



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**FILIFE CARNEIRO BASTOS**

**IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)**  
**EM UM ALTO FORNO DE USINA SIDERÚRGICA**

Belém - PA

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**FILIFE CARNEIRO BASTOS**

**IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)**  
**EM UM ALTO FORNO DE USINA SIDERÚRGICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama

Belém - PA

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

B327i Bastos, Filipe Carneiro.  
Implantação da manutenção centrada na confiabilidade (MCC)  
em um alto forno de usina siderúrgica / Filipe Carneiro Bastos. —  
2023.  
51 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Industrial, Belém, 2023.

1. Manutenção Centrada na Confiabilidade. 2. Usina  
siderúrgica. 3. Alto forno. I. Título.

CDD 620.00452

---

FILIPPE CARNEIRO BASTOS

**IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)  
EM UM ALTO FORNO DE USINA SIDERÚRGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial. Área de concentração: Projetos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama

Data de Aprovação: 05 de julho de 2023.

Banca examinadora:



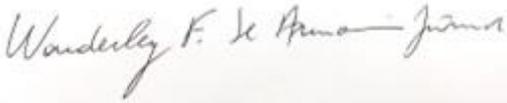
Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama

- Orientador/Presidente  
PPGEI/UFPA



Prof. Dr. Petronio Vieira Junior

- Membro Interno  
PPGEI/UFPA



Prof. Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

- Membro Externo  
PPGEM/UFPA

*Dedico este trabalho a todos que me apoiaram nessa caminhada, em especial aos meus pais, Albuquerque e Amparo; e a minha irmã Fernanda, que contribuíram para que esta conquista se concretizasse.*

## **AGRADECIMENTOS**

Acima de tudo e em primeiro lugar agradeço a Deus, razão de tudo e de todos nós.

Aos meus pais, Francisco Albuquerque Bastos e Maria do Amparo Carneiro Bastos, e minha irmã Fernanda Carneiro Bastos, pelo apoio e compreensão, que foram essenciais nesta minha conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama, pelo incentivo, orientação e auxílio.

*Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.*

*(Thomas Edison)*

## RESUMO

O desenvolvimento tecnológico vem proporcionado inúmeras mudanças no processo industrial, e têm levado à necessidade do aprimoramento da manutenção em face da importância da disponibilidade operacional para o resultado das empresas. Nesta ótica as Manutenções Centradas na Confiabilidade têm sido utilizadas no setor industrial, almejando melhorias no processo e garantindo a confiabilidade dos ativos. Este trabalho tem como objetivo avaliar os benefícios concedidos pela implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em um Alto Forno de usina siderúrgica. Para aplicabilidade do método, as 5 etapas para implantação foram seguidas, na seguinte ordem: (i) Seleção e capacitação de uma equipe multidisciplinar, (ii) Seleção do sistema/processo e coleta de informações, (iii) Análise de confiabilidade dos equipamentos críticos, (iv) Análise das funções e falhas funcionais, (v) Aplicação da FMEA (Análise de modos e efeitos de falha) e (vi) Determinação dos novos planos de manutenção. Por fim, foi realizado comparativo entre os planos de manutenção antes e após a implantação da MCC e apresentado os ganhos obtidos através da redução do número de manutenções corretivas em determinado período de análise.

**Palavras-chave:** Manutenção Centrada na Confiabilidade; Alto Forno; Usina siderúrgica.

## ABSTRACT

The technological development has provided many changes in the industrial process, and has led to the need for improvement of maintenance in view of the importance of operational availability for the companies' results. In this perspective, the Reliability Centered Maintenance has been widely used in the industrial sector, aiming improvements in the process and ensuring the reliability of the assets. To apply the method, the 5 steps for implementation were followed, in the following order: (i) Selection and training of a multidisciplinary team, (ii) Selection of the system/process and information collection, (iii) Reliability analysis of the critical equipments, (iv) Analysis of the functions and functional failures, (v) Application of FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) and (vi) Determination of the new maintenance plans. Finally, a comparison was made between the maintenance plans before and after the MCC implementation and the gains obtained by reducing the number of corrective maintenances in a certain period of analysis were presented.

**Keywords:** Reability Centered Maintenance; High Furnace; Steel Mill.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Evolução das técnicas de Manutenção .....	17
Figura 02 – Tipos de falhas .....	18
Figura 03 - Matriz criticidade ABC.....	21
Figura 04 - Fluxograma da matriz criticidade .....	22
Figura 05 – Etapas do processo siderúrgico .....	24
Figura 06 – Modelo de Diagrama Funcional de um processo.....	27
Figura 07 - Modelo de planilha para elaboração do FMEA .....	29
Figura 08 - Diagrama de Blocos da MCC .....	30
Figura 09 - Diagrama para especificação da falha .....	30
Figura 10 - Comparativo para número de manutenções corretivas .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Tabela de criticidade ABC para os ativos dos Altos Fornos .....	34
Tabela 02 – Equipamentos de criticidade A dos Altos Fornos.....	35
Tabela 03 – Análise de funções e falhas funcionais – Eletrosoprador. ....	36
Tabela 04 – Planilha FMEA – Máquina 01.....	37
Tabela 05 – Planilha FMEA com ações preventivas recomendadas – Máquina 01.....	40
Tabela 06 – Plano de manutenção revisados com base na MCC. ....	42
Tabela 07 – Plano de manutenção antes da implantação da MCC.....	43
Tabela 08 – Comparativo de métricas de confiabilidade (2021 e 2022).....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>MCC</b>	Manutenção Centrada na Confiabilidade
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>FMEA</b>	Análise de modos e efeitos de falha
<b>RCM</b>	Reliability Centered Maintenance
<b>RPN</b>	Risk Priority Number
<b>MTBF</b>	Mean Time Between Failures
<b>MTTR</b>	Mean Time to Repair

## SUMÁRIO

---

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Manutenção Industrial.....</b>	<b>14</b>
2.1.1	Gerações da Manutenção.....	15
2.1.1.1	<i>Primeira Geração – 1940-1950.....</i>	<i>15</i>
2.1.1.2	<i>Segunda Geração – 1960-1970.....</i>	<i>15</i>
2.1.1.3	<i>Terceira Geração – 1970-1990.....</i>	<i>16</i>
2.1.1.4	<i>Quarta Geração – 2000-2005.....</i>	<i>17</i>
<b>2.2</b>	<b>Tipos de falhas.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Tipos de manutenções.....</b>	<b>18</b>
2.3.1	Manutenção corretiva .....	19
2.3.2	Manutenção preventiva.....	19
2.3.3	Manutenção preditiva .....	20
<b>2.4</b>	<b>Matriz de criticidade .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5</b>	<b>Indicadores e métricas de confiabilidade .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6</b>	<b>O processo Siderúrgico.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7</b>	<b>O Alto Forno .....</b>	<b>24</b>
<b>2.8</b>	<b>Manutenção centrada na confiabilidade (MCC) .....</b>	<b>25</b>
2.8.1	Etapas para implantação .....	26
2.8.1.1	<i>Requisitos Operacionais - Seleção do sistema e coleta de informações.....</i>	<i>26</i>
2.8.1.2	<i>Análise Funcional do Sistema .....</i>	<i>27</i>
2.8.1.3	<i>Análise dos modos e efeitos da falha .....</i>	<i>28</i>
2.8.1.4	<i>Seleção das tarefas e tipos de manutenção a serem aplicados.....</i>	<i>29</i>
2.8.1.5	<i>Criação dos planos de Manutenção.....</i>	<i>31</i>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Seleção dos sistemas e coletas de informações .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise de Funções e falhas Funcionais.....</b>	<b>36</b>

<b>5.3</b>	<b>Aplicação da Análise de modos e efeitos de falhas – FMEA.....</b>	<b>36</b>
<b>5.4</b>	<b>Seleção das tarefas de manutenção .....</b>	<b>39</b>
<b>5.5</b>	<b>Criação de Planos de manutenção .....</b>	<b>42</b>
<b>5.6</b>	<b>Comparativo entre planos de manutenção.....</b>	<b>43</b>
<b>5.7</b>	<b>Comparativo do número de manutenções corretivas – SAP PM.....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>47</b>
<b>6.1</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>47</b>
<b>6.2</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

---

Na gestão da manutenção, a utilização de ferramentas estruturadas específicas pode proporcionar maior eficiência e disponibilidade do equipamento, menor custo de manutenibilidade, além de garantir maior segurança e qualidade do processo produtivo. Teles (2019) afirma que a Quarta Geração da Manutenção, nascida nos anos 2000 é marcada pela elevação da Manutenibilidade dos ativos por parte dos fabricantes, pelos seus níveis de autonomia e pela adoção de estratégias de Manutenção de Classe Mundial.

Kardec e Nascif (2012) enfatizam que com o aumento da competitividade entre empresas, gerou-se maior necessidade de sistemas de manutenção mais confiáveis, que garantissem o funcionamento dos seus ativos.

O RCM – Reliability Centered Maintenance, ou MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) é uma política de manutenção que seleciona e estrutura as atividades de manutenção necessárias para garantir a disponibilidade do ativo e conseqüentemente garantir a confiabilidade do processo produtivo. Lafraia (2014) apresenta que a MCC define o que deve ser feito para manter o ativo em plenas condições de funcionamento ao invés de deixá-lo em condições ideais.

O Alto Forno siderúrgico é o setor mais crítico quando se fala em gestão de manutenção, necessitando de ferramentas e estudos que possam atualizar, modernizar e expandir a atuação do setor da manutenção. A implantação da MCC irá contribuir positivamente, levando a estudos de falhas dos ativos, levando à revisão dos atuais planos de manutenção de forma a atuar evitando as falhas, com periodicidades das atividades relevantes, de forma a garantir o funcionamento do ativo.

Este trabalho tem como tema principal a aplicação da MCC em um Alto Forno de uma siderúrgica. Tal implantação irá garantir maior vida útil e disponibilidade dos equipamentos, por realizar estudo prévio, com etapas predefinidas e sequenciadas, objetivando levantar as principais falhas dos ativos e seus efeitos, através de um FMEA estruturado, almejando a revisão dos planos de manutenção com base nos dados obtidos das etapas anteriores, de forma a garantir maior vida útil e disponibilidade dos equipamentos e uma conseqüente confiabilidade do processo produtivo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

---

### 2.1 Manutenção Industrial

A manutenção não é um conceito novo, segue toda a história do desenvolvimento de equipamentos desde as primeiras máquinas a vapor até o desenvolvimento de objetos físicos. De acordo com Wyrebski (1997), a manutenção é praticada desde os primórdios da civilização, com conservação de instrumentos e ferramentas, prática observada historicamente.

