



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS NATAL
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA MECATRÔNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MARCELO FERREIRA MOTA JÚNIOR

ESTUDO DE CASO: DIMINUIÇÕES EM FREQUÊNCIAS DE
INTERRUPÇÕES NUM SISTEMA DE AMARRAÇÕES DE MATERIAIS
NA INDÚSTRIA DE AÇO

NATAL

2025



**ESTUDO DE CASO: DIMINUIÇÕES EM FREQUÊNCIAS DE
INTERRUPÇÕES NUM SISTEMA DE AMARRAÇÕES DE
MATERIAIS NA INDÚSTRIA DE AÇO**

MARCELO FERREIRA MOTA JÚNIOR

Trabalho de conclusão de curso submetido à
Coordenação do curso de Engenharia Mecatrô-
nica da Universidade Federal do Rio Grande do
Norte (UFRN), como requisito parcial à obten-
ção do título de Bacharel em Engenharia Meca-
trônica.

Orientador: Márcio Valério de Araújo

NATAL

2025

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Mota Júnior, Marcelo Ferreira.

Estudo de caso: diminuições em frequências de interrupções num sistema de amarrações de materiais na indústria de aço / Marcelo Ferreira Mota Júnior. - 2025.

49f.: il.

Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Engenharia Mecatrônica, Natal, 2025.

Orientação: Dr. Márcio Valério de Araújo.

1. Amarradeira de feixe dobrado - Monografia. 2. Laminação - Monografia. 3. Manutenção Industrial - Monografia. I. Araújo, Márcio Valério de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 621.865.8

MARCELO FERREIRA MOTA JÚNIOR

**ESTUDO DE CASO: DIMINUIÇÕES EM FREQUÊNCIAS DE
INTERRUPÇÕES NUM SISTEMA DE AMARRAÇÕES DE
MATERIAIS NA INDÚSTRIA DE AÇO**

Aprovado em 29 de janeiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Valério de Araújo(Orientador)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Prof. Dr. Camilo Gustavo Araújo Alves
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Prof. Dr. Ulisses Borges Souto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

NATAL

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me abençoou com a bela família que tenho, e sempre me protege para conseguir buscar todas as forças necessárias para vencer os obstáculos da vida. Obrigado por tudo meu pai, me guie, abençoe e me proteja sempre.

Minha eterna gratidão as minhas mães Nerice Couto e Neriana Mota, aos meus irmãos Marcus Mota e Alice Mota, ao meu pai Marcelo Mota e a minha esposa Itailza Gomes da Rocha que sempre estiveram ao meu lado, me dando todas as forças necessárias para continuar sonhando. Vocês significam muito para mim! Obrigada por todo afeto, amor e dedicação.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a toda a equipe da manutenção de laminação da Gerdau Açonorte pelo acolhimento e ensinamentos durante meu estágio universitário. Um agradecimento especial ao Eraldo Mendes, Alexssandro Rodrigues, Rerandoilson Barbosa, Bruno Honorato e Jéssica Mayara, além de todos(as) os(as) técnicos(as) que contribuíram para meu aprendizado e crescimento profissional. A experiência foi valiosa e lembrarei com carinho de cada um de vocês.

Aos meus amigos Daniel Henrique e aos colegas de graduação, por estarem presentes na minha caminhada acadêmica desde o início, por serem grandes amigos e incentivadores em todos os momentos.

Esse trabalho é de todos aqueles que me apoiaram, mostraram palavras de incentivo direta ou indiretamente, aqueles que em suas orações, abraços e ligações me passaram energia positiva. Vocês tem toda minha gratidão.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a redução da frequência de interrupções no sistema de amarração de materiais na indústria do aço, aplicado a amarradeira de feixe dobrado dentro do processo de laminação. O objetivo é propor soluções para diminuir as frequências de interrupções a partir da análise e identificação das principais causas de falhas e sugerindo ações imediatas e futuras. A metodologia envolve a coleta de dados operacionais durante o ano de 2023, seguida de investigações para compreender os fatores que impactam a confiabilidade do equipamento. Foram realizadas inspeções no sistema hidráulico do maquinário, testes de resistência ôhmica das bobinas de solenoide, verificações das fontes de alimentação, permitindo assim identificar falhas recorrentes, além do rearme do cabeçote de torção e também da calha de guia fio, sendo estes responsáveis pela maiores oportunidades de melhoria no setor. Com base nos resultados, a pesquisa evidencia que uma gestão eficiente da manutenção, associada à aplicação de metodologias estruturadas e à capacitação da equipe técnica, reduz significativamente a ocorrência de falhas. A implementação desse projeto levou a uma melhora na disponibilidade do equipamento, sendo registrada a menor taxa de interrupções em dezembro de 2023.

Palavras-Chave: Manutenção industrial, gestão da manutenção, amarradeira de feixe dobrado, laminação e análise de falhas.

ABSTRACT

This study presents an analysis of reducing the frequency of interruptions in the material tying system within the steel industry, applied to the bundle tying machine in the rolling process. The goal is to propose solutions to decrease interruption frequencies by analyzing and identifying the main causes of failures and suggesting immediate and future actions. The methodology involves collecting operational data throughout 2023, followed by investigations to understand the factors affecting equipment reliability. Inspections were conducted on the machinery's hydraulic system, resistance testing of the solenoid coils, and checks on power supplies, thus allowing the identification of recurring failures. Additionally, rearming of the twist head and the wire guide chute was performed, as these were found to present the most significant improvement opportunities in the sector. Based on the results, the research highlights that efficient maintenance management, coupled with the application of structured methodologies and the training of the technical team, significantly reduces the occurrence of failures. The implementation of this project led to an improvement in equipment availability, with the lowest interruption rate recorded in December 2023.

Keywords: Industrial maintenance, maintenance management, double bundle strapper, steel rolling, and failure analysis.

Lista de Figuras

1	Esquema simplificado da cadeia siderúrgica.	15
2	Fluxo simplificado de produção siderúrgica.	16
3	Processo de laminação: interação entre rolos e material	17
4	<i>Layout</i> do sistema de laminação: sequência de operações e máquinas	17
5	Métodos de manutenções planejada.	21
6	Curva PF	24
7	Diagrama de Ishikawa.	27
8	Teorema de Pareto.	28
9	Percentuais de Interrupções nas subáreas da dobra.	30
10	Fluxograma de identificação das fontes de alimentações	32
11	Identificação das fontes alimentações das solenoides	32
12	Teste das saídas forçadas na bobinas de solenoide	33
13	Tageamento das válvulas solenoides	33
14	Limpeza das válvulas dos <i>flaps</i>	34
15	Teste de tensão na saída dos cartões.	35
16	Percentual de interrupções da amarradeira de feixe dobrado em 2023 . . .	36
17	Frequências de interrupções da amarradeira de feixe dobrado por período .	39
18	Aplicação do teorema de Pareto nas causas de falhas na amarradeira de feixe dobrado	40
19	Comparação entre o percentual do tempo de interrupções antes e depois do projeto	41

Lista de Tabelas

1	Levantamento de dados da amarradeira de feixe dobrado na célula do corte e dobra	29
2	Identificação das válvula e os flaps.	31
3	Resistências ohmicas das bobinas de solenoide	37
4	Metodologia dos 5 porquês aplicada nas principais causas de interrupções .	38

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa	11
1.2	Objetivo Geral	12
1.2.1	Objetivos Específicos	12
1.3	Organização do trabalho	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Siderurgia	14
2.1.1	Laminação	16
2.1.2	Sistema de corte e dobra	18
2.2	Manutenção Industrial	19
2.2.1	Tipos de Manutenção	20
2.2.2	Manutenção Produtiva Total - TPM	22
2.2.3	Plano de Manutenção	23
2.3	Curva falha fundamental e a falha potencial — Curva PF	23
2.4	Gestão da Confiabilidade	24
2.4.1	Manutenção Centrada na Confiabilidade — MCC	25
2.4.2	Métodos de Análise de Falha — FMEA	25
2.4.3	Diagrama de Ishikawa	26
2.4.4	Os 5 porquês	27
2.4.5	Princípio de Pareto	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	Estratificação dos dados	29
3.2	Processo de identificação na planta das bobinas solenóides acompanhada do desenho do equipamento	30
3.3	Identificações das fontes de alimentações das solenoides dos <i>Flaps</i>	31
3.4	Testes de tensões	34
4	RESULTADOS	36
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43
	ANEXO A - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE FUNCIONAMENTO	48
	ANEXO B - DIAGRAMA DE ISHIKAWA	49

1 INTRODUÇÃO

Hoje é possível ver que a sociedade em geral e o mercado estão cada vez mais competitivos, dinâmicos, globais e evolutivos. Fazendo com que as indústrias intensifiquem a sua competitividade, alinhando a qualidade dos seus produtos ou serviços, bem como a flexibilidade dos seus processos e a formação e valorização dos seus recursos humanos, tendo a manutenção como um ponto fundamental para enfrentar as dificuldades.

A origem do termo manutenção vem do vocabulário militar e significava manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante. O surgimento da palavra manutenção na indústria ocorreu em 1950 nos Estados Unidos da América. Na França, por exemplo, esse termo está mais associado à palavra “conservação” (MONCHY, 1989).

De acordo com Monchy (1989), a manutenção dos equipamentos de produção é fundamental para a produtividade das indústrias e para o aumento de sua competitividade. Para que a manutenção cumpra sua missão junto ao processo produtivo, é importante planejamento e controle, considerando a aplicação dos recursos disponíveis, sejam eles técnicos, humanos ou financeiros.

Segundo Stefanini (2011), o objetivo técnico da manutenção trata-se de promover a confiabilidade e em atender a efetiva disponibilidade das plantas industriais. Isso resulta na redução da duração do tempo e na frequência das falhas.

Em um ambiente industrial, as falhas dos equipamentos irão ocorrer. Dificilmente teremos uma disponibilidade dos maquinários em sua totalidade, isto é, estando-os em 100% de produtividade em suas atividades. No entanto, é possível fazer com que defeitos sejam minimizados a partir de gestão de manutenção, juntamente com as equipes responsáveis por cada setor, baseadas em acontecimentos anteriores, históricos de manutenção, entre outros.

De acordo com Mirshawka e Olmedo (1993), um dos um dos principais propósitos da gestão da manutenção é maximizar a produção com o aumento da disponibilidade dos equipamentos a partir do menor custo e a mais alta qualidade, levando em consideração todas as normas de segurança e sem afetar ao meio ambiente.

Equipamentos parados quando há produção, programação ou produção abaixo da meta estabelecida decorrente de manutenção ineficiente, podem impactar diferente em perdas clientes, além de influenciar a qualidade do material final.

É possível verificar que empresas mais modernas adotam cada vez mais novas estratégias, tecnologias sofisticadas e metodologias de manutenção, a fim de assegurar uma melhor administração dos custos e também de peças sobressalentes voltadas à manutenção. A manutenção produtiva total — TPM, manutenção centrada em confiabilidade — MCC e o método de análise de falhas — FMEA são metodologias bem assertivas utilizados no âmbito industrial. Já o diagrama de Ishikawa, 5 porquês e teorema de Pareto

são ferramentas fundamentais na gestão da manutenção, que foram aplicadas no presente trabalho.

O respectivo trabalho se configura no estudo de casos e foi motivado pelas observações das altas frequências de interrupções no equipamento chamado amarradeira de feixe dobrado, sendo este, um equipamento crucial para o processo de amarração de feixe em vergalhões, localizado na parte final da área da laminação numa indústria de aço, a qual possui uma variedade de produtos que são utilizados na construção civil e de equipamentos, por exemplo: vergalhões, pregos, barras chatas, perfis, bobinas, treliças, entre outros.

O estudo de caso é uma estratégia que leva em consideração a compreensão como um todo do assunto investigado. Nessa estratégia, todos os aspectos são investigados. (FACHIN, 2003) Além de que, serve de guia para o desenvolvimento de procedimento, com finalidade de obter novas descobertas.

Embora seja a primeira vez que um projeto dessa magnitude é realizado nessa área, há poucos materiais bibliográficos sobre o MCC em aplicações práticas em sistemas de dobras de materiais em indústria de aço. A ausência de informações sobre a implementação dessa metodologia em empresas do setor de aço também foi fator motivacional no desenvolvimento deste trabalho. Faz com que novas técnicas possam ser utilizadas na gestão de manutenção em empresas de mesma categoria.

