



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AGDA DA SILVA GOMES

**ESTUDO DE AUMENTO DE RENDIMENTO METÁLICO NO PROCESSO DE
LAMINAÇÃO UTILIZANDO METODOLOGIA PDCA EM UMA SIDERÚRGICA NO
CEARÁ**

RUSSAS

2025

AGDA DA SILVA GOMES

ESTUDO DE AUMENTO DE RENDIMENTO METÁLICO NO PROCESSO DE
LAMINAÇÃO UTILIZANDO METODOLOGIA PDCA EM UMA SIDERÚRGICA
NO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção da
Universidade Federal do Ceará Campus
Russas, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães.

RUSSAS

2025

AGDA DA SILVA GOMES

ESTUDO DE AUMENTO DE RENDIMENTO METÁLICO NO PROCESSO DE
LAMINAÇÃO UTILIZANDO METODOLOGIA PDCA EM UMA SIDERÚRGICA
NO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção da
Universidade Federal do Ceará Campus
Russas, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães.

Aprovada em: 27/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edvan Cordeiro de Miranda
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. George Luiz Gomes de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G612e Gomes, Agda da Silva.
 Estudo de aumento de rendimento metálico no processo de laminação utilizando a metodologia PDCA em uma siderúrgica no Ceará / Agda da Silva Gomes. – 2025.
 56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia de Produção, Russas, 2025.
 Orientação: Prof. Dr. Pedro Helton Magalhães.
1. Metodologia PDCA. 2. Rendimento metálico. 3. Laminação. 4. Perdas no processo. 5. Siderurgia. I. Título.

CDD 658.5

A Deus.

A minha mãe, a Tia Eliane e, a Tia Magna por sempre acreditarem em mim e não medir esforços pela minha felicidade, a garra de vocês me fizeram a mulher que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Ao finalizar o curso de Engenharia de Produção, capítulo importante da minha vida quero expressar meus agradecimentos para as pessoas que fizeram parte dessa história e contribuíram significativamente nessa jornada.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer as mulheres da minha vida, minha mãe, tia Eliane e tia Magna que estão ao meu lado desde que nasci moldando meu caráter e me dando coragem para ir atrás dos meus sonhos. Obrigada pelo apoio até aqui, pelos conselhos, pela companhia e pelo amor.

Ao meu pai Osion, por ter cuidado tão bem de mim e acreditado no meu potencial.

As minhas irmãs Isabele e Isamara, que me acompanharam desde o início me dando apoio para superar quaisquer adversidades.

Ao meu querido Davi, gostaria de agradecer a força que sempre me deu para continuar, sua presença durante toda essa jornada foi essencial. Compartilhar com você os momentos de medo, felicidade, sonhos foram importantes nessa jornada.

À minha companheira de casa Mariana, expresso profundamente minha gratidão pelo cuidado, pela amizade e apoio. Sua presença e conselhos foram essenciais para mim.

Aos colegas de turma Ana, Lya, Emanuel, Maria, Ray, Melissa, Adam agradeço o apoio e colaboração em nossa jornada. Nossas risadas, brincadeiras deixaram tudo mais leve, vou sempre guardar esses momentos com carinho.

À cidade de Russas, que me proporcionou conhecer pessoas que quero levar para minha vida e momentos que nunca vou esquecer.

Ao meu orientador Pedro Helton, por ter me ajudado nessa fase final, pela disponibilidade e parceria.

A Universidade Federal do Ceará e todos seus colaboradores que proporcionaram eu alcançar meu sonho de me formar em uma federal.

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos.”
(Paulo Baleki).

RESUMO

O processo de laminação desempenha um papel fundamental na indústria siderúrgica, sendo responsável pela transformação da matéria prima em produtos acabados. No entanto perdas metálicas ao longo da cadeia produtiva impactam diretamente a eficiência operacional, tornando a busca por estratégias que otimizem o rendimento metálico do material. Este trabalho apresenta um estudo voltado para o aumento do rendimento metálico no processo de laminação em uma siderúrgica localizada no município de Maracanaú, Ceará, utilizando a metodologia PDCA como base para o diagnóstico e a implementação de melhorias. O trabalho iniciou-se com a investigação das possíveis causas que impactavam negativamente o indicador de rendimento metálico, sendo mapeados três principais pontos de desperdício: tesouras de desponte, tesoura de corte a frio e barras curtas. Para aprofundar essa análise, foram aplicadas ferramentas como Gráfico de Pareto, *Brainstorming*, Diagrama de causa e efeito, Os 5 porquês e 5W2H. A partir do diagnóstico, foram implementadas ações estratégicas, como a padronização dos tarugos e despontes, calibração de equipamentos e a regularização de sistemas que influenciam diretamente a eficiência do laminador. Essas iniciativas foram acompanhadas de forma sistemática para garantir sua eficácia e promover ajustes quando necessário. Os resultados comprovaram a efetividade das medidas adotadas, refletindo-se no aumento do rendimento metálico nas bitolas analisadas individualmente, além da melhoria no indicador global, que superou os índices de 2023. A otimização do fluxo produtivo também resultou em maior previsibilidade da produção e redução de desperdícios. Por fim, todas as melhorias foram padronizadas no sistema da empresa, garantindo a estabilidade dos resultados e fortalecendo a cultura de melhoria contínua. O estudo demonstra que a abordagem estruturada proporcionada pelo PDCA é um modelo eficiente para a evolução dos processos produtivos na laminação.

Palavras-chave: metodologia PDCA; rendimento metálico; laminação; perdas no processo; siderurgia.

ABSTRACT

The rolling process plays a fundamental role in the steel industry, being responsible for transforming raw materials into finished products. However, metal losses throughout the production chain directly impact operational efficiency, making the search for strategies that optimize the metal yield of the material necessary. This paper presents a study aimed at increasing metal yield in the rolling process at a steel mill located in the city of Maracanaú, Ceará, using the PDCA methodology as a basis for diagnosis and implementation of improvements. The work began with the investigation of possible causes that negatively impacted the metal yield indicator, and three main waste points were mapped: stripping shears, cold cutting shears and short bars. To deepen this analysis, tools such as Pareto Chart, Brainstorming, Cause and Effect Diagram, The 5 Whys and 5W2H were applied. Based on the diagnosis, strategic actions were implemented, such as standardization of billets and stripping, equipment calibration and regulation of systems that directly influence the efficiency of the rolling mill. These initiatives were systematically monitored to ensure their effectiveness and promote adjustments when necessary. The results proved the effectiveness of the measures adopted, reflected in the increase in metal yield in the gauges analyzed individually, in addition to the improvement in the overall indicator, which exceeded the 2023 indexes. The optimization of the production flow also resulted in greater production predictability and reduced waste. Finally, all improvements were standardized in the company's system, ensuring the stability of results and strengthening the culture of continuous improvement. The study demonstrates that the structured approach provided by PDCA is an efficient model for the evolution of production processes in rolling.

Keywords: PDCA methodology; metallic yield; rolling mill;; process losses; steel industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Processos de conformação.....	18
Figura 2	– Representação do processo de conformação mecânica na laminação.....	19
Figura 3	– Representação das etapas do processo de laminação.....	20
Figura 4	– Vazios do tarugo.....	21
Figura 5	– Desenho esquemático de um desponte no tarugo.....	23
Figura 6	– Esquema do Ciclo PDCA utilizado para alcance das metas de melhoria.....	24
Figura 7	– Exemplo do gráfico de Pareto.....	26
Figura 8	– Visão geral do diagrama de Ishikawa.....	27
Figura 9	– Exemplo da aplicação dos 5 porquês.....	28
Figura 10	– Exemplo da aplicação dos 5W2H.....	29
Figura 11	– Razão para calcular o rendimento metálico.....	31
Figura 12	– Metodologia PDCA.....	33
Figura 13	– KPI de Rendimento Metálico 2023.....	39
Figura 14	– Pareto de perda metálica – 2023.....	40
Figura 15	– <i>Brainstorming</i>	41
Figura 16	– Espinha de peixe.....	42
Figura 17	– Simulação de comprimento para cantoneira.....	46
Figura 18	– Simulação de comprimento para cantoneira com tarugo inadequado.....	47
Figura 19	– Evolução do rendimento de 2023 para 2024.....	48
Figura 20	– Resultados com a aplicação dos novos comprimentos + controle do peso do tarugo.....	49
Figura 21	Gráfico de resultados rendimento metálico - 2024.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – 5 porquês.....	44
Quadro 2 – Plano de Ação (5W2H)	45
Quadro 3 – Exemplo de dados padronizados no sistema.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Camex Câmara de Comércio Exterior

BC Barra curta

KPI *Key performance indicator*

RM Rendimento metálico

T1 Tesoura de desponte

TCF Tesoura de corte a frio

TD Tesoura divisora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
<i>1.1 Objetivos.....</i>	<i>16</i>
<i>1.1.1 Objetivos geral.....</i>	<i>16</i>
<i>1.1.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>16</i>
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
<i>2.1 Processo de Conformação mecânica.....</i>	<i>17</i>
<i>2.2 Processo de Conformação plástica.....</i>	<i>17</i>
<i>2.3 Laminação.....</i>	<i>19</i>
<i>2.3.1 Etapas de laminação.....</i>	<i>20</i>
<i>2.3.2 Perdas do Processo de laminação.....</i>	<i>22</i>
<i>2.4 Metodologia PDCA.....</i>	<i>23</i>
<i>2.5 Ferramentas da qualidade.....</i>	<i>24</i>
<i>2.5.1 Gráfico de Pareto.....</i>	<i>25</i>
<i>2.5.2 Brainstorming.....</i>	<i>26</i>
<i>2.5.3 Diagrama de Causa e Efeito.....</i>	<i>27</i>
<i>2.5.4 5 porquês.....</i>	<i>28</i>
<i>2.5.5 5W2H.....</i>	<i>28</i>
<i>2.6 Indicadores (KPI's).....</i>	<i>30</i>
<i>2.6.1 Rendimento metálico.....</i>	<i>30</i>
3 METODOLOGIA.....	32

<i>3.1 Procedimento metodológico</i>	32
<i>3.1.2 Planejamento (Plan)</i>	33
<i>3.1.3 Execução (Do)</i>	34
<i>3.1.4 Checar (check)</i>	34
<i>3.1.5 Agir (Act)</i>	34
<i>3.2 Classificação e definição da pesquisa</i>	35
<i>3.3 Técnica de coleta de dados</i>	36
<i>3.4 Análise dos dados coletados</i>	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
<i>4.1 Descrição da empresa</i>	38
<i>4.2 Aplicação do Ciclo PDCA</i>	38
<i>4.2.1 Identificação do problema (Plan)</i>	38
<i>4.2.1.1 Análise do problema</i>	39
<i>4.2.2 Execução do Plano de Ação (Do)</i>	46
<i>4.2.3 Verificação de eficácia (Check)</i>	47
<i>4.2.4 Padronização (Act)</i>	50
5 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O aço é um componente fundamental na cadeia produtiva brasileira, estando presente em diversos setores, como construção civil, indústria automobilística e bens de consumo duráveis, como eletrodomésticos. Segundo Ribeiro (2023), a siderurgia é um setor estratégico para a economia brasileira, responsável pela produção de aço, material essencial para o desenvolvimento industrial. O Brasil, um dos principais produtores mundiais de aço, possui um grande potencial de crescimento nesse mercado. No entanto, enfrenta desafios significativos devido à crescente concorrência internacional, especialmente de países como China, Índia e Estados Unidos, que têm investido pesadamente em inovação tecnológica para garantir eficiência produtiva e competitividade global (Ribeiro, 2023).

Nos últimos anos, o cenário do mercado global de aço passou por transformações significativas, com a China emergindo como o principal produtor e exportador mundial. Esse cenário tem impactado diretamente o mercado brasileiro, pressionando as siderúrgicas nacionais a buscar maior eficiência e competitividade. A recente decisão da Câmara de Comércio Exterior (Camex) de estabelecer cotas máximas e tarifas de 25% sobre a importação de aço (Noberto, 2024) reflete a necessidade de proteger a indústria nacional, mas também levanta questões sobre como essas medidas afetarão a competitividade e a eficiência operacional das empresas brasileiras. Diante desse contexto, torna-se relevante investigar estratégias que possam otimizar os processos produtivos, como o aumento do rendimento metálico, para garantir a sustentabilidade do setor.

A busca por métodos que otimizem a produção e elevem a competitividade no mercado industrial tem impulsionado empresas, especialmente no setor siderúrgico, a explorar abordagens inovadoras. Nesse sentido, a metodologia PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) tem se destacado como uma ferramenta eficaz para promover a melhoria contínua dos processos fabris. A aplicação dessa metodologia pode contribuir para o aumento do rendimento metálico, promovendo eficiência, qualidade e competitividade no mercado (Luis, 2021). Com a crescente pressão por eficiência e qualidade, é imperativo que as siderúrgicas busquem constantemente maneiras de aprimorar seus processos, mantendo custos baixos e garantindo uma posição competitiva no mercado.

