



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA O  
CONTROLE E MELHORIA DA TAXA DE PARADAS NO PROCESSO  
DE LAMINAÇÃO**

LUANN CARLOS SOARES PIMENTEL

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

JOÃO MONLEVADE

Fevereiro, 2016

**LUANN CARLOS SOARES PIMENTEL**

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA O  
CONTROLE E MELHORIA DA TAXA DE PARADAS NO PROCESSO  
DE LAMINAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

*Orientação: Prof. Ma. Maressa Nunes R. Tavares*

**JOÃO MONLEVADE**

Fevereiro, 2016



### ANEXO VIII–ATA DE DEFESA

Ao 01 dia do mês de Março de 2016, às 16h30, na sala D203 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo aluno Luann Carlos Soares Pimentel, sendo a comissão examinadora constituída pelas professoras: Maressa Nunes R. Tavares, Isabela Carvalho de Moraes e Luciana Paula Reis. O aluno apresentou o trabalho intitulado: APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA O CONTROLE E MELHORIA DA TAXA DE PARADAS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO.

A comissão examinadora deliberou, pela:

( ) Aprovação

(X) Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: 10 dias

( ) Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca: \_\_\_\_\_

( ) Reprovação

do aluno, com a nota 9,0. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP12/2015 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo aluno.

João Monlevade, 01 de Março de 2016.

Professora Orientadora

Convidada

Convidada

Aluno

## TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA O CONTROLE E MELHORIA DA TAXA DE PARADAS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 01 de Março de 2016.

*Luann Carlos S. Pimentel*

---

Luann Carlos Soares Pimentel

## Resumo

No setor siderúrgico, a globalização e o aumento da oferta de aço a baixo custo, tem forçado as empresas à procurar estratégias para se manter competitivas. Por ser um produto de difícil diferenciação, o meio encontrado de se destacar é pela qualidade, nível de serviço oferecido ao cliente e custo baixo. Nesse sentido, o setor de qualidade é fundamental para alcançar resultados satisfatórios, pois não só a qualidade final, mas também apresenta um grande potencial para melhorar o atendimento ao cliente e reduzir os custos operacionais. Com isso, este trabalho apresenta a proposta de utilização da ferramenta *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)* para melhoria na taxa de utilização de uma empresa de grande porte do setor siderúrgico. Além do FMEA, foram utilizadas outras ferramentas da qualidade para organização e estratificação dos dados de paradas, com o objetivo de estabelecer um plano de ações que mitigassem ou eliminassem potenciais modos de falha no processo produtivo. O escopo da análise foi: paradas acidentais do processo de laminação, sendo essas paradas de caráter corretivo. As mais prejudiciais aos resultados da empresa, pois além dos custos de manutenção, elas influenciam diretamente na qualidade e atrasam a entrega, gerando insatisfações aos clientes. O principal motivo de aplicar o FMEA é a necessidade de aprimoramento, redução de falhas e minimização dos danos causados por essas, buscando sempre a melhoria contínua. Mas esse objetivo deve ser impregnado na cultura da organização, para se tornar um hábito de todos envolvidos no processo e não uma ação isolada. Caso contrário, a aplicação da ferramenta não será bem sucedida e não serão alcançados os benefícios esperados.

**Palavras-chave:** Gestão da qualidade, Laminação, FMEA.

## **Abstract**

In the steel industry, globalization and the increased supply of steel at low cost, has forced companies to look for strategies to stay competitive. Since the product difficult to differentiate the means found to stand out is the quality, level of service offered to the customer and low cost. In this sense, the quality of the sector is essential to achieve satisfactory results, because not only the final quality, but also presents great potential to improve customer service and reduce operational costs. Therefore, this paper presents the proposed use of the tool Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) to improve the utilization rate of a company in the steel sector. In addition to the FMEA were used other quality tools for organization and stratification of data stops, in order to establish an action plan to mitigate or eliminate potential failure modes in the production process. The scope of the analysis was: the accidental stoppages of the lamination process, because these corrective stoppages. The most prejudicial to the company's results, beyond the maintenance costs, they directly influence the quality and delays on delivery, generating dissatisfaction of customers. The main reason to apply the FMEA is the need for improvement, reducing failures and minimizing the damage caused by these, summarizing the idea of continuous improvement. But the goal of continuous improvement must be ingrained in the organization's culture, to become a habit of all involved in the process and not an isolated action. Otherwise, implementation of the program will not succeed and the expected benefits will not be achieved.

**Key-words:** Quality management, Lamination, FMEA.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. Introdução.....   | 15 |
| 1.1 Problema de pesquisa.....                                | 16 |
| 1.2 Justificativa .....                                      | 16 |
| 1.3 Objetivos .....  | 17 |
| 1.3.1 Objetivo geral .....                                   | 17 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos .....                            | 17 |
| 1.4. Estrutura do trabalho.....                              | 18 |
| 2. Revisão Bibliográfica.....                                | 19 |
| 2.1. Siderurgia.....   | 19 |
| 2.2. Paradas .....   | 18 |
| 2.3. Taxa de utilização – TU (%).....                        | 19 |
| 2.4. Ferramentas da Qualidade.....                           | 20 |
| 2.4.1. Histograma .....                                      | 21 |
| 2.4.2. Gráfico de Pareto .....                               | 21 |
| 2.4.3. Diagrama de Causa e Efeito .....                      | 22 |
| 2.4.4. Failure Mode and Effect Analysis - FMEA.....          | 23 |
| 3. Metodologia de Pesquisa.....                              | 27 |
| 4. Resultados .....  | 28 |
| 4.1. Descrição da empresa .....                              | 28 |
| 4.2. Descrição do Laminador 2.....                           | 30 |
| 4.3. Tipos de Paradas no Laminador.....                      | 32 |
| 4.3.1. Paradas programadas.....                              | 32 |
| 4.3.2. Paradas acidentais.....                               | 33 |
| 4.4. Identificação das paradas mais frequentes e causas..... | 35 |
| 4.5. FMEA .....  | 39 |
| 4.6. Sugestões de Melhoria .....                             | 41 |
| 5. Considerações finais.....                                 | 42 |
| 6. REFERÊNCIAS .....   | 44 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Fluxograma da Usina de Tubarão (Vitória/ES).....                           | 19 |
| Figura 2 - Configuração de gaiola universal .....                                     | 18 |
| Figura 3 – Indisponibilidade devido à manutenção.....                                 | 20 |
| Figura 4 - Exemplo de histograma. ....  | 21 |
| Figura 5 – Exemplo Gráfico de Pareto.....   | 22 |
| Figura 6 - Caracterização de um processo por meio do diagrama de causa e efeito. .... | 23 |
| Figura 7 – Formulário FMEA .....  | 26 |
| Figura 8 - Usina de João Monlevade.....   | 30 |
| Figura 9 - Layout do processo de laminação do TL2.....                                | 31 |
| Figura 10 - Bobina de Fio-máquina. ....   | 32 |
| Figura 11 - Gráfico da Taxa de Utilização do Laminador 2.....                         | 34 |
| Figura 12 - Gráfico das paradas acidentais consolidadas.....                          | 36 |
| Figura 13 - Diagrama de Pareto das paradas mecânicas por equipamento. ....            | 37 |
| Figura 14 - Diagrama de Pareto das paradas mecânicas por turma.....                   | 38 |
| Figura 15 - Formulário FMEA .....   | 40 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Probabilidade de ocorrência. ....   | 25 |
| Tabela 2 – Severidade dos efeitos .....        | 25 |
| Tabela 3 – Índice de detecção das falhas ..... | 25 |

## **1. Introdução**

Considerando informações de 65 países, a produção global de aço bruto dos 170 principais fabricantes totalizou, de janeiro à maio de 2015, 675,628 milhões de toneladas, com queda de 1,9% comparando-se às 689,044 milhões de toneladas produzidas em igual intervalo de 2014 (FONTES, 2015).

Devido à situação mundial e, conseqüentemente, à queda no preço do aço, o setor de siderurgia enfrenta uma fase de grandes desafios. Diante desse cenário, a dinâmica da concorrência mundial foi alterada forçando as empresas a responderem com maior agilidade na formulação e na execução de suas estratégias. Fusões e incorporações são algumas das saídas encontradas pelas empresas para enfrentar a concorrência, resultando em uma progressiva consolidação dos principais players da siderurgia mundial.

No Brasil, o setor siderúrgico enfrenta um ambiente competitivo que se deve em grande parte por dois fatores. Primeiramente, o processo de privatização pelo qual o setor passou nas últimas duas décadas, e concomitantemente, o processo de abertura comercial de diversas economias, decorrente da globalização. Devido a isso, as empresas do setor começaram a priorizar a eficiência da indústria para obtenção de maior produtividade e lucros da operação, levando à formação de grandes grupos.

Entre as vantagens competitivas obtidas pela formação de um grande grupo pode-se citar o ganho de produção em escala, maior poder de negociação com os fornecedores e também com agentes logísticos, mais facilidade de atender a grandes demandas e, principalmente, o compartilhamento de conhecimento através de benchmarking, tornando as empresas mais eficientes.

Para responderem com agilidade às constantes mudanças desse setor e se manterem competitivas, as empresas devem melhorar seus processos internos, buscando a racionalização dos recursos (homens, matéria prima e máquinas), a fim de obter melhores resultados econômicos e financeiros. Para alcançar o aumento da eficiência e eficácia operacional, é imprescindível uma melhor compreensão do funcionamento da estrutura organizacional e dos processos. Sendo assim, o presente trabalho é extremamente relevante, pois visa analisar a taxa de utilização do processo de laminação da empresa, através do estudo das paradas operacionais.

A empresa em questão é uma unidade de um grupo multinacional, que atua no segmento siderúrgico e tem como negócio principal a produção de aços laminados a quente. O produto final é a bobina de fio-máquina, disponibilizado em bitolas que variam de 5,5 mm a 44 mm, de acordo com a necessidade de cada cliente.

### *1.1 Problema de pesquisa*

No presente trabalho, é analisado o processo de laminação em uma empresa de grande porte do setor siderúrgico. Atualmente, é observado um significativo número de paradas no processo, ocasionando queda na produção e, conseqüentemente, baixa performance do laminador.

Com isso, nota-se a necessidade de analisar o sistema de controle das paradas do processo de laminação, pois muitos são os problemas originados por essas paradas, como: alto custo de produção, atraso na entrega dos pedidos, além de comprometer a qualidade e segurança do trabalho.