1.1 Justificativa

Este trabalho possui a capacidade de auxiliar de forma positiva as práticas de manutenção industrial na subárea de amarração de feixes dobrados, contribuindo para a redução de interrupções na operação e por consequência aumentar a confiabilidade dos equipamentos. A análise prévia dos indicadores de confiabilidade permitirá identificar as principais causas de falhas, sendo suporte para o planejamento de ações corretivas e preventivas mais eficientes.

A relevância deste trabalho se estende para além da área estudada, podendo servir de referência para outras subáreas dentro do setor da laminação, até mesmo para outros processos industriais diferentes. Esse fato de observar e analisar os fatores críticos que influenciam o desempenho dos equipamentos e de seus componentes, o projeto se alinha às demandas atuais do mercado na busca contínua por maior eficiência operacional e competitividade no setor siderúrgico.

Além disso, o desenvolvimento deste trabalho irá contribuir para o aprimoramento das habilidades dos profissionais envolvidos, através do fortalecimento da aplicação de práticas baseadas em análise de dados. Possibilitando assim a criação de uma base para transmissão de conhecimentos técnicos, promovendo uma cultura organizacional voltada à melhoria contínua e à colaboração.

Por fim, o estudo realizado neste trabalho contribui para o fortalecimento da impor-

tância da manutenção como um pilar estratégico na sustentabilidade e na produtividade industrial, proporcionando melhores tomadas de decisões na aplicabilidade de uma manutenção eficaz garantindo assim, que os processos sejam realizados com excelência, mais segurança e menor custo.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor soluções para diminuir as frequências de interrupções a partir das análises dos indicadores de confiabilidade na subárea de amarração de feixes dobrados. Assim como, observar as principais causas de falhas e apresentar ações corretivas e preventivas na área de laminação localizado numa siderúrgica em Recife no estado de Pernambuco.

1.2.1 Objetivos Específicos

A manutenção eficiente de equipamentos na área do corte e dobra é crucial para garantir a produtividade e a segurança de todos trabalhadores. Devido ao aumento da demanda por meio de processos otimizados, torna-se fundamental investigar as condições que influenciam o desempenho dos equipamentos. Sendo assim, é essencial para orientar a investigação e assegurar que todos os detalhes do maquinário sejam levados em considerações. Isso permite fazer uma análise mais detalhada nas condições atuais e das práticas de manutenção. Sendo assim, os principais objetivos específicos deste estudo foram:

- Realizar o levantamento dos principais indicadores de interrupções de manutenção;
- Estudar o funcionamento de operação do equipamento por meio de seu manual de operação;
- Capacitar a equipe técnica e operacional mediante treinamentos específicos para o manuseio e a manutenção do equipamento;
- Avaliar os resultados das ações implementadas através do acompanhamento dos indicadores de desempenho e relatórios de interrupções de manutenção.

Na manutenção é fundamental averiguar os resultados a partir das ações implementadas através do acompanhamento dos indicadores. Essa avaliação ajudará na identificação de áreas que demandam melhorias, possibilitando um direcionamento eficiente nas decisões e atuações do time.

1.3 Organização do trabalho

Esse documento foi organizado em 5 capítulos nos quais vão tratar temas específicos do processo de desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso. Os capítulos estão descritos a seguir:

- Capítulo 1: A introdução trará uma motivação e justificativa sobre o tema, assim como uma declaração dos objetivos.
- Capítulo 2: é a fundamentação teórica, onde foram realizadas pesquisas bibliográficas para melhor entendimento e apresentação do tema.
- Capítulo 3: apresenta o processo metodológico utilizado para alcançar os objetivos da pesquisa.
- Capítulo 4: Resultados obtidos através da aplicação da metodologia, da coleta e análise dos dados.
- Capítulo 5: Conclusões e considerações finais do trabalho, retomada dos objetivos, apresenta os resultados mais relevantes e as sugestões para as próximas pesquisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em primeiro momento, para o desenvolvimento deste trabalho, foi fundamental consultar os conceitos da literatura, manuais de equipamentos e operação, metodologias de manutenção e ferramentas de qualidade, que serviram de base teórica durante cada etapa do desenvolvimento. Essa pesquisa teórica serviu para direcionar a evolução do projeto. Tal fato desempenhou um papel importante ao proporcionar o suporte necessário para compreender e aplicar metodologias de gestão eficiente, permitindo assim, a execução adequada do presente estudo.

Nesse cenário, é importante compreender inicialmente sobre o setor da siderurgia, esses conceitos iniciais são indispensáveis para uma melhor compreensão deste estudo de caso, pois facilita o entendimento dos processos de conformações mecânica.

2.1 Siderurgia

Siderurgia é o ramo da metalurgia responsável pela transformação do minério de ferro em ferro ou aço, sendo que a metalurgia é o conjunto de técnicas desenvolvidas pelo homem para poder manipular os metais e ligas metálicas. Esse processo se dá pelo aquecimento do minério de ferro, coque, cálcio e uma infinidade de outras matérias-primas em grandes caldeirões elétricos que posteriormente são derramados em moldes para o resfriamento do metal fundido. A indústria siderúrgica serve de pilar para a economia brasileira, pois além de exportar o produto, ainda emprega diversos trabalhadores neste setor. (MOURÃO et al., 2007)

No contexto econômico, a siderurgia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento industrial e na infraestrutura global. O aço é essencial para uma ampla gama de aplicações, sua qualidade e segurança são cruciais para garantir a integridade dessas estruturas e produtos. Com uma presença indispensável em praticamente todas as indústrias, o aço é um dos itens mais importantes para a economia mundial. O Brasil, com o maior parque industrial da América do Sul e sendo o 9^o maior produtor de aço bruto no mundo, desempenha um papel significativo no mercado global, exportando para mais de 100 países, a capacidade de produzir aço de alta qualidade com custos reduzidos é vital para enfrentar a concorrência internacional. (BRASIL, 2021)

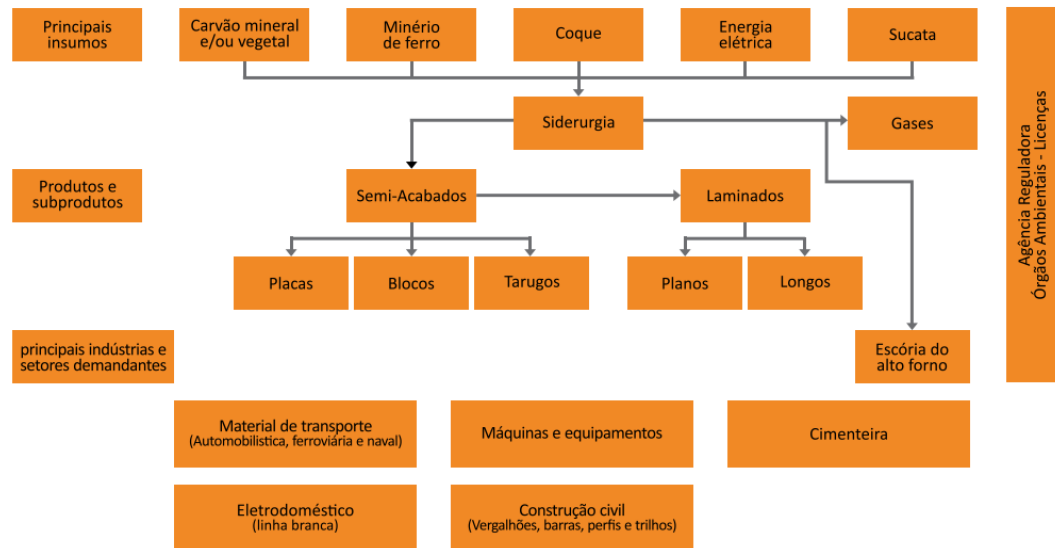
Em nível global, o setor enfrenta desafios relacionados às mudanças na ordem econômica mundial, destacando-se a China e sua capacidade excedente de produção de aço como fatores centrais, assim, para manter a competitividade, as siderúrgicas têm apostado na modernização e inovação. (DIFERRO, 2024)

De forma geral, se trata do campo da metalurgia no qual, seu foco é na produção de aço, englobando desde a obtenção de matérias-primas, como minério de ferro, até o refinamento e a criação de ligas metálicas, é um setor considerado vital para a economia de diversos países, fornecendo insumos essenciais para diversos outros setores da indústria

de transformação, bem como construção civil e automotiva. (VIANA, 2019)

A interconexão simplificada da indústria siderúrgica com outros setores econômicos é visualizada na Figura 1.

Figura 1: Esquema simplificado da cadeia siderúrgica.



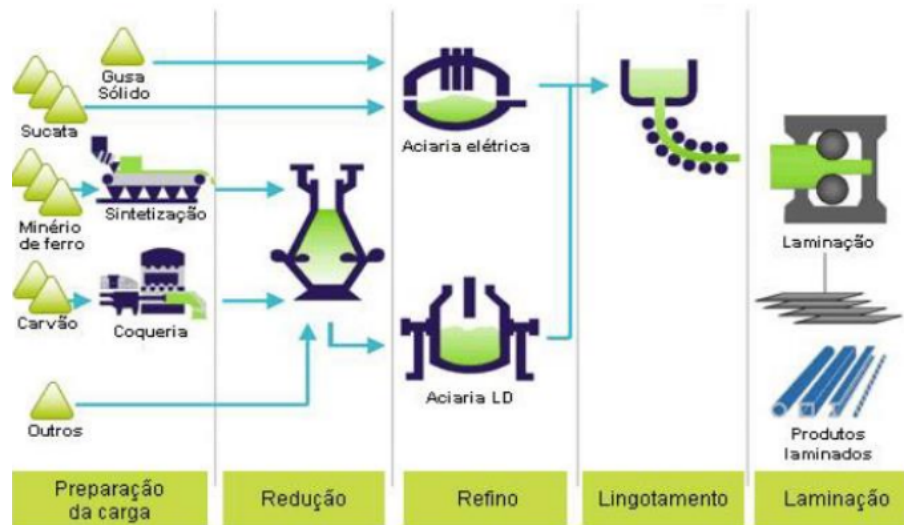
Fonte: (VIANA, 2019)

Segundo Carvalho, Mesquita e Araújo (2015), a presença de grandes empresas que operam as diversas fases do processo produtivo, vai desde a transformação do minério em ferro primário (ferro-gusa), até a produção de bobinas laminadas a quente, a frio ou galvanizadas, para aplicação em produtos na indústria automotiva. Os laminados longos, que também são produtos siderúrgicos, tendo como principal exemplo o vergalhão, sendo este o material final utilizado nesta pesquisa após os processos de conformações mecânicos, são muito utilizados nos segmentos de habitação e infraestrutura.

De acordo com DEPEC (2019), serão apresentados na sequência, as três grandes áreas da siderurgia:

- Redução do minério de ferro em gusa: O minério de ferro é reduzido na sintetização e o carvão mineral na coqueria. Este último o mais utilizado é a hulha (tipo de carvão que contém uma quantidade de teor cerca de 80% de carbono) que ao ser associado ao oxigênio desprendido do minério com a alta temperatura dentro do alto forno. Ainda nele, o ferro se fundem, gerando assim o ferro gusa;
- Refino do ferro-gusa em aço: O ferro-gusa é transportado para as aciarias, que podem ser a oxigênio ou elétricas. Após tal conversão do ferro-gusa em aço, ele em sua forma líquida é submetido ao processo de lingotamento, e ao colocar esse material em um molde e este se solidifica, dá-se o que chamamos de tarugo. No entanto, há outras formas além do tarugo ilustrado na Figura 2;

Figura 2: Fluxo simplificado de produção siderúrgica.