A palavra manutenção teve sua origem no meio militar e significa “manter”, neste caso, níveis constantes de mão de obra e provisões nas unidades de combate. O termo somente foi utilizado no meio industrial no período posterior à Segunda Guerra Mundial (1950) nos Estados Unidos (WYREBSKI, 1997).

O desenvolvimento da tecnologia de manutenção começou durante a Segunda Guerra Mundial. Na época, as estratégias de manutenção eram vistas como reparos após falhas, de modo que a indústria era em grande parte artesanal e a maioria dos equipamentos eram simples, muitos deles superdimensionados e fáceis de reparar. Esse cenário não exigia manutenção sistemática e pessoal especializado para ser executado. Conforme relatado por Mata Filho et al. (1998), a indústria geralmente não era mecanizada, tinha pouco interesse em produtividade e não era considerada relevante.

No entanto, esta situação mudou na década de 1950, pós-Segunda Guerra Mundial. Com o aumento da mecanização, a indústria tornou-se cada vez mais dependente das máquinas, as quais os tipos, quantidades e complexidade começaram a mudar. Nesse contexto, o tempo de inatividade da máquina tornou-se cada vez mais relevante. Segundo Fernández e Márquez (2012), a manutenção evoluiu lentamente, mas de forma constante, do conceito de um “mal necessário” para ser visto como uma função organizacional essencial e uma forma de vantagem competitiva.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, manutenção resume-se à combinação de todas as medidas técnicas e administrativas destinadas a manter ou substituir um objeto em estado capaz de desempenhar suas funções requeridas (ABNT, 1994). Já para a Associação Francesa de Normatização, segundo Monchy (1989), manutenção é o conjunto de ações que permitam manter ou restabelecer um bem, dentro de um estado específico ou na medida para assegurar um serviço determinado. De forma mais geral, o termo manutenção engloba os conceitos de prevenção (manter) e correção (recuperação).

Slack et al. (1997), afirmam que “manutenção” é um termo que se refere à forma como uma organização busca evitar falhas gerenciando suas instalações físicas. Embora essa abordagem enfatize a prevenção e a recuperação das falhas, uma importante área da manutenção, certamente não cobre todo o seu escopo. Em geral, as causas e consequências da falha necessitam de uma atenção especial e constante, assim como o desenvolvimento de medidas proativas para minimizar a ocorrência e as consequências das falhas, caso ocorram.

### 2.1.1 Gerações da Manutenção

As atividades de manutenção representam um processo de desenvolvimento caracterizado por fases definidas em várias gerações e épocas. Essa mudança de processo é em grande parte resultado da importância da manutenção como função estratégica para melhorar o desempenho do negócio e aumentar a competitividade organizacional (KARDEC e NASCIF, 2012).

De acordo com Dunn (1998), as técnicas de manutenção podem ser divididas basicamente em 4 gerações. Todas como sempre, fruto da necessidade de racionalização e otimização imposta por períodos de crise (ARCURI FILHO, 1996).

#### 2.1.1.1 Primeira Geração – 1940-1950

A primeira geração da manutenção teve início com a construção das primeiras máquinas têxteis, por volta do século XVI e perdurou até a Segunda Guerra Mundial (ARIZA, 1988). A indústria nesse período era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples, superdimensionados e facilmente reparáveis. A competência exigida era apenas a capacidade do executor de realizar os reparos necessários. A produtividade não era prioridade devido às condições econômicas da época, por isso não era necessária nenhuma manutenção sistemática, apenas os serviços de limpeza e lubrificação; e os reparos eram feitos sempre após quebras. Portanto, a manutenção era basicamente uma corretiva não planejada. Em relação às falhas, havia uma visão de que todos os equipamentos se deterioravam com o tempo e quebravam, ou seja, atividade de manutenção, na forma planejada, praticamente inexistia (KARDEC e NASCIF, 2012; SIQUEIRA, 2005).

#### 2.1.1.2 Segunda Geração – 1960-1970

Após a Segunda Guerra, surge a segunda geração da manutenção. Foi o início da manutenção preventiva baseada no tempo. Nessa fase, principalmente devido às pressões da

guerra, a tolerância ao atraso diminuiu e a demanda por produtividade aumentou (MOUBRAY, 1997). Houve um crescimento significativo na mecanização devido à diminuição do número de trabalhadores industriais e ao aumento da demanda por produtos de todos os tipos. Como resultado, a indústria tornou-se altamente mecanizada, com equipamentos passando de simples e robustos para complexos, exigindo métodos de manutenção mais precisos (KARDEC e NASCIF, 2012; LUCATELLI, 1998).

Nesse contexto, houve uma forte dependência das máquinas e levou à ideia de que falhas de equipamentos podem e devem ser evitadas, levando ao conceito de manutenção preventiva (intervenção no equipamento em intervalos definidos). Os custos de manutenção também começaram a aumentar em comparação com outros custos operacionais. Então, começou a evidenciar-se a necessidade de maior disponibilidade, bem como de maior confiabilidade, a fim de se garantir maior produtividade. Nesse período, pesquisas foram iniciadas a fim de desenvolver técnicas de manutenção preventiva visando minimizar os efeitos de falhas nos processos e meios de produção. Essa geração é o marco inicial para o planejamento e controle da manutenção (KARDEC & NASCIF, 2012; SIQUEIRA, 2005).

### *2.1.1.3 Terceira Geração – 1970-1990*

A terceira geração de manutenção começou na década de 1970, impulsionada por mudanças nos processos das industriais da época. Os avanços na automação e mecanização indicavam que a confiabilidade e a disponibilidade estavam se tornando questões críticas de negócios. Este desenvolvimento inevitável deveu-se em grande parte às novas exigências do mercado que determinaram a necessidade de reduzir os custos operacionais devido à globalização e à concorrência internacional (LUCATELLI, 2002).

Segundo Siqueira (2005), nessa fase, além das demandas por maior disponibilidade, confiabilidade e vida útil, a sociedade passou a exigir melhor qualidade e garantia de desempenho dos produtos. Além disso, nesse período, houve uma grande preocupação com a segurança e o meio ambiente, com exigências mais rígidas e instalações que não atendiam aos padrões estabelecidos não podiam ser colocadas em operação (KARDEC & NASCIF, 2012).

Na década de 1990, com a chegada da automação industrial, iniciou-se a implantação de processos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC ou RCM), onde o foco deixou de ser o ativo e passou a ser o funcionamento do sistema.

#### 2.1.1.4 Quarta Geração – 2000-2005

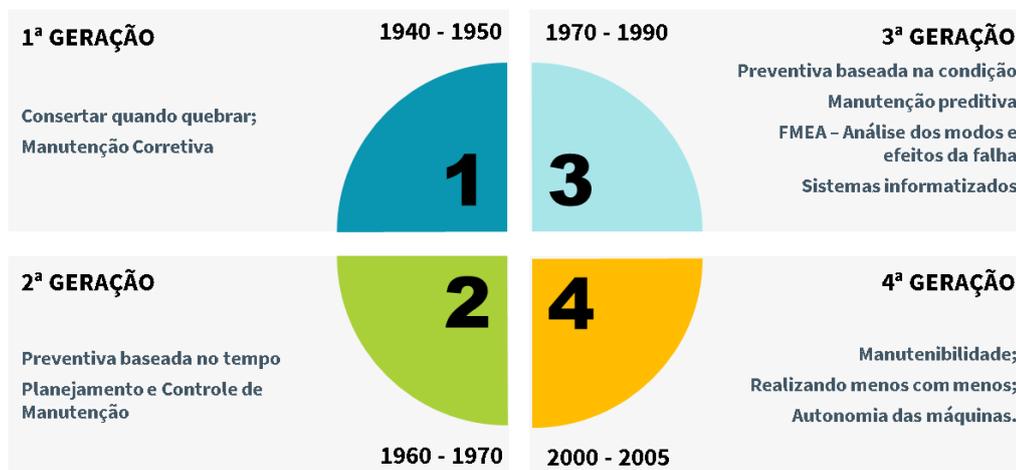
Algumas das expectativas de manutenção que existiam na terceira geração, como confiabilidade, disponibilidade e proteção ambiental, são transferidas para a quarta Geração. No entanto, essa geração reduziu as falhas prematuras de equipamentos por meio de técnicas de manutenção que visam melhorar a manutenção preditiva e o monitoramento de condições, seguido de um foco em manutenções preventivas e corretivas não planejadas, análise de falhas, e projetos voltados à confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade (ROSA, 2016).

A quarta geração da manutenção, caracterizada pela autonomia e por estratégias de se realizar “menos com menos”. Segundo Dunn (1998), ainda que baseada nas três gerações anteriores, a quarta geração integrará todas as ferramentas de projeto e de manutenção, preconizando os seguintes aspectos:

- Uma abordagem formal de avaliação de risco que aborda estratégias de projeto e manutenção de equipamentos, especialmente em níveis organizacionais mais altos;
- Princípios da MCC e manutenção produtiva total (Total Productive Maintenance – TPM) enfocando uma maior integração entre as exigências funcionais, projeto dos equipamentos e da manutenção;
- O fator humano aplicado à operação e manutenção dos equipamentos;
- Aumento do uso de tecnologia da informação para detectar, prever e diagnosticar falhas de equipamentos.

Na Figura 01 é apresentado um resumo das técnicas de manutenção no decorrer das gerações, segundo Teles (2019).

Figura 01 – Evolução das técnicas de Manutenção



Fonte: Adaptado de Teles (2019).

