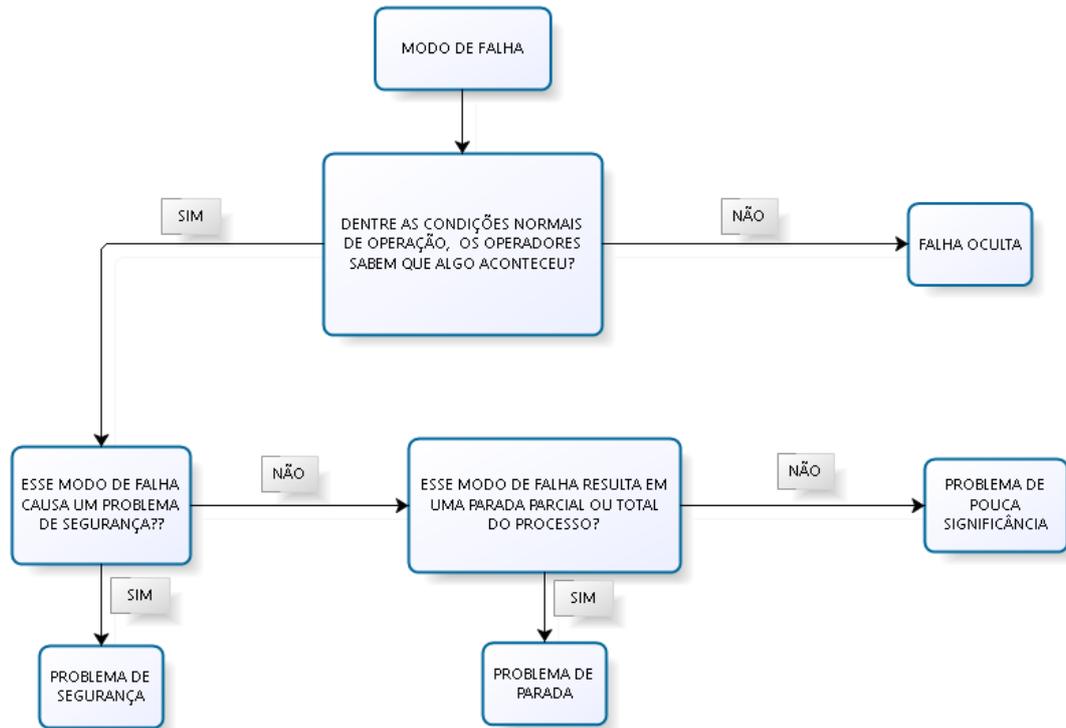


Figura 7: Diagrama estrutural da Árvore Lógica de Decisão  
Fonte: Pesquisa direta (2022)

A Figura 7 ilustra a maneira de como as informações devem ser respondidas pelo operador. Cada modo de falha é introduzido no topo da árvore na qual é feita a primeira pergunta: na rotina normal de suas obrigações, o operador tem conhecimento de algo de natureza anormal ou prejudicial acontecida durante o processo? Não é obrigatório que o operador saiba exatamente o que está errado para a resposta ser sim. O objetivo dessa pergunta é estabelecer inicialmente os modos de falha que podem estar escondidos do operador. Falhas não detectadas podem, posteriormente, dar origem à descoberta de falhas durante a manutenção preventiva escolhida (SMITH; HINCHCLIFFE, 2004).

Falhas evidentes, no entanto, alertam os operadores para agir, incluindo tomar as medidas necessárias para detectar e isolar o modo de falha, se sim não é imediatamente

visível. Então, com um “sim” na primeira pergunta, é direcionado para a próxima, enquanto um “não” direciona para a caixa D.

Todos os modos de falha, tanto evidente quanto os ocultos, são direcionados para a segunda questão, na qual aborda se é um problema relacionado à segurança. Nesse contexto, a segurança refere-se à morte ou acidente. Se a resposta for “não”, encaminha-se à terceira e última pergunta.

A terceira pergunta é formulada para fazer uma simples separação entre uma intolerável e tolerável penalidade econômica. Isso é feito com foco na parada de produção ou perda de produtividade.

Após o processo de coleta, as informações devem ser documentadas em um formulário conforme apresentado na Figura 8, de forma a auxiliar na formação do histórico para o sistema (NAVAIR, 2005).

PLAN-A	Processo:	Nº.:	Coord:	Data:				
PLANILHA	Linha:							
DECISÃO	Equipamento:	Rev.:		Folha:				
MCC	Conjunto:							
Descrição do item:								
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	CONSEQUÊNCIAS DA FALHA					
			Descrição	H	S	E	O	N

Figura 8: Formulário para registro de consequência das falhas  
Fonte: Baran (2011)

De acordo com Baran (2011), a parte superior da tabela compõe a identificação do sistema analisado. O restante da tabela é utilizado na documentação do registro das consequências, tais como:

- Referência da informação – contém a descrição das funções requeridas do sistema, falhas funcionais para cada função e seus modos de falha;
- Descrição da consequência – descrição detalhada do efeito do modo de falha e sua consequência no processo;
- Avaliação de consequência – informa, através de um “sim” ou “não”, se a consequência da falha é oculta, e, caso contrário, qual a natureza de seu impacto, quanto a segurança (S0, meio ambiente (E), operacionais (O) e econômicos (N).

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo destacar o tipo de pesquisa utilizado, apresentar seu desenvolvimento metodológico, variáveis e indicadores, bem como a coleta e tabulação de dados, além das considerações finais.

#### 3.1 Tipo de pesquisa

Gil (2002, p. 17) define pesquisa como “o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”, já para Lakatos & Marconi (2003, p. 155) pesquisa é “um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais”.

Segundo Silva & Menezes (2001) as pesquisas, do ponto de vista de abordagem do problema, classificam-se de duas maneiras: qualitativa e quantitativa.

Para Triviños *apud* Oliveira (2011) a abordagem qualitativa trabalha os dados buscando seu significado, tendo como base a percepção do fenômeno dentro de seu contexto. Busca-se captar não só a aparência do fenômeno como também suas essências, visando explicar sua origem, relações e mudanças.

Já a pesquisa quantitativa, de acordo com Richardson *apud* Oliveira (2011), é “caracterizada pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas”, ou seja, procura-se quantificar os dados e em seguida aplicar alguma forma de análise estatística.

Gil (2002), com base em seus objetivos gerais, classifica as pesquisas em três grupos: exploratória, descritiva e experimental.

As pesquisas exploratórias objetivam proporcionar maior familiaridade com o problema, de forma a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses, ou seja, busca-se o aprimoramento de ideias. Seu planejamento é bastante flexível, de forma a possibilitar a consideração dos mais diferentes aspectos relativos ao fato em questão (GIL, 2002).

As descritivas, conforme Vergara *apud* Oliveira (2011), “expõem as características de determinada população ou fenômeno, estabelece correlações entre variáveis e define sua natureza”, já Selltiz *et al.* (1965) afirma que as pesquisas descritivas buscam descrever um fenômeno ou situação detalhadamente, permitindo abranger, de forma assertiva, as características de um indivíduo, situação ou grupo.

Para Gil *apud* Silva *et al.* (2001) a pesquisa explicativa tem como objetivo “identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos”, os mesmos autores ainda salientam que quando realizada nas ciências naturais, é requerido o uso do método experimental, enquanto nas ciências sociais faz-se uso do método observacional. De acordo com Lakatos & Marconi (2001), esse tipo de pesquisa procura estabelecer relações de causa-efeito por meio da manipulação, de forma direta, das variáveis relativas ao objeto de estudo, visando identificar as causas do fenômeno em questão.

Faz-se necessário, também, a classificação da pesquisa com base nos procedimentos técnicos a serem utilizados, neste contexto, Gil (2002) categoriza a pesquisa em: bibliográfica, documental, experimental, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa participante. Dentre a grande variedade de pesquisas, destacam-se duas: bibliográfica e estudo de caso.