Fonte: (SILVA; VASCONCELOS, 2017)

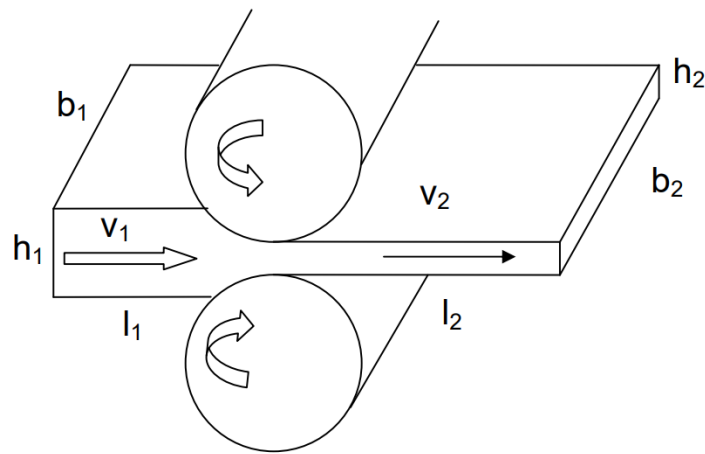
- Laminação: As placas, blocos e tarugos são utilizados na produção de chapas de aço, bobinas e vergalhões, estes processos podem ser a frio ou a quente. O aço é aquecido próximos a 1.200 graus em fornos e depois laminados até se transformarem em bobinas ou vergalhões.

Para a indústria siderúrgica, a qualidade do processo de laminação é crucial para resultar em produtos laminados sem a ocorrência de anomalias, tendo em vista que a geração de sucatas se trata de uma barreira significativa para o alcance da qualidade. Identificar, compreender e estudar essas anomalias é essencial para que objetivos, como a qualidade, sejam alcançados, mantendo a integridade do processo. (PAVÃO, 2020)

2.1.1 Laminação

A partir dos conhecimentos de Bresciani Filho et al. (1997), a laminação trata-se de um processo de conformação mecânica no qual se modifica as dimensões de um corpo metálico pela passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido, que giram à mesma velocidade, mas em sentidos contrários, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3: Processo de laminação: interação entre rolos e material



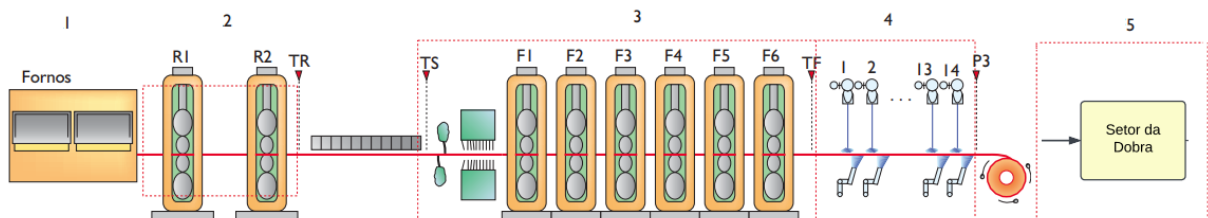
Fonte: Plentz (2009)

Ainda Bresciani Filho et al. (1997), os cilindros da laminação fazem parte de um conjunto chamado gaiola ou cadeiras. Elas são compostas pelo cilindros, mancais de apoio, estrutura de fixação dos mancais e das guias e acessórios. A laminação tem como objetivo básico dar forma a barra, melhorar a estrutura interna, propriedades mecânicas e qualidade superficial. (DIETER et al., 1967)

O processo de laminação pode ser realizado de três maneiras: laminação a quente, laminação a frio e laminação contínua. O metal é submetido a altas tensões compressivas, e a tensões cisalhantes superficiais, resultantes da fricção entre os cilindros e o metal. As forças de fricção são também responsáveis pelo ato de puxar o metal, o que resulta no alongamento da peça (CODA, 2006).

Segundo Giacomini, Santos e Souza (2013), o processo de laminação de modo geral se baseia na seguinte sequência: forno de aquecimento, desbaste, trem médio acabador, leito de resfriamento e dobra, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4: *Layout* do sistema de laminação: sequência de operações e máquinas



Fonte: Giacomini, Santos e Souza (2013) Adaptado

Cada etapa do processo de laminação ocorre da seguinte maneira:

- Passo 1: O material a ser laminação será aquecido no forno industrial para ficar mais maleável e posteriormente sofrer os processos de deformações mecânica;

- Passo 2: Os laminadores R2 e R1 farão inicialmente a redução da largura, consequentemente é aqui onde o material sofrerá as primeiras deformações. Aqui há duas gaiolas de cilindros que giram em sentidos opostos;
- Passo 3: Durante o processo de laminação, o material a ser conformado passará por uma tesoura (TS), onde serão cortadas a cabeça e a cauda do tarugo por serem as partes a sofrerem as maiores deformações. Em seguida, tem-se as 6 gaiolas (F1 à F6) que realizam o acabamento do material. A cada passagem do material entre os cilindros, a sua espessura é reduzida e o seu comprimento é aumentado;
- Passo 4: O sistema de resfriamento do material;
- Passo 5: O setor de corte e dobra é o último setor da laminação, mediante as necessidades do mercado, há uma variedade no fornecimento de materiais com especificações diferentes. Isto é, caso o material precise ser dobrado, ele vai para este setor. Senão ele irá para setor da logística e posteriormente ao setor da expedição.

A sequência do processo de laminação ajuda a compreender em determinadas circunstâncias, há um processo posterior mediante a solicitação do cliente como é o caso de sistemas de dobra de materiais. A interação entre a laminação e a dobra reflete uma necessidade de processos eficientes, especialmente no que tange a manutenção em evitar materiais defeituosos.

2.1.2 Sistema de corte e dobra

O sistema de corte e dobra em laminadores executa um papel crucial na indústria metalúrgica, especialmente em empresas de grande porte. Este sistema é fundamental para garantir a qualidade e a eficiência do processo de laminação, visando atender às demandas do mercado produzindo uma variedade de produtos com especificações diferentes. Tal flexibilidade é crucial em um setor que demanda inovação constante e capacidade de resposta às mudanças nas exigências dos clientes. Devido a ser uma metodologia em constantes produções é caracterizado em ser um processo contínuo.

Ao abordarmos o processo de corte e dobra no contexto da laminação de aço, é referente como uma etapa específica em que o material laminado é manipulado para atingir a forma ou configuração desejada. O principal objetivo da dobra no processo de laminação é compactar o material, formando feixes ou pacotes bem organizados, otimizando o espaço para transporte e armazenamento. De acordo com Cofer (2015), o sistema de corte e dobra possui algumas vantagens, como sendo:

- Eliminação dos custos externos com equipamentos para cortar e dobrar;
- Eliminação total de perdas de materiais com pontas deformadas;

- Menor espaço de armazenamento;
- Menor risco de acidentes;
- Maior rapidez no sistema de execução de produção;
- Facilidade no acompanhamento do processo;

O setor de corte e dobra é dividido em três setores internos, cada um desempenhando um papel específico no processo produtivo, são eles:

- Amarradeiras de sub-feixe: Trata-se de dois equipamentos hidráulicos de pequeno porte, o qual é projetado para realizar a amarração na cabeça e na cauda de pequenos lotes de vergalhões, além de possibilitar o corte de pequenos feixes de amarração de material;
- Carro pórtico: Este equipamento hidráulico é responsável pelo dobramento desses pequenos lotes de materiais, pela compactação dos mesmos e transporte dessa carga para a etapa final do processo;
- Amarradeira de feixe dobrado: É o maquinário hidráulico referente a este trabalho. Ele é projetado para realizar amarrações em grandes lotes de materiais, tanto na cabeça quanto na cauda dos vergalhões, como também no corte de grandes feixes de amarração de material. É essencial analisar o nível de compactação necessário para as amarrações, que deve ser ajustado de acordo com a bitola do material produzido. O diagrama que se encontra em Anexo A. representa um esquema do passo a passo do funcionamento do equipamento em questão, sendo apenas fins didáticos.

Após a amarração, também há uma pequena tesoura que efetua o corte desse conjunto, proporcionando uma maior segurança ao setor de logística e ao setor de expedição na eficiência no manuseio do material até o cliente final.

2.2 Manutenção Industrial

A manutenção se refere às práticas adotadas pelas organizações para prevenir falhas e garantir o funcionamento eficiente, seguro e contínuo de máquinas, equipamentos e instalações em ambientes produtivos. De acordo com Silva Nogueira (s.d.) a manutenção é o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas ao cuidar de suas instalações, sendo uma parte importante para as atividades de produção, especialmente aquelas cujas instalações físicas têm papel fundamental na produção de seus bens e serviços.

Segundo Carlos (2024), o sucesso de qualquer empresa exige um nível adequado de integração entre os seus sistemas e/ou subsistemas e processos. Para isso, os objetivos

da manutenção precisam estar alinhados com as prioridades da produção. Enquanto a produção pretende uma elevada produtividade e rendimento, a manutenção quer melhorar os equipamentos de forma a aumentar a sua capacidade disponível, quer pelo aumento da capacidade como pela redução do tempo de setup, e diminuir o número de paragens não planejadas. Assim, para garantir a conservação em bom estado dos equipamentos é necessário desenvolver um plano de manutenção preparado para atuar em caso de falhas (manutenção corretiva), tentando, no entanto, minimizá-las ao máximo, planejando paragens para fazer correções ou melhorias e para descanso da máquina (manutenção preventiva).

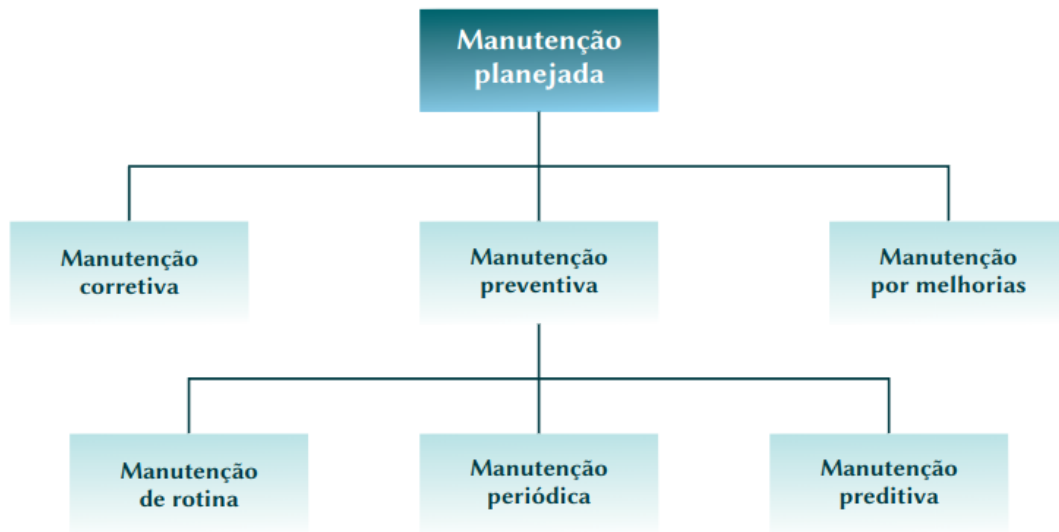
2.2.1 Tipos de Manutenção

Os tipos de manutenção designam de qual forma a intervenção nos equipamentos é desempenhada. Na literatura, encontram-se inúmeras maneiras de classificação dos tipos de manutenção. De acordo com Zaions (2003), a classificação mais adequada é a de manutenção não planejada e a manutenção planejada.

Segundo Xavier (2005), a manutenção não planejada trata-se da correção da falha de modo aleatório, isto é, correção de falhas após a ocorrência das circunstâncias. Ela gera perdas de produção, perdas de qualidade do produto e elevados custos, e em consequências, maiores danos aos equipamentos. Tal conceito é bem característico na manutenção corretiva. Embora, ela também pode existir na manutenção planejada.

Ainda Xavier (2005), a manutenção planejada é aquela onde há diminuição de perda de produção, minimização do custo e do tempo de reparo. De acordo com Patton (1994), pode ser dividida em: *(i)* Manutenção Corretiva, *(ii)* Manutenção Preventiva e *(iii)* Manutenção por melhorias. A partir da Figura 5 é possível ver a subdivisão da Manutenção Preventiva em outras três, são elas: *(iv)* Manutenção por rotina, *(v)* Manutenção Periódica e *(vi)* Manutenção Preditiva.

Figura 5: Métodos de manutenções planejada.



