

**FACULDADE DOCTUM DE JOÃO MONLEVADE  
INSTITUTO ENSINAR BRASIL – REDE DOCTUM DE ENSINO**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE REAMOSTRAGEM DE BOBINAS DE AÇO  
VISANDO A REDUÇÃO DA PERDA MÉTALICA**

**Thiago Henrique Monteiro Fialho \***

**Marco Tulio Domingues Costa \*\***

**RESUMO**

Atualmente, a confiabilidade do produto final é requisito primordial para todas as empresas, desde a prestação de serviços até a confecção de produtos acabados. Para que essa confiabilidade seja alcançada se faz necessário cumprir uma série de parâmetros visando a qualidade e a segurança do produto, agregando valor ao mesmo e atendendo todas as expectativas dos clientes. Um dos problemas que afeta diretamente um dos KPI's (Key Performance Indicator) do laminador fio máquina é o índice de má qualidade, que está, de certa forma, ligado à qualidade do produto acabado. Um dos fatores que impactam esse índice é a reamostragem de bobinas, que se faz necessária quando são encontrados defeitos no material após a realização do ensaio metalográfico. Esses defeitos precisam ser eliminados, então realiza-se um novo descarte, onde se gera uma nova perda metálica, por isso, o objetivo deste presente estudo é analisar o processo de forma sistemática, com intuito de controlar esse descarte de uma forma eficaz, para se reduzir e minimizar essas perdas, utilizando uma ferramenta da qualidade elaborada a partir da metodologia Lean Seis sigma, conhecida como DMAIC, a partir disso foi se realizado uma pesquisa de campo, no qual ouve uma investigação na reamostragem de bobinas e constatou que o principal problema é o descarte feito de forma aleatória de acordo com a percepção/experiência do operador.

Palavras-chave: Perda Metálica. Reamostragem. Qualidade.

---

\* Bacharelado em Engenharia de Produção na Faculdade Doctum de João Monlevade;  
thmf.jmde@gmail.com

\*\* Engenheiro de Produção Pelo Centro Universitário Leste de Minas Gerais

## 1 INTRODUÇÃO

O setor siderúrgico é o segmento que frequentemente se depara com mudanças de mercado, com isso, é necessário buscar boas estratégias para se manter competitivo no mercado. Em 2018 o setor teve uma queda significativa em suas exportações devido ao aumento da sobretaxa de importação do aço atribuída pelo governo americano. Isso gerou grande impacto nas empresas do segmento. Diante disso, é importante que a siderurgia continue mantendo seus padrões de qualidade, buscando inovação e mão de obra qualificada. Assim, o setor poderá voltar a crescer e ter sucesso no mercado. Para isso, é necessário cumprir uma série de parâmetros visando a qualidade e a segurança do produto, agregando valor ao mesmo e atendendo todas as expectativas dos clientes e se mantendo competitiva no mercado.

A laminação a quente é um processo bastante complexo, no qual existe uma série de variáveis e parâmetros que caso não seja controlada de forma precisa, gera-se diversos defeitos no material. Esses defeitos podem ser desde defeitos superficiais, onde são visivelmente detectados ao olho nu pelos inspetores de linha, até defeitos contidos na estrutura no material onde são detectados através das análises metalográficas.

Então, é possível buscar responder a seguinte pergunta, qual a importância de reduzir a perda metálica e otimizar o processo de reamostragem de bobinas? Para responder esta pergunta criou-se os seguintes objetivos para a este artigo. O objetivo geral foi identificar as possíveis causas de perda metálica na reamostragem de bobinas. O primeiro objetivo específico foi avaliar as causas de perda metálica, o segundo foi propor soluções para diminuir a perda metálica e terceiro propor nova metodologia de trabalho para os operadores de manuseio.

Para estudar esse problema, a metodologia adotada nesta pesquisa é de caráter qualitativo-quantitativo, a fim de demonstrar como uma ferramenta da qualidade podem auxiliar no processo de reamostragem de rolos. A ferramenta utilizada neste trabalho será o DMAIC, com intuito de melhorar a identificação dos rolos para agilizar o processo de reamostragem e auxiliar no controle da perda metálica, contribuindo para a melhoria dos resultados da empresa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico foi possível adquirir mais conhecimento acerca do tema, permitindo que o pesquisador tivesse mais base para levantar os dados para a resolução do problema proposto.

### 2.1 Laminação de fio máquina

Segundo Coda (2018), a “laminação é um processo de conformação mecânica executado por compressão direta sem retirada de material, visando obter de deformações plásticas no material conformado”.

O objetivo do processo de laminação controlada em aços microligados refina a microestrutura austenítica, o qual modifica a estrutura ferrítica resultante no processo de transformação da austenita em ferrita. Com isso, há um aumento simultâneo da resistência mecânica e da tenacidade do aço (OLIVEIRA, 2016).

O processo de laminação consiste na deformação do material através da sua introdução em dois cilindros que giram em sentidos opostos, sofrendo a conformação durante a passagem entre esses cilindros, conseqüentemente, reduzindo a altura e aumentando o comprimento e a largura do material (CODA, 2018).

Esse método tem o intuito de transformar a estrutura metalúrgica do material, deixando de formas circulares de mesmo tamanho, de acordo com as aplicações finais de cada produto.

