

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E TRANSPORTES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

**AUMENTO DO RENDIMENTO METÁLICO DE UM LAMINADOR DE AÇOS
ESPECIAIS**

LUCAS FERREIRA DOS REIS

Orientador: CHRISTINE TESSELE NODARI

PORTO ALEGRE
JANEIRO DE 2024

RESUMO

O presente estudo, com o intuito de otimizar o rendimento metálico no Laminador 2 da Gerdau, concentrou-se na redução das sucatas operacionais. Através de uma estratificação detalhada, que considerou diversos aspectos como equipamento, tipo, turno e diâmetro do material, foi possível identificar com precisão as áreas críticas no processo de geração de sucatas. O Diagrama de Ishikawa então mapeou as causas raízes para a ocorrência de sucatas, orientando o desenvolvimento de ações corretivas e preventivas direcionadas. Um plano de ação estruturado com a metodologia 5W2H foi elaborado para abordar as áreas críticas. A comparação entre períodos subsequentes indicou uma notável melhora de 27% no indicador de barra laminada por barra perdida. A análise do impacto das sucatas no rendimento metálico revelou uma significativa redução de 18,50%, evidenciando o sucesso das ações implementadas. Tais resultados demonstram um considerável aumento na eficiência operacional e na diminuição de perdas, contribuindo para a sustentabilidade e o aprimoramento do desempenho global do processo de laminação.

Palavras-Chave: Sucatas operacionais, Rendimento metálico, Estratégias de otimização, Diagrama de Ishikawa, Plano de ação 5W2H.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, no atual cenário econômico, que é afetado pela concorrência do aço importado que chega ao mercado brasileiro mais barato, a redução dos custos de produção é essencial para a continuidade das operações das siderúrgicas nacionais. Dessa forma, conforme indicado por Miranda (1994), é imperativo que as organizações desenvolvam produtos e serviços capazes de atender às necessidades dos consumidores finais, seja em termos de qualidade, custo ou segurança. Para atingir seus objetivos, as empresas devem ajustar-se ao ambiente, eliminando atividades que não contribuam positivamente e que possam prejudicar suas metas. No setor de laminados na indústria siderúrgica, a consecução desses objetivos pode ser comprometida por falhas nos processos.

As falhas ou anomalias que surgem durante o processo produtivo, como defeitos em produtos, rejeições na inspeção de qualidade, refugos, retrabalhos, falhas em equipamentos, feedbacks negativos de clientes, imprecisões em interferências, interrupções na produção, descartes de materiais e outros, são exemplos de ocorrências não conformes que se desviam do padrão ou do esperado, conforme Campos (1997). Tais ocorrências, além de comprometer a qualidade do produto, geram custos consideráveis para a empresa, impactando negativamente sua rentabilidade.

O rendimento metálico na siderurgia refere-se à eficiência com que os metais são recuperados durante o processo de produção. Este indicador é calculado pela relação entre o peso do metal obtido e o peso total do material utilizado. Um rendimento metálico elevado é desejável, pois indica uma menor perda de metal durante as etapas de processamento, resultando em uma operação mais rentável e sustentável. A otimização do rendimento metálico é fundamental para maximizar a produção de metais de alta qualidade e minimizar os resíduos, contribuindo para a eficiência econômica e ambiental das operações siderúrgicas.

Nesse cenário de redução de gastos com não conformidades, o rendimento metálico surge como um indicador crucial no processo de laminação, exercendo impacto direto na redução dos custos de produção. É imperativo identificar as principais causas das perdas de metal, tornando essencial a busca pelas causas fundamentais dessas perdas. As perdas de rendimento metálico em um laminador podem ser categorizadas em três grupos principais: sucata de qualidade, associada principalmente a questões metalúrgicas;

sucata de processo, refletindo perdas inerentes ao próprio processo; e sucata operacional, esta última sendo o foco deste artigo.

1.1. Elaboração do Problema

A identificação dos pontos críticos no processo que leva à geração de resíduos permite a implementação de medidas preventivas. Ao bloquear as causas fundamentais de sucatas operacionais, torna-se possível adotar ações que evitem a repetição dessas anomalias. Isso assegura a preservação de materiais e equipamentos, previne retrabalho em produtos com defeitos, reduz perdas de produtividade e tempo, aprimora a qualidade e mantém a segurança.

Dentro desse contexto, a pergunta central deste estudo é: quais ações devem ser tomadas para reduzir as anomalias no processo de laminação que causam a geração de sucatas?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O propósito deste estudo é reduzir as sucatas operacionais no Laminador 2 da Gerdau, localizado na Usina de Charqueadas, Rio Grande do Sul. O foco reside na identificação de pontos críticos no processo de produção e na apresentação de alternativas viáveis para minimizar significativamente o índice de sucatas operacionais.

1.2.2. Objetivos específicos

O estudo visa conduzir uma análise sistemática das causas de geração de sucatas operacionais no processo de laminação, empregando as ferramentas da qualidade para identificar os equipamentos que desempenham um papel crítico na geração de sucatas durante esse processo. Adicionalmente, pretende-se estabelecer relações entre as sucatas geradas e seu impacto nos demais indicadores de desempenho do Laminador 2. Com base na identificação dos equipamentos considerados críticos, será elaborado e implementado um plano de ação voltado para melhorias no sistema.

1.3. Justificativa

A análise e redução de sucatas operacionais são cruciais devido ao seu impacto direto no rendimento metálico e, por conseguinte, nos custos do produto. Além disso, influenciam negativamente a produção do laminador ao causar interrupções operacionais.

Vale ressaltar que essa problemática também afeta a segurança, uma vez que a retirada das sucatas operacionais do laminador expõe os colaboradores a riscos.

1.4. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco seções. A primeira aborda a introdução do tema, sua justificativa e os objetivos que motivaram a realização do estudo. Na segunda seção, realiza-se uma revisão bibliográfica abordando tópicos cruciais para o caso em estudo, como siderurgia, laminação e ferramentas da qualidade. A terceira seção detalha a metodologia de pesquisa utilizada para a obtenção, coleta e análise de dados, apresentando também a empresa em que o estudo foi conduzido, seu processo produtivo e evidenciando o problema identificado. Na quarta seção, são identificados os pontos críticos do processo, em que há uma maior incidência de sucatas, apresentando um plano de ação e os resultados alcançados por sua implementação. Finalmente, na quinta seção, são apresentadas as considerações finais do estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Foi abordado princípios do Lean Manufacturing, com foco na eliminação de desperdícios. Em seguida, serão apresentadas algumas ferramentas da qualidade, como o Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, e a metodologia 5W2H, destacando suas aplicações na identificação e solução de problemas. Além disso, será apresentado o método DMAIC, baseado no Seis Sigma, que orientará a sequência lógica e eficaz no gerenciamento do trabalho para atingir a meta de redução de sucatas operacionais.

2.1 Lean Manufacturing

Segundo Silva et al. (2018) a filosofia Lean é focada na eficiência dos processos, com objetivo central das atividades industriais de oferecer o máximo de valor com a menor quantidade de recursos possíveis. Dessa forma, é necessário eliminar todos os desperdícios (atividades que não agregam valor) e trabalhar somente no que é demandado em um determinado prazo, assim poderá estabelecer um progresso dos processos da empresa.