Neste sentido, as perguntas que norteiam o desenvolvimento do trabalho são: Quais são as origens e causas das paradas no processo de laminação? Quais ações devem ser realizadas a fim de reduzir a taxa de paradas e possibilitar uma melhoria na performance do laminador?

### *1.2 Justificativa*

Devido à competitividade enfrentada pelo setor siderúrgico é necessário que as empresas desenvolvam um maior aprendizado, capacitação técnica e a busca constante pela melhoria contínua. Obriga, ainda, a prática de planos de ação para melhorar o desempenho operacional resultando na redução de custos e melhoria da qualidade dos produtos e processos, viabilizando a competitividade no mercado.

Na situação do mercado moderno, a qualidade dos produtos torna-se um fator imprescindível para enfrentar a concorrência, e as instituições enfrentam o dilema de oferecer um produto de maior qualidade pelo menor preço. Uma das maneiras de melhorar a qualidade sem que tenha que investir uma grande quantidade de capital é sempre rever e otimizar os processos internos. Através da aplicação de ferramentas da qualidade, é possível combater ineficiências no processo, e no caso das siderúrgicas as paradas são responsáveis por considerável parte da redução na taxa de utilização dos equipamentos.

Reduzindo a taxa de paradas conseqüentemente se reduz a geração de sucata, o retrabalho e a quantidade de reprocesso.

As paradas no processo podem causar diferentes tipos de transtornos e prejuízos ao consumidor. Os processos industriais modernos tem se tornado cada vez mais rápidos e precisos, com isso, principalmente os consumidores industriais exigem a confiabilidade nos prazos determinados, pois também possuem metas de produtividade para atingir e dependem da matéria prima para atender seus clientes finais. E um dos fatores mais impactados pelas paradas é o atendimento ao cliente.

Para alcançar um crescimento na produtividade e melhorar resultados econômicos e financeiros, o controle dos processos internos é o ponto crucial para obter racionalização, agilidade e redução de custos. Nesse contexto, justifica-se o estudo sobre as paradas na produção, pois elas influenciam diretamente no custo, no atendimento ao cliente e na qualidade da produção.

### 1.3 *Objetivos*

#### 1.3.1 *Objetivo geral*

Analisar as paradas acidentais no processo de laminação em uma empresa siderúrgica localizada em João Monlevade-MG.

#### 1.3.2 *Objetivos Específicos*

- ✓ Compreender de maneira sistemática como funciona o processo de laminação;
- ✓ Identificar quais sub-processos exercem maior influência na taxa de parada do processo, e conseqüentemente, na taxa de utilização do laminador 2;
- ✓ Identificar e caracterizar as principais causas de interrupções no processo, utilizando ferramentas de qualidade;
- ✓ Analisar a taxa de utilização do processo de laminação e sugerir métodos de controle e melhoria para redução da taxa de paradas.

#### *1.4. Estrutura do trabalho*

O presente trabalho foi estruturado em 5 seções. Iniciando com a introdução do setor em que foi desenvolvido o estudo, definição do problema, objetivos e justificativa, para facilitar a compreensão do leitor acerca do problema tratado. Em seguida, a revisão bibliográfica, apresentando os principais conceitos relevantes à realização do trabalho, como processos de siderurgia, manutenção, definições utilizadas em processos operacionais e as ferramentas da qualidade utilizadas. Na próxima 3 é explicada a metodologia de pesquisa utilizada, desde o meio de obtenção dos dados da empresa ao método aplicado para análise.

Na seção 4 é apresentada a análise de dados e resultados, contém uma breve descrição da empresa onde o estudo foi realizado, assim como, a área do laminador, os tipos de parada no processo de laminação. Posteriormente, é apresentada a análise da taxa de parada, os resultados obtidos e as sugestões de melhoria. Por último, as considerações finais de como o estudo foi realizado, a importância das ferramentas da qualidade para a análise do problema e finalizando com sugestões de trabalhos futuros.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Siderurgia

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

A figura 1, demonstra, de forma resumida, o processo de transformação do minério de ferro e suas etapas que serão descritas abaixo.

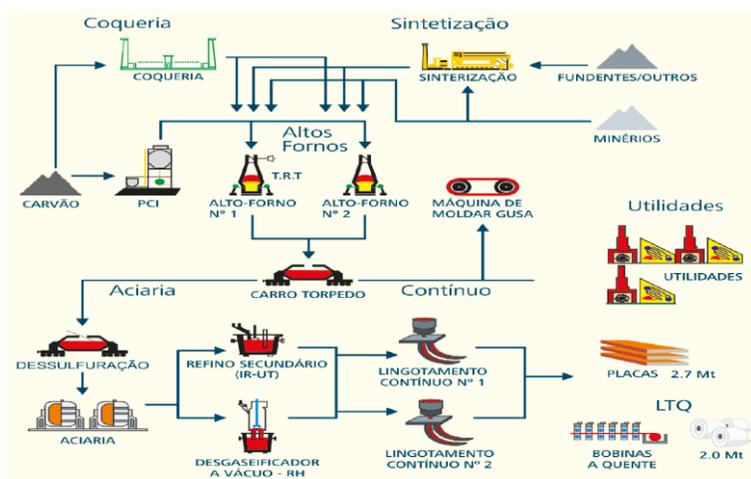


Figura 1 - Fluxograma da Usina de Tubarão (Vitória/ES)

Fonte: Apostila de Laminação AMM.

Para facilitar a compreensão do processo e suas características, pode-se dividi-lo em quatro etapas:

**Processo de Sinterização:** Esta é a primeira etapa que o minério passa ao chegar à usina, na qual ele é preparado com os componentes com o objetivo de adequar a sua granulometria, o que aumenta a permeabilidade do ar entre as partículas, facilitando a

queima do minério. A composição é especificada de acordo com os pedidos dos clientes, e em seguida os elementos são levados ao forno, misturados, passando pelos processos de fundição e resfriamento. Após ser resfriada, ocorre a britagem para atingir a granulometria de diâmetro médio igual a 5 mm. A última etapa é o processo de sinterização que consiste na redução do minério de ferro utilizando o coque e outros fundentes. Posteriormente, esse material é transportado para o alto forno. O produto final nesse processo é denominado de sinter (SILVA, 2011).

**Processo de Alto Forno:** O alto forno é um reator termicamente eficiente, que funciona em regime de contracorrente: gás-sólido (coque e minério). Nesse processo é realizada a queima de coque (produz CO e CO<sub>2</sub>), promovendo a redução do minério: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → FeO (wustita) → Fe sólido, a partir do Fe saturado com C no estado líquido. No alto forno é produzido o ferro gusa, que é transportado para o forno panela denominado de aciaria, onde ocorre o processo de lingotamento contínuo transformando o ferro gusa em aço (INFOMET, 2015).

**Lingotamento Contínuo:** A próxima etapa é a fabricação de tarugos, que é a transformação do aço líquido que sai do forno panela e solidificado em moldes de tamanho pré-determinado. O corte dos tarugos é feito com um maçarico e eles são armazenados em um pátio de estocagem até seguirem para o próximo passo que é o processo de laminação (SILVA, 2011).

**Processo de Laminação:** É um processo de conformação mecânica no qual se modifica as dimensões de um corpo metálico pela passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido, com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos, como pode se visualizar na figura 2. O processo de laminação pode ser realizado de três maneiras: laminação a quente, laminação a frio e laminação contínua. O metal é submetido a altas tensões compressivas, e a tensões cisalhantes superficiais, resultantes da fricção entre os cilindros e o metal. As forças de fricção são também responsáveis pelo ato de puxar o metal, o que resulta no alongamento da peça (CODA, 2006).

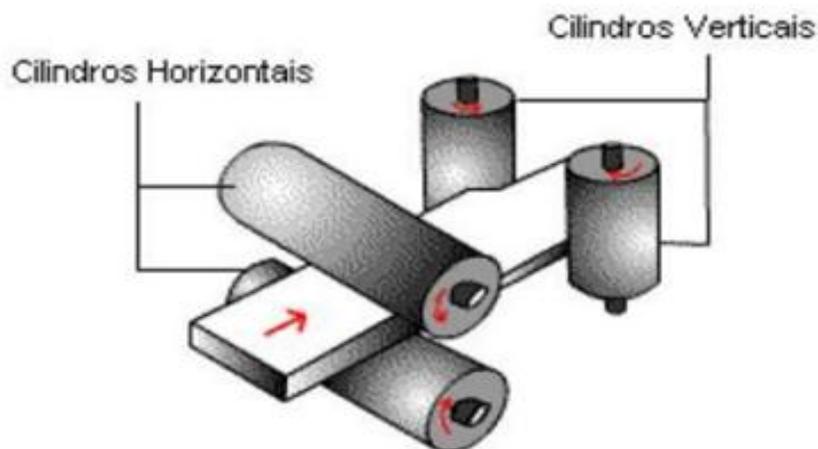


Figura 2 - Configuração de gaiola universal

Fonte: Vilela, 2007

## 2.2. *Paradas*

No contexto industrial, podem-se utilizar os termos falhas, interrupções no processo ou paradas, para facilitar a compreensão daqui em diante será utilizado apenas o termo parada para se referir a qualquer interrupção no processo, podendo ser parada programada ou parada não programada.

As paradas programadas, termo utilizado em referência às manutenções preventiva e preditiva, atuam como medida de segurança com o objetivo de diminuir os danos causados pelas paradas no processo. Contudo, não são suficientes para suprir as falhas dos equipamentos, resultando em paradas não programadas, ou seja, àquelas de caráter corretivo (FONTANINI *et al*, 2004).

Segundo Slack *et al*. (2002), diversos fatores podem ocasionar falhas, e essas podem ser divididas em: falhas de fornecedores, falhas causadas por ações dos clientes e falhas no processo de manufatura do produto. Para Martins e Laugeni (2002), as interrupções do processo produtivo geram diversos problemas como custos de reparos, aumento nos índices de acidentes, danos à produção com receitas que deixam de ser auferidas e reclamações dos clientes, por não atender o prazo estabelecido. Além disso, a produtividade diminui em

função da redução da taxa de utilização dos equipamentos.

### 2.3. Taxa de utilização – TU (%)

As interrupções imprevistas na produção não afetam apenas a produção em si, mas também prejudicam a satisfação dos clientes, por atrasar a entrega de pedidos. A indisponibilidade por manutenção em um equipamento é a situação em que o mesmo, de forma imprevista, não se encontra em condições de desempenhar sua função.