A escolha desse tema justifica-se pela necessidade de otimizar os processos produtivos em um contexto de intensa concorrência global e de mudanças nas políticas comerciais. A medida adotada pela Camex, embora busque proteger a indústria nacional, também exige que

as empresas brasileiras se adaptem e invistam em eficiência operacional para manter sua competitividade (Noberto, 2024). Portanto, este estudo busca contribuir para a discussão sobre estratégias de otimização no setor siderúrgico, oferecendo insights sobre como a aplicação de metodologias de melhoria contínua pode impactar positivamente a produtividade e a competitividade das empresas. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo principal analisar a aplicação do ciclo PDCA para o aumento do rendimento metálico no processo de laminação em uma siderúrgica localizada no estado do Ceará.

1.1 Objetivos

Nesta seção serão apresentados os objetivos a serem obtidos com o presente estudo, dos quais estão destacados abaixo.

1.1.1 Objetivos geral

O objetivo geral é aplicação da metodologia PDCA para o aumento de rendimento metálico no processo de laminação em uma siderúrgica.

1.1.2 Objetivos específicos

A fim de alcançar o objetivo principal do trabalho é importante definir objetivos específicos, dos quais são:

- Identificar as possíveis causas que impedem o aumento de rendimento metálico no processo de laminação;
- Analisar as causas e perdas no processo para o baixo rendimento metálico;
- Estabelecer ações para o aumento do rendimento metálico;
- Propor e aplicar melhorias no processo para redução das perdas do processo;
- Padronizar as ações realizadas que aumentarão o rendimento metálico e melhorarão o processo de laminação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de Conformação mecânica

Helman (2005) define a conformação mecânica como uma operação onde se aplica solicitações mecânicas em metais, que respondem com uma mudança permanente de dimensões. Além da mudança de dimensões, outro resultado obtido comumente através da conformação mecânica é a alteração das propriedades do metal em relação às anteriores ao processamento.

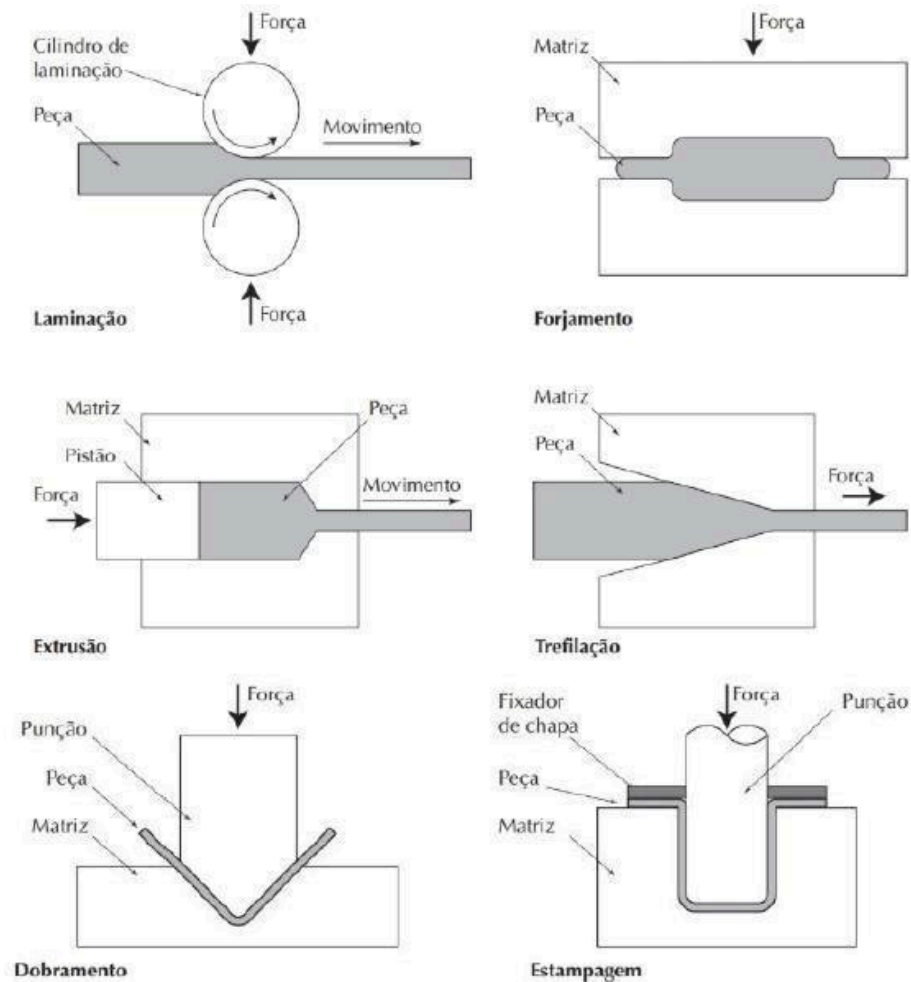
2.2 Processo de Conformação plástica

A conformação plástica é um conjunto de processos que usa a deformação plástica para mudar a forma do metal. A deformação é resultado do uso de uma ferramenta, geralmente uma matriz, que aplica tensões que excedem o limite de escoamento do metal. O metal, então, deforma e toma a forma determinada em parte ou quase totalmente pela geometria da matriz. (Kiminami, 2013)

Conforme é dissertado por Groover (2014), a conformação plástica ocorre quando forças superiores ao limite de escoamento são aplicadas a um corpo metálico, resultando em sua deformação permanente. Esse processo pode ser classificado com base em critérios como temperatura e tipo de esforço aplicado. Os tipos de esforços envolvidos incluem tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção. Dependendo do processo, a conformação plástica pode ser realizada a frio, a morno ou a quente.

Kiminami (2013) classificam os processos de conformação em dois grupos principais: conformação de volumes (tarugos) e conformação de chapas. A conformação de tarugos, geralmente é realizada a quente e envolve grandes deformações que podem ser encontrados nos processos de laminação, trefilação, forjamento e extrusão. Já o processo de conformação de chapas são operações aplicadas a chapas, tiras e bobinas, englobada nos processos de estampagem e dobramento. A Figura 1, ilustra os principais processos de conformação plástica, expondo a laminação, forjamento, extrusão, trefilação, dobramento e estampagem.

Figura 1 – Processos de conformação.



Fonte – Adaptado Kiminami (2013)

Para Bresciani Filho (2011), a tração do material refere-se ao alongamento dele devido a uma força aplicada em suas extremidades. A compressão, por sua vez, consiste na aplicação de uma força externa que comprime o corpo metálico. O cisalhamento envolve forças opostas que visam cortar o material, enquanto a flexão tende a curvar ou dobrar. E, a torção aplica uma força rotacional sobre uma peça.

Para entender melhor o processo de conformação plástica, Soares e Cavalcanti (2013) abordam diferentes processos detalhando suas características e aplicações:

- **Laminação:** Nesse processo, um tarugo é comprimido entre cilindros, visando reduzir seu diâmetro conforme as especificações de produção. Geralmente, a laminação é realizada a quente, utilizando força de compressão.
- **Forjamento:** Realizado principalmente a quente, o forjamento envolve a aplicação de compressão por meio de martelos ou prensas. No entanto, em casos específicos, como

na produção de peças pequenas, como pinos e parafusos, o forjamento pode ser realizado a frio.

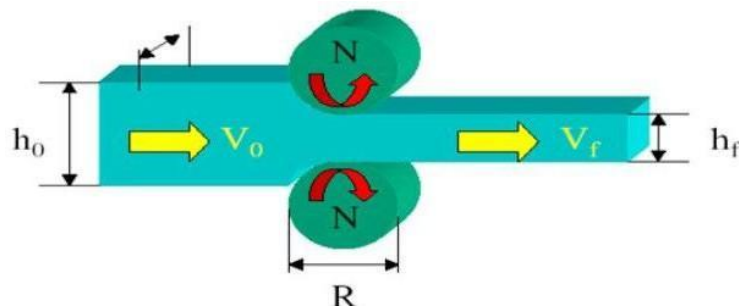
- Extrusão: O material é submetido a forças de compressão elevadas ao ser pressionado através de uma matriz, resultando na redução de sua seção transversal.
- Trefilação: Diferente da extrusão, onde o material é empurrado, na trefilação, o material é puxado, com o objetivo de diminuir seu diâmetro.
- Dobramento: Chapas metálicas finas são submetidas a forças de flexão em direções opostas, resultando em deformação plástica em ângulos, criando um raio de concordância na junção.
- Estampagem: Uma força de compressão, conhecida com punção, é aplicada sobre chapas finas, moldando-as conforme a forma desejada pela matriz.

2.3 Laminação

Segundo Rizzo (2010), a laminação é um processo fundamental na conformação mecânica de materiais, caracterizado pela compressão direta de um corpo sólido entre dois cilindros. Esses cilindros giram na mesma velocidade periférica, porém em direções opostas, o que permite que o material passe entre eles sem que seu volume total seja alterado, ou seja, não ocorre retirada de material durante o processo.

De acordo com Mourão (2007), durante o processo de laminação, a força predominante é a força de atrito, que atua enquanto a peça passa entre os cilindros. Essa força é gerada pelo contato entre as superfícies dos cilindros e da peça, permitindo a conformação desejada, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Representação do processo de conformação mecânica na laminação.



Fonte: (Rizzo, 2010)

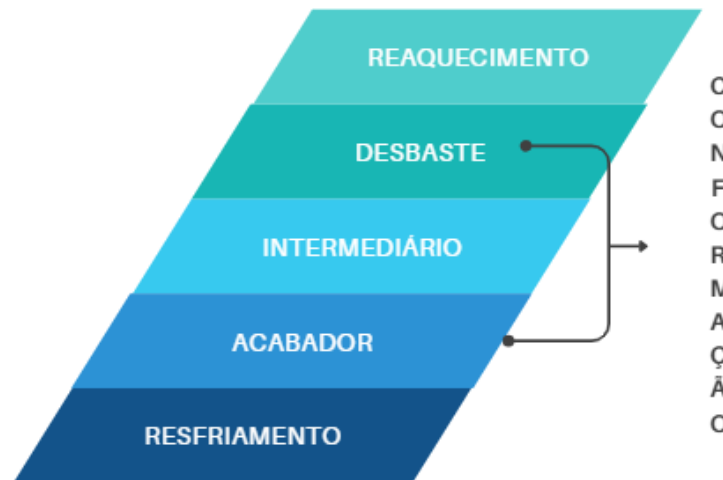
No contexto da laminação de aços longos, a matéria-prima utilizada são os tarugos, que são diretamente encaminhados do processo de lingotamento contínuo na aciaria. Esse fluxo de material garante a continuidade e a eficiência do processo produtivo, possibilitando a obtenção de produtos com as propriedades mecânicas e dimensionais desejadas (Mourão 2007).

A técnica de laminação é amplamente utilizada na indústria para a fabricação de chapas e perfis metálicos, devido à sua capacidade de modificar as propriedades físicas do material, como resistência e ductilidade, além de proporcionar um acabamento superficial uniforme. Assim, o controle preciso dos parâmetros de laminação é crucial para a obtenção de produtos de alta qualidade (Kalpakjian, 2008).

2.3.1 Etapas de laminação

A laminação é um processo dividido em três etapas principais: Reaquecimento, conformação e resfriamento. A etapa de conformação se divide em mais três etapas, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Representação das etapas do processo de laminação.



Fonte: Elaboração do Autor (2024)

A etapa de reaquecimento, tem como objetivo elevar a temperatura do tarugo para uma faixa entre 900°C a 1200°C. Para chegar a essa temperatura os tarugos passam por três zonas de aquecimento distintas dentro de um forno, cada uma com suas próprias temperaturas e tempos de permanência. As zonas são:

- Zona de Pré-aquecimento: com temperatura média de 900°C;
- Zona de Aquecimento: com uma temperatura média de 1100°C;
- Zona de Imersão: com uma temperatura média de 1200°C;

Após o reaquecimento tem-se o processo de conformação, do qual é dividido em três etapas: desbaste, intermediário e acabador. No desbaste são realizadas pequenas reduções com o objetivo de retirar a estrutura grosseira do tarugo, caracterizada por uma configuração irregular com muitos espaços vazios e alta segregação (Coda, 2006). Em resumo, o desbaste tira as imperfeições superficiais da peça de tarugo para a próxima etapa. A Figura 4 ilustra a estrutura grosseira relatada.

Figura 4 – Vazios do tarugo.



