

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**Impurezas na Sucata e seus**

**Efeitos na Manutenção de Forno Elétrico à Arco**

**Estudo de Caso em Usinas Siderúrgicas.**

**Júlia Vitória Pacheco de Mello  
Luara Aparecida Barbeta de Castro**

**Pindamonhangaba - SP  
2024**

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**Impurezas na Sucata e seus Efeitos na Manutenção do  
Forno Elétrico à Arco**

Estudo de Caso de Usinas Siderúrgicas

**Júlia Vitória Pacheco de Mello  
Luara Aparecida Barbeta de Castro**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba para  
graduação no Curso Superior de Tecnologia  
em Manutenção Industrial

Orientador: Professor Dr. Jorge Luiz Rosa

**Pindamonhangaba - SP  
2024**

M527i Mello, Júlia Vitória Pacheco de.  
Impurezas na sucata e seus efeitos na manutenção do forno elétrico à arco: estudo de caso em usinas siderúrgicas. Júlia Vitória Pacheco de Mello; Luara Aparecida Barbeta de Castro / Fatec Pindamonhangaba, 2024.  
50f.; il.

Orientador: Professor Dr. Jorge Luiz Rosa  
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2024

1. Forno a arco elétrico. 2. Falhas nos painéis de resfriamento. 3. Bloco de injeção. 4. Manutenção corretiva. 5. Coleta seletiva de sucata. 6. Custos operacionais. I. Mello, Júlia Vitória Pacheco de. II. Castro, Luara Aparecida Barbeta de. III. Rosa, Jorge Luiz. IV. Título.

CDD 621.8

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**"IMPUREZAS NA SUCATA E SEUS EFEITOS NA  
MANUTENÇÃO EM FORNO ELÉTRICO À ARCO".**

**Júlia Vitória Pacheco de Mello  
Luara Aparecida Barbeta de Castro**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba, para  
graduação no Curso Superior de  
Tecnologia em Manutenção Industrial.

Comissão Examinadora

Orientador – Prof. Dr. Jorge Luiz Rosa

Membro – Profa. Ma. Daniela Araújo Souza

Membro – Prof. Ma. Celso Pacheco de Siqueira

**Pindamonhangaba, 09 de dezembro de 2024.**

## **DEDICATÓRIA**

### **JÚLIA VITÓRIA PACHECO DE MELLO**

Este trabalho dedico ao meu pai, abaixo de sol, andou dia após dia para que na sombra, eu pudesse percorrer no caminho dos meus sonhos.

E à minha mãe, que nunca poupou esforços para realizar meus sonhos. Seu apoio emocional e físico foi e é essencial para esta trilha, que chamamos de vida.

Gratidão!

### **LUARA APARECIDA BARBETA DE CASTRO**

Primeiramente dedico a Deus e a Nossa Senhora Aparecida que me deu forças para concluir este projeto de forma satisfatória. Dedico também, em especial, a minha mãe Suzana Aparecida Barbeta, por todo o incentivo e encorajamento durante esse período de faculdade. Sua grande força foi o meu maior incentivo que permitiu o meu avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis.

Gratidão!

## **AGRADECIMENTO**

### **JÚLIA VITÓRIA PACHECO DE MELLO**

Inicialmente, gostaria de expressar minha gratidão a Deus por ter me auxiliado a superar todos os desafios enfrentados durante o curso.

Agradeço aos meus pais, Paulo Roberto e Vânia Aparecida, que me apoiaram nos momentos difíceis e entenderam minha ausência enquanto eu me dedicava a concluir este trabalho.

Agradeço ao professor Jorge Rosa pelas correções e orientações que contribuíram para a realização deste trabalho e nos permitiram um desempenho mais aprimorado.

Sou grato à minha amiga Luara Aparecida Barbeta de Castro, com quem compartilhei intensamente os últimos anos, pelo companheirismo e pelas valiosas trocas de experiências que contribuíram para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Aos colegas de classe, com quem tive a alegria de compartilhar esses anos de estudo.

## **LUARA APARECIDA BARBETA DE CASTRO**

Inicialmente, expresso a minha gratidão a Deus e a Nossa Senhora Aparecida que me concederam a energia necessária para finalizar esse projeto de maneira bem-sucedida.

Agradeço aos meus pais, Edinei de Castro e Suzana Aparecida Barbeta, que me deram a vida e ensinaram valores a mim e aos meus irmãos, mesmo quando ainda eram jovens.

Ao professor Jorge Rosa, pelo imenso apoio que forneceu para orientar este trabalho.

Gostaria de expressar minha gratidão a minha amiga, Julia Vitória Mello, por ter sido uma companheira incrível ao longo de todo o período do curso, juntas conseguimos enfrentar e vencer todos os obstáculos.

Aos meus colegas, com quem compartilhei o prazer de conviver ao longo desses anos de estudo.

MELLO, Júlia Vitória Pacheco de; CASTRO, Luara Aparecida Barbeta de **Impurezas na Sucata e seus Efeitos na Manutenção do Forno Elétrico à Arco**: Estudo de Caso de Usinas Siderúrgicas. 2024. 49p. Trabalho de Graduação (Curso de Manutenção Industrial). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2024.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar as falhas nos componentes essenciais do forno a arco elétrico, com foco nas fissuras nos painéis de resfriamento e nos defeitos no bloco de injeção, causadas pelas impurezas presentes na sucata utilizada no processo. A pesquisa busca avaliar os impactos dessas falhas nas atividades de manutenção e nos custos operacionais, uma vez que a presença de trincas nos painéis e avarias no sistema de injeção de oxigênio e carbono resulta em elevados gastos com reparos, aumento do tempo de inatividade do forno e maior necessidade de reposição de peças caras e difíceis de obter. Além disso, esses problemas comprometem a eficiência do processo e reduzem a rentabilidade das operações.

Os resultados indicam que, embora a manutenção corretiva seja necessária para solucionar essas falhas, ela implica custos elevados e uma redução na produtividade. Em contrapartida, a implementação de práticas de coleta seletiva de sucata surge como uma solução viável, pois ajuda a eliminar impurezas e materiais não ferrosos, prolongando a vida útil dos componentes e melhorando a eficiência operacional.

Em conclusão, este estudo enfatiza a importância de adotar uma abordagem preventiva na gestão da manutenção do forno a arco elétrico, com a integração de tecnologias inovadoras, manutenção preditiva e uma gestão aprimorada da sucata. Essas ações contribuem para o aumento da produtividade, redução dos custos operacionais e maior sustentabilidade nas operações, tornando as instalações mais competitivas e seguras.

**Palavras-chave:** Forno a arco elétrico, falhas nos painéis de resfriamento, bloco de injeção, manutenção corretiva, coleta seletiva de sucata, custos operacionais, eficiência.

MELLO, Júlia Vitória Pacheco de; CASTRO, Luara Aparecida Barbeta **of Impurities in Scrap and its Effects on the Maintenance of the Electric Arc Furnace: Case Study of Steel Plants**. 2024. 49p. Undergraduate Work (Industrial Maintenance Course). College of Technology of Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2024.

## **ABSTRACT**

This study aims to investigate the failures in critical components of the electric arc furnace, focusing on cracks in the cooling panels and defects in the injection block caused by impurities in the scrap used in the process. The research seeks to assess the impact of these failures on maintenance activities and operational costs, as the presence of cracks in the panels and malfunctions in the oxygen and carbon injection system result in high repair costs, increased furnace downtime, and a greater need for expensive and hard-to-find spare parts. Furthermore, these issues compromise process efficiency and reduce operational profitability.

The findings indicate that while corrective maintenance is necessary to address these failures, it entails high costs and reduced productivity. In contrast, implementing scrap segregation practices emerges as a viable solution, as it helps eliminate impurities and non-ferrous materials, prolonging component lifespan and improving operational efficiency.

In conclusion, this study highlights the importance of adopting a proactive approach to electric arc furnace maintenance management, integrating innovative technologies, predictive maintenance, and improved scrap management. These actions contribute to increased productivity, reduced operational costs, and greater sustainability, making operations safer and more competitive.

**Keywords:** Electric arc furnace, cooling panel failures, injection block, corrective maintenance, scrap segregation, operational costs, efficiency

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Descrito da sigla 5W2H.....   | 23 |
| Tabela 2 - Desenvolvimento do estudo 5W2H.....   | 34 |
| Tabela 3 - Custo de reestruturação do FEA em caso de acidente, apenas dos componentes estudados..... | 40 |
| Tabela 4 - Valor perdido devidos paradas emergenciais pós acidente.....                              | 40 |
| Tabela 5 - Custo corretivo .....   | 41 |
| Tabela 6 - Valor da parada de produção para manutenções corretivas dos painéis e blocos.....         | 41 |
| Tabela 7 - Representação do valor de uma parada estratégica ou preventiva.....                       | 41 |
| Tabela 8 - Representação do valor descrente na produção.....   | 41 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Fluxograma de funcionamento da coleta até a usina.....                             | 12 |
| Figura 2 - Forno à Arco Elétrico após uma explosão devido contato com água                    | 13 |
| Figura 3 - Organograma dos tipos de manutenção.....   | 17 |
| Figura 4 - Representação do custo da manutenção corretiva.....                                | 18 |
| Figura 5 - Modalidades usadas na manutenção preditiva .....                                   | 20 |
| Figura 6 - Pilares da TPM .....   | 21 |
| Figura 7 - Exemplo de como usar o Diagrama de Ishikawa.....                                   | 23 |
| Figura 8 - Representação da denominação de componente que compõe o forno elétrico à arco..... | 25 |
| Figura 9 - Processo de fusão de aço no Forno Elétrico à Arco.....                             | 26 |
| Figura 10 - Ilustra a composição do carregamento do FEA.....                                  | 27 |
| Figura 11 - Processos siderúrgicos.....   | 27 |
| Figura 12 - Processo da sucata fora e dentro da indústria.....                                | 29 |
| Figura 13 - Representação das paradas do FEA em fevereiro.....                                | 32 |
| Figura 14 - Representação das paradas mês de março.....                                       | 32 |
| Figura 15 - Representação das paradas do mês de abril.....                                    | 33 |
| Figura 16 - Representação do diagrama elaborado para o estudo de caso.....                    | 35 |
| Figura 17 - Painéis posicionados na carcaça.....  | 37 |
| Figura 18 - Representação dos painéis de perspectiva interna.....                             | 37 |
| Figura 19 - Painel de cobre em alto desgaste, após várias corridas.....                       | 38 |
| Figura 20 - Injetores de carbono e oxigênio.....  | 39 |
| Figura 21 - Tubulação (caneta) para uso da injeção de gases.....                              | 39 |
| Figura 22 - Tesoura móvel.....  | 43 |
| Figura 23 - Carregamento de sucata metálica no Shredder.....                                  | 44 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| CBM | Condition Based Maintenance |
| FEA | Forno Elétrico à Arco       |
| FFM | Failure Finding Maintenance |
| TBM | Time Based Maintenance      |
| TPM | Manutenção Preditiva Total  |
| RBM | Risk Based Maintenance      |

