

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá

2013

ANA CAROLINA VEZZARO BALLOT

**LEAN SIX SIGMA COMO ESTRATÉGIA PARA O AUMENTO
DE EFICIÊNCIA EM LAMINAÇÃO DE ALUMÍNIO.**

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de Graduação
em Engenharia de Materiais da
Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista,
como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação
em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Guaratinguetá

2013

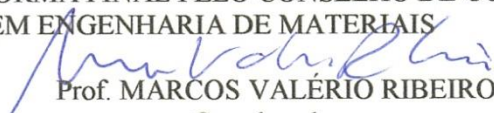
B193L	Ballot, Ana Carolina Vezaro Lean six sigma como estratégia para o aumento de eficiência em laminação de alumínio / Ana Carolina Vezaro Ballot . – Guaratinguetá : [s.n], 2013 94 f. : il. Bibliografia : f. 91-93 Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013 Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva 1. Seis sigma (Padrão de Qualidade Total) 2. Eficiência organizacional I .Título. CDU 658.5
-------	---

LEAN SIX SIGMA COMO ESTRATÉGIA PARA AUMENTO DE
EFICIÊNCIA EM LAMINAÇÃO DE ALUMÍNIO

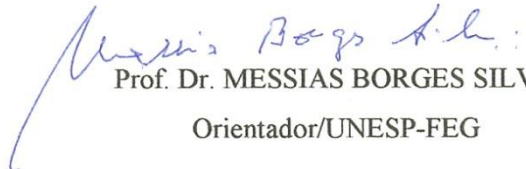
ANA CAROLINA VEZZARO BALLOT

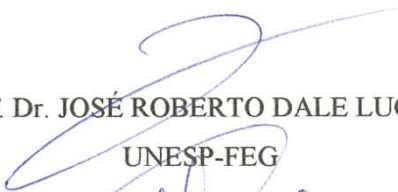
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM
ENGENHARIA DE MATERIAIS”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS


Prof. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO DALE LUCHE
UNESP-FEG


Prof. Dr. OTÁVIO JOSÉ DE OLIVEIRA
UNESP-FEG

Dezembro 2013

DADOS CURRICULARES

ANA CAROLINA VEZZARO BALLOT

NASCIMENTO	31.10.1989 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	Ricardo Averaldo Ballot Edna Benedita Vezaro Ballot
2009/2013	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

À minha querida família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço meus pais, Edna e Ricardo, que sempre estiveram comigo em todos os momentos, me apoiando e me incentivando em todas as minhas realizações.

À minha família que sempre esteve torcendo por mim, me apoiando e acreditando no meu potencial. Principalmente à minha avó Célia, por sempre se preocupar com o meu bem-estar sendo mais que uma avó, um anjo da guarda.

Ao meu namorado Alexandre, que nos momentos mais difíceis sempre esteve ao meu lado, sendo mais que um namorado, um grande amigo.

Aos meus amigos e colegas de faculdade, pelos bons momentos vividos e por fazerem parte da minha história contribuindo em minha formação pessoal e acadêmica.

Ao meu orientador, Prof^o Dr. Messias Borges da Silva, que sempre esteve à disposição para me ajudar, tendo compreensão e dedicando seu tempo para me orientar no desenvolvimento deste projeto.

Enfim, a todos aqueles que estiveram comigo em todos os momentos da minha vida, me tornando quem hoje eu sou.

Sem vocês a sensação de conquista não teria o mesmo significado.

BALLOT, A. C. V. **Lean Six Sigma como estratégia para o aumento de eficiência em laminação de alumínio**. 2013. 94 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a implementação da metodologia Lean Six Sigma no processo de preparação de placas e laminação à quente de uma empresa de laminados de alumínio, visando melhorias na qualidade, produtividade e eficiência dos processos.

Como base para atingir tais objetivos, foi utilizada a metodologia DMAIC e diversas ferramentas da qualidade, como Diagrama de Causa Efeito, Fluxo de Processo, SIPOC, Pareto, FMEA e Carta de Controle, buscando propor melhorias para os processos e aumentar a eficiência dos mesmos.

Os resultados obtidos foram significativos e serviram de base para a continuação de um projeto de melhoria contínua em toda à fábrica.

PALAVRAS-CHAVE: Lean Six Sigma. Eficiência. Produção de laminados de Alumínio.

BALLOT, A. C. V. **Lean Six Sigma como estratégia para o aumento de eficiência em laminação de alumínio.** 2013. 94 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

This study aims to assess the implementation of Lean Six Sigma in the preparation of plates and hot lamination process for a company of aluminum rolled products, to improve the quality, productivity and process efficiency.

As a basis for achieving these goals, the DMAIC methodology and various quality tools such as Cause Effect Diagram, Process Flow, SIPOC, Pareto, FMEA and Control Chart were used, trying to propose improvements to processes and increase their efficiency.

The results were significant and were the basis for the continuation of a continuous improvement project throughout the factory.

KEYWORDS: Lean Six Sigma. Efficiency. Production of aluminum rolled products.

*“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza
de seus sonhos”*

Elleanor Roosevelt

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção Puxada x Produção Empurrada	21
Figura 2 – Esquema da “Casa Lean”	22
Figura 3 – Ilustração indicando os benefícios da manufatura enxuta	25
Figura 4 – Sequência básica de uma cadeia produtiva.....	26
Figura 5 – Ilustração do mapeamento da cadeia de valor	27
Figura 6 – Ilustração para excesso de produção.....	29
Figura 7 – Ilustração prático de espera	29
Figura 8 – Ilustração de transporte desnecessário em linha de produção	30
Figura 9 – Ilustração para processos desnecessários.....	30
Figura 10 – Ilustração de excesso de estoque	31
Figura 11 – Ilustração de movimentação desnecessária	32
Figura 12 – Ilustração prático de defeito.....	32
Figura 13 – Ilustração da união do conhecimento operacional.....	33
Figura 14 – Quadro demonstrativo entre nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades	35
Figura 15 – Defeitos x Escala Sigma de Medição	35
Figura 16 – Significado prático para o nível sigma	36
Figura 17 – Ciclo DMAIC	38
Figura 18 – Representação de entrada e saída de processo.....	39
Figura 19 – Ilustração para o Diagrama de Pareto	41
Figura 20 – Ilustração para Diagrama de Ishikawa.....	42
Figura 21 – Ilustração de SIPOC	43
Figura 22 – Ilustração de Fluxograma	44
Figura 23 – Ilustração de Matriz de Causa e Efeito	44
Figura 24 – Exemplos de Gráfico de Controle. (a) Processo sob controle. (b) Processo fora do Controle	46
Figura 25 – Ilustração de Gráfico de Dispersão.....	47

Figura 26 – Comparação de características entre Lean e Six Sigma	48
Figura 27 – Ilustração da troca de calor que ocorre em um molde	50
Figura 28 – Ilustração de um processo completo de Refusão.....	51
Figura 29 –Esquemático de um laminador à quente	52
Figura 30 –Esquemático de um laminador à frio	53
Figura 31 – Ilustração de um fluxo de processo de laminação de alumínio	58
Figura 32 – Ilustração de um forno sendo esquimado	64
Figura 33 – Fluxograma completo do processo de Refusão	66
Figura 34 – Ilustração do processo em um laminador desbastador	67
Figura 35 – Ilustração da formação da “Boca de Jacaré”	68
Figura 36 – Exemplo real de “Boca de Jacaré”.....	68
Figura 37 – Ilustração do processo de um laminador redutor.....	69
Figura 38 – Fluxograma completo do processo de Laminação à Quente	70
Figura 39 – Molde LHC	71
Figura 40 – Ilustração das fases de um resfriamento	72
Figura 41 – Ilustração de resfriamento primário e secundário.....	73
Figura 42 – Imagem demonstrando aspecto ideal das extremidades de uma placa	73
Figura 43 – Ilustração de molde e sapata	74
Figura 44 – Exemplo de sangria	75
Figura 45 – Exemplo de Empeno.....	75
Figura 46 – Ilustração da influência da velocidade da formação do pé de uma placa...	76
Figura 47 – Ilustração do resfriamento de acordo com o nível de metal	77
Figura 48 – Exemplo de sangria no pé da placa	77
Figura 49 – Exemplo de sangria nos cantos da placa	78
Figura 50 – Exemplo de falta de água durante um vazamento	79
Figura 51 – Diagrama de Ishikawa para principal defeito da laminação à quente	80
Figura 52 – SIPOC do processo de formação das placas.....	81
Figura 53 – Croqui de uma placa dentro das especificações	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ação para cada medição realizada	82
Tabela 2 – Especificações de Placa.....	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação entre as eficiências das áreas	56
Gráfico 2 – Comparação entre as eficiências das áreas devido à CBS	57
Gráfico 3 – Relação entre não-conformidades e áreas	59
Gráfico 4 – Pareto: Defeitos na Faceadeira.....	60
Gráfico 5 – Pareto: Defeitos na Laminação à Quente	61
Gráfico 6 – Quantidade de CBS entregue ao cliente no máximo da especificação	62
Gráfico 7 – Desvio dos valores de PIW na Laminação à Quente	63
Gráfico 8 – Eficiência na Faceadeira e Porcentagem de Retrabalhos.....	86
Gráfico 9 – Comparação entre Eficiência e PIW	88
Gráfico 10 – Aumento do PIW a partir das melhorias	89

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	16
1.2	OBJETIVO DO ESTUDO	17
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.4	MÉTODO DE PESQUISA	18
1.5	ESTRUTURA	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	HISTÓRICO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL	19
2.2	MANUFATURA ENXUTA	20
2.2.1	Mapeamento do Fluxo de Valor	25
2.2.2	Oito Desperdícios	28
2.3	SIX SIGMA	33
2.3.1	Eficiência	39
2.3.2	Ferramentas da Qualidade	40
2.4	LEAN SIX SIGMA	47
2.5	ALUMÍNIO	49
2.5.1	Processo de Laminação de Alumínio	49
2.5.1.1	Refusão	49
2.5.1.2	Laminação à Quente	51
2.5.1.3	Laminação à Frio	52
2.5.2	Ligas de Alumínio	53
3	DESENVOLVIMENTO	55
3.1	ESTUDO DE CASO	55
3.2	MÉTODO	55
3.2.1	Definição do Projeto	55
3.2.2	Processo Produtivo Atual	63
3.2.3	Identificação dos principais pontos de perda e geração de defeito	70
3.2.3.1	Fornos Melter e Holder	70
3.2.3.2	Vazamento das Placas	71
3.2.4	Resultados e Proposições de Melhorias	81

3.2.4.1	Qualidade das Placas	81
3.2.4.2	“Boca de Jacaré”	84
3.2.4.3	Curvatura de Placa.....	84
3.2.4.4	Comprimento de Placa	85
3.2.5	Estimativa de Ganhos.....	85
4	CONCLUSÕES.....	90
4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS	90
4.2	SUGESTÕES PARA ATIVIDADES FUTURAS	90
	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No atual cenário do mundo globalizado onde os ambientes estão cada vez mais competitivos, diferenciar-se no mercado está cada vez mais difícil e a busca por novos métodos, ferramentas e ideias são o que determinam o sucesso ou insucesso de uma empresa.

Produzir mais com menos recursos e a um preço acessível é o desafio que muitas empresas enfrentam associado ainda, as exigências dos consumidores que acostumados com a velocidade das inovações, criam uma busca desenfreada por superação das expectativas. Essas expectativas são traduzidas na forma de atributos de qualidade, sendo assim, o aumento da qualidade nos processos das empresas primordial para manter a competitividade.

Levando em consideração o cenário atual no qual a utilização de laminados de alumínio vem se destacando em inúmeros seguimentos, principalmente devido a suas características de leveza, durabilidade e resistência, sendo usados desde em automóveis mais eficientes até embalagens mais sustentáveis e eletrônicos com excelentes acabamentos, e a crescente demanda por produtos de alta qualidade e eficiência, viu-se necessário fazer um levantamento dos principais processos da fabricação de laminados de alumínio, apontando seus processos críticos, gargalos e áreas de maior desperdício, a fim de reduzi-los e adequá-los a demanda ainda maior que o mercado vem exigindo.

Visando atender a essas necessidades, optou-se por introduzir a metodologia Lean Six Sigma para analisar e estudar os processos de forma mais aprofundada, utilizando ferramentas específicas para identificar os principais desperdícios e ineficiências do processo.

Ter acesso a essas ferramentas, que analisam os processos e buscam melhorar sua qualidade, permite as organizações adaptarem-se as exigências dos clientes e as rápidas mudanças do mercado, tornando-se empresas de grande crescimento e sucesso.

1.2 OBJETIVO DO ESTUDO

Este trabalho tem como objetivo principal a utilização de conceitos e ferramentas do Lean Six Sigma para o aumento da eficiência do processo de laminação em indústria de laminados de alumínio, visando melhoria da qualidade e eficiência do processo. Além disso, busca-se a redução de defeitos, aumento dos outputs dos processos, e implementação da ideia do “fazer certo da primeira vez” na cadeia produtiva.

Para atingir tais objetivos, destacam-se a utilização de alguns objetivos específicos como:

- Descrever a utilização e importância do Lean Six Sigma;
- Descrever o processo de fabricação de laminados de alumínio;
- Realizar um estudo de caso identificando os pontos críticos desse processo;
- Utilizar as principais ferramentas da Qualidade;
- Analisar e discutir a eficiência da metodologia utilizada.

1.3 JUSTIFICATIVA

A busca pela melhoria de processos existentes, maior produção com menor custo, juntamente com o aumento da qualidade dos produtos e serviços, encontram-se cada vez mais em pauta nas grandes instituições.

A eficiência de uma empresa torna-se o reflexo de todos os seus processos e da maneira como a organização lida com a sua capacidade e qualidade de operação. Assim, o presente estudo foi realizado devido à necessidade de levantar, com base em dados, a eficiência geral da produção, visando aumentá-la, com a diminuição dos defeitos causados desde o início da cadeia produtiva.

Além disso, com o aumento da produção de laminados de alumínio em mercados cada vez mais exigentes, o aumento da qualidade e eficiência de seus produtos torna-se imprescindível.

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho é classificado como um estudo de caso, pois trata-se de uma análise do método do Lean Six Sigma e das ferramentas da qualidade, com o objetivo de aumentar a compreensão sobre o método e levantar novas questões.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos da Manufatura Enxuta, do Six Sigma e do Lean Six Sigma a fim de verificar a importância desses conceitos na melhoria de processos.

Em seguida, foi realizada uma pesquisa de literatura sobre o alumínio e sobre o processo de fabricação de laminados, visando aumentar o entendimento sobre os processos que seriam analisados.

As outras etapas do projeto foram gerenciadas pelo método de análise e soluções de problemas conhecido por DMAIC, a partir do qual foi possível identificar os fatores e processos críticos que realmente influenciam na fabricação de laminados de alumínio.

Após essas etapas, foi possível realizar uma análise dos resultados obtidos e chegar a conclusões expressivas sobre os objetivos propostos.

1.5 ESTRUTURA

O primeiro capítulo deste trabalho aborda a contextualização, objetivos e justificativa para a realização do mesmo.

O segundo capítulo, é dedicado ao entendimento dos conceitos teóricos do Lean Six Sigma, ferramentas da qualidade e processo de fabricação de laminados de alumínio.

No terceiro capítulo, por sua vez, encontra-se descrito o estudo de caso realizado nos processos críticos da fábrica, as proposições de melhoria, os resultados obtidos e as estimativas de ganhos do projeto.

Por fim, no quarto capítulo estão apresentadas as conclusões e os comentários finais do estudo de caso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica busca auxiliar na compreensão dos conceitos que serão abordados no trabalho, como Manufatura Enxuta, Six Sigma, Lean Six Sigma e o processo de Laminação de Alumínio.

2.1 HISTÓRICO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL

No atual cenário mundial, onde as empresas encontram um ambiente competitivo e um mercado altamente exigente, produtos e serviços que tenham qualidade, baixo custo e eficiência passaram a ser um requisito primordial para a determinação do sucesso de uma empresa.

Buscando se diferenciar no mercado, diversas empresas então investindo em novas metodologias, processos e ferramentas a fim de garantir o aumento de produtividade e qualidade, diminuição de custos e principalmente a satisfação de seus clientes.

Mas esses conceitos não são restritos à atualidade, desde o século XVIII, com o advento da Revolução Industrial, todos os aspectos de produção sofreram uma total transformação, tanto tecnológica quando econômica, que mais tarde seria considerada como um divisor de águas entre o antigo mundo artesanal e o novo mundo de máquinas e novos produtos.

Segundo Maximiano (1995), nessa época de expansão industrial a prioridade era a eficiência da produção, aproveitando assim as oportunidades que o mercado proporcionava. A partir desse raciocínio, para maximizar os lucros mantendo o preço de venda competitivo, as empresas se concentraram na redução dos custos das operações industriais, através da geração de valor e combate aos desperdícios.

Segundo Maximiano (1995), entre o século XIX e o começo do século XX, a indústria expandiu-se aceleradamente. Foi a época em que surgiram e cresceram empresas como Ford, General Motors, Goodyear, General Electric e Bell Telephone. Essa expansão estimulou o estudo sobre as formas de aumento de eficiência dos processos de produção.

A pessoa que transformou o debate sobre a eficiência num conjunto de técnicas foi Frederick Winslow Taylor, que liderou o movimento da administração científica, tendo mais

tarde uma grande contribuição de Henry Ford, estabelecendo um padrão de organização de processos produtivos que se tornaria universal.

Ford percebeu que quando há um grande mercado potencial ansioso por uma grande quantidade de produtos de baixo custo, produzidos rapidamente, o modelo artesanal é desvantajoso. Tal contexto foi fundamental para impulsionar a produção em massa, que é essencialmente, a fabricação de produtos não diferenciados em grandes volumes.

Buscando seguir os passos das grandes montadoras norte americanas que na época seguiam com o tipo de produção em massa, mas estando financeiramente abalado devido a Segunda Guerra Mundial e tendo um tipo de mercado exigente e diferenciado, o Japão buscou uma metodologia que se adequasse a sua situação socioeconômica.

Foi então, que o Engenheiro Japonês Eiji Toyoda ao passar três meses em Detroit, nos Estados Unidos, buscando entender e adquirir conhecimento sobre a indústria norte americana, iniciou com o auxílio do engenheiro Taiichi Ohno, o desenvolvimento de um processo produtivo que suprisse a realidade de seu país. Nascia assim, o conceito da manufatura enxuta.

2.2 MANUFATURA ENXUTA

Segundo Shingo (1996), a manufatura enxuta é uma filosofia operacional baseada nas práticas do Sistema Toyota, especificando o valor a partir da ótica do cliente, alinhando as atividades que agregam valor em um fluxo contínuo, mantendo sempre a maneira mais eficaz de trabalho.

Já Womack e Jones (2004) afirmam que coexistem várias definições para a Manufatura Enxuta. Os autores, por exemplo, definem a manufatura enxuta como uma abordagem que busca uma forma melhor de organizar e gerenciar os relacionamentos de uma empresa com seus clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção, segundo a qual é possível fazer cada vez mais com menos (menor quantidade de equipamento, menor esforço humano, menor tempo, menor custo, etc.).

Segundo Liker (2005), ter uma produção enxuta requer uma forma de pensar diferente, com foco em fazer o produto fluir por um processo contínuo que agrega valor ao cliente interno e externo e sem interrupções. Um sistema “puxado” que retorna em cascada da demanda do cliente, que por sua vez, puxa somente o que necessita e quando precisa. Uma

cultura em que todas as pessoas, em todos os níveis, estão comprometidas com a melhoria contínua.

Já em uma produção do tipo “empurrada”, o sistema de produção é determinado a partir do comportamento do mercado. Neste modelo, a produção em uma empresa começa antes da ocorrência da demanda pelo produto.

As principais diferenças entre uma produção empurrada e uma produção puxada podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 - Produção Puxada x Produção Empurrada



Fonte: <http://takttime.net/takt-consultoria/modelo-takt-lean-manufacturing>

Em outras palavras, o sistema de manufatura enxuta busca reduzir o tempo entre o pedido feito pelo cliente e a entrega do produto acabado, eliminando atividades que não agregam valor a esses produtos, aumentando assim, a eficiência do processo.

Na Figura 2 é apresentado um esquema didático demonstrando os princípios e objetivos da filosofia de manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*).

Figura 2 - Esquema da "Casa Lean"



Fonte: <http://leanway.com.br/lean%20enterprise#content-header>

A filosofia Lean, apresenta como base para sua estrutura a estabilidade dos processos assegurada pela aplicação combinada de mecanismos para a eliminação das interferências relacionadas à indisponibilidade ou deficiência em mão-de-obra, material, máquina e método.

Somente processos capazes, sob controle e estáveis podem ser padronizados de forma a garantir a produção de itens livres de defeitos (resultante do pilar Jidoka), na quantidade e momento certo (resultantes do pilar JIT).

Um degrau acima, tem-se o Nivelamento, ou Heijunka, que se refere a uma programação nivelada através do sequenciamento de pedidos em um padrão repetitivo e do nivelamento das variações diárias de todos os pedidos para corresponder à demanda no longo prazo. Heijunka é o nivelamento das quantidades e tipos de produtos.