Fonte: (ZAIIONS, 2003)

Para Mirshawka e Olmedo (1993), a manutenção de rotina relaciona serviços de inspeção e verificações das condições técnicas dos itens físicos. Está normalmente associada a intervenções leves que se efetuam em intervalos de tempos pré-estabelecidos. Alguns autores, como é o caso de Xenos (1998) e Lima (2000) relacionam a manutenção de rotina como manutenção autônoma. Uma vez que, ela não é somente responsabilidade da equipe de manutenção, mas também de todos os operadores e normal são executadas diariamente, como meio de evitar a quebra dos equipamentos.

A manutenção periódica se vale de registros que permitem controles estatísticos de parâmetros importantes para os equipamentos. Pela manutenção periódica, melhora-se a utilização dos equipamentos, dado que a análise estatística permite conhecer mais sobre as falhas nos equipamentos. (POSSAMAI, 2002)

Segundo Lima (2000), manutenção periódica pode ser definida como a manutenção efetuada em períodos estabelecidos, proporcionalmente à deterioração do item físico. Tal intervenção é realizada conforme o tempo definido, independentemente do estado como se encontra o componente avaliado. A manutenção periódica é realizada com o objetivo de reduzir ou até mesmo eliminar a probabilidade de falha ou de perda de desempenho, segundo um plano prévio, com base em intervalos de tempo ou de outro parâmetro de uso, tais como quilometragens em veículos. (POSSAMAI, 2002).

A manutenção preditiva acompanha e monitora as condições dos equipamentos e de seus principais parâmetros de operação. (BRANCO FILHO, 2008) Uma intervenção de manutenção preditiva é planejada com base em modificações significativas de parâmetros de condições que podem ser lidas.

Destaca-se a intervenção tecnológica que a preditiva exige para o monitoramento, relativamente a equipamento e aparelhos de acompanhamento. A manutenção preditiva

pode se valer de controles estatísticos em suas tentativas de prever a ocorrência de uma quebra ou de corrigir desempenho insatisfatório: constatada a anomalia em andamento, procede-se à manutenção.(XAVIER, 2005)

Teles (2019) informa que a manutenção preventiva tem um custo, em média, três vezes maior do que a preditiva, e se aplica em grande parte dos equipamentos, pois tem resultados positivos em máquinas com falhas ligadas diretamente à vida útil do equipamento. Por outro lado, a manutenção corretiva é a mais cara, nela além de consumir bastante tempo em sua execução, possui mais prejuízo, tendo no mínimo sete vezes mais custos que os outros tipos de manutenção. Os custos estão associados a diversos motivos: lucro, pois quando um equipamento não está em operação, tal parada traz prejuízos à empresa no quesito de está entrando dinheiro no caixa da empresa. As compras materiais de urgência, é um outro fatos por demandar fretes altos sem poder fazer o comparativo de preços no mercado. E o tempo, como sendo o mais valioso que existe, pois a manutenção corretiva requer muito mais tempo de uma atividade ser concluída quando comparado a outros tipos de manutenção.

2.2.2 Manutenção Produtiva Total - TPM

De acordo com Teles et al. (2023) criar um ambiente propício para que se possa evitar imprevistos que atrapalhem, de certa forma, a produção, é uma das responsabilidades da manutenção, mais especificamente da TPM, sigla em inglês para *total productive maintenance*, que significa manutenção produtiva total. Melo e Loos (2018) complementa que a TPM também é conhecida como falha zero e quebra zero das máquinas, ao lado do defeito zero nos produtos e perda zero no processo. Dessa forma, representa às empresas a mola mestra do bom desenvolvimento e otimização da indústria, através da maximização da eficiência das máquinas.

Originária do Japão, em meados dos anos de 1950, segundo Wireman (2004) essa metodologia surgiu a partir da necessidade por parte das empresas na época de que houvesse uma estratégia de gerenciamento de equipamentos voltada para apoiar as estratégias já existentes de gerenciamento da qualidade total, englobando todos os departamentos da organização, por exemplo: manutenção, operações, engenharia de projeto, engenharia de construção, contabilidade e finanças, compras, estoque e gerenciamento de instalações.

Teles et al. (2023) comenta que a TPM estabelece através dos objetivos um sentido único voltado para uma consciência geral que busca: zero defeitos de qualidade, zero acidentes e zero quebras. Wireman (2004) cita 5 objetivos como principais da TPM, sendo eles: melhorar a eficácia do equipamento;melhorar a eficiência e eficácia da manutenção; conduzir o gerenciamento de equipamentos e manutenção preventiva; treinamento para melhorar as habilidades de todas as pessoas envolvidas e envolver o operador na rotina de manutenção. Ainda sobre os objetivos da TPM Melo e Loos (2018) destaca a promoção de uma cultura na qual os operadores se sintam responsáveis pelas suas máquinas. Ao

aprender mais sobre elas, eles podem realizar pequenos reparos e ajuda ao diagnosticar problemas e sugestão de melhorias. Nesse contexto, isso contribuirá bastante com a equipe de planejamento, pois permitirá a atualização de planos com informações desatualizadas ou adaptá-las, auxiliam a gestão de forma mais eficiente.

2.2.3 Plano de Manutenção

A partir dos conhecimentos de Viana (2019), antes de escolher a melhor estratégia para a manutenção industrial, é importante considerar alguns aspectos: recomendação do fabricante, panoramas relacionados a segurança do trabalho e ao meio ambiente, características do equipamento e fator econômico. Segundo Gregório e Silveira (2018), esses fatores indicam qual é o melhor tipo de estratégia de manutenção industrial a ser utilizada.

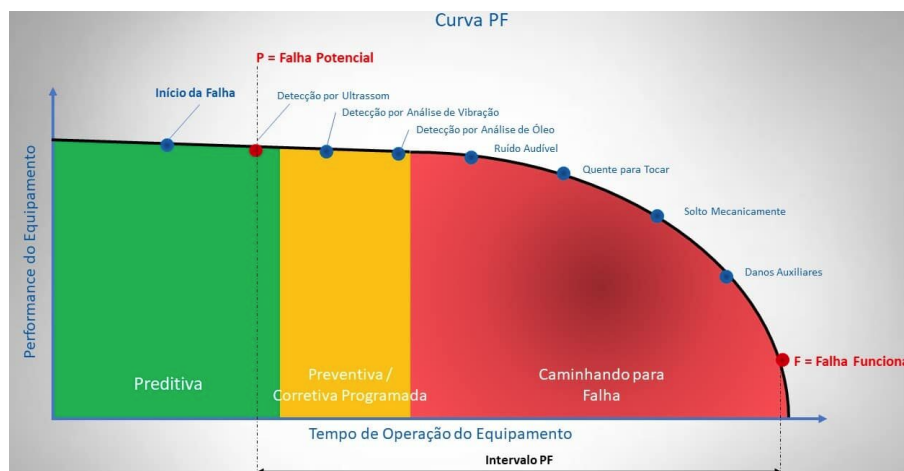
Os planos de manutenção devem traduzir toda a estratégia de manutenção estabelecida pela organização, disponibilizando informações e orientações precisas para a execução das atividades de manutenção. (SOEIRO; OLIVIO; LUCATO, 2017)

Na produção industrial há conceitos básicos e metodologias de gestão de manutenção e confiabilidade que são fundamentais para direcionar o entendimento e as ações em determinadas situações. Um desses conceitos é a curva falha fundamental e a falha potencial, que será discutida a seguir.

2.3 Curva falha fundamental e a falha potencial — Curva PF

Antes de compreender os tipos de manutenção é indispensável o conhecimento da curva falha fundamental e a falha potencial — Curva PF. Apesar de ser um conceito básico, mas de suma importância na área de manutenção industrial. O gráfico da curva mostrada na Figura 6 apresenta a variação da performance, eixo vertical, no decorrer do tempo de operação, eixo horizontal. Através dele é possível perceber o declínio do desempenho do equipamento no decorrer do tempo até atingir o ponto de falha catastrófica.

Figura 6: Curva PF



Fonte: (TELES, 2019)

Conforme Viana (2019) a ação preditiva emprega um componente ao máximo de sua vida útil, o que possibilita o tempo para a troca planejada, sem afetar o tempo de produção. Na ação preventiva os custos com a manutenção serão praticamente com materiais, peças sobressalentes ou Homem-Hora (HH) de manutenção, por causa da instalação de uma equipe de manutenção e compra periódica de peças de reposição, quando necessário. A ação corretiva aproveita um componente até a sua completa exaustão, tendo custos apenas dos materiais e recursos humanos para a intervenção.

De acordo com Gregório e Silveira (2018), falha potencial é quando a falha aparece no equipamento, mas por estar em seus primeiros estágios apenas diminui a performance, sem comprometer o funcionamento por completo. Já falha funcional é quando o equipamento é incapaz de atender os padrões de desempenho que foram especificados para sua produção.

A Curva PF é uma ferramenta de análise que mostra, em um espaço denominado Intervalo PF, o tempo que o equipamento demora para sair de uma falha potencial e atingir a falha funcional. Quando se conhece a Curva PF, pode-se traçar as estratégias adotadas para atingir os objetivos da empresa. (TELES, 2019)

Com isso, a gestão da confiabilidade ganha evidência por acompanhar o desempenho operativo e seguro dos sistemas e equipamentos. Essa coordenação atua principalmente na identificação, análise e redução de falhas que podem a vim comprometer a produtividade das operações.

2.4 Gestão da Confiabilidade

A gestão da confiabilidade é uma abordagem fundamental volta para a estratégia das empresas, com objetivo de garantir o desempenho mais eficiente e seguro dos sistemas e equipamentos. Atuando primordialmente para identificar, analisar e reduzir falhas que possam comprometer a produtividade das operações.

Abordando especificamente o contexto deste estudo, levando em consideração a área industrial e aplicação em áreas críticas como a laminação e o processo de amarração de feixes dobrados, a gestão da confiabilidade é essencial na minimização de interrupções, reduzindo custos operacionais e aumento da competitividade. Sendo importante o entendimento dos conceitos da manutenção centrada na confiabilidade e de algumas ferramentas para análise da mesma.

2.4.1 Manutenção Centrada na Confiabilidade — MCC

De acordo com Moraes (2021) a MCC é um processo utilizado para definir a abordagem mais efetiva para a manutenção, tendo por objetivo o aumento da operacionalidade das máquinas, proporcionar uma melhor segurança à operação e reduzir os custos relacionados. Souza (2008) complementa que a MCC procura estabelecer uma combinação ótima das ações de manutenção a serem desenvolvidas com base na condição, no tempo ou ciclo de operação e na operação até a falha dos equipamentos. Sendo um processo contínuo que reúne dados do desempenho operacional do sistema e utiliza estes dados para melhorar o projeto e a manutenção futura. Esta estratégia, ao invés de ser aplicada independentemente, ela é integrada para tirar vantagem de sua força de modo a otimizar a instalação, a operacionalidade e a eficiência dos equipamentos, ao mesmo tempo, minimizar o custo do ciclo de vida dos equipamentos.

A metodologia de implementação da MCC, segundo Moraes (2021) e Souza (2008) segue uma sequência composta por sete etapas estruturadas: Seleção do Sistema e Coleta de Informações; Análise de Modos de Falha e Efeitos; Seleção de Funções Significantes; Seleção de Atividades Aplicáveis; Avaliação da Efetividade das Atividades; Seleção das atividades Aplicáveis e Efetivas; Definição da Periodicidade das Atividades.

2.4.2 Métodos de Análise de Falha — FMEA

A análise FMEA foi apresentada pela primeira vez em 1920 ampliando a sua utilização para se ajustar às demandas da indústria aeroespacial nas décadas de 1950 e 1960, sendo posteriormente uma ferramenta indispensável para outras indústrias nas mais diversas áreas. Miguel (2023), comenta que esse método é amplamente usado na área da engenharia e gestão de ativos, sendo bem conhecido como uma abordagem estruturada, sistemática e proativa para analisar e identificar modos falhas de sistemas de forma a que com recursos limitados se possam obter as respostas mais razoáveis. É uma análise de riscos que poderá ter em conta um estudo de máquinas, componentes individuais ou de serviços prestados como atendimento ao público para identificar modos de falhas e as consequências.

De acordo com Fogliato e Ribeiro (2009) o FMEA é uma técnica de confiabilidade com objetivos de identificar e verificar as falhas potenciais que podem aparecer em um

processo ou produto, identificar as ações que podem mitigar ou eliminar a chance de ocorrer essas falhas, criar um referencial técnico com objetivo de auxiliar melhorias no futuro, buscando aumentar sua confiabilidade, produtividade e disponibilidade.