## 2.2 Tipos de falhas

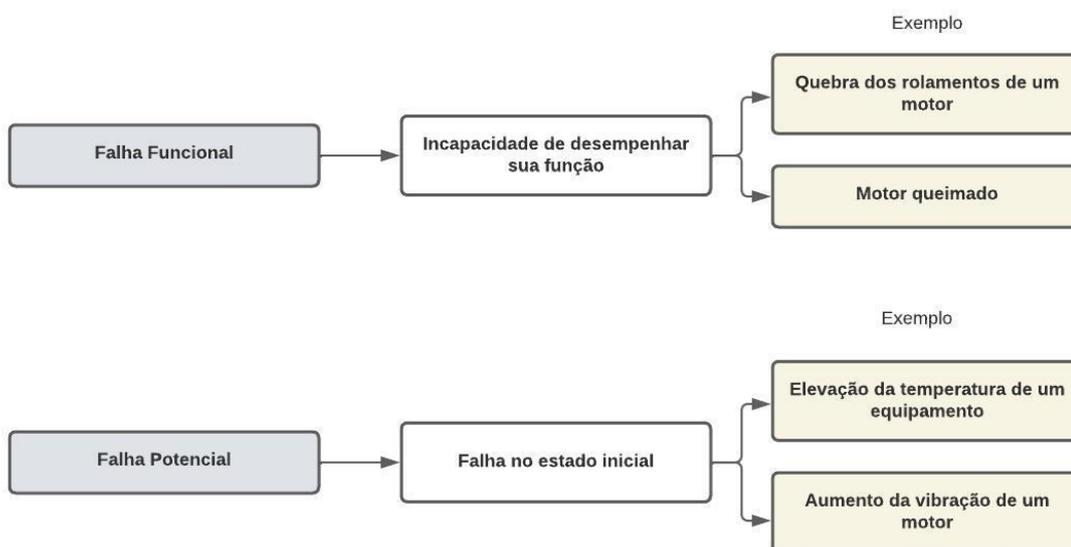
Uma das principais funções da manutenção é prevenir e reparar falhas. Para isso, elas devem ser devidamente categorizadas, analisadas e catalogadas. Em outras palavras, precisa-se entender como o sistema falha. Para aplicação da MCC, as falhas se classificam de acordo com o efeito que provocam sobre uma função do sistema a que pertencem.

Siqueira (2005) divide as falhas em dois grandes grupos: falha funcional, como sendo a incapacidade de uma ativo de desempenhar a função, e falha potencial, como sendo uma condição identificável para posterior ocorrência de uma falha funcional.

Teles (2019) apresenta a falha potencial como o momento em que a falha se inicia no ativo, não comprometendo por completo o equipamento, mas diminuindo a sua performance. Já para falha funcional, é vista como a incapacidade de funcionar no nível de desempenho que foi especificado como satisfatório.

Na Figura 02 é representado um esquema dos tipos de falhas e alguns exemplos do cotidiano.

Figura 02 – Tipos de falhas



Fonte: Autor, 2022.

## 2.3 Tipos de manutenções

A NBR 5462 apresenta as manutenções corretivas, preventivas e preditiva como os três tipos principais de manutenções: corretiva, preventiva e preditiva (ABNT, 1994). Dentro de cada tipo de manutenção, derivam-se outras categorias.

### 2.3.1 Manutenção corretiva

Dentre os tipos de Manutenção, a Corretiva (MC) é a mais antiga e mais utilizada pelas empresas, independentemente do seu nível de planejamento de manutenção. Caracteriza-se essencialmente por ações reativas, ou seja, curativas, não planejadas ou emergenciais necessárias para restaurar (SMITH, 1993).

Segundo a Norma NBR 5462, a Manutenção Corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma falha (ou pane), e atua após a ocorrência de uma falha funcional, onde o equipamento já deixou de desempenhar sua função (ABNT, 1994). Para Stevenson (2001), manutenção corretiva é a atuação para correção de falha ou de razão que acarrete desempenho inferior ao esperado. Segundo Dunn (1997) e Moubrey (1997), de uma forma mais detalhada, afirmam que a manutenção corretiva é a atividade de manutenção que requer a remoção de falhas que ocorreram ou estão ocorrendo. Esta atividade pode incluir reparo, restauração ou substituição de componentes.

De acordo com Nunes (2001), a manutenção corretiva pode ser subdividida em dois tipos: paliativa e curativa. As paliativas são intervenções corretivas temporárias, ou seja, para colocar o dispositivo em operação e, em seguida, fazer os reparos finais. Já as curativas são intervenções corretivas de reparo final para devolver o equipamento à condição necessária.

Teles (2019) apresenta a Manutenção Corretiva como o tipo de manutenção mais cara, que toma mais tempo e traz mais prejuízo para a empresa, podendo gerar custos até 7 vezes mais caros, em relação a demais tipos de manutenção. Do ponto de vista de Kardec & Nascif (2009), os altos custos se devem às paradas não programadas, além de custos indiretos de manutenção.

### 2.3.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é realizada em intervalos predeterminados. A NBR 5462 apresenta a manutenção corretiva como a manutenção em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (ABNT, 1994). Kardec & Nascif (2009) enfatizam que a manutenção preventiva possui menor custo em relação à corretiva, mas custo ainda elevado em relação a outros tipos de manutenção.

Para Xavier (2010), uma das chaves para manutenção preventiva está no estabelecimento dos intervalos de tempo. Essas ações tendem a ser conservadoras, portanto, os

intervalos geralmente são mais curtos do que o necessário e podem levar a interrupções desnecessárias e substituições de peças.

Se a lei da degradação for conhecida, medidas sistemáticas de manutenção preventiva são aplicadas. Esta lei diz respeito ao conhecimento da evolução do desgaste dos equipamentos em uso. Esse processo é executado mais rapidamente se o equipamento for usado incorretamente. Entretanto, quando a lei é desconhecida, a manutenção preventiva definida em termos de condição e tempo é dividida em preditiva ou por acompanhamento (supervisionada), respectivamente. A manutenção preventiva preditiva é realizada quando é aplicado o monitoramento contínuo dos parâmetros de controle e a “por acompanhamento” quando são realizadas inspeções e patrulhas regulares (NUNES, 2001).

### 2.3.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva também é conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento. Teles (2019) apresenta a manutenção preditiva como a tentativa de definir o estado futuro de um equipamento ou sistema, por meio dos dados coletados ao longo do tempo por uma instrumentação específica, verificando e analisando a tendência de variáveis do equipamento.

A MPd, ou Manutenção Baseada na Condição, como é conhecida na Europa, visa, com base no monitoramento e coleta de dados, primeiro, estabelecer um diagnóstico, detectando as irregularidades e quantificando a origem e a gravidade do defeito; e segundo analisar tendências determinar os limites para a programação e execução dos reparos. O objetivo é corrigir falhas potenciais antes da deterioração, quebra ou danos irreversíveis (NEPOMUCENO, 1989).

Como benefícios da manutenção preditiva, Kardec & Nascif (2009) afirmam que a manutenção preditiva apresenta melhores resultados, pois intervém de forma mínima no ativo, e não necessita que o mesmo esteja parado para que a preditiva seja realizada.

Como exemplos de manutenções preditivas, tem-se a termografia, análise de vibração, análise de óleo entre outras.

## 2.4 Matriz de criticidade

Segundo Macedo (2011), os processos produtivos nas empresas são organizados em hierarquia de prioridades em relação às necessidades de seus clientes, uma vez que as necessidades do mercado são voláteis e mudam constantemente.

A matriz de criticidade é uma classificação importante para o desenvolvimento de políticas de manutenção adequadas, avaliando a criticidade das máquinas em termos do impacto das falhas no processo produtivo, segurança, qualidade, entre outros (MANUTENÇÃO, 2016). É uma metodologia que têm como finalidade a determinação da criticidade de um equipamento com base em critérios preestabelecidos. Também é responsável por ações de manutenção. Seis elementos, dentre eles segurança, qualidade e taxa de ocupação, são utilizados neste algoritmo para definir qual caminho seguir. Cada resposta de um elemento é classificada em A, B ou C, onde essa classificação irá definir o caminho a ser seguido no algoritmo. A Tabela 1 apresenta as características utilizadas para classificação ABC.

Figura 03 – Tabela de Matriz criticidade ABC

		CLASSE		
		A	B	C
S	Risco potencial de um acidente quando ocorre uma falha	Risco Alto	Risco médio ou baixo	Risco descartado
Q	Risco de Perdas, reclamações, retrabalhos.	Risco alto para perdas e retrabalhos	Risco médio para perdas e retrabalhos	Risco baixo ou descartado
O	Tempo de operação do equipamento	24h/dia	8 a 24h/dia	< = 8h/dia
IF	Impacto no processo durante falha do equipamento	Interrompe todo processo de produção	Não interrompe processo, mas gera perdas	Não há impacto significativo
F	Frequência de falha do equipamento	Maior que 01 falha / 02 meses	1 falha / 02 e 06 meses	Menor que 01 falha / 06 meses
M	Tempo médio de reparo (MTTR)	MTTR > 2h	0,5h < MTTR < 2h	MTTR < 0,5h

O fluxograma apresentado na Figura 04 é utilizado para definir qual o nível de criticidade do ativo.



preventiva para evitar paradas não programadas. Já Cálculo do MTTR baseia-se no tempo médio de reparo entre as falhas ocorridas no equipamento.

Segundo Maiorky, Lima e Pereira (2015), a análise do MTTR pode ser realizada por meio do monitoramento do tempo de reparo de equipamentos. Além disso, a utilização do MTTR em conjunto com o MTBF (Mean Time Between Failures) pode contribuir para uma avaliação mais completa da confiabilidade dos equipamentos e sistemas industriais.

## **2.6 O processo Siderúrgico**

O caminho tecnológico da siderurgia mudou muito ao longo do século 20, especialmente no período pós-guerra. Com foco no aumento da produtividade, retorno do investimento e busca de eficiência energética. CGEE (2009) apresenta como ponto marcante das siderúrgicas na atualidade a utilização da sucata como matéria prima para produção de aço.

Atualmente, as usinas siderúrgicas podem ser divididas em 2 grupos distintos: usinas integradas e usinas semi-integradas, de acordo com Brasil (2009).

As integradas são usinas que produzem aço a partir de suas matérias primas, que ao serem trabalhadas nos Altos fornos, produzem o ferro gusa, e que posteriormente, é transformado em aço, através de outros processos. Mourão (2007) apresenta as principais etapas que sucedem o processo de produção de aço em uma usina integrada:

- Etapa 1 - Obtenção do ferro gusa a partir das matérias-primas (produto intermediário);
- Etapa 2 - Conversão do ferro gusa em aço;
- Etapa 3 - Lingotamento do aço produzido;
- Etapa 4 - Conformação do aço em produto final (laminação).