Ainda no mesmo patamar, temos o trabalho padronizado, que estabelece o conteúdo de trabalho, a sequência das atividades, a forma (método) e o tempo para executá-las, os recursos necessários e o estoque em processo a ser mantido. O trabalho padronizado garante que cada ciclo de atividades seja realizado dentro do takt time, com a máxima eficiência possível.

Por fim, chegamos ao último princípio do segundo degrau, onde temos o Kaizen, que se caracteriza pela melhoria incremental e contínua de uma atividade, focada na eliminação de perdas, de forma a agregar mais valor ao produto/serviço com um mínimo de investimento. Este processo desenvolve-se a partir da padronização da melhor solução e subsequente melhoria deste padrão, garantindo que os pequenos e incrementais ganhos sejam incorporados às práticas operacionais.

Sustentando a filosofia Lean, existem dois pilares, que se referem à diminuição de lead time e aumento da qualidade.

Visando atender ao pilar da diminuição do lead time/just in time, estão os conceitos de fluxo contínuo, e takt time.

Just-in-time significa que cada processo deve ser suprido com os itens necessários, no momento certo, na quantidade necessária e no local certo. A viabilização do just in time depende de três elementos intrinsecamente relacionados: fluxo contínuo, takt time e produção puxada.

O fluxo contínuo é a resposta à necessidade de redução do lead time de produção no limite, um fluxo unitário, onde não há estoques em processo.

O takt time é o tempo necessário para produzir um componente ou um produto completo, baseado na demanda do cliente. Em outras palavras, o takt time associa e condiciona o ritmo de produção ao ritmo das vendas.

Na lógica da “produção puxada”, o fornecedor produzirá somente quando houver demanda de seu cliente, podendo ser viabilizada através do kanban, um sistema de sinalização entre cliente e fornecedor que informa ao processo fornecedor exatamente o que, quanto e quando produzir.

Enquanto no pilar referente à Qualidade, estão os conceitos jidoka, separação homem/máquina, poka yoke, inspeção na fonte, ação imediata e gestão à vista.

O jidoka consiste em facultar ao operador ou à máquina a autonomia de parar o processamento sempre que for detectada qualquer anormalidade. A ideia central é impedir a geração e propagação de defeitos e eliminar qualquer anormalidade no processamento e fluxo de produção.

A separação entre a máquina e o homem é um requisito fundamental para a implementação do jidoka. Na prática, a detecção do problema pode ser uma função da máquina, enquanto a solução ou correção continua como responsabilidade do homem.

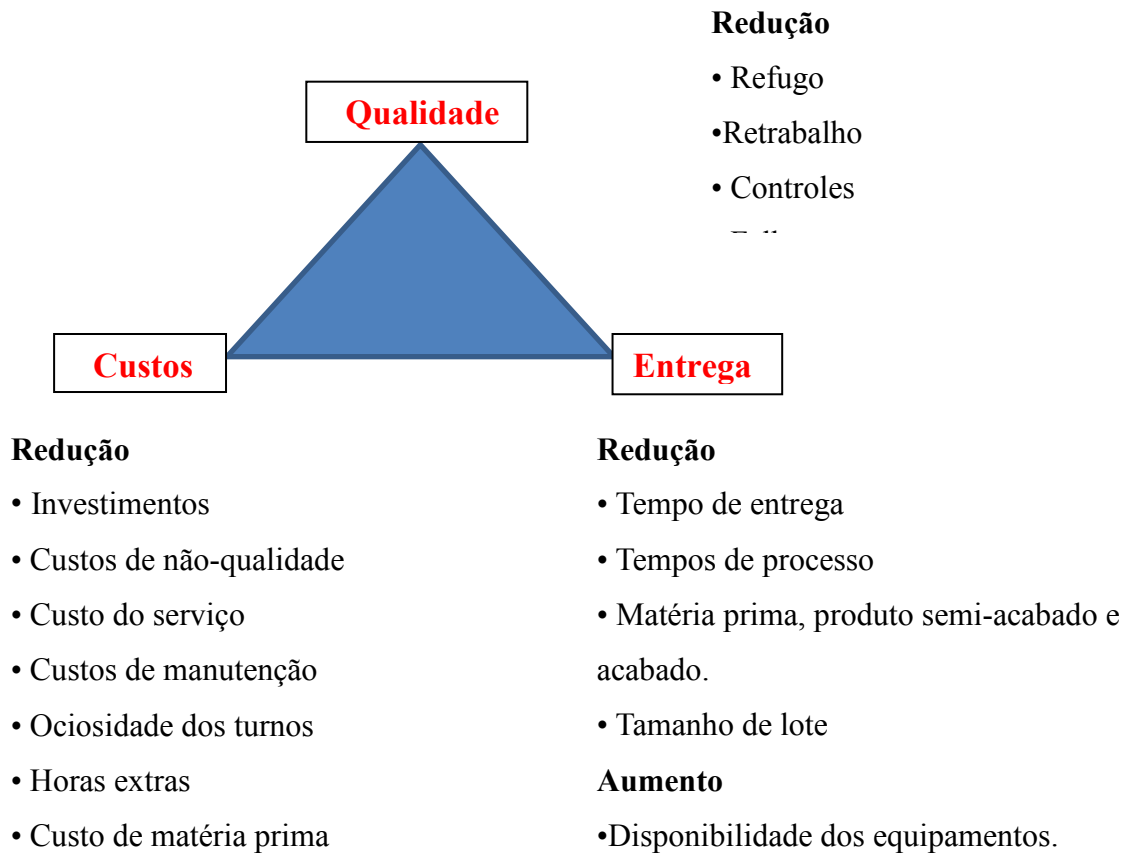
Jidoka também depende da aplicação de mecanismos poka-yoke projetados para detecção de erros de execução (inspeção na fonte), ao invés de defeitos. Quando o poka-yoke é ativado, um alarme sonoro e/ou visual (andon) indica a ocorrência da anormalidade, gerando ação imediata do supervisor/colaborador, desencadeando um esforço conjunto para identificar a causa fundamental e eliminá-la, evitando a reincidência do problema e consequentemente reduzindo as paradas da linha.

O Jidoka não funciona somente detectando uma anomalia e parando a máquina ou processo. Ele deve ser algo maior, abrangendo também a correção de condições anormais e investigação da causa raiz dos problemas. Assim podemos dizer que o Jidoka consiste em 4 passos importantes:

1. Detectar a falha ou anormalidade;
2. Parar;
3. Corrigir ou consertar imediatamente a condição anormal;
4. Investigar a causa raiz e estabelecer ações efetivas para que o problema não ocorra mais.

Tais fundamentos, quando correlacionados e implementados, trazem inúmeros benefícios, visando sempre atingir a satisfação do cliente e tendo em mente a aplicação de custos e prazos cada vez mais baixos, conforme representado na Figura 3.

Figura 3 – Ilustração indicando os Benefícios da Manufatura Enxuta

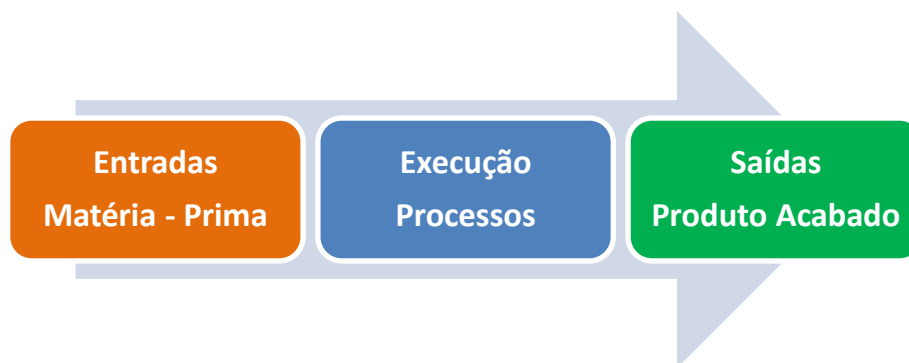


Fonte: Nascimento (2010)

2.2.1 Mapeamento do Fluxo de Valor

De acordo com Shingo (1996), o conceito de cadeia ou fluxo de valor é um conjunto de ações (agregando ou não valor) necessárias para que o produto ou serviço passe da concepção ao lançamento, do pedido à entrega e da matéria prima às mãos do cliente final.

Figura 4 - Sequência básica de uma cadeia produtiva



Fonte: Autor

Segundo Shingo (1996), o conceito de cadeia ou fluxo de valor é um conjunto de ações necessárias para que o produto ou serviço passe da concepção ao lançamento, do pedido à entrega e da matéria-prima às mãos do cliente final.

O Mapeamento do Fluxo de Valor é uma ferramenta visual que facilita o entendimento sobre a cadeia de valor atual de um processo, demonstrando onde existem desperdícios no processo e visando a priorização de esforços de melhoria através do fluxo de valor agregado para o cliente.

A metodologia utilizada é bem simples, pois ela se vale de símbolos lógicos dispostos de maneira orientada em forma de fluxograma.

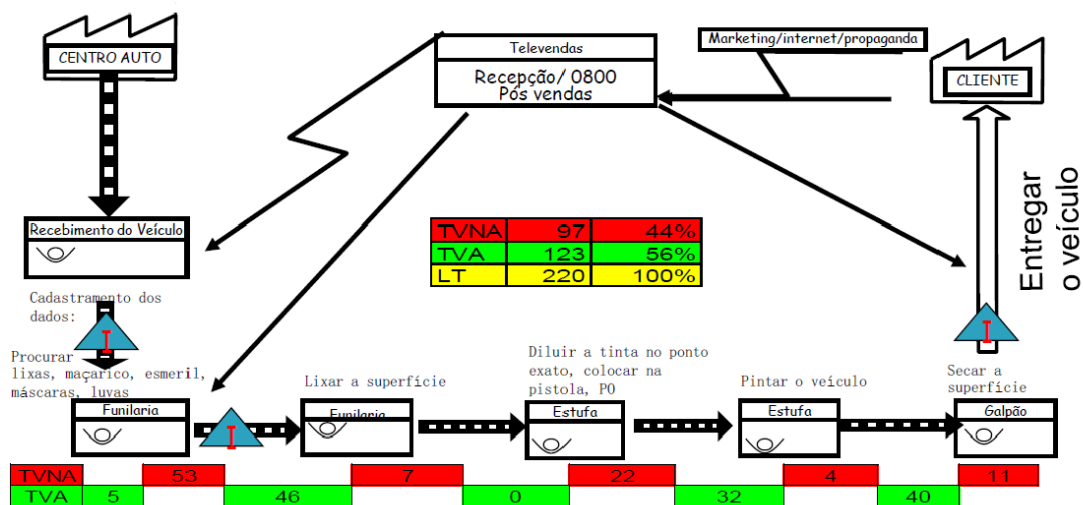
Rother & Shook (1999) definem que o primeiro passo é desenhar o estado atual do processo, seguindo o caminho da produção desde o consumidor até o fornecedor, fazendo assim, uma representação visual de cada processo do fluxo. Essa representação servirá de informação para o mapeamento do estado futuro pretendido.

O mapeamento de fluxo de valor é essencial para enxergar e compreender o fluxo produtivo, aliando as informações dos processos aos fluxos de materiais com foco de viabilizar a identificação e fontes de desperdícios.

Em processos, o fluxo é determinado pelo tempo de execução de uma atividade, pela distância percorrida no local de trabalho e pela velocidade de deslocamento de uma peça ou serviço. A combinação ideal desses três fatores influencia na satisfação do cliente, sendo que o fluxo começa com matérias-primas, informações ou solicitações iniciais dos clientes e termina com o pedido do cliente final sendo atendido.

A Figura 5 ilustra um mapeamento de cadeia de valor.

Figura 5 - Ilustração do mapeamento da cadeia de valor



Fonte: Marcelo Rivas – Treinamento Green Belt – Setembro/2013

O conceito de valor deve ser definido pelo cliente, e representa aquilo pelo qual ele está disposto a pagar.

Assim, agregar valor significa fazer um trabalho pelo qual o cliente está disposto a pagar, enquanto desperdício significa agregar custos e não valor.

De acordo com Shingo (1996), quando o fluxo de valor é analisado, pode-se identificar os seguintes tipos de atividades:

- *Atividade de Valor Agregado (AV):*

Atividades que transformam a matéria prima e a informação em produtos ou serviços pelos quais o cliente está disposto a pagar.

Exemplo: Pegar um veículo, lixar a superfície, pintar a superfície, secar, entregar ao cliente.

- *Atividade de valor não agregado, porém necessárias (NAV):*

Atividades que não criam valor, porém não podem ser eliminadas com base na tecnologia ou pensamento vigentes.

Exemplo: Requerimentos Regulatórios (Leis, Conformidade Ambiental, Segurança).

- *Atividades de valor não agregado (NAV):*

Atividades que consomem tempo, espaço ou outros recursos, mas que não contribuem para gerar valor.

Exemplo: Estocar peças sem giro, realizar movimentos desnecessários, duplicação de trabalho (retrabalho), estocar, procurar peças e ferramentas.

Sabendo disso, os esforços devem ser investidos nas atividades que não agregam valor e são desnecessárias a fim de reduzi-las e, se possível, elimina-las. Em relação às atividades que não agregam valor, mas são necessárias, é necessário um estudo visando à melhoria contínua, afim de, mesmo que em longo prazo, sejam eliminadas do processo.

2.2.2 Oito Desperdícios

Segundo Ohno (1997), o Lean Manufacturing está baseado nos princípios da cultura de melhoria contínua e da redução dos custos. Para a aplicação do Lean deve-se, inicialmente, identificar e buscar eliminar os desperdícios que não agregarem valor ao processo, examinando o processo na perspectiva do cliente interno ou externo.

Segundo Liker (2005), os desperdícios são os males que mais prejudicam a sobrevivência das empresas frente à competitividade, independentes do ramo em que estejam, eles se escondem por toda parte na produção. Para evitar isso, deve-se compreender por completo o que é o desperdício e suas causas.

Todos os desperdícios se tornam parte dos custos direta ou indiretamente. Buscando eliminar os desperdícios, o aumento da eficiência vem atrelado à redução de custos e só é atingido quando se produz apenas o necessário com um mínimo de mão-de-obra.

A eficiência deve ser melhorada em cada estágio do processo, o que surtirá em aumento da eficiência para o processo completo.

Os principais desperdícios são classificados conforme listado abaixo:

1-Excesso de produção:

Produção além do que os clientes necessitam, ou produção cedo demais de produtos necessários para o próximo processo ou cliente.

Resume-se em produzir itens que não tem pedido confirmado, gerando um custo desnecessário de matéria-prima, ocupação de mão-de-obra, espaço físico e movimentações.

Figura 6 - Ilustração para excesso de produção



Fonte: Adaptado de <http://www.google.com>

2-Espera:

Falta de nivelamento dos processos gera gargalos onde processos ficam sobrecarregados e outros ficam “parados” aguardando o processo anterior. Esse período de inatividade, que pode ser de pessoas, informações ou produtos, resulta em um fluxo deficiente.

Figura 7 - Ilustração prática de espera



Fonte: Nascimento (2010)

3- Transporte Desnecessário:

Processos distantes uns dos outros ou *layouts* mal projetados podem gerar transportes excessivos de pessoas, produtos e informações, gerando perda de tempo, esforço e alto custo.

Por ser uma atividade que não agrega valor, é considerado um desperdício e, portanto deve ser minimizado.

Figura 8 - Ilustração de transporte desnecessário em linha de produção



Fonte: <http://www.tecnometal.com.br/EstruturasDeNegocios/ElevacaoTransporte>

4- Processos desnecessários:

Ter atividades no processo que não agregam valor algum ao produto.

São processos que poderiam ser eliminados sem alterar as características e funções requeridas ao produto.

Figura 9 - Ilustração para processos desnecessários



Fonte: Ótima Estratégia e Gestão (2010)

5- Excesso de estoque:

Armazenagem em excesso de matérias primas, produtos semi-acabados ou produtos acabados, resultando em custos excessivos de fabricação, transporte, perdas de produtos por deterioração, entre outros.

Segundo Slack, Chambers & Johnston (2002), os estoques existem porque o fornecimento e a demanda não se encontram em harmonia um com o outro, existindo uma diferença de ritmo entre fornecimento e demanda dos recursos.

Figura 10 - Ilustração de excesso de estoque



Fonte: <http://tksoftware.com/brisa-industria-de-tecidos/>

6- Movimentação desnecessária:

Colaboradores andando pela fábrica em busca de materiais, componentes, informações ou ferramentas, resultando em perdas de tempo, qualidade e ergonomia para os operadores.

Figura 11 - Ilustração de movimentação desnecessária



Fonte: <http://veja.abril.com.br/noticia/economia/o-destino-do-dinheiro-do-exterior>

7- Defeitos/Retrabalho:

Uma falha na manufatura gera produtos defeituosos, que não atendem a uma especificação ou a um requisito especificado pelo cliente, resultando em desperdício de tempo e esforço com mão-de-obra de operadores e controles de qualidade. A perda por defeito pode gerar outras perdas, como retrabalho e sucata.

Figura 12 – Exemplo prático de defeito



Fonte: Nascimento (2010)

8- Desperdício de conhecimento:

Muniz, Lourenção & Ferreira (2004), adicionaram o oitavo desperdício como sendo a não utilização do conhecimento do operador.

A valorização das experiências do operador e do seu conhecimento do processo pode gerar grandes melhorias no processo, aprendizados práticos e ideias para projetos futuros.

Figura 13 - Ilustração da união do conhecimento operacional



Fonte: <http://www.engenhariae.com.br/categoria/meio-ambiente/page/18/>

2.3 SIX SIGMA

O Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar expressivamente a performance e a lucratividade das empresas, por meio da melhoria contínua da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação dos clientes e consumidores, levando em conta todos os aspectos importantes de um negócio. (Werkema, 2004).

Essa metodologia originou-se da década de 80, pela Motorola, através da verificação de que ao medir variações, era possível melhorar os sistemas de trabalho com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos. Porém, sua popularização ocorreu na década de 90 através da empresa General Electric.

A GE percebeu que no início estava trabalhando na mudança da média, enquanto o que o cliente sente é o efeito da variação, confirmando o que havia sido verificado pela Motorola anos atrás.

No entanto, enquanto outros sistemas de qualidade eram desenvolvidos para medir performance, o método Seis Sigma era diferente. As instruções tinham como objetivo a mudança de procedimentos para que a performance geral pudesse mudar permanentemente, e a todos os níveis da companhia.

Logo no início da implementação na GE, as estimativas foram de que os custos ganhos com a aplicação da metodologia Seis Sigma excederam \$430 milhões nos primeiros 2 anos, e mais de \$1 milhar de milhão em 1999.

Para entender o conceito do Seis Sigma é importante conhecer a origem da palavra. *Sigma* é a letra do alfabeto grego usada para definir o desvio padrão, uma medida estatística de variação, a exceção para os resultados esperados. Pode-se pensar em *desvio padrão* como uma comparação entre resultados esperados ou saídas num grupo de operações, versus aqueles que falham. A medição do desvio padrão mostra que os rácios de defeitos, ou exceções, são mensuráveis.

Assim, Seis Sigma é a definição de resultados o mais próximo possível da perfeição.

Um processo é definido como tendo desempenho Seis Sigma quando estiver com a média da população centrada no valor nominal da especificação, e os limites de especificação estiverem distantes seis desvios padrões da media da população. (HILSDORF, 2002). Assim, o termo sigma mede a capacidade do processo em trabalhar livre de falhas.

Essa capacidade é expressa através da “escala sigma” que relaciona o nível de qualidade a um processo. Quanto maior o valor alcançado na escala sigma, melhor, sendo que esse valor é inversamente proporcional ao DPMO (defeitos por milhão de oportunidade).

Quando falamos em Seis Sigma, falamos em redução da variação no resultado entregue aos clientes numa taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição. A Figura 14 demonstra a relação entre o nível sigma, o DPMO e o ganho operacional.

Figura 14 - Quadro demonstrativo entre nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades

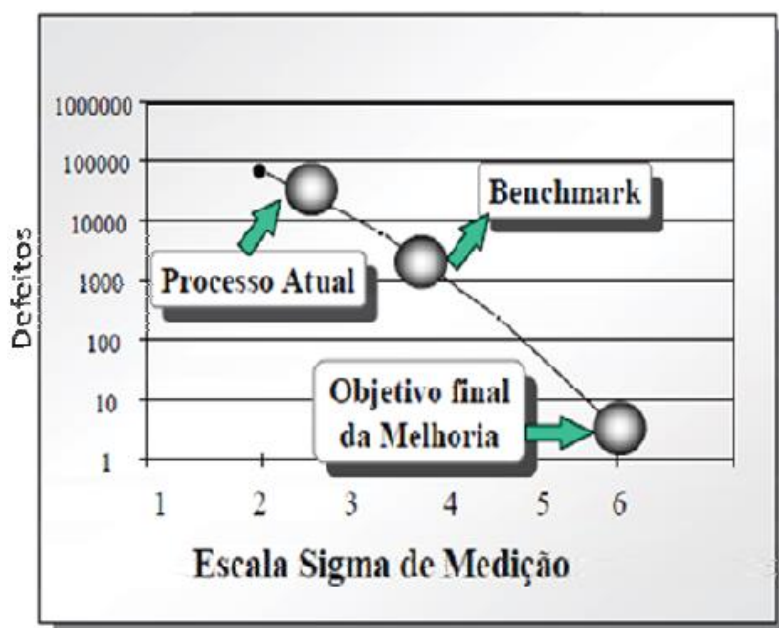
Sigma	DPMO	DPO	Ganho Operacional
1	691.462	69%	< 50%
2	308.538	31%	55,40%
3	66.807	6,70%	78,30%
4	6.210	0,62%	90,70%
5	233	0,02%	96,20%
6	3,4	0,00%	98,50%

Fonte: Adaptada de Treinamento Green Belt – Setembro/2013

Assim, o Six Sigma é uma metodologia que foi desenvolvida para reduzir a variabilidade dos processos, produtos e serviços utilizando ferramentas da qualidade e estatística para atender as necessidades do cliente.