Segundo Teles (2019), planos de manutenção que seguem conceitos de confiabilidade são construídos a partir da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA), que é um método analítico que evidencia quais funções do sistema as ações de manutenção devem preservar. Pelo FMEA se descobre quais funções do sistema são ameaçadas por falhas, como essas falhas surgem e as suas consequências. Utiliza-se esse método por três motivos: Determinação dos modos de falha, análise de riscos de cada modo e cálculo do indicador no número de prioridade de risco.

Como exemplo Miguel (2023), aborda sobre a identificação de um componente que poderá ser uma fonte potencial de risco à segurança, este é listado em folha/tabela e são realizadas algumas perguntas como: Quais são os modos de falha; Qual é a consequência dos modos de falha; Que problema cria à sua volta e no meio ambiente; O nível dos e risco que deve ser classificado (Alto, moderado, baixo, etc.); A probabilidade de falha; A sua detectabilidade, ou seja, ou quão complexo é encontrar a falha; O que pode ser feito para minimizar/retirar as consequências do fracasso. Com base nos resultados o risco pode ser calculado, e é feita uma avaliação onde são discutidas as medidas a ser tomadas, para evitar as falhas. Sendo muito utilizado devido à simplicidade e eficácia comprovada nas diversas áreas não só de engenharia, visto que um dos seus pontos fortes é conseguir identificar possíveis falhas e suas causas antes que elas aconteçam.

2.4.3 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa é um método efetivo para encontrar as causas raízes de um problema, através da relação entre o efeito e as causas existentes. Silva, Oliveira et al. (2018) define o diagrama de ishikawa como uma ferramenta que consiste em uma forma gráfica usada como análise para representar fatores de influência (causas) sobre um determinado problema (efeito). Também é denominado diagrama de Ishikawa, devido ao seu criador, ou diagrama espinha de peixe, devido à sua forma.

Essa ferramenta leva em consideração que todas as causas são responsáveis por um efeito, onde as causas representam as possíveis hipóteses a serem analisadas, com a finalidade de comprovar ou não se realmente dão consequência ao efeito em questão. Ressaltando também que o Diagrama de Ishikawa é muito utilizado para a visualização das causas primárias e secundárias do efeito. (BARBATO JÚNIOR, 2013)

Para implementação do diagrama de Ishikawa devemos partir apenas de uma problematização, e na perspectiva que a ramificação apresente as causas que serve para análise e resolução do problema. Construído a partir de seis itens a serem aplicados e analisados: Método, Máquina; Medida; Meio ambiente, Material e Mão de obra. Podendo ser observado na Figura 7.

Figura 7: Diagrama de Ishikawa.



Fonte: (WERKEMA, 1995)

De acordo Silva, Oliveira et al. (2018) o objetivo do diagrama de Ishikawa é auxiliar na análise das operações dos processos produtivos, evidenciando causas que conduzem a determinados defeitos. Assim seu efeito é nocivo, as causas podem ser eliminadas, e se for benéfico, pode-se conferir consistência a elas, garantindo sua continuidade, analisar as ações, os desempenhos dos equipamentos, comportamentos de materiais, o impacto do ambiente na ação produtiva e pode envolver avaliações medidas, métodos e operações.

Sobre as principais vantagens do diagrama de Ishikawa Barbato Júnior (2013) cita a fácil aplicação, pequeno esforço prático, maior alinhamento entre as causas e os efeitos e proporciona diferentes opiniões entre os participantes do time. Concluindo que é uma ótima ferramenta para a comunicação, visualização detalhada das causas das falhas e define a relação da causa para com o efeito.

2.4.4 Os 5 porquês

Os “5 Porquês” é uma metodologia amplamente utilizada na gestão da qualidade para análise de causa raiz, sendo adotada em diversos setores e contextos. Santana de Almeida (2023) explica que essa metodologia envolve questionar repetidamente “Por quê?” até encontrar a causa, não necessitando serem exatamente 5 os porquês, buscando compreender as relações de causa e efeito até que a verdadeira causa subjacente seja revelada.

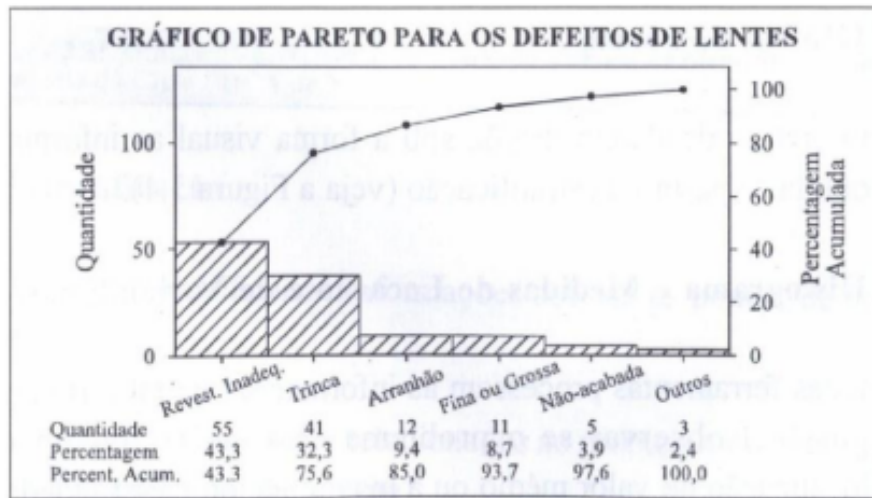
2.4.5 Princípio de Pareto

O princípio de Pareto é uma teoria que afirma que 80% dos resultados vêm de 20% das causas. Santana de Almeida (2023) O princípio de Pareto pode ser visualizado em um gráfico que representa de forma crescente em termos de importância a frequência das ocorrências, relacionando-as com as causas de problemas. Ao proporcionar uma visualização gráfica das áreas com problemas mais significativos, o diagrama evita desperdício de

tempo e recursos em situações menos críticas para a empresa, direcionando assim de forma eficaz os esforços para resolver os problemas que apresenta maior impacto na organização.

Ponciano et al. (2021) complementa que este princípio tem por objetivo mostrar que 20% dos problemas enfrentados pela organização são justamente, problemas que mais influenciam no processo, 80% de influência sobre o custo e da mesma forma, 80% dos problemas da organização possuem 20% da responsabilidade sobre o custo, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Teorema de Pareto.



Fonte: (WERKEMA, 1995)

No próximo tópico, serão apresentadas todas as metodologias utilizadas para o desenvolvimento desse trabalho.

3 METODOLOGIA

O simples fato desse projeto ser a primeira vez em que busque a compreensão detalhada do equipamento é crucial a identificação de cada elementos de acionamento antes, durante e depois do sistema de amarração de material.

O presente trabalho constitui um estudo de caso de natureza aplicada, abrangendo as abordagens qualitativas e quantitativas, dada a sua importância prática para a resolução de problemas, por buscar entendimento da natureza do problema e os dados e resultados poderem ser quantificados.

Para alcançar tal objetivo foram considerados os seguintes passos, inicialmente fez-se necessário realizar uma revisão bibliográfica, analisar qual metodologia se encaixaria para a análise. Em seguida, usabilidade de aplicação prática da ferramenta, no qual as KPIS (*Key Performance Indicators*) foram cruciais para o direcionamento do estudo. O projeto deu início em junho de 2023 devido a ocorrência de elevados índices de frequências de interrupções. Por fim, os indicadores coletados e analisados, foram base para obter resultados eficientes sobre o tema em questão.

3.1 Estratificação dos dados

Em primeiro momento foram levantados os dados da meta de interrupção de manutenção — Meta IM (%), a interrupção de manutenção — IM (%), tempo de interrupções — TI a frequência de interrupções — FI, a meta de produção — PM e a produção produzida — PR, referente a área do corte e dobra no período que antecedeu a iniciação do projeto conforme ilustra a Tabela 1. É importante ressaltar que os dados apresentados variam em amplitude em relação aos dados reais, em função de questões de sigilo da empresa. Contudo, essa diferença não compromete os resultados obtidos, uma vez que foi utilizada a mesma abordagem analógica aplicada aos dados reais.

Tabela 1: Levantamento de dados da amarradeira de feixe dobrado na célula do corte e dobra

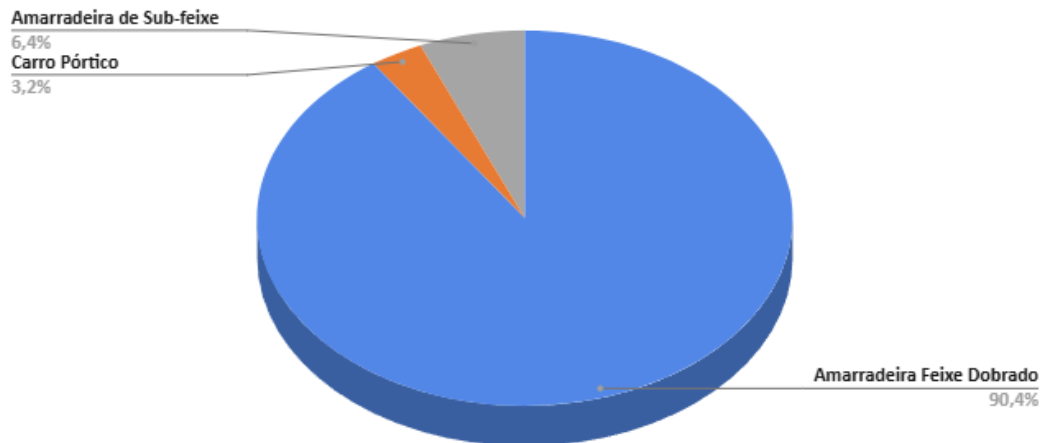
Período	Meta IM	IM (%)	TI	FI	PM	PR
jan/23	5	0,15	02:02:58	4	738	500
fev/23	5	6,21	16:37:19	29	1680	1800
mar/23	5	5,04	10:29:40	23	1920	1450
abr/23	5	2,99	09:33:05	21	1620	1550
mai/23	5	5,03	09:00:42	21	1542	1600
jun/23	5	7,14	21:04:13	38	978	650
jul/23	5	0,93	05:48:58	8	1326	1200

Fonte: Autor (2025)

A partir da análise foram identificados os percentuais de influências de frequências

de interrupções em cada subáreas, em relação ao total da célula, que apresentavam uma alta frequência de interrupções durante o período de janeiro de 2023 até julho de 2023, conforme ilustra na Figura 9.

Figura 9: Percentuais de Interrupções nas subáreas da dobra.



Fonte: Autor (2025)

Com base nessas observações foram investigadas os principais motivadores de aumento de frequência de interrupções na amarradeira de feixe dobrado conforme mostra a Figura , haja visto que eram quase a totalidade de todos os problemas no setor de corte e dobra. Mediante a isso, possível direcionar os recursos prioritários para que ações sejam tomadas a fim de garantir uma performance melhor do equipamento em questão. A primeira dificuldade encontrada ao abordar a área foi mapear todas as fontes de alimentação e identificar quais bobinas de solenóides estavam sendo energizadas.

3.2 Processo de identificação na planta das bobinas solenóides acompanhada do desenho do equipamento

No decorrer da análise, foi realizado o processo de identificação das bobinas solenóides na planta do equipamento. essa identificação ocorreu na área operacional, onde foi verificada a quantidade total de bobinas solenóides e seu respectivo número de válvulas associadas.

Durante o processo, foi possível observar e registrar que a disposição das bobinas e válvulas seguiu um padrão específico, facilitando a identificação e análise de cada componente. A contagem precisa das bobinas solenóides e das válvulas é fundamental para garantir a eficácia do sistema, pois cada uma delas desempenha um papel crucial no funcionamento do equipamento. Essa identificação permitiu melhorar o planejamento para as próximas etapas do projeto, visando a otimização do desempenho.

Nesse contexto, o tagueamento na indústria é uma prática de fundamental importância, pois envolve a identificação e rastreamento de sensores, atuadores, motores, alarmes e sinalizadores, controladores programáveis e suas expansões, redes de automação, fiações, conexões elétricas e dispositivos de proteção, ao longo da cadeia de produção.