Segundo Vergara (2000), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em materiais existentes, ou seja, já publicados, composto geralmente por livros, artigos científicos e materiais disponibilizados na internet. Gil (2002) afirma que a maior vantagem deste tipo de pesquisa se dá pelo fato de permitir ao pesquisador uma vasta cobertura de fenômenos muito maior do que aquela que poderia pesquisar de forma direta.

Clemente Jr *apud* Peixoto (2012, p. 1), definem estudo de caso como “uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo no seu contexto da vida real, mesmo que os limites entre o fenômeno estudado e o contexto não estejam claramente definidos”. Este tipo de pesquisa caracteriza-se pelo processo profundo e exaustivo de forma a permitir seu amplo e detalhado conhecimento, seu uso é recomendado em fases iniciais de pesquisa, em que a busca pelo conhecimento, construção do problema e formulação de hipóteses são o foco principal do pesquisador (GIL, 2002; AZEVEDO & ENSSLIN, 2020).

Diante da definição e caracterização dos tipos de pesquisa quanto abordagem, objetivo e procedimento técnico, é possível concluir que esta pesquisa se enquadra como qualitativa, pois busca o entendimento do problema estudado mediante sua funcionalidade, sem levar em consideração aspectos estatísticos; exploratória, dado que contará com o auxílio de colaboradores com experiência no equipamento analisado, bem como construção de hipóteses e aprimoramento de ideias; pesquisa bibliográfica, pois foram utilizados diversos livros e artigos para a fundamentação teórica do trabalho; e estudo de caso, posto que foi realizada em contexto real de operação.

### 3.2 Materiais e métodos

Lakatos & Marconi (2003) definem que método como conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros – para traçar o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do pesquisador.

A Figura 9 ilustra o procedimento metodológico que será desenvolvido no decorrer deste trabalho.

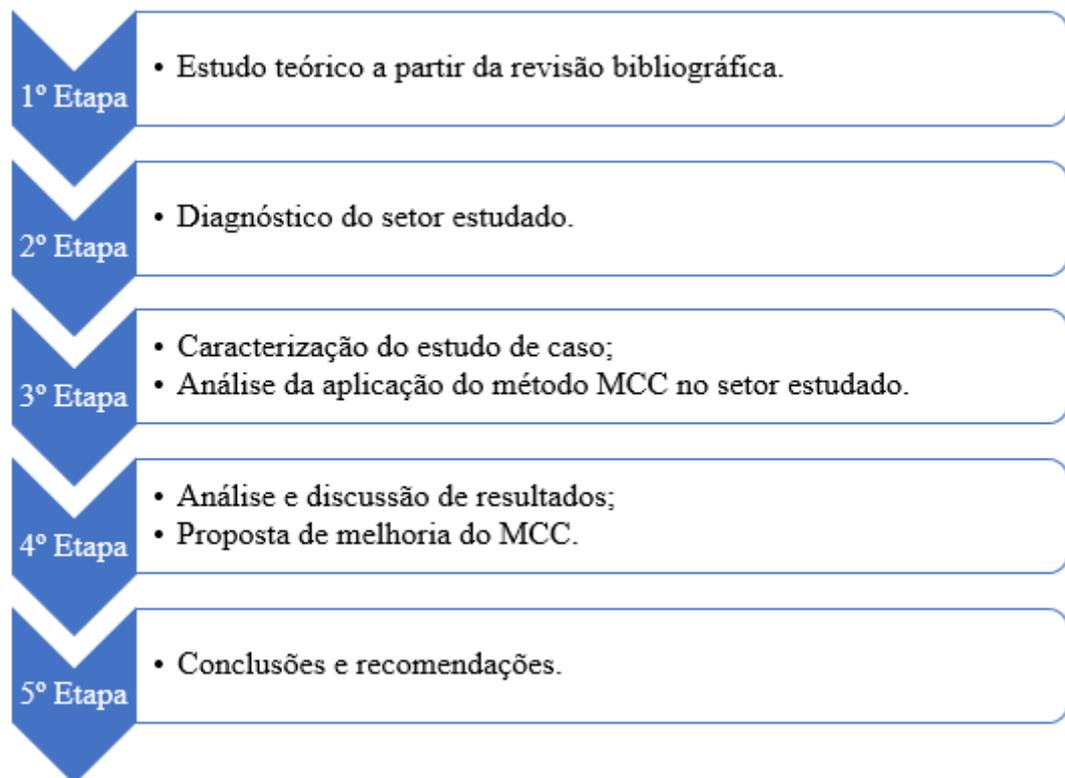


Figura 9: Representação da metodologia utilizada  
Fonte: Pesquisa direta (2022)

Conforme apresentado na Figura 9, é feito um estudo teórico a partir da revisão bibliográfica e em seguida faz-se um diagnóstico do setor estudado. Diante disso, é realizada a caracterização do estudo de caso e análise de aplicação teórica do método MCC no setor escolhido. Por conseguinte, é possível analisar e discutir possíveis resultados diante da aplicação teórica do método, bem como apresentar conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

### 3.3 Variáveis e Indicadores

Segundo Gil (2002), o conceito de variável refere-se tudo aquilo que pode assumir diferentes valores ou aspectos, segundo os casos particulares ou circunstâncias. Uma variável pode ser considerada como uma classificação, um conceito operacional que pode conter ou apresentar valores, propriedades e/ou fatores, discerníveis em um objeto de estudo e passível de mensuração (LAKATOS & MARCONI 2003).

Os indicadores são importantes para operacionalizar as variáveis, possibilitando, assim, sua mensuração GIL (2002).

A Tabela 1 apresenta as variáveis e indicadores utilizados nesta pesquisa.

Tabela 1 - Variáveis e indicadores utilizados na pesquisa

Variáveis	Indicadores
Confiabilidade	Disponibilidade Taxa de falhas Tempo médio entre falhas Tempo médio de reparo Tempo médio para falha Distribuição de Weibull
Manutenção Centrada em Confiabilidade	Funções e padrão de desempenho Falha funcional FMEA Arvore Lógica de Decisão

--	--

Fonte: Pesquisa direta (2022)

Observa-se, na Tabela 1, as variáveis utilizadas nesta pesquisa e seus respectivos indicadores.

### **3.4 Instrumento de coleta de dados**

A coleta de dados necessária para este trabalho será obtida através de questionário e entrevista com colaboradores da empresa e setor estudado.

### **3.5 Tabulação dos dados**

As informações obtidas através do levantamento de dados serão tabuladas pelo *software Microsoft Excel*. Para organizar, tratar e documentar os resultados será utilizado o *Microsoft Word*.

### **3.6 Considerações finais do capítulo**

Neste capítulo foram abordadas mecanismos e ferramentas empregadas para a realização desta pesquisa. Foi apresentado o tipo de pesquisa, matérias e métodos, variáveis e seus respectivos indicadores e as formas de coletada de dados que serão utilizadas.

No capítulo seguinte será apresentado as análises e resultados obtidos para este estudo de caso, bem como as etapas adotadas para a execução do método escolhido.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Características da empresa/setor

Nos itens a seguir são apresentadas e discutidas as características da unidade da empresa escolhida para o trabalho bem como os aspectos do setor de manutenção da mesma.

#### 4.1.1 Sobre a empresa

A empresa estudada é composta por um grupo empresarial complexo e extenso, o que a faz ser a maior fabricante de aço e uma das principais produtoras de minério de ferro do mundo.

Mantem operações industriais em países de quatro continentes. É líder em todos os principais mercados globais de aço, fornecendo produtos de qualidade para os setores de construção, eletrodomésticos, naval, embalagens, automotivos, dentre outros.

A unidade da empresa escolhida para o trabalho tem como atividade primária a produção de longos de aço, e o processo de produção é extenso, contando com diversos setores que cuidam da produção, manutenção, logística, custos, ambiente, dentre outros.