Para Perez Wilson (1999), o Seis Sigma pode atuar de várias formas nas empresas. Pode ser usado como Benchmark, como um parâmetro de comparação do nível de qualidade dos processos, operações e produtos da empresa, entre outros, e também visto como uma Meta de qualidade, sendo alcançada ao atingir um patamar de 3,4 DPMO.

Figura 15 - Defeitos x Escala Sigma de Medição



Fonte: Balestrassi (2010)

Segundo Thomsett (2005), o objetivo da metodologia Seis Sigma é a perfeição, impossível de atingir todo o tempo, mas que deve ser um objetivo a se ter em mente. Se os objetivos são colocados abaixo, então o que teremos são valores abaixo. As pequenas imperfeições afetam todo o esforço, o que pode parecer uma pequena imperfeição ou falha, afeta o produto ou serviço de uma empresa. Assim, a perfeição não é um requisito, mas um objetivo que vale a pena procurar, para que possam ser comparados os resultados obtidos com o objetivo, verificar melhorias e assim medir os resultados.

Na figura abaixo, está representado o Seis Sigma com um significado prático, comparando processos com e sem nível sigma.

Figura 16 - Significado prático para o nível sigma

Processo sem nível sigma	Processo 6 sigma
	
☐ 972.000 voos por ano atrasados nos principais aeroportos da Europa.	☐ 12 voos por ano atrasados nos principais aeroportos da Europa.
☐ 5.000 operações cirurgicas incorretas por semana.	☐ 1,7 operações cirúrgicas incorretas por semana.
☐ 550 previsões de tempo equivocadas por ano nas 30 principais cidades dos EUA.	☐ 2 previsões de tempo equivocadas por ano nas 30 principais cidades dos EUA.

Fonte: Treinamento Green Belt – Setembro/2013

Segundo Rotondaro (2002), a metodologia *Six Sigma* é uma maneira diferenciada de gerenciar os negócios, colocando o cliente em primeiro lugar e utilizando de fatos e dados para conduzir e propor melhores soluções para a empresa.

Os três principais pilares do *Six Sigma* são: melhorar a satisfação do cliente, reduzir os tempos de ciclos e reduzir os defeitos. Melhorias nesses três pilares, normalmente representam redução de custos para os negócios, fornecendo um diferencial competitivo para o mercado.

A fim de atingir essa melhora na qualidade impactando diretamente da redução de custos, a metodologia apresenta uma sistemática para analisar os problemas encontrados e implementar as respectivas ações de melhoria.

Tal sistemática, conhecida como DMAIC, consiste em um ciclo para auxiliar o desenvolvimento de projetos de melhoria contínua e é considerada a espinha dorsal da filosofia Six Sigma. Segundo Psydek, 2003, temos:

- Define: identificar as necessidades do cliente e definir as características críticas para a qualidade, bem como as oportunidades de melhoria e os objetivos/ metas.

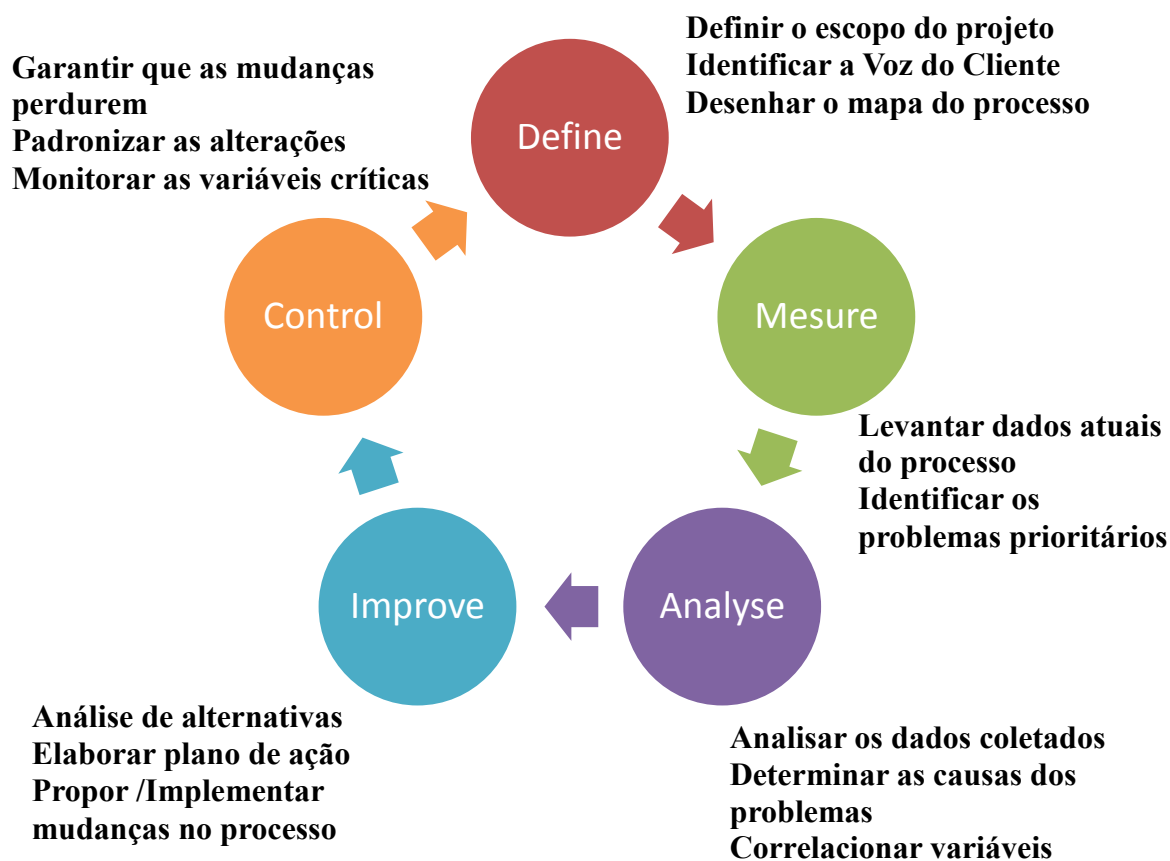
- Measure: nesta fase o processo atual é estabelecido através da definição e medição de desempenho das variáveis críticas do mesmo. Além disto, é nesta fase em que é validado o sistema de medição das variáveis em questão.

- Analyse: fase de análise das causas fundamentais responsáveis pela geração de defeitos. Para tal, são realizadas análises de capacidade do processo, no que diz respeito às variáveis críticas do mesmo.

- Improve: é nesta fase que são elaborados os planos de ação para implementar e confirmar a solução para o problema, havendo a necessidade de intervir no processo, modificando e padronizando-o, visando o cumprimento das metas e objetivos pré-estabelecidos na fase de Define.

- Control: esta fase é dedicada a assegurar que as condições estabelecidas para o novo processo são de caráter efetivo. Para tal, é necessária a utilização de ferramentas de controle estatístico, comparando os resultados obtidos com os objetivos traçados e com as especificações do cliente.

Figura 17 - Ciclo DMAIC



Fonte: Autor

Com a implementação de melhorias efetivas no processo, haverá uma diminuição considerável na quantidade de peças com defeito, aumentando assim o índice Sigma do processo, podendo atingir, em longo prazo, o sexto sigma o que significa, em outras palavras, possuir um índice de 3,4 ppm (3,4 peças defeituosas em cada 1.000.000 de peças fabricadas).

Além de avaliar a quantidade de peças defeituosas, é também de suma importância analisar o processo estatisticamente, a fim de obter estudos de estabilidade, de forma, de dispersão e de centralização do mesmo. Desta maneira é possível avaliar a efetividade das medidas tomadas, bem como apontar perspectivas e tendências para o processo, além de favorecer uma visualização mais ampla do mesmo.

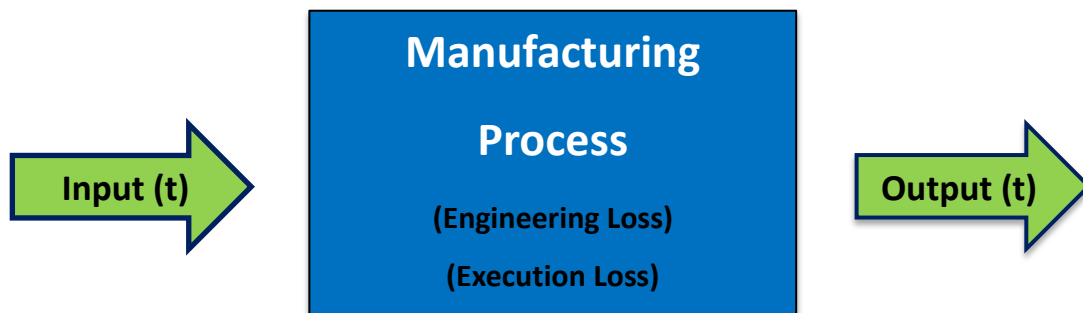
2.3.2 Eficiência

Segundo Maximiano (1995), eficiência é a palavra usada para indicar que a organização utiliza produtivamente, ou de maneira econômica, seus recursos. Quanto mais alto o grau de produtividade ou economia na utilização de recursos, mais eficiente é a organização. Em muitos casos, isso significa usar menor quantidade de recursos para produzir mais.

Para obter um nível elevado de eficiência em áreas produtivas é necessário conhecer o seu significado.

No que se refere à eficiência, deve-se comparar as entradas do processo (Inputs), com o que se obtém na saída desse processo (outputs). A eficiência se resume em output sobre input.

Figura 18 – Representação de entrada e saída de processo



Fonte: Autor

$$E\% = \frac{Output(t)}{Input(t)} \times 100\% \quad (1)$$

Quando existe uma diferença entre Input e Output, o processo apresenta perdas que diminuem a sua eficiência geral.

Quando analisamos um processo, podemos classificar as perdas em perdas de engenharia ou perdas de execução/qualidade.

As perdas de engenharia são aquelas intrínsecas ao processo, que exigem normalmente grandes investimentos por parte da empresa, como por exemplo: perda de material relacionado à capacidade de máquinas.

Já as perdas de execução estão relacionadas basicamente a desvios de qualidade, erros de planejamento e confiabilidade de máquinas. Essas perdas exigem menores ou nenhum investimento, sendo então, o foco para melhoria de processos e consequentemente aumento de eficiência.

2.3.3 Ferramentas da Qualidade

As ferramentas da qualidade são meios que facilitam a resolução de problemas que possam interferir no bom desempenho de um processo, produto ou serviço, e permitem que a melhoria contínua seja alvo constante para uma organização. É através da utilização das ferramentas da qualidade que as organizações conseguem identificar a causa de um problema e desta forma tomar decisões assertivas para a resolução do mesmo.

Segundo Montgomery (1996), as ferramentas da qualidade são um conjunto de ferramentas estatísticas de uso consagrado de suma importância no gerenciamento da qualidade e da produtividade, através da solução eficaz de problemas.

A seguir estão descritas as ferramentas da qualidade mais utilizadas atualmente:

Folha de Verificação:

É utilizada principalmente para facilitar a fase de coleta de dados, sendo importante para a elaboração de um resumo dos dados disponíveis, economizando tempo e evitando comprometer a posterior análise dos dados.

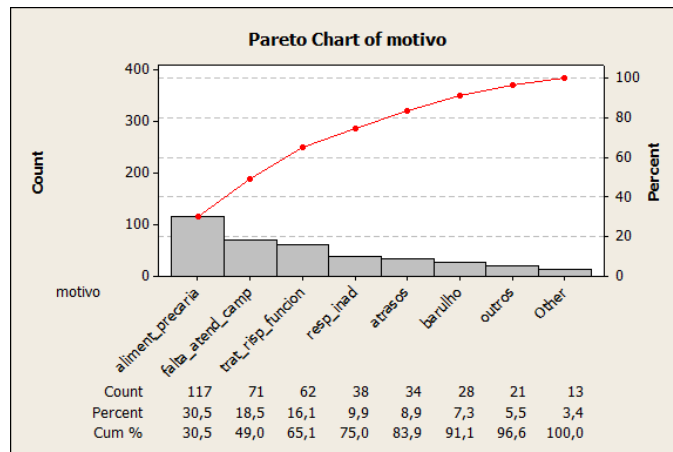
Gráfico de Pareto:

O gráfico de Pareto (ou curva ABC) é uma representação gráfica que permite priorizar a resolução de problemas através de um princípio conhecido como “80-20”, onde oitenta por

cento dos problemas com insatisfação dos clientes estão relacionados a vinte por cento das causas.

Essa ferramenta não é utilizada para identificar os problemas mais importantes e sim para organizar os problemas em categorias de acordo com a sua frequência.

Figura 19 – Ilustração para o Diagrama de Pareto



Fonte: Adaptado de <http://www.google.com>

Diagrama de Causa – Efeito ou Ishikawa:

O Diagrama de Ishikawa é uma representação gráfica que classifica as entradas do processo em fontes de variação que possivelmente pertencem aos fatores:

Materiais: Aspectos relacionados a insumos e matérias-primas.

Máquinas: Relativo aos equipamentos.

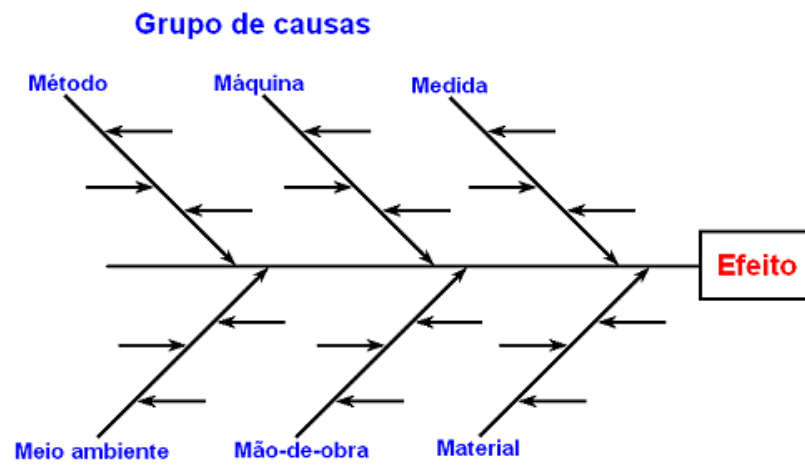
Métodos: Procedimentos, rotinas e técnicas utilizadas.

Mão de Obra: Pessoas e sua forma de trabalho.

Medição: Adequação e confiança nas medições, como aferições e escalas.

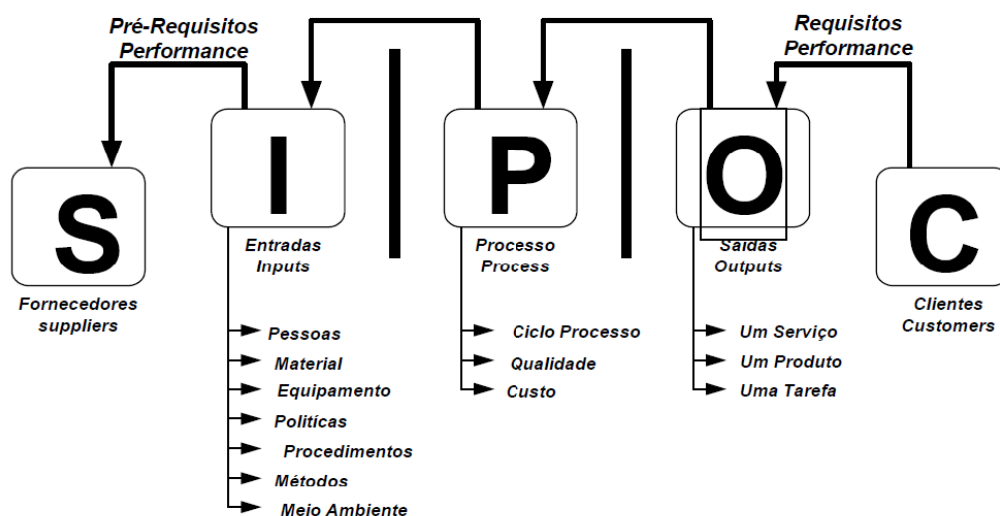
Meio Ambiente: Condições ou aspectos ambientais que podem afetar o processo.

Figura 20 – Ilustração para Diagrama de Ishikawa

**SIPOC:**

O SIPOC é uma ferramenta que mostra a relação entre os fornecedores, as entradas e saídas dos processos, o processo em si e seus clientes, delimitando assim, a área de atuação da melhoria desejada. Essa ferramenta permite que todos tenham a mesma visão sobre o processo e indica os requisitos do cliente.

Figura 21 – Ilustração de SIPOC



Fonte: Treinamento Green Belt – Setembro/2013

Fluxograma

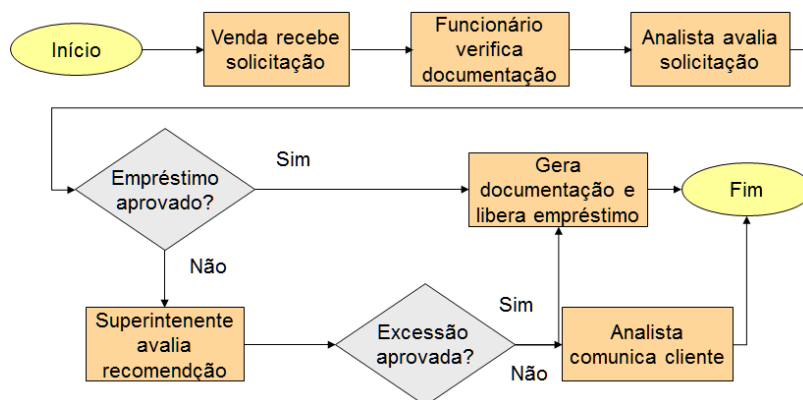
O fluxograma é uma ferramenta de baixo custo e de alto impacto, utilizada para analisar fluxos de trabalho e identificar oportunidades de melhoria. São diagramas da forma como o trabalho acontece, através de um processo.

O fluxograma permite uma ampla visualização do processo e facilita a participação das pessoas. Serve, ainda, para documentar um órgão ou seção específica envolvida em cada etapa do processo, permitindo identificar as interfaces do mesmo. O seu estudo permite aperfeiçoar os fluxos para maximizar as etapas que agregam valor e minimizar os custos, além de garantir a realização de tarefas indispensáveis para a segurança de um sistema específico.

A simbologia apresentada traz apenas os símbolos mais comumente utilizados. Outros símbolos poderão ser empregados para mapeamento dos processos.

O fluxo do processo desenhado deve retratar com clareza as relações entre as áreas funcionais da organização. O maior potencial de melhoria, muitas vezes, é encontrado nas interfaces das áreas funcionais.

Figura 22 - Ilustração de Fluxograma



Fonte: Adaptado de <http://www.google.com>

Matriz de Causa e Efeito:

É uma ferramenta cujo objetivo é relacionar numericamente as entradas com as saídas de um processo priorizando a atuação de acordo com a força dessa relação e a importância que é dada pelo cliente. Descreve intuitivamente a atribuição de pesos para a relação de causa e efeito.

Figura 23 – Ilustração de Matriz de Causa e Efeito

	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	Soma (Σ)	Prioridade
Demora na entrega da refeição	3	5	5	13	3º
Validade do produto	5	5	5	15	1º
Atendente bilingüe	2	2	1	5	9º
Ambiente desconfortável	2	3	3	8	6º
Não ter área para fumantes	3	3	3	9	5º
Falta de acesso para deficiente	2	1	3	6	8º
Cardápio em braile	1	1	1	3	10º
Opções light ou diet	1	2	2	5	9º
Inovação constante do cardápio	2	3	2	7	7º
Segurança	2	5	5	12	4º
Estacionamento	4	5	5	14	2º

Fonte: Adaptado de <http://www.google.com>

FMEA - Failure Mode Effect Analysis:

A Análise do Modo e Efeito da Falha é uma técnica de avaliação usada para identificar todos os possíveis tipos de falha dos processos e a influência do seu efeito no cliente. É um método que visa detectar e eliminar problemas em potencial, de forma sistemática e completa.

Os principais objetivos do FMEA são: Levantar quais as partes do processo que são afetadas, os tipos de falhas que podem ocorrer, quais serão os efeitos e riscos da falha para o cliente, em que frequência a falha ocorre, como prevenir e detectá-la e qual a sua importância.

Gráfico de Controle:

Os gráficos de controles são utilizados para visualizar a variabilidade a que um processo está sujeito e entender o comportamento que ele apresenta.