Através desse apontamento foi possível esclarecer a sequência visual das bobinas de solenóide constatadas no desenho hidráulico do equipamento levando em consideração a ordem de acionamento, a identificação de cada válvula e também dos *flaps* conforme ilustrado na Tabela 2. Segundo Santos e Magalhães (2020), eles são atuadores articulados ou pivotados e necessitam de uma força de sustentação para se deslocar. Da mesma forma como os dados já citados no capítulo anterior, essas nomenclaturas de identificações foi escolhida aleatoriamente e não condizem com a real nomenclatura de designação do equipamento.

Tabela 2: Identificação das válvula e os flaps.

Válvula	Flaps	Variável
1 ^o	F21	Y21
2 ^o	F22	Y22
3 ^o	F23	Y23
4 ^o	F24	Y24
5 ^o	F25	Y25
6 ^o	F26	Y26
7 ^o	F27	Y27
8 ^o	F28	Y28

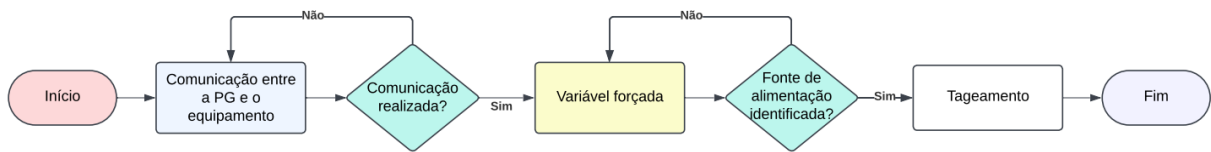
Fonte: Autor (2025)

O entendimento do desenho do equipamento é crucial para a realização de testes e da identificação na fonte de alimentação de cada válvula, e também na própria identificação de acionamentos dos *flaps*.

3.3 Identificações das fontes de alimentações das solenoides dos *Flaps*

É essencial localizar as diferentes as fontes de alimentação que energizam as solenoides que acionam o carretel das válvulas e realiza o deslocamento dos *flaps*. No entanto, para que esse procedimento seja realizado com sucesso há uma sequência de passos para tornar esse tarefa mais fácil ilustrado na Figura 10. Inicialmente foi feita a comunicação serial entre a *Simatic Field* Programação Lógica (PG) e a amarradeira de feixe dobrado, pois é essencial para a realização de testes manuais em acionamentos sequenciais.

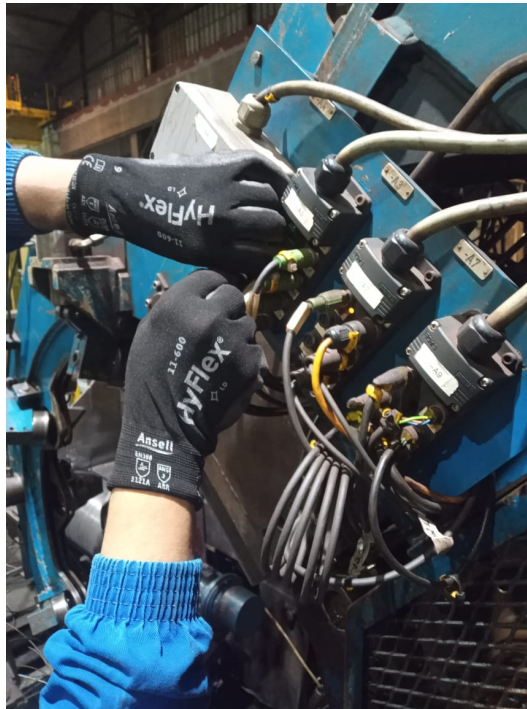
Figura 10: Fluxograma de identificação das fontes de alimentações



Fonte: Autor (2025)

Tendo em vista o conhecimento de campo das válvulas e suas solenoides, foi enviado nível lógico alto através da PG para o equipamento por meio de comunicação serial. Da mesma forma foi verificada se a tensão da fonte de alimentação das solenoides estava recebendo 24 *Volts* conforme ilustra a Figura 11, pois esta é a tensão fornecida pelo quadro elétrico geral.

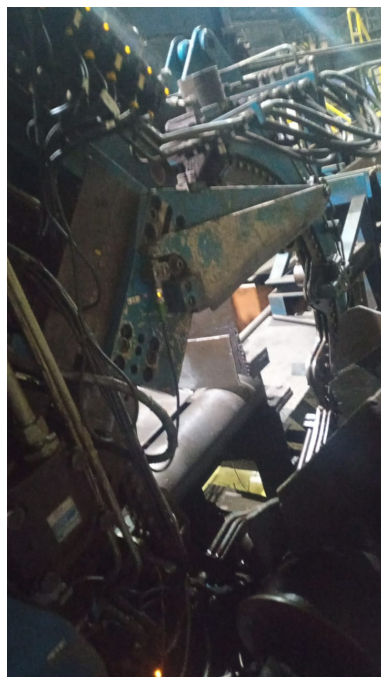
Figura 11: Identificação das fontes alimentações das solenoides



Fonte: Autor (2023)

Dando sequência à análise, todas as variáveis (“Y21” à “Y27”) receberam nível lógico alto e pode ser observada com o LED acesso na bobina de solenoide mostrada na Figura 12. Durante a detecção de referente a cada uma, os testes foram realizados individualmente para encontra-lá e organiza-lá adequadamente.

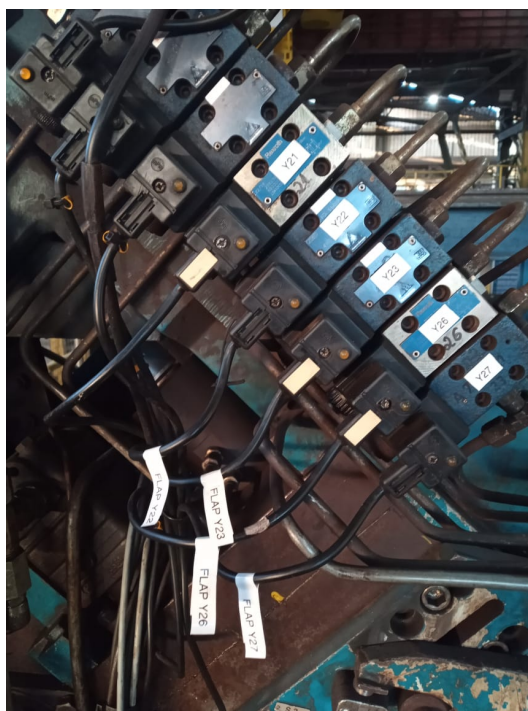
Figura 12: Teste das saídas forçadas na bobinas de solenoide



Fonte: Autor (2023)

Assim, sendo possível a sua identificação de cada um dos 8 *flaps* que posteriormente foram *tageados*, ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Tagueamento das válvulas solenoides



Fonte: Autor (2023)

Após todas essas identificações tanto do desenho mas também de campo, fez-se necessário realizar o procedimento de limpeza das válvulas com o intuito em evitar qualquer tipo de travamento ou qualquer impedimento no deslocamento do carretel, além de verificar o estado da mola e demais partes internas das válvulas, visto na Figura 14.

Figura 14: Limpeza das válvulas dos *flaps*.



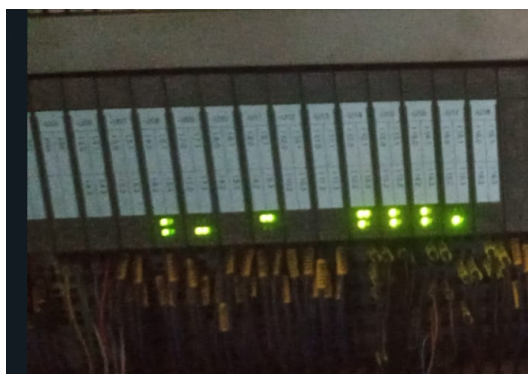
Fonte: Autor (2023)

Desse modo toda essa interação permite verificar e validar sistemas industriais, possibilitando a transmissão de comandos e observar as respostas do equipamento, de modo que sejam adequadamente interpretadas, para assegurar a eficiência e a segurança dos processos automatizados. No entanto, outro teste fez-se necessário para que fosse possível obter resultados mais precisos.

3.4 Testes de tensões

O teste de campo utilizando multímetro para a medição de tensão nas saídas dos cartão corrobora o quanto de a alimentação está sendo perdida até a saída do cartão. Ao forçar um valor de nível lógico alto na PG, tem-se como *feedback* o recebimento da informação recebida pelo cartão, através da iluminação do LED conforme Figura 15, é possível visualizar a resposta e, conseqüentemente medir cada saída com o auxílio do multímetro.

Figura 15: Teste de tensão na saída dos cartões.



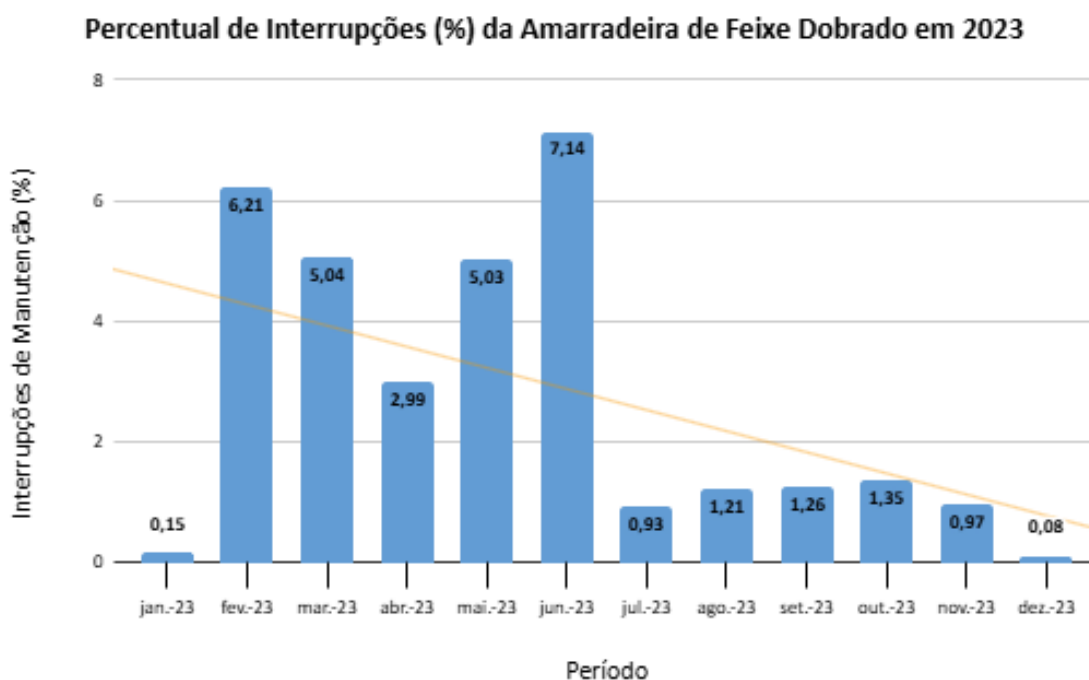
Fonte: Autor (2023)

A partir disso, também foram verificadas as resistências ôhmicas nas solenoides para que pudéssemos averiguar a influência da potência dissipada no acionamento de cada *Flap* a partir da comunicação via serial entre hardwares.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo, serão apresentados os resultados obtidos a partir da análise dos indicadores importantes coletados para esse trabalho na área da laminação numa empresa siderúrgica em Recife. Devido a constatação do alto índice de interrupção apresentado no mês de junho em 2023, conforme pode ser observado na Figura 16, decidiu-se iniciar o projeto ao final desse mês. Tal iniciativa visou retratar as causas das interrupções e implementar soluções eficazes para mitigar sua reincidência.

Figura 16: Percentual de interrupções da amarradeira de feixe dobrado em 2023



Fonte: Autor (2023)

A queda observada no gráfico no mês seguinte já demonstra uma acentuada resposta das atuações realizadas no respectivo equipamento, como por exemplo: limpeza de carretel das válvulas e bobinas de solenoide, testes de resistências ôhmicas em todas bobinas solenoide, ajustes de cilindros antes travados, substituições de algumas fontes de alimentação das bobinas de solenoide e também das solenoide, supervisionamento da existência de trincas ou desgastes calha guia de amarração e acionamentos manuais e automáticos, além de todo entendimento sequencial do equipamento.