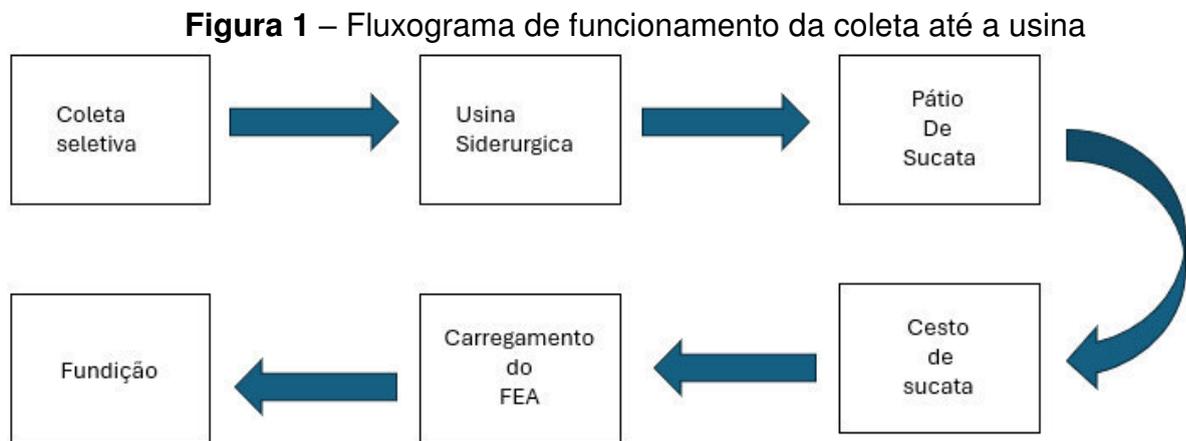
# Sumário

|          |  |                                      |
|----------|--|--------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                  | <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b> |
| 1.1      | PROBLEMA .....   | 13                                   |
| 1.2      | OBJETIVOS .....  | 14                                   |
| 1.2.1    | <i>Objetivo geral</i> .....                              | 14                                   |
| 1.2.2    | <i>Objetivos específicos</i> .....                       | 14                                   |
| 1.3      | JUSTIFICATIVA .....                                      | 15                                   |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                       | <b>16</b>                            |
| 2.1      | MANUTENÇÃO INDUSTRIAL .....                              | 16                                   |
| 2.2      | CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO .....                        | 17                                   |
| 2.2.1    | <i>Manutenção corretiva</i> .....                        | 17                                   |
| 2.2.2    | <i>Manutenção preventiva</i> .....                       | 19                                   |
| 2.2.3    | <i>Manutenção preditiva</i> .....                        | 19                                   |
| 2.2.4    | <i>Manutenção produtiva total (TPM)</i> .....            | 21                                   |
| 2.2.5    | <i>Manutenção detectiva</i> .....                        | 21                                   |
| 2.2.6    | <i>Engenharia de manutenção</i> .....                    | 22                                   |
| 2.3      | FERRAMENTAS DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO .....         | 22                                   |
| 2.3.1    | <i>Diagrama de Ishikawa</i> .....                        | 22                                   |
| 2.3.2    | <i>5W2H</i> .....  | 24                                   |
| 2.4      | PRODUÇÃO DO AÇO .....                                    | 24                                   |
| 2.5      | SUCATA .....   | 24                                   |
| 2.5.1    | <i>Processo da sucata</i> .....                          | 24                                   |
| 2.5.2    | <i>Pátio de sucata</i> .....                             | 24                                   |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b> .....                                 | <b>30</b>                            |
| 3.1      | APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....                           | 31                                   |
| 3.2      | FERRAMENTAS DE GESTÃO .....                              | 35                                   |
| 3.2.1    | <i>Diagrama de Ishikawa</i> .....                        | 35                                   |
| 3.2.2    | <i>5W2H</i> .....  | 36                                   |
| 3.3      | CUSTOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA .....                     | 37                                   |
| 3.3.1    | <i>Itens em más condições</i> .....                      | 37                                   |
| 3.3.2    | <i>Custo decorrentes das paradas de manutenção</i> ..... | 40                                   |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                      | <b>42</b>                            |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....                        | <b>46</b>                            |
| <b>6</b> | <b>CRONOGRAMA</b> .....                                  | <b>47</b>                            |
|          | REFERÊNCIAS .....  | <b>48</b>                            |

## 1 INTRODUÇÃO

Em 1810, Humphry Davy criou o primeiro arco elétrico para fundir ferro, o que conhecemos atualmente como eletrodos usados em solda. Com essa descoberta, outros cientistas queriam efetuar estudos relacionados, por conta disso, em 1909, Paul Heroult criou o Forno Elétrico à Arco (FEA).

A usina siderúrgica do estudo é denominada semi integrada, no caso, usa-se Forno Elétrico à Arco. A sua maior fonte de matéria prima é a sucata de aço, onde tem objetivo economizar recursos financeiros (gastos com o alto forno, mineração etc.) e praticar sustentabilidade usando materiais recicláveis. Funcionando como na imagem abaixo:



Fonte: Próprio Autor

A evolução industrial e a pressão para melhora do processo produtivo siderúrgico houve crescimento ao longo das décadas, porém não se esperava que a melhoria contínua da manutenção seria uma ciência complexa. Pois, envolveria vários fatores, tanto de vida útil pela alta exposição à grandes temperaturas quanto aos fatores de matéria-prima e as impurezas que à acompanham.

Paradas decorrentes de manutenção, foram observadas que nem sempre podemos concluir que a alta temperatura está denegrindo os componentes que compõe o FEA, mas que possivelmente pode acontecer e envolver outros temas, como: o processo de separação da sucata e melhoria de armazenamento.

A sucata limpa é mais fácil de processar, aumentando assim a eficiência no processo de reciclagem. Com isso se traz uma série de benefícios econômicos, operacionais, ambientais e de segurança, tornando-se uma prática importante para empresas e indivíduos envolvidos na reciclagem de aço.

Esse trabalho tem o objetivo de avaliar se há uma quantidade de impurezas relevante em determinado tipo de sucata além de analisar uma combinação de processamentos, utilizando tesoura móvel seguido de prensa tesoura para melhorar a condição final da sucata de pacote de obsolescência mista, e quantificar um valor médio de impurezas a ser retirado dessa sucata, que tradicionalmente são utilizadas de forma singular.

Esta pesquisa se fundamentou na experiência de uma siderúrgica do Vale do Paraíba, focando especificamente no tema "Impurezas na Sucata e seus Efeitos na Manutenção de Forno Elétrico a Arco". Com este estudo de caso, buscamos entender de maneira mais detalhada como a qualidade da sucata influencia não apenas o funcionamento do forno, mas também os resultados da manutenção garantindo qualidade no produto que será comprado pelo cliente.

### 1.1 PROBLEMA

Durante uma observação no ambiente de trabalho sobre criticidade de componentes que compõe o forno à arco elétrico, foi concluído que: furos de painéis refrigerados ou bloco de injeção, que são peças que possuem contato com a água (H<sub>2</sub>O) são altamente prejudiciais à produção e segurança do trabalhador.

O contato com grande quantidade de água, pode causar explosão danificando o equipamento, como na imagem à baixo:

**Figura 2** – Forno à Arco Elétrico após uma explosão devido contato com água.



Fonte: Jasonias Alves

Com isso, podemos questionar: “existe a possibilidade de prevenir este caso?” ou “A seleção da sucata pode reduzir a parada de manutenção do forno elétrico?”

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste presente trabalho é propor melhorias no processo de fundição e refinaria de aço carbono, ajudando assim, a manutenção dos fornos à arco elétrico, o custo-benefício e a segurança dos colaboradores.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Como citado o objetivo geral acima, segue alguns tópicos específicos para o presente estudo:

- Descrever os tipos de manutenção e o processo produtivo;
- Apresentar ferramentas de análise de falha e gestão de manutenção;
- Realizar o levantamento de dados que justificam que a separação de sucata metálica está incorreta;
- Realizar um estudo breve sobre a importância de uma matéria – prima com boa separação de resíduos impuros;
- Apresentar os fatores de riscos que podem ocorrer;
- E apresentar os benefícios financeiros de conter as impurezas.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Como resultado do crescente aumento da competitividade, há um maior enfoque nas áreas estratégicas da produção, como a manutenção. Essa, precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização, seu objetivo não pode ser simplesmente reparar o equipamento ou instalação, mas sim manter sua função disponível para operação, reduzindo ao máximo a probabilidade de uma parada de produção não planejada (KARDEC e NASCIF, 2009).

Com este pensamento e experiência no ambiente siderúrgico, foi de interesse das alunas realizar um estudo de caso com ênfase nas paradas de manutenção mecânica do forno à arco elétrico e apresentar métodos para amenizar as possíveis frustrações durante o espaço de tempo em que o equipamento estiver parado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico, serão apresentadas diversas modalidades de estudo, abrangendo a manutenção industrial e suas classificações, as ferramentas de gerenciamento de manutenção, e o processo produtivo. A abordagem principal será uma análise detalhada sobre a sucata metálica, com foco especial no processo de pátio de sucata e sua seletiva, especialmente no contexto do setor de forno a arco elétrico.

### 2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

O conceito do termo manutenção estava presente no vocabulário militar e significava manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante. Dentro das indústrias a palavra manutenção surgiu em 1950 nos Estados Unidos da América (MONCHY, 1989).

De acordo com Higgins (2001), a função da manutenção é garantir a performance e a disponibilidade dos ativos da empresa. Além disso, pode ter um papel relevante e até mesmo limitante, na rentabilidade da empresa (BEN-DAYA et al., 2009).

Com o avanço contínuo da tecnologia e da automação nas indústrias, máquinas e equipamentos tornaram-se elementos essenciais nos processos produtivos. Para se destacar e manter-se competitivo no mercado, as empresas precisam estar bem estruturadas para competir efetivamente com seus rivais. Portanto, é natural buscar o máximo de confiabilidade e eficiência nos recursos tecnológicos e mecanismos utilizados na produção. Para garantir um desempenho excelente no setor produtivo, é crucial minimizar ao máximo o tempo de inatividade devido a falhas nos equipamentos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2008).

A evolução nas ideias sobre manutenção revela que as organizações precisam buscar constantemente melhorias e adotar novas ferramentas de gestão. Isso visa aprimorar a administração da manutenção e aumentar a competitividade de seus produtos, processos e serviços (KARDEC et al., 2009).

## 2.2. CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Para expandir a compreensão sobre como complementar a gestão da manutenção nos dias de hoje, é fundamental apresentar conceitos fundamentais sobre a classificação das tarefas ou serviços de manutenção. Abaixo, há um organograma que detalha melhor a divisão:

**Figura 3** - Organograma dos tipos de manutenção.



Fonte: Adaptado de manutenção Engeoil

### 2.2.1 Manutenção corretiva

No século XVIII, a primeira Revolução Industrial provocou transformações significativas na produção e na tecnologia. Com a introdução de máquinas inovadoras, como o tear mecânico e a máquina a vapor, iniciou-se a criação de equipamentos em larga escala. Nessa época, os próprios construtores eram responsáveis pela manutenção e reparo dessas máquinas, o que resultava em um ciclo de vida útil que frequentemente se estendia até a quebra total do equipamento.

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2008), a manutenção corretiva, como o próprio nome indica, envolve operar o equipamento até que ele se quebre e se torne incapaz de funcionar. Em outras palavras, a manutenção é realizada apenas depois que a falha já ocorreu. Dentro dessa abordagem, a manutenção corretiva pode ser dividida em duas categorias distintas:

- **Planejada:** Se resume à uma situação que o equipamento quebra e por análise ou decisão gerencial, se faz a organização dos procedimentos e programam a parada de produção mais breve possível. Porém, por orientação, pode deixar que ocorra a quebra da máquina.
- **Não Planejada:** Ocorre quando o equipamento de forma inesperada para de

funcionar ou sinaliza que irá parar. Ocasionalmente, a manutenção corretiva emergencial.