Fonte: Elaboração do Autor (2024)

Na fase intermediária, as reduções são maiores e podem chegar até 30%, o que ajuda a moldar o núcleo do material a fim de eliminar os vazios e reduzir a segregação, resultando numa estrutura da peça mais homogênea (Ikeda, 2013). A etapa final da conformação chamada de acabadora, aplica reduções menores de 5% a 9% com o intuito de conferir ao material a forma desejada e garantir as dimensões finais.

No resfriamento, etapa final da laminação, o material laminado passa por transformações importante na microestrutura e nas propriedades. Nessa fase, a temperatura de entrada e saída, além da velocidade de resfriamento, são cuidadosamente controladas (Ikeda, 2013). Rizzo (2010), comenta que há várias opções de resfriamento, como ar, ar forçado ou controle de umidade. A escolha do método afeta diretamente a taxa de resfriamento, que pode ser alta, como no caso do ar forçado, ou baixa, como no resfriamento controlado, a seleção vai depender do material, das propriedades, dos objetivos que se deseja atingir.

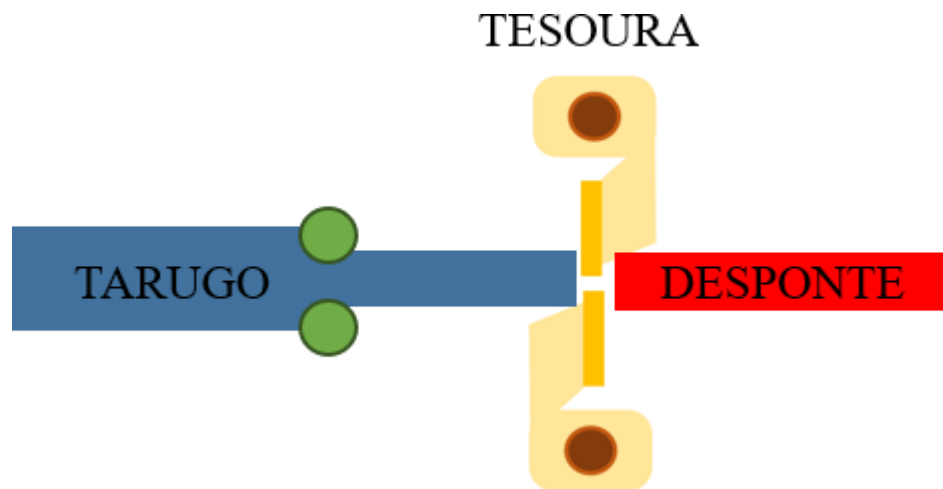
2.3.2 Perdas do Processo de laminação

No contexto da produção industrial, Fernando (2009) classifica as perdas metálicas em dois grupos: perdas inerentes ao processo e perdas acidentais. As perdas inerentes são aquelas que fazem parte do processo e, portanto, não podem ser completamente eliminadas, mas convém minimizá-las. Exemplo delas são, perda ao forno devido a formação de carepa no tarugo, os despontes de cabeça e cauda da barra no processo de laminação e as barras curtas que não atingem o comprimento comercial desejado. Dentro das perdas inerentes, destacam-se:

- Perda ao fogo: Ocorre devido a oxidação da superfície do tarugo, formando óxidos de ferro (Fe_2O_3 e Fe_3O_4). A carepa é gerada em atmosferas oxidantes, principalmente no forno de reaquecimento. Fatores como o tempo de exposição, a pressão interna do forno, a temperatura das zonas e a relação ar/gás influenciam na formação dessa perda (Fernando, 2009);
- Perda na tesoura do desbaste: Esse despoite é necessário para remover no material trincas que comprometem a qualidade do produto. As trincas são amplificadas por cortes irregulares no tarugo, afetando a qualidade do produto quanto no processo (Fernando, 2009);
- Perda na tesoura intermediária: A tesoura intermediária realiza também despontes para eliminar pontas frias e trincas, assegurando a qualidade da barra na última etapa de conformação, que ocorre no trem acabador (Fernando, 2009);
- Perda na tesoura divisora: A barra em processo nem sempre gera um múltiplo inteiro de barras acabadas. A tesoura divisora corta a barra em múltiplos, a fim de eliminar as barras curtas que não tem valor comercial. Porém, como a velocidade de laminação é alta nesta etapa e pode atingir 30m/s, a precisão e confiabilidade do corte são essenciais para evitar perdas metálicas adicionais.

Já as perdas acidentais são resultadas de falhas no processo de equipamentos ou problemas operacionais que geram anomalias no processo, da qual leva à perda de material em processamento. Comumente, essas perdas são classificadas em três grupos: operacionais, elétricas e mecânicas. Ademais, a gestão dessas perdas é um processo contínuo, realizado diariamente com foco em melhorias nos processos existentes (Fernando, 2009). A Figura 5, exemplifica um desenho de um despoite realizado durante o processo de laminação.

Figura 5 – Desenho esquemático de um desponte no tarugo.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

2.4 Metodologia PDCA

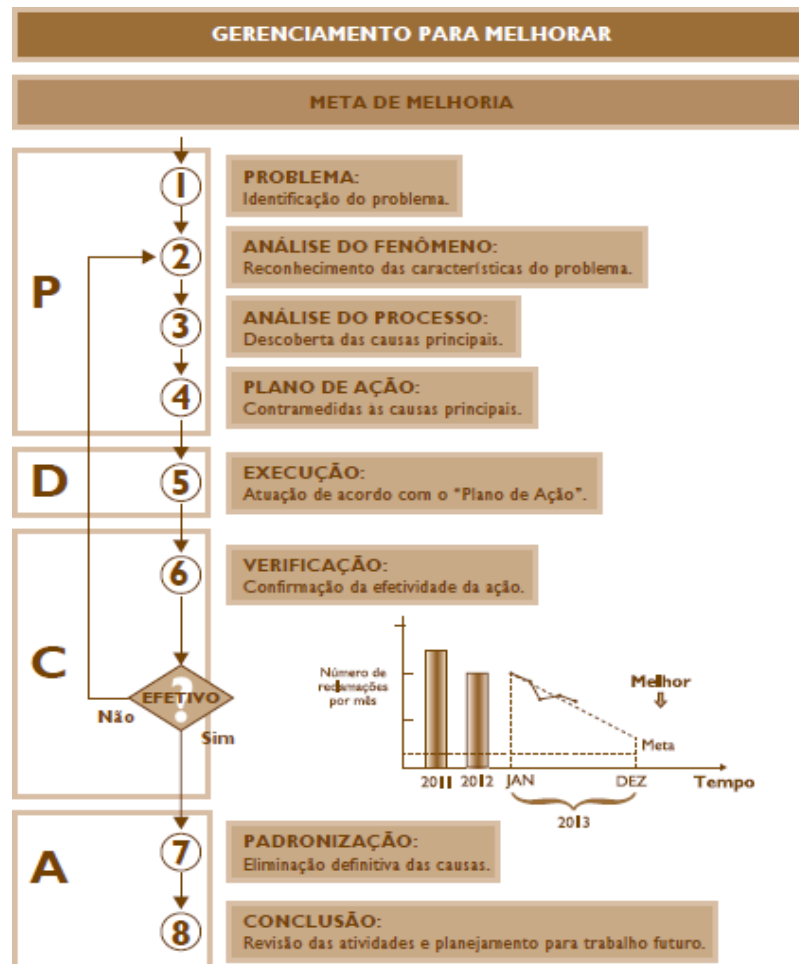
A metodologia PDCA é uma ferramenta essencial para praticar o controle de qualidade dentro de processos. Segundo Ishikawa (1997), o Ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Action) é formado por 4 etapas a seguir:

- i. Planejamento (*Plan*): Etapa que será identificado o problema, em seguida a análise do processo para reconhecer as principais características do problema e, com isso, identificar as causas raízes. Com esse conjunto de informações, deve ser estabelecido um conjunto de ações com objetivo de eliminar as causas fundamentais do problema identificado (Werkema, 2013).
- ii. Execução (*Do*): Etapa de execução das tarefas estabelecidas no plano de ação na etapa Plan. Além da coleta de dados para a etapa Check (Werkema, 2013).
- iii. Verificação (*Check*): Nessa etapa deve ser verificado a efetividade das ações realizadas na etapa Do ao analisar os dados coletados após a aplicação das ações definidas anteriormente (Werkema, 2013).
- iv. Agir (*Action*): Na última etapa do ciclo PDCA consiste na padronização das ações que foram efetivas para a resolução do problema (Werkema, 2013).

A Figura 6 mostra um resumo da aplicação da metodologia PDCA para alcançar metas de melhorias. Além disso, é necessário enfatizar que é necessário integrar ferramentas da qualidade as etapas do Ciclo PDCA, das quais exercem a função de instrumento para análise de

dados, definição de causas raízes e processamento de dados para a manutenção de todo o ciclo durante sua aplicação.

Figura 6 – Esquema do Ciclo PDCA utilizado para alcance das metas de melhoria.



Fonte: Adaptado de Werkema (2013)

2.5 Ferramentas da qualidade

A qualidade se tornou uma ferramenta fundamental de competitividade para empresas de todos os setores. Fonseca (2006), afirma que a princípio a qualidade era vista como conformidade as especificações e, passou para uma visão de atendimento as necessidades do cliente. O que, por sua vez elevou os fatores antes considerados apenas como simples especificações técnicas, para o objetivo de satisfazer o cliente.

No presente, entende-se que a qualidade não busca apenas a satisfação do cliente, mas, de todo o público envolvido dentro de um processo. De acordo com Paladini (2000), a definição de qualidade envolve múltiplos elementos e com diferentes níveis de importância (Érika, 2014).

Lucinda (2010), destaca a crescente complexidade das operações das organizações torna mais difícil a resolução de problemas. Na contemporaneidade, a solução de problemas requer uma abordagem multidisciplinar, o que torna relevante o trabalho em equipe, pois por mais sábia e competente a pessoa seja, não conseguirá lidar com as questões complexas sozinha. Nesse contexto, as ferramentas da qualidade desempenham um papel fundamental ao melhorar as habilidades e competências da equipe, fornecendo métodos e técnicas para resolução dos problemas identificando as causas potenciais e desenvolvendo soluções.

As ferramentas da qualidade são instrumentos que, por meio de seus dados, ajudam a identificar, analisar, compreender e criar soluções dos problemas, a fim de eliminá-los. Godoy (2009) define as ferramentas da qualidade como todos os processos usados para alcançar melhorias e resultados positivos. Muitas dessas ferramentas são representadas por instrumentos gráficos que tornam mais claro a questão a ser analisada e resolvidas, outras consistem em técnicas focadas na abordagem do problema (Vergueiro, 2002)

2.5.1 Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é uma ferramenta gráfica utilizada para organizar as causas dos problemas de maneira que se possa priorizar a resolução mais significativa. O diagrama de Pareto foi criado pelo sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto em 1897, ele é composto por barras verticais que representam a frequência das ocorrências (do maior para o menor), o que facilita a identificação das principais causas (Trivelatto, 2010).

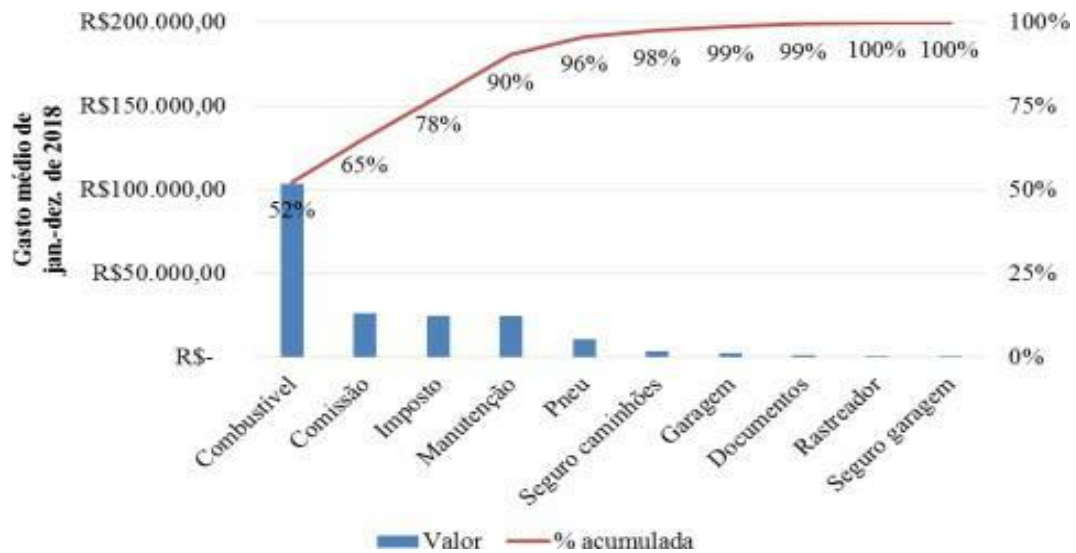
Avelar (2008) também explica que o Diagrama de Pareto é uma ferramenta crucial para organizar as causas de perdas em processos produtivos, auxiliando a determinar quais problemas devem ser resolvidos primeiro com base na sua importância. Kune (1993) vem complementando que os problemas de qualidade, geralmente, se manifestam como perdas, e essas, maior parte pode ser atribuída a uma quantidade limitada de causas.