A laminação é denominada como sendo o processo de deformação mecânica, que permite transformar placas de aço em bobinas laminadas a quente e chapas grossas (no segmento aços planos) e de blocos e tarugos de aço em vergalhões, perfis, barras e fio-máquina (no segmento de aços longos). As propriedades dos metais são geralmente aprimoradas pela deformação mecânica. Neste caso, o efeito mais proeminente é o encruamento (endurecimento por deformação plástica), frequentemente utilizado como intuito de aumentar a resistência mecânica dos materiais (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010).

## 2.2 Reamostragem

A reamostragem é um processo de retrabalho que no qual se objetiva a retirada de uma nova amostragem, com intuito de eliminar defeitos que não foi possível eliminar anteriormente. Esse procedimento necessita do envolvimento de outras duas gerencias importantes para o fluxo do processo, como a logística e a qualidade.

A reamostragem é um processo que impacta um dos KPI's (Key Performance Indicator) da empresa, índice de má qualidade que se dá pela porcentagem da quantidade de rejeitos do processo em toneladas (Desvio, reclassificação, sucata, reamostragem) pela quantidade total enfiada produzida mês.

$$IMQ = \frac{\text{Desvios (t)} + \text{Reclassificações (t)} + \text{Sucata (t)} + \text{Retrabalho(t)}}{\text{Total Produzido (t)}} \times 100$$

O laminador processa bobina por bobina, ao longo do processo cada barra tem sua cabeça e sua cauda, onde estão localizadas nas extremidades das barras ou nas pontas das bobinas. Normalmente essas pontas ao longo da laminação podem estar fora de espessura ou podem apresentar defeitos (ZUNEGA *et al.*, 2013). Os defeitos se dão pelo resfriamento ocorrido no momento do contato com a cadeira de laminação, com isso, é preciso descartar as pontas para evitar enviar material com baixa qualidade para os clientes. As tesouras mecânicas são equipamentos localizados nas linhas de laminação e tem como um dos objetivos realizar o descarte das extremidades das bobinas.

## 2.3 Qualidade

No processo laminação a qualidade é um requisito primordial para que se tenha *benchmarking* no mercado. Levando isso em consideração as empresas adotam diversos artifícios para atender a todas as expectativas dos clientes (LINO, 2015).

Quando o fio máquina sai do processo de laminação, existem cabines onde o material passa pelas primeiras inspeções de qualidade, esse controle consiste de três etapas: inspeção visual, ensaios físicos e metalógrafos. Essas etapas são feitas de

acordo com a exigência e especificação de cada cliente, que são seus NQ (Níveis de Qualidade). O NQ 210 é empregado para aços que exigem ensaios mais criteriosos e o NQ 202 são utilizados para os outros aços que não exigem esses padrões de qualidade (LINO, 2015).

A primeira etapa é a inspeção visual, o colaborador examina a bobina de forma criteriosa, procurando possíveis defeitos superficiais. Posteriormente mede-se a bitola, afim de verificar se o material está dentro da sua tolerância de diâmetro.

A segunda etapa são os ensaios físicos, a seguir são apresentados os principais ensaios físicos utilizados para avaliar a qualidade do fio máquina.

O ensaio de recalque é muito utilizado nos processos de qualidade de fio máquina, Batalha (2003 p.6) afirma que “Recalque é um processo de conformação livre, onde um recorte bruto do material, é reduzido por compressão entre duas interfaces paralelas, geralmente planas.”. O recalque pode variar de tipo 1 a 5 de acordo com o nível de sua trinca, sendo o tipo 1 uma trinca leve e o tipo 5 uma trinca grotesca ao longo do recalque.

Outro ensaio muito utilizado é o ensaio de carepa, Lino (2015) afirma que “O ensaio de carepa consiste em um ensaio de torção no material, onde a carepa do fio-máquina é classificada de acordo com um padrão”. Esse grau de classificação se dá por ruim, regular, boa e ótima, a categorização é de acordo com a espessura da carepa, quanto mais fina melhor sua classificação.

O ensaio de tração também é utilizado nas verificações de qualidade, Dalcin (2007, p.8) afirma que “Consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a ruptura.”.

Outro ensaio físico utilizado é a dureza, Rodrigues (2019) afirma que “A maioria dos ensaios de dureza estáticos consiste na impressão de uma pequena marca feita na superfície da peça, pela aplicação de pressão, com uma ponta de penetração.”

A terceira etapa são os ensaios metalográficos, no qual se faz uma análise criteriosa da estrutura cristalina do material a fim de observar vários aspectos relacionados à microestrutura do fio máquina, como: inclusão; segregação; bandeamento; qualidade superficial; tamanho de grão; descarbonetação e carbonetação (LINO,2015).

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A empresa, objeto do estudo, está situada no estado de Minas Gerais, é uma das principais produtoras de aços longos do Brasil. Seu *Know-How* é a produção de aços especiais para a indústria automotiva e construção civil.

A unidade onde será realizada o presente estudo é uma usina com processo integrado. O processo inicial para a fabricação dos aços, que é a extração de minério, é realizado em uma mina localizada a 11 km da usina (a empresa tem sua própria mina). Após a extração do minério ocorre os processos intermediários na sinterização, alto forno, aciaria, já o processo final, ocorre nos laminadores, onde se tem a produção do fio máquina. Os processos descritos anteriormente fazem parte da produção de aço em uma usina integrada.