As ações imediatas foram realizadas através de manutenções corretivas. Em seguida, foram feitas atualizações nos planos de manutenção que passaram a ser semanais, o que possibilitou o planejamento de manutenções preventivas em períodos sazonais. Além disso, o aperfeiçoamento das manutenções de rotina contribuiu significativamente para a verificação e acompanhamento de todo o processo.

Mediante já a essa rápida resposta do mês de julho, utilizamos a manutenção por

rotina diariamente a partir de mês de agosto para que pudéssemos manter e aperfeiçoar o bom funcionamento do equipamento. No entanto, foi verificado que entre os meses de agosto e outubro estávamos com algumas pequenas falhas geradas por bobinas de solenoide mediante a suas quedas de tensões. Ao total foram realizadas os testes de resistência ôhmica nas 8 bobinas de solenoide que estavam na respectiva área conforme ilustra na Equação 1.

Equação 1 - Resistência ohmica de uma bobina solenóide

$$R = \frac{U^2}{P} \quad (1)$$

Fonte: (ARAÚJO, 2016).

A partir dessa fórmula foi possível calcular todas as resistências ôhmicas de cada solenóide conforme ilustra a Tabela 3. Vale salientar que durante a vistoria na área foram verificadas e constatadas distintas solenóides contendo potência de 3W, 5W e 10W da marca Parker.

Tabela 3: Resistências ôhmicas das bobinas de solenoide

Solenóide	Potência Dissipada (W)	Resistência Ohmica Ideal (Ω)	Resistência Ohmica Real (Ω)
Y21	3	192	184
Y22	5	30.12	26.8
Y23	3	192	189
Y24	5	30.12	449.7
Y25	10	57,6	-
Y26	-	-	-
Y27	5	30.12	29

Fonte: Autor (2023)

As solenóide Y21, Y22, Y23 e Y27 foi possível verificar que estas estavam funcionando adequadamente. Por outro lado, Y24, Y25 não estava funcionando adequadamente e a Y26 estava totalmente danificada e sem condições de ser identificada a sua potência e nem sendo possível conseguir medir a sua resistência ôhmica devido a severidade do processo industrial.

Ao analisar a curva de potência (PF), observou-se que a solenóide Y24 já está apresentando sinais de falha funcional. As solenóides Y25 e Y26 estão também próximas de atingir esse estado crítico. Por outro lado, as demais solenóides servem como um alerta para possíveis falhas funcionais, caso as manutenções preventivas não sejam realizadas.

A confirmação das resistência ôhmicas mostraram ser diferentes, implica em distintas tensões para cada válvula e conseqüentemente influencia no deslocamento do carretel para

mover o cilindro dos flaps. A solenoide Y25 quando acionada não havia energia suficiente para segurar o carretel, consequentemente fazia com que ele movesse o cilindro para frente e para trás a todo momento, isto é, não possuindo carga suficiente para deslocar o carretel por completo causando movimentos oscilatórios, devido a solenoide com potência acima da especificada pelo fabricante. A metodologia aplicada para identificar as principais foi a dos 5 porquês conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Metodologia dos 5 porquês aplicada nas principais causas de interrupções

	Principais causas de interrupções		
	Falha na amarração de material	Falha no rearme do cabeçote de torção	Falha de feixe saindo da calha de guia fio
1º Por que	Não estava completando o ciclo de amarração	Não está rearmando corretamente	Feixe perdia a direção durante o clique de produção
2º Por que	O material estava batendo no flap	Ele não está voltando para a posição inicial	Presença de pequenas trincas
3º Por que	A bobina não tinha tensão suficiente para deslocar o carretel	Falta de informação no plano de manutenção	Feixe colidia com as trincas
4º Por que	Perda brusca de tensão na bobina de solenóide	Plano de manutenção necessita em melhorias	
5º Por que	Solenóide com potência acima da especificada pelo fabricante		

Fonte: Autor (2023)

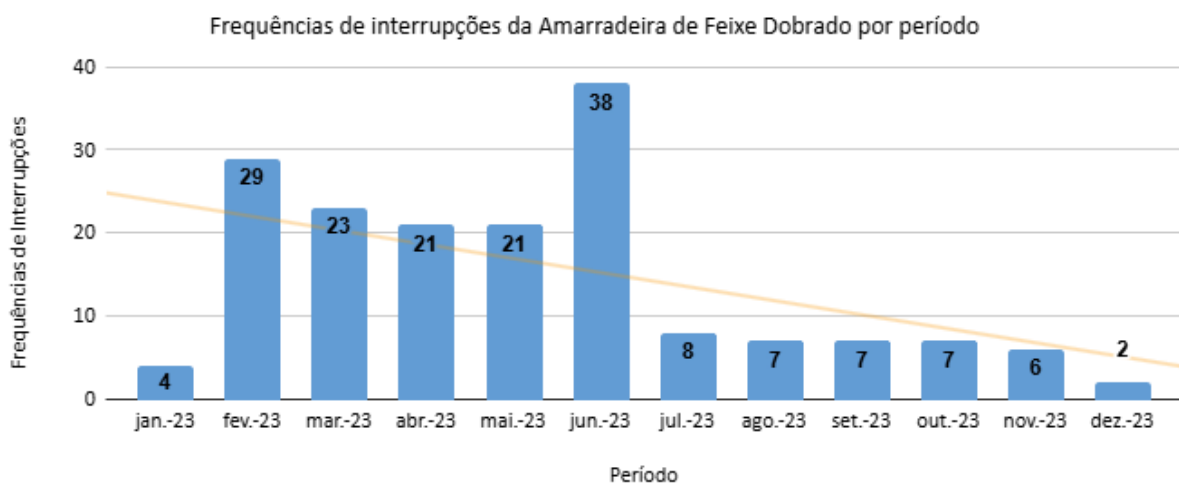
Outro ponto a ser destacado é a questão do cabeçote de torção. Embora sua função seja realizar a torção da amarração no lote de material, foi identificado que, ao ser rearmado para retornar à posição inicial, ficando em uma posição diferente da desejada.

A calha de guia de fio foi a terceira principal causa de interrupção na amarradeira de feixe dobrado. Foi diagnosticado o surgimento de trincas, que eram responsáveis pela má direção do feixe de amarração durante o ciclo de produção. Isso ocorria porque o material colidia com essas trincas, consequentemente, em falhas na amarração. Dessa forma, foi

utilizado o procedimento de caldeiraria e soldagem com o objetivo em corrigir as trincas e, assim, reduzindo as falhas de amarração.

Percebe-se que o melhor resultado ocorreu no mês de dezembro do ano de 2023 ilustrado na Figura 17, chegando há apenas 2 interrupções no total. Embora em janeiro do mesmo ano houve somente 4 oportunidades, mas nessa época não deve ser levado em consideração devido a indústria está em quase todo o mês na manutenção anual, ou seja, a produção está parada. Além disso, somente voltando a produzir ao final do respectivo mês. Pode ser observada também a curva de tendência, representada pela linha de cor laranja, a qual ilustra que a frequência de interrupções tende a diminuir a partir do início da implementação das ações.

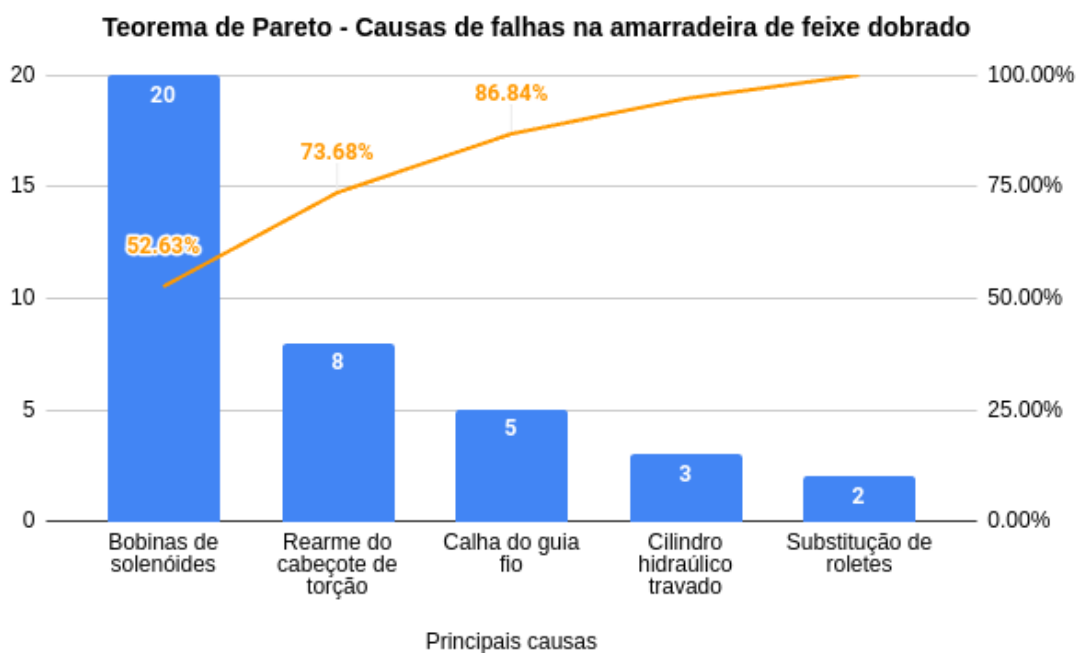
Figura 17: Frequências de interrupções da amarradeira de feixe dobrado por período



Fonte: Autor (2023)

Os números em dezembro indicaram um novo recorde para a equipe da Manutenção laminação. Uma vez que nesse mesmo período o setor apresentou a menor interrupção da história da empresa e a equipe de produção bateu recorde. A aplicação do teorema de Pareto visando as causas de falha na amarradeira de feixe dobrado, pode ser destacado na linha de cor laranja conforme a Figura 18. Isso ajuda a compreender que no mês de junho de 2023, a ideia do 80/20 mostra a frequência das falhas em barras azuis, destacando que as falhas nas bobinas de solenoide oriundo da variação na tensão, são responsáveis pela maior parte dos problemas.

Figura 18: Aplicação do teorema de Pareto nas causas de falhas na amarradeira de feixe dobrado



Fonte: Autor (2023)

Após identificar que as falhas nas bobinas de solenoide eram responsáveis pelo maior número de interrupções da amarradeira de feixe dobrado, foi desenvolvido o diagrama de Ishikawa com a finalidade de estudar mais a fundo e identificar outras causas para essa problemática, como pode ser visualizado no Anexo B.

Um outro fator que foi levado em consideração é a comparação do percentual do tempo de interrupções antes e depois do projeto conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19: Comparação entre o percentual do tempo de interrupções antes e depois do projeto



Fonte: Autor (2023)

Vale lembrar a parte destacada em azul é referente ao percentual do tempo de interrupções antes da inicialização do projeto e a laranja após a inicialização do projeto. Dessa forma, quando comparado ao total de tempo de interrupções durante o período de janeiro até dezembro de 2023, observa-se que aproximadamente 86,1% das interrupções ocorreram antes do início do projeto.

5 CONCLUSÃO

A gestão da manutenção torna se cada vez mais importante à medida que as indústrias têm de se adequar aos fatores competitivos do mercado, precisando sempre observar ao máximo de retorno dos seus recursos (capital, quadro colaborativo e matéria-prima) e dos seus ativos fixos (maquinário/equipamento e instalações). Manter os ativos disponíveis se torna um desafio extremamente necessário para a estratégia de crescimento e desenvolvimento empresarial. Dessa forma, as grandes perdas e as falhas no processo devem ser combatidas constantemente para não comprometam sua eficiência. Nesse contexto o estudo para diminuição da frequência de interrupções se torna um diferencial competitivo.

Durante o desenvolvimento do trabalho, para alcançar os objetivos, foi realizada a coleta de dados e a análise dos mesmo com a finalidade de identificar as causas de influência na frequência de interrupções no equipamento chamado amarradeira de feixe dobrado localizado na parte final da área da laminação na indústria de aço. Foram observadas como principais causas de falha: bobinas ineficientes e principalmente, a falta de carga suficiente suportada nas bobinas de solenoide oriundo das diferentes potências dissipadas.