Dotada da última geração de equipamentos, a unidade é a única usina da América Latina capaz de produzir aço para reforço de pneus (*Steel Cord*). Sua produção é destinada ao mercado nacional, clientes internacionais e trefilarias, também pertencentes a empresa. Também possui sua própria mina fornecedora de minério de ferro, é beneficiada pela boa malha ferroviária e rodoviária que liga a região aos principais mercados e pontos de escoamento de produção do país.

O processo de fabricação do aço tem início na mineração, o minério de ferro é extraído da natureza na qual passa pela etapa de beneficiamento para preparar o material para o processo siderúrgico. Os finos de minérios resultantes do beneficiamento deverão ser preparados para aglomeração através dos processos de sinterização ou pelotização, que juntamente com outras matérias primas servirão como minérios aglomerados para produção do aço. A formação da gusa ocorre no alto forno, que será carregado de minério, sínter, pelotas, coque e fundentes, e através da combustão do carbono, contido no coque, o minério de ferro sofrerá redução pelo gás carbônico perdendo moléculas de oxigênio transformando-se em gusa líquido, que será transportado pelo carro torpedo, que manterá a temperatura ideal do

material. Nesta etapa a gusa sofrera o processo de dessulfuração. Para transformar gusa líquido em aço, é necessário que o material passe pelo convertedor na Aciaria, onde ocorre a retirada de moléculas de carbono da gusa através de um sopro de oxigênio, transformando-o em aço. De acordo com o produto final pretendido, no forno panela, o material poderá receber outros elementos de liga para dar novas propriedades ao aço. Após esse tratamento, o lingotamento contínuo dará forma ao aço líquido, solidificando para sua transformação posterior em placas, bobinas, chapas, tarugos ou barras. A laminação é um processo de conformação do aço, que deve transformar seções grandes, retangulares ou redondas em seções menores, de formatos diversos e ao mesmo tempo modificar profundamente sua estrutura interna.

A empresa é composta por uma diretoria geral e cinco gerências superiores: Aciaria, Manutenção e Utilidades, Controle de Tarugos e Qualidade, Laminação e Redução. Cada gerência superior possui sua própria gerência de manutenção, denominadas gerência de área de manutenção, responsável pelo seu respectivo setor. Todas possuem a mesma missão, de assegurar a cada ativo o desempenho necessário para obtenção dos resultados objetivados pela empresa.

A Figura 10 mostra a divisão das gerências de manutenção:

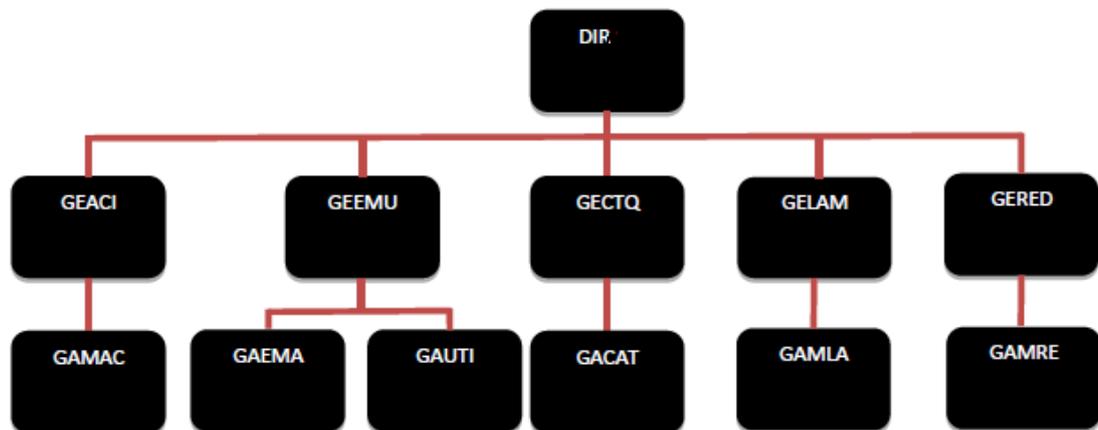


Figura 10: Estrutura das gerências de manutenção  
Fonte: Pesquisa direta (2022)

Em que as siglas do organograma acima significam: **DIR** – Diretoria da Unidade; **GEACI** – Gerência da Aciaria; **GAMAC** – Gerência de Área de Manutenção da Aciaria; **GEEMU** – Gerência de Engenharia de Manutenção e Utilidades; **GAEMA** – Gerência de Área de Engenharia de Manutenção; **GAUTI** – Gerencia de Área de Utilidades; **GECTQ** – Gerência de Controle de Tarugos e Qualidade; **GACAT** – Gerência de Área de Controle e Acondicionamento de Tarugos; **GELAM** – Gerência da Laminação; **GAMLA** – Gerência de

Área de Manutenção da Laminação; **GERED** – Gerência da Redução; **GAMRE** – Gerência de Área de Manutenção da Redução.

Cada uma das gerências de área seguem as mesmas diretrizes de manutenção, são elas:

- Garantir a segurança física das pessoas, o patrimônio da empresa e a preservação do Meio Ambiente. Nos casos em que um destes fatores estiver envolvido, as ações de manutenção serão priorizadas em relação aos custos;
- Em cada equipamento, priorizar a adequada disponibilidade, com tratamento diferenciado segundo sua criticidade;
- Privilegiar as ações de Engenharia de Manutenção que propiciam aumento da disponibilidade e confiabilidade;
- Privilegiar o conhecimento e capacitação técnica como fonte de resultados, preservando as competências existentes e treinando / desenvolvendo novos valores;
- Usar as manutenções proativa, preditiva, preventiva e corretiva, conforme a estratégia de manutenção definida;
- Priorizar a manutenção a nível de conjuntos, desenvolvendo fornecedores qualificados na sua recuperação e fabricação de componentes;
- Enfatizar a análise da vida útil e performance de peças e conjuntos, objetivando a redução dos custos e o aumento da disponibilidade / produtividade;
- Desenvolver a seleção e qualificação de empresas de prestação de serviço, em uma relação de parceria, em que sejam partilhados os benefícios do aumento de produtividade;
- Enfatizar o levantamento e tratamento das falhas potenciais.

Cada gerência de manutenção possui seus devidos colaboradores com suas respectivas responsabilidades.

A gestão da manutenção é o papel central na parte operacional da manutenção, sendo seus principais objetivos e responsabilidades:

- Definir a estratégia e a política com base nos objetivos da empresa. Assegurar a disponibilidade dos recursos necessários;
- Monitorar se as funções da área estão de acordo com as práticas acordadas sobre qualidade, segurança e meio ambiente;

- Promover entendimento apropriado da função de manutenção;
- Garantir uma estrutura de comunicação adequada entre sua equipe e outras partes da organização;
- Analisar desempenho, comportamento, educação, treinamentos, organização e estrutura de comunicação;
- Estruturar o orçamento e planejamento de controle de custos.

O gerente de manutenção é responsável por todas as funções e análise de eficiência de sua equipe, conduzindo ações necessárias para evolução, otimização e ambiente propício para o trabalho.

O Engenheiro de Confiabilidade assegura que os equipamentos estão funcionando de forma eficaz e eficiente. É de sua responsabilidade:

- Analisar dados operacionais dos equipamentos. Avaliar as deficiências observadas durante a manutenção corretiva ou preventiva e garantir o cumprimento das análises de anomalia necessárias;
- Desenvolver e otimizar estratégias de manutenção, definir criticidade e escolher o melhor tipo de manutenção aplicável usando as técnicas apropriadas (RCM, FMEA);
- Garantir a integridade e coerência dos planos de manutenção;
- Tornar o ambiente confiável de informações: Planos de manutenção, listas de tarefas, notas e ordens, lista técnica, dentre outros.
- Definir especificações técnicas e analisar empresas para contratação.
- Desenvolver normas e procedimentos para os principais trabalhos de manutenção, abordando todas as necessidades legais, de segurança e ambientais.
- Revisar periodicamente o custo-benefício de programas de gerenciamento de manutenção e trocar informações entre equipes;
- Promover padronização dos equipamentos;
- Monitorar novas tecnologias e desenvolvimentos;
- Definir metas e monitorar indicadores de desempenho;
- Gerenciar estrutura de divisão de ativos (árvore hierárquica);
- Gerenciar documentação técnica;
- Verificar conformidade regulamentar;

- Gerenciar melhoria contínua;
- Desenvolver relatórios e rotas de inspeção;
- Selecionar peças de reposição e definir conjuntos reparáveis;
- Desenvolver instruções de trabalho detalhadas.