O Lean Manufacturing apresenta sete tipos de desperdícios que precisam ser entendidos e, ao eliminá-los completamente, é possível melhorar muito a eficiência das operações e processos que segundo Domenech (2016), são eles:

- **Superprodução:** o Lean Manufacturing considera um desperdício o hábito de produzir antecipadamente à demanda, ou seja, mais do que o necessário para o momento;

- **Espera:** esse tipo de desperdício se refere ao tempo de espera dos funcionários por máquinas ou pelo equipamento de processamento para finalizar o trabalho, ou por uma atividade anterior;

- **Transporte:** as distâncias a serem percorridas pelo material que o processo e as instalações impõem não agregam valor ao produto produzido;

- **Processamento Extra:** é um desperdício que ocorre devido ao excesso de operações que um produto recebe;

- **Estoque:** o estoque intermediário e de produto acabado, além de ocultar outros desperdícios, significa perda de investimento e espaço;

- **Movimentações:** os desperdícios por movimentação se encontram nas mais diversas operações que se executam dentro de uma empresa, eles são provocados pela movimentação desnecessária dos operadores de produção, materiais, ferramentas etc.;

- **Produtos defeituosos:** os maiores desperdícios dos processos são gerados por problemas de qualidade. Produzir produtos com defeito significa desperdiçar material, mão de obra, máquinas, movimentação de materiais defeituosos, armazenagem deles, inspeção de produtos, entre outros;

Dentre os sete tipos de desperdícios identificados pelo Lean Manufacturing, este artigo concentra-se especialmente nas perdas relacionadas a produtos defeituosos. A ênfase recai sobre essa categoria, uma vez que a redução de sucatas operacionais no contexto do Laminador 2 da Gerdau requer uma abordagem direcionada aos problemas de qualidade.

2.2. Ferramentas da Qualidade

2.2.1. Gráfico de Pareto

Apresenta a informação por meio de uma descrição gráfica em são visualizados os pontos que necessitam de maiores esforços de melhoria, e como resultado obter maiores ganhos (ROTONDARO, 2002).

Conforme LINS (1993), o gráfico de Pareto assume a forma de um gráfico de barras, onde cada causa é quantificada com base em sua contribuição para o problema é organizada em ordem decrescente de influência ou ocorrência. Werkema (1995) complementa que o Gráfico de Pareto é uma representação visual com barras verticais que destaca a priorização de temas, facilitando a definição de metas numéricas alcançáveis. Borges (2014) explica que o princípio de Pareto atribui 80% das consequências a 20% das causas, tornando essa ferramenta valiosa para alcançar mais com menos esforço.

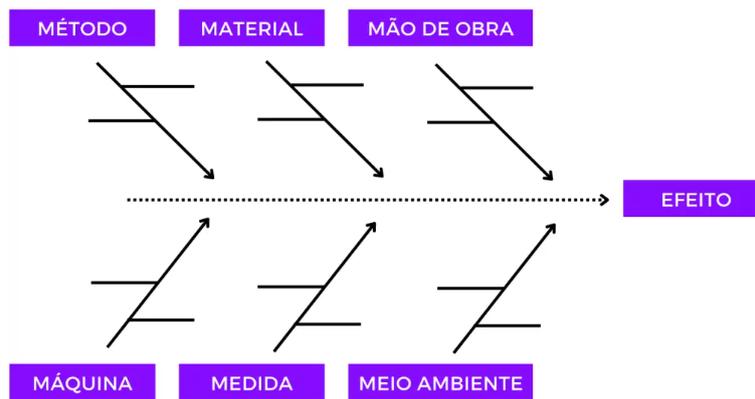
Dessa forma, o principal propósito do Gráfico de Pareto é proporcionar uma visualização rápida e fácil, permitindo a identificação dos problemas e determinando os que exercem maior influência sobre o processo. Isso viabiliza a concentração de esforços na resolução desses problemas.

2.3.2. Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como Espinha de Peixe ou Diagrama de Ishikawa, foi desenvolvido em 1943 na Universidade de Tóquio pelo professor Kaoru Ishikawa (PEINADO, 2007). Conforme Werkema (1995), esse diagrama é uma ferramenta empregada para visualizar a relação entre o resultado de um processo e as causas que tecnicamente impactam esse resultado. De acordo com Moura (2003), o Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta útil na análise de processos, facilitando a identificação das possíveis causas de um problema.

O propósito gráfico do Diagrama de Causa e Efeito é representar a conexão entre as causas potenciais e o problema, além dos efeitos que essas causas podem ter em todo o processo de produção, influenciando o controle de qualidade. O diagrama de Ishikawa simplifica processos considerados complexos ao dividi-los em elementos mais simples e, conseqüentemente, mais controláveis (TUBINO, 2000). Segundo Campos (1999), uma abordagem comum para desenvolver o diagrama é utilizar o método dos 6M: máquinas, meio ambiente, medidas, materiais, métodos e mão-de-obra, conforme exemplificado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de Ishikawa: 6M



Fonte: Campos, 1999

2.3.3. 5W2H

Segundo Moura (2003), o plano de ação é um método que possibilita a definição clara do problema, da causa ou de uma solução, sendo empregado quando é necessário descrever de maneira abrangente um problema ou as ações para corrigi-lo. O plano de ação proporciona o entendimento sobre quem é responsável por qual tarefa, quem está executando uma ação e por que ela será realizada. Por meio dessa ferramenta, obtém-se uma visão completa da equipe e de suas responsabilidades (FRANKLIN; NUSS, 2006). ZAGO (2002) destaca que os planos de ação viabilizam a concretização no gerenciamento de recursos e atividades, ressaltando que uma meta só será alcançada com um plano de ação eficaz.

De acordo com Franklin (2006), a 5W2H é compreendida como um plano de ação resultante de um planejamento, servindo como orientação para as ações que precisam ser executadas e implementadas, sendo também um meio de acompanhamento do que foi estabelecido na fase de planejamento. Essa ferramenta de gestão é comumente aplicada no planejamento estratégico das empresas. A partir de uma meta, são organizadas ações e determina-se o que será feito, por que motivo, quem será responsável, como, quando e onde será feito, além de estimar os custos envolvidos.

Campos (2004 apud COLETTI; BONDUELLE; IWAKIRI, 2010) explica a aplicação dos questionamentos da 5W2H da seguinte forma: What? (O quê?): Tarefa a ser realizada; When? (Quando?): Cronograma para a realização das atividades; Who? (Quem?): Responsáveis pela execução; Where? (Onde?): Definição do local de realização da tarefa; Why? (Por quê?): Justificativa para a execução das tarefas; How? (Como?): Forma de desenvolvimento das atividades; How Much? (Quanto custará?): Custos

envolvidos com a concretização do plano. Rodrigues (2009) sugere que essas perguntas sejam organizadas em uma tabela, criando um formulário para orientar as ações.

Quadro 1: 5W2H

O quê?	Quando?	Quem?	Onde?	Por quê?	Como?	Quanto?

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4. DMAIC

Este método é usado e tem como principal objetivo garantir a sequência ordenada, lógica e eficaz no direcionamento e gerenciamento do trabalho, tendo sua base fundamentada no Seis Sigma que possibilita o seguimento mais estruturado nas atividades (JUNIOR, 2006; BORGES, 2006). Consiste em cinco etapas descritas no Quadro 2 abaixo:

Quadro 2: Conceituação DMAIC

Definir	<ul style="list-style-type: none"> Definição específica da situação a ser melhorada. Definir as metas das atividades de melhoria. Avaliação histórica do problema. Verificação do quanto o problema deve ser melhorado.
Medir	<ul style="list-style-type: none"> Análise dos dados coletados através de ferramentas estatísticas.
Analisar	<ul style="list-style-type: none"> Determinação das causas raízes do problema.
Melhorar	<ul style="list-style-type: none"> Melhoria dos dados coletados, de forma que elimine, atenuar ou minimize as causas raízes. Definições de padrões
Controlar	<ul style="list-style-type: none"> Garantir que as melhorias sejam mantidas ao longo do tempo.