Com isso, no contexto organizacional, a ferramenta do gráfico de Pareto é amplamente utilizada para mostrar que a maioria dos problemas de qualidade (aproximadamente 80%) são causados por uma menor quantidade de motivos (aproximadamente 20%) (Alvarez, 2001). Essa relação 80/20 conhecida como o princípio de Pareto é, essencial para direcionar esforços e recursos de forma eficiente.

Segundo Ramos (2000), reforça que o Pareto é útil quando há inúmeras parcelas de problemas a serem resolvidos, porém, os recursos limitados. Dessa forma, o gráfico ajuda na

priorização das ações a serem tomadas estejam concentradas nas áreas que terão maior impacto na melhoria da qualidade. Abaixo na Figura 7 temos uma representação do gráfico de Pareto.

Figura 7 – Exemplo do gráfico de Pareto.



Fonte: Luís, J. (2019)

Em síntese, o gráfico de Pareto é uma ferramenta da qualidade indispensável pois, proporciona uma abordagem sistêmica para identificação e priorização de problemas. O que permite uma gestão mais eficaz dos recursos na busca pela otimização dos processos organizacionais.

2.5.2 Brainstorming

O *brainstorming* é uma ferramenta de criatividade amplamente utilizada na fase de planejamento de projetos, desempenhando um papel crucial na busca por soluções inovadoras para problemas específicos. Criado por Alex Osborn em 1939, o método foi descrito como "usar o cérebro para tumultuar um problema" (Osborn, 1987), uma definição que capta a essência da técnica. Popularmente conhecido como "tempestade de ideias", o *brainstorming* incentiva a geração de múltiplas ideias em um ambiente colaborativo, permitindo que participantes explorem diversas perspectivas antes de afunilar as opções para encontrar as soluções mais viáveis.

A dinâmica do *brainstorming* sugere que um grupo de pessoas de diversas áreas e vivências diferentes se reúnam para ajudar e contribuir na "tempestade de ideais", essa diversidade enriquece o método com diferentes *insights*. Com isso, formarão sugestões e discussões abrangentes que no final ajudará na evolução de uma solução inovadora e abrangente

para o problema. Vale ressaltar que nenhuma ideia inicialmente é descartada, todas são ouvidas e registradas, para evoluir até a solução efetiva.

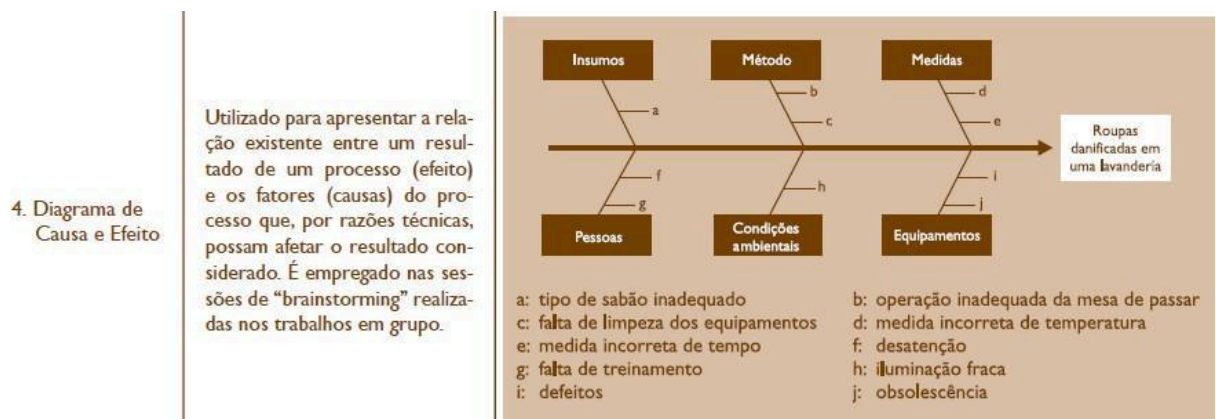
Segundo Osborn (1987), a "sabedoria da ideação abundante" sugere que a quantidade de ideias geradas pode levar à qualidade das soluções encontradas. Ao explorar todas as possibilidades e probabilidades de resolução de um problema, surgem novas combinações e perspectivas. Essa acumulação de alternativas é particularmente eficaz na concepção de novos produtos. A experimentação das ideias, por meio da criação de esboços, é uma prática que pode resultar em novos designs e protótipos inovadores. Essa abordagem enfatiza a importância de gerar uma ampla gama de ideias iniciais para, posteriormente, refiná-las em soluções criativas e eficazes.

2.5.3 Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe, foi criado pelo japonês Ishikawa. A ferramenta tem como objetivo mapear as possíveis causas do problema de forma simples, agrupando-as em famílias para melhor análise.

Bernardo (2022), descreve que podem ser definidos grupos básicos em função do tipo de problema que está sendo analisado. Geralmente, para problemas de natureza operacional são sugeridos os grupos básicos: máquinas, materiais, mão de obra, método, meio ambiente. A Figura 8, mostra a visão representativa do diagrama com os grupos básicos em cada espinha de peixe.

Figura 8 – Visão geral do diagrama de Ishikawa.



Fonte: Adaptado de Werkema (2013)

Para Werkema (1995), o diagrama de causa e efeito é uma ferramenta valiosa para ilustrar a relação entre o resultado de um processo e os fatores que podem ter influenciado esse

resultado. No contexto dessa metodologia, parte-se do princípio de que todo problema possui causas específicas que precisam ser investigadas e analisadas individualmente.

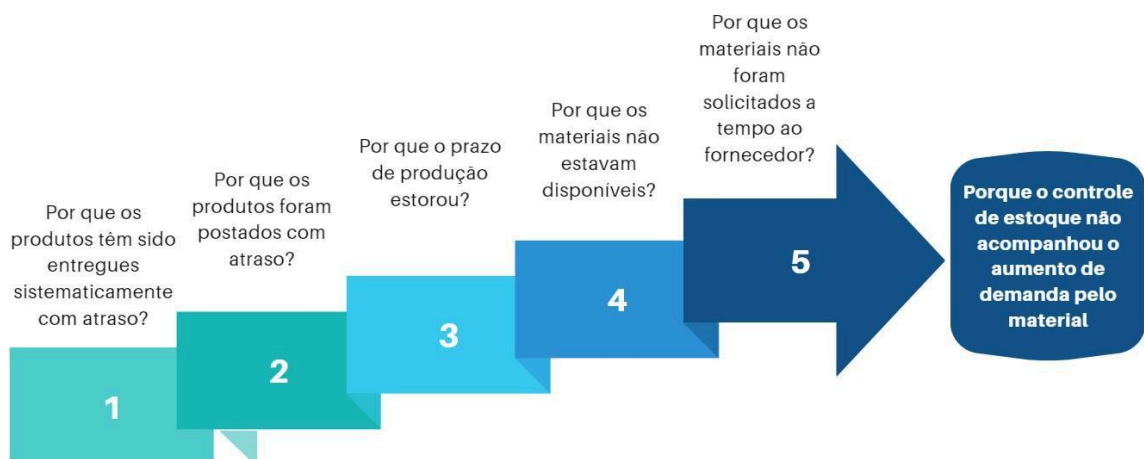
A montagem do diagrama é educativa, Bernardo (2022) descreve que exige um esforço de hierarquização das causas identificadas, além do mais é interessante que essa montagem seja feita por meio de um *brainstorming* com as pessoas envolvidas. Com isso, o foco será no problema e vai levando uma conscientização da solução, assim, é realizada uma pesquisa efetiva das causas evitando desperdício de tempo com aspectos não relacionados ao problema.

2.5.4 5 porquês

Os “5 porquês” é uma técnica que consiste em realizar 5 perguntas consecutivas em busca da causa raiz do problema. Essa técnica foi desenvolvida por Taiichi Ohno, criador do Sistema Toyota de Produção. A essência do método reside na repetição da pergunta “por que?” cinco vezes, o que geralmente direciona para a origem do problema. (Slack, 2018)

Slack (2018), complementa que as perguntas realizadas vão em busca de entender o motivo da ocorrência de um determinado problema. E, com essa abordagem é possível identificar padrões negativos e revelar dados ocultos, que permite elaborar ações corretivas e melhorias significativas. A Figura 9, destaca a simplicidade e eficácia da ferramenta para desvendar as causas de um problema específico.

Figura 9 – Exemplo da aplicação dos 5 porquês.



Fonte: Adaptado Sartori (2023)

2.5.5 5W2H

O nome “5W2H” de acordo com Lucinda (2016), representa sete iniciais de perguntas em inglês que ajudam a eliminar dúvidas sobre o que deve ser feito: “quem?”, “o quê?”, “por

que?”, “onde?”, “quando?”, “como?” e “quanto?”. Dessa forma, é possível determinar as ações e direcioná-las para os responsáveis, além de, estipular prazos, custos e justificar cada tarefa.

Lucinda (2016) ainda contribui em suas falas que esse método funciona como um *checklist* de atividades bem definidas, da qual auxilia no planejamento e na organização das tarefas de um projeto. Com ela, é possível resumir as tarefas definidas e realizar a distribuição das responsabilidades para os envolvidos. Dessa forma, definido os elementos do plano de ação e estabelecendo prazos para sua execução. Araujo (2017), afirma também que o 5W2H é essencial para estruturas de forma clara e precisa as ações necessárias na implantação de melhorias.

A fim de ilustrar a eficácia do 5W2H, Roratto (2013) utilizou a ferramenta para desenvolver seu estudo “GESTÃO DA QUALIDADE: APLICAÇÃO DA FERRAMENTA 5W2H COMO PLANO DE AÇÃO PARA PROJETO DE ABERTURA DE UMA EMPRESA”.

No seu estudo que seguiu o método pesquisa-ação, eles abordaram tanto fases preparatórias como exploratórias, definindo o problema e buscando soluções práticas como base na literatura (Alves, 2021). A Figura 10 apresenta um exemplo de aplicação da ferramenta.

Figura 10 – Exemplo da aplicação dos 5W2H.



Fonte: PIBLI (2021)

2.6 Indicadores (*KPI's*)

De acordo com Ferreira (2019), os indicadores de desempenho são classificados em duas categorias principais. A primeira fornece uma análise do sucesso das estratégias já implementadas, refletindo eventos passados. Já a segunda categoria oferece *insights* que podem direcionar ou influenciar o desempenho futuro da empresa, permitindo que os profissionais adotem medidas preventivas para maximizar a probabilidade de alcançar objetivos estratégicos.

Parmenter (2015) detalha que os indicadores podem ser divididos em três níveis: Indicadores Chave de Resultados (KRI); Indicadores de Desempenho (PI) e Indicadores Chave de Desempenho (KPI). Os KRI's são utilizados para avaliar o desempenho em períodos mais longos, como mensal ou trimestralmente, e indicam se a empresa está na direção correta. Os PI's focam em períodos mais curtos e em atividades específicas, proporcionando uma visão mais detalhada e imediata do desempenho. Por fim, os KPI's representam um conjunto de métricas para o sucesso atual e futuro da organização, sendo fundamentais para a gestão estratégica.

Borges e Carvalho (2011) explicam que, em inglês, a sigla KPI significa "*Key Performance Indicator*", traduzido para o português como "Indicadores Chave de Desempenho". Esses indicadores são ferramentas cruciais para a avaliação do desempenho organizacional, cujas métricas devem ser comparadas com metas previamente estabelecidas. Prado (2019) reforça que as empresas utilizam os KPI's para medir seu progresso, evidenciando a eficácia com que atingem seus objetivos.

Segundo Batista (2011), a necessidade de medir os efeitos desejados nas organizações impulsionou a criação dos KPI's. Estes indicadores permitem quantificar o desempenho de uma empresa, auxiliando os gestores a compreenderem melhor os resultados de suas ações, e a determinarem o desempenho dos funcionários e departamentos. Por essa razão, os KPI's são amplamente adotados por grandes empresas, pois simplificam a verificação do desempenho organizacional, utilizando um número reduzido de indicadores chave e facilitando o processo de avaliação e melhoria contínua.