O trem Laminador 1 foi o primeiro laminador da usina, ele foi inaugurado no dia 26 de março de 1968, inicialmente ele era composto por 3 linhas de laminação conhecidas por veios. Com o passar dos anos ele sofreu diversas modernizações até chegar ao processo atual, que é composto por duas linhas de laminação, A e B.

O processo de laminação é um constituído da conformação mecânica de tarugos de aço carbono com seção de 155x155 mm. Os tarugos podem ter comprimento variando de 10 a 12,35 metros, esse comprimento se dá de acordo com a especificação do cliente.

Os laminadores possuem um grande mix de produção, podendo produzir diversos tipos de aços (Alto, Médio e Baixo teor de carbono), com diversas bitolas que podem variar de 3,96 mm a 44 mm. A maior porcentagem de produção corresponde aos produtos de alto valor agregado (Molas Helicoidais e *Steel Cord*), tanto para o mercado interno quanto para o externo.

## 4 METODOLOGIA

Segundo Marconi e Lakatos (2010), a estratégia de pesquisa compõe-se de uma tática reflexiva do pensamento, que demanda partir de análises e investigações empíricas e teóricas, para que haja um bom emprego dos processos científicos.

Diante disso, a pesquisa foi de natureza aplicada que, segundo Gil (2008), operam como uma maneira de auxiliar o pesquisador a solucionar os problemas no local em que o mesmo está inserido. Perante a isto, esta pesquisa se objetivou a encontrar soluções para os problemas específicos presentes na área de estudo.

A pesquisa apresentou uma abordagem quantitativa e qualitativa, buscando observar os indicadores que estão resultando na perda de rendimento metálico, que foi o objeto deste estudo. Segundo Lazzarini (1995), pesquisa quantitativa consiste em mensurar, medir o objeto de estudo. Então serão quantificados o peso e número de bobinas reamostradas após a laminação.

O método qualitativo permite ao pesquisador compreender os acontecimentos ao invés de mensurá-los (LAZZARINI, 1995). Diante disso, foram analisados os motivos que levaram essas bobinas a serem reamostradas, separando as mesmas por classes e levantando os dados estatísticos para se fazer uma avaliação minuciosa das possíveis causas.

Quanto aos objetivos dessa pesquisa, a mesma se denominou de caráter explicativa. Segundo Gil (2008), a pesquisa explicativa propõe-se em buscar a identificação dos fatores que determinam ou colaboram para a ocorrência dos fenômenos. Com isso, foi possível compreender as causas e efeitos dos problemas encontrados na reamostragem de bobinas, tentando explicar os acontecimentos e buscando melhorias através de métodos experimentais.

Quanto aos procedimentos técnicos, foi aplicado um estudo de campo que, segundo Fonseca (2002), e o estudo se distinguiu-se pela investigação no qual se realiza a coleta de dados com as pessoas utilizando recurso diferentes. Diante disso, foram averiguadas as possíveis causas da perda metálica na reamostragem de bobinas na laminação da empresa.

Todos dados foram obtidos pelo Sistema Integrado de Gestão Empresarial (ERP) da empresa, a partir do qual foram estratificados dados como peso, perda metálica e motivos que levaram a bobinas a serem reamostradas.