A taxa de utilização é dada pela relação entre o tempo de calendário (total de horas disponíveis para produção) e o tempo efetivo (tempo calendário – tempo total de paradas), no período considerado (Equação 1).

$$TU = \frac{\textit{Tempo Efetivo}}{\textit{Tempo Calendário}} \times 100$$

Algumas empresas utilizam o termo indisponibilidade e estabelecem uma meta para o setor de manutenção para estabelecer o máximo que o equipamento deve ficar indisponível. Por outro lado, algumas empresas utilizam o termo taxa de utilização para indicar a meta de mínimo tempo que os equipamentos devem operar dessa maneira, o objetivo é alcançar o máximo de tempo possível.

Segundo dados da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN, 2013), em pesquisa realizada em vinte setores produtivos, a indisponibilidade devido à manutenção no Brasil correspondeu a 6,15% no ano de 2013 (figura 3).

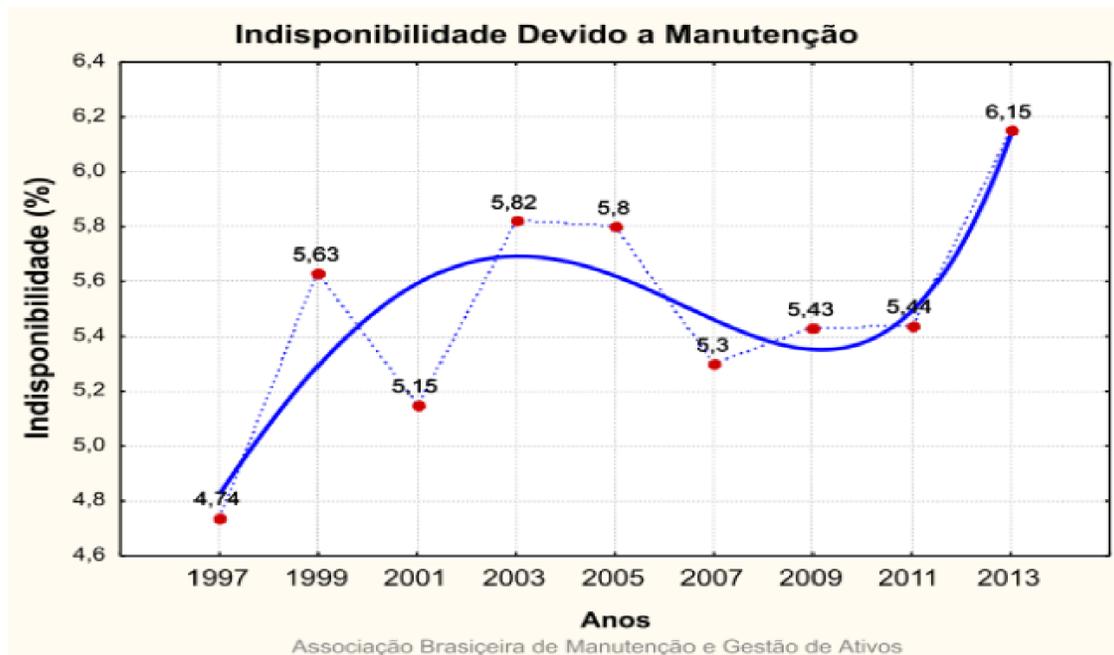


Figura 3 – Indisponibilidade devido à manutenção.

Fonte: ABRAMAN, 2013

Na figura 3, observa-se um crescimento da indisponibilidade devido às paradas para manutenção desde 1997, com uma queda no ano de 2007, seguida por um acentuado aumento novamente.

#### 2.4. Ferramentas da Qualidade

O objetivo das ferramentas da qualidade é dar suporte ao desenvolvimento da qualidade e apoio à decisão na análise de determinada situação (MIGUEL, 2006).

Mata-Lima (2007) complementa ainda que as ferramentas são melhores utilizadas quando aplicadas para a identificação das causas raízes dos problemas, e que, se usadas de maneira correta têm potencial para eliminar o problema como um todo e não apenas a causa superficial.

As sete ferramentas tradicionais da qualidade são: diagrama de causa-efeito, histograma, gráfico de pareto, diagrama de correlação, gráfico de controle e folha de verificação (PALADINI, 1997). As ferramentas pertinentes no desenvolvimento deste trabalho serão detalhadas a seguir.

### 2.4.1. Histograma

Para Werkema (1995), o histograma é um gráfico de barras verticais, onde cada barra representa uma faixa de valores e a área dessa barra é diretamente proporcional ao número de ocorrência dessa faixa. Ele constitui a etapa preliminar de qualquer estudo e é um indicador da distribuição de dados, representando uma distribuição de probabilidades.

Segundo Paladini (1997), a construção de um histograma é simples. Na reta horizontal são marcadas as medidas e na reta vertical, são descritas as frequências de ocorrências dos intervalos ou medidas. A curva é formada pela altura dos retângulos que representam o número de ocorrência de cada intervalo. A figura 4 mostra um exemplo de histograma.

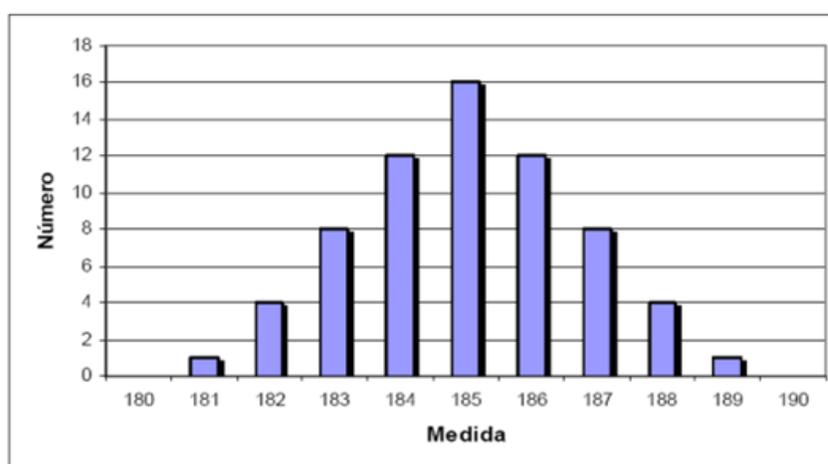


Figura 4 - Exemplo de histograma.

Fonte: Paladini, 1997

### 2.4.2. Gráfico de Pareto

Segundo Werkema (1995), é um gráfico de barras verticais que permite a visualização das informações de forma clara, onde se nota com facilidade quais são as prioridades do problema tratado, conforme a figura 6. Pois, ele forma um padrão decrescente, onde os itens com maior número de ocorrência aparecem primeiro no gráfico e assim até os com menos expressividade, que ficam no final do gráfico. Isso se justifica porque, pelo princípio de Pareto, uma grande parte dos defeitos encontrados são ocasionados pelas mesmas causas, dessa maneira, tratando essas causas principais consegue-se eliminar um grande número de problemas. O gráfico de Pareto tem uma aplicação bem ampla, podendo ser utilizado para tratar problemas de qualidade nos mais diversos processos.

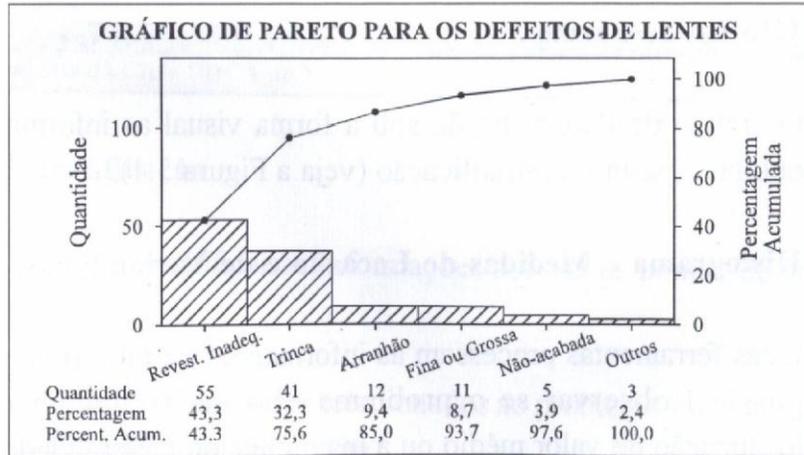


Figura 5 – Exemplo Gráfico de Pareto.

Fonte: WERKEMA, 1995

#### 2.4.3. Diagrama de Causa e Efeito

Também conhecido como diagrama de Ishikawa, devido ao seu criador, ou diagrama espinha de peixe, devido à sua forma, o diagrama de causa e efeito é uma forma gráfica de expor as informações de maneira que fica clara a relação entre o problema e as principais causas que o influenciam (MIGUEL, 2006). Como pode ser observado na figura 6.

Segundo Vieira (1999), primeiro é definido o problema, para então levantar as causas do problema em questão. Geralmente, é realizada uma sessão de brainstorming com as pessoas envolvidas, sendo aconselhável ter pessoas de diferentes níveis e que esse processo se dê de maneira democrática.

A metodologia define as seis “causas primárias”, também denominadas “6M”, que são: material, método, máquinas, mão-de-obra, meio ambiente e medidas. Essas causas ficam localizadas no final de cada linha que são ligadas ao eixo principal e as causas secundárias são colocadas ao longo de cada linha cuja causa principal é relacionada (VIEIRA, 1999).

Miguel (2006) define os seguintes passos para a elaboração do diagrama:

- ✓ Identificação do problema;
- ✓ Brainstorming para relatar as possíveis causas;
- ✓ Construir o diagrama agrupando as causas em “6M”;
- ✓ Analisar o diagrama, a fim de identificar as causas verdadeiras;

✓ Correção do problema.

O resultado do diagrama de causa e efeito é basicamente a esquematização de um brainstorming, ou seja, ele permite registrar e representar as informações organizando as causas por áreas (WERKEMA, 1995).



Figura 6 - Caracterização de um processo por meio do diagrama de causa e efeito.

Fonte: WERKEMA, 1995 (adaptado pelo autor)

#### 2.4.4. *Failure Mode and Effect Analysis - FMEA*

Segundo Matos e Milan (2009), o FMEA foi criado em 1949 por militares para avaliar o efeito da ocorrência de falha em sistemas e equipamentos do exército americano. A partir de 60, começou a ser utilizada pelo setor aeronáutico e aperfeiçoada pela NASA - National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço). Em 1988, a ferramenta passou a ser utilizada no ramo automotivo, integrando programas avançados de planejamento da qualidade em projetos e processos, em empresas como Chrysler, Ford e General Motors.