2.6.1 *Rendimento metálico*

Lopes (2016) afirma que o rendimento metálico é um dos principais indicadores de processo de laminação de longos, uma vez que tem influência direta na redução do custo de produção, sendo fundamental no atual cenário econômico da siderurgia brasileira. Em função

disso faz-se necessário identificar as principais causas de perdas metálicas para aumentar o índice desse indicador.

Fernandes (2020) reforça que o rendimento metálico é uma das variáveis determinantes na busca por resultados satisfatórios dentro dos KPI's e se dá pela razão entre o peso capturado do produto na balança no final do processo, pelo peso do tarugo empregado no início do processo como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Razão para calcular o rendimento metálico.

$$\text{Rendimento Metálico: } \frac{\text{Peso do produto final}}{\text{Peso do tarugo}} \% (1)$$

Fonte: Fernandes (2020)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão detalhadas a metodologia empregada na coleta de dados deste trabalho de conclusão de curso, incluindo a caracterização e a delimitação da pesquisa. Primeiramente, será abordado seus métodos, apresentado a natureza da pesquisa objetivos e procedimentos técnicos. Em seguida, serão descritas as etapas essenciais para a execução do trabalho.

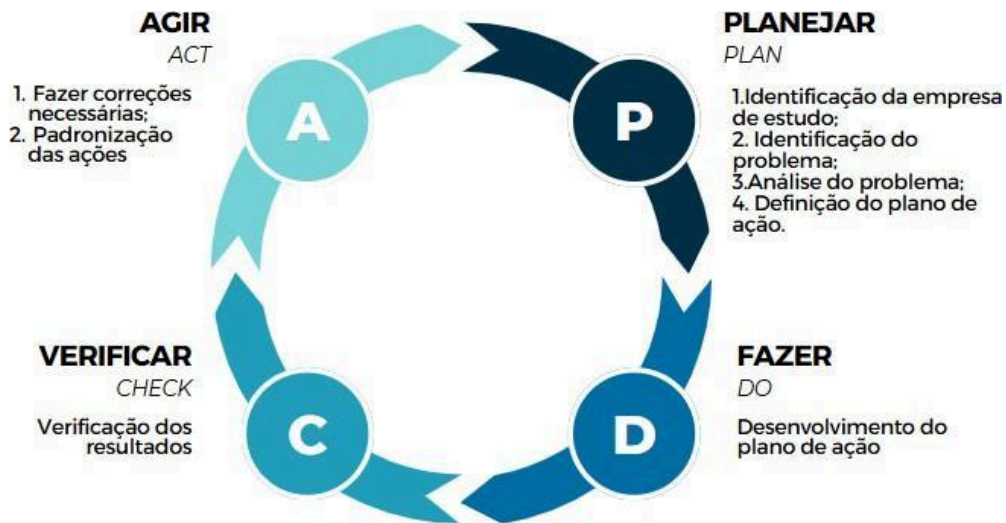
3.1 Procedimento metodológico

O presente trabalho aborda um tema no contexto industrial para o aumento de rendimento metálico em uma laminação utilizando a metodologia PDCA. Para alcançar os objetivos propostos seguiremos etapas ao longo da pesquisa.

Inicialmente, será realizada uma análise crítica do processo atual de laminação, com foco na identificação de fatores que impactam negativamente o rendimento. Essa etapa incluirá a coleta de dados referentes ao fluxo de trabalho, perdas de material e, outras variáveis operacionais críticas.

Em seguida, dentro do ciclo PDCA na fase de planejamento (*plan*), serão identificadas oportunidades de otimização com base nos dados coletados. Na fase de execução (*do*), as ações planejadas serão implementadas no ambiente de produção. A fase de verificação (*check*) envolverá a comparação dos resultados antes e depois das mudanças, utilizando as métricas de desempenho do rendimento. E, por fim, na fase de ação (*act*), serão realizadas as correções se necessárias e consolidar as melhorias. A Figura 12 representa cada etapa do ciclo PDCA e as atividades que deverão ser realizadas a cada passo da metodologia proposta.

Figura 12 – Metodologia PDCA.



Fonte: Elaboração do Autor (2025)

Ao final deste trabalho, espera-se mostrar de maneira clara e fundamentada a importância de aplicar a metodologia PDCA e as ferramentas da qualidade para o aumento de rendimento metálico no processo de laminação, evidenciando os benefícios operacionais resultantes das melhorias implementadas.

3.1.2 Planejamento (Plan)

Na primeira etapa, será realizada uma descrição da siderúrgica localizada no Ceará, com ênfase na área de laminação de aços longos. Essa unidade de negócios ocupa uma posição estratégica dentro do cenário industrial, sendo uma das principais geradoras de valor para empresa.

Em seguida, ainda no planejamento, serão realizadas as etapas de identificação e análise do problema utilizando gráficos com o histórico do indicador, além do suporte das ferramentas da qualidade. O gráfico de Pareto ajudará a identificar as principais perdas e determinar os pontos críticos que precisam de intervenção. O *brainstorming* fará o levantamento das possíveis causas, que serão posteriormente classificadas em famílias por meio do diagrama de causa e efeito. A partir dessa classificação, a ferramenta dos 5 porquês será aplicada para identificar a causa raiz do problema. Além disso, será definido o plano de ação (5W2H) a partir da causa raiz encontrada.

3.1.3 Execução (Do)

Com as informações citadas anteriormente, a execução consistirá em aplicar as ações definidas na etapa de planejamento para que a organização atinja os objetivos definidos. Ademais, o plano de ação foi estruturado com o auxílio da ferramenta *5w2h*, com o objetivo de definir um caminho claro e organizado a ser seguido. O uso dessa ferramenta permitiu desdobrar as atividades de forma mais clara, determinando o que deve ser feito, por que, por quem, quando, onde, como e quanto custa cada ação definida. Essa abordagem facilitará a implementação das ações necessárias e a eficácia em cada etapa.

3.1.4 Checar (check)

Em seguida, serão atualizados os resultados do indicador por bitola produzida bem como o indicador global de rendimento e realizada a verificação de eficácia após a implementação das ações. Para a etapa de verificação do ciclo PDCA, a análise dos resultados foi conduzida de forma dupla: O rendimento por bitola e o rendimento global (tudo o que foi produzido).

Será acompanhado diariamente o indicador nas reuniões diárias de desempenho, para possibilitar uma visão em tempo real dos resultados, o que irá facilitar a identificação de desvios e a implementação de ações corretivas quando necessário. Nessas reuniões, serão compartilhados os dados e discutida as tendências observadas, a fim de garantir que as ações planejadas foram alinhadas com os objetivos estratégicos de produção.

A abordagem integrada, que combinada com a análise individual por bitola com o monitoramento diário e a observação do indicador global, trouxe uma visão abrangente do processo produtivo.

3.1.5 Agir (Act)

Na última etapa descreverão os detalhes das melhorias implementadas com base na análise dos indicadores e na verificação dos resultados ao longo do processo. As ações adotadas terão como foco principal a otimização dos parâmetros operacionais, a redução de perdas metálicas e o aprimoramento do controle de processo na laminação.

As medidas que irão se destacar serão os ajustes de parâmetros de operação para as bitolas, a revisão dos procedimentos e a padronização das boas práticas operacionais, garantindo maior uniformidade na produção. Além disso, reforçará o treinamento da equipe,

ênfatizando a importância do controle dos indicadores e da atuação proativa na identificação de desvios.

O monitoramento contínuo permitirá validar a eficácia das mudanças, ao demonstrar melhorias no rendimento metálico e no desempenho geral do processo. Essas ações reforçará o compromisso com a melhoria contínua, garantindo boas práticas a serem implementadas e mantidas, tornando-o o processo de laminação opere de forma cada vez mais eficiente e sustentável.

3.2 Classificação e definição da pesquisa

Segundo Ganga (2012), é possível classificar uma pesquisa científica com base em quatro critérios principais: natureza dos resultados, propósito, abordagem dos dados e procedimentos técnicos.

Em relação a natureza dos resultados a pesquisa se enquadra como aplicada visto que buscará propor ações para a resolução do problema. O que, por sua vez, corrobora com Lakatos (2021), que afirma que a pesquisa aplicada possui interesse prático, ou seja, que as ações sejam realizadas para resolução das causas que ocorre na realidade.

A pesquisa será classificada como descritiva, Silva & Menezes (2000) diz que a pesquisa descritiva visa mostrar as características de determinada população ou fenômeno ou estabelecimento de relações entre variáveis e envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados, como questionário e observação sistemática.

Com isso, utilizará junto uma abordagem que emprega o método quantitativo para explorar o problema em questão. Segundo Matias-Pereira et al. (2016), o método quantitativo se distingue pela aplicação da quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento dos dados, o que caracteriza esta pesquisa como específica de campo.

Lakatos (2021) aponta que a fase da coleta de dados da pesquisa representa o início da aplicação dos instrumentos desenvolvidos e das técnicas escolhidas, com o objetivo de executar a coleta de dados conforme o planejamento estabelecido. A coleta de dados é uma etapa crucial em qualquer estudo que vise a otimização de processo, pois ela é fundamental para obter informações precisas e relevantes para a análise.

No contexto deste trabalho, que busca aumentar o rendimento metálico no processo de laminação utilizando a metodologia PDCA, a coleta de dados é especialmente importante. Ela

permite identificar os pontos críticos do processo de laminação, analisar as perdas e ineficiências, e fornecer uma base sólida para a implementação de ações corretivas que possa maximizar o aproveitamento do material metálico e melhorar o desempenho geral do processo.

3.3 Técnica de coleta de dados

Nesse contexto, a coleta é essencial para qualquer trabalho voltado para otimização de processo, especialmente no estudo de aumento de rendimento metálico no processo de laminação utilizando a metodologia PDCA. Ela permitirá identificar oportunidades de melhoria, aumentar a eficiência e minimizar as perdas de material durante o processo de laminação.

A aplicação do PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) depende fortemente da obtenção de dados precisos e confiáveis sobre cada etapa do processo de laminação. No ciclo “*Plan*”, a coleta de dados servirá como base para o planejamento de ações que visem a redução das perdas metálicas e o aumento do rendimento. No ciclo “*Check*”, esses dados serão fundamentais para monitorar e avaliar o impacto das ações implementadas, identificando gargalos e pontos de melhoria.

Diversas ferramentas serão utilizadas para a coleta, incluindo planilhas de controles, gráficos, cronogramas de atividades, câmera fotográfica para documentação visual do processo e análise do planejamento da produção. Além disso, serão realizadas entrevistas com os operadores de cada estágio da laminação para obter informações qualitativas sobre as práticas operacionais e potenciais fontes de perdas.

Essas técnicas serão adotadas para garantir uma abordagem abrangente e precisa, permitindo que o estudo identifique com clareza os fatores que influenciam o rendimento metálico e, assim, viabilize a implementação de melhoria contínua por meio da metodologia PDCA.

3.4 Análise dos dados coletados

Após a coleta e a obtenção dos resultados, o próximo passo é a análise e interpretação dessas informações, o que constitui o núcleo central da pesquisa, conforme apontados por Lakatos (2021). Esse processo de análise é fundamental para entender os dados coletados, identificar tendências, e correlacioná-los com os objetivos do presente trabalho, possibilitando uma compreensão aprofundado dos fatores que impactam o RM (rendimento metálico).

Nesse estudo, a análise dos dados se concentrará na avaliação da eficácia das ações implementadas em cada etapa do ciclo PDCA. A partir dessa análise, será possível verificar a aplicabilidade das teorias e técnicas empregadas para identificar as causas de perdas metálicas, otimizar o fluxo do processo e reduzir desperdícios.

A análise de dados desempenha um papel central em um trabalho que busca a otimização de processos industriais, como o de laminação. A coleta sistemática de dados e sua análise permite identificar padrões, correlações e causas subjacentes, orientando decisões estratégicas e ajuste. É por meio dessa análise que a organização pode transformar dados em ações concretas, aumentando a eficiência do processo de laminação, reduzindo custos, minimizando perdas e, aumentando, consequentemente, o RM.

Portanto, a análise dos dados levantados neste trabalho será realizada para validar as ações propostas pela metodologia PDCA, assegurando uma abordagem baseada em evidências que permita o aprimoramento contínuo do processo de laminação e o aumento do rendimento metálico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação do estudo, seguindo a metodologia apresentada anteriormente, juntamente, com as considerações pertinentes em cada etapa.

4.1 Descrição da empresa

A empresa da qual foi realizado o estudo é uma siderúrgica localizada no município de Maracanaú, no estado do Ceará, numa unidade que opera há mais de 40 anos. A organização é considerada a maior multinacional brasileira no setor de produção de aço, atende a uma ampla gama de setores, como construção civil, indústria automotiva, maquinários, naval, energia, entre outros setores. Além disso, reconhecida por ser uma das maiores recicladoras de sucata ferrosa da América Latina transformando milhões de toneladas de sucata em aço, refletindo seu compromisso com a sustentabilidade e a inovação no setor industrial.