Podemos citar que dentro dessas duas categorias, possuí duas formas de realizá-la:

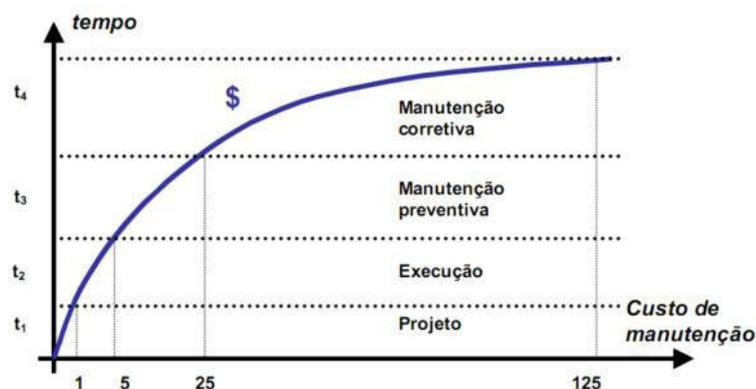
**Paliativa:** Refere-se às intervenções corretivas realizadas temporariamente para colocar o equipamento em operação novamente, com a intenção de, posteriormente, realizar um reparo definitivo.

**Curativa:** Envolve as intervenções de reparo feitas de forma definitiva, com o objetivo de restaurar o equipamento ao seu funcionamento normal.

A desvantagem desta classificação é o alto custo que pode proporcionar para a empresa e talvez, o aumento do tempo de parada, por falta de suprimentos estocados que podem garantir a volta do equipamento.

A representação a seguir, mostra o custo-benefício da manutenção corretiva em relação aos setores:

**Figura 4** – Representação do custo da manutenção corretiva.



Fonte: <https://perfilmaq.ind.br>

### 2.2.2. Manutenção preventiva.

A manutenção preventiva envolve ações antecipadas para evitar a ocorrência de falhas, por meio da substituição de partes do sistema. Refere-se a um plano para substituir peças de equipamentos ou componentes que podem falhar durante a operação, a menos que sejam substituídos a tempo. Nesse sentido, a manutenção preventiva é adequada para equipamentos cuja taxa de falhas aumenta com o uso. (Glasser, 1969; Barlow & Proschan, 1965; Barlow & Proschan, 1975).

Segundo Slack et al. (2002, p. 645), a manutenção preventiva “visa eliminar ou reduzir a probabilidade de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo planejado”. Os planos de manutenção elaborados de forma preventiva presumem que máquinas irão se degradar em um ciclo típico obtido através de análises estatísticas (ALMEIDA, 2000).

Chegada à conclusão de que a manutenção preventiva possui subdivisões essenciais para exercer a mesma, que podemos classificar desta forma:

- Manutenção Baseada em Tempo (TBM): Ocorre à substituição ou renovação de um item em horários, intervalos fixos ou uso para restaurar sua confiabilidade, independentemente de sua condição.
- Manutenção de Encontro de Falha (FFM): visa detectar falhas ocultas em componentes de proteção do equipamento, como: válvulas de segurança, transmissores e similares.
- Manutenção Baseada em Risco (RBM): avaliação de risco, estudo de criticidade em caso de falha.
- Manutenção Baseada em Condições (CBM): Analisa dados que evidência físicas de uma falha está ocorrendo ou pode ocorrer em um espaço de tempo mínimo.

### 2.2.3. Manutenção preditiva.

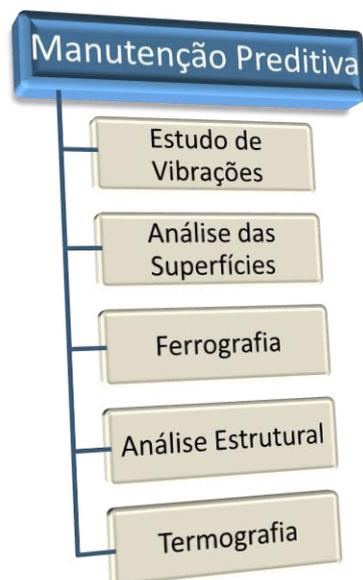
Takahashi e Osada (2000) definem manutenção preditiva como uma abordagem que evita o problema da manutenção excessiva, comum em métodos tradicionais de manutenção. Esta filosofia visa promover práticas econômicas de manutenção preditiva, fundamentadas principalmente em estudos de engenharia sobre ciclos de manutenção otimizados.

A manutenção preditiva tem como objetivo prevenir falhas nos equipamentos

ou sistemas por meio do acompanhamento de diversos parâmetros, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Como este modelo mapeia informações para execução de uma preventiva com mais precisão, ele pode trazer um resultado melhor em indisponibilidade e nos custos relacionados à manutenção (KARDEC & NASCIF, 2010).

Conforme a imagem 3, podemos entender quais as modalidades usadas na manutenção preditiva para encontrar possíveis falhas:

**Figura 5** – Modalidades usadas na manutenção preditiva



Fonte: Próprio autor

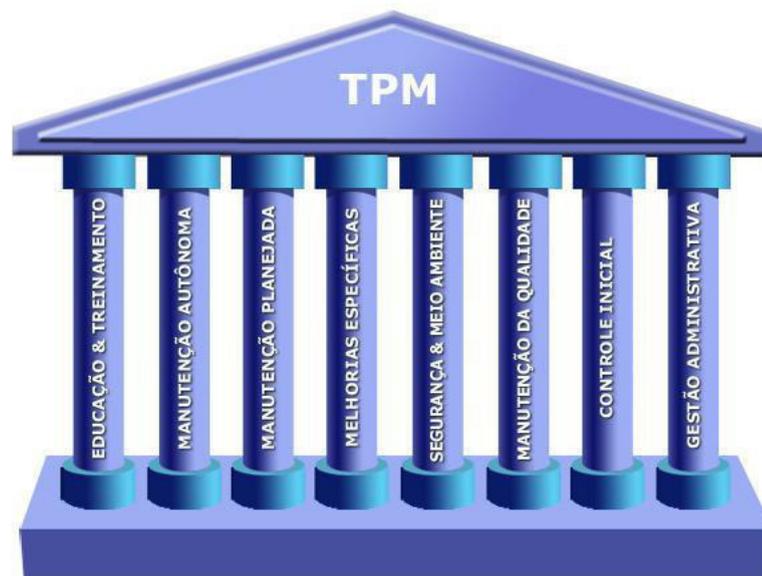
#### 2.2.4. Manutenção produtiva total (TPM).

De acordo com PEREZ (1997), o processo de maximização da performance dos equipamentos, disponibilidade e qualidade, com o total envolvimento dos operadores de produção, técnicos, engenheiros, supervisores e gerentes.

Falha zero ou quebra zero das máquinas ao lado do zero defeito nos produtos e perda zero no processo (NAKAJIMA, 1989).

Deste método, apresenta pilares que são representados abaixo:

**Figura 6 – Pilares da TPM**



Fonte: Pinto; Xavier, 2007

#### 2.2.5. Manutenção detectiva.

Segundo Souza (2008), a manutenção detectiva é realizada em sistemas de proteção ou controle, destina-se a identificar falhas ocultas ou que não seja identificada pela equipe.

A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoa da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação. (KARDEC & NASCIF, 2010).

### 2.2.6. Engenharia de manutenção.

Conforme a evolução tecnológica e o desenvolvimento dos maquinários, surge a Engenharia de Manutenção.

A Engenharia de Manutenção é uma nova concepção que constitui a quebra de paradigma na manutenção. Praticar engenharia de manutenção é deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar feedback ao projeto, interferir tecnicamente nas compras. Ainda mais: aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção de primeiro mundo (ARAÚJO e SANTOS, 2008).

Segundo Viana (2002) As atribuições da Engenharia começam pela incansável busca de melhorias; a área deverá ser capaz de ver o invisível e buscar de maneira prática a implantação de projetos que atinjam os objetivos traçados a partir desta visão. Os estudos, análises de falhas e ensaios serão o sangue por onde circularão as ponderações e soluções.

## 2.3. FERRAMENTAS DE GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO.

Com a evolução industrial, surgiram não apenas máquinas de alta tecnologia e melhorias no desenvolvimento produtivo, mas também uma significativa evolução nas ferramentas de gerenciamento e análise de manutenção. Neste trabalho, propomos a utilização do Diagrama de Ishikawa e da metodologia 5W2H como instrumentos fundamentais para identificar e solucionar problemas na área de manutenção industrial, contribuindo para a otimização dos processos e a eficiência operacional.

### 2.3.1. Diagrama de Ishikawa

O Ishikawa Diagrama, também referido como Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta de qualidade usada para determinar as causas de um problema, analisando todos os fatores que impactam a execução do processo. Esta ferramenta foi proposta por Kaoru Ishikawa na década de 60 e agora faz parte do MASP, (Técnica de Análise e Resolução de Problemas) permite a

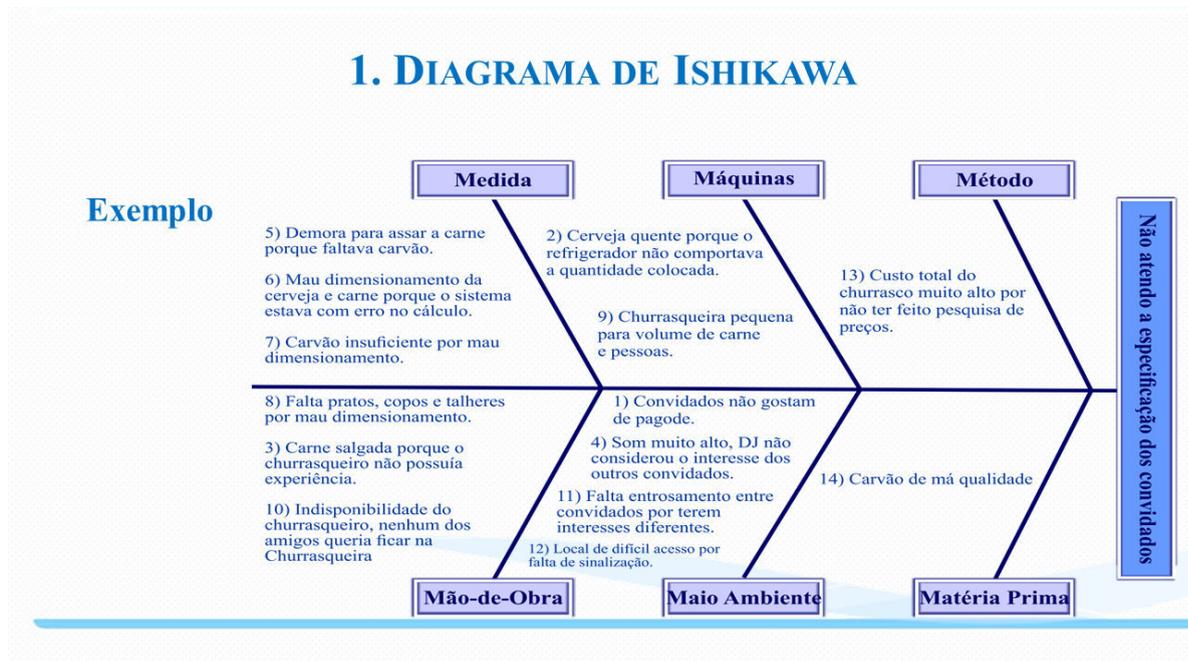
organização dos dados para identificar as possíveis causas dos problemas.

Conforme Werkema (1995), a execução do diagrama requer as seguintes fases:

1. O primeiro passo é estabelecer o problema a ser investigado e os resultados que se pretende alcançar;
2. Analisar e entender o processo em questão por meio de observação, registro e diálogo com indivíduos envolvidos;
- 3 Realizar um encontro com os participantes do processo e debater o problema é crucial. É crucial encorajar todos a compartilhar suas ideias, realizando um brainstorming;
4. Depois de reunir todos os dados, dividi-los em causas principais, secundárias e terciárias, descartando dados sem relevância;
5. Elaborar o diagrama e verificar com todos como ele representa a situação presente;
6. Identificar o que é mais crucial para alcançar a meta desejada.