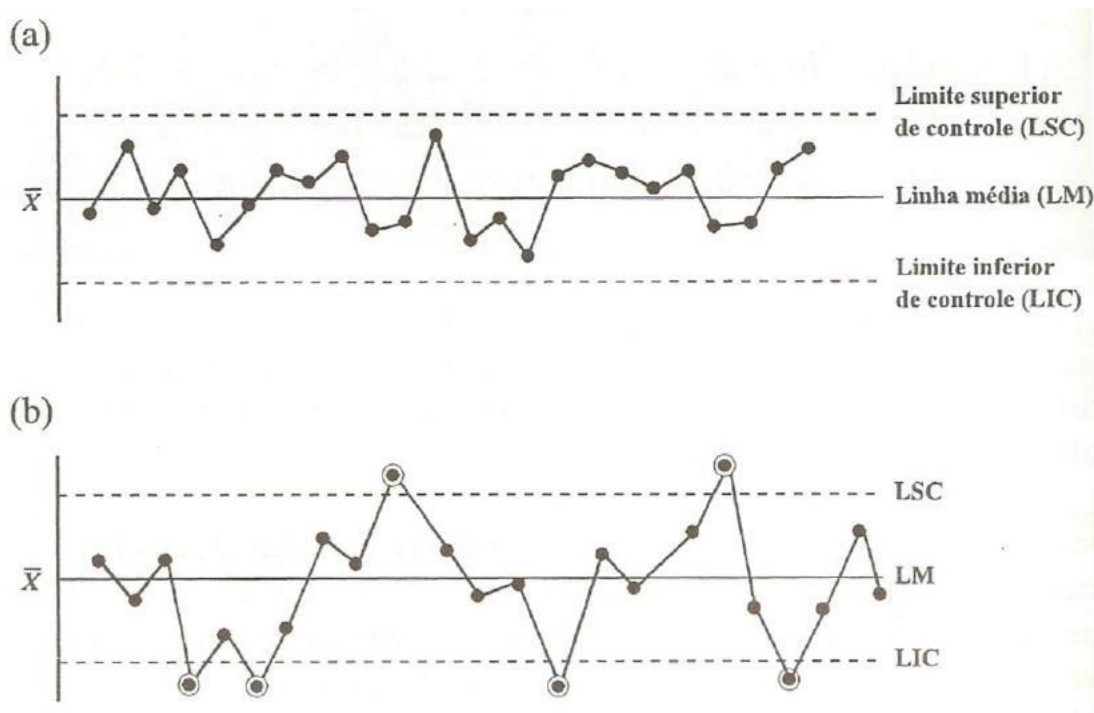
Segundo Montgomery, trata-se de uma representação gráfica da qualidade que foi mensurada a partir de uma amostra, relacionado com o tempo ou com o número de amostra.

Em termos gerais, o gráfico é utilizado na detecção de alterações inusitadas de uma ou mais características do produto, ou seja, alerta para a presença de causas especiais nas grandes linhas de produção.

De acordo com Montgomery, um gráfico de controle consiste em:

- Uma linha média (LM);
- Limite inferior de controle (LIC – abaixo da LM) e Limite superior de controle (LSC – acima da LM);
- Valores das variáveis a ser analisadas plotadas no gráfico.

Figura 24 – Exemplo de Gráfico de Controle. (a) Processo sob controle. (b) Processo fora de controle



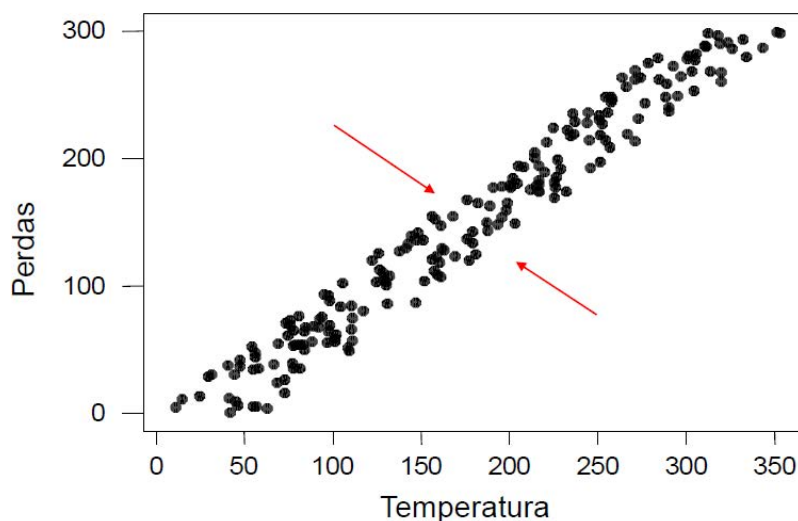
Fonte: Werkema (1995)

A área que compreende os valores do processo sob controle são delimitadas por linhas referentes aos limites superiores e inferiores de controle. Qualquer ponto fora dessa área indica que o processo está fora de controle, ou seja, demanda de estudos para verificar as causas presentes e ações corretivas a serem tomadas.

Diagrama de Dispersão:

É uma ferramenta gráfica que busca identificar a força e o sentido de possível relação entre uma variável de entrada e uma variável de resposta. Ou seja, busca testar possíveis relações de causa e efeito.

Figura 25 – Ilustração de Gráfico de Dispersão



Fonte: Treinamento Green Belt – Setembro/2013

2.4 LEAN SIX SIGMA

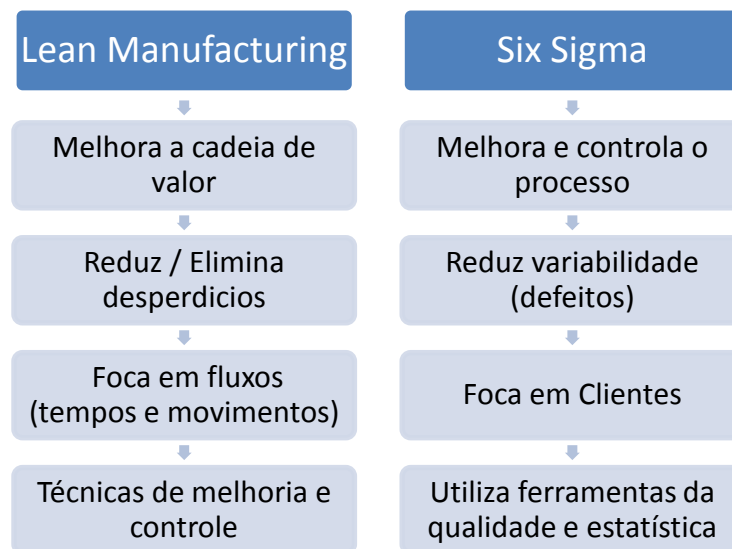
Quando analisamos os princípios do Six Sigma e da Manufatura Enxuta percebemos que as duas metodologias podem oferecer maiores benefícios se forem implementadas em conjunto.

De acordo com George (2004), a fusão de métodos de melhoria da Manufatura Enxuta com os de Seis Sigma é necessária por que:

- O Six Sigma por si só não melhora a velocidade de processo;
- A Manufatura Enxuta não consegue colocar um processo sob controle estatístico;

As principais características das duas metodologias são representadas na figura abaixo:

Figura 26 – Comparação de características entre Lean e Six Sigma



Fonte: Autor

Assim, o Six Sigma:

- Foca nas oportunidades e na eliminação dos defeitos estabelecidos pelos clientes;
- Trabalha na redução da variação, pois ela prejudica a capacidade da empresa de entregar produtos e serviços com qualidade (definida pelo cliente) e de forma confiável;
- Utiliza uma estrutura eficaz na resolução de problemas, utilizando ferramentas da qualidade já difundidas;

Enquanto o Lean:

- Enfatiza na melhoria da velocidade do processo;
- Utiliza ferramentas mais específicas para análises dos fluxos e tempos de atraso dos processos;
- Utiliza os conceitos de atividades que adicionam valor e atividades que não adicionam valor, procurando eliminar estas últimas.

Sendo assim, podemos dizer que enquanto o Lean reduz etapas que não adicionam valor, o Six Sigma busca melhorar a qualidade das etapas que adicionam valor.

2.5 ALUMÍNIO

Uma excepcional combinação de propriedades faz do alumínio um dos mais versáteis materiais utilizados na engenharia e em construção civil. É impressionante a análise de suas características: baixo peso específico - embora algumas de suas ligas possuam resistências superiores à do aço estrutural; alta resistência à corrosão sob a maioria das condições de trabalho e formação de sais incolores na superfície, sem manchar ou descolorir produtos com os quais está em contato, tais como: tecidos na indústria têxtil e soluções na indústria química; não produz reação tóxica; possui boa condutividade térmica e elétrica e alta refletividade, tanto para o calor, como para a luz; pode ser facilmente trabalhado em qualquer forma; e aceita uma grande variedade de acabamentos superficiais [1].

2.5.1 Processo de Laminação de Alumínio

Segundo Sartori, a laminação do alumínio é o processo de deformação plástica dos metais no qual o material passa entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos resultando na redução da secção transversal por compressão do metal. Essa secção transversal é retangular e refere-se a produtos planos de alumínio, ou seja, chapa ou folha.

A matéria prima para esse processo é um lingote retangular que pode ser produzido tanto de maneira contínua “Continuous Casting” como de maneira descontínua “Direct Chill Casting – DC Casting” e pode atingir espessuras na ordem de 600 mm, larguras de até 3000 mm e comprimentos de 5000 mm, tendo aproximadamente 15 toneladas.

Assim os processos podem ser divididos em refusão, onde são produzidos os lingotes de alumínio, laminação à quente e laminação à frio.

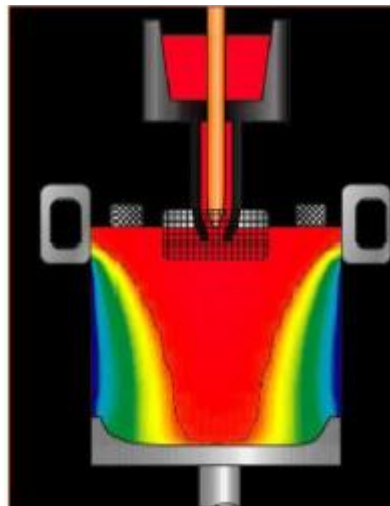
2.5.1.1 Refusão

A refusão consiste no processo de formação dos lingotes de alumínio.

Inicialmente, alumínio primário e retalhos de alumínio são fundidos nos fornos de fusão, onde são adicionados elementos de liga como cobre, magnésio, silício, zinco, manganês etc, elaborando-se o que se denomina liga. Esta é vazada em moldes pelo processo Direct Chill Casting, que consiste em um processo em que o material é transferido do forno para o molde, onde um pistão que apoia a base do lingote começa a abaixar e uma fina camada que já se solidificou é coberta por uma cortina de água que faz a troca de calor, formando assim os lingotes.

A Figura 27 exemplifica a formação de um lingote a partir da troca de calor em um processo de Direct Chill Casting.

Figura 27 – Ilustração da troca de calor que ocorre em um molde

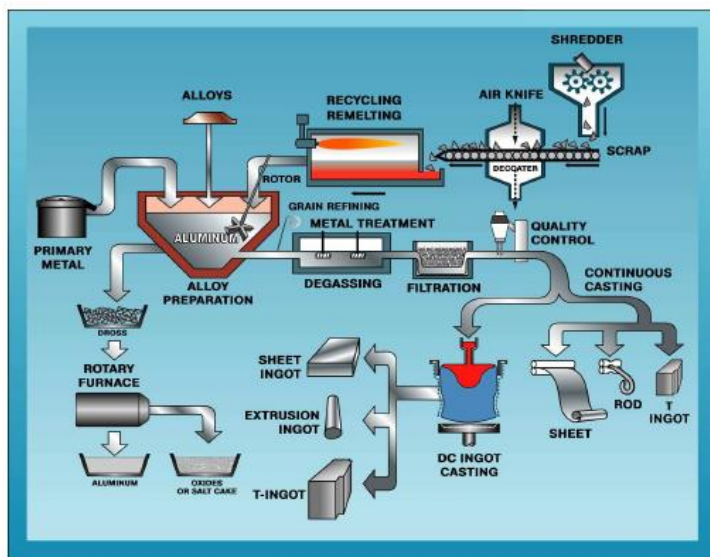


Fonte: Curso de Laminação à Quente (2012)

Esses lingotes são retangulares e podem atingir espessuras na ordem de 600 mm, larguras de até 3000 mm e comprimentos de 5000 mm, tendo aproximadamente 15 toneladas.

O processo completo de refusão pode ser visualizado na Figura 28.

Figura 28 – Ilustração de um processo completo de Refusão



Fonte: Curso de Laminação à Quente (2012)

2.5.1.2 Laminação à Quente

É a primeira etapa do processo de laminação de alumínio, sendo sua matéria prima o lingote retangular que foi produzido pelo processo de refusão.

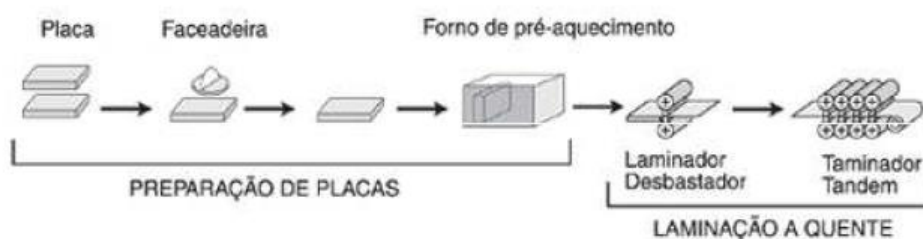
Essa etapa permite grandes reduções da secção transversal do material e ocorre em temperatura igual à de recristalização do Alumínio, que é por volta de 350°C.

Segundo a ABAL (1996), a laminação pode ocorrer em laminadores reversíveis duos (dois cilindros) ou quádruos (dois cilindros de trabalho e dois de apoio ou encosto). Nesse processo, o material é deslocado por entre cilindros até que atinja a espessura desejada. A redução de espessura por passe é de aproximadamente 50% porém depende da dureza do material que está sendo laminado. No último passe de laminação, quando o material apresenta-se com espessuras entre 5 e 10 mm, é bobinado e será utilizado como matéria-prima para o processo de laminação a frio.

Quando falamos em alta tecnologia, podemos ainda dividir a Laminação a quente em outros dois sub processos: laminador desbastador, que reduz a espessura de 600 mm para 30 mm e laminador de tiras a quente, que reduz a espessura de 30 mm para aproximadamente 2 mm,

Ainda de acordo com a ABAL (1996), uma unidade de laminação a quente consiste não só do laminador, mas também, de uma preparação de placas que contém uma faceadeira para usinagem da superfície que será laminada, com objetivo de eliminar segregações oriundas do processo de refusão, como óxidos e a camada de grãos colunares; alguns fornos para pré-aquecimento dos lingotes - que podem ser contínuos ou estacionários - e que têm a função de homogeneizar o material (distribuição mais homogênea de elementos/microconstituintes químicos metalúrgicos); tesouras guilhotinas para cortes laterais e longitudinais do material laminado; e serras para cortes das extremidades do lingote.

Figura 29 – Esquemático de um laminador à quente



Fonte: Adaptada de http://www.abal.org.br/aluminio/processos_laminacao.asp

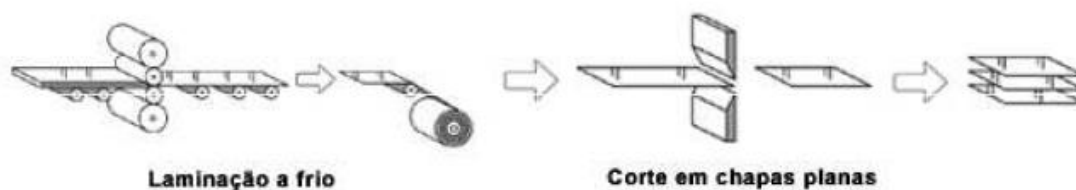
2.5.1.3 Laminação à Frio

Segundo Sartori, a laminação à frio consiste em um processo de deformação plástica que ocorre em temperaturas inferiores a de recristalização do alumínio. A matéria prima utilizada é aquela oriunda da laminação a quente, ou seja, bobinas com espessuras que podem variar de 2 a 5 mm.

Ainda de acordo com Sartori, a laminação a frio é executada, geralmente, em laminadores quádruplos, reversíveis ou não, sendo o último o mais empregado. O número de passes depende da espessura inicial da matéria-prima, da espessura final, da liga e da têmpera do produto desejado. Esses equipamentos são dimensionados para reduções de secções de 30 a 70% por passe. Isso depende das características do material em questão.

A espessura final do processo de laminação a frio pode chegar a até 0,005 mm, sendo esse valor característica das folhas de alumínio.

Figura 30 – Esquemático de um laminador a frio



Fonte: Adaptado de http://www.abal.org.br/aluminio/processos_laminacao.asp

2.5.2 Ligas de Alumínio

Se acordo com a ABAL (1996), o principal objetivo das ligas de alumínio é aumentar a resistência mecânica, sem detrimento das outras propriedades, de forma que novas ligas têm sido desenvolvidas, cada uma com combinação apropriada de propriedades adequadas a uma aplicação específica.

Um dos aspectos que tornam as ligas de alumínio tão atraentes como materiais de construção mecânica é o fato de o alumínio poder combinar-se com a maioria dos metais de engenharia, chamados de elementos de liga.

O grande alcance das ligas oferece à indústria uma grande variedade de combinações de resistência mecânica, resistência à corrosão e ao ataque de substâncias químicas, condutibilidade elétrica, usinabilidade, ductibilidade, formabilidade, entre outros benefícios.

A função de cada elemento da liga se altera de acordo com a quantidade dos elementos presentes na liga e com a sua interação com outros elementos.

Principais grupos de ligas trabalháveis:

a) Ligas da série 3XXX:

É uma das ligas mais utilizadas. Sua conformabilidade e a resistência à corrosão são similares às do alumínio comercialmente puro (ligas da série 1XXX), com propriedades mecânicas um pouco maiores, particularmente quando deformadas a frio.

b) Ligas da série 5XXX:

São as mais resistentes e estão disponíveis em vários formatos, como lâminas, chapas, perfis, tubos, arames, etc. Elas também possuem elevada resistência à corrosão e são facilmente produzidas e soldadas.

c) Ligas tratadas termicamente de média resistência:

Contêm magnésio e silício (ligas da série 6XXX) e possuem elevada resistência à corrosão, mas perdem um pouco da sua capacidade de serem trabalhadas (o que, em seções estruturais retas, muito difundidas em aplicações estruturais, é irrelevante).

d) Ligas tratadas termicamente de elevada resistência:

Têm no cobre (série 2XXX) ou zinco (série 7XXX) como os principais elementos de liga. São tão resistentes quanto ao aço estrutural, mas necessitam de proteção superficial. Estas ligas são utilizadas quando o fator resistência/peso for o principal, como na aviação.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ESTUDO DE CASO

O presente trabalho se desenvolveu em uma empresa líder em laminados de alumínio, mas especificamente na planta de fabricação de chapas e bobinas de alumínio.

Esse estudo baseia-se em um grande projeto de aumento de eficiência global dentro da empresa, e optou-se por realizar um estudo mais aprofundado do início do processo por ser justamente a etapa onde se iniciam os problemas com qualidade e eficiência.

Assim, esse estudo buscou aumentar a eficiência e outputs de cada subprocesso.

3.2 MÉTODO

Visando atingir os objetivos definidos previamente pelo projeto, foi necessário escolher as métricas do Lean Six Sigma afim de que com suas ferramentas fosse possível chegar aos resultados esperados.

Para isso, o projeto utilizou a metodologia DMAIC como sistemática para analisar as principais causas dos problemas levantados e propor possíveis ações de melhoria.

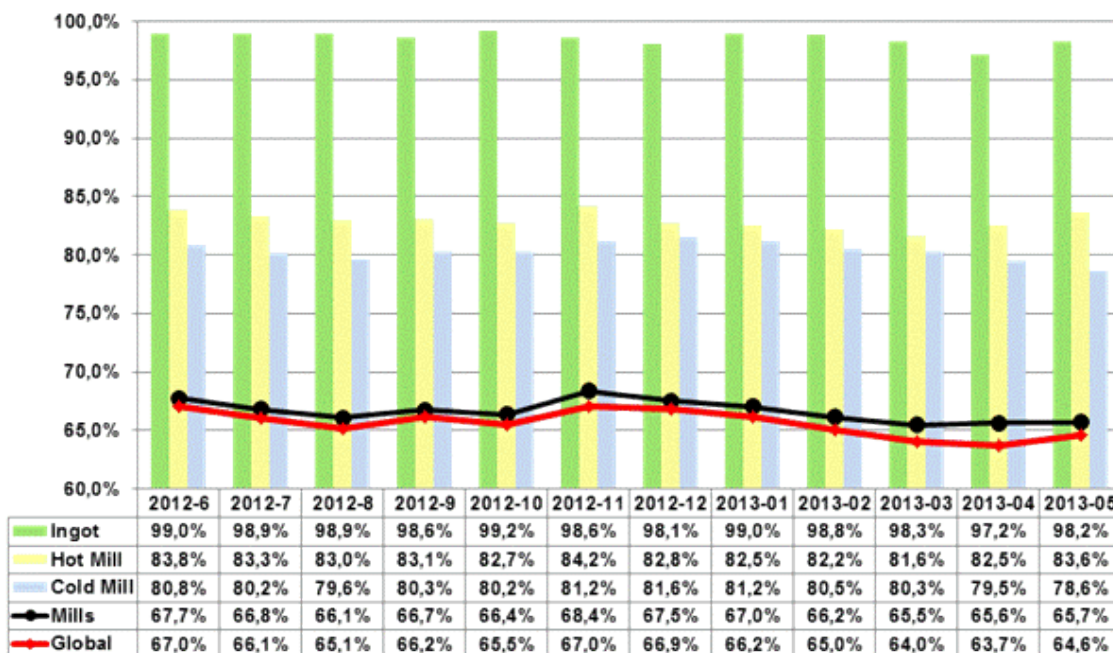
3.1.1 Definição do Projeto

A primeira etapa do estudo foi a definição do projeto, onde foram levantadas as insatisfações da empresa perante seus valores constantes de eficiência dos processos.