A ferramenta FMEA, do inglês Failure Mode and Effect Analysis (Análise de Modos de Falhas e Efeitos), pode ser aplicada em projetos de produto ou em processos, e tem como princípio mitigar potenciais falhas por meio de análises e propostas de melhoria (BEN-DAYA et al, 1995). De acordo com Palady (1997) apud Zorzan et al (2013), o FMEA é uma ferramenta que apresenta uma estrutura para avaliação, condução e atualização do desenvolvimento de projetos e processos em todas as áreas da empresa. Adiciona ainda que, em termos de custos e riscos, é uma das técnicas mais eficientes para prevenção de falhas e identificação das soluções.

O objetivo da ferramenta FMEA é reduzir a probabilidade de ocorrência da falha e seu efeito. E se utilizado de maneira eficiente, pode tornar o produto mais competitivo através da otimização do processo. Além disso, pode resultar na: melhoria da qualidade, segurança dos produtos e serviços, melhoria da imagem da empresa e sua competitividade, ajudam a aumentar a satisfação do cliente, reduz custo e tempo de desenvolvimento de produto, auxilia o diagnóstico de processos e estabelece prioridades para implantação de ações corretivas (STAMATIS, 1995).

#### *2.4.5. Aplicação do FMEA*

A primeira etapa para a construção do FMEA é a identificação das funções do equipamento, seus requisitos e especificações, e de acordo com as informações de entrada identificar todos os modos de falhas que possam ocorrer em cada etapa. Modo de falha é o não cumprimento exato da função para qual o equipamento foi desenvolvido. Para cada modo de falha devem ser relacionadas as possíveis causas e os possíveis efeitos que essas causas podem gerar. Ainda nessa fase, são mencionados os controles de detecção e de controles de prevenção de falhas utilizados no processo (RODRIGUES et al, 2010).

Com os modos de falha, efeitos, causas e controles de prevenção e de detecção identificados, a próxima etapa é definir a severidade, a ocorrência e a detecção. A severidade é relacionada à gravidade do efeito potencial da falha. A ocorrência é classificada de acordo com a probabilidade de acontecer tal falha, mesmo com os sistemas de prevenção adotados. A detecção determina qual a probabilidade da falha ser notada. Em seguida, é encontrado o valor do Número de Prioridade de Risco(NPR) multiplicando o valor de cada um dos critérios: severidade x ocorrência x detecção (RODRIGUES et al, 2010).

Os valores de NPR são utilizados para selecionar quais as falhas devem ser priorizadas, e quais ações devem ser tomadas. As ações referentes aos valores de NPR mais altos são as primeiras que devem ser realizadas, com o objetivo de reduzir a severidade, ocorrência ou detecção, como pode ser visualizado no exemplo da figura 8. Os critérios para estipular os índices podem variar dependendo do autor que se utiliza como referência, a seguir nas tabelas 1, 2 e 3 são apresentados exemplos sugeridos por Ben-Daya e Raouf (1996).

Tabela 1 – Probabilidade de ocorrência.

| Probabilidade de ocorrência | Chances de ocorrência | Escore |
|-----------------------------|-----------------------|--------|
| Remota                      | 0                     | 1      |
| Baixa                       | 1/20,000              | 2      |
|                             | 1/10,000              | 3      |
| Moderada                    | 1/2,000               | 4      |
|                             | 1/1,000               | 5      |
|                             | 1/200                 | 6      |
| Alta                        | 1/100                 | 7      |
|                             | 1/20                  | 8      |
| Muito alta                  | 1/10                  | 9      |
|                             | 1/2                   | 10     |

Fonte: Ben-Daya e Raouf, 1996

Tabela 2 – Severidade dos efeitos

| Severidade                                      | Escore |
|---|--------|
| O cliente provavelmente não tomará conhecimento | 1      |
| Leve aborrecimento                              | 2 - 3  |
| Insatisfação do cliente                         | 4 - 6  |
| Alto grau de insatisfação                       | 7 - 8  |
| Atinge as normas de segurança                   | 9 - 10 |

Fonte: Ben-Daya e Raouf, 1996

Tabela 3 – Índice de detecção das falhas

| Probabilidade de não detectar a falha | Probabilidade (%) de um defeito individual alcançar o cliente | Escore |
|---------------------------------------|---|--------|
| Remota                                | 0 - 5   | 1      |
| Baixa                                 | 6 - 15  | 2      |
|                                       | 16 - 25   | 3      |
| Moderada                              | 26 - 35   | 4      |
|                                       | 36 - 45   | 5      |
|                                       | 46 - 55   | 6      |
| Alta                                  | 56 - 65   | 7      |
|                                       | 66 - 75   | 8      |
| Muito alta                            | 76 - 85   | 9      |
|                                       | 86 - 100  | 10     |

Fonte: Ben-Daya e Raouf, 1996

| Sistema: Mecanismo distribuidor de mudas |                 | Participantes: Wamisson M. Carrafa<br>Edmarco Y. Sakurada<br>Árceres Dias |                             | Página: 1 de 1<br>Data original: 05/09/00<br>Data de revisão: 09/11/00 |   |                 |                                 |   |   |                                       |
|--|-----------------|---|-----------------------------|--|---|-----------------|---------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| 1  |                 | 2   |                             | 3  |   |                 |                                 |   |   |                                       |
| Componente                               | Função          | Modo potencial de falha   | Efeitos potenciais de falha | S e v  | Causas potenciais / Mecanismos de falha | D e t e c t a r | Controles atuais                | Ações recomendadas  | Responsabilidade & data de conclusão limite | Resultado das Ações Tomadas           |
| 1 - Aljômetro de mudas                   | - Alajar a mada | Quebrado  | Impedido a condução da mada |  | Material muito frágil, cargas dinâmicas |                 | Testes, verificações de projeto | - Utilizar um aljômetro mais resistente<br>- Utilizar uma mada na frangente<br>- Incluir uma placa de polímero na mesa. | Wamisson                                    | Incluir uma placa de polímero na mesa |
| 4  | 5               | 6   | 7                           | 8  | 9                                       | 10              | 11                              | 12  | 13  | 14                                    |
|  |                 |   | Plano de mada danificada    |  | Vibrações, cargas dinâmicas             |                 | Testes, verificações de projeto | - Utilizar outro tipo de fixação para dobradiça<br>- Incluir uma placa de polímero na mesa.                             | Wamisson                                    | Incluir uma placa de polímero na mesa |
|  |                 |   |                             |  |   |                 |                                 |   |   | 16                                    |
|  |                 |   |                             |  |   |                 |                                 |   |   | 17                                    |

|  |   |
|--|---|
| <p>1 – Identificar o nome do sistema ou o título de identificação do FMEA;</p> <p>2 – Nome das pessoas que estão participando da reunião;</p> <p>3 – Registrar a página do formulário, a data de início do projeto de FMEA e a data da reunião atual;</p> <p>4 – Nome do item (componente, subsistema);</p> <p>5 – A função que o item deve desempenhar;</p> <p>6 – Possíveis modos de falha;</p> <p>7 – Possíveis efeitos que podem ser causados no sistema;</p> <p>8 – Valor de 1 a 10 do índice de severidade dos efeitos;</p> <p>9 – As causas que podem ter desencadeado o modo de falha;</p> <p>10 – Valor de 1 a 10 do índice de ocorrência da falha (modo de falha ou causa do modo de falha);</p> | <p>11 – Controles atuais são os métodos para identificar e controlar as falhas.</p> <p>12 – Valor de 1 a 10 do índice de detecção da falha (modo de falha ou causa do modo de falha);</p> <p>13 – Número de prioridade de risco.</p> <p>NPR = (severidade) x (ocorrência) x (detecção);</p> <p>14 – Ações recomendadas pelo grupo para a eliminação da falha.</p> |
| <p>15 – Nome da pessoa responsável em implementar a ação e data limite para conclusão das ações;</p> <p>16 – Ação que foi utilizada para a eliminação da falha.</p> <p>17 – Reavaliação dos índices e cálculo do novo NPR.</p>   |   |

Figura 7 – Formulário FMEA

Fonte: Moura, 2000

### **3. Metodologia de Pesquisa**

Segundo Miguel (2010), na pesquisa quantitativa é utilizado a linguagem matemática para mensurar as variáveis de pesquisa. Com o objetivo de analisar as causas e os efeitos no processo, o pesquisador apenas coleta as informações, não podendo ter nenhuma interferência. Já na pesquisa qualitativa em engenharia de produção, ele afirma que o pesquisador deve visitar a organização coletando evidências, não só variáveis, mas ele pode fazer entrevistas, acompanhar o processo, anotar observações que venham acrescentar em seu estudo.

A realização desse trabalho se deu pelo método da pesquisa qualitativa, apesar de utilizar análises quantitativas para tabular os dados de paradas. A parte quantitativa fez-se necessária para fazer a coleta de informações do processo, tratar os dados e para estreitar o foco do estudo, definindo em quais sub-processos o resultado seria mais relevante. Em seguida, já com a definição de quais sub-processos causavam mais defeitos, foi utilizada a pesquisa qualitativa para investigar quais eram as causas desses problemas e definir planos de ações que pudessem eliminar essas causas.

O processo de pesquisa se iniciou com uma busca na literatura de ferramentas da qualidade que mais se adaptassem às peculiaridades do processo analisado. Para tratar o grande volume de dados, foram elaboradas diversas análises para definir em qual área seria aplicado o FMEA. No período compreendido da análise foram consideradas 7.619 paradas de diversas etapas do processo de laminação e cerca de 25 equipamentos.

Os dados para a pesquisa foram obtidos através do software Manufacturing Execution System (MES), que é um sistema que integra os dados da produção, qualidade, paradas e sucata do processo de produção na empresa analisada. Após o encerramento de cada turno (período de trabalho de 8 horas de cada turma) todas essas informações são lançadas no software e ficam automaticamente disponíveis para todos os responsáveis pelo controle e análise da produção.

Para o estudo em questão, foi dado foco aos dados referentes às paradas de produção ocorridas no processo de laminação no período de Janeiro a Novembro de 2015. Como o número de paradas era muito grande, utilizou-se de ferramentas quantitativas para limitar o escopo da pesquisa. Primeiramente foi feito um gráfico com a taxa de utilização do

laminador, para ilustrar a diferença entre a meta da empresa e os reais valores, justificando o estudo. Com isso, foi feito um histograma estratificando as paradas acidentais por área, a fim de encontrar aquela que possuía maior representatividade na queda da taxa de laminação. Com a área de estudo definida, foi elaborado um gráfico de Pareto por turma, para analisar se havia uma grande discrepância dos resultados entre as turmas de trabalho. Em seguida, foi construído outro gráfico de Pareto por equipamentos para selecionar aqueles que representavam cerca de 60% das paradas.