Fonte: Lopes, Tinoco 2016

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Descrição do Cenário

A empresa foco deste artigo é a Gerdau, a maior empresa brasileira multinacional produtora de aço, presente em 9 países. Com 32 unidades produtoras, 28.350 colaboradores, 2 minas de minério de ferro e destacando-se como a maior recicladora de sucata ferrosa da América Latina, a empresa atua em diversos setores, como construção, indústria automotiva, maquinários, naval e energia. A unidade específica abordada no estudo de caso é a de Charqueadas, localizada no Rio Grande do Sul, no setor do Laminador 2, que conta com cerca de 1000 funcionários, sendo aproximadamente 115 dedicados à área da laminação. A operação ocorre em três turnos, produzindo barras redondas de aço com comprimentos entre 3,5 e 12 metros, e diâmetros variando de 20 a 68 milímetros.

Ao longo da linha de laminação estão dispostos os seguintes equipamentos: forno, gaiola de desbaste Bloom, gaiola de desbaste F1, trem intermediário, com 10 gaiolas de laminação, bloco acabador, com cinco gaiolas de laminação, tesouras intermediárias e tesoura de corte final F100. Nesse estudo será trabalhada a perda decorrente de sucatas operacionais. A perda é controlada pelos indicadores apresentados nos itens *.

3.2. Classificação da Pesquisa

A pesquisa realizada teve uma abordagem combinada, empregando o método qualitativo para analisar as ocorrências de sucata e o método quantitativo para registrar e identificar sua recorrência, o que significa converter em números, opiniões e dados para classificá-los e analisá-los usando meios e técnicas estatísticas (TURRIONI; MELLO, 2012).

Na perspectiva da implementação desta pesquisa, trata-se de natureza aplicada, pois sua finalidade é produzir informações para a aplicação prática da empresa e encontrar soluções para os problemas que surgiram (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Trata-se de uma pesquisa exploratória, pois é um laminador cheio de particularidades e modos de falha específicos que devem ser investigados. Segundo Gil (2002) pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, incluindo levantamento bibliográfico e entrevistas. Esta pesquisa se trata de uma pesquisa-ação, pois será estudado o caso de uma

empresa e haverá a proposição de melhorias que impactem no rendimento metálico da mesma.

3.3. Percentual de sucata operacional

Este indicador tem a capacidade de quantificar a percentagem de material não conforme produzido em relação à produção total durante um determinado período. A Equação 1 é empregada para realizar esse cálculo:

$$\% \text{ de Sucata} = \frac{\text{Volume de sucata}}{\text{Volume de material empregado na produção}} \text{ Eq. (1)}$$

3.4. Barra Laminada por Barra Perdida (BL/BP)

Quando a sucata é gerada durante o processo de laminação, independentemente de sua origem, afeta negativamente o indicador de desempenho BL/BP, esse material é removido da linha de laminação e reintroduzido no processo inicial de fabricação na Aciaria, acarretando custos adicionais de retrabalho.

O cálculo do índice BL/BP é realizado de maneira direta, envolvendo apenas duas variáveis. A Barra Laminada é representada pelo número de tarugos inseridos no forno no início do processo de aquecimento no laminador, dividido pelo número de tarugos perdidos na forma de sucata. Esse cálculo é expresso pela Equação 2:

$$\frac{BL}{BP} = \frac{\text{Barras Laminadas}}{\text{Barras Perdidas}} \text{ Eq.(2)}$$

3.5. Etapas do Trabalho

Neste trabalho, foram seguidos os passos do método DMAIC para atingir o objetivo final, que é aumentar o rendimento metálico do setor de laminação de uma usina de aço especiais, auxiliando assim na rentabilidade do negócio. Abaixo serão descritas como mais detalhes cada uma das etapas.

3.5.1 Definir

Durante esta etapa, foi delineada a estrutura do projeto e elaborado o planejamento das etapas. Essa elaboração foi feita com o objetivo do estudo de caso alinhado aos projetos estratégicos da empresa.

3.5.2. Medir

Foram coletados dados pelo autor para a análise dos principais fatores que impactam o rendimento metálico. Ocorreram a coleta de dados quantitativos relacionados ao volume de sucatas por equipamento, família do aço e diâmetro através de relatórios históricos gerados pela empresa.

3.5.3. Analisar

Para analisar os dados, empregou-se o gráfico de Pareto para estabelecer a ordem de prioridade na resolução dos problemas, com base em sua frequência de ocorrência, identificando áreas onde ganhos rápidos podem ser obtidos. Este método permite uma abordagem sistemática na solução dos problemas mais impactantes, focando naqueles que contribuem significativamente para os resultados.

Foi utilizada a ferramenta Brainstorming junto aos colaboradores para geração de ideias dos principais fatores causais, após foi aplicado o diagrama de Causa e Efeito para organizar os pontos trazidos, e a utilização dos 5 por quês para determinação das causas raízes do problema. Foram envolvidos nos Brainstormings de tratativa das falhas especialista do processo, um especialista de manutenção, um analista do processo, além de um colaborador por turno do nível operacional, totalizando 6 pessoas, todas do setor da laminação.

3.5.4. Elaboração e Implementação de Melhorias

Nessa fase, foram definidas melhorias com base nas causas raízes encontradas, conforme proposto por Rotondaro (2002). São ações de melhoria que visam eliminar ou reduzir o efeito causador. Nesse momento foi utilizada a ferramenta de *brainstorming* para a proposição de soluções adequadas para cada modo de falha. Para a organização e implementação do plano de ação foi aplicado o 5W2H.

3.5.5. Controle de Ganhos

Na fase de controle, o foco foi na gestão dos processos que garantem os resultados do projeto e os resultados do setor de laminação. Esta fase consiste principalmente na implementação do controle estatístico dos processos, ou seja, monitorizar os processos através dos gráficos gerados pelos dados durante o projeto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

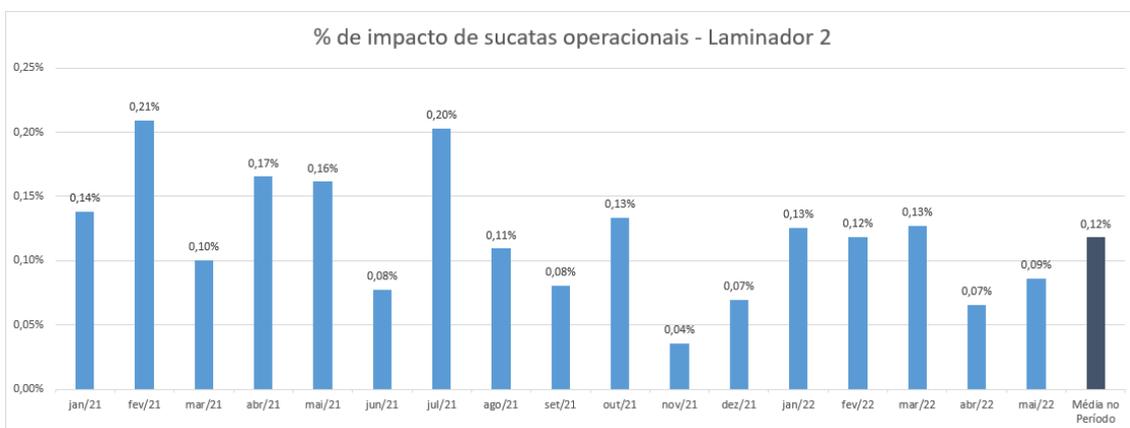
4.1. Resultados da etapa DEFINIR.

Estabeleceu-se o foco no aprimoramento do rendimento metálico por meio da redução de sucatas operacionais. Esse enfoque destacou a integração do estudo com as metas estratégicas da organização, evidenciando a prioridade dada à eficiência do processo. Além disso, foram delineados os indicadores de BL/BP e o percentual de sucata operacional como elementos cruciais a serem acompanhados, visando uma avaliação precisa e contínua do progresso e desempenho do projeto.