Na primeira etapa da fabricação são produzidos o sinter, uma mistura de minério de ferro, calcário, coque e outras matérias-primas, usados para produzir ferro-gusa nos altos-fornos. O ferro-gusa é fabricado e transportado para o conversor de oxigênio tipo LD para ser convertido em aço. O processo de fabricação de aço LD sopra o ferro-gusa líquido utilizando oxigênio na carga metálica de um conversor para produzir aço, sem exigir fonte de energia externa. Esta energia é fornecida inteiramente por reações químicas que ocorrem entre o oxigênio e as impurezas. Esse processo de fabricação de aço é atualmente o mais usado no mundo (MEMOLI; FERRI; FREITAS, 2009).

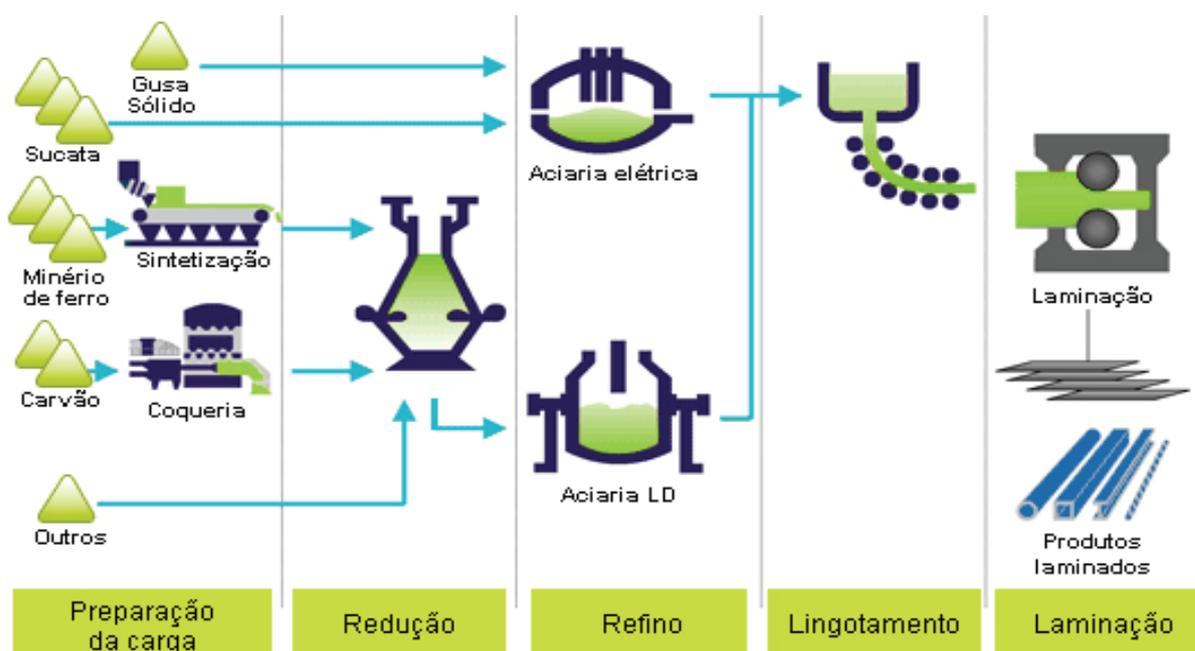
Já as usinas semi-integradas possuem processos simplificados, pois não há processamento de matérias-primas como sinter ou coque. São usinas que obtém o aço a partir

do ferro secundário (sucata de aço), não passando pelo processo de redução de minério de ferro. São chamadas de recicladoras de aço, por transformar a sucata novamente em aço comercial. Mourão (2007) afirma que as principais etapas das usinas semi- integradas são similares às integradas, com exclusão da redução de minério, nos Altos Fornos.

Segundo Ferreira (2012), apud Gerdau (2010), as usinas semi-integradas são equipadas principalmente com fornos elétricos a arco para derreter sucata de ferro e ferro gusa para produzir tipos de aço de acordo com as especificações do cliente. Após a alimentação de matérias-primas predefinidas (sucata, ferro-gusa, ferro-esponja) no forno, a energia elétrica é fornecida de acordo com um perfil de fundição controlado por computador.

Na Figura 05, são ilustradas as fases do processo produtivo de uma aciaria. A primeira fase de redução está presente nas usinas integradas, enquanto as usinas semi-integradas iniciam seus processos a partir da fase de refino.

Figura 05 – Etapas do processo siderúrgico



Fonte: <https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/aco/>

## 2.7 O Alto Forno

O alto-forno é um componente essencial na indústria siderúrgica, onde ocorrem processos complexos de transformação do minério de ferro em ferro-gusa líquido. Segundo especialistas, "O alto-forno é uma estrutura de grande porte e formato cilíndrico que permite a

fusão e redução do minério de ferro, resultando na produção de ferro-gusa" (Akbar, Javadifar, 2020).

O processo de produção no alto-forno envolve a carga de minério de ferro, coque e fundentes. Segundo pesquisadores, "O coque é utilizado como fonte de calor e carbono durante a reação de redução do minério de ferro. Já os fundentes, como calcário e dolomita, têm o papel de auxiliar na fusão dos componentes e na remoção de impurezas." (Pabis, Poggi, Fumagalli, 2020).

De acordo com estudos realizados, "Dentro do alto-forno, ocorrem reações complexas em altas temperaturas, geralmente acima de 1500°C, onde o minério de ferro é reduzido e transformado em ferro-gusa líquido." (Sampaio et al, 2018). Essas reações são influenciadas por fatores como controle preciso de temperatura, pressão e fluxo de gases.

O ferro-gusa líquido, contendo carbono e outras impurezas, é coletado na parte inferior do alto-forno. Conforme apontado por pesquisadores, "Esse ferro-gusa líquido é posteriormente direcionado para outros processos na siderúrgica, como a aciaria, onde é transformado em aço por meio da remoção de impurezas e da adição de elementos de liga." (Vidal et al, 2019).

## **2.8 Manutenção centrada na confiabilidade (MCC)**

A manutenção Centrada na Confiabilidade teve seus primeiros passos dados no início da década de 70, após um evento solicitado FAA- Federal Aviation Authority. Teles (2019) afirma que o principal motivo foi a necessidade de certificação da nova linha de aeronaves do Boeing 747 e necessitava de uma política de manutenção diferente das usuais devido ao nível de automação utilizado.

A MCC é particularizada por ser uma política de manutenção que objetiva aumentar a confiabilidade do processo produtivo em vez de focar apenas nas condições do ativo, ou seja, são estratégias de manutenção realizadas para cada ativo, com objetivo de manter o processo em funcionamento e dentro dos padrões normais de funcionamento. Na manutenção tradicional, o foco são as características técnicas das falhas. Na MCC, o foco é nos efeitos funcionais (operacionais) das falhas. A MCC otimiza as tarefas de manutenção com análise das consequências de suas falhas funcionais, sob ponto de vista de segurança, meio ambiente, qualidade e custos.

Moubray (1997) apresenta o conceito de MCC como um processo que determina o que deve ser feito para que um ativo continue a desempenhar sua função, dentro do seu contexto

operacional. Afefy (2010) coloca que a MCC atua na otimização das estratégias de manutenção preventiva, garantindo maior confiabilidade dos equipamentos.

Para Rausand (1998), o principal objetivo do RCM é reduzir os custos com manutenção, priorizando as funções mais importantes do sistema, e evitando ou removendo ações de manutenção que não são estritamente necessários. Se um programa de manutenção já existe, o resultado de uma análise RCM será muitas vezes para eliminar tarefas ineficientes contidas nos planos de manutenção.

Branco Filho (2006) enfatiza que a MCC adota uma nova abordagem para gerenciar a manutenção de sistemas mais complexos, possibilitando menores custos de manutenção por meio de projetos aprimorados, técnicas e rotinas de manutenção, resultando em maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, além da redução de mão de obra.

### 2.8.1 Etapas para implantação

Lafraia (2014) apresenta as cinco etapas essenciais para a implantação da MCC, como sendo: A seleção dos sistemas e suas informações necessárias, a Análise funcional do sistema, a Análise de modos e efeitos de falhas, a seleção de tarefas e seus tipos de manutenção e por fim, a elaboração do plano de manutenção.

#### 2.8.1.1 *Requisitos Operacionais - Seleção do sistema e coleta de informações*

Será a etapa onde os requisitos operacionais e suas funções serão apresentados. Para realização desta etapa é necessário a consulta de algumas informações, tais como:

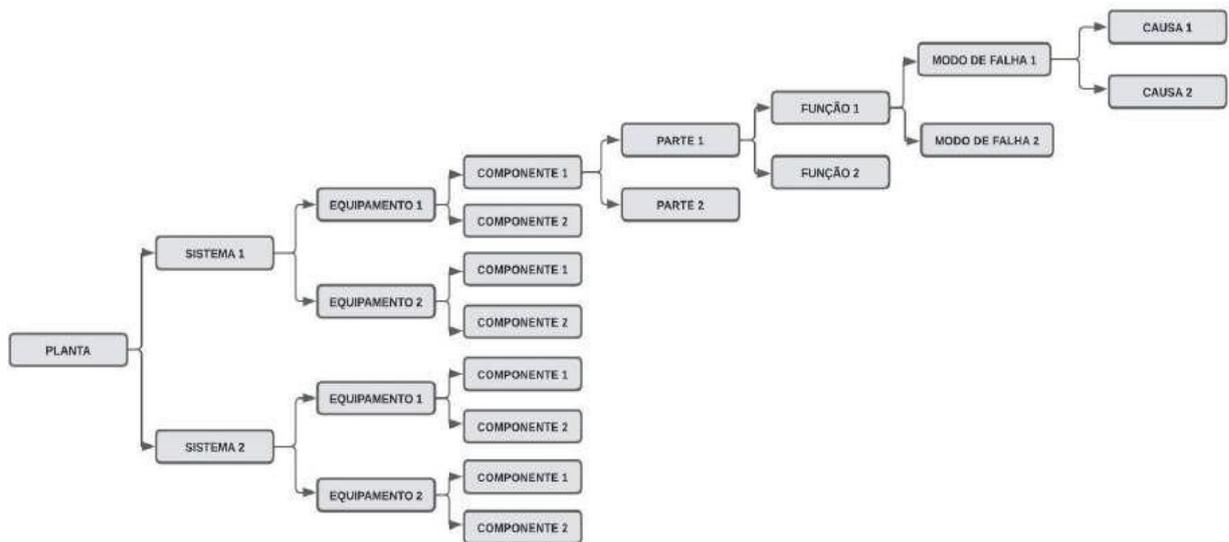
- Manuais dos fabricantes;
- Histórico de falhas dos equipamentos;
- Especificações de projeto.