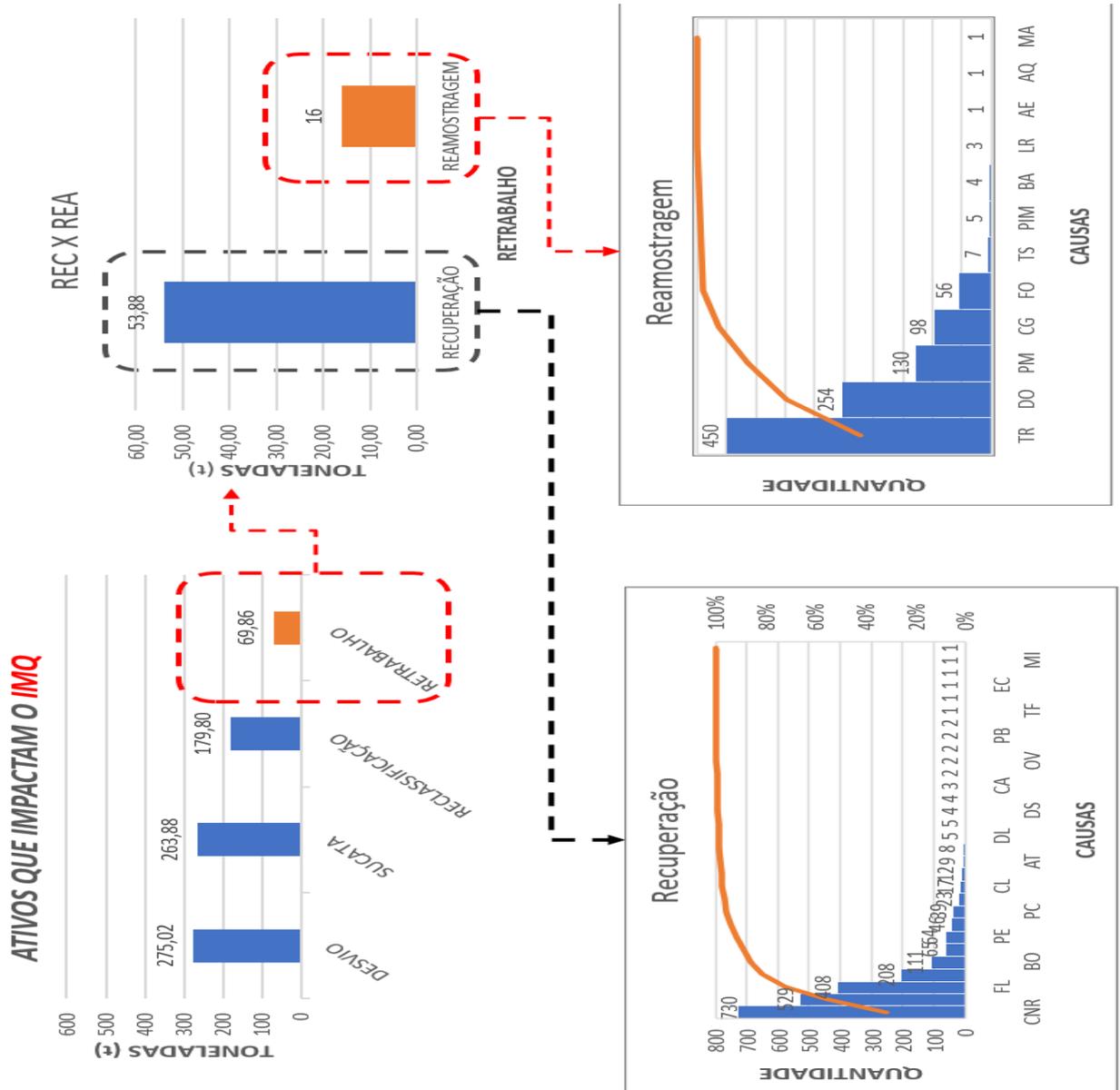
O sistema utilizado foi o MES (*Manufacturing Execution Systems*), através dele foi possível coletar todos os dados do 1º semestre de 2019, no qual foram estratificadas aquelas informações referentes ao retrabalho. Através do sistema é possível identificar diversas variáveis como data de produção, corrida/partição, número da sequência, turno/turma da produção, peso anterior, peso atual (depois de retrabalhado), diferença de peso (atual/anterior), data do retrabalho, turno/turma do retrabalho, quantidade de repesagem, código, lote, bitola, grau do aço, motivos que levaram ao rolo a ser reamostrados, e onde é o defeito do rolo (cabeça, meio, cauda). Através dessas variáveis foi possível realizar diversas análises para identificação dos problemas e servindo como uma base de dados para implementação da metodologia do seis sigma, DMAIC.

## **5 PESQUISA E ANÁLISE DE DADOS**

No processo de realização da pesquisa foi utilizado a metodologia DMAIC para levantar os problemas e propor as soluções para elevado índice de perda metálica na reamostragem de bobinas. O primeiro passo foi definir o problema, correspondendo ao “D” do DMAIC.

A Figura 1, mostra os ativos que impactam o índice de má qualidade, desvios, reclassificações, sucatas e retrabalho. Mostra também a média da quantidade de toneladas que impactaram esse índice no 1º semestre de 2019.

Figura 1: Ativos que impactam o IMQ (Índice de má qualidade)



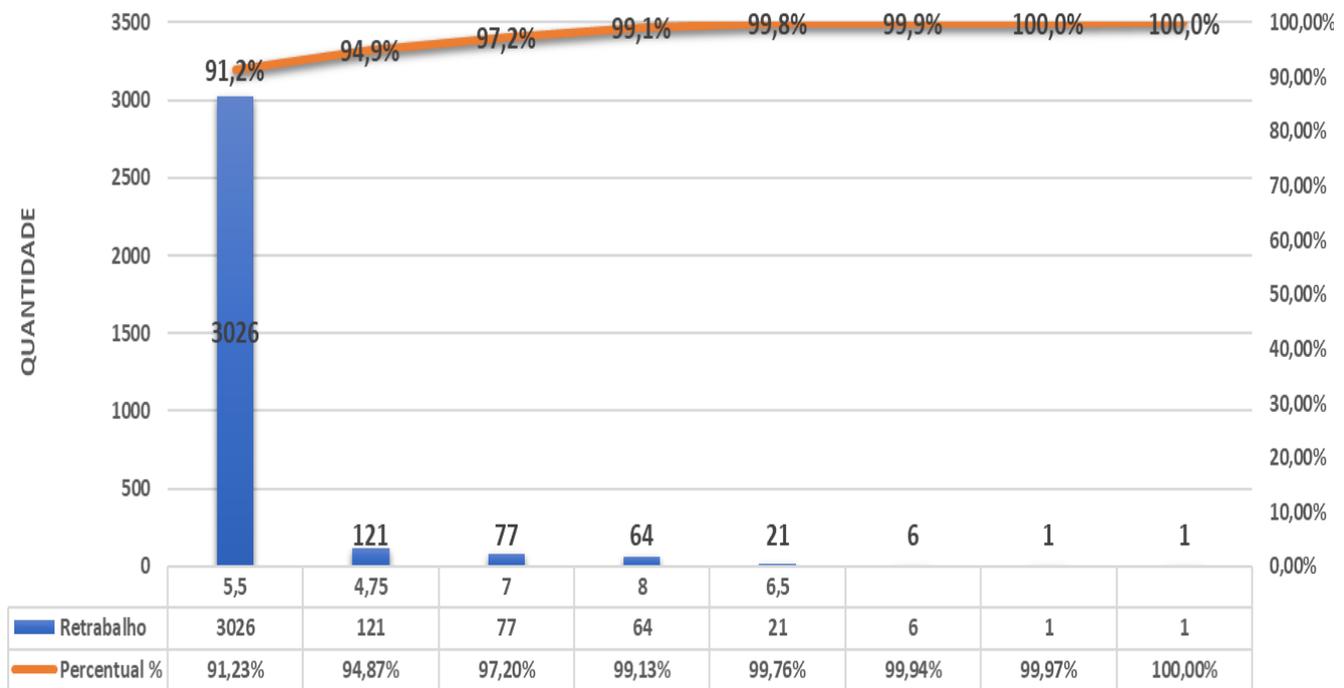
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Na Figura 1, pode-se observar que a variável retrabalho se tem a menor perda metálica dentre as outras, e a reamostragem representa quase 23% do total retrabalho, mas por se tratar de perda por reamostragem (descarte) e ser produtos de alto valor agregado, essas 16t mês representa uma perda significativa para a empresa.