A principal área dessa unidade é a laminação, da qual tem um laminador de trabalho a quente composto por um forno de reaquecimento, onze gaiolas de laminação (que abrange desbaste, trem intermediário e trem acabador), uma tesoura de desponete (T1), uma tesoura divisora (TD), um leito de resfriamento e a uma tesoura de corte a frio (TCF).

As tesouras, T1 e TCF mais as barras curtas (sobras de corte da última barra) representam pontos de perdas no processo que afetam diretamente o rendimento metálico. A aplicação do PDCA permitiu uma melhor compreensão das perdas e a implementação de melhorias, visando otimizar o uso de tarugo.

4.2 Aplicação do Ciclo PDCA

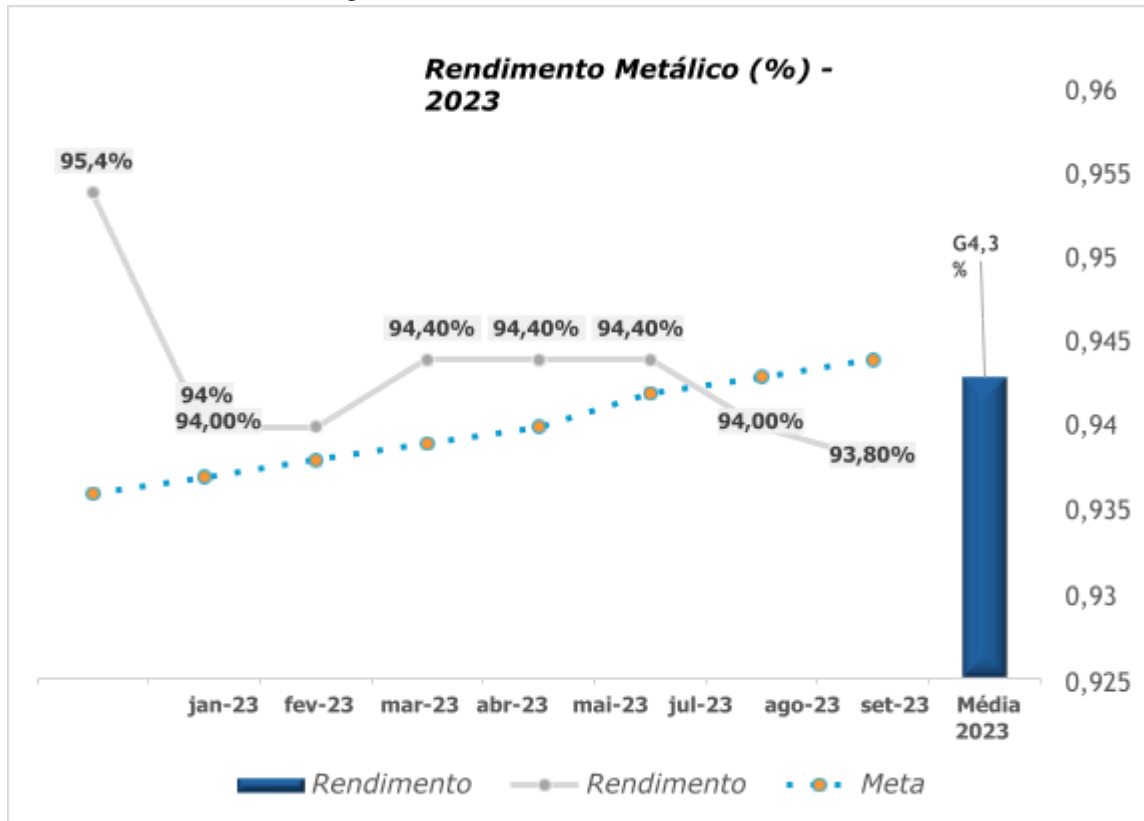
4.2.1 Identificação do problema (Plan)

O rendimento metálico é um KPI de performance muito importante dentro de um processo de laminação, sendo necessário o acompanhamento desse indicador para medir a performance e garantir resultados satisfatórios.

A Figura 13, apresentada abaixo, ilustra o comportamento do indicador ao longo de 2023. Em janeiro o rendimento estava com 95,4%, uma performance acima da meta planejada definida pela empresa com base nos históricos dos anos anteriores. No entanto, no mês de fevereiro já se verificou uma queda evidente de 1,4%, mantendo-se entre 94% a 94,4% até julho,

e caindo ainda mais para 93,8% em setembro. Diante essa análise, a oscilação do indicador demonstrou a necessidade de implementar um projeto estratégico para melhorar o rendimento metálico e, assim, manter o controle do processo. É importante destacar que os meses (outubro a dezembro) sem resultados do KPI são meses de paradas programada.

Figura 13 – KPI de Rendimento Metálico 2023



Fonte: Autor (2024)

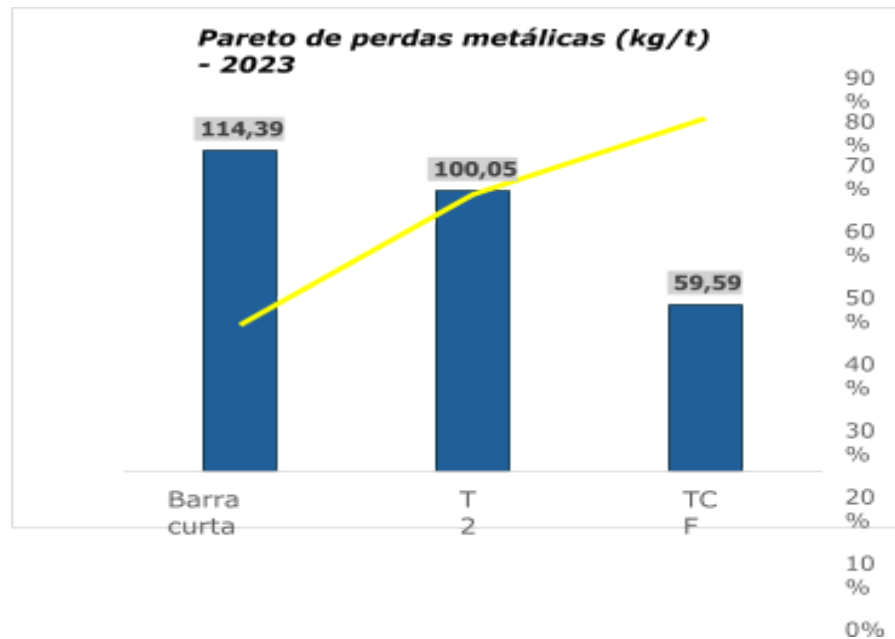
Como esse indicador mostra a porcentagem do tarugo que se transforma em produtos laminados e, conseqüentemente, não atinge 100% se faz necessário entender onde estão essas perdas e quantificá-las para identificar a causa raiz da variação do KPI.

4.2.1.1 Análise do problema

Conforme mencionado anteriormente, as perdas metálicas no processo de laminação estão concentradas em três principais pontos: T1, TCF e Barras Curtas (BC). Para uma análise precisa, os dados de perdas foram registrados e pesados diariamente, permitindo a construção do gráfico de Pareto apresentado na Figura 14. Vale ressaltar, que a aplicação do Pareto foi com foco nas três perdas pontuadas acima, a fim de direcionar os esforços para a maior perda metálica.

A Figura 14 demonstra a distribuição das perdas ao longo de 2023, evidenciando que a maior parcela de perda metálica está associada às barras curtas, com um valor de 114,39 kg por tonelada produzida. Esse dado reforça a necessidade de uma investigação aprofundada sobre os fatores que contribuem para essa perda significativa.

Figura 14 – Pareto de perda metálica - 2023

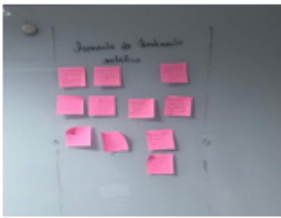


Fonte: Autor (2024)

Com o objetivo de identificar as possíveis causas do problema, foi conduzida uma sessão de *brainstorming* com cerca de 10 operadores da laminação, distribuídos em operadores de cabine e operadores de piso, conforme ilustrado na Figura 15. Durante essa atividade, a líder do projeto e quatro operadores participaram ativamente, buscando responder à seguinte questão de partida: “Por que temos um baixo rendimento metálico?”.

Figura 15 – *Brainstorming*.

1 - Participantes:

Lider do projeto	Registro 
Operador Cabine 1	
Operador Cabine 2	
Operador Piso 1	
Operador Piso 2	

2 - Pergunta de partida: Por que temos um baixo rendimento metálico

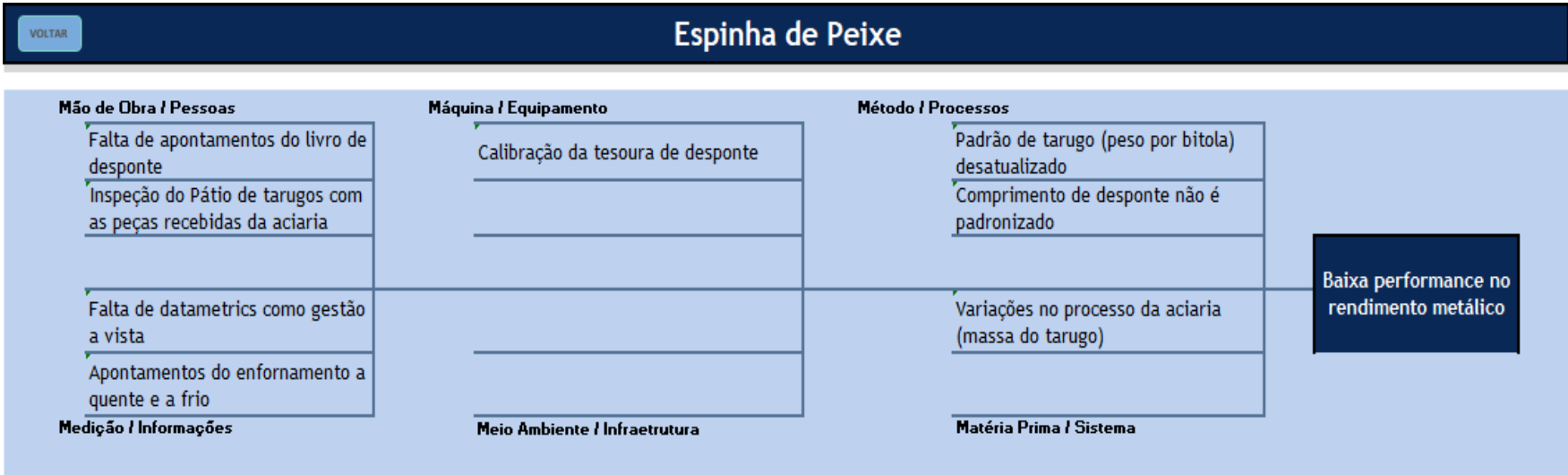
Relação de causas que podem estar provocando o problema		Marque um X nas causas primárias
1	Padrão de tarugo (peso por bitola) desatualizado	x
2	Falta de datametrics como gestão a vista	
3	Apontamentos do enformamento a quente e a frio	x
4	Variações no processo da aciaria (massa do tarugo)	x
5	Falta de apontamentos do livro de desponte	
6	Comprimento de desponte não é padronizado	x
7	Inspeção do Pátio de tarugos com as peças recebidas da aciaria	
8	Calibração da tesoura de desponte	x

Fonte: Autor (2024)

A partir dessa discussão, foram levantadas oito possíveis causas para o problema, sendo que algumas foram destacadas como causas primárias por meio de consenso da equipe e análise do cenário operacional da laminação. Essas causas foram devidamente sinalizadas na Figura 15 e serão priorizadas no plano de ação mais a frente para mitigação do problema.

Posteriormente, todas as causas identificadas no *brainstorming* foram organizadas na Espinha de Peixe abaixo, Figura 16, categorizando-as dentro das principais famílias de problemas.

Figura 16 – Espinha de peixe.



Fonte: Autor (2024)

Como a maioria dos fatores identificados possuem origem operacional, aplicou-se a ferramenta dos 5 Porquês às causas primárias, permitindo um aprofundamento na análise da raiz do problema e facilitando a definição de contramedidas eficazes para a melhoria do rendimento metálico.