De acordo com Siqueira (2005) a primeira etapa visa promover um entendimento do funcionamento e estruturação da instalação, informações que serão necessárias às etapas posteriores.

Para Lafraia (2014), não existe um nível ideal predeterminado de análise, a depender da experiência da equipe de implantação, do acompanhamento da efetividade das atividades de manutenção. Após a coleta de informações, a criação de diagramas de processo é necessária para determinar o nível da análise que será abordado com a implantação. Fogliatto e Ribeiro, 2011, sugerem a integração de um banco de dados aos sistemas que participarão do estudo da

MCC, de forma a registrar as falhas e manutenções realizadas nos ativos. Na Figura 06 é apresentado um modelo de Diagrama de processo, utilizado em análises de MCC.

Figura 06 – Modelo de Diagrama Funcional de um processo



Fonte: Adaptado de Lafraia, 2014

### 2.8.1.2 Análise funcional do sistema

A partir do Diagrama de blocos realizado na etapa anterior, é possível identificar e definir as principais funções dos ativos, bem como suas principais falhas funcionais e meios para evita-las. Lafraia (2014) apresenta como principais objetos desta etapa, a identificação e definição das funções dos ativos que irão participar do estudo de MCC e suas respectivas falhas funcionais. Uma função deve ser específica ao contexto operacional e devem ser incluídos os padrões desejados ou almejados, padrões de qualidade e padrões de segurança. Segundo Moubray (1997), as funções podem ser divididas em primárias e secundárias. As funções primárias são as que implicam para que o ativo foi adquirido em primeiro lugar. Já as secundárias, são as funções que realizam além do esperado.

As falhas funcionais de um equipamento estão determinadas como a incapacidade do ativo em realizar determinada função conforme o esperado.

Para cada equipamento a ser analisado, deve-se especificar as suas funções principais e secundárias, bem como suas falhas funcionais e causas. As informações citadas acima devem ser preenchidas em formulário preestabelecido, por critério de organização.

### 2.8.1.3 *Análise dos modos e efeitos da falha*

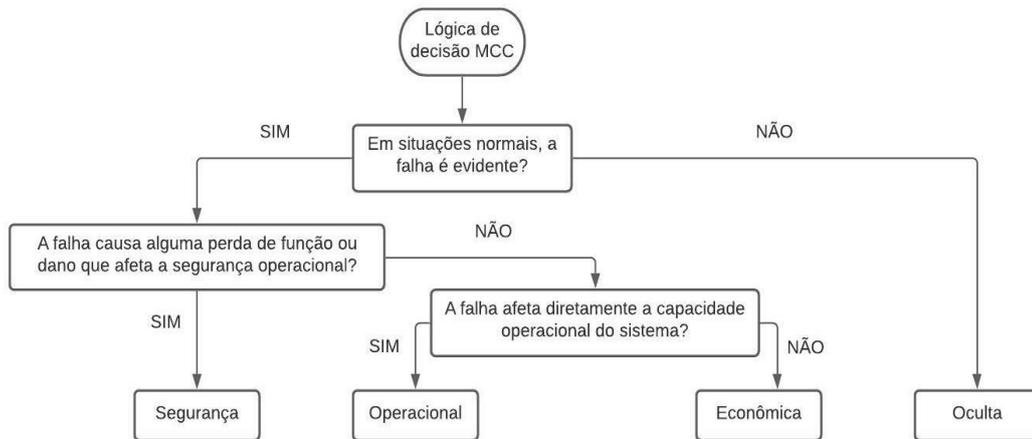
A análise dos modos e efeitos de falha- FMEA é uma ferramenta que visa analisar possíveis falhas, suas causas, efeitos e medidas para evitá-las. A análise resulta em ações corretivas de acordo com sua criticidade. Kardec e Nascif (2012) apresentam o conceito de FMEA, como, além de analisar suas falhas e efeitos, auxilia como meio documentado de revisão de projetos, além de possíveis mudanças em projetos e processos industriais. Fazel (2018) enfatiza a combinação do conhecimento com a experiência humana como característica da ferramenta.

Teles (2019) detalha as principais informações contidas no FMEA, como:

- **Equipamento:** Deve ser apresentada as principais informações para identificação do equipamento a ser analisado;
- **Função do Equipamento:** A principal função do equipamento deve ser apresentada de forma clara e objetiva;
- **Componentes:** Os principais componentes referentes ao equipamento que estão suscetíveis a falhas e que possam interferir diretamente no seu bom funcionamento devem ser analisados junto ao FMEA.
- **Modo de falha:** é a descrição de como o equipamento deixa de cumprir a sua função principal;
- **Efeitos da falha:** São as consequências inerentes ao equipamento que estão diretamente relacionadas ao modo de falha analisado.
- **Causa da falha:** É o principal motivo que ocorreu ao componente que ocasionou em um modo de falha.
- **Severidade:** É o índice que representa a gravidade da falha para o equipamento. A estimativa da severidade da falha é estipulada em uma escala de 1 a 10.
- **Ocorrência da falha:** É a probabilidade de que uma falha possa ocorrer. É especificada em uma escala de 1 a 10.
- **Detecção da Falha:** Está relacionado com a possibilidade de identificação da falha. Similarmente à severidade e ocorrência, a detecção também é especificada em uma escala de 1 a 10.



Figura 08 - Diagrama de Blocos da MCC

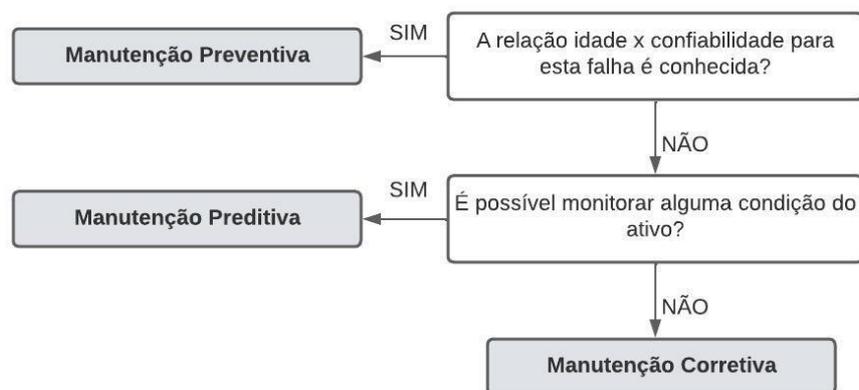


Fonte: Lafraia, 2014.

Conforme apresentado no diagrama acima, as falhas são divididas em quatro grupos distintos: segurança, operacional, econômica e oculta. A falha se caracteriza no grupo de segurança, quando coloca em risco a vida ou integridade física do colaborador. Quando afeta diretamente na produtividade, adequa-se ao grupo operacional. É adequada ao grupo econômico quando afeta o custo e produção. Já a falha oculta, caracteriza-se por não ser facilmente evidenciada pelo operador em condições normais de operação. As falhas devem ser direcionadas para o tipo de manutenção ou atuação que devem ser feitas para que as mesmas sejam sanadas. Em sua literatura, Kardec e Nascif (2009) também apresentam diagrama de decisão para os tipos de manutenção ideais a cada modo de falha, conforme apresentado na Figura 09.

Após o levantamento dos tipos de manutenção para cada falha, a atividade de manutenção pode ser elaborada e, posteriormente, acrescentada a um plano de manutenção.

Figura 09 - Diagrama para especificação da falha



Fonte: (KARDEC E NASCIF, 2009)

#### *2.8.1.5 Criação dos planos de Manutenção*

Um plano de manutenção bem elaborado deve contemplar as atividades a serem realizadas, os pontos-chaves para execução das mesmas, as responsabilidades e a periodicidade de cada uma. TELES (2019) apresenta duas possíveis formas para organização dos planos de manutenção: pela criticidade ou por área.

A periodicidade dos planos deve ser baseada nos dados fornecidos dos fabricantes bem como dos dados de funcionamento dos ativos (periodicidade das manutenções corretivas de cada falha em particular). É suscetível de ocorrência que algumas falhas aconteçam precocemente, sendo necessário ajustes de periodicidade para as atividades que influenciem direta e indiretamente para evitar as ocorrências destas falhas.

### **3 OBJETIVOS**

---

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar a implantação da MCC em um Alto forno de uma siderúrgica.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Apresentar as diferentes formas de manutenção e os principais tipos de falhas ocorrentes nos ativos;
- Apresentar a MCC, modelo e etapas de implantação, identificando suas principais características;
- Aplicar a MCC nos principais equipamentos do setor e realizar um comparativo de manutenções corretivas realizadas antes e após a implantação da MCC.

## **4 METODOLOGIA**

---

Este caso de estudo examinou a aplicação do conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nos equipamentos de um alto forno de uma usina siderúrgica, devido a maiores índices de manutenções corretivas e maior simplicidade para aplicação inicial da MCC, em comparação com os demais setores da siderúrgica.

No estudo, os dados dos equipamentos foram coletados por subárea e os equipamentos de maior criticidade foram selecionados usando a Criticidade ABC, conforme explicado por Teles, 2019. Os equipamentos com criticidade A foram escolhidos e as 5 etapas para a implantação da MCC foram realizadas. Os dados de manutenção corretiva foram então registrados no SAP- PM, para o primeiro trimestre de 2021 (antes do estudo) e primeiro trimestre de 2022 (após a realização do estudo de MCC). Foi feita uma análise quantitativa para apresentar a redução percentual do número de manutenções corretivas após a realização do estudo.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

---

### **5.1 Seleção dos sistemas e coletas de informações**

Os planos de manutenção estão a nível de máquinas de ativos. Para selecionar os sistemas que participarão do estudo da MCC, inicialmente foi feito um levantamento nos ativos da planta, apresentando máquinas, suas respectivas linhas de produção e a sub-área que está instalado, conforme o nível hierárquico de ativos apresentado por Teles (2019).

A partir do levantamento dos ativos, foi realizado uma análise, com base na criticidade ABC de equipamentos, apresentada no item 2.4. A Tabela 01 apresenta o levantamento dos ativos da planta dos Altos Fornos e o nível de criticidade que cada um apresenta, tanto para o processo, como para segurança e economia.