Analisando a eficiência entre junho de 2012 e maio de 2013 de todas as áreas da unidade fabril, verificou-se que a tendência da eficiência estava praticamente estável e em um nível abaixo do esperado, o que impulsionou a ideia de que alguma coisa diferente deveria ser feita a fim de aumentá-la.

A tendência da eficiência nos últimos meses pode ser visualizada no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparação entre as eficiências das áreas



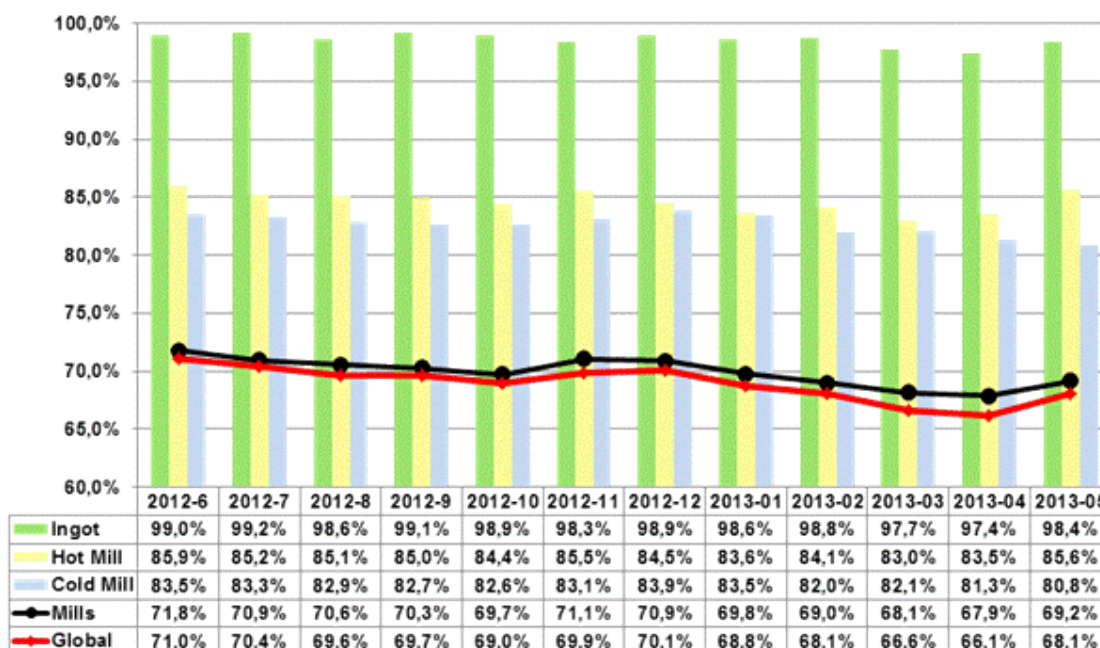
Fonte: Autor

Sendo Ingot relacionado à Refusão, Hot Mill à Laminação a Quente, Cold Mill à Laminação a Frio, Mill à fábrica como um todo e Global quando comparado com as outras unidades.

Buscando direcionar o estudo e levando em consideração que 80 % da produção da empresa é de CBS, ou seja, material laminado que será utilizado para produção do corpo de latinhas de alumínio, fez-se o estudo baseado nas ligas 3104 e 3104X que são as principais ligas utilizadas para fabricação desse material.

O Gráfico 2 está relacionado à eficiência de CBS nos processos da empresa.

Gráfico 2 – Comparação entre as eficiências das áreas em relação à CBS



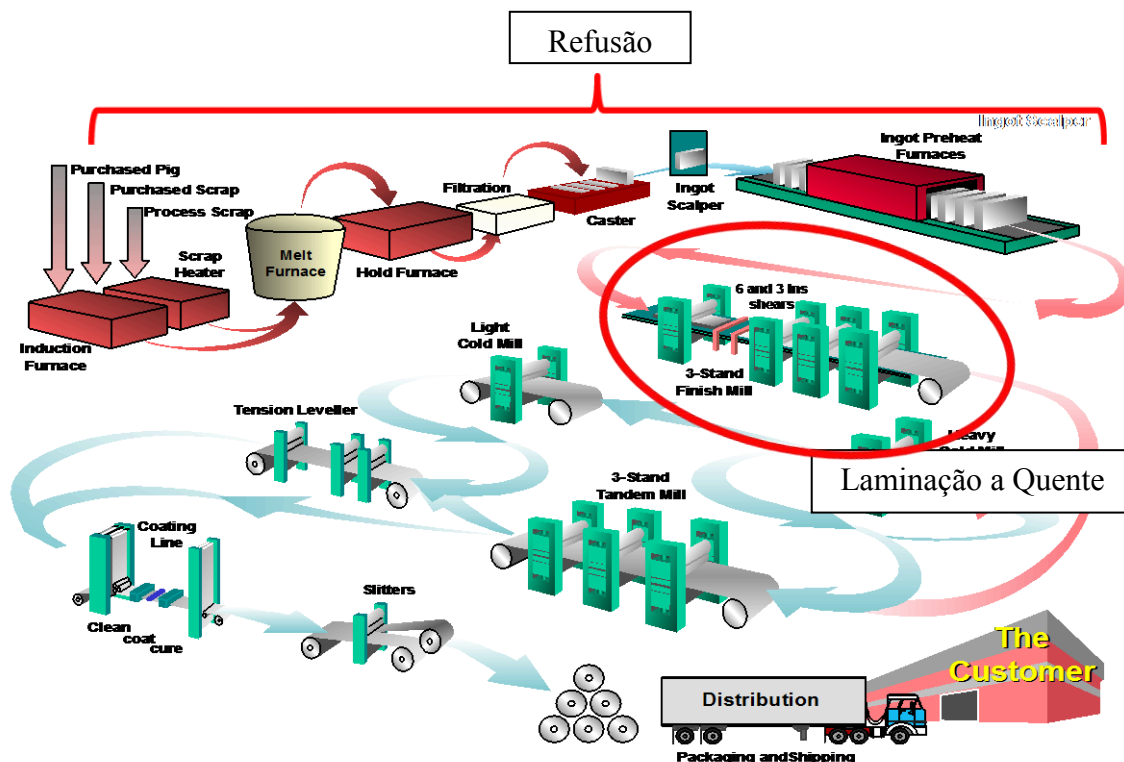
Fonte: Autor

Ainda nessa fase, foram estabelecidos quais seriam os processos críticos a serem analisados de maneira que o estudo pudesse contribuir de uma forma geral para todos os processos da empresa. Assim, ficou estabelecido que o foco do estudo seria a interface entre o processo de Refusão, início da cadeia produtiva, e o processo de Laminação à Quente, seu cliente imediato, visando identificar a influência que um processo exerce na eficiência do processo seguinte que por sua vez interfere na eficiência global da empresa, e além disso, visando fortalecer a ideia de cliente-fornecedor entre elas.

Como a refusão consiste na etapa de formação da matéria prima do processo da laminação, é a partir dela que surgem os primeiros problemas de eficiência.

O produto desse processo pode seguir apenas dois caminhos, ou está em condições ruins, não podendo ser utilizado e sendo inteiramente sucata, ou passa para a próxima etapa da cadeia produtiva. Assim, se o material não é sucata, a eficiência da refusão permanece sempre alta, porém alguns problemas com as placas são identificados nas fases seguintes e geram diminuição da eficiência da laminação. Portanto, o aumento de qualidade das placas é essencial para que elas não enviem para a próxima etapa problemas que acarretem em perdas de material, resultantes de retrabalhos ou desperdícios.

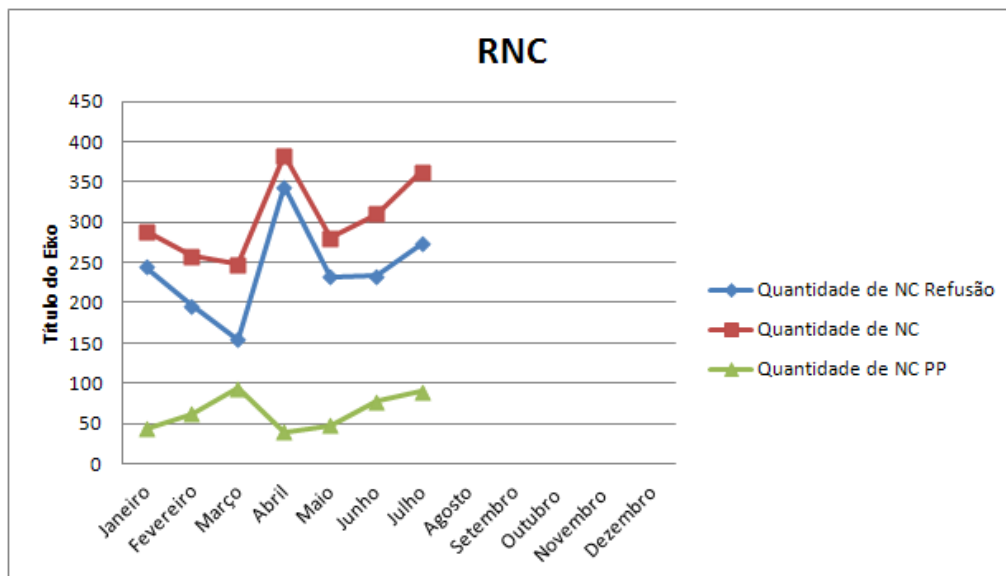
Figura 31 – Ilustração de um fluxo de processo de laminação de alumínio



Fonte: Curso de Laminação à Quente (2012)

Para comprovar o quanto a refusão interfere no início do processo da laminação a quente, foi necessário levantar dados referentes às não conformidades que foram detectadas na faceadeira, que é o primeiro subprocesso da laminação, gerados pela refusão.

Gráfico 3 – Relação entre não conformidades e áreas



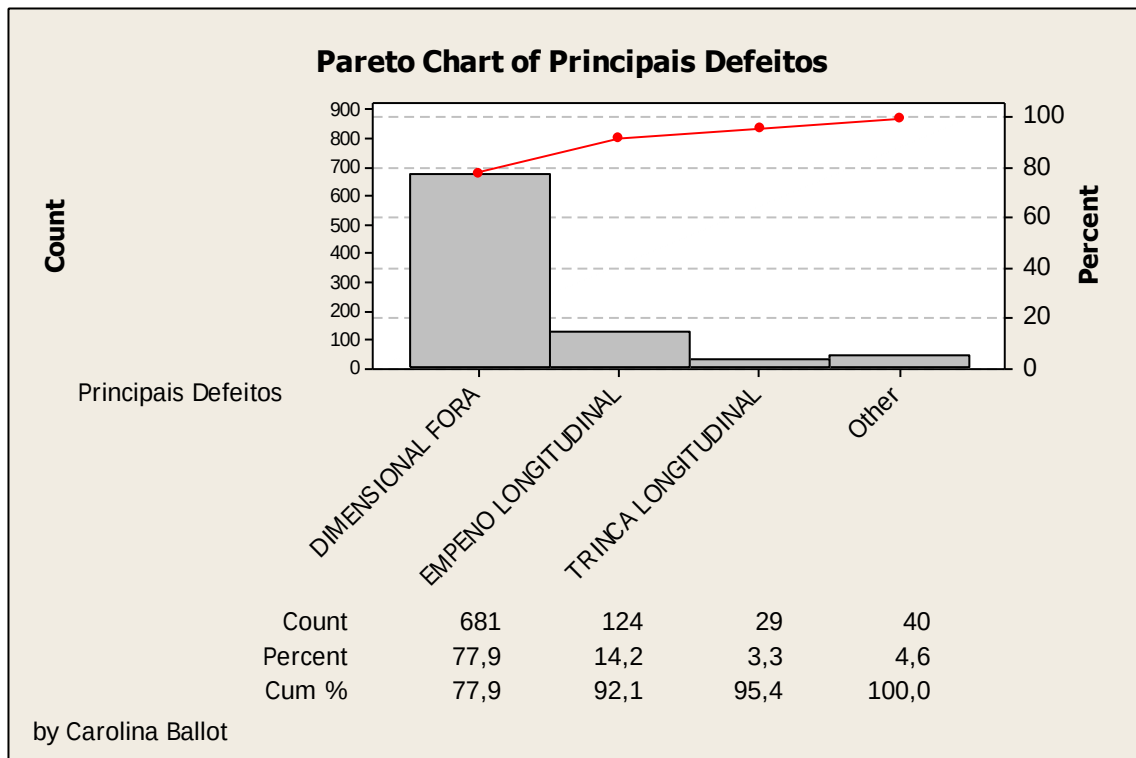
Fonte: Autor

Observando o Gráfico 3, ficou evidente que a quantidade de não conformidades detectadas na faceadeira são quase que exclusivamente devido à problemas deixados pelo processo de formação das placas.

Como já mencionado no item 2.5.1.2, antes do processo de laminação, as placas passam por uma etapa de faceamento, onde são usinados alguns milímetros da superfície da placa a fim de retirar as imperfeições vindas do processo de refusão, como camada de óxido, impurezas metalúrgicas ou pequenas fissuras que podem impactar na operação subsequente ou até mesmo na qualidade do produto final. Porém, muitas vezes por problemas de qualidade das placas, é necessário um refaceamento, ou seja, um retrabalho, para que as placas possam seguir em boas condições para a laminação.

Sabendo disso, foi utilizada a ferramenta de Pareto que visava identificar quais eram os 80% dos defeitos mais frequentes que exigiam o refaceamento.

Gráfico 4 – Pareto: Defeitos na Faceadeira

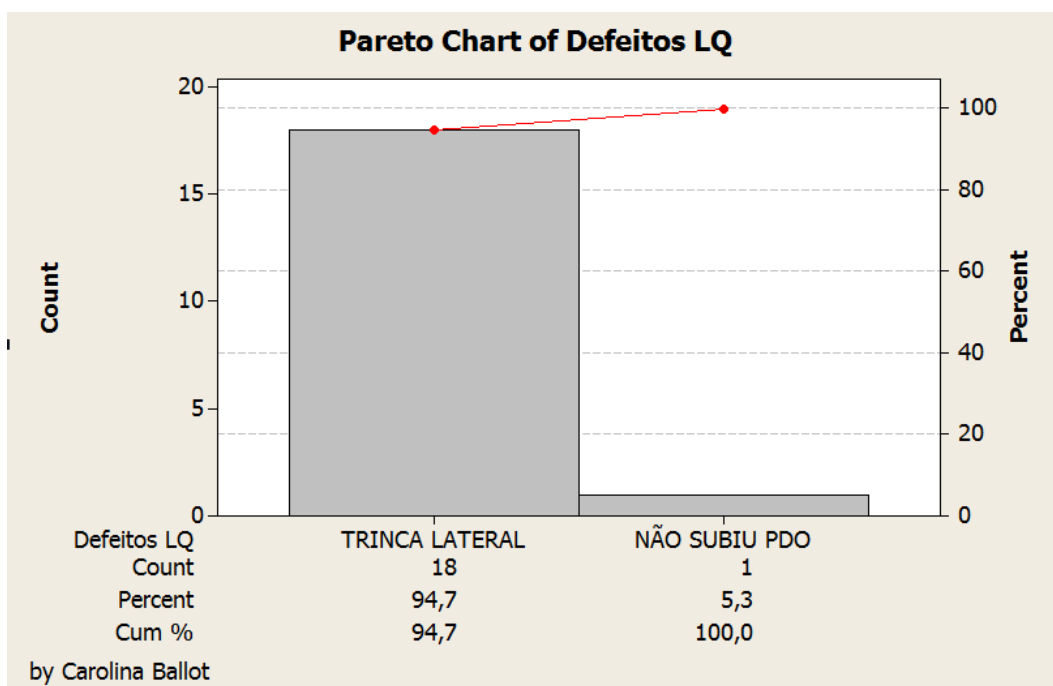


Fonte: Autor

Com o Pareto em mãos, foi identificado que os principais problemas eram em relação à Dimensional Fora e Empeno, problemas esses que de tão frequentes, já haviam causado uma mudança na quantidade de material a ser faceado. De 7mm na camada de cima e 9 mm na camada de baixo, para 10 mm de cada lado a fim de evitar problemas no processos seguintes, porém, essa prática causava um perda, muitas vezes desnecessária de material.

Visando ainda identificar a extensão que os problemas gerados na refusão causam no processo de laminação, fez-se um pareto, apresentado no Gráfico 5, onde foi identificado que o principal problema era quase que exclusivamente devido à trinca lateral na placa.

Gráfico 5 – Pareto: Defeitos na Laminação à Quente



Fonte: Autor

Ainda durante a fase de definição, foi estabelecido que para atender aos objetivos do projeto, o aumento de output dos processos deveria estar em evidência. Esse aumento se relaciona a entregar o máximo possível do que foi especificado pelo cliente, fator esse que pode ser calculado através do PIW.

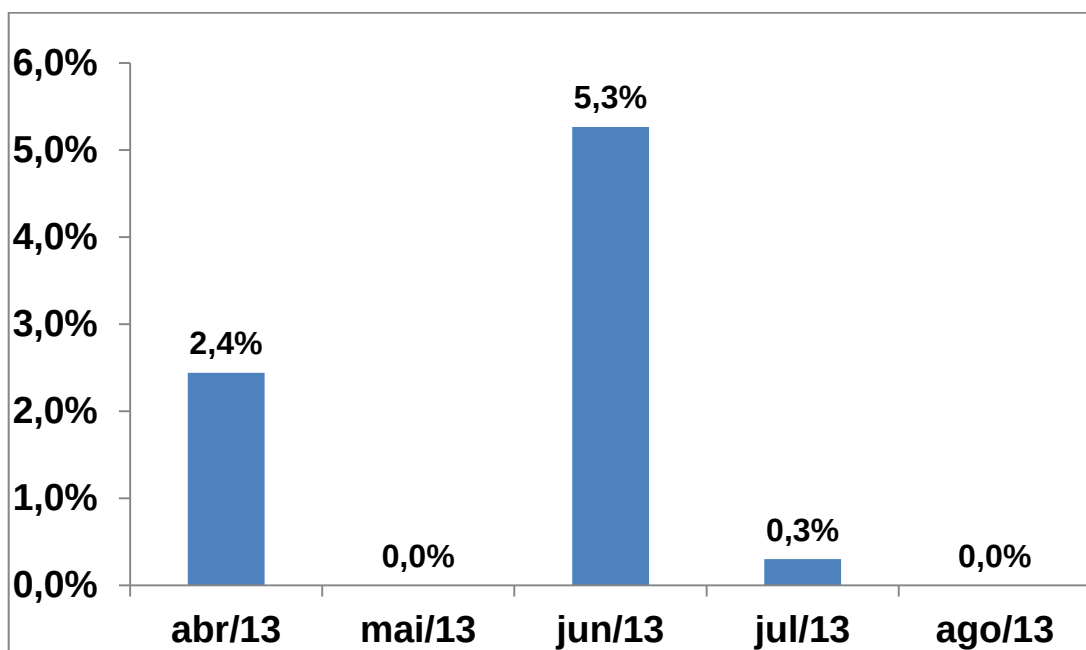
O conceito do PIW é utilizado pela empresa para calcular a quantidade de material que é produzida por cada processo. Esse cálculo relaciona o peso, a largura e uma constante relacionada ao material específico, que no caso é 56 por ser o Alumínio. Como nos processos é utilizado sempre o mesmo material e a largura é uma constante desde a formação das placas, o PIW relaciona-se exclusivamente com o peso do material, que varia de acordo com os processos e suas perdas.

$$PIW = \frac{P}{L} \times 56 \quad (2)$$

Quando analisamos os valores de PIW entregues para os clientes nos últimos meses, concluímos que os valores estavam muito abaixo do esperado, tendo dois deles representando

nenhuma entrega com o máximo da especificação. O Gráfico 5 mostra a quantidade de materiais CBS entregues aos clientes no máximo da especificação entre abril e agosto de 2013.