Na figura a seguir, pode-se observar um exemplo de como usar o diagrama:

**Figura 7 – Exemplo de como usar o Diagrama de Ishikawa**



Fonte: <https://aqcf-ferramentasdaqualidade.blogspot.com>

### 2.3.2. 5W2H

De acordo com Polanski (2013), o 5W2H, além de ser uma técnica de trabalho, também desempenha um papel gerencial. A ferramenta não apenas identifica as atividades, mas também fornece planos de ação para tarefas previamente definidas que necessitam ser redigidas de forma clara e direta. O objetivo principal é responder a sete perguntas e organizá-las.

Segundo Lucinda (2016), o 5W2H se refere às primeiras sete perguntas em inglês que precisam ser respondidas, com o objetivo de destacar que deve ser executado de acordo com o plano de ação. Assim, conseguiremos estabelecer o que será feito, quando, por que, onde e por quem, além de como será feito e o custo disso.

Logo abaixo, há a representação do método e as formas que pode ocorrer a pergunta para que haja uma melhor experiência e compreensão na utilização dele:

**Tabela 1** – Descrito da sigla 5W2H

| 5W2H     |               |                                    |
|----------|---------------|------------------------------------|
| WHAT     | O QUE?        | O QUE SERÁ FEITO?                  |
| WHO      | QUEM?         | QUEM EXECUTARÁ A AÇÃO?             |
| WHERE    | ONDE ?        | ONDE SERÁ EXECUTADA A AÇÃO?        |
| WHEN     | QUANDO?       | QUANDO SERÁ FEITA A AÇÃO?          |
| WHY      | POR QUÊ?      | POR QUÊ SERÁ FEITA A A AÇÃO?       |
| HOW      | COMO?         | COMO SERÁ EXECUTADA A AÇÃO?        |
| HOW MUCH | QUANTO CUSTA? | QUANTO CUSTARÁ A EXECUÇÃO DE AÇÃO? |

Fonte: Próprio autor

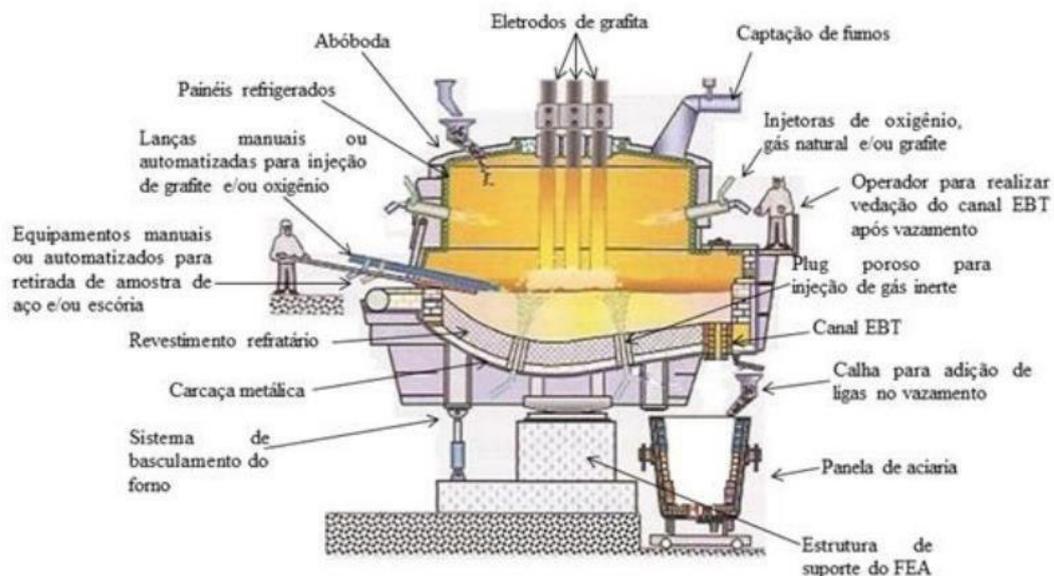
### 2.4. PRODUÇÃO DO AÇO.

A produção de suprimentos de aço não ocorre apenas no século que estamos. Se lê em livros de história sobre cavaleiros com armaduras metálicas, produção de facas, espadas, garfos e entre outros utensílios. Portanto, sempre foi presente no dia a dia do ser humano.

Sua evolução foi gradual, garantindo o melhor desenvolvimento de engenharia para conseguirmos ter o êxtase na construção de equipamentos potentes e que se atende a alta demanda do comércio.

O Forno Elétrico à arco (FEA) funciona como uma técnica de produção em larga escala. E podemos denominar seus componentes como na imagem abaixo:

**Figura 8** – Representação da denominação de componente que compõe o forno elétrico à arco.



Fonte: Rizzo (2005)

O processo de produção do aço, conhecido como "corrida", abrange etapas como: Enchimento do Forno, Fusão, Refinamento e Vazamento. A escolha do tipo de aço a ser utilizado é o primeiro passo na produção de qualquer corrida, assim será definido como carregar o forno para chegar na composição correta do tipo de produto desejado, como por exemplo: composição do aço 1020, 1040, 1050 entre outros.

O FEA é a primeira etapa no procedimento de refino. Os seus principais objetivos são: A combustão, a desfosforização e a fusão. A maioria da energia requerida para a fusão é fornecida por um arco voltaico formado entre a carga metálica e os eletrodos de grafita do forno, enquanto o restante é proveniente das diversas reações químicas em andamento.

Neste estágio, o oxigênio é introduzido para criar um ambiente oxidativo, em seguida o aço líquido é movido do forno para uma panela de aço revestida com material refratário para ser utilizado prosseguindo com o processo de refinação

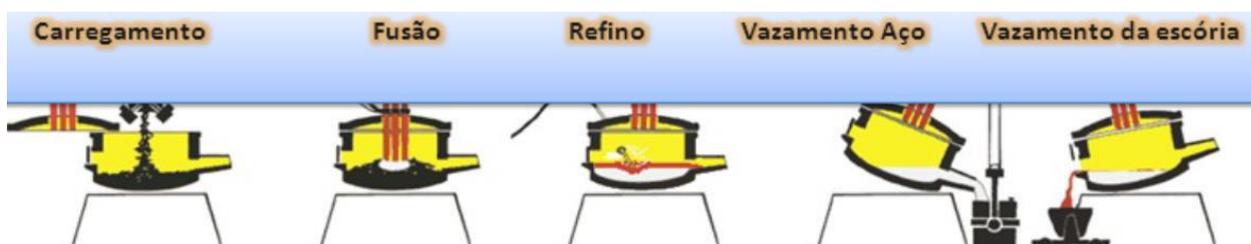
secundária (MOURÃO 2007).

Este dispositivo é composto por uma estrutura de metal revestida com material refratário na parte inferior. O FEA é composto, até a metade da estrutura, por painéis refrigerados.

A abóbada cobre a estrutura do forno, onde se encontram os eletrodos condutores de grafite e os geradores de eletricidade. Esses são os indivíduos responsáveis por gerar o arco elétrico e levar a energia elétrica até a sucata, promovendo a fusão. (Araujo,2009)

O Forno Elétrico a Arco compreende cinco etapas: carga, fusão, refinamento oxidante, eliminação de escória e vazamento, nesta sequência. Podemos ver na imagem abaixo:

**Figura 09** – Processo de fusão de aço no Forno Elétrico à Arco.



Fonte: Denise Cordeiro

O carregamento acontece ao destravar a parte inferior do cesto, que se encontra no centro do FEA de abóbada aberta. A sucata é lançada, o teto é vedado e inicia-se o processo de fusão. A densidade da sucata é uma característica fundamental. Caso a densidade média da sucata utilizada seja diminuída, mais carregamentos serão necessários para atingir a capacidade de trabalho do forno. Uma carga adicional pode acarretar desperdício de tempo, redução da eficiência metálica (devido à oxidação), e aumento nos custos com eletrodos e eletricidade. Estima-se um consumo adicional de 10 a 20 KWh/t para cada carga. (BARKER e seus colegas, 1998). O carregamento, possui um procedimento parecido com a imagem a seguir:

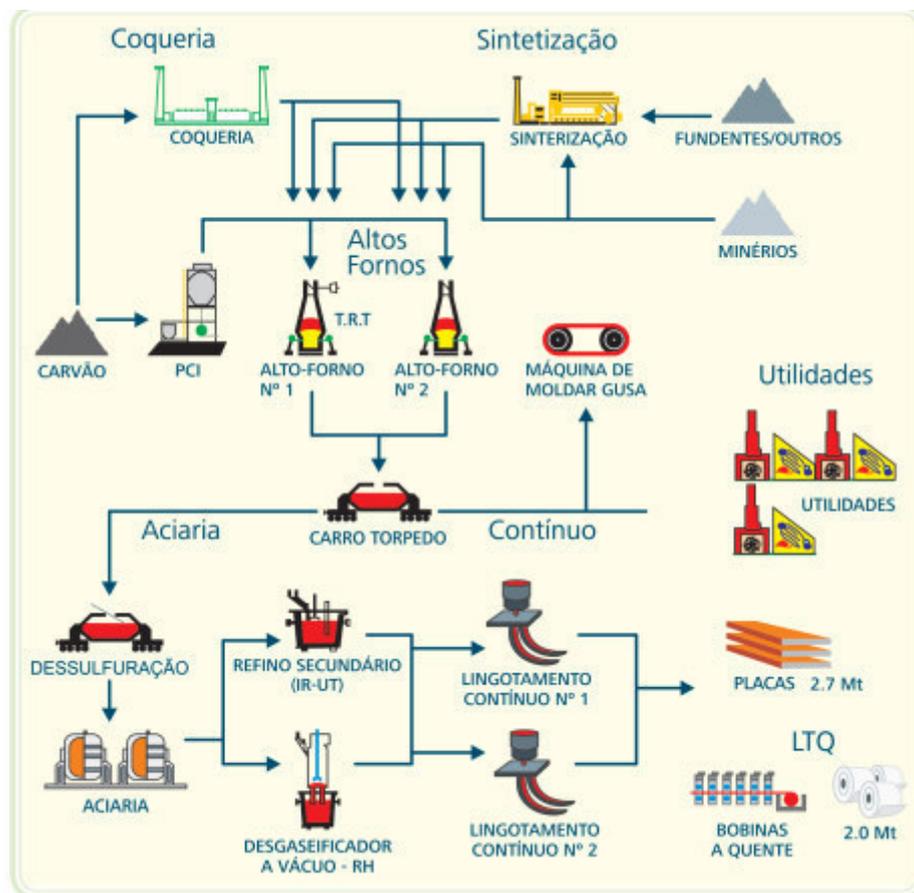
**Figura 10** – Ilustra a composição do carregamento do FEA.



Fonte: Denise Cordeiro.

Para melhor entendimento da finalização no processo dentro de uma usina, a figura irá ilustrar a finalização do processo siderúrgico:

**Figura 11** – Processos siderúrgicos



Fonte: Laboratório Lasid – UFRGS.

## 2.5 SUCATA.

Segundo Sandberg (2005), existem cerca de 20 categorias de sucata para aços de carbono comuns e mais de 100 categorias de sucata para aços especiais. Uma

variedade de fatores, incluindo dimensões, procedência, fornecedor, composição química, impurezas, nível de oxidação e energia necessária para fusão, são usados para classificar.

Conforme Chevrand (2007), as principais origens de sucata são:

- Sucata Interna:

Na Europa, a taxa de sucata de retorno interno é de 10 a 60 kg/t na aciaria e até 150 kg/t nas usinas. Seu valor econômico é muito alto e sua composição química é comparável à média produzida na indústria. A disponibilidade deste tipo de sucata está em constante diminuição como resultado da melhoria generalizada dos processos das usinas siderúrgicas.