Acompanhar, controlar, avaliar, ajustar e melhorar o processo de manutenção são os principais tópicos e objetivos. O foco da engenharia de confiabilidade é a melhoria e o desenvolvimento sustentável de todas as tarefas de manutenção. É aconselhável uma pessoa totalmente ocupada com engenharia de confiabilidade ao invés de distribuir atividades sobre pessoas diferentes que executam essa função parcialmente ao lado de outras. A engenharia de confiabilidade não deve ser misturada com o papel de um engenheiro de projetos, por exemplo.

A inspeção é uma importante etapa do processo de garantia da confiabilidade operacional dos ativos. Trata-se da atividade preventiva de executar periodicamente rotas de inspeção acionadas diretamente pelo plano de manutenção, em que não há intervenção do planejador. As não conformidades observadas durante a execução dessa rota são caracterizadas como manutenção preventiva baseada na condição. São casos em que não é necessário nenhum trabalho preparatório, peças de reposição ou ferramentas.

As inspeções são realizadas enquanto os equipamentos estão em operação ou parados (normalmente em operação), dependendo do tipo de técnica e os modos de falha que serão observados. Independente da condição de funcionamento, todas as regras de segurança atuais devem ser estritamente definidas e aplicadas.

As saídas da inspeção são as notificações indicando a necessidade de manutenção. Para essas atividades e as demais indicadas por outros colaboradores da área, o inspetor deve realizar o planejamento das atividades seguindo as seguintes etapas:

- Analisar os requisitos de trabalho e determinar os materiais (inserindo-os na ordem de serviço conforme necessidade);
- Estudar e gerenciar pedidos de trabalho aprovados;
- Definir a abordagem e divisão de tarefas;
- Definir mão de obra;
- Informar o bloqueio e riscos da área.

Por fim, ao realizar o preenchimento completo da ordem de serviço e estimar os custos, a ordem deve ser enviada ao Avaliador 02.

As atividades do processo de manutenção são muito complexas e extensas. Isso significa que o controle, acompanhamento e otimização desses elementos são partes importantes para obter uma produção sustentável. Para atingir os objetivos e metas de manutenção, um custo estrito, KPI e acompanhamento de melhoria deve-se conter na equipe o papel do avaliador 02. Ele é essencialmente um controlador que se concentra no alinhamento dos esforços com as prioridades dadas nos planos. Dentre seus objetivos, podem-se destacar:

- Manter o orçamento;
- Planejar recursos, orçamento e seu acompanhamento;
- Acompanhamento de KPIs, plano multianual e segurança;
- Aprovação ou rejeição de ordens de serviço;
- Informar ao requerente a razão em casos de rejeição;
- Aprovar ou alterar a prioridade da ordem;
- Aprovar estimativas de custos dentro dos limites pré-definidos;
- Aprovar apenas ordens que se enquadram na política técnica de produção e manutenção;
- Coleta de informações ligadas à produção, mecânica, elétrica, qualidade, administração e suporte.

O papel do avaliador 02 está ligado a diferentes funções e diferentes níveis de organização na manutenção. Para cada processo, ele deve definir metas detalhadas e específicas que estão relacionadas a tópicos de manutenção, KPI's, cronogramas e planejamento estratégico.

Quando uma avaria acontece (corretiva imediata), intervenções podem ser necessárias para resolver o problema. No entanto, às vezes, o problema pode ter um impacto muito importante sobre a qualidade e a produção, o que necessita de uma decisão a um nível elevado.

O planejador é aquele que analisa os requisitos do trabalho e determina os materiais, equipamentos e necessidades de mão de obra (modelos, ferramentas, peças, especialistas, habilidades, permissões) para completar o trabalho de forma segura, econômica e eficiente.

O papel no planejador é predominantemente na preparação do trabalho, mas outros dois segmentos, como execução e acompanhamento de ordens, fazem parte de sua rotina. O papel do planejamento é manter uma gestão rigorosa e acompanhamento das ordens de trabalho. Elas são o ponto de coleta de todas as informações de manutenção importantes,

como custos, conteúdo e tarefas, departamento responsável, prioridade e instruções de segurança. O planejador pode requisitar serviços especializados em caso de problemas específicos. Os diferentes status representam as etapas do fluxo de trabalho. Eles permitem uma lista das ordens de serviço para planejamento e agendamento.

A etapa de provisionamento é encarregada de realizar a integração da manutenção com o setor de suprimentos a fim de garantir que todas as necessidades da área sejam atendidas conforme os prazos combinados.

O provisionador deve checar as ordens que foram aprovadas pelo Avaliador 02 e conferir os materiais inseridos pelo inspetor planejador, checando se os itens de estoque estão disponíveis na data presente e a data de necessidade dos itens a serem comprados. Os resultados esperados a partir do desenvolvimento das atividades acima são: redução de tempo de paradas por falta de material e otimização da utilização dos ativos e recursos disponíveis.

A função da programação da manutenção significa agendar serviços de modo que a capacidade e os meios sejam utilizados de forma eficiente e as paradas de manutenção corretiva da instalação sejam limitadas. A programação tem como objetivo:

- Programar, de acordo com as previsões do plano, todas as manutenções a se realizarem na semana, quinzena e mês;
- Agendar equipamentos auxiliares e ferramentas especiais, quando necessário;
- Distribuir a mão de obra necessária para execução dos serviços planejados;
- Envolver todas as áreas (Produção, Suprimentos e Segurança) junto com a Manutenção para a definição da programação semanal;
- Apresentar, semanalmente, e solicitar formalmente à produção, ativos que devem ser paralisados para receber a manutenção, de acordo com a programação das atividades preventivas;

A carteira de trabalho do programador também deve ser gerida com base no horizonte de planejamento, ou seja, curto, médio e longo prazo. O planejamento de longo prazo (considerando a atividade de Manutenção) é interessante quando se deseja estabelecer metas com previsão anual que devem estar em consonância com o planejamento da produção. Para este planejamento, deve-se considerar um mapeamento dos riscos e avaliação dos impactos pelo não cumprimento dos serviços planejados. O planejamento de médio prazo é o processo voltado para assegurar que as atividades selecionadas no plano de longo prazo sejam adequadamente planejadas em um prazo superior a três meses e inferior a um ano.

Para atividades de curto prazo, o programador deve convocar e conduzir a reunião semanal de planejamento, em que serão decididos, em conjunto com os envolvidos, os trabalhos que serão realizados nas próximas semanas. Nessa reunião, o cronograma é discutido e adaptado às últimas informações disponíveis e, após a reunião e devidas alterações, o cronograma é entregue à execução.

A execução de cada trabalho deve ser relatada e documentada pela equipe de manutenção. Esses relatórios são as entradas para o processo de confirmação de ordens. Um passo importante no fechamento e retorno das ordens de serviço é observar todos os trabalhos que foram programados e não foram executados. Esses pontos devem ser discutidos nas reuniões de planejamento.

O executante precisa fornecer informações sobre seu trabalho por meio da ordem de serviço e verbalmente ao supervisor. O programador de manutenção pode decidir avaliar com o técnico, supervisor e a equipe o real desvio da atividade, como lista de tarefas incorretas e estimativas de materiais, ferramentas e horas de trabalho erradas. Após a execução de uma ordem de serviço, as horas reais e os materiais adicionais devem ser confirmados pelo responsável designado.

É observado que cada área de manutenção possui seus respectivos colaboradores com suas respectivas funções definidas, porém muitas vezes o mesmo integrante da equipe exerce duas ou mais funções, o que pode influenciar no resultado final de produção.