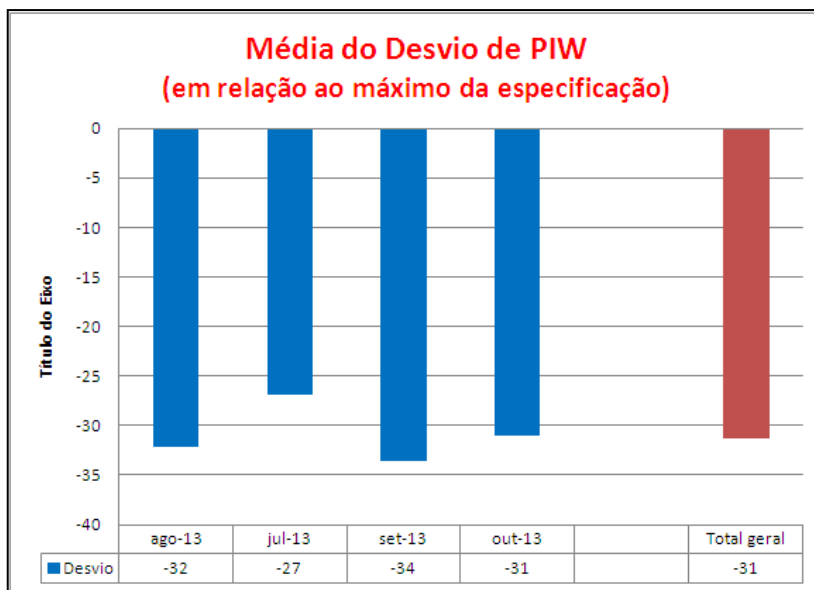
Gráfico 6 – Quantidade de CBS entregue ao cliente no máximo da especificação



Fonte: Autor

Quando focamos nos valores de PIW da Laminação a Quente, tem-se que o desvio em relação ao especificado está muito grande, de acordo com o que mostra o Gráfico 7.

Gráfico 7 – Desvio dos valores de PIW na Laminação à Quente



Fonte: Autor

Com a definição do projeto estabelecida e visando identificar quais eram os subprocessos críticos da refusão que geravam os defeitos na laminação à quente, e os pontos de perda de metal que acabam diminuindo os outputs dos processos, foi necessário fazer um mapeamento das etapas de fabricação e entender inicialmente como funcionava o processo produtivo atual.

3.1.2 Processo Produtivo Atual

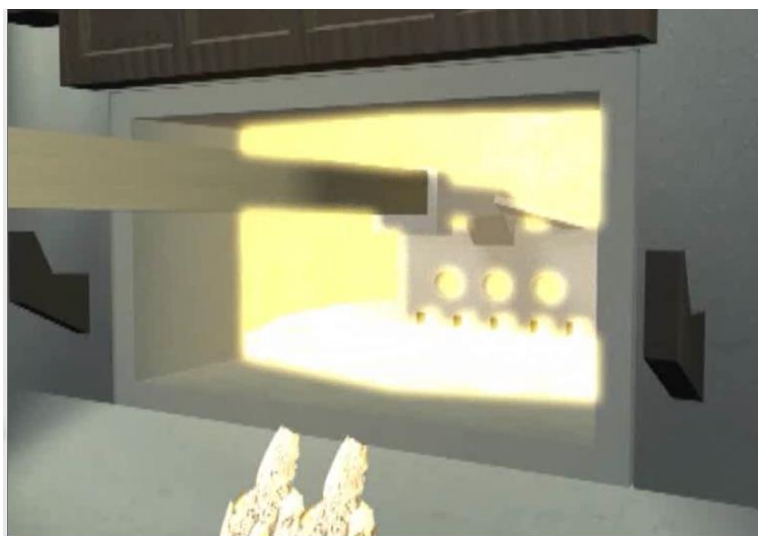
O processo produtivo atual consiste na produção de lingotes de alumínio que serão laminados visando formar chapas ou bobinas de alumínio. A produção desses lingotes é de alta tecnologia e envolve muitos sub processos que se complementam para formar o processo como um todo.

Inicialmente, os retalhos de alumínio e alumínios primários são puxados do pátio de matéria prima e comparados com uma carga padrão, nele os materiais leves e pesados são controlados em sua quantidade conforme procedimento a ser seguido.

Do pátio de matéria prima, o material vai para as caçambas que carregam o primeiro forno do processo, o Melter.

No Melter, o material é fundido sendo logo em seguida o forno esquimado. Essa etapa consiste em retirar com o auxílio de um esquimador a escória resultante da fundição, como óxido de alumínio e sujeiras.

Figura 32 – Ilustração de um forno sendo esquimado



Fonte: Treinamento virtual – processo total de fabricação

Em seguida, o material fundido é agitado para conferir se a fusão foi eficiente em todo o material, pois se ainda existirem partes sólidas o forno deve ser novamente fechado para que ocorra a fusão completa.

Assim que o material estiver totalmente fundido, retira-se uma amostra para verificação de sua composição química. Caso a composição química não esteja de acordo com as propriedades que o material deverá apresentar, são adicionadas anteligas que contrabalançarão os elementos, levando a composição química a atingir sua % nominal. As anteligas são elementos que quando adicionados ao alumínio, geram propriedades melhores no material.

Vale ressaltar, que a temperatura do banho deve estar ideal para que a anteliga se dissolva e, quando combinada com a agitação adequada do material, ocorra a reação ideal.

Do forno melter, o material passa para o forno holder, através de calhas com manta térmica que servem como vedação.

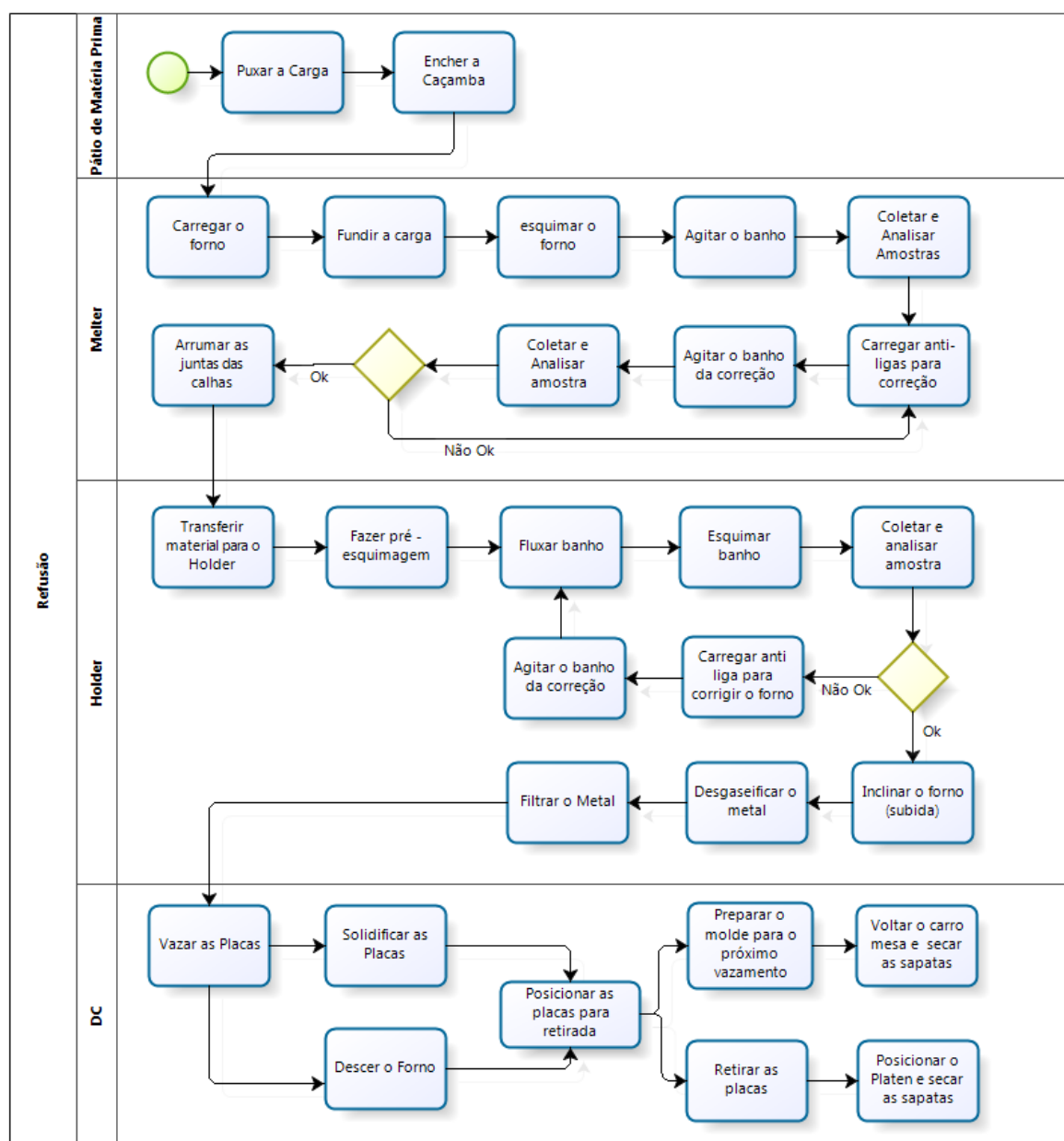
No holder, é injetado sal para haver reações e fazer com que os óxidos desçam ao fundo do forno. Nessa etapa, ocorre um pré-check, que consiste em conferir se todas as variáveis do processo estão dentro do estabelecido.

Ao sair do holder, o material passa novamente por calhas até chegar ao desgaseificador, que injeta cloro e argônio a fim de retirar a sujeira e os gases do material.

Do desgaseificador o material passa, também através de calhas, para um filtro que contém alumina de várias granulometrias que retiram a sujeira do metal.

Do filtro, o material é vazado em grandes moldes, formando placas de aproximadamente 30 x 600 x 5000 mm. O processo como um todo pode ser melhor visualizado na Figura 33.

Figura 33 – Fluxograma completo do processo de Refusão



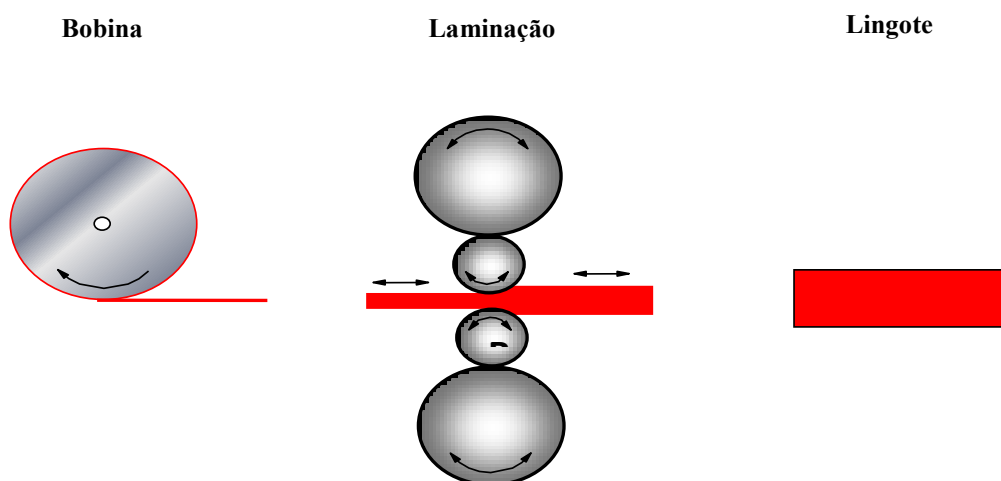
Fonte: Autor

Ao serem formadas, as placas são encaminhadas para o pátio de preparação de placas, até que sua temperatura diminua e esteja ideal para ser faceada.

Após o faceamento, as placas são levadas para os fornos de aquecimento e homogeneização. Esses fornos, chamados de Pit ou Pusher e se diferenciam apenas na posição e quantidade de placas que comportam.

Quando a placa já está homogeneizada e com temperatura ideal para ser laminada, é encaminhada para o primeiro laminador, o Break Down. Nele o material é laminado através de passes que são calculados a partir da liga do material.

Figura 34 – Ilustração do processo em um laminador desbastador



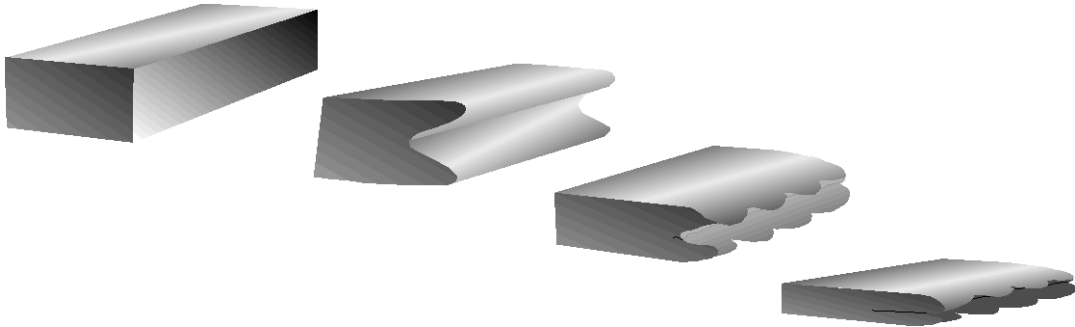
Fonte: Curso de Laminação à Quente (2012)

Durante os passos no Break Down, ambas as extremidades do lingote podem abrir ao longo do plano horizontal central no lado de saída de metal do laminador, com as superfícies superior e inferior acompanhando a rotação dos cilindros. Esse fenômeno é conhecido como “boca de jacaré”

A causa mais comum que provoca esse fenômeno é a sobrelaminação das extremidades do lingote, sendo que esse efeito pode ser acentuado devido a vazios originados durante o processo de solidificação das placas.

Durante a laminação de placas de alumínio nos laminadores reversíveis usando esquemas de passes padrão, as áreas sobrelaminadas aumentam na cabeça e pé da lamina conforme os números de passes aumentam devido à deformação heterogênea nas placas com elevada espessura.

Figura 35 – Ilustração da formação da “Boca de Jacaré”



Fonte: Curso de Laminação à Quente (2012)

Figura 36 – Exemplo real de “Boca de Jacaré”

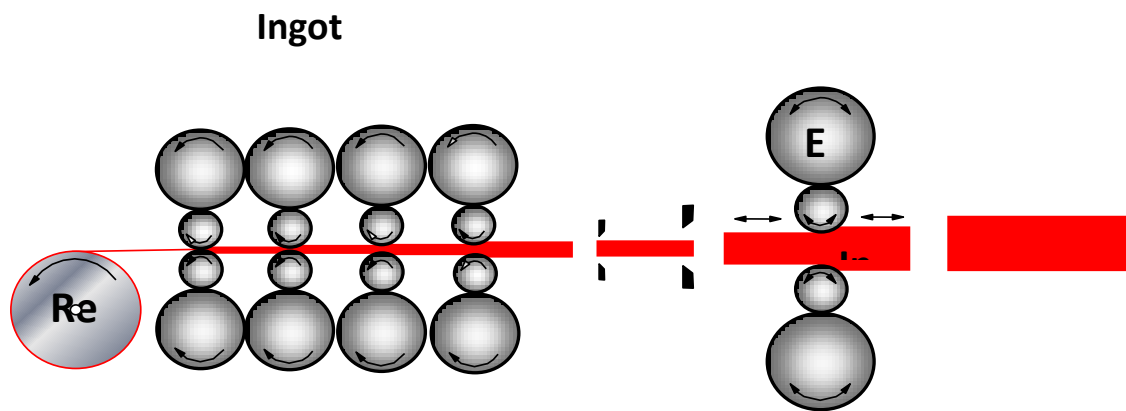


Fonte: Curso de Laminação à Quente (2012)

Após esse processo, uma tesoura corta essa boca formada, o que resulta em perda de material para a área da laminação à quente.

Em seguida, o material passa para o segundo laminador a quente, o Tandem, que reduz ainda mais a espessura do material e de onde sai uma bobina que será encaminhada para o próximo processo.

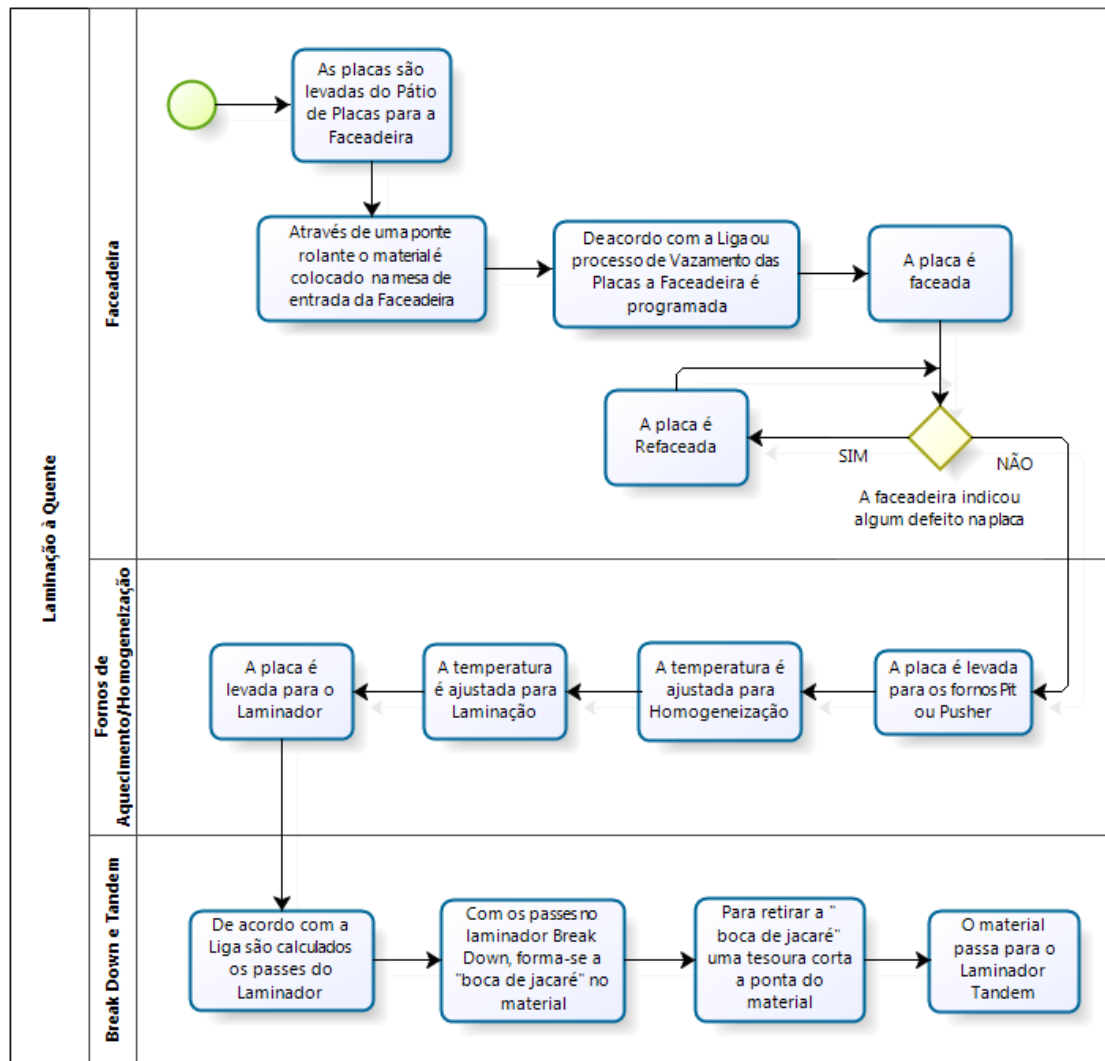
Figura 37 - Ilustração do processo de um laminador redutor



Fonte: Curso de Laminação à Quente (2012)

A Figura 38 exemplifica o fluxo do processo de laminação à quente.

Figura 38 – Fluxograma completo do processo de Laminação à Quente



Fonte: Autor

3.1.3 Identificação dos principais pontos de perda e geração de defeitos

3.2.3.1 Fornos Melter e Holder

É no processo do Melter que se define a quantidade de material que será passado para o Holder e em sequencia formará as placas. Por exemplo, se a quantidade não for bem calculada, pode-se formar placas com tamanho inferior, o que influencia no peso que por sua vez influencia na eficiência da laminação à quente.

Além disso, se nessas etapas não forem formadas as composições químicas corretas, o material poderá apresentar defeitos nos processos seguintes.

Caso as agitações exigidas nessas etapas não sejam feitas da maneira correta, podem ocorrer problemas de propriedades mecânicas que só serão detectados na próxima etapa do processo. Além disso, sem a agitação ideal, a anteliga pode se depositar no fundo do forno e só se dissolver na próxima fusão, o que pode acarretar em contaminação, pois cada material tem sua composição química específica.