Uma das ferramentas da qualidade utilizadas para auxiliar nessa etapa foi o *Brainstorming*, em que foi realizado uma reunião com 6 pessoas (Coordenador da área, monitores de processo, operadores de manuseio), onde foram levantadas várias possíveis causas do problema e destacadas as principais hipóteses associadas ao problema, e analisados os KPI's (Key Performance Indicator) que a reamostragem impacta.

A Figura 2 mostra a mix de bitolas de bobinas retrabalhados no 1º semestre de 2019.

Figura 2: Mix de bitolas das bobinas retrabalhadas



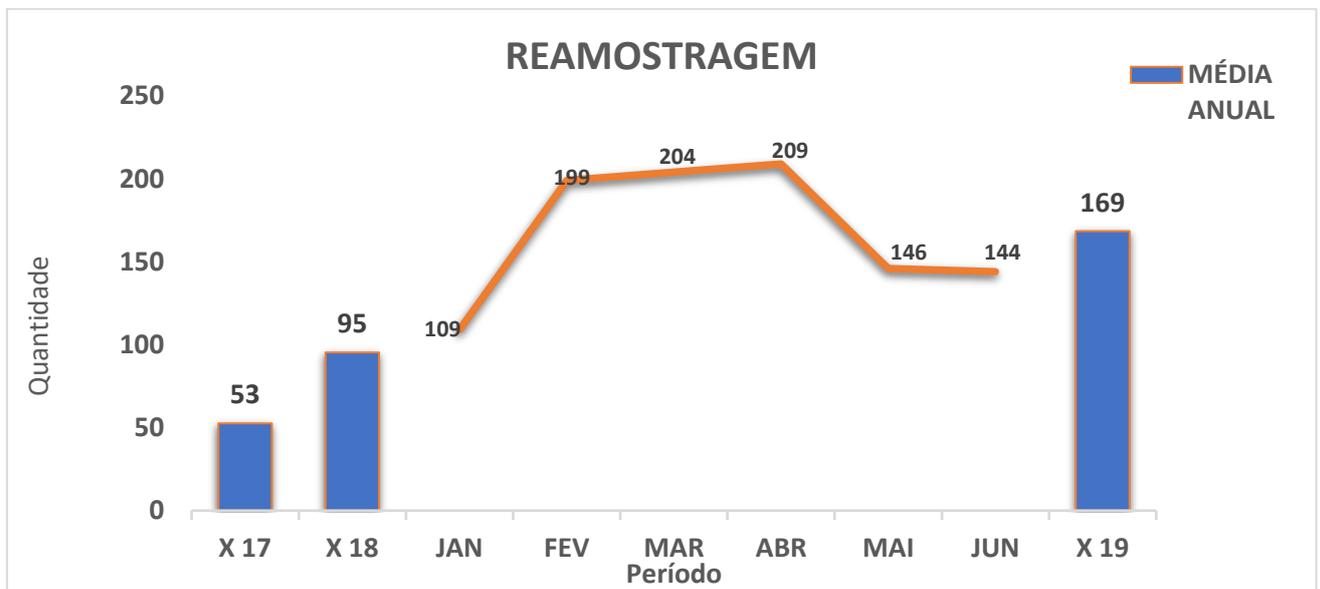
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Na Figura 2 pode-se observar que a bitola de 5,5 mm representou 91,2% das bobinas e por esse motivo através do Gráfico de Pareto do princípio 80/20, decidiu-se usar essa bitola para realizar esta pesquisa.

Na etapa seguinte da metodologia do DMAIC consiste na medição no qual foram levantados os dados e informações do processo para que se possa avaliar seu desempenho antes e depois da implementação das melhorias. Foram levantadas posteriormente as possíveis causas do problema.