Por conseguinte, a aplicação da ferramenta 5 Porquês, conforme apresentado no Quadro 1, permitiu a identificação de quatro causas raízes que impactam diretamente a baixa performance do rendimento metálico. São elas:

1. **Necessidade de realizar novas simulações para os tarugos** – Realizar as simulações são essenciais para garantir parâmetros otimizados e minimizar perdas no processo de laminação;
2. **Calibração das tesouras de desponte** – A falta de calibração adequada pode resultar em cortes imprecisos, aumentando o desperdício de material;
3. **Restabelecimento da pesagem da balança de entrada do forno da laminação** – A precisão na medição do peso dos tarugos é fundamental para o controle do rendimento e balanceamento do processo;
4. **Ajuste no sistema para zerar os estoques conforme os tarugos são enfiados a quente** – A atualização do sistema possibilita um controle mais eficiente dos estoques e evita divergências nos registros de material processados.

As quatro causas identificadas serviram como base para a elaboração do Plano de Ação, apresentado no Quadro 2, utilizando a metodologia *5W2H*. Neste plano, foram estabelecidas as ações necessárias para solucionar os problemas detectados, definindo responsáveis, prazos e recursos. Conforme as diretrizes da empresa, a coluna referente aos custos não será exposta.

Quadro 1 – 5 porquês

5 Porquês Baixa Performance de Rendimento metálico					
N°	Descrição do Problema	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
1	Comprimento de desponte não é padronizado	Cada colaborador desponta do tamanho que acha melhor	Não tem definido um número máximo do comprimento do desponte	Padrão está desatualizado após mudanças na massa linear dos tarugos	Tem que ser realizada novas simulações para os tarugos
2	Calibração da tesoura de desponte	Gera excesso de barra curta e despontes	Identificado desposte de vários tamanhos	Calibração da tesoura com validade vencida	
3	Variações no processo da aciaria (massa do tarugo)	Há diferenças de barras curtas para o tarugo do veio 1 e 2	Falta de ajustes dos operadores da aciaria	Não é possível pesar cada tarugo que sai do lingotamento contínuo	A balança de entrada do forno da laminação não está pesando cada tarugo que entra
4	Padrão de tarugo (peso por bitola) desatualizado	Gera excesso de barra curta e despontes	Tem que ser realizada novas simulações para os tarugos longos		
5	Falta de apontamentos do enformamento a quente e a frio de tarugos	Operação está usando o tarugos disponível no estoque independente do peso	Apontamentos gerando furos no estoque dos tarugos	Sistema estava com uma falha de interpretação e não zerava o estoque dos tarugos que eram enformados a quente	

Fonte: Autor (2024)

Quadro 2 – Plano de Ação (5W2H).

Plano de Ação das Ações Escolhidas							
Descrição do Problema	Por quê? (Causa raiz)	O Que? (Tarefa específica)	Como? (Detalhamento)	Onde?	Quem?	Quando?	Status
Padrão de tarugo (peso por bitola) desatualizado	Tem que ser realizada novas simulações para os tarugos	Realizar a simulação para cada bitola produzida na laminação.	Simular na planilha de comprimidos	Na laminação	Líder do projeto	Novembro - Dezembro 2023	Realizada
Comprimento de desponte não é padronizado							
Calibração da tesoura de desponte	Calibração da tesoura com validade vencida	Realizar calibração das tesouras do trem de laminação	Empresa de calibração de máquinas	Trem intermediário e acabador	Empresa de calibração	Novembro - 2023	Realizada
Variações no processo da aciaria (massa do tarugo)	A balança de entrada do forno da laminação não está pesando cada tarugo que entra	Reestabelecer a pesagem da balança para o supervisor dos pultinistas	Manutenção realocar modelo de pesagem e empresa de calibração calibrar a balança	Forno	Manutenção	Outubro - 2023	Realizada
Falta de apontamentos do enformamento a quente e a frio de tarugos	Sistema estava com uma falha de interpretação e não zerava o estoque dos tarugos que eram enformados a quente	Empresa X, entrar nos sistemas e realizar a correção da lógica de enformamento a quente e a frio	Abrir chamado para a empresa X e acompanhar o andamento da resolução	Pult laminação	Líder do projeto	Setembro - 2023	Realizada

Fonte: Autor (2024)

Com o plano de ação definido, segue-se para a próxima etapa do ciclo PDCA: a execução (*Do*). Nesta fase, as ações planejadas são implementadas conforme o Quadro 2, garantindo que cada medida seja executada de maneira estruturadas e monitorada continuamente.

4.2.2 Execução do Plano de Ação (*Do*)

A execução do plano de ação teve início com a abertura uma ordem de serviço para regularização do sistema responsável pela identificação dos enformamentos a quente e a frio do forno, realizada em setembro de 2023. Essa ação foi prontamente atendida pela empresa X e, após testes, foi validada apenas em janeiro de 2024, devido às paradas programadas.

Na sequência, foram abertas ordens de serviço para a regularização da balança de entrada do forno e calibração das tesouras, além do acompanhamento da execução desses serviços, garantindo que os ajustes fossem realizados conforme o planejado.

Um dos principais avanços nesse processo foi a padronização dos comprimentos dos tarugos e dos despontes para cada bitola produzida na laminação. Inicialmente, foram discutidos os melhores comprimentos e pesos de tarugos para cada bitola, seguidos de realização de testes para validar os parâmetros definidos.

Como suporte a essa padronização, foram desenvolvidas uma planilha de simulação em conjunto com a equipe operacional, com o objetivo de minimizar perdas na aplicação de novos comprimentos de tarugos. A Figura 17 apresenta uma das simulações realizadas.

Figura 17 – Simulação de comprimento para cantoneira.



Fonte: Autor (2024)

Essa planilha foi projetada para auxiliar na escolha da bitola desejada e testar diferentes comprimentos de tarugos antes de sua aplicação real no processo. Para um uso eficaz, é necessário primeiramente definir as variáveis de tamanho exigidas pelo cliente, os valores de despontes e o comprimento da barra ao chegar no leito de resfriamento. A partir dessas informações, é possível analisar a perda metálica ideal e determinar se o tarugo proposto para aquela bitola está dentro dos parâmetros aceitáveis. A Figura 18 ilustra uma simulação em que o comprimento e o peso do tarugo não foram adequados, impactando negativamente o processo.

Figura 18 – Simulação de comprimento para cantoneira com tarugo inadequado.



Fonte: Autor (2024)

Nessa simulação, nota-se que uma escolha inadequada do comprimento do tarugo influencia diretamente nas perdas metálicas e na distribuição da última barra no leito de resfriamento. Essa distribuição pode comprometer o desempenho dos operadores na etapa seguinte do processo, além de aumentar a geração de barras curtas, resultando em desperdício de material do rendimento metálico.

A implementação das ações foi conduzida de forma sistemática e monitorada de perto pelas equipes envolvidas, garantindo a aplicação correta das melhorias propostas. A eficácia dessas ações será discutida no próximo tópico, onde serão apresentados os resultados obtidos e a relevância das medidas implementadas para otimização do processo.

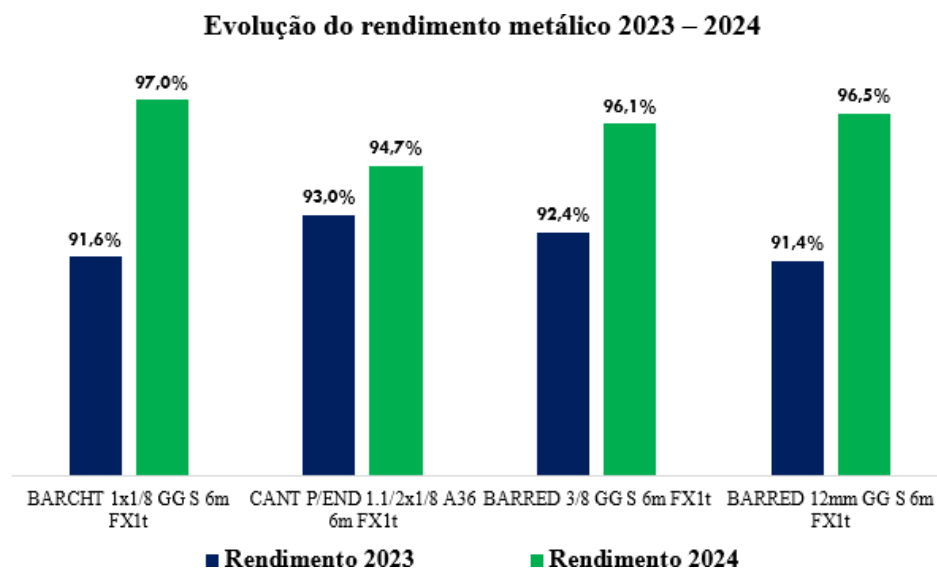
4.2.3 Verificação de eficácia (Check)

Após a execução do plano de ação, tornou-se essencial verificar se as medidas implementadas tiveram o efeito esperado no rendimento metálico. A Figura 19 apresenta a

evolução do rendimento de algumas bitolas, comparando a média obtida em 2023 com os resultados de 2024.

Os dados evidenciam um crescimento significativo no rendimento metálico, com destaque para a barra chata de 1x1/8, que aumentou de 91,6% para 97%, correspondendo a uma melhoria de 5,4%. No caso da cantoneira, o aumento foi mais modesto, 1,7%, devido à maior complexidade geométrica desse perfil. Já as barras redondas de 3/8” E 12 mm, que possuem geometrias simples e um caminho de laminação menos complexo, apresentam crescimentos de 3,7% e 5,1%, respectivamente.

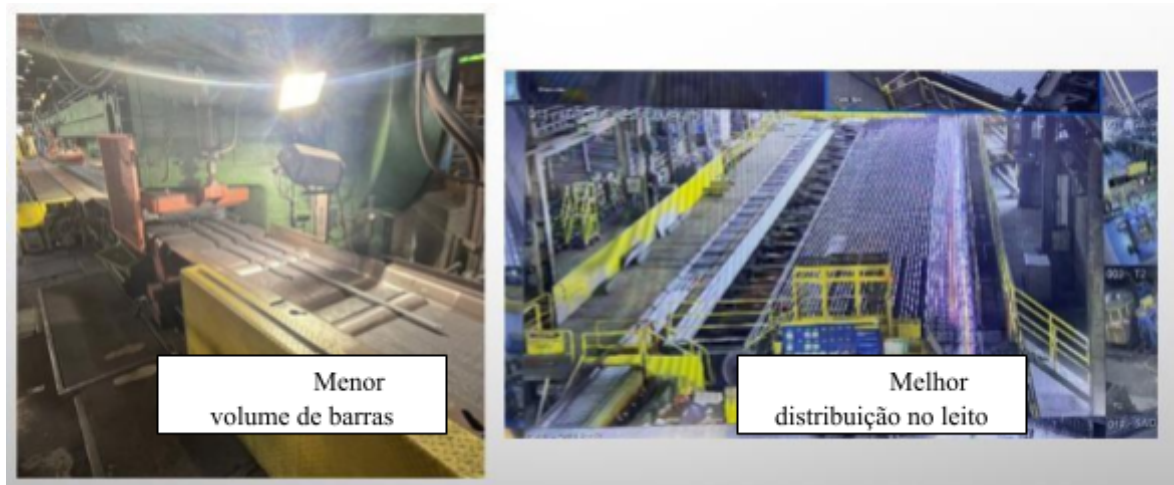
Figura 19 – Evolução do rendimento de 2023 para 2024.



Fonte: Autor (2024)

Além da melhoria nos indicadores numéricos, a Figura 20 apresenta um resultado visual da aplicação das novas configurações de comprimento de tarugo e do controle de peso. A análise do leito de resfriamento demonstrou maior linearidade na distribuição das barras, além da redução expressiva no volume de barras curtas, refletindo diretamente na eficiência operacional.

Figura 20 – Resultados com a aplicação dos novos comprimentos + controle do peso do tarugo.



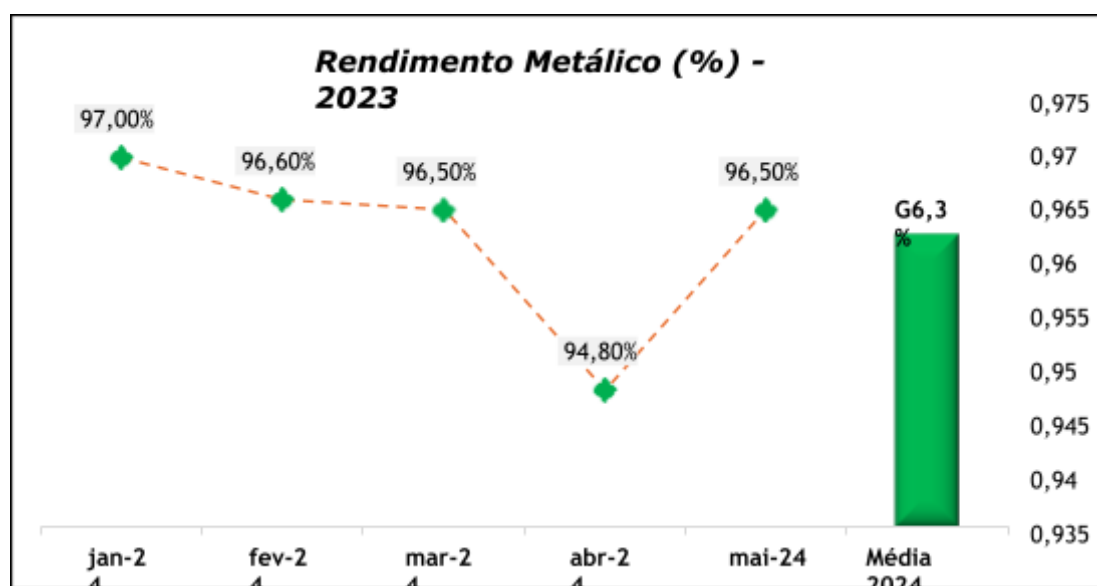
Fonte: Autor (2024)

Outra ação que otimizou a rotina operacional foi a regularização do sistema de identificação do enformamento a quente e a frio, eliminando gargalos no estoque e garantindo a aplicação correta dos tarugos. Com isso, cada bitola passou a ser laminada com o tarugo de peso e comprimento adequado, contribuindo para a estabilidade do processo.