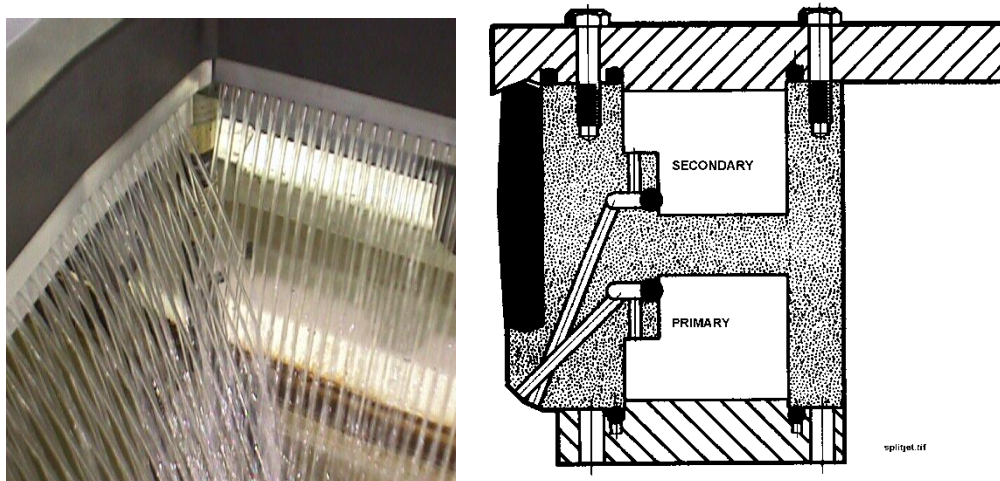
Por isso, os processos de fluxação, esquimagem e carregamento das ante-ligas são fundamentais.

3.2.3.2 Vazamento das placas

Quando analisados os principais defeitos encontrados no Pareto (Dimensional Fora e Empeno), ficou evidente que essa é a etapa mais impactante na Laminação à Quente e em seus subprocessos, tornando necessário um estudo mais aprofundado das variáveis que a compõe e que interferem na qualidade das placas.

A fabricação de placas ocorre pelo método de Direct Chill Casting que requer a combinação dos recursos físicos, como mesa, platen e sapatas aplicados às leis que regem os fenômenos para a solidificação do alumínio líquido. Nesse caso, o tipo de molde analisado foi o LHC, que pode ser visualizado na Figura 39.

Figura 39 – Molde LHC

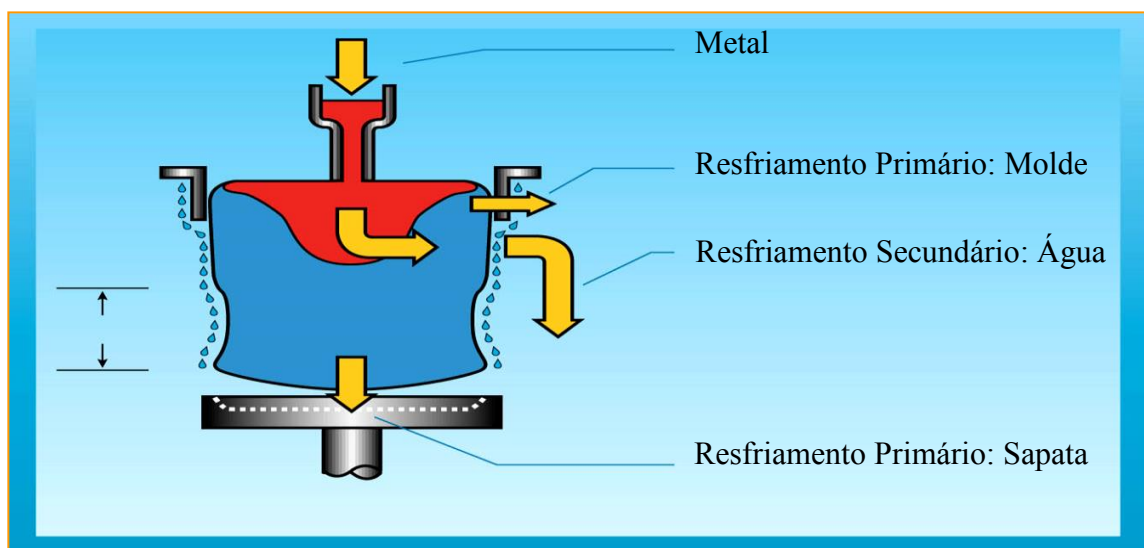


Fonte: Processos Refusão (2006)

Esse molde contém duas saídas, contribuindo para que haja duas etapas no vazamento: a partida e o regime. Visando o controle do processo, o fato de existirem duas saídas é muito favorável.

Em relação aos conceitos da fabricação da placa e sua formação, são relacionados duas fases de resfriamento conhecidas como primária e secundária, onde o resfriamento primário é aquele em que o metal troca calor com o molde e a sapata enquanto o resfriamento secundário é o momento da troca de calor diretamente com a água, como mostra Figura 40.

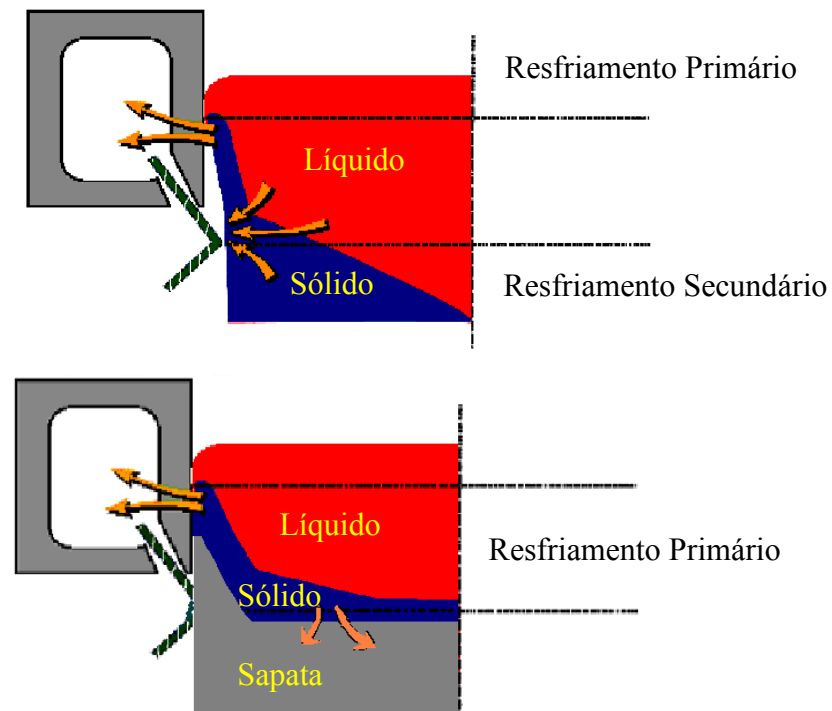
Figura 40 – Ilustração das fases de resfriamento



Fonte: Processos Refusão (2006)

A Figura 41 ilustra a placa já sendo formada e os principais pontos de troca de calor.

Figura 41 – Ilustração de resfriamento primário e secundário



Fonte: Processos Refusão (2006)

O resultado final do vazamento deve ser uma placa onde as extremidades tem as características como na Figura 42.

Figura 42 – Imagem demonstrando aspecto ideal das extremidades de uma placa



Fonte: Curso de Laminação à Quente (2012)

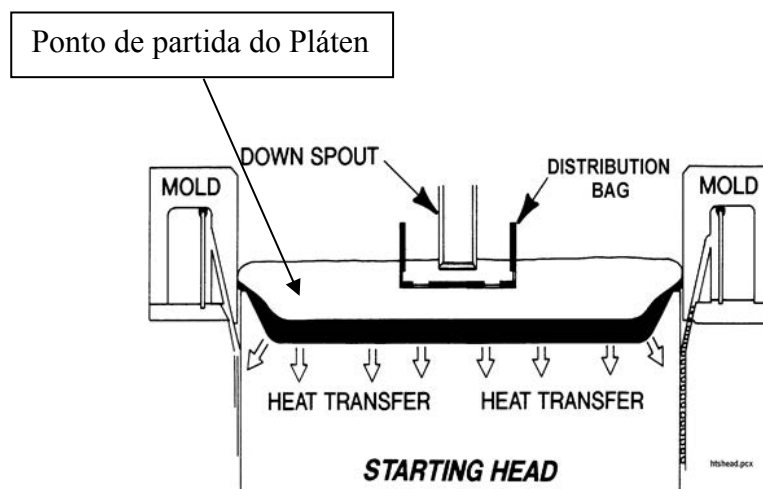
Foi necessário ainda, analisar os principais parâmetros que devem ser controlados durante um vazamento e que tem grande influência na qualidade das placas.

Os parâmetros detectados como os de mais influência foram: tempo enchimento de metal na sapata, nível de metal no molde, vazão de água, velocidade e temperatura de metal que quando combinadas entre si formam as principais características das placas.

a) Tempo de enchimento:

É o tempo e velocidade que o metal leva para encher a sapata em certa altura no molde até que o plâten parte iniciando o vazamento propriamente dito. O enchimento depende do tipo de liga, da sapata, do molde e da altura de partida.

Figura 43 – Ilustração de Molde e Sapata



Fonte: Processos Refusão (2006)

Quando o enchimento é muito rápido, a camada de metal que está se solidificando fica muito fina e pode se refundir gerando uma maior propensão à trincas e sangrias entre o molde e a sapata.

Figura 44 – Exemplo de sangria



Fonte: Processos Refusão (2006)

Enchimento mais lento: A camada do metal solidificado é maior o que pode gerar junta fria e curvatura da placa. Essas sangrias são umas das principais causas dos empenos que surgem na faceadeira.

Figura 45 – Exemplo de Empeno

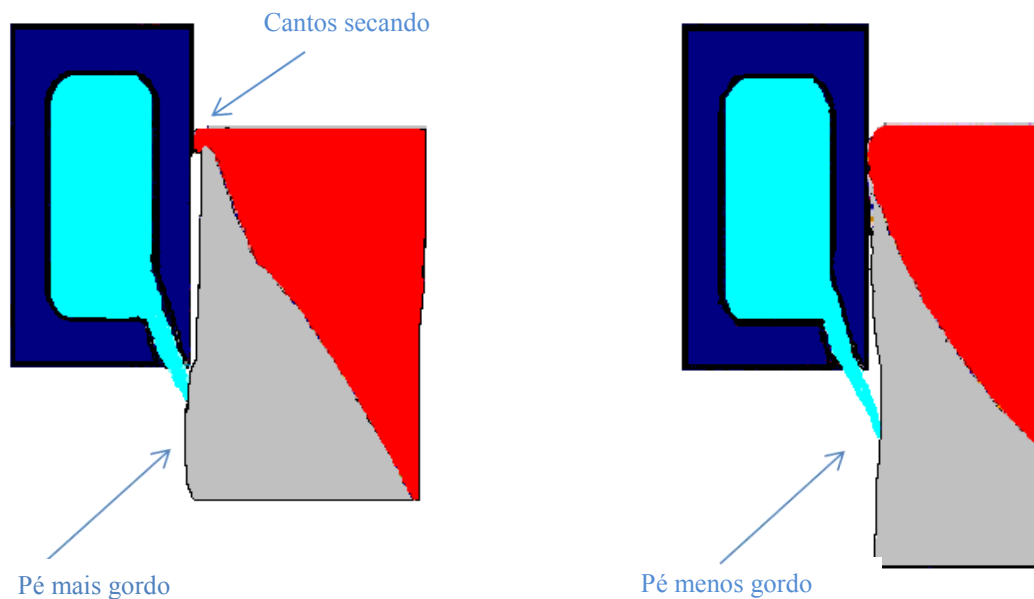


Fonte: Processos Refusão (2006)

O sistema de controle de nível de metal permite que o enchimento ocorra em duas etapas com velocidades diferentes, dando maior possibilidade de se adaptar às situações requeridas.

A Figura 46 mostra as diferenças na formação da placa devido à velocidade lenta e rápida de vazamento.

Figura 46 – Ilustração da influência da velocidade na formação do pé de uma placa



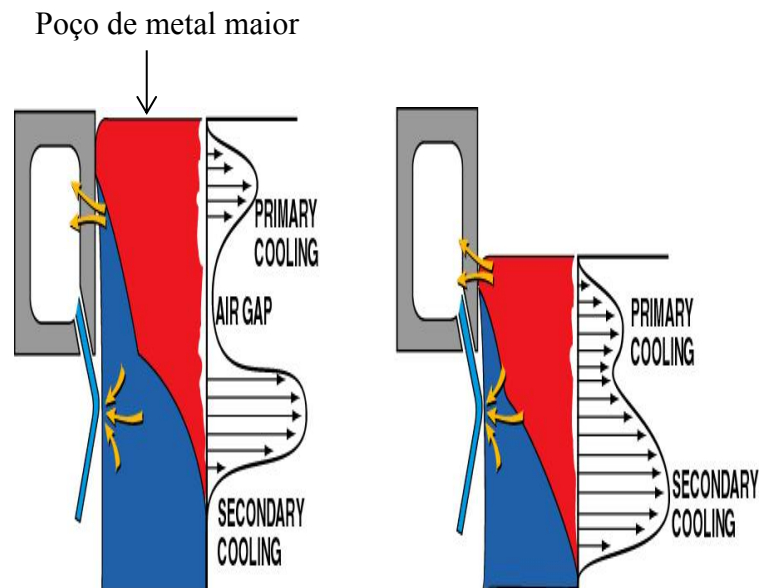
Fonte: Processos Refusão (2006)

b) Nível de metal

Após a fase do enchimento o metal alcança o ponto de partida, e começa o início da rampa de nível de metal no molde. O controle do nível de metal no molde é essencial para prevenir principalmente sangrias e juntas frias.

A Figura 47 mostra o esquema de resfriamento sendo que do lado esquerdo é a representação de nível de metal alto no molde e à direita nível de metal baixo no molde.

Figura 47 – Ilustração do resfriamento de acordo com o nível de metal



Fonte: Processos Refusão (2006)

A Figura 48 exemplifica uma sangria no pé da placa causada por um nível alto de metal durante o vazamento.

Figura 48 – Exemplo de sangria no pé da placa



Fonte: Processos Refusão (2006)

Já a Figura 49 exemplifica uma sangria nos cantos devido ao nível de metal baixo durante o vazamento.

Figura 49 – Exemplo de sangria nos cantos da placa



Fonte: Processos Refusão (2006)

c) Vazão de Água

A vazão de água tem duas fases durante o vazamento: água de partida e água de regime

Quando a água de partida está em pouca quantidade, os defeitos que podem surgir são: pé de placa mais quente, film boiling maior, curvatura do pé de placa menor, espessura da camada solidificada menor e mais fraca, menos junta fria;

Quando a água de partida está com em muita quantidade, podem ocorrer: pé de placa mais frio, film boiling menor, curvatura do pé maior, mais junta fria e tendência maior para sangria (bleendover).

Na partida, a vazão tem que ser menor que o regime para permitir um pé mais quente evitando curvatura excessiva. Se no início de vazamento já começar com uma vazão de regime, o primeiro metal da sapata que recebe o impacto da vazão alta irá ter uma solidificação forte contraindo muito rápido, causando defeitos e até abortos.

Uma vazão menor, diminuindo o impacto de solidificação, faz surgir o film boiling, que é um forte vapor que não permite a água tocar na superfície da placa, que pode ser vista como uma mancha diminuindo à medida em que a vazão da água vai aumentando até desaparecer.

Figura 50 – Exemplo de falta de água durante um vazamento



Fonte: Processos Refusão (2006)

No caso da Figura 50, faltou água durante o vazamento e a superfície da placa se rompeu causando sangria.

d) Operacional

O preparo do operador no conhecimento da máquina contribui para a estabilidade do processo e sucesso da qualidade das placas.

Setup mesa, moldes e sapatas:

Antes de tudo, a mesa, moldes e sapatas devem ser ajustados e alinhados para assegurar operação correta e reduzir o risco de agarramentos, danificar as mesas/moldes/sapatos, sangrias e garantir principalmente segurança.

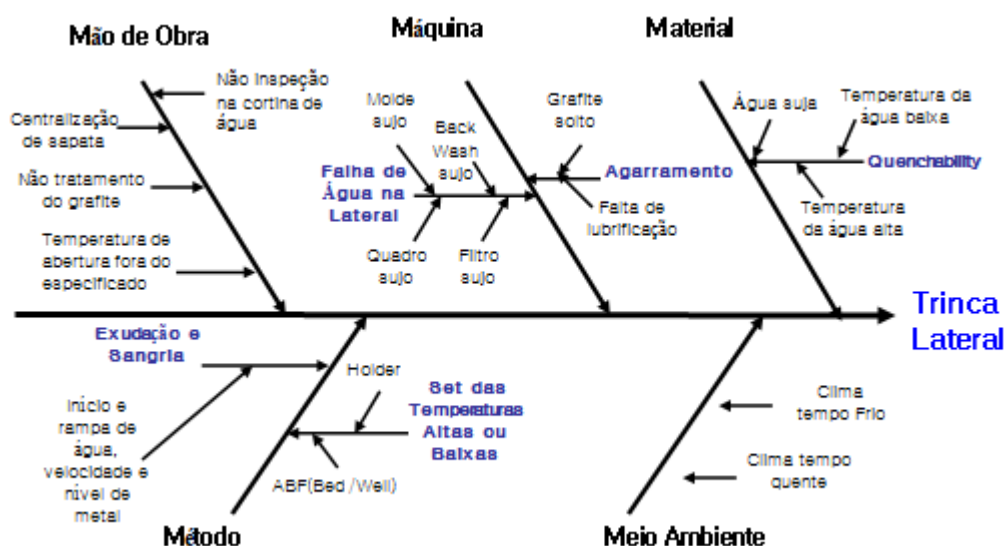
As sapatas devem estar sempre isentas de sujeira e sempre lixadas, pois, devido ao resfriamento primário a troca de calor do metal com a sapata deve fluir facilmente na abertura de vazamento, caso contrário pode surgir defeitos já no início do pé da placa.

Antes de cada vazamento, os grafites dos moldes de LHC devem ser limpos, sendo em alguns momentos necessário o uso de palha de aço, lixa e óleo. Essa limpeza, reduz a chance

de a placa grudar no molde durante o vazamento, gerando o empeno e dimensional fora das placas.

Quando analisamos todas as possíveis causas para os defeitos apresentados, percebemos que a sangria, que também é um tipo de defeito, quando não controlada, é também a causa dos principais problemas de Empeno e Dimensional Fora. Porém, ao analisar as trincas que frequentemente surgiam no processo de laminação, a causa ainda estava indefinida. Para isso, realizou-se um diagrama de Ishikawa, visando analisar as principais causas raiz desse defeito. O diagrama pode ser observado na figura abaixo.

Figura 51 – Diagrama de Ishikawa para principal defeito da laminação à quente



Fonte: Autor

Ao analisá-lo, conclui-se que os principais fatores afetantes são muito próximos daqueles encontrados para os problemas de empeno e dimensional fora. Ou seja, as possíveis melhorias surgiriam resultados nos três principais problemas.

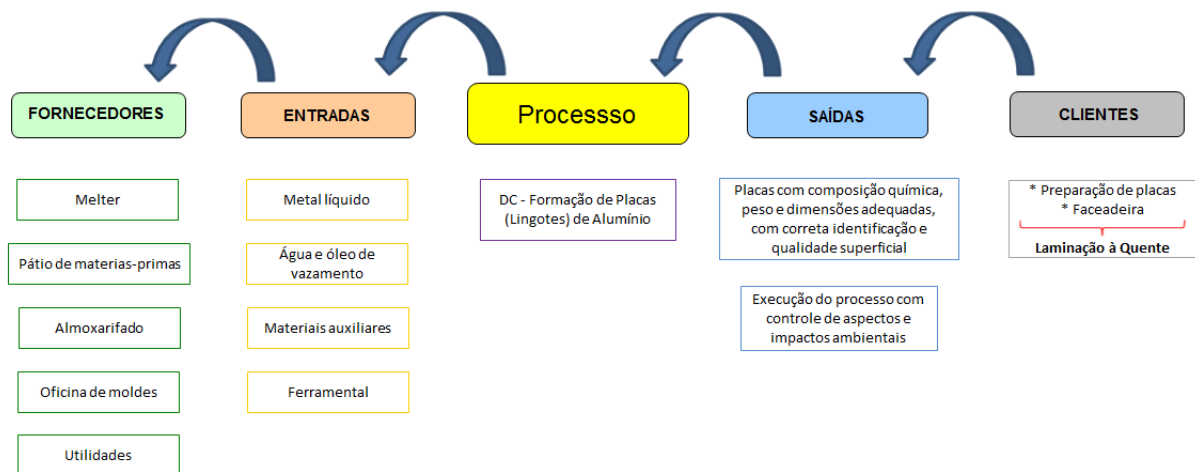
3.2.4 Resultados e Proposições de Melhorias

3.2.4.1 Qualidade das Placas

Inicialmente, foi proposto um trabalho entre as áreas da Refusão e da Laminação à Quente para definir quais seriam as condições de placa que seriam aceitas pela laminação e para fortalecer a relação cliente-fornecedor entre as áreas.

Para isso, foi realizado um SIPOC, considerando o processo de formação das placas, sendo o subprocesso anterior o fornecedor e o primeiro subprocesso da laminação à quente, o cliente imediato.