## **4.2 Diagnóstico do MCC aplicado pela empresa**

Afim de conhecer um pouco mais, através da observação direta, sobre o funcionamento da manutenção da empresa, foi elaborado um questionário com diversas perguntas nos âmbitos de: gestão da manutenção, estoque, melhorias, criticidade e confiabilidade, em que foi enviado e, posteriormente, respondido pelo Técnico de Confiabilidade de uma das áreas de manutenção da empresa.

### **4.2.1 Gestão da manutenção**

A gestão da manutenção é de suma importância para qualquer empresa e isso vai além de reduzir custos, um bom gerenciamento de manutenção deve-se focar em garantir a qualidade dos produtos e ativos, reduzir custo de mão de obra, melhorar a taxa de utilização dos equipamentos, restringir investimento em ativos desnecessários, dentre outros. É de

obrigação de todos os funcionários do setor de manutenção estarem cientes de como executar estratégias de manutenção eficientes e pontuais.

Equipamentos críticos tendem a causar paradas de produção significativas o suficiente para impactar o prazo de entrega de um produto ao cliente, desastres ambientais, alto risco de segurança e altos custos de reparo. Portanto, negligenciar atividades preventivas que permitem a operação do equipamento no ponto ótimo é prejudicial à empresa.

De acordo com o questionário é possível perceber que a empresa monitora o cumprimento dos planos de manutenção dos ativos críticos. São realizadas reuniões para tratativas de problemas relacionados a manutenção, apresentação de resultados, metas e KPI's com periodicidade mensal, enquanto planejamento e programação das demandas de manutenção como: execução e priorização de atividades são executadas de forma semanal, além disso é realizado 5S nas áreas de manutenção, o que já se previne de inúmeras situações que possam vir a ser causas raiz de alguma parada de produção relacionada a falha de algum ativo crítico.

Apesar de que o cumprimento e acompanhamento de manutenção de ativos críticos é maior que 90%, são executadas revisões nos planos de manutenção semestralmente e feito uso do mapa de 52 semanas para planejamento de recursos, as áreas de manutenção ainda apresentam planos e atividades em atraso em seu sistema, esse tipo de deficiência pode trazer sérias consequências para o processo, ocasionar falhas e, conseqüentemente, perdas de produção a qualquer momento, bem como apresentar riscos ao meio ambiente e a segurança de seus colaboradores. Muitas vezes contar com a sorte e esperar que o equipamento resista a próxima parada de manutenção pode não ser a melhor opção.

Foi observado que nas áreas de manutenção não há alguém exclusivamente dedicado a confiabilidade dos ativos críticos. Ter um colaborador exclusivamente dedicado a essa função é de extrema importância para qualquer equipe de manutenção, com ele é possível focar estritamente na melhoria e no desenvolvimento sustentável das tarefas de manutenção, reavaliar criticidade dos ativos, otimizar estratégias de manutenção, realizar MCC, definir metas e monitorar indicadores de forma eficiente, gerenciar melhoria contínua, dentre outros.

#### **4.2.2 Estoque**

O gerenciamento de estoque é um componente essencial para qualquer empresa, a partir de uma boa gestão de estoque é possível minimizar prejuízos, otimizar recursos e obter

até aumento de produtividade. O controle e organização são atributos essenciais para uma gestão de ativos eficientes.

De acordo com o questionário, foi evidenciado que, de forma geral, nem todos ativos críticos possuem sobressalentes por diversos motivos como: alto valor de capital parado e falta de espaço para armazenamento. Contudo, sobre os itens em estoque, são feitas constantes verificações dos equipamentos para garantir que estejam bem armazenados e em boas condições de uso.

Apesar de que o controle de sobressalentes é feito de forma automatizada, poucos colaboradores possuem conhecimento para acessar as informações disponíveis no sistema, o que pode ser prejudicial para as áreas de manutenção uma vez que essa é uma tarefa essencial para o conhecimento sobre os sobressalentes disponíveis em estoque e bem-estar dos ativos críticos de produção.

Na prática, os funcionários das áreas de manutenção possuem um domínio deficiente das metodologias e acesso de estoque, esta que deveria ser uma responsabilidade de entendimento de todos da área de manutenção.

### **4.2.3 Melhorias**

A melhoria contínua é um esforço contínuo para melhorar produtos, serviços e processos, o que é essencial na manutenção. A busca pelo aperfeiçoamento deve ser considerada pré-requisito no contexto industrial em que tenta-se sempre produzir mais e gastar menos, porém na maioria das vezes faz-se necessário investir para colher os frutos depois.

De acordo com o questionário, as áreas de manutenção detêm um orçamento definido anualmente para efetuar melhorias e reparos nos ativos críticos de produção, sendo necessário reuniões estratégicas para tomada de decisão. Todavia muitas vezes o orçamento pré-definido não é suficiente para atender todas as demandas críticas de manutenção, na qual o gestor da área em questão terá o dever de definir, junto a sua equipe, a melhor estratégia para o gasto da verba em pontos cruciais em sua área de produção.

Muitas vezes não é possível o investimento na melhoria dos ativos devido o acontecimento de falhas pontuais durante o ano, que prejudicam o uso da verba disponibilizada. Há sempre a possibilidade de requisição de mais recursos financeiros por parte do gestor aos seus superiores, porém, infelizmente, na maioria das vezes são negados mesmo diante da comprovação da necessidade de mais verba.

Também segundo o questionário, não são realizados estudos para a melhoria da confiabilidade dos ativos críticos devido à falta de maturidade de gerenciamento de manutenção, o que deixa mais evidente a falta de interesse em projetos de melhorias e, conseqüentemente, a uma mentalidade atrasada dos diretores em relação a manutenção.

#### **4.2.4 Criticidade**

A definição de criticidade é essencial na manutenção, a partir dela é possível conhecer em qual parte do processo, sistema ou ativo requer mais atenção. O processo de definição da criticidade dos ativos leva em consideração diversos fatores como: preço do componente, se há sobressalente, em caso negativo, dificuldade para aquisição de sobressalente, importância para o processo produtivo, dentre outros.

De acordo com o questionário, a empresa tem mapeado todos os ativos críticos de produção, em que todos também possuem estratégias de manutenção pré-definidos como planos de manutenção preventivos, preditivos e inspeção.

Menos de 90% dos ativos críticos não possuem monitoramento *online* nem inspeção inteligente, o que pode ser mais um indicio da escassez de investimento perante a melhoria dos ativos críticos de produção.

#### **4.2.5 Confiabilidade**

Nos dias atuais é imprescindível um setor de manutenção sem confiabilidade, a partir dela é possível fazer previsões, ter embasamento para tomada de decisões estratégicas e até mesmo executar modificações no processo produtivo. É muito utilizada como medida de desempenho do sistema e/ou equipamentos e está diretamente ligada a estatística e probabilidade. A confiabilidade de um ativo ou sistema pode ser mensurada a partir de indicadores que são calculados diante do acompanhamento de histórico e funcionamento do equipamento.

De acordo com o questionário, os ativos críticos não têm definidos metas de rendimentos/disponibilidade de acordo com os objetivos de produção, o que pode ser difícil mensurar no final se o ativo está trabalhando com o rendimento esperado ou não. Também foi observado que as áreas de manutenção não têm preestabelecidos KPI's para todos equipamentos críticos.

Foi constatado via questionário que as áreas fazem uso dos KPI's mais utilizados no mercado atualmente como: disponibilidade, taxa de falhas, tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo e tempo médio para a falha com exceção da distribuição de Weibull, na qual não é aplicado de forma alguma pela empresa.

A distribuição de Weibull é um indicador em que se faz coleta das amostras de falha do equipamento e, através de um *software* estatístico, é executado a verificação de aderência a distribuição de Weibull e estimativa de parâmetros, esses que são utilizados para obter previsão de falhas do ativo, envolvendo custos e riscos para gerar ações corretivas como inspeção, reparos ou trocas.