Já com o conhecimento dos equipamentos que ocasionavam um maior tempo de parada no laminador, utilizou-se ferramentas qualitativas para interpretar os dados obtidos pelo software. O objetivo era construir uma análise FMEA dos equipamentos considerados mais críticos do processo. Para isso, foram utilizadas as análises de anomalias já feitas pela empresa, contando com o diagrama de causa-e-efeito e ainda foram realizados diálogos informais com operadores, coordenadores de produção e engenheiros de processo que possuem conhecimento tácito e empírico acerca do processo, para validar os resultados obtidos pela pesquisa e estabelecer planos de ações.

#### **4. Resultados**

Os resultados apresentados referem-se aos dados de paradas acidentais do laminador 2 da empresa estudada, o período coletado se deu de janeiro à novembro de 2015. Esses dados e informações obtidos foram organizados e analisados se utilizando de algumas ferramentas da qualidade e concluindo com a realização de uma análise FMEA.

A gestão das paradas no processo produtivo tem grande relevância no ambiente estudado, pois está ligada diretamente com a taxa de utilização dos equipamentos. E em processos contínuos, como é o caso da empresa pesquisada, o objetivo é a busca constante por atingir níveis máximos de resultados operacionais para se alcançar maior produtividade.

##### *4.1. Descrição da empresa*

A unidade ArcelorMittal em João Monlevade, realiza o processo completo de produção do aço, desde a exploração do minério, que é realizada na Mina do Andrade, mina de exploração e lavra do minério de ferro localizada a 12 km da siderúrgica. O transporte do

minério explorado, já beneficiado, até a empresa é realizado por meio ferroviária.

A ArcelorMittal S.A. é um grupo multinacional de empresas de aço, considerado o maior grupo siderúrgico do mundo, com sede em Luxemburgo. Contando com operações em mais de 60 países, tem capacidade de produzir 130 milhões de toneladas de aço por ano e emprega cerca de 230 mil funcionários em fábricas na Ásia, África, Américas e Europa.

A ArcelorMittal Brasil é a plataforma de crescimento do grupo na América do Sul, e é uma das maiores produtoras de aço da América Latina, com mais de 15 mil empregados e capacidade de produção superior a 11 milhões de toneladas por ano. A empresa conta com unidades industriais em São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina e Espírito Santo, oferecendo produtos e soluções em aço nos segmentos longos (laminados e trefilados) e planos (placas e laminados) para aplicação nas indústrias de eletrodomésticos, construção civil, agronegócio, naval, automobilística, entre outras.

A ArcelorMittal Monlevade é a única usina integrada da ArcelorMittal Aços Longos, e faz parte do Long Carbon Americas (LCA), um dos seis segmentos de negócios do Grupo ArcelorMittal em todo o mundo. Ela é uma usina integrada, pois seu processo inicia-se na extração do minério, passando pela sinterização, redução em alto forno, refino do aço, lingotamento, laminação, análise de qualidade e expedição, pode ser visualizada na figura 9. Atua principalmente no mercado de aços para a fabricação de fio-máquina, processado para a produção de cordoalhas para reforço de pneus (steel cord), molas helicoidais e fixadores para a indústria automobilística, entre outros.

É considerada a principal siderúrgica da ArcelorMittal Aços Longos não só pelo nível de produção, mas também, por estar localizada no Vale do Aço Mineiro a 110 km de Belo Horizonte, região com grande concentração de indústrias siderúrgicas. Além disso, possui a vantagem de apresentar uma boa malha ferroviária e rodoviária que a coloca em local estratégico em relação aos principais mercados e pontos de escoamento de produção.



Figura 8 - Usina de João Monlevade

Fonte: Apostila de Laminação AMM.

#### 4.2. *Descrição do Laminador 2*

O processo de laminação adotado pela usina de João Monlevade é a Laminação a quente, onde os tarugos passam por um forno de reaquecimento antes de seguirem para os cilindros de laminação. A temperatura de início da laminação fica entre 900 °C e 1.300 °C, com velocidade final de laminação igual a 100 m/s (com bitola de 5,5 mm de diâmetro).

A área responsável pela laminação é denominada Gerência de Área de Produção de Laminados (GAPLA) e possui dois trens de laminação, laminador 1 (TL1) e laminador 2 (TL2). O processo de laminação nos dois laminadores é semelhante. A principal diferença é que o TL1 possui duas linhas de laminação, enquanto o TL2 apenas uma linha de laminação.

Além dos dois laminadores em funcionamento, a empresa está em fase de teste do terceiro laminador (TL3), que faz parte do projeto de expansão que dobrará a capacidade de produção dos atuais 1,2 milhão para 2,4 milhões de toneladas anuais de aço bruto. A figura 11 apresenta o layout do laminador 2, onde o estudo foi realizado.





Figura 10 - Bobina de Fio-máquina.

Fonte: Apostila de Laminação AMM.

#### 4.3. Tipos de Paradas no Laminador

4.3.1. *Paradas programadas*: essas paradas são de caráter preventivo, com o objetivo de reduzir as probabilidades de falhas e degradação dos equipamentos ou operação. São programadas periodicamente em períodos que não afetem a produção e o prazo de entrega. E podem ser divididas em:

- ✓ **Paradas programadas para manutenção**: são paradas para realizar intervenções eletromecânicas no laminador. Como exemplo, pode-se citar reparos, substituições, lubrificação e limpeza de partes do equipamento.
- ✓ **Operação**: São as paradas para inspecionar o processo de produção, assim como, programas de experiência, que podem ser testes com novos produtos ou novos parâmetros do processo.
- ✓ **Ociosidade, falta de semi-produto, mercado**: como visto na descrição do processo, a laminação depende dos tarugos fornecidos pelo lingotamento contínuo, quando não há tarugos para laminar essas paradas são caracterizadas como

ociosidade por falta de semi-produto. Ociosidade também pode ser por falta de demanda no mercado.

- ✓ **Reparações especiais (RE):** são paradas no laminador para realizar serviços que demandam maior tempo, e têm maior impacto para todo o laminador. Por exemplo, reparo na parte refratária do forno que levam mais de 24 horas para ser concluído.

4.3.2. *Paradas acidentais:* são as paradas imprevistas que ocorrem na operação. Essas paradas são de caráter corretivo, ou seja, a manutenção é realizada apenas depois que a falha ocorreu. São as paradas mais prejudiciais ao processo, devido às perdas na produção.

Elas se classificam em:

- ✓ **Operacional:** Tempo em que o laminador permanece parado devido à falha / quebra ou problema de qualidade por motivos operacionais.
- ✓ **Mecânica:** Tempo em que o laminador permanece parado devido à falha / quebra por motivos mecânicos;
- ✓ **Elétrica:** Tempo em que o laminador permanece parado por falhas elétricas / eletrônicas.
- ✓ **Externas:** Tempo em que o laminador permanece parado devido à falta de água, energia elétrica, gás, ar comprimido (utilidades) e também por problemas de qualidade em semi-produto.

4.3.3. *Paradas para Logística:* são os chamados setups do processo de produção, ou seja, as paradas necessárias para preparação, trocas e montagens dos componentes do laminador para adequar o equipamento ao tipo de produto a ser laminado de acordo com o programa de produção.

a de utilização do laminador, foi construído um gráfico comparando os valores reais mensais e a meta estabelecida pela empresa, como se pode observar na figura 1.

## Taxa de Utilização do Laminador 2

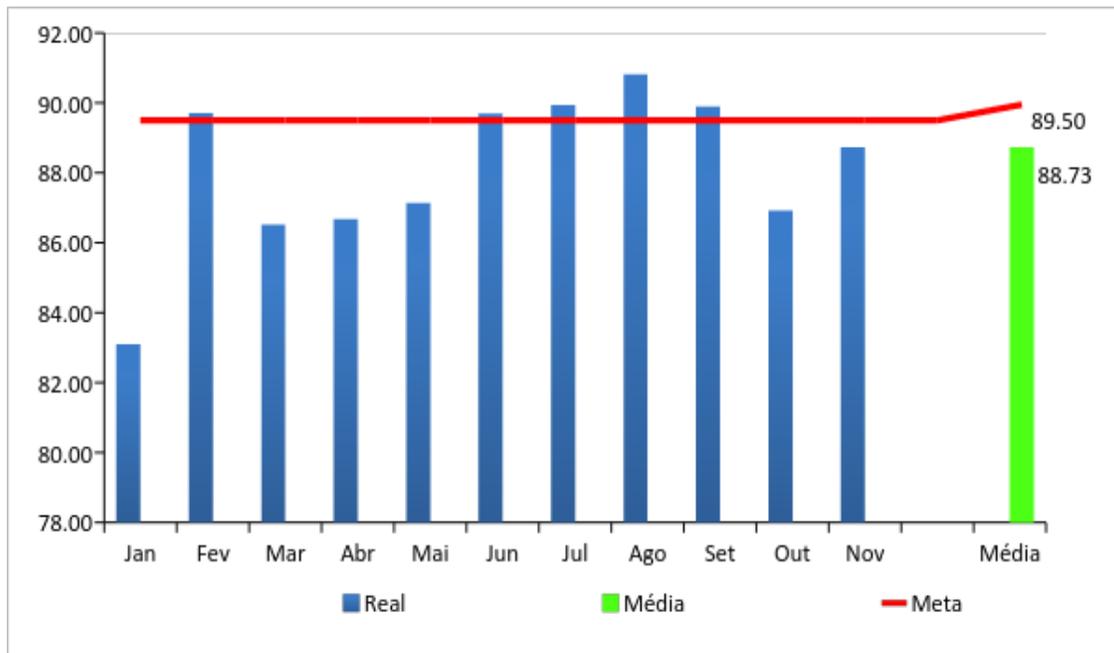


Figura 11 - Gráfico da Taxa de Utilização do Laminador 2.

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com o planejamento estratégico elaborado pela empresa, no começo do ano foi estabelecida a meta de 89,5% para a taxa de utilização do laminador (contando apenas com as paradas acidentais). Como se observa no gráfico houve uma diferença de 0,77% de paradas não programadas acima da média esperada, impactando diretamente no volume de produção efetiva naquele período. Conforme os dados de produtividade da empresa, é laminado em média, 1 tonelada de aço por minuto, ou seja, 60 toneladas por hora e o tempo médio disponível mensal é de 729 horas.