- Sucata Industrial:

A importância relativa das várias indústrias que empregam o aço é crucial para a produção de sucata. A indústria de automóveis gera um retorno de sucata de 26 a 30% por tonelada de aço processado, em oposição à indústria da construção civil, que gera um retorno de sucata de 4 a 7%. O fator gerador varia de 13 a 16% em relação ao consumo aparente de aço na indústria mundial. A composição química desta sucata é vantajosa, levando em conta que 2/3 de toda a produção mundial de aço vem de aciarias a oxigênio, um cenário que deve mudar nos próximos anos com o aumento da produção através de FEA.

- Sucata de Obsolescência:

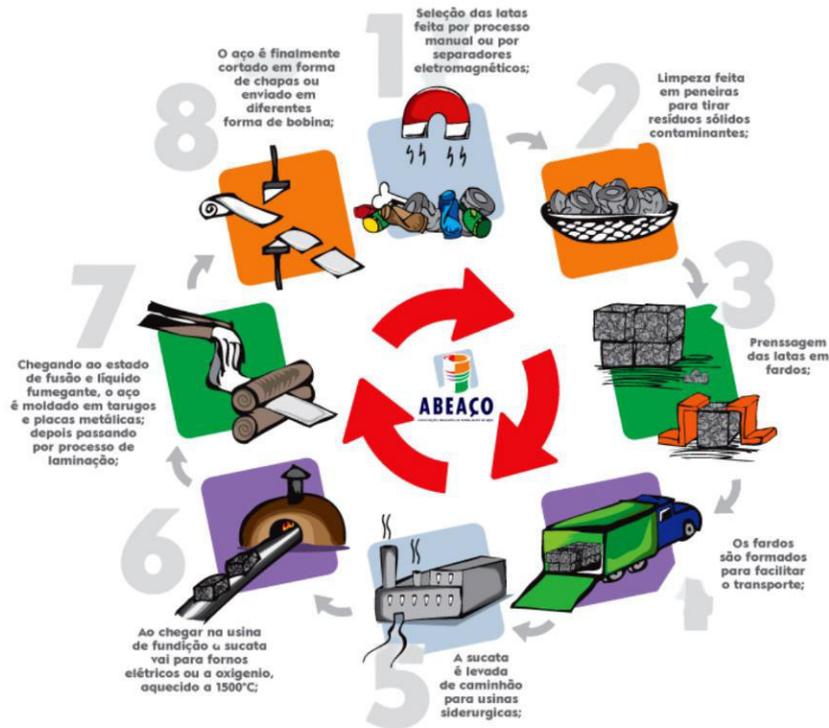
Conforme Chevrand (2007), a durabilidade dos produtos produzidos pela indústria de processamento varia de 50 a 80 anos para pontes, algumas semanas para latas da indústria alimentícia, ou até 11 anos para um veículo. Em 1990, no Japão, a duração estimada de um produto feito de aço era de cerca de 14,5 anos. Estudos realizados nos Estados Unidos indicam que, teoricamente, 70% da produção global de aço poderia ser reciclada. Contudo, projeções indicam uma taxa de 35 a 40% na Europa e nos Estados Unidos.

### 2.5.1. Processo da sucata.

Ao chegar à fábrica, a sucata é encaminhada para o pátio de resíduos, que tem a responsabilidade de preparar e fornecer a sucata para o próximo passo, que é o forno elétrico à arco. Em alguns casos, o tratamento da sucata é imprescindível para simplificar o seu deslocamento entre o fornecedor e a fábrica. O processo de preparação de sucata inclui a limpeza prévia da carga metálica para remover

impurezas, ajustar suas dimensões e aumentar sua densidade. A classificação da sucata é essencial, pois, além dos resultados do processo, a qualidade do aço produzido pela siderúrgica é significativamente afetada pelo tipo de carga metálica que é levada ao forno. Os impactos do processo abrangem a qualidade da escória, do aço e a liberação de gases. A figura abaixo exemplifica seu processo dentro de uma usina:

**Figura 12** – Processo da sucata fora e dentro da indústria.



Fonte: Abeaço

Fonte: Abeaço

### 2.5.2 Pátio de sucata.

É o local onde a sucata é classificada, tratada quando necessário e direcionada para as estantes.

A principal finalidade de um pátio de sucata é alterar e ajustar o material obtido de acordo com as necessidades do forno, ao menor custo possível. A sucata é reciclada, separada e classificada de acordo com seu tamanho, densidade, composição química, entre outros fatores, como fonte e método de processamento. (SANDBERG, 2007).

Um dos critérios essenciais para a segurança de uma usina que emprega FEA é a dimensão do reator. O Material reciclado pode diferir de um forno para outro, além de fatores como densidade e quantidade de impurezas que necessitam de aprimoramento antes do transporte e antes do carregamento. (Alves, 2016)

Os procedimentos mais frequentes utilizados no tratamento de resíduos para essa finalidade são:

- Prensa Tesoura: Trata-se de um dos principais métodos de produção dos Pátios de Sucata no mundo no que diz respeito à produtividade, só perde para o Shredder. Envolve pressionar a matéria-prima em alguns casos, uma tesoura guilhotina é usada para cortar a sucata e a calha vibratória para remover partículas indesejadas;
- Oxicorte: Nome dado à ferramenta que dispõe de linhas de maçaricos apropriadas para a operação de corte de materiais de grande dimensão;
- Tesoura Móvel: Acessório integrado ao braço de escavadeiras de mineração onde existe duas partes (inferior e superior) e com elas lâminas de corte;
- Shredder: Este equipamento, composto por um moinho e grelhas, tritura a sucata e realiza a separação magnética para eliminar impurezas.

### **3 METODOLOGIA**

De acordo com seus objetivos, o trabalho é classificado como exploratório pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, buscando torná-lo mais explícito. Segundo Gil (2007), estas pesquisas têm como objetivo principal aperfeiçoar ideias ou descobertas de intuições através de um planejamento flexível que, na maioria das vezes, assume forma de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso.

O método utilizado foi o estudo de caso que, segundo Gil (2007), possibilita o estudo de um objeto de maneira que se possa conhecê-lo detalhadamente, através de dados colhidos em observações, entrevistas, relatórios entre outras fontes, desde que confiáveis.

Neste trabalho, os dados foram observados diretamente pelas autoras durante o período de realização de estágio supervisionado no setor de manutenção mecânica da Aciaria em uma empresa, o que permitiu acesso e utilização dos documentos para fins de consulta e interpretações sem a divulgação de alguns destes dados.

A observação direta foi realizada em uma etapa sendo uma durante os 3 meses, de fevereiro a abril, que correspondem ao período de realização das atividades envolvidas no projeto que visa aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos de manutenção. Durante os 3 meses de atividade do projeto o autor do trabalho realizou reuniões junto à equipe para melhor entendimento e propor melhorias, acompanhou as paradas de manutenções para melhor análise dos problemas. Um fator imprescindível para a realização das atividades é a disponibilidade dos ativos envolvidos no projeto, pois são eles os responsáveis pelos mapeamentos e posteriores direcionamentos das ações devido ao fato de serem especialistas no setor.

Os sistemas utilizados, oriundos de toda a programação de automação da companhia, fornecem relatórios em planilhas eletrônicas com as informações pertinentes às análises e acompanhamentos de resultados. Diariamente são extraídas planilhas com informações de tempo de parada, o equipamento causador, a perda de produção relacionada ao evento, o motivo e a origem deste evento (se mecânico, elétrico e outros), e demais informações necessárias para o gerenciamento das atividades de manutenção.

Após a estratificação das informações e a confirmação da veracidade de cada uma delas, eles são compilados e transformados em gráficos de acompanhamento bem como os utilizados neste presente trabalho em adaptação do original, com a finalidade de confirmar a eficácia das ações realizadas, os resultados do setor, além de serem utilizados como indicador de performance da companhia.

### 3.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.

A empresa estudada, possui uma linha de produção de 24 horas, dês do setor de aciaria até a laminação, compondo uma equipe de 3 turnos. O tempo de uma corrida no FEA, ocorre em média 42 a 45 minutos, produzindo 660 corridas por mês, o que equivale no mínimo 43 mil toneladas, vindo ao aumento, de acordo com o rendimento do forno à arco elétrico. Efetuando pausas uma vez na semana de aproximadamente 13 horas para efetuar manutenções preventivas, podendo causar um atraso de partida do forno de 1 hora.

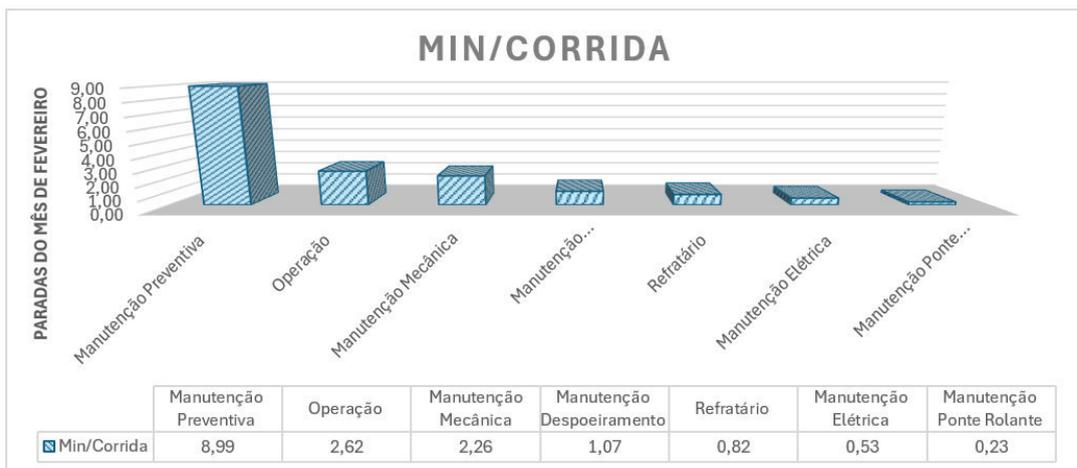
De acordo com a observação dos meses ditos acima: fevereiro, março e abril. Foi efetuado uma análise com os relatórios emitidos pelos sistemas de automação da

empresa, referente as paradas de manutenção e a não realização das metas mensais de produção.

Foram encontradas interrupções decrescentes ao decorrer dos meses, sinalizando menor tempo em paradas de manutenção e operação, porém, trazendo curiosidade, pois não houve mudança operacional ou uma melhoria implementada no processo. Apenas a demanda houve uma melhora significativa.