4.2. Resultados da etapa MEDIR.

Por meio da extração de dados dos relatórios oferecidos pela Gerdau, foi realizada uma análise qualitativa e quantitativa do período de janeiro de 2021 a maio de 2022. Na Figura 3, observa-se que a média do percentual de sucatas operacionais no Laminador 2 foi de 0,12%. Essa média representa o impacto percentual médio no rendimento metálico do Laminador 2 durante o período de janeiro de 2021 a maio de 2022 (figura 3).

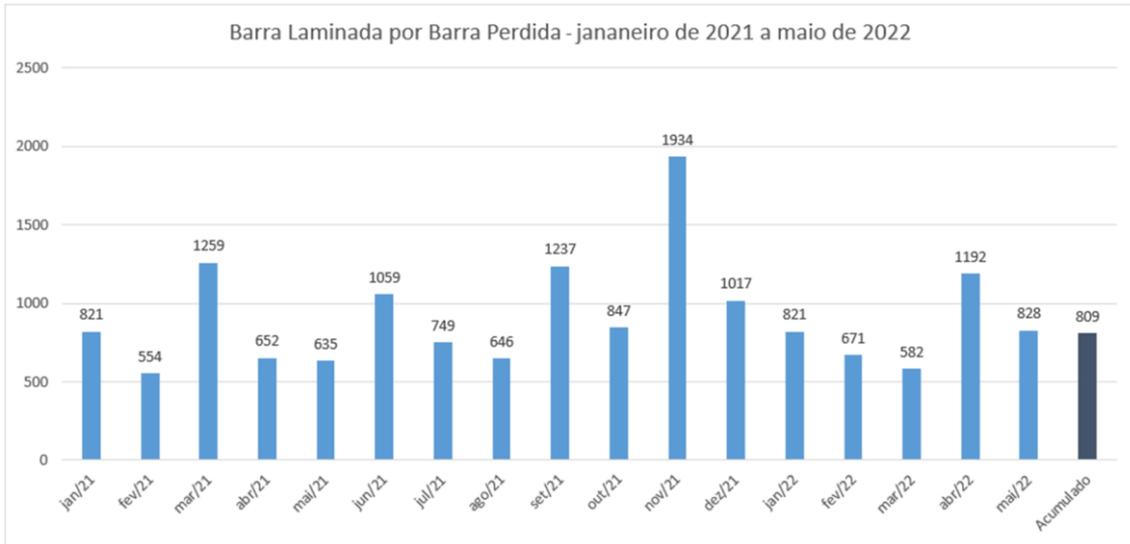
Figura 3 - Percentual de sucatas operacionais no laminador 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se também que durante esse intervalo, o indicador de barras laminadas por barras perdidas (BL/BP) alcançou o valor de 809. Esse número é obtido pelo somatório de todas as barras laminadas no período, dividido pelo somatório de todas as barras perdidas. Em outras palavras, para cada 809 tarugos laminados, ocorreu a perda de 1 tarugo, conforme representado na Figura 4.

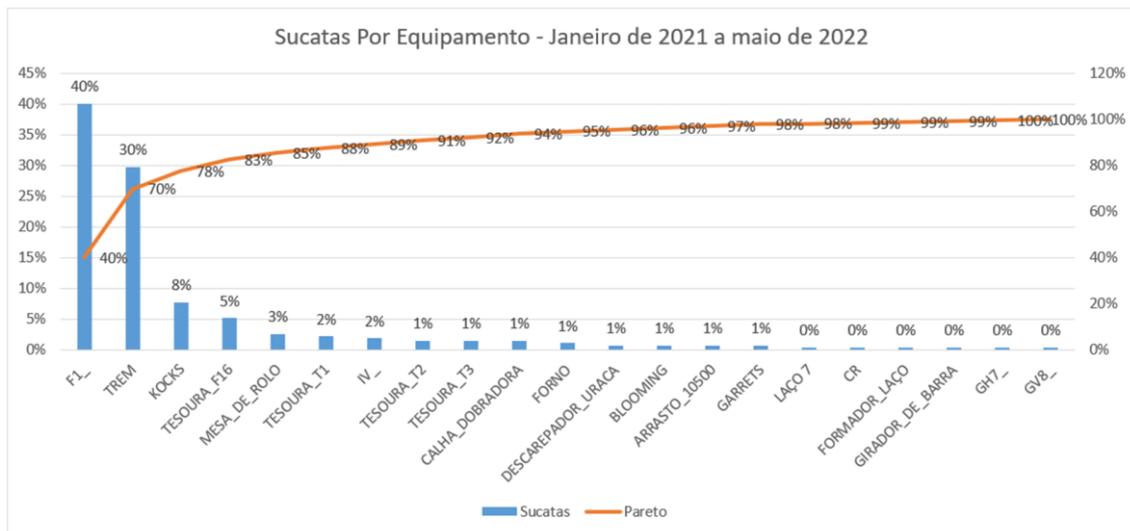
Figura 4 - Barras Laminadas por barras perdidas - Laminador 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico de sucatas por equipamento, evidenciou-se que a grande concentração de sucatas estava na Gaiola de Desbaste F1, representando 40% dos sucateamentos, seguido pelo Trem Intermediário, com 30% (figura 5).

Figura 5 - Sucatas por equipamento.



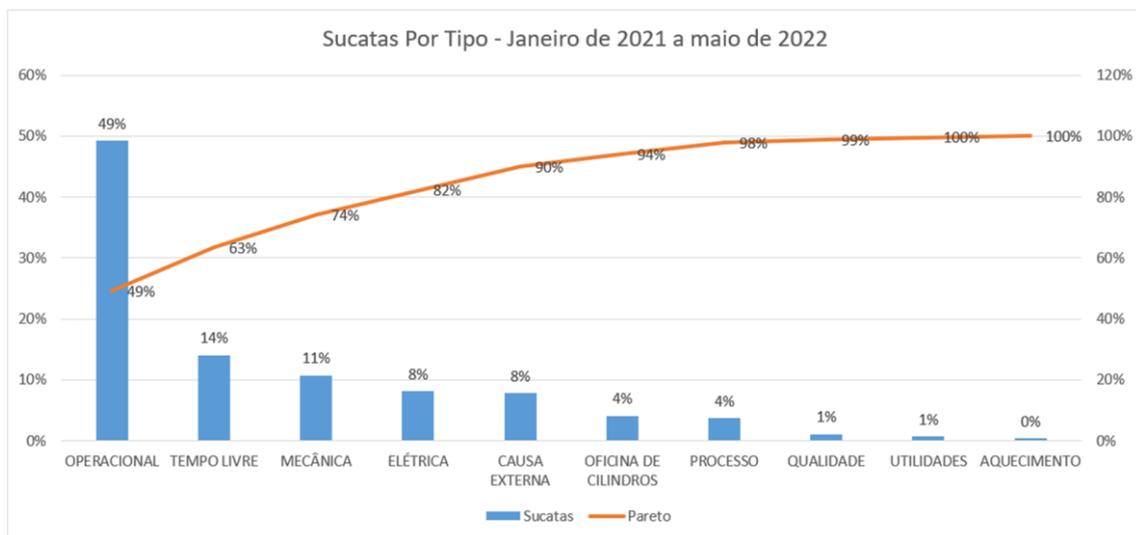
Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante dessa constatação, as ações do estudo concentraram-se na Gaiola de Desbaste F1 e no Trem Intermediário. O objetivo era abordar e mitigar as principais fontes de sucata operacional identificadas no processo.