Tabela 01 - Tabela de criticidade ABC para os ativos dos Altos Fornos

CRITICIDADE ABC DAS MÁQUINAS			
SUB-ÁREA	LINHA	MÁQUINA	CRITICIDADE
BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO	LAVAGEM DE MINÉRIO	BAIA	C
		TC PRINCIPAL (MINERIO BRUTO)	A
		PENEIRA VIBRATORIA	B
		SILO/MOEGA	C
		PENEIRA DESAGUADORA	C
		SILO/MOEGA	C
		TC DE FINO	C
		TC-08	C
TC-00	C		
BENEFICIAMENTO DE CARVÃO	DESCARGA DE CARVÃO	TOMBADOR	A
		SILO DE TOMBAMENTO	C
		TC-01 - LEVA CARVAO PRO SILO DE ESTOCAGEM	B
		TC-00 - LEVA CARVAO PARA A TCR-02 - SILO DE ESTOCAGEM	C
	ESTOCAGEM DE CARVÃO	CTR-01 "A"	B
		CTR-02 "B"	B
	PENEIRAMENTO DE CARVÃO	PENEIRA 01 "A"	B
		PENEIRA 02 "B"	B
		TC-00 "A" - LEVA CARVAO PRO SILO PULMAO	C
		TC-00 "B" - LEVA CARVAO PRO SILO PULMAO	C
	SILO PULMÃO	CT-REVERSIVEL 01	B
		CT-REVERSIVEL 02	B
SILO/MOEGA		B	
ÁREA ALTO FORNO 01	SECADOR DE MINÉRIO	PENEIRA 01	B
		PENEIRA 02	B
		PENEIRA 03	B
		PENEIRA 04	B
		PENEIRA 05	B
		PENEIRA 06	B
		PENEIRA 07	B
		PENEIRA 08	B
		PENEIRA 09	B
		PENEIRA 10	B
		PENEIRA 11	B
		PENEIRA 12	B

Tabela 01 - Tabela de criticidade ABC para os ativos dos Altos Fornos (Continuação)

CRITICIDADE ABC DAS MÁQUINAS			
SUB-ÁREA	LINHA	MÁQUINA	CRITICIDADE
ÁREA ALTO FORNO 01	SALA DE MÁQUINAS	ELETROSOPRADOR 02	A
		ELETROSOPRADOR 03	A
		ELETROSOPRADOR 04	A
		ELETROSOPRADOR 05	A
		ELETROSOPRADOR 06	A
	ALTO FORNO	SISTEMA ELETROMECHANICO	B
		SISTEMA DE SONDAR CARGA	B
		SISTEMA ELETROPNEUMATICO	B
		SISTEMA DE REVESTIMENTO	B
		TREMONHA ROTATIVA DE DISTRIB. DE CARGAS	A
	PLATAFORMA	PERFURATRIZ DE ALTO FORNO	C
		SISTEMA DE GRANULAR ESCORIA	A
		SISTEMA DE TAMPONAMENTO - CANHÃO	B
	GLENDONS	GLENDON 01	B
		GLENDON 02	B
		GLENDON 03	B
		GLENDON 04	B

Para o estudo de MCC, serão considerados apenas os equipamentos de criticidade A, apresentados na Tabela 02

Tabela 02 - Equipamentos de criticidade A dos Altos Fornos.

CRITICIDADE ABC DAS MÁQUINAS			
Sub área	Linha	Máquina	Criticidade
Beneficiamento de minério	Lavagem de minério	TC Principal (Minério Bruto)	A
Beneficiamento de carvão	Descarga de carvão	Tombador de carvão	A
Área Alto Forno 1	Sala de máquinas	Eletrosoprador 2	A
		Eletrosoprador 3	A
		Eletrosoprador 4	A
		Eletrosoprador 5	A
		Eletrosoprador 6	A
	Alto Forno	Tremonha rotativa de distribuição de cargas	A
	Plataforma	Granulador de escória	A

## 5.2 Análise de Funções e falhas Funcionais

Para esta etapa, foi preenchido uma planilha com as principais funções e falhas funcionais dos ativos de criticidade A da planta, obtidos na etapa anterior, conforme apresentado na Tabela 03. Foram levadas em consideração apenas as falhas primárias, por apresentarem influência mais significativa no processo.

Tabela 03 – Análise de funções e falhas funcionais – Eletrosoprador.

<b>ANÁLISE DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS</b>		
<b>Sub- área: Alto Forno 01</b>		<b>Máquina: Eletrosoprador 02</b>
<b>Linha: Casa de Máquinas</b>		
<b>Equipamento</b>	<b>Função</b>	<b>Falha funcional</b>
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador.	Fratura dos rolamentos LA e LNA
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador.	Curto- circuito nas bobinas do estator.
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador.	Desarme do motor por sobrecorrente
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador.	Desarme por sobreaquecimento
Mancal monobloco	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador.	Fratura dos rolamentos LA e LNA
Soft Starter	Controlar a partida do motor	Curto circuito nos terminais elétricos

## 5.3 Aplicação da Análise de modos e efeitos de falhas - FMEA

A partir da aplicação do FMEA será analisado os modos de falhas, suas causas e os efeitos que causam para cada falha funcional apresentada na etapa anterior. A partir dos dados coletados e analisados no FMEA, será possibilitado a elaboração das atividades dos planos de manutenção, realizados em etapa posterior. A planilha FMEA utilizada neste trabalho é apresentada na Tabela 04.

Tabela 04 – Planilha FMEA – Máquina 02.

Planilha FMEA										
Nº FMEA: 01			Data de elaboração: 29/05/2022			Responsável: Filipe Carneiro				
Área: AF1			Linha: Casa de máquinas			Máquina: Máquina 02				
Ponto de falha			Análise da falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva recomendada
Equipamento	Função do equipamento	Componente	Modos de falha (SINTOMA)	Efeitos de falha	Causa da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN	
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Rolamentos	Temperatura elevada	Fratura/Parada da máquina	*Quantidade de lubrificação inadequada; *Lubrificante inadequado; *Contaminação do lubrificante; *Montagem incorreta; *Carga excessiva	6	7	6	252	
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Rolamento	Vibração excessiva	Quebra do rolamento/Parada da máquina	*Lubrificação deficiente; *Excentricidade do rotor; *Desalinhamento do eixo de rotação; * Anéis com avarias; *Contaminação do lubrificante;	7	7	8	392	
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Estatore	Desbalanceamento de tensão	Curto circuito entre fases/Parada da máquina	Folga nas conexões da caixa de ligação.	5	8	6	240	
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Estatore	Temperatura elevada nas bobinas do estator	Curto circuito entre fases/Parada da máquina	Acúmulo de sueira na carcaça do motor (haletas)	8	6	6	288	

Tabela 04 – Planilha FMEA – Máquina 02. (Continuação)

Planilha FMEA										
Nº FMEA: 01			Data de elaboração: 29/05/2022			Responsável: Filipe Carneiro				
Área: AF1			Linha: Casa de máquinas			Máquina: Máquina 02				
Ponto de falha			Análise da falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva recomendada
Equipamento	Função do equipamento	Componente	Modos de falha (SINTOMA)	Efeitos de falha	Causa da falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN	
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Estator	Temperatura elevada nas bobinas do estator	Curto circuito entre fases/Parada da máquina	Ventilação forçada/ autoventilação ineficiente	6	5	8	240	
Mancal monobloco	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Rolamento	Vibração excessiva	Quebra do rolamento/Parada da máquina	*Lubrificação deficiente; *Excentricidade do rotor; *Desalinhamento do eixo de rotação; * Anéis com avarias; *Contaminação do lubrificante;	7	7	5	245	
Mancal monobloco	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Rolamento	Temperatura elevada	Quebra do rolamento/Parada da máquina	*Quantidade de lubrificação inadequada; *Lubrificante inadequado; *Contaminação do lubrificante; *Montagem incorreta; *Carga excessiva	8	6	5	240	

#### **5.4 Seleção das tarefas de manutenção**

Após a implementação do FMEA na etapa anterior, foi possível obter os dados de causas de falhas para cada modo de falha, individualmente, e possibilitado a realização do levantamento das ações recomendadas para mitigação de cada falha. O fluxograma apresentado no item 2.7.1.4 foi utilizado para definir o tipo de manutenção a ser utilizado com base nos dados obtidos no FMEA. Na Tabela 05, é apresentado a planilha FMEA com as ações recomendadas preenchidas para cada modo de falha.

Tabela 05 – Planilha FMEA com ações preventivas recomendadas – Máquina 02.

Planilha FMEA										
Nº FMEA: 01			Data de elaboração: 29/05/2022			Responsável: Filipe Carneiro				
Área: AF1			Linha: Casa de máquinas			Máquina: Máquina 02				
Ponto de falha			Análise da falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva recomendada
Equipamento	Função do equipamento	Componente	Modos de falha (SINTOMA)	Efeitos de falha	Causa da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN	
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Rolamentos	Temperatura elevada	Fratura/Parada da máquina	*Quantidade de lubrificação inadequada; *Lubrificante inadequado; *Contaminação do lubrificante; *Montagem incorreta; *Carga excessiva	6	7	6	252	Lubrificação periódica de acordo com especificações do fabricante; Acompanhamento periódico da temperatura de trabalho do componente.
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Rolamento	Vibração excessiva	Quebra do rolamento/Parada da máquina	*Lubrificação deficiente; *Excentricidade do rotor; *Desalinhamento do eixo de rotação; * Anéis com avarias; *Contaminação do lubrificante;	7	7	8	392	Realizar análise de vibração periodicamente. Lubrificação periódica de acordo com especificações do fabricante
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Estator	Desbalanceamento de tensão	Curto circuito entre fases/Parada da máquina	Folga nas conexões da caixa de ligação.	5	8	6	240	Verificar aperto das conexões periodicamente
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Estator	Temperatura elevada nas bobinas do estator	Curto circuito entre fases/Parada da máquina	Acúmulo de sueira na carcaça do motor (haletas)	8	6	6	288	Realizar limpeza na estrutura do motor. Realizar acompanhamento da temperatura de trabalho do equipamento.