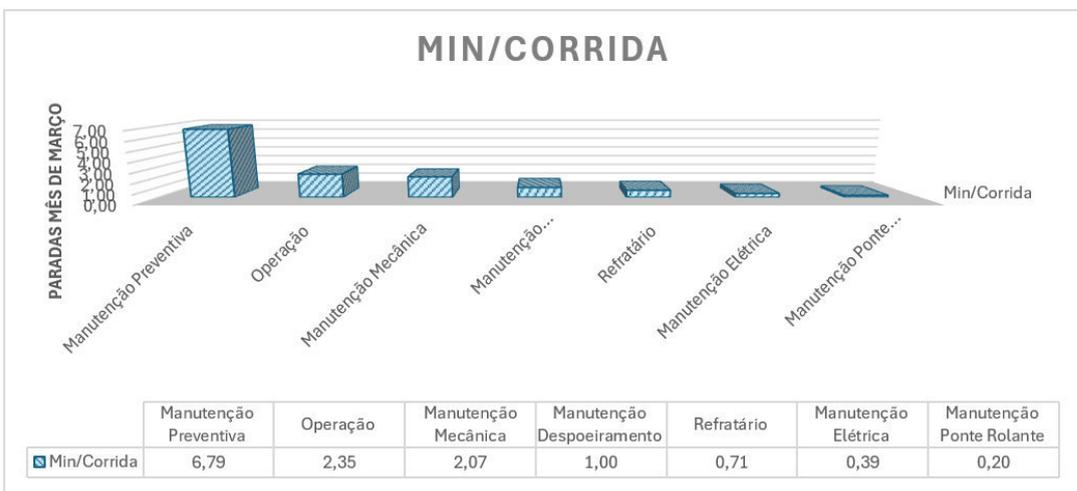
Abaixo, possui a representação das paradas de acordo com gráficos:

**Figura 13** – representação das paradas do FEA em fevereiro.



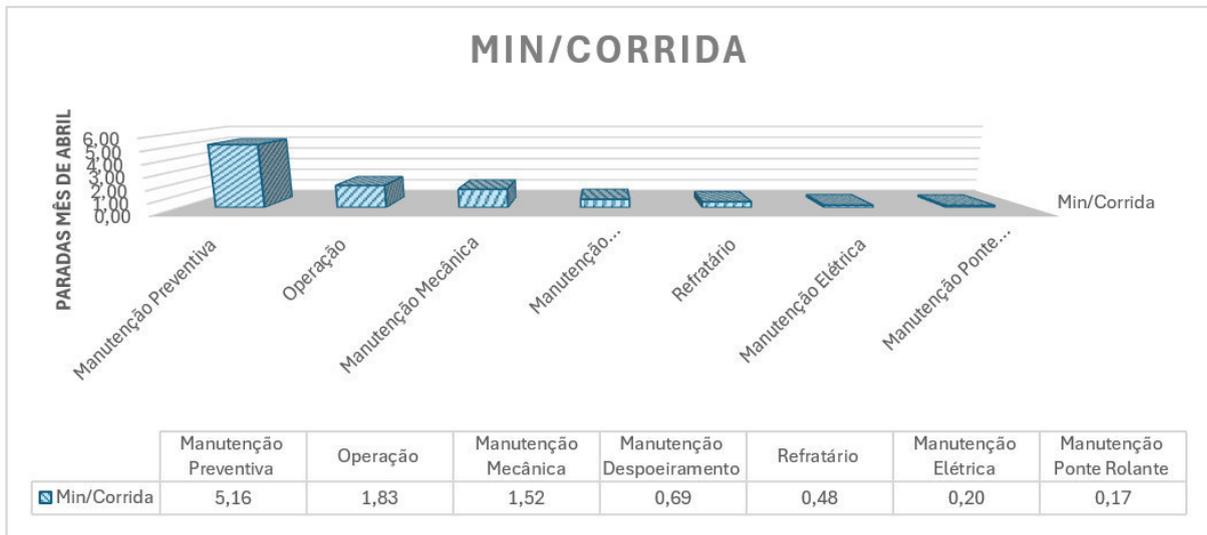
Fonte: Próprio autor

**Figura 14** – Representação das paradas mês de março.



Fonte: Próprio autor

**Figura 15** – Representação das paradas do mês de abril.



Fonte: Próprio autor

Os gráficos apresentados categorizam as paradas no processo de produção do forno de acordo com os setores que contribuem para sua operação, incluindo: operação, manutenção mecânica, manutenção do despoeiramento, refratário, manutenção elétrica e manutenção de ponte rolante. E distribui as horas de parada em função das corridas de produção realizadas no mês, detalhando, por exemplo, que o tempo de manutenção preventiva de 8,99 minutos corresponde a 98,89 horas, ou seja, aproximadamente 4 dias e 12 horas.

Com base no histórico de paradas e na análise dos dados, é possível afirmar o seguinte:

#### 1. Manutenções Preventivas:

Observou-se um aumento nas manutenções preventivas, especialmente devido a problemas recorrentes em equipamentos de difícil acesso. Componentes como o bloco de injeção, chuveiro de refrigeração dos eletrodos, troca de cilindros hidráulicos, entre outros.

#### 2. Paradas Operacionais:

As paradas operacionais foram causadas por demoras no carregamento da sucata metálica, espera de ponte rolante, vazamento no canal do EBT e basculamento para retirada do excesso de escória. Além disso, houve troca e regulagem de eletrodos, fatores que impactaram a continuidade das operações e aumentaram o tempo de parada.

### 3. Manutenção Mecânica:

As falhas mecânicas resultaram em paradas corretivas, como furos em painéis refrigerados, furo em bloco de injeção e quebra na tampa do canal do EBT.

### 4. Manutenção de Despoeiramento:

Falhas nos painéis refrigerados da câmara de combustão e a baixa visibilidade devido a problemas nos exaustores também contribuíram para as paradas.

### 5. Refratário:

Paradas também foram causadas pela necessidade de reparação da soleira do forno e dos painéis refrigerados, que exigiram o uso de massa refratária e blocos refratários.

### 6. Manutenção Elétrica:

A manutenção elétrica também foi um fator significativo nas paradas, com falhas em cabos refrigerados, placas de contato, aterramentos e desarme elétrico.

### 7. Manutenção de Ponte Rolante:

O tempo de elevação das garras, a demora no deslocamento e problemas com desarmes elétricos.

Com base nos problemas identificados, podemos avaliar que o principal risco está relacionado às falhas de manutenção mecânica, as quais comprometem a segurança dos colaboradores, especialmente em casos de vazamento de água nos painéis e blocos

O vazamento de água em contato com o aço líquido a altas temperaturas pode resultar em explosões de grande intensidade, com o potencial de causar ferimentos graves ou até fatais aos colaboradores.

Adicionalmente, os custos com manutenções corretivas são extremamente elevados, podendo acarretar prejuízos substanciais no processo produtivo da Aciaria. Em vista disso, o objetivo deste estudo é propor soluções que visem a melhoria nos tempos de manutenção, redução de custos e, sobretudo, a otimização da segurança na operação da usina siderúrgica.

## 3.2 FERRAMENTAS DE GESTÃO

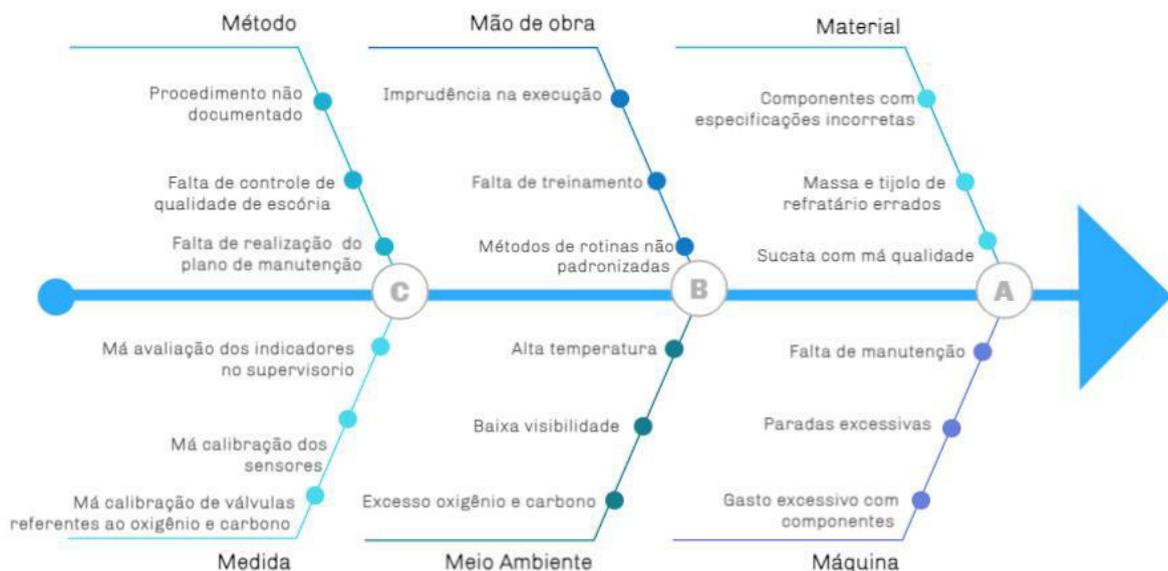
### 3.2.1 Diagrama de Ishikawa

Dada a ocorrência recorrente de paradas mecânicas em componentes do sistema do forno à arco elétrico, foi adotada a ferramenta de Diagrama de Ishikawa (também conhecido como diagrama de causa e efeito ou diagrama de espinha de peixe) para uma análise aprofundada e identificação das causas raiz do problema. O objetivo foi entender os fatores que contribuem para essas falhas e, assim, otimizar a implementação de ações corretivas.

A abordagem metodológica inclui a utilização dos métodos de Manutenção Preventiva, mais especificamente a Frequência de Falha de Manutenção (FFM) e a Manutenção Baseada em Condição (RBM), para a avaliação contínua e a prevenção de falhas recorrentes nos componentes críticos do sistema.

Abaixo, apresenta o diagrama de Ishikawa com as possíveis causas e efeito:

**Figura 16** – Representação do diagrama elaborado para o estudo de caso



Fonte: Próprio Autor

Com a aplicação do diagrama de causa e efeito são obtidos os principais fatores que possam ser causadores desse determinado problema, com um estudo mais detalhado conseguiu-se identificar o principal causador que neste caso é a possibilidade de impurezas na sucata metálica, tanto interna e externa, como não há um processo seletivo, que o separa do Silício (areia), acaba ocasionando uma corrosão maior nas massas e tijolos de refratário, pois, a sua composição química,

suporta algumas substâncias e alta temperatura, porém, o Si não se obtém grande resultado.

Além do Silício, podemos encontrar impurezas como: borracha, alumínio, papel, plástico. Ocasionando baixa visibilidade, por conta do alto volume de fumaça que se forma, após a queima dos materiais. Trazendo problemas principalmente para os operadores de ponte rolante e do FEA que ficam impossibilitados de verem o funcionamento dos equipamentos que estão operando.

Os demais tópicos foram descartados, pois foram verificados desenhos técnicos, históricos de manutenções, sensores etc.

### 3.2.2. 5W2H

Com a metodologia dos 5 por quês, foi escolhido como tema de desenvolvimento, mostrar os benefícios de melhorar a coleta seletiva da sucata dentro das usinas siderúrgicas. Como mostra a figura abaixo:

**Tabela 2 – Desenvolvimento do estudo 5W2H.**

| 5W2H     |               |   |
|----------|---------------|---|
| WHAT     | O QUE?        | O que será feito?   |
|          | Resposta      | Melhora na separação de sucata e armazenamento.   |
| WHO      | QUEM?         | Quem executará a ação?  |
|          | Resposta      | A diretoria junto à equipe de melhoria contínua.  |
| WHERE    | ONDE?         | Onde será executada a ação?   |
|          | Resposta      | Dentro de usinas siderúrgicas que se aplicam no cenário citado.   |
| WHEN     | QUANDO?       | Quando será feita a ação?   |
|          | Resposta      | Após estudo finalizado e oportunidade de investimento.  |
| WHY      | POR QUÊ?      | Por quê será feita a ação?  |
|          | Resposta      | Redução com custos com componentes para troca corretiva, aumento de duração do processo produtivo e aumento de segurança dos colaboradores. |
| HOW      | COMO?         | Como será executada a ação?   |
|          | Resposta      | Será efetuado a decisão pelos diretores da empresa.   |
| HOW MUCH | QUANTO CUSTA? | Quanto custará a execução de ação?  |
|          | Resposta      | Além de um investimento que estima mais de 1 milhão de reais e garantia do bem estar dos coladores.   |

Fonte: Próprio Autor

Os resultados apresentados indicam que o aspecto financeiro é de grande importância. No próximo tópico, serão apresentados dados relacionados aos custos, caso haja uma gestão aprimorada de ativos e suprimentos.