A análise das causas de sucata revelou diferentes tipos, cada um associado a determinados fatores. As sucatas operacionais geralmente são resultantes de erros

operacionais, enquanto as relacionadas ao tempo livre ocorrem durante processos de atualização ou início de novos investimentos, onde a operação dos equipamentos ainda não está estabilizada e podem gerar sucatas. Já as causas mecânicas estão ligadas a falhas nos componentes mecânicos. Causas externas, como a falta de energia devido às chuvas, interrompendo o processo de laminação, também contribuem para a geração de sucata. Na oficina de cilindros, sucata pode originar-se durante o processo de montagem das gaiolas. Problemas no processo, como parâmetros incorretos, e questões de qualidade, como a composição química inadequada do aço, são também fontes significativas de sucata. Adicionalmente, questões relacionadas a utilidades, exemplificadas pela falta de energia elétrica. A estratificação desses diferentes tipos de sucatas é apresentada na Figura 6.

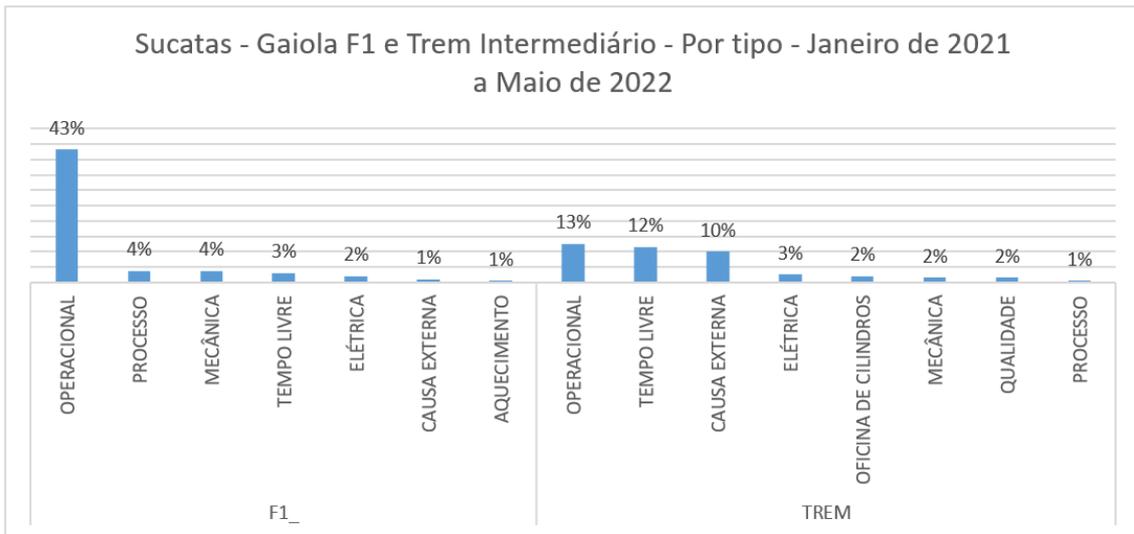
Figura 6 - Sucatas por tipo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise revela que aproximadamente metade (49%) das sucatas geradas no laminador são classificadas como do tipo operacional. Essa constatação destacou a importância de examinar de perto os procedimentos operacionais, identificando parâmetros que podem ser aprimorados para reduzir a geração desse tipo de sucata (figura 6).

Figura 7 - Sucatas da Gaiola F1 e Trem Intermediário.

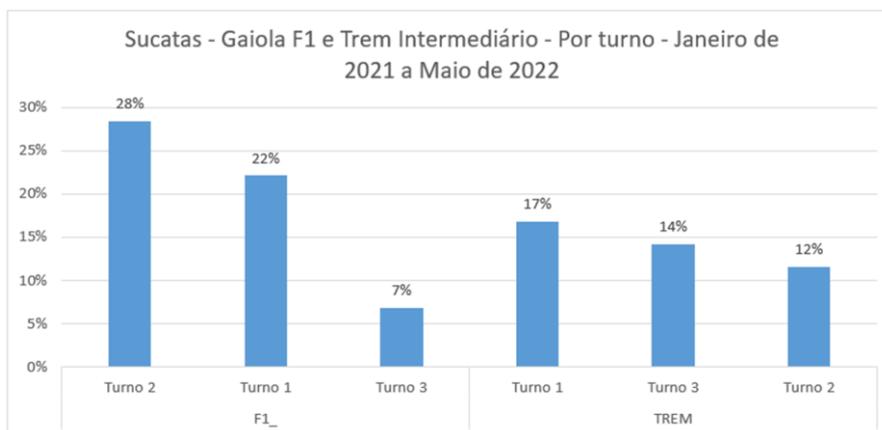


Fonte: Elaborado pelo autor.

Através de uma análise da figura 7, constata-se que considerando apenas sucatas ocorridas na Gaiola F1 e Trem Intermediário, 43% se concentram na Gaiola F1, pelo tipo operacional. Essa identificação específica aponta para a necessidade de uma análise mais aprofundada das operações envolvendo o referido equipamento, visando compreender e abordar as causas subjacentes à geração de sucata.

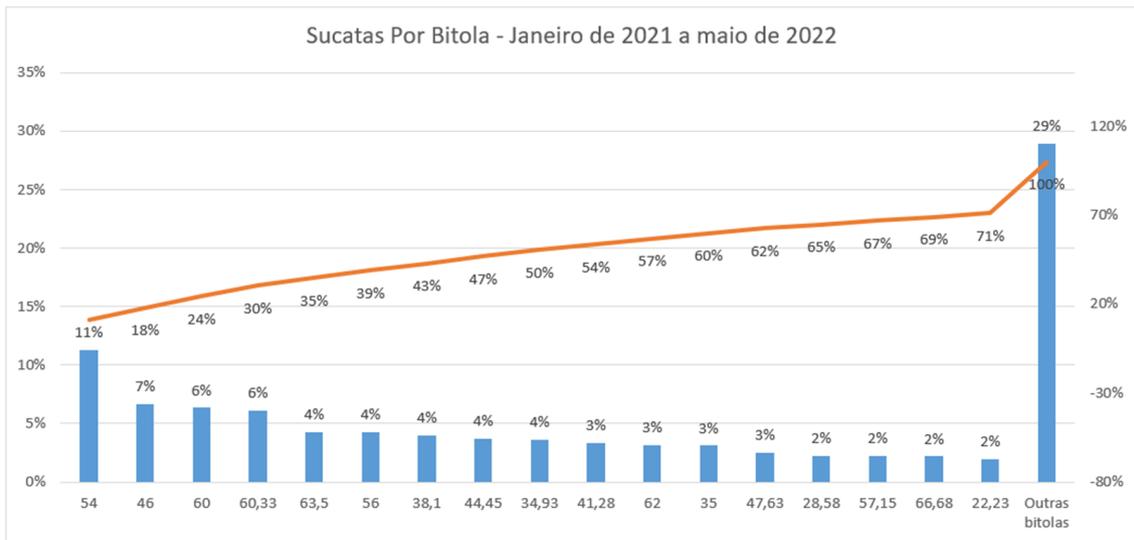
Na Figura 8, as incidências de sucatas foram estratificadas por turno, revelando que o turno 3 apresentou o menor índice, indicando a possibilidade de ter boas práticas a serem compartilhadas com os demais turnos. Já na Figura 9, a estratificação foi realizada por bitola, referente aos diâmetros do produto. Observa-se que não há uma bitola que se destaque significativamente em termos de incidências de sucatas.

Figura 8 - Sucatas na gaiola F1 e trem intermediário por turno.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Sucatas por bitola.