Tabela 05 – Planilha FMEA com ações preventivas recomendadas – Máquina 02. (Continuação)

Planilha FMEA										
Nº FMEA: 01			Data de elaboração: 29/05/2022			Responsável: Filipe Carneiro				
Área: AF1			Linha: Casa de máquinas			Máquina: Máquina 02				
Ponto de falha			Análise da falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva recomendada
Equipamento	Função do equipamento	Componente	Modos de falha (SINTOMA)	Efeitos de falha	Causa da falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN	
Motor	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Estator	Temperatura elevada nas bobinas do estator	Curto circuito entre fases/Parada da máquina	Ventilação forçada/ autoventilação ineficiente	6	5	8	240	Verificar limpeza da tampa defletora do motor (motor autoventilado); Realizar acompanhamento da temperatura de trabalho do equipamento.
Mancal monobloco	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Rolamento	Vibração excessiva	Quebra do rolamento/Parada da máquina	*Lubrificação deficiente; *Excentricidade do rotor; *Desalinhamento do eixo de rotação; * Anéis com avarias; *Contaminação do lubrificante;	7	7	5	245	Realizar análise de vibração periodicamente. Lubrificação periódica de acordo com especificações do fabricante
Mancal monobloco	Rotacionar eixo do ventilador do eletrosoprador	Rolamento	Temperatura elevada	Quebra do rolamento/Parada da máquina	*Quantidade de lubrificação inadequada; *Lubrificante inadequado; *Contaminação do lubrificante; *Montagem incorreta; *Carga excessiva	8	6	5	240	Lubrificação periódica de acordo com especificações do fabricante; Acompanhamento periódico da temperatura de trabalho do componente.

## 5.5 Criação de Planos de manutenção

Esta etapa consistiu em montar o plano de manutenção, utilizando as ações recomendadas obtidos na etapa anterior. O Fluxograma proposto por Kardec e Nascif (2012) e apresentado anteriormente no item 2.7.1.4 foram utilizados para avaliar qual tipo de manutenção é mais adequado para cada modo de falha, individualmente. A periodicidade do plano de manutenção foi embasada nas recomendações do fabricante e experiência em área, mas levando em consideração as características do local de instalação do ativo (sujidade, alta umidade, temperatura elevada). As periodicidades apresentadas nos planos de manutenção atualmente ativos também foram levadas em consideração para definição das periodicidades das atividades dos novos planos. A Tabela 06 apresenta o plano de manutenção revisado, com base na MCC, para os eletrosopradadores da casa de máquinas.

Tabela 06 – Plano de manutenção revisados com base na MCC.

PLANO DE MANUTENÇÃO REVISADOS COM BASE NA MCC - ALTO FORNO 01			
Código	Descrição	Atividade	Periodicidade
		Realizar limpeza na tampa defletora do motor	
	INSP. SALA MAQUINAS 00-08	Realizar limpeza nas haletas dos motores	Semanal
		Verificar fixação da tampa defletora do motor	
PRES/AF1-117	COL. ViIB CASA MAQ 00-08 AF1	Coletar vibração através do ponto de medição	Diário
PRES/AF1-118	COL. VIB CASA MAQ 08-16 AF1	Coletar vibração através do ponto de medição	Diário
PRES/AF1-119	COL. VIB CASA MAQ 16-00 AF1	Coletar vibração através do ponto de medição	Diário
		MÁQUINA 02 - lubrificar rolamento lado acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	
		MÁQUINA 02 - lubrificar rolamento lado não acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	
		MAQUINA 03 - lubrificar rolamento lado acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	
		MÁQUINA 03 - lubrificar rolamento lado não acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	
PRES/AF1-172	LUB. MANCAIS CASA MAQ AF1	MAQUINA 04 - lubrificar rolamento lado acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	Semanal
		MAQUINA 04 - lubrificar rolamento lado não acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	
		MAQUINA 05 - lubrificar rolamento lado acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	
		MAQUINA 05 - lubrificar rolamento lado não acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	
		MAQUINA 06 - lubrificar rolamento lado acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	
		MAQUINA 06 - lubrificar rolamento lado não acoplado do mancal com 46g de graxa diureia	

Tabela 06 – Plano de manutenção revisados com base na MCC. (Continuação)

PLANO DE MANUTENÇÃO REVISADOS COM BASE NA MCC - ALTO FORNO 01			
Código	Descrição	Atividade	Periodicidade
PRES/AF1-111	COL. TEMP CASA MAQ 00-08 AF1	Coletar temperatura através do ponto de medição	Diário
PRES/AF1-112	COL. TEMP CASA MAQ 08-16 AF1	Coletar temperatura através do ponto de medição	Diário
PRES/AF1-113	COL. TEMP CASA MAQ 16-00 AF1	Coletar temperatura através do ponto de medição	Diário
PRES/AF2-081	LUB. MOTORES CASA MAQ AF1	Lubrificar motor maquina 02 com 70g de graxa para cada ponto	Semanal
		Lubrificar motor maquina 03 com 70g de graxa para cada ponto	
		Lubrificar motor maquina 04 com 70g de graxa para cada ponto	
		Lubrificar motor maquina 05 com 70g de graxa para cada ponto	
		Lubrificar motor maquina 06 com 70g de graxa para cada ponto	

## 5.6 Comparativo entre planos de manutenção

Após a conclusão da etapa 5, foi possível realizar um comparativo entre os atuais planos e os que foram implementados com base na MCC. Foi retirado como amostra, o plano de manutenção preventivo para o eletrosoprador 2, da casa de máquinas. Na Tabela 07 é apresentado o plano de manutenção antes do estudo para implantação da MCC.

Tabela 07 – Plano de manutenção antes da implantação da MCC.

PLANO DE MANUTENÇÃO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DA MCC - ALTO FORNO 01			
Código	Descrição	Atividade	Periodicidade
LUBR/AF1-001	LUBRIFICAÇÃO MOTORES CASA DE MÁQUINAS	LUBRFICAR MOTOR MAQ-02 24G PARA CADA PONTO	Quinzenal
		LUBRFICAR MOTOR MAQ-03 24G PARA CADA PONTO	Quinzenal
		LUBRFICAR MOTOR MAQ-04 24G PARA CADA PONTO	Quinzenal
		LUBRFICAR MOTOR MAQ-05 24G PARA CADA PONTO	Quinzenal
		LUBRFICAR MOTOR MAQ-06 24G PARA CADA PONTO	Quinzenal
		LUBR/AF1-002	LUBRIFICAÇÃO MANCAIS CASA DE MÁQUINAS
LUBRFICAR MANCAL MAQ-03 70g PARA 2 PONTOS	Quinzenal		
LUBRFICAR MANCAL MAQ-04 70g PARA 2 PONTOS	Quinzenal		
LUBRFICAR MANCAL MAQ-05 70g PARA 2 PONTOS	Quinzenal		
LUBRFICAR MANCAL MAQ-06 70g PARA 2 PONTOS	Quinzenal		

Tabela 07 – Plano de manutenção antes da implantação da MCC. (Continuação)

PLANO DE MANUTENÇÃO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DA MCC - ALTO FORNO 01			
Código	Descrição	Atividade	Periodicidade
PRES/AF1-007	PRES. SIST. CASA DE MAQUINAS	VERIFICAR RUIDO ESTRANHO	Diário
		VERIFICAR FIXAÇÃO DE ELEMENTOS	Diário
		VERIFICAR VAZAMENTOS TUBULAÇÃO	Diário
		VERIFICAR LUBRIFICAÇÃO DO DAPER	Diário
		VERIFICAR TEMPERATURA LA/LNA MANCAL	Diário
		VERIFICAR TEMPERATURA LA MOTOR	Diário
PRES/AF1-008	PRES. SIST. CASA DE MAQUINAS	VERIFICAR RUIDO ESTRANHO	Semanal
		VERIFICAR FIXAÇÃO DE ELEMENTOS	Semanal
		VERIFICAR VAZAMENTOS TUBULAÇÃO	Semanal
		VERIFICAR LUBRIFICAÇÃO DO DAPER	Semanal
		VERIFICAR TEMPERATURA LA/LNA MANCAL	Semanal
		VERIFICAR TEMPERATURA LA MOTOR	Semanal

Em análise aos planos da Tabela 07, algumas considerações foram levantadas:

- Ausência de planos preditivos de análise de vibração;
- Longa periodicidade de planos que incluem coleta de temperatura do motor e mancal monobloco de cada máquina;
- Ausência de as atividades de preservação dos motores (limpeza da tampa defletora e haletas), sendo fatores responsáveis por elevação de temperatura dos motores.
- Planos de lubrificação dos motores e mancais monobloco somente a cada 15 dias, sendo considerado longo período, devido às criticidades do local de instalação (temperatura elevada e sujeira);

Em comparativo com os planos antes e após a implementação do estudo da MCC, as seguintes considerações foram obtidas:

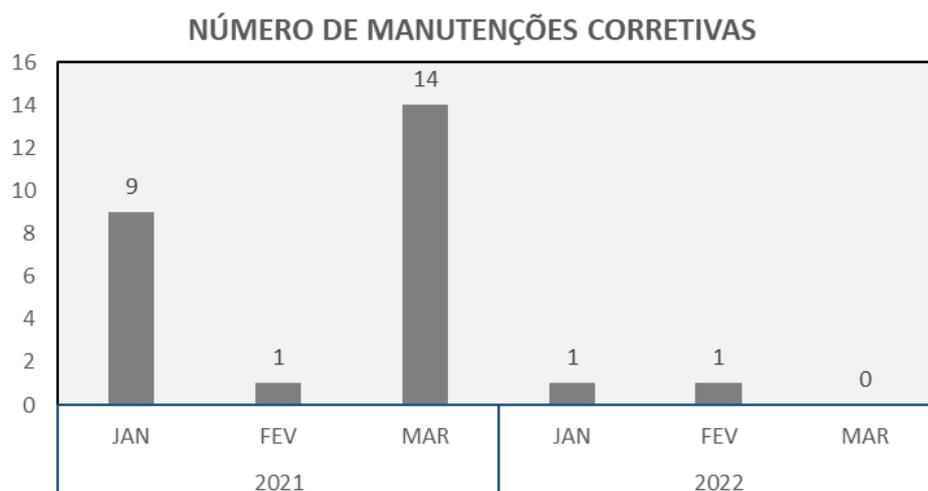
- Inclusão de planos preditivos de análise de vibração, com periodicidade a cada turno;
- Reduzido para cada turno a periodicidade dos planos de manutenção de temperatura do motor e mancal monobloco de cada máquina;

- Criado planos de manutenção que abordam atividades de preservação dos motores (limpeza da tampa defletora e haletas);
- Os planos de lubrificação dos motores e mancais monobloco foram reduzidos para cada 7 dias, devido à criticidade do local de instalação.