A produtividade é a relação entre a produção total obtida (em toneladas) e o tempo total necessário para obtê-la (em horas). A partir dela, é possível fazer a estimativa da perda de produção e transformá-la no equivalente em faturamento, para descobrir quanto de faturamento foi perdido devido às paradas.

Assim, o tempo total disponível para produção no período estudado foi: 480.690 minutos, equivalente a 8.016 horas.

A taxa de utilização do laminador 2 deveria ser no mínimo 89,5% que era a meta estabelecida, contudo, ficou em média apenas 88,73%, resultando em 0,77% abaixo do esperado. Com esses dados, pode-se estimar que essa diferença de produção representou:

$$✓ \text{ Perda de produção: } 8.016 \text{ horas/ano} \times 0,77\% = 61,72 \text{ horas/ano}$$

Considerando a produtividade média de 60 toneladas/hora, em um ano tem-se:

$$✓ 60 \text{ toneladas/hora} \times 61,72 \text{ horas/ano} = 3.703,39 \text{ toneladas/ano}$$

Devido apenas aos 0,77% não alcançados da taxa de utilização, aproximadamente 3.703 toneladas deixaram de ser produzidas.

Os cálculos mais detalhados para definição do tempo disponível e divisão das metas encontram-se no apêndice A e B, respectivamente.

#### *4.4. Identificação das paradas mais frequentes e causas*

Entre as principais características da indústria siderúrgica tem-se a variedade de máquinas e equipamentos, na grande maioria, de complexidade tecnológica e de elevadas dimensões e peso. A operação apresenta alto custo operacional, alto nível de utilização, processos complexos e contínuos, ocasionando alto desgaste aos equipamentos e, conseqüentemente, grande número de paradas. Como visto no tópico 4.1, as paradas programadas possuem caráter preventivo, para manutenção e conservação dos equipamentos de modo a minimizar as paradas acidentais, pois essas são as mais prejudiciais ao processo.

Como foi estabelecido no objetivo do trabalho tratar as paradas ocasionadas por falhas, o escopo da pesquisa fica limitado às paradas acidentais, sendo elas, elétricas, mecânicas, de operação e externa, observado na figura 13. Neste caso, foram desconsideradas as paradas externas, pois essas não são de responsabilidade do laminador, sendo ocasionadas por outras áreas.

## Paradas Acidentais

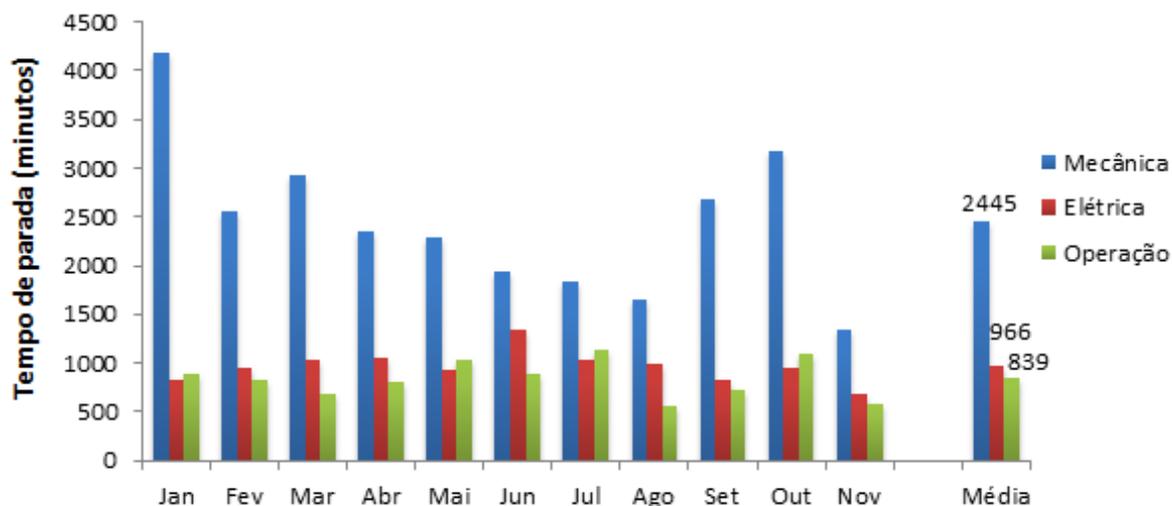


Figura 12 - Gráfico das paradas acidentais consolidadas.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 14, observa-se um gráfico de pareto desdobrando o índice de paradas mecânicas por equipamento, já que essa foi a área que apresentou maior tempo de paradas. O objetivo foi identificar os equipamentos que mais ocasionam paradas e, assim, dedicar uma maior atenção a eles.

De acordo com os resultados, baseado no tempo gasto nas paradas corretivas, verificou-se que os equipamentos críticos da área mecânica são: os transportadores 1, 2 e 2A; transportadores 3, 4, 4A, 4B e 5; formador de bobinas; compactadores e desenformadeira. Pela similaridade, os transportadores 1, 2 e 2A, e transportadores 3, 4, 4A, 4B e 5 foram considerados como um só equipamento, sendo o de maior criticidade, pois somados representam 34% das paradas, seguido pelo formador de bobinas, compactadores e a desenformadeira com 9%, 9% e 6%, respectivamente, totalizando 59% do total de paradas mecânicas.

Deste modo, as análises a seguir foram feitas com base nos dados das paradas desses cinco equipamentos, pois foram considerados os problemas vitais de acordo com o gráfico de pareto, conforme figura 14.

## Paradas Mecânicas

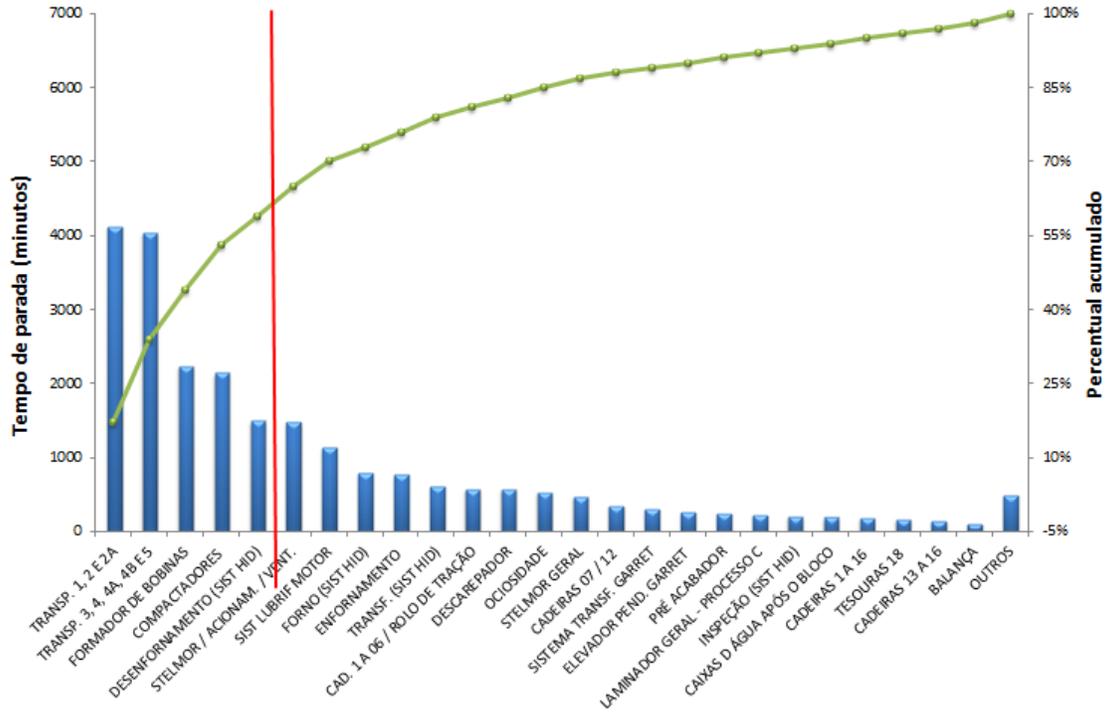


Figura 13 - Diagrama de Pareto das paradas mecânicas por equipamento.

Fonte: Elaborado pelo autor

Como o processo produtivo da empresa é operado continuamente, 24 horas por dia, a equipe operacional é dividida em quatro turmas, cada uma é responsável por um turno de 8 horas. Com o objetivo de analisar se houve uma diferença significativa entre as turmas, as paradas mecânicas foram estratificadas por turma como apresentado na figura 15.

### Pareto das Paradas Mecânicas por Turma

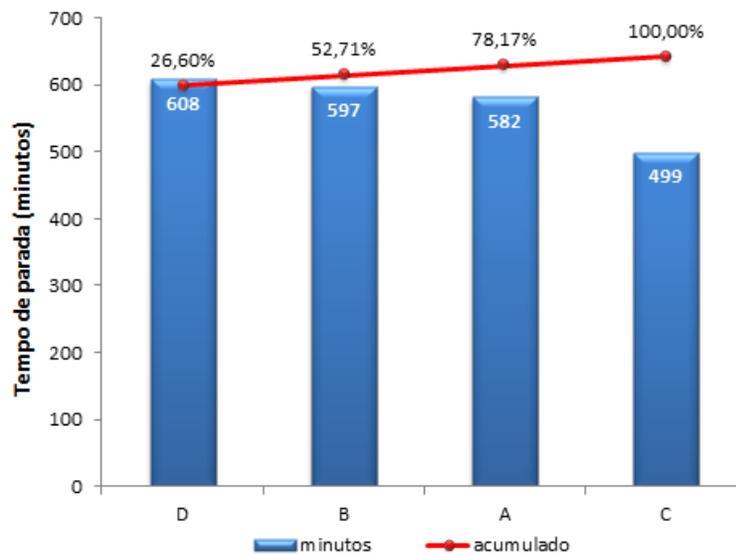


Figura 14 - Diagrama de Pareto das paradas mecânicas por turma

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que não há grande disparidade entre o desempenho das quatro turmas, com a diferença de 5% entre a turma com o maior tempo de parada e a turma com o menor. Devido à homogeneidade entre as turmas, descarta-se como causa a falta de treinamento ou conhecimento de uma delas, por isso, nas análises posteriores não foi feita distinção das paradas entre turmas.