Além disso, a implementação da pesagem individual dos tarugos na entrada do forno permitiu que a equipe de laminação identificasse, em tempo real, eventuais variações de peso fora do padrão. Essa prática possibilitou uma comunicação mais assertiva com a aciaria, auxiliando no controle do processo produtivo e minimizando as perdas. Afinal, variações excessivas no peso da matéria prima impactam diretamente nas perdas metálicas, tanto por excesso quanto por déficit de material.

Com as ações implementadas de maneira integrada e colaborativa entre os setores, os resultados obtidos em 2024 superaram os de 2023. A Figura 21 demonstra a evolução do rendimento metálico ao longo do período analisado, destacando o crescimento da média anual de 94,3 em 2023 para 96,3% em 2024.

Figura 21 – Gráfico de resultados rendimento metálico, 2024.



Fonte: Autor (2024)

Entretanto, é importante ressaltar que, em abril de 2024, houve uma queda no rendimento devido à realização de testes com um novo produto, para o qual não havia um tarugo ideal disponível, resultando em perdas superiores ao esperado. Esse ponto de atenção reforça a necessidade de continuidade do monitoramento e da padronização das melhores práticas, conforme será detalhado na próxima seção.

4.2.4 Padronização (Act)

Após a aplicação e verificação das ações, foi essencial garantir a padronização dos parâmetros no sistema, assegurando que toda a equipe siga as mesmas diretrizes para manter a estabilidade e previsibilidade do processo. Para isso, os seguintes aspectos foram padronizados:

- **Definição dos parâmetros de laminação nas receitas de cada bitola:** Cada bitola teve seus parâmetros operacionais registrados no sistema, garantindo que todas as execuções sigam as configurações ideais de peso, comprimento e ajustes de processo, reduzindo as variações no rendimento metálico – Quadro 3 destaca algumas das informações cadastradas;
- **Padronização da descrição dos tarugos:** Para cada bitola, foi registrada no sistema a especificação exata do tarugo a ser utilizado, incluindo o peso e comprimento ideais. A fim de evitar erros de aplicação e garantir que a matéria-prima correta seja utilizada;

- **Acompanhamento diário do rendimento metálico:** O *KPI* de rendimento segue sendo monitorado diariamente em reuniões de desempenho, garantindo que desvios sejam identificados rapidamente e tratados de forma ágil;

Quadro 3 – Exemplo de dados padronizados no sistema.

CANTONEIRA 3/4 X 1/8 GGS				
TARUGO		DESPONTE - T1 (cm)		CORTE - TD (m)
COMP (m)	PESO (kg)	CABEÇA	CAUDA	
4,05	307,8	40	25	36

Fonte: Autor (2024)

Outra medida adotada foi o tratamento de falhas, sempre que uma meta não é atingida conforme o esperado, a cauda do problema é registrada, analisada, tratada e posteriormente compartilhada com toda a equipe como aprendizado, fortalecendo a cultura de melhoria contínua.

5 CONCLUSÃO

Com a aplicação da metodologia PDCA no processo de laminação mostrou-se uma estratégia eficaz para otimizar o rendimento metálico, trazendo melhorias reais e sustentáveis para o setor. O primeiro passo foi entender as causas das perdas e identificar os fatores que impediam um melhor desempenho do indicador. Com acompanhamento dos dados e o dia a dia da operação, foi mapeada os principais pontos de desperdício e buscado compreender o que, de fato, impactava o rendimento metálico.

Com a análise detalhada, foi possível ir além dos números e entender melhor a realidade operacional, ouvindo a equipe e utilizando ferramentas como *brainstorming*, espinha de peixe, 5 porquês, 5W2H para estruturar melhor o problema. A partir disso, ficou evidente que ajustes eram necessários em diversas frentes: desde a calibração de equipamentos e a regularização da pesagem dos tarugos até a padronização de comprimentos e a melhor gestão dos estoques de enformamento.

A implementação das ações foi realizada de forma estratégica, sempre acompanhada de perto para garantir que as mudanças tivessem o efeito esperado. O envolvimento da equipe operacional foi fundamental para que as melhorias não ficassem apenas no planejamento, mas fossem aplicadas de maneira eficaz. Como resultado, conseguimos não apenas reduzir as perdas metálicas, mas também tornar o processo mais estável e previsível, algo essencial para a eficiência da laminação.

Os números comprovam o impacto positivo das ações. O rendimento metálico melhorou nas bitolas quando analisadas individualmente, e o indicador global também apresentou um avanço significativo. Além disso, o trabalho realizado trouxe benefícios além do esperado, como uma maior compreensão da operação na performance do setor e a conscientização da equipe sobre a importância do controle dos parâmetros operacionais.

Para garantir que esses avanços sejam mantidos, todas as melhorias foram padronizadas e registradas, desde a descrição dos tarugos até a definição de parâmetros específicos para cada bitola. Além disso, reforçando a cultura de aprendizado e treinamento da equipe.

No fim, o estudo provou que com a abordagem utilizando o ciclo PDCA de forma estruturada e com colaboração das partes envolvidas, é possível superar os desafios, otimizar processos e alcançar resultados satisfatórios. No início era um problema com um indicador de Rendimento Metálico tornou-se uma oportunidade de crescimento e inovação, trazendo ganhos não apenas em números, mas também para a equipe operacional que está à frente do processo.

Mais do que melhorar um indicador, este trabalho ajudou a fortalecer a cultura de melhoria contínua dentro da empresa, servindo de referência para futuras iniciativas na laminação.

Além disso, dado o impacto positivo das ações implementadas, recomenda-se que estudos futuros explorem outras oportunidades de otimização do processo de laminação. As sugestões de estudos podem incluir:

- Aplicação de tecnologias e inteligência artificial no controle do rendimento metálico, permitindo previsibilidade mais precisa das perdas e ajustes automáticos nos parâmetros do processo;
- Estudo sobre a influência da qualidade da matéria prima no rendimento metálico, ampliando a compreensão sobre como a redução das perdas influencia a competitividade e sustentabilidade da empresa.
- Expansão do estudo para outras áreas da siderurgia, como aciaria e trefilação, investigando como a metodologia PDCA pode ser aplicada em diferentes etapas da produção siderúrgica.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, M. E. B. **Administração da qualidade e da produtividade**. São Paulo: Atlas, 2001.

AVELAR, W. **Monografia – Utilização de ferramentas da qualidade objetivando melhorias no processo produtivo**. Petrópolis: Universidade Católica de Petrópolis, 2008.

BATISTA, Fernando Manuel Sousa Conceição. **Implementação de indicadores chave de desempenho no corpo de fuzileiros**. Lisboa: Escola Naval Departamento de Formação de Fuzileiros, 2011.

BERNARDO. **Ferramentas básicas da qualidade**. Ciência da Informação, v. 22, n. 2, 2022. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/502/502>. Acesso em: 10 ago. 2024.

BORGES, Julia Garaldi; CARVALHO, Marly Monteiro de. **Sistemas de Indicadores De Desempenho Em Projetos**. Revista de Gestão e Projetos - GEP, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 174-207, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5585/gep.v2i1.39>. Acesso em: 26 ago. 2024.

BRESCIANI FILHO, E. (Coord. e Rev.); SILVA, I. B. (pesq. atual); BATALHA, G. F. (transc. dig); BUTTON, S. T. (rev. ed. dig). **Conformação plástica dos metais**. 6. ed. (1ª digital). São Paulo: EPUSP, 2011.

CODA, R. C. **Laminação: Produtos Longos de Aços Laminados a Quente**. Porto Alegre: Laboratório de Transformação Mecânica, UFRGS, 2006.

CRISTINA, M. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Fundação Christiano Ottoni, 1995.

ÉRIKA, A. et al. **Levantamento bibliográfico do uso das ferramentas da qualidade**. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/Artigo16_2014.pdf. Acesso em: 12 ago. 2024.

FERNANDES, M.; PINTO, N. Fernandes. **Aplicação do método PDCA no controle do rendimento metálico do material nervurado do processo de laminação de uma siderurgia**. [s.l: s.n.], 2020. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/3730/1/Milena%20Garcia.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

FERNANDO TOSHIO OKAMURA et al. **Gestão de perdas em processo de laminação de longos utilizando a metodologia seis sigma**. ABM Proceedings, 1 ago. 2009.

FERREIRA, Rafael Gomes. **Definição e monitorização de indicadores-chave de desempenho (KPI) para controle de operações na indústria corticeira**. 2019. Dissertação (Engenharia Mecânica) - Universidade do Porto, Porto, 2019.

FONSECA, Mario Roberto da. **Marketing e qualidade de vendas**. Monografia (Pós-Graduação). Universidade Candido Mendes, 2006. Disponível em:

<http://www.avm.edu.br/monopdf/24/MARIO%20ROBERTO%20DA%20FONSECA.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2024.

GANGA, G. M. D. **Trabalho de conclusão de curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2022.

GODOY, Adelice Leite de. **Ferramentas da qualidade**. [s.l.: s.n.], 2009. Disponível em: <http://www.cedet.com.br/index.php?/Tutoriais/Gestao-da-Qualidade/ferramentas-daqualidade.html>. Acesso em: 12 ago. 2024.

GONÇALVES, K. et al. **Aplicação das ferramentas da qualidade como suporte para melhoria do processo de produção da prancha Y**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: http://anais.unespar.edu.br/xi_eepa/data/uploads/artigos/4/4-11.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos processos de fabricação**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HELMAN, H.; CETLIN, Paulo Roberto. **Fundamentos da conformação mecânica dos metais**. [s.l.: s.n.], 2005.

IKEDA, P. K. **Apostila técnica de laminação: guias de laminação LM259**. [s.l.]: Gerdau, 2013.

ISIKAWA, Kaoru. **Introduction to quality control**. Tokyo: 3A Corporation, 1997.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing processes for engineering materials**. 5. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2008.

KIMEINAMI, C.; CASTRO, W. B.; OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013.

KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. São Paulo: Gente, 1993.

LUCINDA, Marco Antônio. **Análise e melhoria de processos - uma abordagem prática para micro e pequenas empresas**. [s.l.]: Simplíssimo Livros Ltda, 2016.

LUCINDA, Marcos Antônio. **Qualidade: fundamentos e práticas para curso de graduação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

LOPES, Rafael et al. **Aumento do rendimento metálico do laminador de bobinas de fio máquina e vergalhão**. In: 53º Seminário de Laminação. Rio de Janeiro, 2016. p. 476-486.

LUIZ, F. et al. **Indústria siderúrgica**. Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/936/1/2021_CDS_173.pdf. Acesso em: 09 jun. 2024.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

MOURÃO, A. F. **Processos de fabricação de produtos siderúrgicos: teoria e prática.** São Paulo: Editora Siderurgia, 2007.

NOBERTO, C. **Guerra do aço: Brasil impõe cota e eleva tarifas sobre importação de produtos siderúrgicos.** Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/guerra-do-aco-brasil-impoe-cota-e-eleva-tarifas-sobre-importacao-de-produtos-siderurgicos/>. Acesso em: 09 jun. 2024.

NOBERTO, C. **Nova tarifa de importação do aço contempla parcialmente pedido da indústria siderúrgica.** Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/nova-tarifa-de-importacao-do-aco-contempra-parcialmente-pedido-da-industria-siderurgica/>. Acesso em: 09 jun. 2024.

PUBLI. **5W2H: o que é e como aplicar no seu planejamento.** Disponível em: <https://www.publi.com.br/5w2h-o-que-e-e-como-aplicar-no-seu-planejamento/>. Acesso em: 16 fev. 2025.