A Figura 3 mostra o gráfico evolutivo do número de bobinas reamostradas de janeiro a julho de 2019.

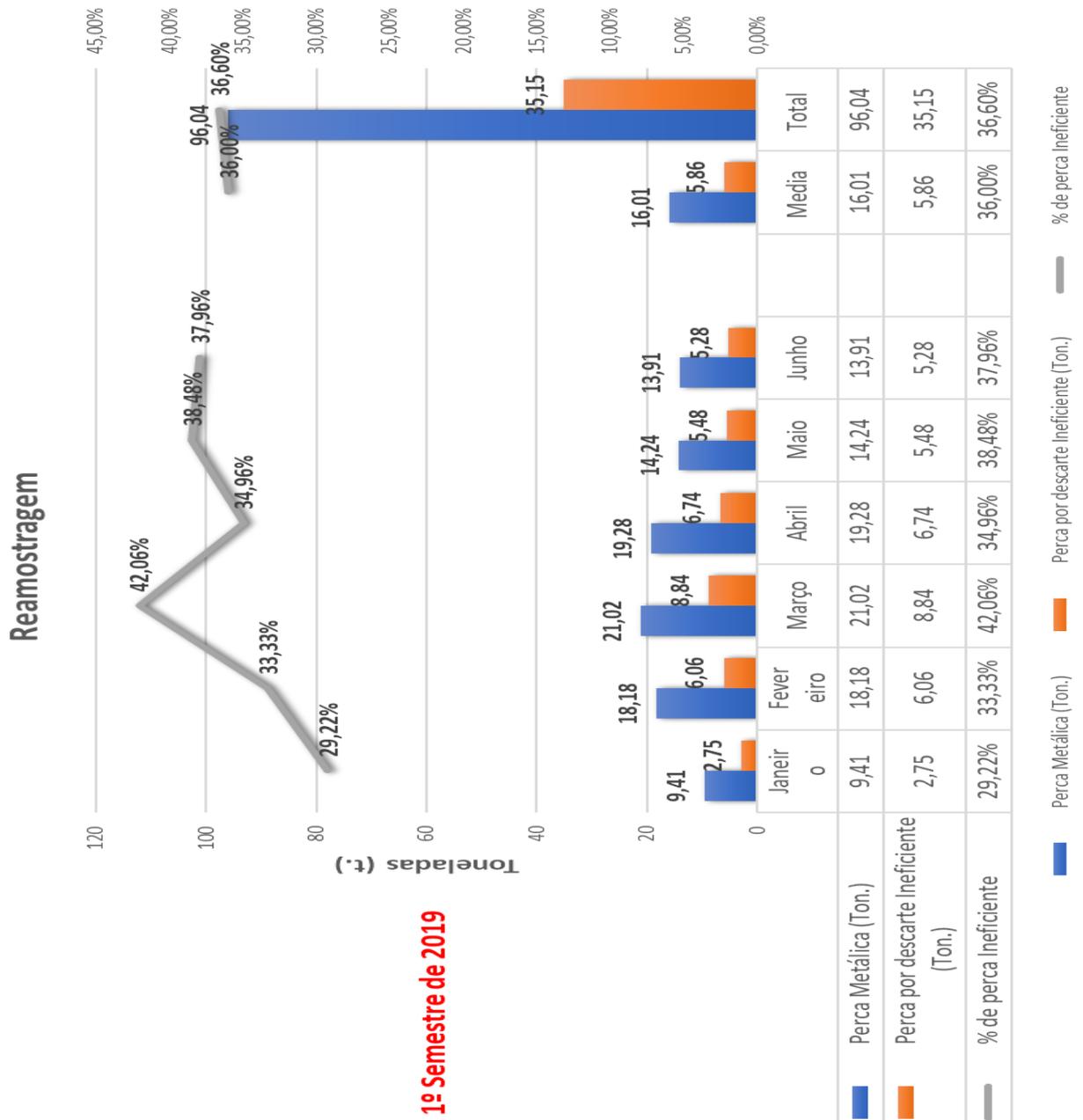
Figura 3: Evolutivo das quantidades de bobinas reamostradas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Na Figura 3 é possível observar a média de bobinas reamostradas em 2017, 2018 e 2019. Percebe-se que no ano de 2019 houve um aumento de 78% na média de bobinas reamostradas. Na Figura 4 foi representado a quantidade (toneladas) de perda metálica dentro do período do 1º semestre de 2019.