Foi evidenciado que, segundo a empresa, é feito MCC em equipamentos críticos periodicamente e também executa análise de anomalias quando há ocorrências de falhas funcionais, porém o percentual de equipamentos críticos que possuem Análise de Efeitos e Modos de Falha (*FMEA*) é extremamente baixo, perto dos 28%.

A empresa não faz uso de árvore lógica para tomada de decisão em caso de falha, na qual existe apenas planos de contingência para situações de falha que ainda estão em construção pela equipe de manutenção.

Houve constatação que as áreas de manutenção da empresa utilizam paretos para os maiores causadores de falha têm-se o histórico de falhas dos ativos críticos, contudo não executam acompanhamento da evolução de falhas em função do tempo bem como não possuem registros dos planos de ação e melhorias para os equipamentos críticos de produção.

Enquanto no trabalho “Estudo sobre métodos, técnicas e ferramentas da qualidade que possuem melhor aplicabilidade para garantir a confiabilidade dos equipamentos na indústria da mineração” escrito por Rabelo, em 2021, foi proposto que, a partir das técnicas da Manutenção Centrada em Confiabilidade, as ferramentas da qualidade que apresentam melhor aplicabilidade no setor de confiabilidade na indústria minero-metalúrgica segundo os colaboradores, são Árvore de Falha, Diagrama de Causa e Efeito e Diagrama de Pareto, este presente trabalho foi capaz de acrescentar outras técnicas que serão abordadas no próximo item.

#### **4.2.6 Propostas de melhorias**

Dentre os assuntos destrinchados no questionário, é possível sugerir algumas possíveis soluções, evidenciado na Tabela 2, na tentativa de obter-se melhorias, em um contexto geral,

em todas as áreas de manutenção da empresa, de maneira a identificar e, conseqüentemente, tentar reduzir erros e falhas decorrentes de faltas de estratégias a maturidade de manutenção dos colaboradores como um todo.

Tabela 2- Propostas sugeridas

<b>Área em consideração</b>	<b>Propostas sugeridas</b>
Gestão da manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuniões diárias para tratativas de planos de manutenção não executados ou adiados nos ativos críticos de produção;</li> <li>• Possuir um colaborador exclusivamente dedicado a confiabilidade de ativos críticos, fora da rotina de manutenção, de forma a propor melhorias, fiscalização de KPI's, elaboração de FMEA, planos de contingência, dentre outros.</li> </ul>
Estoque	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treinamento para os colaboradores das áreas de manutenção voltado para ao acesso de informações sobre os sobressalentes existentes em estoque.</li> </ul>
Melhorias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treinamento para os gestores sobre a necessidade e mudança de filosofias de manutenção voltadas para o aumento da confiabilidade e investimento dos ativos;</li> <li>• Reunião estratégica com o gestor da área para definição do orçamento anual de manutenção de forma realista de acordo com a necessidade de cada área;</li> <li>• Realização de investimentos para a viabilidade de estudos voltado a melhoria continua da confiabilidade dos ativos.</li> </ul>
Criticidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar estudo sobre a viabilidade e, possível, necessidade de monitoramento <i>online</i> e 24 horas por dia dos ativos críticos de produção.</li> </ul>
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição de metas para rendimento/disponibilidade para os ativos críticos de produção;</li> <li>• Prestabelecer KPI's mínimos para os equipamentos críticos;</li> <li>• Adotar a distribuição de Weibull como pré-requisito para os ativos críticos;</li> <li>• Estabelecer FMEA como essencial para todos os equipamentos críticos de produção;</li> <li>• Adotar o uso da árvore lógica de decisão na rotina de manutenção;</li> <li>• Executar acompanhamento da evolução de falhas em função do tempo, bem como registrar planos de ação e melhoria dos ativos críticos.</li> </ul>

Fonte: Pesquisa direta (2022)

Observa-se na tabela 2 que foi possível, a partir da abordagem teórica da Manutenção Centrada em Confiabilidade, propor melhorias para atingir um melhor funcionamento da rotina e gerenciamento de manutenção da empresa escolhida. É possível perceber ao possuir, de fato, um Engenheiro de Confiabilidade dedicado exclusivamente aos ativos críticos pode melhorar radicalmente todo o fluxo de manutenção das áreas envolvidas. A partir dele é possível se dedicar a aderência de novos KPI's, como a distribuição de Weibull, elaboração de *FMEA*, definição de retas de rendimento/disponibilidade dos ativos, acompanhamento de evolução de falhas, dentre outros.

Também é importante a realização periódica de treinamentos nos quesitos de estoque de forma a obter-se colaboradores qualificados para todos os imprevistos das rotinas de manutenção, bem como um aumento dos investimentos destinados ao desenvolvimento contínua da confiabilidade referente aos ativos críticos de produção.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são abordadas as conclusões finais alcançadas ao final do trabalho, assim como sugestões para futuros trabalhos.

### 5.1 Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo analisar como a abordagem teórica da Manutenção Centrada em Confiabilidade pode auxiliar na melhoria da confiabilidade dos ativos do Departamento de Manutenção de uma empresa siderúrgica, em que foi adquirido, através de questionário, as informações necessárias para conhecer a fundo o funcionamento das áreas de manutenção estudadas, e propor melhorias para o sistema.

Com o questionário respondido através do Técnico de Confiabilidade da empresa estudada, é possível responder o questionamento inicial de como a abordagem teórica da Manutenção Centrada em Confiabilidade pode auxiliar na melhoria da confiabilidade dos ativos críticos do Departamento de Manutenção de uma empresa siderúrgica.

Foi evidenciado que dentre os KPI's utilizados para fiscalização dos ativos críticos de produção, não é feito uso da distribuição de Weibull na qual é possível se obter, através de *software* estatístico, previsão de falhas do ativo. Também é possível perceber a falta de maturidade da equipe de manutenção no que tange a definição de metas para disponibilidade/rendimento dos equipamentos críticos.

Vale destacar que é possível obter melhorias em diversos âmbitos da confiabilidade quando se tem um Engenheiro de Confiabilidade em dedicação exclusiva, uma vez que a maioria exerce suas funções restritas a rotina diária de manutenção, para os ativos críticos de produção, na qual seria possível realizar estudos para atrair investimento com foco em melhoria de processos e equipamentos, realização de *FMEA* em equipamentos de criticidade alta, implantação de árvore de decisão lógica na rotina de manutenção, dentre outros.

Diante disso, percebe-se que a abordagem teórica da Manutenção Centrada em Confiabilidade oferece contribuições significativas para o aumento da confiabilidade dos ativos críticos do Departamento de Manutenção de uma empresa em questão.

### 5.2 Recomendações

A partir do estudo elaborado, seguem as recomendações de títulos para trabalhos posteriores:

- Aplicação da distribuição de Weibull para melhoria de confiabilidade do setor de manutenção de uma empresa siderúrgica;
- Proposta da implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade no setor de laminação de uma empresa siderúrgica;
- Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade para investigação de falhas do compressor de ar de uma empresa siderúrgica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AZEVEDO, Rogério Cabral de; ENSSLIN, Leonardo. **Metodologia da Pesquisa Para Engenharias**. [S. I.]: Cefet-Mg, 2020.

BARAN, Leandro Roberto. **MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA NA REDUÇÃO DE FALHAS: UM ESTUDO DE CASO**. 2011. 103 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Industrial Produção e Manutenção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

BARBOSA, João Paulo. **MODELAGEM DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS POR COMBINAÇÕES OU EXTENSÕES DE DISTRIBUIÇÕES DE WEIBULL**. 2008. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

CLEMENTE JR, Sergio dos S. **Estudo de Caso x Casos para Estudo: esclarecimentos a cerca de suas características**. Anais do VII Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul, Caxias do Sul – RS, 2012.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 5a Edição. Curitiba: Positivo, 2010.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus-Elsevier, 2011. v. 1.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S. A., 2002.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384 p.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 5. ed. [S. I.]: Qualitymark, 2001.

LEEMIS, L. **Reability: probabilisticmodelsandstatisticalmethods**. Nova York: Prentice – Hall, 1995.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S. A., 2003.