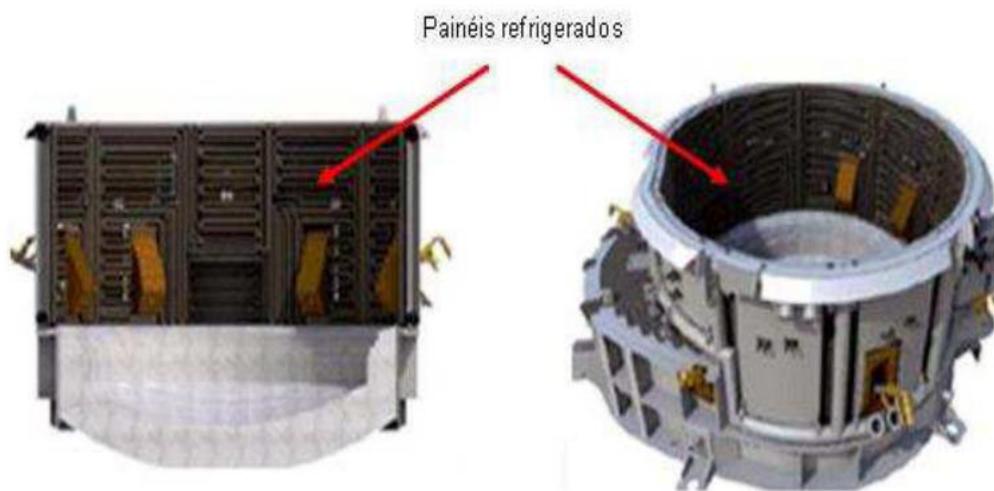
### 3.3 CUSTOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA

#### 3.3.1 Itens em más condições

O painel refrigerado, de formato tubular, é composto por aço e cobre. Ele é fixado por solda, utilizando travas posicionadas acima da soleira do forno, e é acompanhado por mangotes de material resistente a altas temperaturas para realizar a refrigeração. Sua principal função é isolar altas temperaturas internas do FEA e troca térmica contínua entre o fluxo de calor gerado. Além disso, possui um encaixe quadrado para o bloco refrigerado de injeção.

Abaixo possui uma representação dos painéis refrigerados já montados na carcaça:

**Figura 17** – Painéis posicionados na carcaça



Fonte: Jasonias Neves

**Figura 18** - Representação dos painéis de perspectiva interna



Fonte: Cortesia Bk Services GmbH

Após a corrosão da massa de refratário, os painéis, podem ficar da seguinte forma:

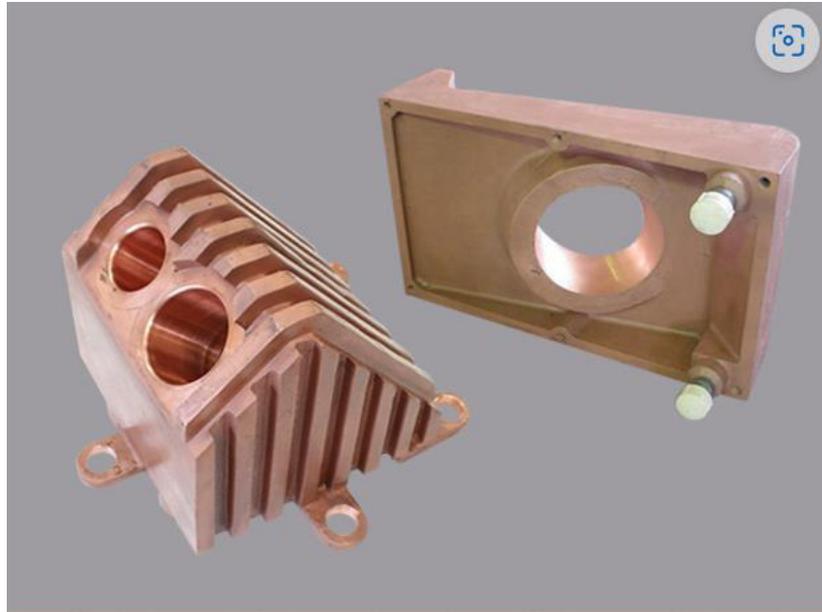
**Figura 19** – Painel de cobre em alto desgaste, após várias corridas



Fonte: Lumar metals

O bloco de injeção é um componente que se conecta a uma tubulação (injetores), responsável por injetar oxigênio e carbono (grafite) no forno, a fim de realizar o refino do material. Ele está localizado na parte central do painel de cobre, conforme a ilustração abaixo:

**Figura 20** – Injetores de carbono e oxigênio.



Fonte: CECAL

**Figura 21** – Tubulação (caneta) para uso da injeção de gases.



Fonte: CECAL

Durante o funcionamento do bloco refrigerado, podem ocorrer furos devido aos mesmos fatores que afetam os painéis. Além disso, o aumento das impurezas no forno frequentemente exige um incremento na injeção de carbono e oxigênio, o que pode ocasionar a quebra das lanças e canetas.

### 3.3.2 Custo decorrentes das paradas de manutenção.

Conforme estudo, foi efetuado o cálculo do custo perdido durante as paradas de manutenção, considerando as seguintes informações:

- Para troca do painel, sem pré-montagem, há necessidade de superaquecer o item e efetuar a solda nas travas de conexão do painel de cobre com o de aço. Além disso, a troca do bloco de injeção do painel furado para o novo. Levando em média 7h e 30 minutos de manutenção corretiva.
- Troca do bloco de injeção, possui a necessidade de esfriamento da região, disponibilidade da ponte rolante e maçarico para retirar a região de fixação de solda. Levando em média 3h e 40 minutos.

A tabela 3, é referente aos gastos se caso houver uma explosão do forno, ao ter contato com grandes quantidades de aço, necessitando uma equipe dedicada, compra de todos os componentes necessários, valor de mão de obra:

**Tabela 3** – Custo de reestruturação do FEA em caso de acidente, apenas dos componentes estudados

| Componentes de estudo                         | Quant. | R\$            | Hora/Homem | Quant. | R\$            | Material   | R\$           | Total            |
|---|--------|----------------|------------|--------|----------------|--|---------------|------------------|
| Painel Refrigerado de aço da carcaça          | 10     | R\$ 461.600,00 | 480,00     | 20     | R\$ 458.169,60 | Solda MIG, mangotes de refrigeração, conexões, cimento de refratário | R\$ 19.560,00 | R\$ 1.556.719,60 |
| Painel Refrigerado de aço da porta de escória | 1      | R\$ 40.390,00  |            |        |                |  |               |                  |
| Painel Refrigerado de cobre                   | 10     | R\$ 577.000,00 |            |        |                |  |               |                  |
| Bloco de injeção                              | 4      | R\$ 230.800,00 |            | 8      |                | Solda MIG, mangotes de refrigeração, conexões, cimento de refratário | R\$ 3.512,00  |                  |
| Canetas de injeção de carbono                 | 4      | R\$ 39.236,00  |            |        |                |  |               |                  |
| Canetas de injeção de oxigênio                | 4      | R\$ 30.004,00  |            |        |                |  |               |                  |
|   |        |                |            |        |                |  |               |                  |

Fonte: Próprio autor.

Na tabela 4, apresentação do valor perdido com a contagem de 20 dias de reestruturação do forno, não contando com o tempo de demora para a chegada dos componentes:

**Tabela 4** – Valor perdido devidos paradas emergenciais pós acidente.

| Produto        | Dimensão  | Peso    | R\$           | Perda        | Tempo      | Parada/h | Quant. | R\$                |
|----------------|-----------|---------|---------------|--------------|------------|----------|--------|--------------------|
| Lingote de aço | 12 metros | 5341/kg | R\$ 4.500,00  | 669 corridas | 43 minutos | 480:00   | 8028   | R\$ 36.126.000,00  |
| Bobina de aço  | 3200 metr | 1900/t  | R\$ 10.413,00 | 4114 ciclos  | 7 minutos  |          | 12342  | R\$ 128.517.246,00 |

Fonte: Próprio autor.

Já na tabela 5 e 6, apresenta o custo de uma parada corretiva, afetando também a produção de bobinas no setor de laminação:

**Tabela 5 – Custo corretivo.**

| Componentes de estudo                | Quant. | R\$           | Hora/Homem | Quant. | R\$        | Material                                       | R\$          | Total          |
|--------------------------------------|--------|---------------|------------|--------|------------|--|--------------|----------------|
| Painel Refrigerado de aço da carcaça | 1      | R\$ 46.160,00 | 07:30:00   | 2      | R\$ 494,31 | Solda MIG, mangotes de refrigeração, conexões. | R\$ 2.064,00 | R\$ 106.418,31 |
| Painel Refrigerado de cobre          | 1      | R\$ 57.700,00 |            |        |            |  |              |                |
| Bloco de injeção                     | 1      | R\$ 57.700,00 | 03:40:00   | 2      | R\$ 236,94 | Solda MIG, mangotes de refrigeração, conexões. | R\$ 968,00   | R\$ 76.214,94  |
| Canetas de injeção de carbono        | 1      | R\$ 9.809,00  |            |        |            |  |              |                |
| Canetas de injeção de oxigênio       | 1      | R\$ 7.501,00  |            |        |            |  |              |                |

Fonte: Próprio Autor.

**Tabela 6 – Valor da parada de produção para manutenções corretivas dos painéis e blocos.**

| Produto        | Dimensão  | Peso    | R\$           | Perda       | Tempo      | Parada/h | Quant. | R\$              |
|----------------|-----------|---------|---------------|-------------|------------|----------|--------|------------------|
| Lingote de aço | 12 metros | 5341/kg | R\$ 4.500,00  | 10 corridas | 43 minutos | 07:30:00 | 120    | R\$ 540.000,00   |
| Bobina de aço  | 3200 metr | 1900/t  | R\$ 10.413,00 | 64 ciclos   | 7 minutos  |          | 192    | R\$ 1.999.296,00 |

| Produto        | Dimensão  | Peso    | R\$           | Perda      | Tempo      | Parada/h | Quant. | R\$            |
|----------------|-----------|---------|---------------|------------|------------|----------|--------|----------------|
| Lingote de aço | 12 metros | 5341/kg | R\$ 4.500,00  | 5 corridas | 43 minutos | 03:40:00 | 60     | R\$ 270.000,00 |
| Bobina de aço  | 3200 metr | 1900/t  | R\$ 10.413,00 | 31 ciclos  | 7 minutos  |          | 93     | R\$ 968.409,00 |

Fonte: Próprio Autor

Conforme análise, abaixo mostra que o valor descrente se paradas estratégicas de produção, como no dia de manutenções preventivas para troca dos componentes, diminuindo também o tempo de troca de: 07:30h para 01:30h e o bloco de: 03:40h para 01:00.

**Tabela 7 – Representação do valor de uma parada estratégica ou preventiva.**

| Componentes de estudo                | Quant. | R\$           | Hora/Homem | Quant. | R\$       | Material                                       | R\$          | Total          |
|--------------------------------------|--------|---------------|------------|--------|-----------|--|--------------|----------------|
| Painel Refrigerado de aço da carcaça | 1      | R\$ 46.160,00 | 01:30:00   | 2      | R\$ 85,23 | Solda MIG, mangotes de refrigeração, conexões. | R\$ 2.064,00 | R\$ 106.009,23 |
| Painel Refrigerado de cobre          | 1      | R\$ 57.700,00 |            |        |           |  |              |                |
| Bloco de injeção                     | 1      | R\$ 57.700,00 | 01:00:00   | 2      | R\$ 68,18 | Solda MIG, mangotes de refrigeração, conexões. | R\$ 968,00   | R\$ 76.046,18  |
| Canetas de injeção de carbono        | 1      | R\$ 9.809,00  |            |        |           |  |              |                |
| Canetas de injeção de oxigênio       | 1      | R\$ 7.501,00  |            |        |           |  |              |                |

Fonte: Próprio autor.