Figura 4: Perda metálica na reamostragem

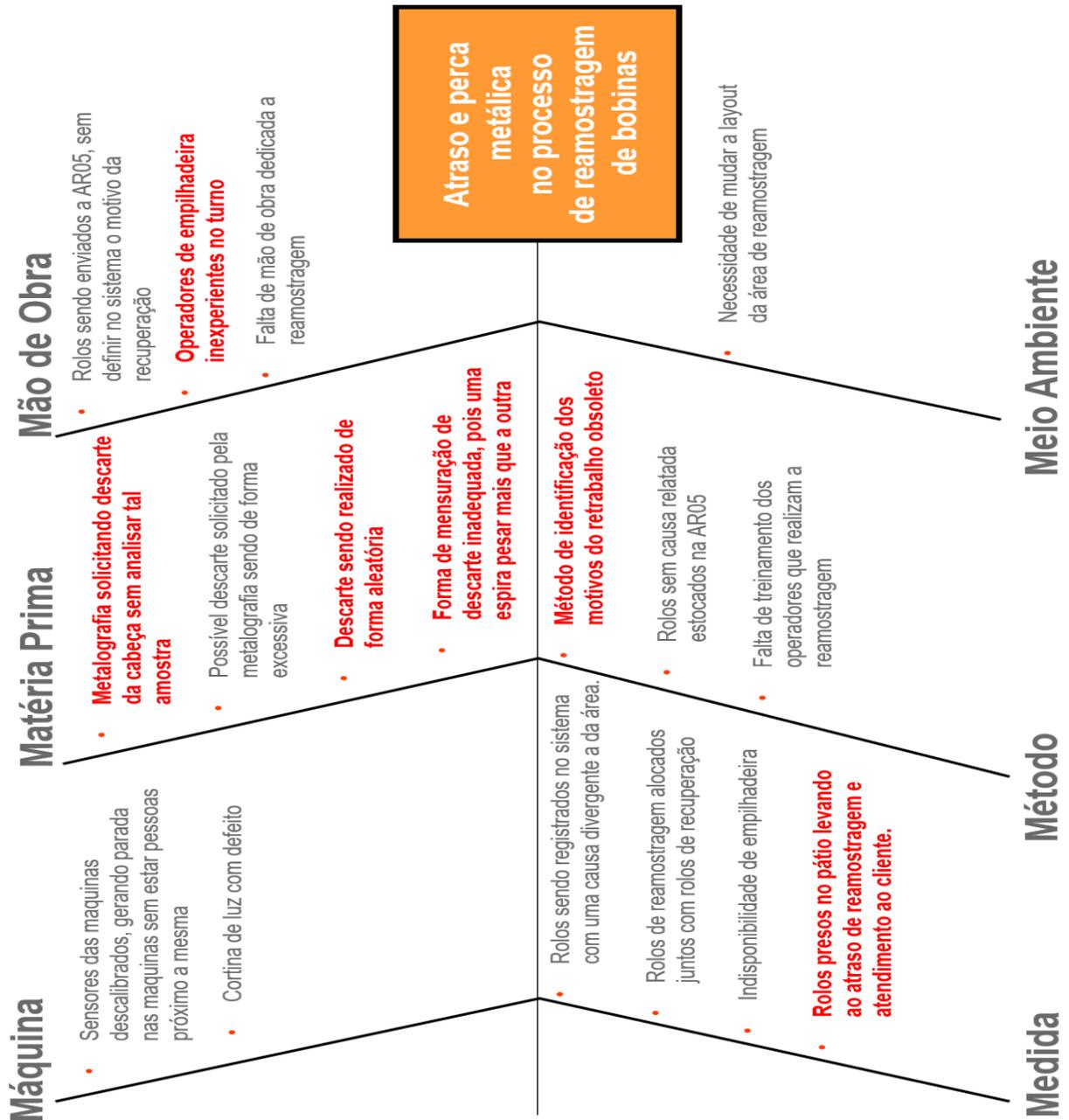


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Na Figura 4 pode-se observar que se tem uma perda metálica media de 16 t/mês, porém dentro deste descarte se tem um desperdicio medio de 5,86t e isso representa 36% da perda metálica. Isso impacta diretamente na lucratividade da empresa, pois, por se tratar de um produto acabado, o que poderia ser vendido ao cliente, é desperdiçado, voltando novamente para o início do processo de produção de aço. Desta forma, é preciso trabalhar para eliminar esse desperdício na produção, a fim de elevar os ganhos da empresa.

A Figura 5 mostra o diagrama de causa e efeito, no qual apresentem as possíveis causas do problema.

Figura 5: Diagrama causa e efeito



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Na Figura 5 foram destacadas aquelas causas que apresentam maior relevância com o problema raiz.

A terceira etapa da metodologia DMAIC foi a fase de analítica. Nesta etapa foi definida a causa raiz que afeta diretamente o problema e analisou-se a melhor forma para solução do problema em questão, criando assim uma oportunidade de melhoria.

O problema em raiz encontrado foi o “Descarte sendo realizado de forma aleatória”. Os operadores realizam descartes de 30 Kg na cabeça e 30 Kg na cauda, esse descarte é de acordo com a percepção (o quanto que ele acha que representa 30kg) de cada operador que realiza a reamostragem.

No processo de reamostragem, de acordo com o procedimento padrão de operação, o método para se medir esse descarte é contando 50 espiras (30 Kg) e, logo após isso realiza-se o corte e retira-se a nova amostra. Porém, esse processo tem falhas, pois, as espiras podem variar de tamanho, de dimensão da bitola, e tudo isso influencia no peso da espira.

A sugestão proposta para a solução desse problema em questão é colocar uma balança suspensa na cabeça e outra na cauda, penduradas através de um suporte, para que o operador antes de realizar o corte da espira confira se realmente está descartando a quantidade exata. Após este procedimento poderá ser retirada uma nova amostra para análise.