MINITAB 19. **Software estatístico**. Disponível em: <<http://www.minitab.com>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

MORTELARI, DENIS; SIQUEIRA, KLEBER; PIZZATI, NEI. **O RCM na quarta geração da manutenção**. São Paulo: RG Editores, 2011.

MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press Inc, 1997.

NAVAIR. **Management Manual: guidelines for the naval aviation Reliability-Centered Maintenance Process**. NAVAIR 00-25-403. Naval Air Systems Command. USA, 2005.

OLIVEIRA, Lucas Guilherme Ramos; SILVA, Messias Borges; PEREIRA, Daniel de Moura. **ANÁLISE QUANTITATIVA PARA AUMENTO DA CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE UMA MANDRILHADORA CNC EM UMA EMPRESA METALÚGICA**. 2017. 22 f. Artigo - Engep, Joinville, 2017.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira de. **METODOLOGIA CIENTÍFICA: um manual para a realização de pesquisas em administração**. 2011. 73 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2011.

PEIXOTO, Lauro Leoncio Wagner. **O Método de Estudo de Caso na Metodologia da Pesquisa Científica e o Método de Caso no Processo Didático de Ensino Aprendizagem: uma análise comparativa entre suas características, suas vantagens e desvantagens**. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos19/20528167.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2022.

RABELO, Diego Gusmão. **Estudo sobre métodos, técnicas e ferramentas da qualidade que possuem melhor aplicabilidade para garantir a confiabilidade dos equipamentos na indústria da mineração**. 2021. 81 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

RAUSAND, M. (1998) **Reliability Centered Maintenance**, Paper of Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology, n-7034 Trondheim, Norway.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

- ROCHA, Henrique Martins. **Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2019.
- SELLTIZ, C. et al. **Métodos de pesquisa das relações sociais**. São Paulo: Herder, 1965.
- SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, EsteraMuszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino A Distância da Ufsc, 2001. 121 p.
- SIMONETTI, M. J.; SOUZA, A. L.; SILVEIRA, L. S. F.; ARRUDA, J. P. S.: **A importância da engenharia da confiabilidade e os conceitos básicos de distribuição de weibull**. Sapere, volume 1, No 1, julho a dezembro de 2009.
- SMITH, Anthony M.; HINCHCLIFFE, Glenn R.. **RCM - Gateway To World ClassMaintenance**. [S. I.]: ElsevierButterworth-Heinemann, 2004.
- SMITH, Anthony M. **Reliability-CenteredMaintenance**. 1a. ed. Boston: McGraw- Hill, 1992.
- SOEIRO, Marcus Vinícius de Abreu; OLIVIO, Amauri; LUCATO, André Vicente Ricco. **Gestão da manutenção**. Londrina: Distribuidora Educacional S. A., 2017. 208 p.
- SOUZA, Strauss Sydio de; LIMA, Carlos Roberto Camello. **Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica**. 2003. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003\\_TR0109\\_1353.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0109_1353.pdf). Acesso em: 07 dez. 2021.
- TAVARES, Lourival. **Administração Moderna de Manutenção**. Novo Pólo Editora – New York, 1998.
- TELES. **Engenharia de Manutenção**. Disponível em: <https://engeteles.com.br/engenharia-de-manutencao/>. Acesso em: 08 nov. 2021.
- VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3.ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.
- VERZANI; SANDRINI. **O que é Manutenção Centrada em Confiabilidade?** Disponível em: <https://www.verzani.com.br/blog/manutencao-centrada-em-confiabilidade/>. Acesso em: 13 dez. 2021.
- VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM - Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.
- XENOS, HarilausG.. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. [S. I.]: EDG, 1998.

## ANEXOS

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas

Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC)

Melhoria da confiabilidade dos ativos críticos através da aplicação teórica da  
Manutenção Centrada em Confiabilidade

**Orientando:** Thiago Fernandes Anício Costa

**Orientador:** Washington Luís Vieira da Silva

**Data:** 23 / 05 / 2022

Função que exerce o entrevistado empresa: Técnico de Confiabilidade

### **Objetivo**

A finalidade deste questionário é levantar informações que mostrem como é feita a gestão de manutenção dos ativos críticos de produção em uma empresa siderúrgica, além de levantar quais ferramentas são usadas a medida em que o RCM é aplicado.

### **Gestão da manutenção**

- 1) A área monitora, de forma regular, o cumprimento dos planos de manutenção dos ativos críticos?

De modo geral, ter o entendimento de quais equipamentos são considerados como chave para sustentabilidade contínua do processo de produção é um passo importante para diferenciar atividades que são mais e menos importantes. Nesse sentido, o cumprimento das tarefas previstas no plano de manutenção é fundamental, sendo necessário um alto índice de cumprimento das tarefas previstas para estes equipamentos de maior importância para o processo produtivo.

Para realizar essa gestão de modo específico e detalhado, os cumprimentos dos planos de manutenção dos equipamentos críticos são medidos sistematicamente de maneira separada.

- 2) As áreas de manutenção possuem organograma definido que contemple todas as funções e responsabilidades dos colaboradores? Na prática é feito, de forma correta, o cumprimento dessas funções?

Existem diferentes maneiras de construir um organograma das equipes de manutenção. Nesse aspecto, entendo que o processo de construção, por vezes, necessita de várias etapas de revisão e adequação, até se chegar no cenário ideal. São muitas variáveis a serem consideradas, como por exemplo, os objetivos da organização, o nível de maturidade da equipe, o número de FTE disponível e até mesmo o tamanho físico da área.

É fundamental, portanto, que duas coisas estejam muito claras nesse processo de construção até se chegar no cenário “ideal”: os papéis e responsabilidades de cada função na equipe e os KPI's e metas que irão nortear a saúde daquele processo. Ainda, é fundamental compreender que nesse aspecto a mudança é a única constante, e não existe receita de bolo.

Alguns processos são imprescindíveis para o funcionamento do fluxo de manutenção, são eles: inspeção, planejamento, provisionamento, programação e execução. Se faz ainda necessário ter os atores que controlem e deem suporte a esses processos, que são o Analista de Planejamento e Controle da Manutenção os Supervisores de Inspeção e Execução e o Engenheiro de Confiabilidade.

- 3) É feito semanalmente, reuniões para a discussão das ocorrências e problemas de manutenção?

As áreas de manutenção devem sistematizar algumas reuniões para tratativa de problemas, planejamento e divulgação de resultados, além daquelas que julgarem necessárias. Abaixo algumas reuniões fundamentais para o gerenciamento da rotina de manutenção:

1. Reunião de análise crítica e divulgação de resultados. (Mensal)

- a. Divulgação dos resultados de segurança;
- b. Divulgação de auditorias;
- c. Apresentação dos KPIs;
- d. Divulgações de metas e perspectivas.
- e. Elaboração de ATA e plano de ação.

2. Reunião de Planejamento e Programação. (Semanal)

- a. Priorização de atividades;

- b. Feedback da execução;
  - c. Planejamento de curto, médio e longo prazo das demandas.
  - d. Apresentação da carteira de backlog à equipe.
  - e. Elaboração de ATA e plano de ação.
3. Análise crítica pós Parada Programada. (Até 1 semana após a parada)
- a. Envolvimento das contratadas e equipe da operação;
  - b. Discussão de ações de melhoria;
  - c. Levantamento dos pontos positivos da parada;
  - d. Elaboração de ATA e plano de ação.
4. Reunião de gestão de custos (Semanal)
- a. Projeção de fluxo de caixa (Serviço fixo, spot, materiais...);
  - b. Estimativa dos itens que irão comprometer o orçamento;
  - c. Discussão dos itens a serem priorizados;
  - d. Acompanhamento dos custos do backlog.
  - e. Controle de desembolso por criticidade.
  - f. Elaboração de ATA e plano de ação.
5. Reunião com o Suprimentos (Quinzenal)
- a. Validação e acompanhamento dos itens enviados para reparo;
  - b. Acompanhamento dos pedidos de compra em atraso;
  - c. Elaboração de ATA e plano de ação.
- 4) Há, em todas as áreas de manutenção, alguém dedicado exclusivamente para a confiabilidade dos ativos críticos?
- Sim ( ) Não ( x )
- Depende do tamanho da área e do FTE disponível. O ideal é que o SDCA seja separado do PDCA, porém nem sempre é possível ter os recursos necessários. Nos casos em que não é possível ter a separação desses papéis, faz-se necessário equilibrar ambos os processos.
- 5) O orçamento de manutenção é suficiente para atender as demandas dos ativos críticos de produção?