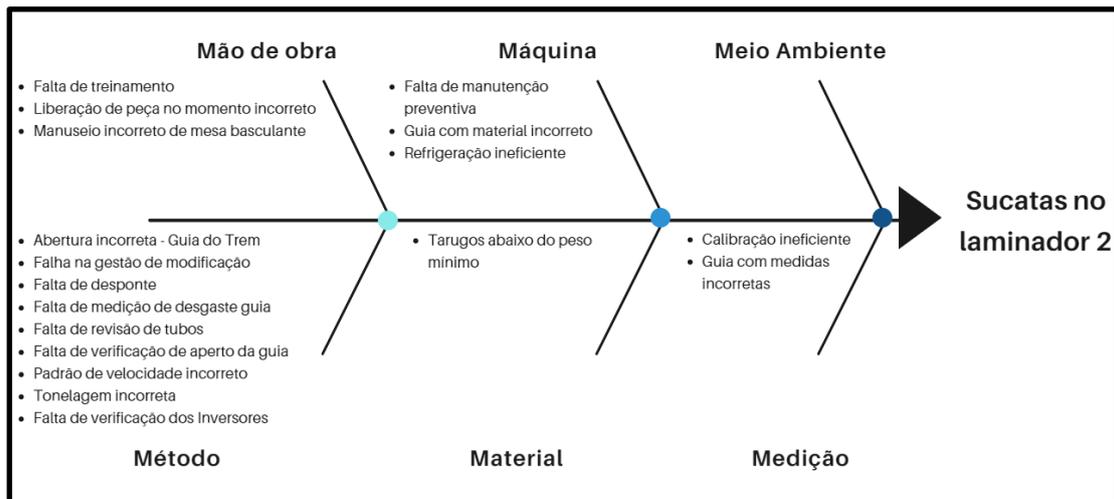


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. Resultados da etapa ANALISAR.

Através de sessões Brainstormings de tratativa das falhas com especialista do processo, especialista de manutenção, analista do processo, além de um colaborador por turno do nível operacional, totalizando 6 pessoas, todas do setor da laminação, foram identificadas as causas raízes para a ocorrência de sucatas, as quais estão representadas no diagrama de Ishikawa na Figura 10. Essas causas apontam áreas específicas que podem ser alvo de melhorias no processo. A ausência de treinamento na mão de obra, por exemplo, ressalta a necessidade de investir em capacitação. A realização de manutenção preventiva nas máquinas e a constante verificação dos materiais destacam a importância da vigilância e cuidado com os recursos. A calibração inadequada e outras questões de medição chamam a atenção para a necessidade de aprimoramentos nos procedimentos de controle. A diversidade de fatores identificados no método enfatiza a complexidade do processo, indicando que melhorias podem ser alcançadas por meio de ajustes em diversos aspectos operacionais e de gestão.

Figura 10 - Diagrama de Causa e Efeito no Laminador 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4. Resultados da etapa MELHORAR.

Nesta seção, apresentaremos as ações propostas utilizando a metodologia 5W2H. Essas ações visam abordar as causas identificadas para a ocorrência de sucatas no processo, fornecendo uma visão clara e sistemática do quê, por quê, quem, quando, onde, como e quanto custará cada iniciativa planejada.

Quadro 3 - 5W2H de sucatas na Gaiola F1 do Laminador 2.

O quê?	Quem?	Quando?	Onde?	Por quê?	Como	Quanto?
Alterar velocidade F1 para rebaixo direto	Analista de processo	31/07/2022	Gaiola F1	Reduzir sucatas na F1	Revisão de padrão	Sem custos associados
Alerta sonoro quando mesa não chegar no fim de curso	Especialista de Manutenção	30/09/2022			Automação	Não disponibilizado
bloqueio da mesa da F1 no 6º passe com peça na GH2	Especialista de Manutenção	30/09/2022			Automação	Não disponibilizado
Desponte na f16 para a qualidade 5120K (adição de bismuto)	Analista de processo	30/09/2022			Revisão de padrão	Sem custos associados
Alterar material das guias e individualizar guias do 1 e 3 passe	Analista de processo	01/07/2022			Alterar desenho técnico	Não disponibilizado
Instalação de suporte no rolete da colmeia	Coordenador da célula	01/07/2022			Caldeiraria e soldagem	Não disponibilizado
Comprar nova refrigeração GF1 individualizada por canal de laminação	Analista de processo	01/07/2022			Projeto e aquisição	Não disponibilizado
Padronizar e treinar operadores blooming na nova operação da nova calibração	Coordenador da célula	01/08/2022			Alteração de padrão e treinamento	Sem custos associados
Recuperação da base da colmeia e instalação da colmeia nova	Analista de processo	01/08/2022			Caldeiraria e soldagem	Não disponibilizado
Nova calibração para redução de torção 4º passe	Analista de processo	31/10/2022			Projetar nova calibração	Sem custos associados
Padrão de tonelagem da gaiola F1 de acordo com diâmetro do cilindro	Analista de processo	31/10/2022			Revisão do padrão	Sem custos associados
Garantir limpeza do canal de carepa abaixo da mesa de rolos antes da GF1	Mantenedor do equipamento	31/10/2022			Implementar limpeza preventiva	Não disponibilizado
treinamento de ajuste de delay dos manipuladores no supervisão	Analista de processo	31/10/2022			Treinamento	Sem custos associados
Redução das paredes da guia de entrada do 6º passe	Analista de processo	31/10/2022	Alteração do desenho técnico	Sem custos associados		
Poka yoke bloqueio de enformamento de peças abaixo de 950 kg	Especialista de Manutenção	31/07/2022	Forno	Automação	Não disponibilizado	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 4 - 5W2H de sucatas no Trem Intermediário do Laminador 2.

O quê?	Quem?	Quando?	Onde?	Por quê?	Como	Quanto?
Abertura padrão guia GH2 para rebaixo direto	Analista de processo	31/07/2022	TREM	Reduzir sucatas no Trem	Revisão de padrão	Sem custos associados
Inserir poka yoke na bucha da guia de entrada da GH2	Coordenador da célula	31/08/2022			Alterar desenho técnico	Não disponibilizado
Revisão de acoplamentos do IV1	Mantenedor do equipamento	31/08/2022			Implementar manutenção preventiva	Não disponibilizado
Padrão de controle de desgaste dos IVs	Analista de processo	01/07/2022			Criação de padrão	Sem custos associados
Item de verificação para revisão de tubos de saída - GH3	Analista de processo	31/10/2022			Criação de check list	Sem custos associados
Item de verificação para check de aperto, guia de entrada GV4	Analista de processo	31/10/2022			Criação de check list	Sem custos associados

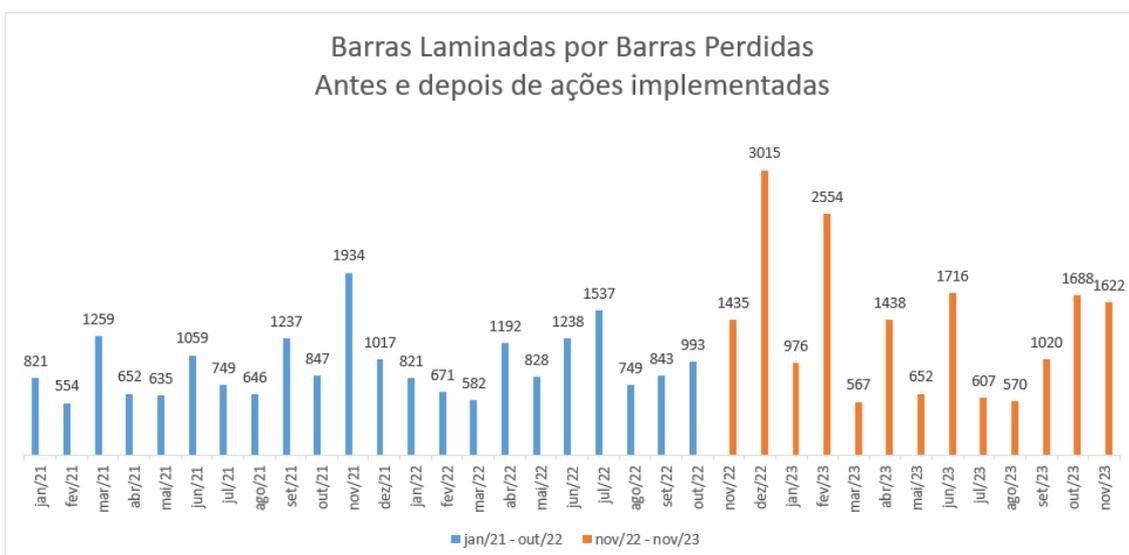
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5. Resultados da etapa CONTROLAR.