### 5.7 Comparativo do número de manutenções corretivas – SAP PM

Quando ocorrem problemas relacionados às falhas funcionais nos equipamentos, são abertas notas de manutenção, caracterizadas como manutenções corretivas. Após a implantação dos planos com base na MCC, foi feito um comparativo do número de manutenções corretivas abertas via aplicativo ITSS para os eletrosopradores da casa de máquinas. Na Figura 10, foi feito um comparativo entre o primeiro trimestre de 2021, que utilizava planos apenas com base em experiência técnica e 2022, onde os planos foram atualizados e revisados pela MCC.

Figura 10 - Comparativo para número de manutenções corretivas



Com os dados de manutenções, obtidos no SAP PM para os anos de 2022, também foram calculados os valores de MTBF E MTTR, sendo selecionados os valores de manutenções corretivas dos anos de 2021 e 2022, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 08 - Comparativo para número de manutenções corretivas

<b>Métricas de confiabilidade- Eletrosoprador 02</b>				
	<b>Valores Pré-MCC (2021)</b>		<b>Valores Pós-MCC (2022)</b>	
MTBF	177,46	MTBF	301	
MTTR	2,71	MTTR	2,27	

Em análise aos dados, observa-se um aumento de 69,6% em relação ao MTBF, o que garante maior disponibilidade do equipamento. Em contrapartida, o MTTR teve uma diminuição de 16,23%, após a instalação da MCC, o que mostra a diminuição do tempo de reparo do equipamento.

## **6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

---

### **6.1 Conclusões**

O objetivo deste estudo foi aumentar a confiabilidade dos equipamentos dos altos fornos existentes em uma usina siderúrgica, aplicando a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e abordando os seguintes passos: (i) Escolha e capacitação da equipe (ii) seleção do sistema e coleta de informações; (iii) análise das funções e falhas funcionais; (iv) análise dos modos de falhas e seus efeitos; (v) determinação do plano de manutenção.

Os equipamentos do alto forno foram selecionados conforme o seu nível de criticidade, usando a matriz criticidade, com objetivo de particularizar os equipamentos classificados como nível A, para que inicialmente fosse aplicado a MCC. Entre os equipamentos de criticidade A, foram selecionados os eletrosopradores como amostra inicial, devido ao seu alto índice de manutenções corretivas e longo tempo de parada do equipamento durante falhas.

Os resultados parciais obtidos pela aplicação da MCC nos equipamentos de criticidade A dos altos fornos, selecionados a partir da matriz de criticidade ABC, evidenciaram a importância de tal método, onde foi proporcionado uma maior compreensão do processo e funções de seus ativos, além de possibilitar a realização de uma avaliação mais detalhada a respeito das ações a serem implementadas para garantir a função de projeto dos seus principais ativos.

### **6.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Como recomendação para futuros trabalhos a serem desenvolvidos, sugere-se a aplicação da MCC, conforme apresentado neste trabalho, para os demais setores da usina siderúrgica (aciaria e laminação).

## REFERÊNCIAS

---

- AFEFY, I. (2010). **Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study**. Engineering. 02. 10.4236/eng.2010.211109.
- AKBAR, R., Ghanbari, A., Barati, S., & Javadifar, M. (2020). **Modeling and optimization of iron ore sintering process in an industrial scale using artificial neural network and genetic algorithm**. Journal of Mining & Environment, 11(2), 455-470.
- ARCURI FILHO, R. O futuro conceito de manutenção. In: **XXIV Convención Panamericana de Ingenieros**. San José, Costa Rica, 1996.
- ARIZA, C. F. **Manutenção preventiva - objetivos, desenvolvimento e aplicação**. *Manutenção & Serviços*, Ano 1, n.5, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Confiabilidade e Mantabilidade – Terminologia**, NBR 5462, Rio de Janeiro, p. 37, 1994.
- BRANCO, F. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. Editora Moderna, Rio de Janeiro, 4ª Edição Revisada, Edição Mercosul, 2006.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota técnica DEA 02/09: Caracterização do uso da energia no setor siderúrgico brasileiro**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/20090430\\_2%5B1%5D.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/20090430_2%5B1%5D.pdf). Acessado em 18 out 2022.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Eficiência Energética na Siderurgia – Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.
- DESHPANDE, V.S.; MODAK J.P. **Application of RCM to a medium scale industry, Reliability Engineering & System Safety**. Volume 77, Issue 1, Pages 31-43. 2002.
- DUNN, S. **Reinventing the maintenance process: towards zero downtime**. In: Queensland Maintenance Conference Proceedings, Queensland, Australia, 1998.
- DUNN, S. **Maintenance terminology – some key terms**. Disponível em: <https://www.plant-maintenance.com/terminology.shtml>. Acesso em: 18 out. 2022.
- FAZEL, R., M. **Assessment of fuzzy failure mode and effect analysis (FMEA) for reach stacker crane (RST): A case study**. International Journal of Research in Industrial Engineering, 2018; 7(3): 336-348. doi: 10.22105/riej.2018.140970.1050
- FERNÁNDEZ, J; MÁRQUEZ, A. **Maintenance Management in Network Utilities: Framework and Practical Implementation**. London, Springer, 2012.
- FERREIRA, F. B. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA RELATIVA DAS USINAS MINIMILLS DA GERDAU S.A. NAS AMÉRICAS: Um estudo a partir da Análise Envoltória**

**de Dados.** Dissertação (mestrado) - Ciências Contábeis. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2012.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. **Confiabilidade e manutenção industrial** [recurso eletrônico]. Rio de Janeiro, Elsevier ABEPRO, 2011.

GEERDES, M. et al.; Livro: **Práticas Modernas para Operação de Alto-Fornos.** Coordenação da edição Brasileira. p. 17- 28, 2007.

GERDAU. **Arquivos SEC - Formulário de Consolidação 20F. 2010a.**

JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM). **600 Forms Manual.** Japan, 1995.

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

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica. 4.** ed. Rio de Janeiro, Qualitymark Editora, 2012.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade.** Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

LUCATELLI, M. V. **Estudo de Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos.** Dissertação (Mestrado) - Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

LUCATELLI, M. V. **Proposta de aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em equipamentos médico-hospitalares.** Tese (doutorado) – Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MACEDO, M. A. S. **Contribuição metodológica para a determinação da Criticidade de equipamentos na gestão da manutenção.** Dissertação para obtenção de título em Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2011.

MAIORKY, R. T., Lima, S. S., & Pereira, E. A. (2015). **Utilização do MTBF e do MTTR em uma indústria de mineração de ferro.** Revista Produção Online, 15(1), 264-284.

MANUTENÇÃO. **Manutenção em Foco. Classificação ABC de Máquinas e Equipamentos.** 2016. Disponível em <https://www.manutencaoemfoco.com.br/classificacao-abc/>. Acesso em 18 out 2022.

MATA FILHO, J. N., MIRANDA, C. F. & LIMA, C. E. **Manutenção Baseada em Confiabilidade e Controle de Custos de Manutenção – Um Time de Sucesso na Indústria Aeronáutica.** TT040, In: Anais CD-Rom do XIII Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador, BA, 1998.

MEMOLI, F.; FERRI, M. B.; FREITAS, J. V. **Aumento das plantas Consteel no mundo: flexibilidade para a carga contínua de gusa líquido e sucata no forno elétrico a arco agora na siderurgia brasileira.** Technol. Metal. Mater. Miner, São Paulo, 2009.

- MONCHY, F. **A função manutenção**. São Paulo, EBRAS/DURBAN, 1989.
- MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance**. 2nd ed - Woodbine, NJ Industrial Press Inc., 1997.
- MOURÃO, M. B. **Introdução a siderurgia**. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007
- NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. São Paulo, Edgard Blücher LTDA, v.1, 1989.
- NUNES, E. L. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): Análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. Dissertação (mestrado) – Engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- PABIS, S., Poggi, M., & Fumagalli, L. (2020). **Energy efficiency of an iron ore sintering plant. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, 42(2), 241-251.
- PINHEIRO, M. V., Silva, L. A. R., & Almeida, R. M. M. (2016). **Análise da confiabilidade em sistema de produção utilizando o MTBF e o MTTR**. In Encontro Nacional de Engenharia de Produção.
- PORTAL VIRTUHAB. **Aço**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>. Acesso em: 18 out. 2022.
- RAUSAND, M. **Reliability Centered Maintenance, Paper of Department of Production and Quality Engineering**. Norwegian University of Science and Technology, n-7034 Trondheim, Norway. 1998.
- ROSA, R. N. **Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em um processo da indústria automobilística**. Dissertação (mestrado) – Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- SAMPAIO, R. B., Soares, R. P., Dantas, R. A., & Ferreira, V. M. (2018). **A contribution to improve the blast furnace performance using a combined model with computational fluid dynamics and artificial neural network**. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 40(9), 480.
- SANTOS, A. J. dos; DALLA VALENTINA, L. O. **Uma Sistemática para Análise da Eficácia dos Métodos de Controle do Processo Produtivo**. Revista Espacios. Vol. 36 (Nº 09), Pág. 5, 2015. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a15v36n09/15360905.html>. Acesso em: 10 set. 2022
- SIQUEIRA, I. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2005.
- SLACK, N. *et al.* **Administração da produção**. São Paulo, Atlas, 1997.
- SMITH, Anthony M. **Reliability-Centered Maintenance**. USA, McGraw-Hill, Inc., 1993.

**TELES, J. Bíblia do RCM – O guia completo e definitivo da Manutenção Centrada na Confiabilidade da era de indústria 4.0.** Brasília, Engeteles, 2019.

VIDAL, R., Guay, M., Tremblay, P., Dion, J., & Gagné, M. (2019). **A study of the performance of the furnace lining in an iron-making blast furnace.** Journal of Iron and Steel Research, International.

WYREBSKI, J. **Manutenção Produtiva Total - Um modelo adaptado.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 1997. Disponível em: <http://www.maintenanceresources.com/References/MaintenanceManagement/Reinventing.shtml?id=19524>. Acesso em 16 out. 2022.

XAVIER, J. **Indicadores de Manutenção.** [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: [http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/MAN/indicadores\\_manutencao.pdf](http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/MAN/indicadores_manutencao.pdf). Acesso em 10 out. 2022.