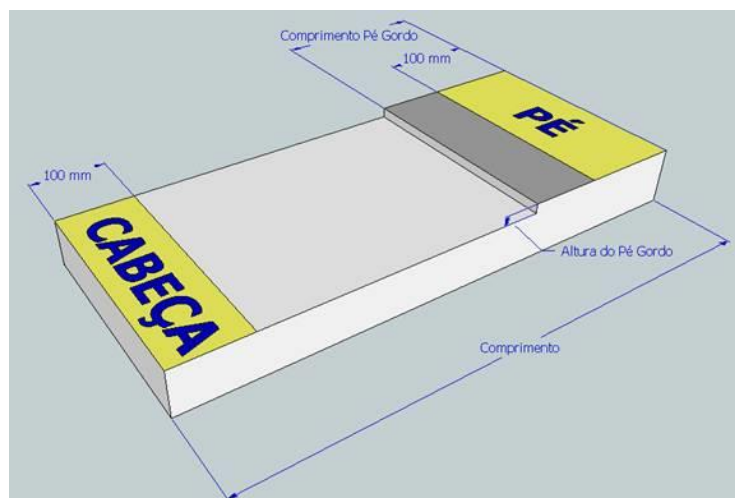
Figura 52 – SIPOC do processo de formação das placas



Fonte: Autor

Com esse estudo e constantes reuniões, foram determinados as especificações que a placa deveria seguir e os limites de aceitação dos defeitos originados durante o vazamento da placa.

Figura 53 – Croqui de uma placa dentro das especificações



Fonte: Autor

Tabela 1 – Ação para cada medição realizada

Medição	Tolerância	O que fazer?	Por quê?
Comprimento	± 50 mm	Informar o comprimento correto no PCS e Oracle	1 – Assegurar que a placa tenha o comprimento ideal para proporcionar a entrega do volume máximo de metal ao cliente. 2– Locar a placa no forno correto.
Comprimento do pé gordo	1000 mm	Informar time de Processos	Evitar quebra da faceadeira e retrabalhos.
Altura do pé gordo	38 mm	Informar time de Processos	Evitar quebra da faceadeira e retrabalhos.
Empeno Lateral	6 mm	Informar time de Processos	Evitar quebra da faceadeira e retrabalhos.
Empeno Longitudinal	3 mm	Informar time de Processos	Evitar quebra da faceadeira e retrabalhos.

Tabela 2 – Especificações de Placas

Defeitos	Posição na Placa	Grupo de Ligas			O que acontece se não controlar?
		1XXX	3XXX	5XXX	
Trinca Longitudinal	Até 100 mm do Pé ou Cabeça	Aceitável	Aceitável	Aceitável	Fora dessa posição a trinca não será removida podendo quebrar os laminadores e máquinas dos clientes
Trinca Lateral	Até 140 mm a partir da lateral da placa	Aceitável	Aceitável	Rejeitar	Fora dessa posição a trinca não será removida podendo quebrar os laminadores e máquinas dos clientes
Trinca Transversal	-	Rejeitar	Rejeitar	Rejeitar	Não é possível laminar à quente placas com esse defeito
Junta fria	Até 100 mm do Pé ou Cabeça	Aceitável	Aceitável	Aceitável	Fora dessa região a junta fria não será removida podendo gerar quebra nos laminadores
Sangria	-	Retrabalhar	Retrabalhar	Retrabalhar	Não é possível facear as placas sem a remoção desse defeito.

Com a ajuda de um FMEA realizado na área, ficou claro que os problemas encontrados estavam relacionados à fabricação das placas, sendo causados principalmente por problemas nos moldes utilizados, que ou estavam velhos ou não tinham a manutenção necessária.

Assim, foi proposta uma gestão completa dos moldes, a fim de acompanhar de perto sua manutenção, vida útil e utilização. Com essa gestão já ativa, foi proposta a compra de três

novos moldes e a revisão dos procedimentos operacionais que em alguns casos estavam desatualizados e não continham as novas especificações criadas.

A revisão de procedimentos acabou servindo como um benchmarking para os outros subprocessos, que adotaram a revisão, intensificando nos procedimentos a influência que suas atividades podem causar no processo seguinte, fortalecendo assim a ideia de cliente-fornecedor entre as áreas.

3.2.4.2 “Boca de Jacaré”

Como falado anteriormente, no processo de Laminação a quente, a seção transversal da placa é reduzida enquanto forma-se a já mencionada “boca de jacaré” na cabeça da placa, sendo que no fim do processo de laminação a mesma é cortada. Esse corte gera um desperdício de material o que influencia diretamente na eficiência da laminação.

Visando aumentar essa eficiência, propôs-se um trabalho onde a cabeça da placa compensaria a quantidade de material que é desperdiçada no corte.

O trabalho consistiu em aumentar piramidalmente a quantidade de material depositada na cabeça da placa durante o seu processo de formação.

Com isso, a placa era formada com uma quantidade maior de material sendo que o corte no laminador à quente manteve-se o mesmo, resultando em maior output para o processo de laminação.

Essa proposta gerou uma mudança de engenharia no processo de formação das placas, aumentando a produtividade da laminação em aproximadamente 0.8% e diminuindo a quantidade de sucata que voltava para a refusão, não sendo, porém, necessário nenhum investimento financeiro para tais alterações.

3.2.4.3 Curvatura de Placa

Visando controlar a prática de vazamento do material e formação das placas e adaptá-las de maneira que sempre se obtenha a melhor qualidade e o máximo comprimento possível, foi proposta a medição da curvatura das placas para cada vazamento.

Com esse controle é possível identificar quais os parâmetros do vazamento estão mais afetando a formação das placas e que assim devem ser adaptados e controlados. A medição da curvatura é registrada em uma carta de controle.

3.2.4.4 Comprimento de Placa

Paralelo aos trabalhos realizados para aumento da qualidade das placas foi proposto um trabalho para aumentar o comprimento dessas placas visando atingir o máximo da capacidade dos vazamentos, refletindo assim na quantidade de material que passaria da refusão para a laminação à quente.

Com esse aumento, mesmo que existam perdas no processo, a quantidade de material final, ou seja, output dos processos aumenta significativamente, o que influencia diretamente da eficiência. Para comprovar essa relação, usa-se o conceito do PIW.

3.2.5 Estimativa de Ganhos

Com as proposições de melhorias citadas até o momento, a qualidade das placas aumentou significativamente e a quantidade de refaceamentos na faceadeira ficou controlada. Mas o mais importante é que com isso, a prática atual de facear 10mm de cada lado da placa para garantir que defeitos não surgissem nos próximos processos pôde ser eliminada. A prática não só pôde voltar a ser de 9 e 7mm como diminuiu para 7mm faceados acima e 7mm faceados embaixo.

Comparando valores antes e depois das melhorias e analisando os ganhos de material com essa diminuição de 6mm sendo faceados, temos que:

Em setembro, quando as melhorias não haviam sido implementadas, foram faceadas 2739 placas de CBS, sendo que 117 foram refaceadas.

O peso médio inicial de uma placa é de 15.827 Kg, sendo que quando eram faceadas com 10/10mm, o peso após o faceamento era de 15.338,6 Kg, ou seja, uma perda média de 488,43 Kg por placa devido ao faceamento, o que resulta em média a 1.337.809,77 Kg de material perdidos por mês.

Somado a isso, ainda existiam as perdas por refaceamento. Em um refaceamento, tira-se 7mm do lado de cima da placa quantas vezes forem necessárias para eliminar os defeitos de formação da placa. Assim, havia uma perda média de 170,97 Kg por placa, como foram refaceadas 117 placas, um total de 20.003,64 Kg perdidos em média por mês exclusivamente por refaceamentos.

Totalizando assim, 1.357.813,4 Kg de material perdido por mês.

Analisando agora, os valores que seriam obtidos com uma prática de faceamento de 7/7 mm, temos que:

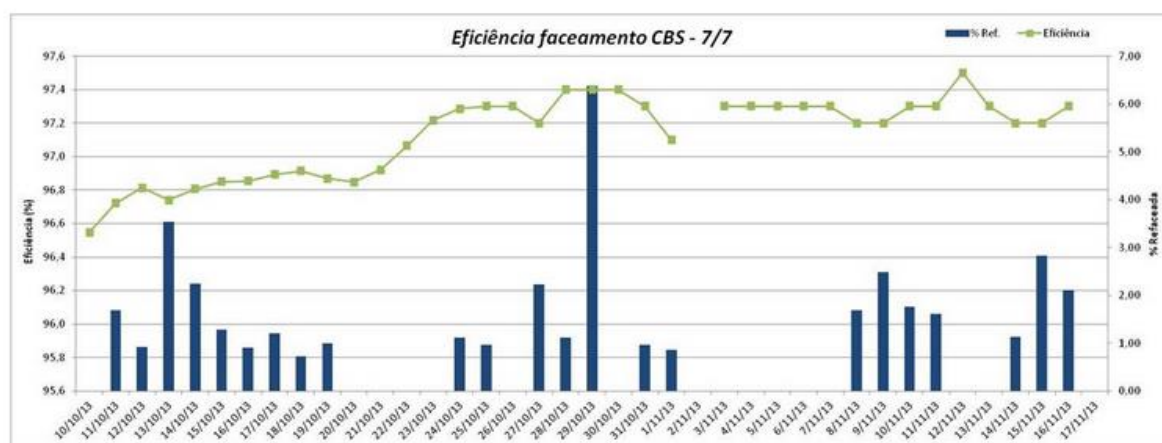
O peso após o faceamento é de 15.485,12, ou seja, uma perda média de 341,8 Kg por placa devido ao faceamento, o que resulta em média a 936.190,2 Kg de material perdido por mês.

Comparando a prática de 10/10mm com a de 7/7mm, percebemos que a última perde 401.619,57 Kg a menos por mês de material.

Em relação ao tempo, a média de faceamento é de 480 segundos, ou seja, aproximadamente 8 minutos. Se foram faceadas em média 2.739 placas de CBS, o tempo utilizado foi de 365,2 horas no mês gastas para facear. Levando em consideração os refaceamentos, 117 placas refaceadas representam 15,6 horas por mês gastos com retrabalho.

Com esses trabalhos, a eficiência da faceadeira aumentou significativamente, sendo melhor demonstrada no Gráfico 7, onde é representada pela linha verde.

Gráfico 8 – Eficiência na Faceadeira e Porcentagem de Refaceamentos



Fonte: Autor

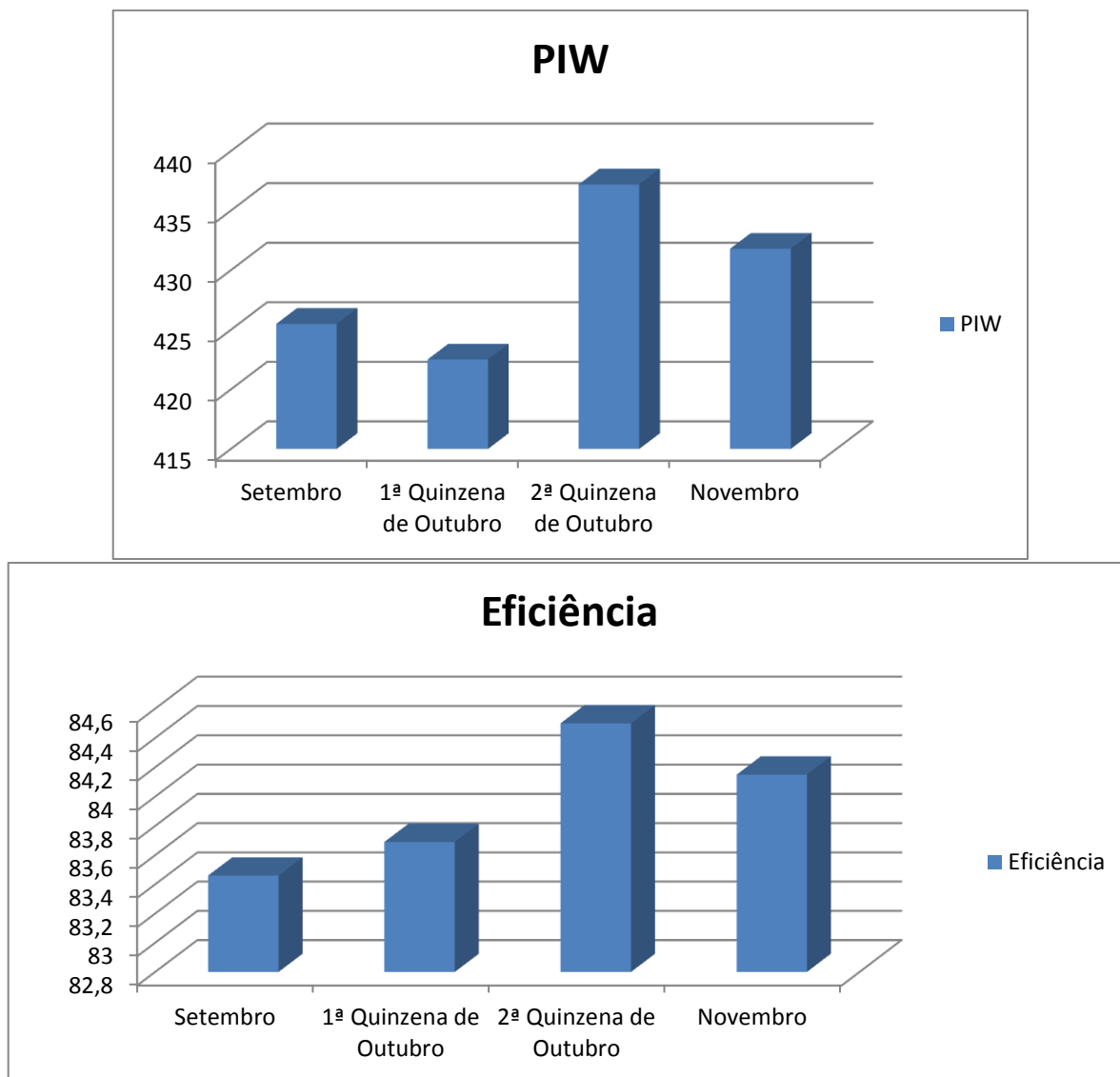
Paralelo aos trabalhos realizados para aumento da qualidade das placas foi proposto um trabalho para aumentar o comprimento dessas placas visando atingir o máximo da capacidade dos vazamentos, refletindo assim na quantidade de material que passaria da Refusão para a Laminação à Quente.

Esse estudo propôs um aumento da placa de CBS de aproximadamente 80 mm.

Com esse aumento, mesmo que existam perdas no processo, a quantidade de material final, ou seja, output dos processos aumenta significativamente, o que influencia diretamente da eficiência.

Para comprovar essa relação, podemos comparar um gráfico do PIW e da eficiência no mesmo período em que as melhorias foram concretizadas e o aumento do comprimento das placas realizado.

Gráfico 9 – Comparação entre Eficiência e PIW

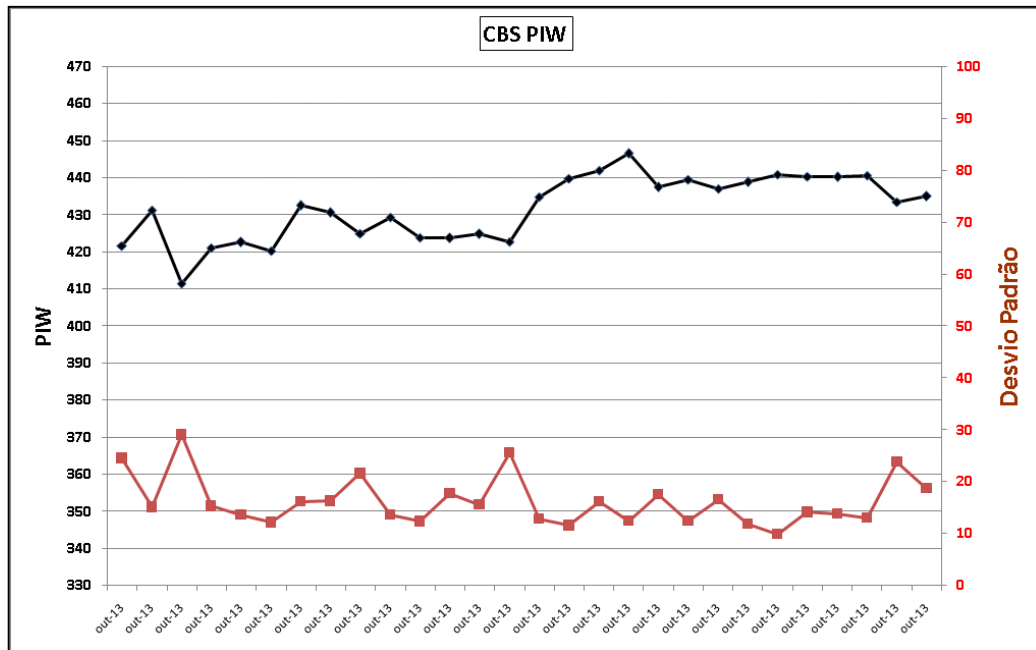


Fonte: Autor

Analisando os gráficos, conseguimos identificar que em média a cada aumento de 50 mm de comprimento da placa, o valor do PIW subiu aproximadamente 10 unidades, o que representou um aumento de aproximadamente 1% no processo da Laminação à Quente.

Identificamos claramente também a época em que as melhorias foram implementadas, que corresponde aproximadamente ao dia 15 de outubro.

Gráfico 10 – Aumento do PIW a partir das melhorias



Fonte: Autor

O Gráfico 9, corresponde a dados obtidos no mês de outubro e evidencia o crescimento acentuado das linhas a partir da metade do mês de outubro, ou seja, a partir das melhorias.

4 CONCLUSÕES

4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS

Os objetivos propostos por esse trabalho de graduação foram atingidos de maneira eficaz, utilizando principalmente as ferramentas do Lean Six Sigma para o alcance dos mesmos.

As ferramentas foram utilizadas para detecção dos principais defeitos e desperdícios dos processos e também para o entendimento de suas principais causas a fim de diminuí-los e controlá-los. Assim, com o estudo voltado a identificação dos processos críticos e propondo rápidas melhorias, foi possível aumentar a eficiência do processo de Laminação à Quente de Alumínio em aproximadamente 1%, e fortalecer o conceito de cliente-fornecedor entre os sub processos. Com esse conceito estabelecido, ficou mais clara a importância do fazer certo da primeira vez dentro de uma cadeia produtiva.

Com os resultados desse estudo, ficou evidente a importância de utilizar técnicas de melhoria contínua, focando na voz do cliente, seja ele interno ou externo, na qualidade dos produtos e serviços e buscando diminuir os desperdícios e retrabalhos durante o processo.

4.2 SUGESTÕES PARA ATIVIDADES FUTURAS

Fica como uma oportunidade futura a realização do acompanhamento das melhorias realizadas, a fim de que elas não sejam apenas passageiras e possam se perpetuar pela empresa, sempre buscando novas soluções e aprimoramentos.

Além disso, o objetivo é que tal estudo seja efetuado em todas as outras áreas da empresa, para que unidos possam representar um grande projeto de aumento de eficiência em base da eliminação de desperdícios e aumento da capacidade dos processos.

REFERÊNCIAS

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. **Guia Técnico do Alumínio** Laminação. São Paulo: ABAL, 1994.

Corona, Rafael Barata Zicman Aplicação do Lean Six Sigma na linha de produção de Turbinas Industriais a Vapor – Guaratinguetá, 2011.

GEORGE, M. L. **Lean Seis Sigma para serviços**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

HILSDORF, W.C. **A Estratégia Seis Sigma para Melhoria da qualidade: uma análise crítica das métricas utilizadas**. Revista Pesquisa e Tecnologia FEI. São Paulo, n.23, p. 25-39, outubro, 2002.

JONES, D.; WOMACK, J. **Enxergando o Todo: Mapeando o fluxo de valor estendido**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MAXIMIANO, A. C. A., **Introdução à Administração**, Atlas, 1995.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statical quality control**. 1996, Terceira edição, John Wiley, New York.

MUNIZ, Jorge; LOURANÇÃO, Paulo M.T.; FERREIRA, Ubirajara R. **8º Desperdícios da Manufatura Enxuta – Não Aproveitamento do Conhecimento para Inovação**, 2004.

OHNO, T.. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

PYSDEK, T. **The Six Sigma Handbook, Revised and Expanded.** McGraw-Hill, 2003.

ROTONDARO, R.G. *et al.* **Seis Sigma estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e serviços,** São Paulo: Atlas 2002.

SARTORI, A. **Evolução da textura tipo cubo no recozimento final da liga AA1200 e sua influência na estampagem.** 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Departamento de Engenharia de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Lorena, 2003.

SCARTEZINI, Luís Maurício Bessa **Análise e Melhoria de Processos** Luís Maurício Bessa Scartezini. – Goiânia, 2009.54 p. Apostila 1. Processos; 2. Gerenciamento; 3. Melhoria Contínua; 4. Qualidade; 5. Produtividade.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de produção- do ponto de vista da engenharia de produção.** Porto Alegre, Ed. Bookman, 1996.

SHOOK, J; ROTHER, M.. **Aprendendo a Enxergar. Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdício.** São Paulo: 1999.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHSTON, R.; **Administração da produção,,** São Paulo, Ed. Atlas, 2002.

THOMSETT, Michael C. *Getting Started – Six Sigma*, Jonh Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey 2005.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Criando a cultura Seis Sigma**. Nova Lima: Werkema, 2004.

WILSON, P. Mario. **Six Sigma**: understanding the concept, implications an challenges, Advanced Systems Consultants, 1999.

<http://www.citisystems.com.br/jidoka/>