Na seção de Controle, foram examinados os resultados após a implementação das ações propostas para garantir a sustentabilidade das melhorias ao longo do tempo. Isso abrange ações como a modificação de padrões, os quais possuem cronogramas de auditoria estabelecidos pela empresa, e a padronização de alterações nos desenhos técnicos no sistema de gerenciamento de documentos da organização.

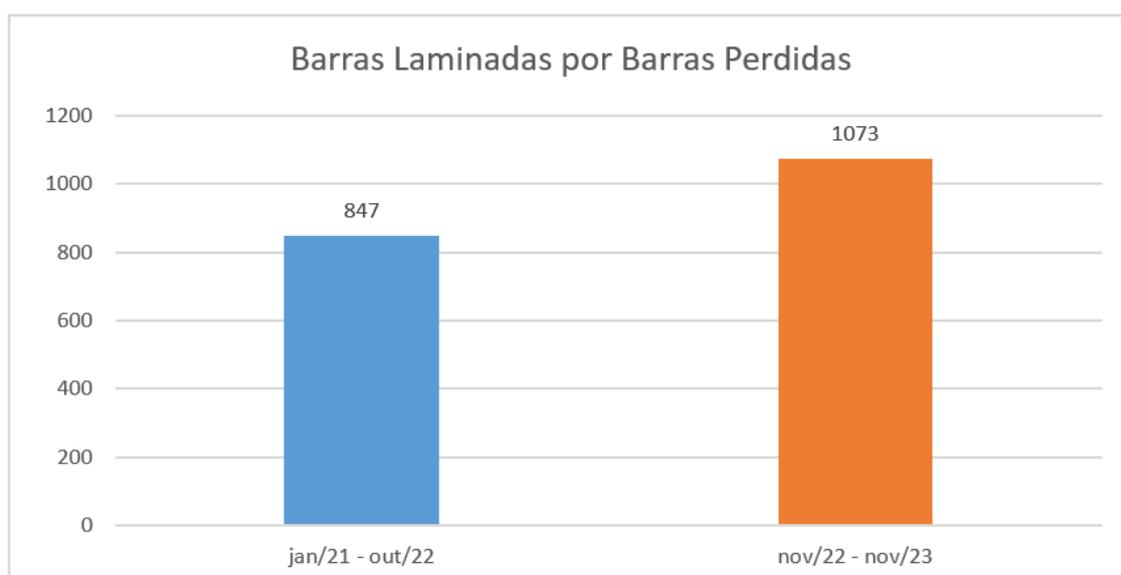
A comparação dos períodos de janeiro de 2021 a outubro de 2022 e de novembro de 2022 a novembro de 2023, conforme observado nas figuras 13 e 14 e no quadro 5, antes e depois da implementação das ações, revelou uma mudança significativa no indicador de barra laminada por barra perdida. No primeiro período, o índice era de 847, indicando que para cada 847 barras laminadas, uma era perdida como sucata. No segundo período, esse índice aumentou para 1073, representando um acréscimo de 27%.

Figura 13 - BL/BP do Laminador 2 após ações implementadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - BL/BP do Laminador 2 acumulado, após ações implementadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 5 - Barras laminadas e perdidas, comparação entre períodos.

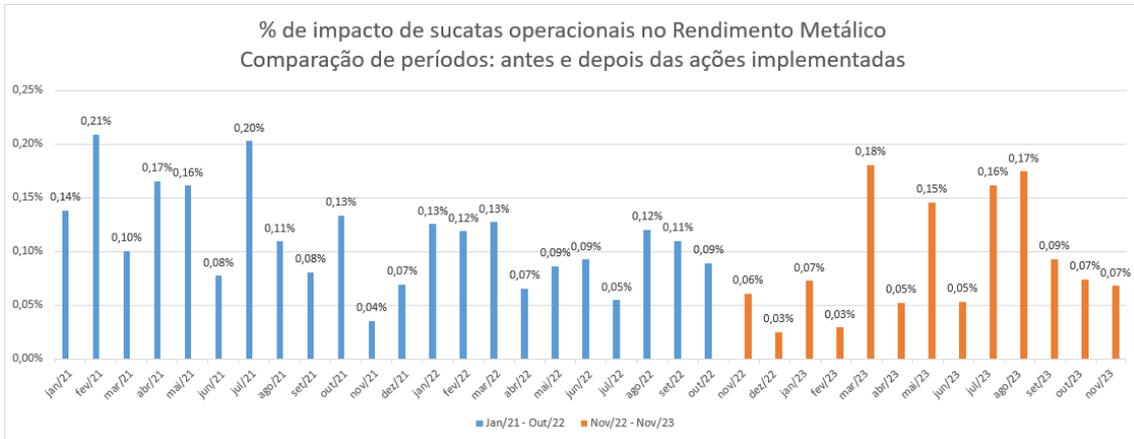
Período	Barras laminadas	Barras Perdidas	Barras Laminadas por Barras Perdidas
jan/21 - out/22	286196	338	847
nov/22 - nov/23	140622	131	1073

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando o impacto das sucatas no rendimento metálico nas figuras 15 e 16, a comparação entre os dois períodos revelou uma redução significativa, passando de 0,11% para 0,9%, representando uma redução de 18,50% no indicador. Essa queda indica uma

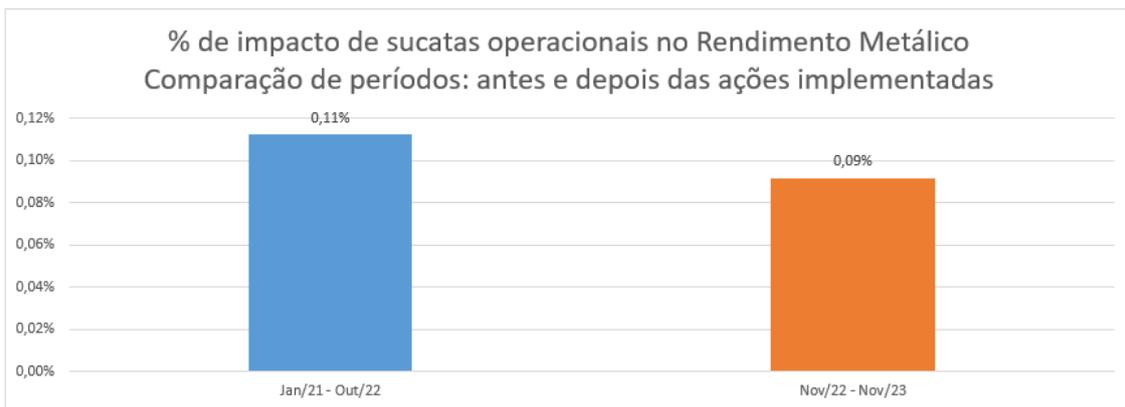
melhoria na eficiência do processo, pois uma menor proporção de material está sendo perdida como sucata em relação à produção total.