Esse processo está em fase de estruturação, por se tratar de um investimento que requer aquisição de recursos externos, sendo necessário realizar um processo de compras que passa por várias etapas como, cadastramento do produto, pesquisa de valores, tramitações, dentre outras coisas. Após o produto ser comprado e disposto na empresa, iniciará o processo de instalação do equipamento na área, no qual será aberta uma ordem de serviço para uma empresa terceirizada especializada fazer as devidas instalações e manutenções. Então o prazo para finalizações de toda instalação e adequação findará no próximo ano.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito geral do artigo foi atingido de forma de satisfatória, no qual foram feitas as identificações dos pontos de perda metálica na reamostragem de bobinas, propondo soluções para a causa dos problemas em questão e propondo novos estudos para reduzir ainda mais a perda metálica.

O objetivo proposto foi atingido, pois, conseguiu-se avaliar as possíveis causas de perda metálica, que foram, descarte sendo realizado de forma aleatória, de acordo com a percepção/experiência do operador, e sendo realizado descarte na cabeça sem realizar análise de tal amostra. Porém, uma segunda opção pode ser feita realizando estudos mais aprofundados para investigar tal anomalia e comparando com os dados obtidos nesta pesquisa, permitindo comparar qual é o melhor método.

O segundo objetivo específico também foi atingido, pois, se propôs uma solução para reduzir a perda metálica na reamostragem de bobinas através de uma balança, que pode mensurar de forma objetiva a quantidade correta a ser descartada. A metodologia do ciclo DMAIC não foi completada devido ao processo de aquisição da balança, que já está em processo de compras. Após a chegada da balança será possível completar o ciclo implementando a medida e controlando-a afim de fechá-lo.

O terceiro objetivo específico foi atingido, pois será possível realizar a mudança do método em que se pesasse o descarte antes de realizar o corte de uma nova amostra. Vale ressaltar que o gestor da área já autorizou tal implementação, que trará ganhos para o processo.

Por meio dos estudos apresentados neste artigo, apresentou resultados bastantes satisfatórios, ainda que não se conseguiu aplicar a ideia na prática devido ao processo de aquisição, propõem-se futuramente a continuação dessa pesquisa para concretização dos resultados finais esperados.

Através da aplicação do diagrama de Ishikawa, pode-se observar que existe possibilidades de estudos mais aprofundados, em outras causas que originam este tipo de problema, podendo ter um potencial de redução de perda metálica ainda maior. Na realização de novos estudos considerando as demais causas, é importante que se mantenha uma pesquisa criteriosa e com o mesmo rigor quanto essa, para garantir resultados tão satisfatórias e expressivos como deste trabalho.

## OPTIMIZATION OF THE REFERENCE PROCESS TO REDUCE THE METAL LOSS

### ABSTRACT

*Today, end product reliability is a prerequisite for all companies, from service delivery to finished product manufacturing. In order to achieve this reliability, it is necessary to comply with a series of parameters aimed at product quality and safety, adding value to it and meeting all customer expectations. One of the problems that directly affects the wire rod rolling mill KPIs is the poor quality index, which is somewhat linked to the quality of the finished product. One of the factors that impact this index is the resampling of coils, which is necessary when material defects are found after the metallographic test. These defects need to be eliminated, so a new disposal is performed, where a new metallic loss is generated, so the aim of this study is to analyze the process systematically, in order to control this disposal effectively, to reducing and minimizing these losses, using a quality tool developed using the Lean Six Sigma methodology, known as DMAIC, from which a field research was conducted, in which a research on the resampling of coils was found and found that the main The problem is the disposal made at random according to the operator's perception / experience.*

*Keywords: Metallic Loss. Resampling. Quality.*

### REFERÊNCIAS

BATALHA, Gilmar Ferreira. **Introdução Manufatura Mecânica**. 2003. 96p.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Siderurgia no Brasil 2010-2025; subsídios para tomada de decisão** – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; 2010.científica. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CODA, Roberto. **Treinamento processo Laminação**. 2018 40p.

DALCIN, Gabrieli Bortoli. **Ensaio dos Materiais**. 2007. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, 2007. Cap. 6.

FONSECA, J.J.S. **Metodologia de pesquisa científica**. Fortaleza: UEC,2002. Apostila.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas. 2008.

LAZZARINI, S. G. Estudos de Caso: aplicabilidade e limitações do método para fins de pesquisa. **Economia Empresas**, v. 2, n. 4, p. 17-26, out.-dez., 1995.

LINO, Roney. **Laminação de fio-máquina**. 2015. 32 slides.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas, Amostras e Técnicas de Pesquisas, Elaboração, Análise e Interpretação de Dados**. 8 ed., São Paulo: Atlas, 2017.

OLIVEIRA, Felipe Gabriel de. **MODELO MATEMÁTICO DE EVOLUÇÃO MICROESTRUTURAL DE FIO-MÁQUINA MICROLIGADO AO NIÓBIO LAMINADO A QUENTE**. 2016. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda J. **Ensaio Mecânicos de Materiais – Ensaio de Dureza**. 2019. 82 slides.

ZUNEGA, Carolina Moya. *et al.*, Aumento do rendimento de produto da laminação a frio através da redução dos descartes de pontas das bobinas. In: Seminário da Laminação, 50., 2013. **Anais...** Ouro Preto: Processo de produtos laminados e revestidos – Internacional, 2013.