Para analisar a confiabilidade dos equipamentos classificados como críticos utilizou-se as informações de horas disponíveis e o número de paradas do mesmo para calcular o tempo médio entre falhas e o tempo médio de reparo.

No período analisado, os equipamentos transportadores apresentaram, em média, um período de 17,75 horas como tempo entre uma ocorrência de parada e outra. Já nos equipamentos formador de bobinas, compactadores e a desenformadeira, os tempos encontrados foram 130 horas (5 dias), 335 horas (13 dias) e 273 horas (11 dias), respectivamente. O objetivo do índice do tempo entre falha é ser o maior possível. Quanto maior ele for, significa que mais tempo o equipamento está operando sem parada acidental.

Já o tempo médio de reparo representa quanto tempo o processo ficou parado devido a essa causa, por isso, ao contrário do tempo médio entre falhas, neste caso o objetivo é ter o menor tempo possível, o que significa um reparo mais rápido. Nos transportadores, o tempo

médio de reparo foi de 0,37 horas (22 minutos). Os equipamentos formador de bobinas, compactadores e desenfornadeira apresentaram os valores 0,46 (28 minutos), 0,44 (26 minutos) e 0,24 (15 minutos), respectivamente.

#### 4.5. FMEA

A implantação da análise FMEA no laminador 2 da empresa foi feita com base nos dados de parada no período de janeiro a novembro de 2015. O primeiro passo foi estabelecer o planejamento e suas respectivas limitações. O passo seguinte foi o preenchimento do formulário, que é o principal meio de apresentação da ferramenta.

Através do preenchimento do formulário, utilizando-se ferramentas quantitativas como histograma e Diagrama de Pareto, foi realizada a triagem das paradas acidentais, permitindo a identificação dos equipamentos com maior prioridade de risco no total de paradas do laminador 2. Na classificação dos critérios do formulário, as ferramentas tempo médio entre falhas e tempo médio de reparo, também quantitativas, auxiliaram no cálculo dos valores do critério ocorrência. O critério severidade é relacionado à magnitude dos danos causados pela falha, sendo esse mais subjetivo, os valores foram estipulados pela equipe responsável criação do FMEA, com base nos custos, dificuldade de reestabelecer o processo e principalmente pelo risco de afetar a satisfação dos clientes, seja ela pela qualidade do produto ou atraso na entrega.

As atividades de melhoria da empresa são executadas através da ferramenta Análise de Anomalia, que é baseada no Modelo de Soluções de Problemas de Falconi (1992), fundamentado no Ciclo PDCA. O objetivo da análise de anomalias é identificar a causa, estabelecer um plano de ação para a correção e formalizar um procedimento para tratar e evitar a recorrência da mesma, para auxiliar no entendimento da ferramenta, um modelo pode ser conferido nos anexos.

Para a identificação das causas foram utilizados os relatórios das Análises de Anomalia, pois para a construção desses são realizados Brainstorming com pessoas das áreas em questão e possui diagrama de causa e efeito, o que permite demonstrar a relação existente entre as paradas e as causas.

O formulário devidamente preenchido pode ser conferido na figura 16. A título de priorização, definiu-se que a princípio seria recomendado ações apenas para os modos de falhas que apresentassem valor de NPR acima de 100. As ações recomendadas pelo plano de ação serão discutidas no tópico 4.7 Sugestões de melhoria.

| Formulário FMEA    |                      |                       |                         |                             |      |     |   |                |                    |                  |                               |
|--------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|------|-----|---|----------------|--------------------|------------------|-------------------------------|
| A<br>AcelorMittal  | Data: _/ _/ _        |                       |                         | Processo: Laminção          |      |     |   | Participantes: |                    |                  | Página 1 de 2<br>Núm. Do FMEA |
|                    | Componente           | Função                | Modo potencial de falha | Efeitos potenciais de falha | SEV  | OCO | DET   | NPR            | Ações recomendadas | responsabilidade | data limite                   |
| Transportador      | transportar material | Agarrado              | 3,33                    | 2,86                        | 5,00 | 133 | Verificar com o fornecedor a possibilidade de uma modificação no projeto para facilitar o sistema de trava.   |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Atreventado           | 1,50                    | 0,71                        | 5,00 | 5   |   |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Bambo                 | 3,50                    | 0,71                        | 5,00 | 13  |   |                |                    |                  |                               |
| Compactador        | compactar tarugo     | Desacoplado           | 4,33                    | 0,71                        | 5,00 | 15  |   |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Empenado              | 6,33                    | 0,71                        | 5,00 | 23  |   |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Cauda Atrasada        | 10,00                   | 10,00                       | 5,00 | 500 | Melhoria no plano de inspeção dos equipamento, mudando a periodicidade da inspeção ex.: uma vez a cada turno.<br>Focar mais nos problemas que se repetem criando uma rotina de reunião diária para análise de cada cauda. |                |                    |                  |                               |
| Formador de bobina | Moldar as bobinas    | Agarrado              | 10,00                   | 10,00                       | 6,00 | 600 | Verificar em outras unidades se existe um sistema parecido para propor melhorias.   |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Amassado              | 4,17                    | 2,78                        | 8,00 | 93  |   |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Desregulado           | 10,00                   | 5,56                        | 5,00 | 278 | Realizar manutenção semanal para evitar fadiga do equipamento.  |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Empenado              | 5,50                    | 2,78                        | 5,00 | 76  |   |                |                    |                  |                               |
| Desenformadeira    | desenformar tarugos  | Esquentando           | 4,17                    | 2,78                        | 2,00 | 23  |   |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Falha na Lubrificação | 2,17                    | 2,78                        | 4,00 | 24  |   |                |                    |                  |                               |
|                    |                      | Travado               | 2,33                    | 2,78                        | 2,00 | 13  |   |                |                    |                  |                               |

Figura 15 - Formulário FMEA

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.6. *Sugestões de Melhoria*

A busca pela redução de paradas acidentais demandou um plano de identificação de ações prioritárias a serem desenvolvidas. Com isso surgiu a proposta do estabelecimento e implantação de um comitê de melhoria para a aplicação do plano de ação, bem como a criação e monitoramento dos índices de paradas dos equipamentos em estudo, visando monitorar a eficácia das ações implantadas e correções caso fosse necessário.

Os resultados da pesquisa demonstraram que há uma deficiência na área de melhoria contínua na empresa, e que se os planos de ação estabelecidos para a área mecânica alcançarem resultados satisfatórios poderiam ser aplicados os mesmos princípios a outras áreas do processo. A análise FMEA gerou um plano de ações com ações relacionadas à verificação de melhoria dos processos e adaptação de equipamentos para evitar as falhas recorrentes. Isso pode ser feito tanto com funcionários internos, através do incentivo de ideias e sugestões de mudanças para que pudesse ser verificada com os fornecedores a possibilidade de adaptações que facilitariam o processo. Assim como, a realização de benchmarking de maneira a buscar melhores práticas em outras unidades do próprio grupo. Outras ações recomendadas são referentes à rotina de inspeções e manutenção preventiva. Com o objetivo de acompanhar mais severamente os equipamentos tidos como críticos, sugere-se mudanças na periodicidade de inspeção nesses equipamentos, afim de, aumentar a detecção de falhas e assim trata-las precocemente, e também, realizar manutenções preventivas com maior frequência para evitar a fadiga dos equipamentos.

Com isso, se justificaria a criação de uma comissão de melhoria, sendo essa, uma equipe composta de funcionários das áreas responsáveis pelas paradas acidentais (mecânica, elétrica e operação) com o objetivo de aplicar constantemente os princípios de melhoria contínua. Além disso, a comissão deve conter diferentes níveis hierárquicos, tanto gestores quanto operacional, para dar mais abrangência às soluções. Na verdade, seria a sistematização e organização dos grupos que já se reúnem esporadicamente para realizar os relatórios de análise de anomalia na empresa. Sugere-se ainda, a criação de indicadores para facilitar o acompanhamento da evolução do processo de acordo com a implantação do plano de ações, dessa maneira, permitindo verificar a eficácia das ações implementadas e identificar as áreas onde é possível atuar para aperfeiçoar os processos.

## **5. Considerações finais**

Para a realização deste trabalho fez-se necessário um aprofundamento teórico sobre as ferramentas da qualidade e o setor metalúrgico, mais especificamente do processo de laminação. Foi preciso levantar os diversos motivos que ocasionam as paradas. Para isso, buscou-se conhecer a empresa, os equipamentos e o processo produtivo. Assim, além da observação e conhecimento empírico adquirido no dia-a-dia da empresa, foi realizada uma pesquisa teórica acerca não só dos fatores técnicos do processo e manutenção, mas também o impacto decorrente das paradas no processo. O que permitiu compreender de maneira sistemática como funciona o processo de laminação.

A princípio, foi feita a identificação das ferramentas que permitiriam realizar uma triagem dos dados das paradas do processo de laminação e proporcionassem uma análise eficiente, demonstrando quais pontos do processo teriam mais necessidade de melhoria. Essa etapa foi de suma importância para compreender as ferramentas e o modo de aplicá-las corretamente a fim de conseguir resultados confiáveis.

A triagem das paradas foi realizada com base nos dados extraídos do software MES, referente ao período de janeiro a novembro de 2015, totalizando o número de 7619 paradas. Com o auxílio principalmente de histogramas e gráficos de pareto foi possível identificar que o setor mecânico tinha maior representatividade no número de paradas, chegando o seu tempo total de paradas a ser maior que o tempo somado das áreas de elétrica e mecânica. Possibilitando a identificação da área mecânica como o sub-processo que exerce maior influência na taxa de parada do processo, e conseqüentemente, na taxa de utilização do laminador 2.

Após a definição da área foco da pesquisa, a qual foi feita através de métodos quantitativos, deu-se início à análise qualitativa das paradas com a aplicação da ferramenta FMEA, com o objetivo de identificar e caracterizar as principais causas de interrupções no processo. Os relatórios de análise de anomalia foram imprescindíveis nessa fase, pois foi através deles que se tornou possível encontrar as causas das falhas. Para o preenchimento dos relatórios de análise de anomalia da empresa são realizadas sessões de brainstorming com funcionários de diferentes áreas e níveis hierárquicos, o que refletiu na amplitude de alcance das soluções propostas.