Figura 15 - Impacto no rendimento metálico após ações implementadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Impacto no rendimento metálico, comparação entre antes e depois.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. CONCLUSÕES

O objetivo principal foi reduzir as sucatas operacionais no Laminador 2 da Gerdau, localizado na Usina de Charqueadas, Rio Grande do Sul. O foco reside na identificação de pontos críticos no processo de produção e na apresentação de alternativas viáveis para minimizar significativamente o índice de sucatas operacionais.

A análise abrangeu desde a identificação das principais fontes de sucata até a implementação de ações de controle e padronização. Buscou-se não apenas melhorias imediatas, mas também garantir a sustentabilidade desses aprimoramentos ao longo do tempo.

Este estudo ofereceu descobertas valiosas sobre a gestão de sucatas no processo de laminação. Destaca-se a seguir os principais pontos e conclusões obtidos:

Realizou-se uma estratificação detalhada considerando vários aspectos, como equipamento, tipo, turno e diâmetro do material, proporcionando uma compreensão mais precisa das áreas críticas na geração de sucatas. A análise de causa, utilizando o Diagrama de Ishikawa, identificou causas fundamentais para ocorrência de sucatas, embasando o desenvolvimento de ações corretivas direcionadas. Um plano de ação estruturado, baseado na metodologia 5W2H, foi elaborado para abordar especificamente as áreas críticas, fornecendo respostas claras sobre o quê, por quê, quem, quando, onde, como e quanto custará cada iniciativa planejada. A comparação entre os períodos de janeiro de 2021 a outubro de 2022 e de novembro de 2022 a novembro de 2023 mostrou uma melhoria de 27% no indicador de barra laminada por barra perdida, sugerindo uma melhoria global no processo. Além disso, a análise do impacto das sucatas no rendimento metálico revelou uma redução significativa de 18,50%, indicando uma utilização mais eficiente dos materiais após a implementação das ações corretivas. Essas conclusões destacam ganhos em eficiência operacional e redução de perdas, contribuindo para aprimorar a sustentabilidade e o desempenho global do processo de laminação.

Ao analisarmos os resultados, observamos uma melhoria nos indicadores de barras laminadas por barras perdidas e percentual de sucata no Laminador 2, embora essa progressão ainda não tenha atingido estabilidade completa. Essa constatação sugere a necessidade contínua de monitoramento e ajustes para garantir resultados consistentes. Além disso, a identificação da gaiola de desbaste F1 como uma área que requer investimentos mais substanciais aponta para a importância de abordagens robustas. A empresa já mapeou e iniciou a execução desses investimentos. Em termos de trabalhos futuros, é recomendável manter um acompanhamento constante dos indicadores e avaliar o impacto dos investimentos em andamento na gaiola de desbaste F1. Esse enfoque fornecerá uma base sólida para decisões estratégicas e melhorias contínuas no processo de laminação.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, S. Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços LTDA., 2006.

ANTHONY, J., Some pros and cons of six sigma:an academic perspective, The TQM Magazine, Vol.16,Nº4,2004.

BLAKESLEE JR, J.A. Achieving quantum leaps in quality and competitiveness: implementing the Six Sigma solution in your company, 1999.

BORGES, L. Ferramentas da Qualidade: Diagrama de Pareto– Passo a Passo. Disponível em:
<http://agente.epse.com.br/banasqualidade/qualidade48481315484848.pdf>.

BRITO, Francisco Oliveira; DACOL, Silvana. A Manufatura Enxuta E A Metodologia Seis Sigma Em Uma Indústria De Alimentos. Xxviii Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, p.1-14, 13 out. 2008.

CALLISTER, W. D., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CAMPOS, V. F. Qualidade Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. 3. ed. Belo Horizonte: Qfco, 1997.

CHEN T. Discussion on integration of Lean Production and Six Sigma Management. International Business Research, v. 1, n. 1 p. 38-42, 2008.

DOMENECH, M. I. Estratégias Lean Six Sigma para Formação de Black Belts, 1 ed. São Paulo: Elsevier, 2016.

ECKES, G. A revolução Seis Sigma. 6ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 1999.

FIGUEIREDO, T. G. Metodologia Seis Sigma como estratégia para redução de custos: estudo de caso sobre a redução de consumo de óleo sintético na operação de usinagem, 2006

GEORGE, M. L. Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions. New York: The McGraw-Hill Companies, 2003.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Metodos de Pesquisa. [S.l.]: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. (2002) Como elaborar projetos de pesquisa. 4^a. ed. São Paulo: Atlas S/A.

JUNIOR, M. B.; BORGES, W. S. A aplicação das metodologias Lean Seis Sigma. Getec, v.7, n.15, p.37-57/2018.

JUNIOR, Aluisio dos Santos Monteiro; SILVA, Denise Loyola; COSTA, Jacqueline Santos. Avaliação do grau de maturidade das ferramentas lean-six-sigma no setor siderúrgico. XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

KOTTER, J.P. Liderando a mudança. 20.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1997.

LINS, B. F.E. Ferramentas básicas de qualidade, Brasília, 1993.

LOPES, Juliana Domingues; TINOCO, Cynara Mendonca Moreira. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA EM UMA INDÚSTRIA DE LÁCTEOS. Xxxvi Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil, João Pessoa/pb, p.1-21, 2016.

LYNCH D. P.; BERTOLINE, S.; CLOUTIER, E. How to scope DMAIC projects. Quality Progress, v. 3, n. 21, p. 193-203, 2003.

MIRANDA, R. L. Qualidade total: rompendo as barreiras entre a teoria e a prática. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

OLIVEIRA, S. E.; ALLORA, V.; SAKAMOTO, F. T. C. Utilização conjunta do método UP' (Unidade de Produção -UEP') com o Diagrama de Pareto para identificar as oportunidades de melhoria dos processos de fabricação: um estudo na agroindústria de abate de frango. Custos e Agronegócios, v. 2, n. 2, p. 37-48, 2006.

POHLMANN, P. M.; FERREIRA, M. A. Seis Sigma: dificuldades, limitações, fatores críticos de sucesso e perspectivas futuras. Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 10, n. 4, p. 85-99, 2015.

SILVA, Bruna Grazielly de Jesus*; LISBOA, Ainã Pinheiro; SANTOS, Aurea Haiza Almeida; SANTOS, Gabriel Siqueira; SANTANA, Kelyanne Santos; SILVA, Isabelly Pereira. X SIMPROD, São Cristovão, SE, 24 a 25 de setembro de 2018.

ROTONDARO, R. Seis Sigma: estratégia para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2002.

SHARMA, Raman; GUPTA, Pardeep; SAINI, Vipin. SIX SIGMA DMAIC METHODOLOGY IMPLEMENTATION IN AUTOMOBILE INDUSTRY: A CASE STUDY 2. Journal of Manufacturing Engineering, v. 13, n. 1, p. 042-050, 2018

SIMON, K.; SIPOC Diagram – I SIX SIGMA. Disponível em <<https://www.isixsigma.com/tools-templates/sipoc-copis/sipoc-diagram/>>

TRAD, S.; MAXIMIANO, A. C. A. Six Sigma: Critical Success Factors for its Implementation, 2009.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012.

VIANA, Márcio Costa. ANÁLISE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS COM ORIGEM NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE AÇOS ESPECIAIS PARA A CADEIA AUTOMOTIVA E IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES. Dissertação do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais - PPGEM. Porto Alegre, RS, Brasil, 2009.

WERKEMA, C. Lean Seis Sigma: Ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Werkema, 2006.

WERKEMA, C. Criando a cultura Lean Seis Sigma. Rio de Janeiro, RJ : Elsevier, 2012.

WERKEMA, M.C.C. As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.