**Tabela 8 – Representação do valor descrente na produção.**

| Produto        | Dimensão    | Peso    | R\$           | Perda      | Tempo      | Parada/h | Quant. | R\$            |
|----------------|-------------|---------|---------------|------------|------------|----------|--------|----------------|
| Lingote de aço | 12 metros   | 5341/kg | R\$ 4.500,00  | 2 corridas | 43 minutos | 07:30:00 | 24     | R\$ 108.000,00 |
| Bobina de aço  | 3200 metros | 1900/t  | R\$ 10.413,00 | 12 ciclos  | 7 minutos  |          | 36     | R\$ 374.868,00 |

| Produto        | Dimensão    | Peso    | R\$           | Perda            | Tempo      | Parada/h | Quant. | R\$            |
|----------------|-------------|---------|---------------|------------------|------------|----------|--------|----------------|
| Lingote de aço | 12 metros   | 5341/kg | R\$ 4.500,00  | 1 e meia corrida | 43 minutos | 01:00:00 | 18     | R\$ 81.000,00  |
| Bobina de aço  | 3200 metros | 1900/t  | R\$ 10.413,00 | 8 ciclos         | 7 minutos  |          | 24     | R\$ 249.912,00 |

Fonte: Próprio autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das falhas nos componentes fundamentais do forno a arco elétrico, especialmente nos painéis de resfriamento e no bloco de injeção de oxigênio e carbono, revela um impacto substancial nas operações de manutenção e nos custos operacionais. As rachaduras ou aberturas nos painéis de refrigeração comprometem a eficiência do sistema de resfriamento, o que pode levar a vazamentos de água e à necessidade de substituição ou reparo de peças de alto custo. Além disso, a desativação do forno para realizar esses reparos resulta em períodos de inatividade que prejudicam a continuidade da produção.

Já as falhas no bloco de injeção de oxigênio e carbono não só afetam a performance do forno, mas também requerem manutenção corretiva intensiva, com a consequente necessidade de peças de reposição específicas e custosas. A combinação desses problemas provoca uma série de efeitos adversos, como aumento dos gastos com manutenção, tempo de inatividade prolongado e maior demanda por peças sobressalentes, o que impacta diretamente a produtividade e a eficiência da instalação.

Diante desse cenário, a implementação de estratégias de manutenção preventiva se torna essencial. Isso pode incluir o uso de tecnologias de monitoramento, que permitam identificar problemas antes que se tornem falhas graves, e o treinamento adequado da equipe de manutenção, para garantir que todos estejam preparados para lidar com as falhas de maneira eficiente. Tais ações visam não apenas reduzir os custos operacionais e o tempo de inatividade, mas também aumentar a confiabilidade e a segurança do forno a arco elétrico, otimizando o desempenho da instalação como um todo.

Além da proposta de melhoria nos itens de manutenção, pode-se aconselhar a fazer um processo de seletiva da sucata metálica, utilizando os seguintes métodos:

- Coleta seletiva:

A primeira coisa a ser feita para reciclar sucata metálica é coletar os materiais. Isso pode incluir sucata doméstica e industrial, bem como carros e eletrodomésticos fora de uso. A coleta pode ser feita por empresas especializadas, programas municipais de reciclagem ou ferros-velhos. Após a coleta, os materiais são transportados para instalações de triagem, onde são classificados por tipo de metal (ferrosos ou não ferrosos) e, em seguida, por composição (por exemplo,

cobre, alumínio, aço etc.). A separação pode ser feita manualmente ou com a ajuda de máquinas, como sensores de raio-X, correntes de Foucault e ímãs (para separar metais ferrosos).

- Tesoura Móvel:

A tesoura móvel é um equipamento utilizado na aciaria para cortar sucata metálica, visando melhorar a qualidade do material carregado no forno de fusão. Ela contribui para a remoção de impurezas não metálicas, como plásticos e madeiras, presentes na sucata, que podem prejudicar o processo de produção de aço. Além disso, ao reduzir o tamanho das peças de sucata, facilita-se a fusão uniforme no forno, garantindo um aço mais homogêneo e com menos variações indesejadas.

A tesoura móvel também permite a separação de sucatas de diferentes qualidades, o que ajuda a evitar a contaminação do aço com materiais indesejados. Sua agilidade e precisão aumentam a eficiência do processo, reduzindo o tempo de preparação e os custos operacionais.

**Figura 22** - Tesoura móvel.



Fonte: Próprio autor

- Shredder:

O shredder é um equipamento utilizado na reciclagem de sucata metálica, como ferro e aço, cuja principal função é fragmentar materiais em pedaços menores. Ele é composto por rolos ou lâminas rotativas que trituram a sucata, facilitando sua separação e preparação para o forno de fusão. Além de reduzir o tamanho do material, o shredder ajuda na remoção de impurezas como plásticos, borrachas e outros materiais não metálicos.

Ao proporcionar uma fragmentação homogênea, o shredder garante uma fusão mais eficiente e melhora a qualidade da sucata carregada no forno. Ele também aumenta a eficiência operacional, otimizando o tempo de preparação e reduzindo custos.

**Figura 23** – Carregamento de sucata metálica no Shredder.



Fonte: Reciclagem Contemar.

#### 4.1 Resolução do problema

A aciaria enfrenta o problema de impurezas na sucata metálica, como plásticos, borrachas e madeiras, que comprometem a qualidade do aço e aumentam os custos operacionais, principalmente devido às paradas frequentes de manutenção no forno a arco elétrico. A solução proposta envolve a implementação de três estratégias:

coleta seletiva, shredder e tesoura móvel.

A coleta seletiva visa separar materiais não metálicos logo na chegada da sucata à aciaria, garantindo que apenas sucata metálica de boa qualidade siga para o forno. O shredder será usado para fragmentar a sucata em pedaços menores, facilitando a fusão e removendo impurezas mais leves. A tesoura móvel cortará a sucata em pedaços adequados, evitando que peças grandes ou contaminadas entrem no forno, minimizando sobrecarga e falhas no equipamento.

O custo inicial para implementar a solução é de aproximadamente R\$ 850.000, incluindo R\$ 100.000 para a infraestrutura de coleta seletiva, R\$ 400.000 para o shredder e R\$ 350.000 para a tesoura móvel. Os custos operacionais mensais com a manutenção dos novos equipamentos e treinamento são estimados em R\$ 200.000.

Com a implementação da solução, espera-se uma economia de 25% nos custos de manutenção e 10% no consumo de energia, devido à melhoria na qualidade da sucata e à maior eficiência do forno. Assim, a economia mensal será de R\$ 87.500 (R\$ 37.500 com manutenção e R\$ 50.000 com energia). O tempo de retorno do investimento (ROI) é de aproximadamente 9,7 meses.

Essa abordagem integrando coleta seletiva, shredder e tesoura móvel traz não só benefícios financeiros, com uma redução de custos operacionais, mas também aumento na produtividade e redução das paradas de manutenção, resultando em uma operação mais eficiente e sustentável.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste estudo foi examinar as falhas nos elementos cruciais do forno a arco elétrico, concentrando-se nas fissuras causadas por razão das impurezas na sucata nos painéis de resfriamento e bloco de injeção. O objetivo foi avaliar o impacto dessas falhas nas tarefas de manutenção e nos custos operacionais. Durante a avaliação, constatou-se que a existência de trincas nos painéis de resfriamento e defeitos no sistema de injeção de oxigênio e carbono elevam consideravelmente os gastos com manutenção corretiva, estendem o período de inatividade do forno e elevam a necessidade de peças de reposição caras e de difícil acesso. Esses problemas não só comprometem a eficácia operacional do forno, como também afetam diretamente a lucratividade.

Os achados indicaram que a manutenção corretiva intensiva é imprescindível para tratar tais falhas, contudo, isso resulta em custos elevados e diminuição da produtividade. Por outro lado, a adoção de estratégias de coleta seletiva seria eficaz. Essa estratégia permite maior duração dos componentes.

Em suma, os resultados deste estudo sublinham a importância de uma abordagem mais proativa na gestão da manutenção do forno a arco elétrico. A combinação de tecnologias avançadas, estratégias de manutenção preventiva e uma proposta de melhora na coleta seletiva da sucata para eliminar impurezas e materiais não ferrosos, aumenta a produtividade e maior sustentabilidade nas operações do forno. Portanto, as instalações podem operar de maneira mais segura e competitiva.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, P. C. Análise do Rendimento Metálico do FEA Devido ao Uso do Sistema de Despoeiramento do Shredder. Trabalho de Diplomação. Departamento de Metalurgia: UFRGS, 2016.
- ARAUJO, L. A. Manual de Siderurgia. São Paulo, Arte & Ciência, 2009
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BEN-DAYA, M., DUFFUAA, S. O., RAOU A., KNEZEVIC J. , AIT-KADI, D. Handbook of Maintenance Management and Engineering, Springer-Verlag London Limited 2009
- Barlow, R.E. & Proschan, F. (1965). Mathematical Theory of Reliability. John Wiley & Sons.
- Barlow, R.E. & Proschan, F. (1975). Reliability and Life Testing Probability Models. Holt, Rinehart and Winston.
- BARKER, K. J. et al The making, shaping and treating of steel: steelmaking and refining volume. The AISE Steel Foundation: Pittsburgh, 1998
- CHEVRAND, L. J. S. Aciaria Elétrica - Situação Elétrica e Tendência 2025. Rio de Janeiro: ABM, 2007.
- FALCONI. V. (2014); TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês). 9. ed. São Paulo: Falconi.
- FALCONI. V. (2017); O que importa é o resultado. ed. São Paulo: Falconi.
- Glasser, G.J. (1969). Planned Replacement: Some Theory and its Application. Journal of Quality Technology, 1(2), 110-119.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção: função estratégica. – 3. Ed. Rev. E ampl. – Rio de Janeiro : Qualitymark : Petrobras, 2009.
- MOURÃO, M. B. et al. Introdução à siderurgia. 2ed., São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.
- LUCINDA, Marco Antônio. Análise e Melhoria de Processos - Uma Abordagem Prática para Micro e Pequenas Empresas. Simplíssimo Livros Ltda, f. 66, 2016. 106 p.
- MONCHY, François. A Função Manutenção. São Paulo: Durban, 1987.
- MONCHY, F. A Função Manutenção: Formação para a Gerência da Manutenção Industrial. Rio de Janeiro, editora Durban, ed. 1, 1989.
- NBR ISO 9001 (2015) – ABNT ISO 9001 (2015). Sistema de Gestão da Qualidade. São Paulo: Requisitos.
- OLIVEIRA, D. P. R. (2013); Sistemas, Organização & Métodos: uma abordagem

gerencial. 21. ed. São Paulo: Atlas.

PILON, José Aguilar. Manutenção Preventiva Sistemática de Pneus em uma Empresa de Transporte Público na Cidade de Vitória-ES. São Paulo: XIV Simpósio de Engenharia de Produção, 2007. Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=1](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=1) Acessado em: 17 de setembro de 2024.

POLACINSKI, Edio.; Gestão da qualidade: aplicação da ferramenta 5W2H como plano de ação para projeto de abertura de uma empresa. Horizontina, 2013.

SANDBERG, E.; LENNOX, B.; UNDVALL, P. Scrap management by statistical evaluation of EAF process data. Control Engineering Practice, v. 15, n. 9, p. 1063–1075, 2007.

**SANDBERG E. Energy and Scrap Optimisation of Electric Arc Furnaces by Statistical Analysis of Process Data.** Lulea University of Technology Department of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Process Metallurgy, 2005.

SLACK, Nigel; JOHNSTON, Robert; CHAMBERS, Stuart. Administração da Produção: 4º Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. Manutenção Produtiva Total. São Paulo: Instituto Iman, 1993. 322 p

WYREBSKI, Jerzy. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - UM MODELO ADAPTADO. 1997

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

XENOS, H. G. Gerenciando a Manutenção Produtiva. 1ª ed. Rio de Janeiro: INDG, 1998. 302 p.