No cenário ideal, o orçamento de manutenção deve ser construído baseado na estimativa de custo das atividades de manutenção que são necessárias para manter a

confiabilidade dos ativos. Entretanto, no mundo real, o recurso provido pela empresa é limitado, portanto faz-se necessário a avaliação e gerenciamento dos riscos.

- 6) É feita revisão dos planos de manutenção dos ativos críticos semestralmente?

Sim ( x ) Não ( )

As revisões devem ser realizadas sempre que houver necessidade. O plano é um elemento vivo, ou seja, deve constantemente ser revisado pela expertise do inspetor e engenheiro de confiabilidade. Saídas de análises de anomalia e aprendizados obtidos por metodologias consagradas de manutenção, como o RCM.

- 7) As áreas de manutenção possuem organização e limpeza nos padrões 5S? Há Fiscalização?

Sim ( x ) Não ( )

Limpeza e organização são aspectos chave para a manutenção e, normalmente, quando negligenciados são causa raiz de inúmeras situações críticas em termos de segurança e, causa de atrasos durante atividades corretivas não planejadas.

- 8) É feito o uso do mapa de 52 semanas para otimização dos planos de manutenção dos ativos críticos?

Sim ( x ) Não ( )

O Mapa de 52 Semanas é uma importante ferramenta para gerenciamento dos recursos financeiros e de mão de obra pois, permite olhar ao longo do tempo como está o acúmulo desses itens, possibilitando assim uma antecipação de planejamento e previsibilidade do orçamento.

- 9) As áreas possuem planos de manutenção em atraso em que não são reprogramados e/ou executados?

Sim. Algumas atividades de manutenção só podem ser feitas durante grandes paradas programadas em função de grande quantidade de interferência com outros processos da empresa e, quando não são realizadas por algum motivo específico, pode acontecer de a próxima janela de execução estar em um intervalo distante ou desconhecido.

Esses são riscos conhecidos, que devem ser analisados e geridos de maneira a não causar paradas não programadas do processo produtivo.

- 10) O cumprimento e acompanhamento da manutenção dos ativos críticos é maior que 90%?

Sim ( x ) Não ( )

## Estoque

- 1) As áreas possuem sobressalentes para os ativos críticos?

De modo geral, sim. Alguns por acarretarem em um alto valor de capital parado em estoque não são interessantes do ponto de vista da saúde da organização. Porém, nesses casos é ideal que se tenha um plano de contingência para continuidade da operação sem determinado ativo.

- 2) É feita conferencia, regularmente, desses sobressalentes?

Sim ( x ) Não ( )

Devido a condição normal de deterioração dos ativos e, também da criticidade dos mesmos, faz-se necessário constantes verificações desses equipamentos em estoque. O ideal é garantir que estejam bem armazenados e, quando forem utilizados estejam em condições adequadas.

- 3) O controle de sobressalentes é feito de forma automatizada no sistema de fácil acesso para os colaboradores? Todos sabem acessar caso necessário?

Sim ( x ) Não ( )

Sim, o controle de estoque é feito de maneira integrada ao CMMS de manutenção. Porém nem todos os colaboradores possuem expertise suficiente para manipular os dados.

- 4) Os ativos críticos que não possuem sobressalentes detêm plano de contingência?

Pretende-se sempre que sim. Porém caso existam gap's nesse sentido, o risco deve ser de conhecimento de todos os níveis da organização,

- 5) Todos os colaboradores da área possuem conhecimento sobre o controle de estoque dos sobressalentes dos ativos críticos?

Sim ( ) Não ( x )

As políticas de estoque e classificação dos itens são assuntos de responsabilidade da equipe de suprimentos, porém é fundamental que sejam conhecidas pela manutenção. Na prática, o pessoal possui um domínio deficiente das metodologias e da política de suprimentos.

- 6) As áreas de armazenamento de sobressalentes dos ativos críticos possuem boa organização e se encontram em um bom estado de limpeza? Há fiscalização?

Sim, os equipamentos são constantemente verificados em estoque e sua busca é feita com base em quadras e identificação no sistema.

### **Melhorias**

- 1) As áreas de manutenção possuem um plano de investimento para melhorias dos ativos críticos?

As áreas de manutenção possuem um planejamento de CAPEX anual, em que projetos estratégicos são aprovados para o ano seguinte, mediante a comprovação de necessidade e resultados que serão alcançados por meio desse investimento.

- 2) São realizados estudos para a melhoria da confiabilidade dos ativos críticos?

Isso exige um nível de maturidade de gerenciamento de manutenção elevado. Os estudos são realizados para identificar os maiores causadores de perda de produção e custos elevados. Para estes equipamentos são propostos melhorias de reengenharia, revamp e etc.

### **Criticidade**

- 1) A empresa tem mapeado todos os ativos críticos de produção?

Sim ( x ) Não ( )

- 2) Todos os ativos críticos possuem estratégias de manutenção pré-definidas? Todos da equipe de manutenção estão cientes?

Sim ( x ) Não ( )

- 3) Todos os ativos críticos possuem planos de manutenção preventivos, preditivos e inspeção?

Sim ( x ) Não ( )

- 4) Mais de 90% dos ativos críticos possuem inspeção inteligente e monitoramento 24 horas por dia?

Sim ( ) Não ( x )

Existe um planejamento plurianual de investimento para obter o nível ideal de monitoramento online. Importante salientar que o investimento deve ser contínuo, e priorizado de acordo com a importância e manutenibilidade de cada sistema.

### **Confiabilidade**

- 1) Os ativos críticos têm definidos metas de rendimento/disponibilidade de acordo com os objetivos de produção?  
2) Sim ( ) Não ( x )
- 3) As áreas possuem KPI's preestabelecidos para todos os ativos críticos?  
Sim ( ) Não ( x )
- 4) Os KPI's são atualizados regularmente e de forma automática?  
Sim ( ) Não ( x )
- 5) Todos da equipe de manutenção estão cientes da funcionalidade dos KPI's e conseguem acessa-los quando necessário?  
Sim ( x ) Não ( )
- 6) Dentre os KPI's utilizados estão presentes: disponibilidade, taxa de falhas, tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo, tempo médio para falha e distribuição de Weibull?  
Sim, exceto Weibull.
- 7) Como a distribuição de Weibull é aplicada pela empresa?  
Não aplicamos.
- 8) Pelo menos 80% dos ativos críticos possuem FMEA?  
Sim ( ) Não ( x )  
Percentual é próximo a 28%
- 9) É realizado, periodicamente, MCC nos ativos críticos?  
Sim ( x ) Não ( )
- 10) É feito análise de anomalia quando há falha funcional dos ativos críticos?  
Sim ( x ) Não ( )
- 11) Existe árvore lógica para tomada de decisão em caso de falha? Em caso afirmativo, todos da equipe de manutenção possuem conhecimento?  
Sim ( ) Não ( x )  
Existe somente plano de contingência para situações de falha, que ainda está em construção.
- 12) As áreas acompanham a evolução de falhas dos seus ativos críticos em função do tempo? Em caso afirmativo, como?

Não é feito um acompanhamento desse tipo. O que se faz rotineiramente é avaliar os paretos dos maiores causadores de falha.

- 13) Há registros históricos de falhas, análise de falhas, planos de ação e melhorias para os ativos críticos?

Sim, para cada falha existe uma notificação e ordem de correção atrelada ao equipamento, gerando assim o histórico de falha do mesmo.