A maneira como o trabalho foi desenvolvido proporcionou uma fácil compreensão tanto do processo siderúrgico, em específico da laminação, como das ferramentas da qualidade utilizadas. A combinação de métodos quantitativos e qualitativos permitiu uma análise precisa da taxa de utilização do processo de laminação, além disso, os gráficos de Pareto e o FMEA dão o direcionamento para corrigir as falhas realmente mais prejudiciais ao processo. A ferramenta FMEA se mostrou muito eficaz no que tange a priorização e sugestões de melhoria, pois o valor do NPR leva em consideração não só o número de ocorrência das falhas, mas também a severidade e dificuldade de detecção, ou seja, a probabilidade de uma falha pode ser pequena de ocorrer, mas pode ser muito difícil de detectar ou as consequências dessa falha podem ser muito graves, então ela tem uma prioridade maior. Com a aplicação dos planos de ações gerados pelo FMEA espera-se um aumento da confiabilidade do processo e ganho da eficiência, através da redução de paradas não programadas, conseqüentemente, resultando em maior qualidade no serviço realizado. O estudo demonstrou ainda um grande potencial de ganho com ações de melhoria contínua que, assim como na redução de paradas mecânicas, podem ser expandidas para outras áreas, e a ferramenta FMEA se mostrou ser bem indicada para tal. Um ponto a ser destacado pela pesquisa é que apesar da disponibilidade de ferramentas eficazes para redução de custos e melhoria da qualidade o mais importante é desenvolver nos funcionários o espírito de colaboração e trabalho em equipe, ressaltando a necessidade de prevenir, minimizar e eliminar falhas no processo.

As ferramentas utilizadas e a metodologia aplicada se provaram bastantes eficazes na identificação de áreas com potencial de melhoria operacional através de pequenas ações, ainda assim, com grande reflexo no processo produtivo. Contudo, devido limitações o presente trabalho teve como escopo apenas as paradas operacionais do laminador 2, e não ter sido possível acompanhar o desenvolvimento das ações propostas, fica como sugestões para trabalhos futuros a implantação do plano de ação, estipulando responsáveis e prazos para as ações e verificação dos resultados obtidos. Assim como, a aplicação das mesmas ferramentas seguindo a metodologia em diferentes áreas da empresa.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção. **Documento Nacional**. 28.o Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador: 2013.
- ArcelorMittal. **Aços Longos: Fio-Máquina**. 2014. Disponível em <[https://www.belgo.com.br/produtos/industria/fio\\_maquina/pdf/fio\\_maquina.pdf](https://www.belgo.com.br/produtos/industria/fio_maquina/pdf/fio_maquina.pdf)>. Acesso em 01/12/15.
- BEN-DAYA, M.; RAOUF, A. A revised failure mode and effect model. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 13, n. 1, p. 43-47, 1996.
- CASTELLA, Marco César. **Análise crítica da área de manutenção em uma empresa brasileira de geração de energia elétrica**. 2001. 152 f. Dissertação. Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- CODA, R. C. **Laminação: Produtos Longos de Aços Laminados a Quente**. Laboratório de Transformação Mecânica UFRGS, 2006.
- FONTANINI, C. A. C. et al. **Gestão da Manutenção de Equipamentos - Aplicação Simulada do Mjit-Manutenção por Just in Time em uma Agroindústria no Estado do Paraná**. XI SIMPEP – Bauru, 2004.
- FONTES, Stella. **Produção mundial de aço bruto caiu em maio ante 2014**. Revista Valor Econômico [Online]. 2015. Disponível em <<http://www.valor.com.br/empresas/4103074/producao-mundial-de-aco-bruto-caiu-em-maio-ante-2014>> Acesso em: 01/12/15
- GOUVÊIA, Wilson. **Apostila de Laminação ArcelorMittal Monlevade**. João Monlevade, 2009.
- INFOMET. **Aço & Ligas Aço: Processos de Fabricação**. Disponível em <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=234>> . Acesso em: 14/10/15.
- MARTINS, Petrônio G. e LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. p.352-356. São Paulo: Saraiva, 2002.

MATA-LIMA, H. **Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade e Ambiente na Resolução de Problemas**. Apontamentos da Disciplina de Sustentabilidade e Impactos Ambientais. Universidade da Madeira (Portugal), 2007.

MATOS, R. B.; MILAN, M. **Aplicação sistêmica do modo de análise de falhas e efeitos (FMEA) para o desenvolvimento de indicadores de desempenho de empresas de pequeno porte**. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 5, Outubro de 2009.

MIGUEL, P. A. C. (Coord.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MIGUEL, P.A.C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. 1 ed. São Paulo: Artliber, 2006.

MOURA, C. **Análise de modos e efeitos de falha potencial (FMEA): manual de referência**. SAE J-1739, 2000.

MOURÃO, Marcelo Breda. **Introdução a Siderurgia**. Editora ABM, 2007. 428 p.

PALADINI, E. P. **Qualidade Total na Prática – Implantação e Avaliação de Sistemas de Qualidade Total**. 2 ed. São Paulo: Atlas S.A., 1997. 217p.

RODRIGUES, D. M. et al. **Apostila e Tabelas Recomendadas para Severidade Ocorrência e Detecção**. São Leopoldo, 2010. Disponível em:

<<https://tobiasmugge.files.wordpress.com/2009/08/apostilafmea.pdf>> Acesso em: 13/12/15.

RODRIGUES, R. A. **Comparativo entre o Fio Máquina produzido com aço SAE 1005 e SAE 1405 Modificados para Produção de Arames Recozidos**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais UFRGS. Porto Alegre, 2012. p. 4-26.

SILVA, J. N. S. **Siderurgia** [Apostila do Curso de Metalurgia]. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Belém, 2011. Disponível em: <[http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico\\_metalurgica/siderurgia.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico_metalurgica/siderurgia.pdf)> Acesso em: 14/10/15.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. Wisconsin: ASQ Quality Press, 1995. 494p.

**VIEIRA, S. Estatística para a Qualidade: Como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços.** Riode Janeiro: Elseiver, 1999.

**WERKEMA, M.C.C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos.** Belo Horizonte, 1995.

**ZORZAN, F , et al. FMEA: orientações conceituais para a aplicação de uma ferramenta de antecipação de falhas.** 3ª Semana internacional das engenharias da FAHOR. Horizontina, 2013.

APENDICE A - Estratificação das metas

| PARADAS    |             | METAS | TAXA DE UTILIZAÇÃO |
|------------|-------------|-------|--------------------|
| PROGRAMADA | MANUTENÇÃO  | 5,00  | 95%                |
|            | OPERAÇÃO    | 4,00  | 91%                |
|            | GERAL USINA | 0,50  | 91%                |
| ACIDENTAL  | MECÂNICA    | 4,50  | 86%                |
|            | ELETRICA    | 2,00  | 84%                |
|            | OPERAÇÃO    | 4,00  | 80%                |
|            | EXTERNA     | 4,00  | 76%                |
| LOGISTICA  |             | 14,00 | 62%                |
| OCIOSIDADE |             | 0,00  | 62%                |
| GLOBAL     |             | 38,00 | 62%                |



| METAS | TAXA DE UTILIZAÇÃO<br>(MEC+ELE+OPE) |
|-------|-------------------------------------|
| 10,50 | 89,50%                              |

APENDICE B - Cálculo do tempo disponível

| <b>Tempo Disponível</b> |               |            |
|-------------------------|---------------|------------|
| Mês                     | Min           | Hora       |
| Janeiro                 | 44640         | 744        |
| Fevereiro               | 40320         | 672        |
| Março                   | 44640         | 744        |
| Abril                   | 43200         | 720        |
| Mai                     | 44640         | 744        |
| Junho                   | 43200         | 720        |
| Julho                   | 44640         | 744        |
| Agosto                  | 44640         | 744        |
| Setembro                | 43200         | 720        |
| Outubro                 | 44640         | 744        |
| Novembro                | 43200         | 720        |
| <b>total:</b>           | <b>480960</b> | <b>729</b> |

|                  |      |
|------------------|------|
| Dia (3 turnos):  | 1440 |
| Turno (8 horas): | 480  |

ANEXO A – 1ª Parte do relatório de análise de anomalia

|  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
|--|-----------|---|----------|-----------|--------|-------|-----------------------------|--|--|--|
|   |           | <b>RELATÓRIO DE ANÁLISE DE ANOMALIA</b> |          |           |        |       | Nº DO RELATO: _____ / _____ |  | NÚMERO DO REGISTRO DA QUALIDADE: _____ |  |
|  |           | <b>1ª PARTE - RELATO DA ANOMALIA</b>    |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| DATA DA OCORRÊNCIA/ÁREA/LOCAL:   | PROCESSO: | PRODUTO:                                | CORRIDA: | PARTIÇÃO: | TURMA: | HORA: | PARTICIPANTES:              |  |  |  |
| CÓDIGO DO CRITÉRIO PARA TRATAMENTO DESSA ANOMALIA:   |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| ANOMALIA: (RESULTADO QUE NÃO ERA ESPERADO)   |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| CRITÉRIO:  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| ANOMALIA:  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| Recl. de clientes <input type="checkbox"/><br>Auditoria interna <input type="checkbox"/><br>Auditoria externa <input type="checkbox"/><br>Mont. de processo <input type="checkbox"/><br>Mont. de produto <input type="checkbox"/><br>Análise de dados <input type="checkbox"/><br>Avaliação de processo <input type="checkbox"/> |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| AÇÕES REALIZADAS PARA RESTABELER O PROCESSO - REMOÇÃO DOS SINTOMAS (SE APLICÁVEL)  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| DIFICULDADES ENCONTRADAS PARA REALIZAÇÃO DAS AÇÕES NO MOMENTO DA ANOMALIA PARA RESTABELECIMENTO DO PROCESSO (SE APLICÁVEL)   |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| OBSERVAÇÕES (O QUE VOCÊ VIU NO PROCESSO ANTES, DURANTE E APÓS A ANOMALIA - LEMBRE-SE DOS 6M'S)   FATOS POSITIVOS E/OU NEGATIVOS  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| <b>2 - OBSERVAÇÃO</b>  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| PROCEDIMENTOS (MEDIDAS DE CONTROLE ESTABELECIDAS SOBRE AS PRINCIPAIS CAUSAS POTENCIAIS DE ANOMALIA)  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| EXISTEM PROCEDIMENTOS P/ A ATIVIDADE ENVOLVIDA? ( ) Sim ( ) Não  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| QUAIS SÃO OS PROCEDIMENTOS? ( ) Não  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| OS PROCEDIMENTOS FORAM CUMPRIDOS? ( ) Sim ( ) Não  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |
| RESULTADOS INDESEJADOS PROVOCADOS PELA ANOMALIA  |           |   |          |           |        |       |                             |  |  |  |