Pode-se concluir que este trabalho alcançou o objetivo proposto referente a diminuição de frequência de interrupções. Através da obtenção de uma melhor performance da manutenção utilizando estratégias de planejamento em conjunto com a gestão de manutenção e confiabilidade e atualização do plano de manutenção. Mesmo diante do cenário de não haver bobinas de solenoide em estoque para facilitar a resolução da problemática. Foi estabelecido mediante o diagrama de Ishikawa, como plano de ação a realocação de recursos para a aquisição de um conjunto de bobinas solenoide únicas. Como também, a confecção de um novo cabeçote de torção para substituições futuras.

Até o presente momento, as novas bobinas de solenoide ainda não haviam chegado na respectiva usina. Diante desse cenário, a equipe conseguiu manter o foco nas atividades, podendo assim auxiliar em outras áreas do processo produtivo resultando em um avanço mais consistente nas metas estabelecidas e compartilhamento de conhecimento. Essa continuidade permitiu um melhor aproveitamento do tempo, uma maior qualidade nas entregas e a capacitação de toda equipe, tornando um ambiente mais colaborativo.

Uma sugestão para a aplicação futura, seria a aquisição de bobinas solenoide iguais de potência baixa (3W) indicadas pelo próprio fabricante e a sua instalação mediante uma gestão de modificação de manutenção, uma vez que, ocasionará na mudança de layout do equipamento. Após a instalação delas, realizar o acompanhamento tanto do processo industrial, como também dos indicadores de manutenção. Além disso, a gestão de peças sobressalente é essencial, imaginando em um cenário de escassez de peças de reposições, tempo de parada e atualização do diagrama de Ishikawa, se necessário..

Referências

- ARAÚJO, E. R. de. APOSTILA DE ELETRICIDADE APLICADA, 2016. Citado na p. 37.
- BARBATO JÚNIOR, C. H. Manutenção Industrial Como Fator Decisivo na Gestão da Qualidade, 2013. Citado nas pp. 26, 27.
- BRANCO FILHO, G. **A organização, o planejamento eo controle da manutenção.** [S.l.]: Ciência Moderna, 2008. Citado na p. 21.
- BRASIL, I. A. **Relatório de sustentabilidade.** [S.l.]: Blog - Proeminente Sistemas, 2021. Disponível em: <<https://acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/index.html.%20Acesso%20em:%2015%20jan.%202025>>. Citado na p. 14.
- BRESCIANI FILHO, E. et al. **Conformação plástica dos metais.** [S.l.]: Ed da Unicamp, 1997. Citado nas pp. 16, 17.
- CARLOS, D. N. Metodologias de melhoria contínua aplicadas à manutenção industrial, 2024. Citado na p. 19.
- CARVALHO, P. S. L. d.; MESQUITA, P. P. D.; ARAÚJO, E. D. G. d. Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade, 2015. Citado na p. 15.
- COFER. **Entenda o sistema Cofer de Corte e Dobra.** [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <http://www.cofer.com.br/corte_e_dobra.html.%20Acesso%20em:%2015%20dez.%202024>. Citado na p. 18.
- DEPEC, D. d. P. e. e. e. **Mineração e siderurgia.** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_mineracao_siderurgia.pdf.%20Acesso%20em:%2018%20jan.%202025>. Citado na p. 15.
- DIETER, G. E. et al. Metalurgia mecânica. Madrid: Aguilar, 1967. Citado na p. 17.
- DIFERRO. **O impacto da siderurgia no Brasil: veja como será 2024.** [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <<https://www.diferro.com.br/blog/tecnologia/o-impacto-da-siderurgia-no-brasil-veja-como-sera-2024.html.%20Acesso%20em:%2010%20jan.%202025>>. Citado na p. 14.
- FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia.** [S.l.: s.n.], 2003. P. 200–200. Citado na p. 11.

GIACOMIN, C. N.; SANTOS, A. A. d.; SOUZA, A. L. d. Análise dos processos de laminação a quente na Usiminas via simuladores computacionais. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, ABM-Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 6, n. 1, p. 31–35, 2013. Citado na p. 17.

GREGÓRIO, G. F. P.; SILVEIRA, A. M. d. Manutenção industrial. **Porto Alegre: SAGAH**, 2018. Citado nas pp. 23, 24.

LIMA, R. S. TPM: Total Productive Maintenance. **Curso de Formação de Multiplicadores. Belo Horizonte: Advanced Consulting & Training**, 2000. Citado na p. 21.

MELO, F. T.; LOOS, M. J. Análise da metodologia da Manutenção Produtiva Total (TPM): Estudo de caso. **Revista Espacios**, v. 39, n. 3, 2018. Citado na p. 22.

MIGUEL, A. F. C. Melhoria da priorização dos modos de falha no FMEA, 2023. Citado nas pp. 25, 26.

MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L. Manutenção-combate aos custos da não eficácia: a vez do Brasil, p. xiii–373, 1993. Citado nas pp. 10, 21.

MONCHY, F. **A função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial**. [S.l.]: São Paulo: Editora Durban Ltda, 1989. P. 3. Citado na p. 10.

MORAES, C. R. d. Aplicação da manutenção centrada na confiabilidade em ativos de média e alta tensão em uma planta industrial. Universidade Federal de Uberlândia, 2021. Citado na p. 25.

MOURÃO, M. B. et al. Introdução à siderurgia, 2007. Citado na p. 14.

PATTON, J. Maintainability and Maintenance Management. **New York: Instrument Society of America**, 1994. Citado na p. 20.

PAVÃO, W. **Anormalidades e falhas dos rolos do laminador**. [S.l.]: Blog - Proeminente Sistemas, 2020. Disponível em: <<https://www.proeminente.com.br/blog/post/mundo/anormalidades-e-falhas-dos-rolos-do-laminador.%20Acesso%20em:%2015%20jan.%202025>>. Citado na p. 16.

PLENTZ, R. S. Otimização do processo de resfriamento do aço mola SAE 9254 durante a laminação, 2009. Citado na p. 17.

PONCIANO, K. R. et al. Aplicação do diagrama de Pareto e a metodologia TPM como forma de melhoria do processo produtivo e redução downtime. **South American Development Society Journal**, v. 7, n. 21, p. 173–173, 2021. Citado na p. 28.

POSSAMAI, R. J. A implantação da metodologia TPM num equipamento piloto na Adria Alimentos do Brasil Ltda., 2002. Citado na p. 21.

- SANTANA DE ALMEIDA, B. Aplicação de Ferramentas de Qualidade na Elaboração de um Plano de Manutenção Preventiva para uma Microcervejaria no Paraná, 2023. Citado na p. 27.
- SANTOS, A. B. dos; MAGALHÃES, D. A. de. SUSTENTAÇÃO DA ASA DE UM AVIÃO. **Anais da Feira de Ensino, Pesquisa e Extensão do Campus São Francisco do Sul**, v. 1, n. 8, 2020. Citado na p. 31.
- SILVA, A. d.; OLIVEIRA, E. d. S. et al. Implantação do Diagrama de Ishikawa no sistema de gestão da qualidade de uma empresa de fabricação termoplástica, para resolução e devolutiva de relatórios de não conformidade enviados pelo cliente. **Rev. Gestão em Foco**, p. 387–397, 2018. Citado nas pp. 26, 27.
- SILVA, D.; VASCONCELOS, W. Isolante térmico fibroso: motivos de sua utilização como revestimentos de trabalho em equipamentos industriais que operam em altas temperaturas-revisão da literatura–parte I. **Cerâmica**, SciELO Brasil, v. 63, p. 281–294, 2017. Citado na p. 16.
- SILVA NOGUEIRA, J. G. da. ANALISE DA FROTA DE CAMINHÕES, MANUTENÇÃO PRIMARIA VS TERCERIZAÇÃO DE UMA EMPRESA LOGISTICA. Citado na p. 19.
- SOEIRO, M. V. d. A.; OLIVIO, A.; LUCATO, A. V. R. Gestão da manutenção. **Londrina: Editora e Distribuidora Educacional SA**, 2017. Citado na p. 23.
- SOUZA, R. D. Análise da gestão da manutenção focando a manutenção centrada na confiabilidade: estudo de caso MRS Logística. **Juiz de Fora (MG): UFJF**, 2008. Citado na p. 25.
- STEFANINI, P. **Metodi di Ricerca e Prevenzione dei Guasti. Milano: Tecniche Nuove**. [S.l.]: II Edizione, 2011. Citado na p. 10.
- TELES, F. et al. Obstáculos e benefícios da implantação da Manutenção Produtiva Total (MPT): uma revisão de literatura. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 4, p. 6386–6399, 2023. Citado na p. 22.
- TELES, J. Planejamento e controle de manutenção descomplicado: uma metodologia passo a passo para implantação do PCM. **Brasília: Engeteles Editora**, 2019. Citado nas pp. 22, 24.
- VIANA, F. L. E. Indústria siderúrgica. Banco do Nordeste do Brasil, 2019. Citado nas pp. 15, 23, 24.
- WERKEMA, M. C. C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos, p. 384–384, 1995. Citado nas pp. 27, 28.

WIREMAN, T. **Total Productive Maintenance**. [S.l.]: Industrial Press, 2004. (G - Reference, Information and Interdisciplinary Subjects Series). ISBN 9780831131722. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=UfKRG56P1-QC.%20Acesso%20em:%2022%20dez.%202024>>. Citado na p. 22.

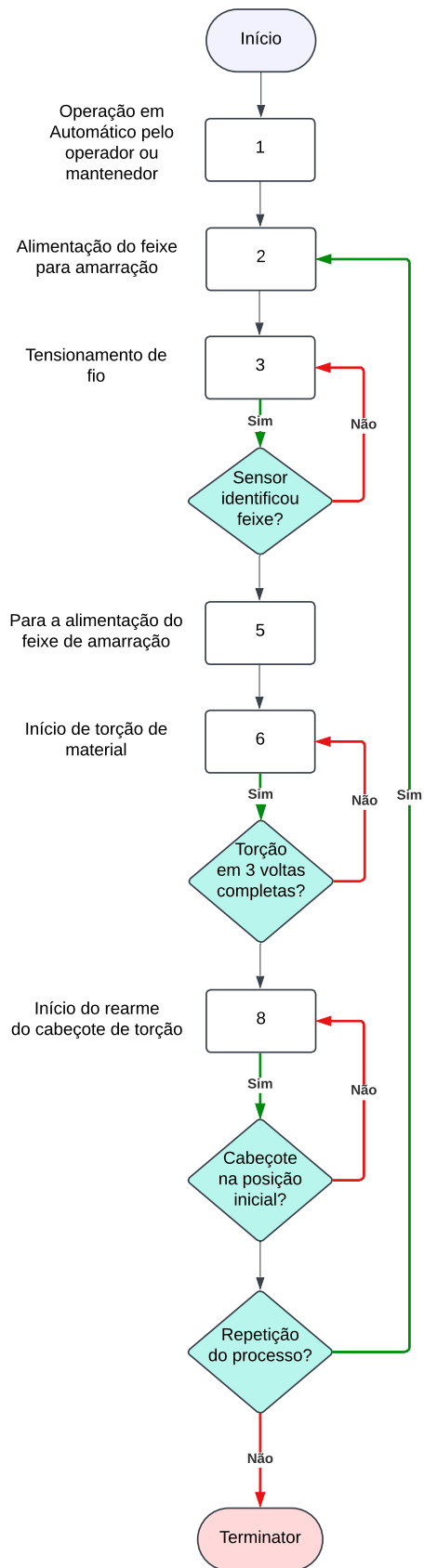
XAVIER, J. N. Manutenção–tipos e tendências. **Relatório Técnico TECÉM**, 2005. Citado nas pp. 20, 22.

XENOS, H. G. Gerenciando a manutenção produtiva. **Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial**, v. 171, 1998. Citado na p. 21.

ZAIONS, D. R. Manutenção industrial com enfoque na manutenção centrada em confiabilidade. **Porto Alegre: UFRGS**, 2003. Citado nas pp. 20, 21.

ANEXOS

ANEXO A - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE FUNCIONAMENTO



ANEXO B - DIAGRAMA DE ISHIKAWA

