

Estudo das ocorrências do defeito *Build-up* aplicando a metodologia DMAIC – Six Sigma

ISSN
1809-9475

Study of Build-up occurrences applying the DMAIC - Six Sigma Methodology

Elias de Araújo Silva¹
Alessandro José A. Ferreira¹
Marcello Silva e Santos (DSc)²

Artigo
Original

Original
Paper

Palavra-chave

Perfil transversal de laminação

Build-up

DMAIC Six-Sigma

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo principal entender as causas das descontinuidades no perfil transversal (*Build-up*) das tiras laminadas, compreendendo como minimizá-las. Esse tipo de defeito ocorre principalmente em materiais de espessura fina. Com o passar dos anos, esse defeito foi confundido com defeitos de planicidade e forma, gerado a partir do processo de laminação de aços planos. Ao analisar esse processo, utilizando conceitos e princípios da metodologia *DMAIC Six Sigma*, a partir do Laminador de Tiras a Quente (LTQ), seguiu-se todo o processo de laminação a frio e linha de galvanização, buscando identificar, na sequência, a origem dos problemas. A Metodologia *DMAIC Six Sigma* é aplicada na condução de projetos Seis Sigma, com ênfase ao planejamento de projeto, auxilia na melhoria de processos existentes e pode ser aplicada em contextos industriais e outros.

Abstract

This study aims to understand the causes of discontinuities in cross section (Build-up) of the laminated foil in order to minimize these events. This type of defect occurs mainly in thin materials. Over the years, this type of defect has been mistaken for flatness and shape defects, generated from flat steel rolling process. From an analysis process using concepts and principles of Six Sigma DMAIC methodology, from Hot Strip Mill (HSM), followed by the whole process of cold rolling and galvanizing line sequence in order to identify the origin of problems. Six Sigma DMAIC Methodology is usually applied in carrying out Six Sigma projects emphasizing in project planning, which assists in improving existing industrial processes and other contexts as well.

Keywords

Cross profile lamination

Build-up

DMAIC Six Sigma

¹ Graduando em Engenharia de Produção do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA

² Docente do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA

1. Introdução

A industrialização no Brasil teve início no final do século XIX, a partir do investimento de cafeicultores que destinaram parte de seus lucros obtidos com a exportação do café, no estabelecimento da indústria, principalmente em São Paulo e no Rio de Janeiro. Nesse momento privilegiaram-se fábricas de tecidos, calçados e produtos que, por ser de fabricação mais simples, não exigia mão de obra especializada. Daí o grande concurso de imigrantes italianos nesse tipo de trabalho. O governo de Getúlio Vargas (1930 – 1945) envidou esforços para que a indústria brasileira despontasse, pois sua intenção era a de efetivar a industrialização do país independente de outras nações, no que se referia ao domínio ainda vigente em alguns setores, especialmente de produtos oriundos da Inglaterra. Vale lembrar que, mesmo depois da abertura dos portos às nações amigas, o Brasil continuou dependente do exterior.

Assim, Vargas sancionou leis que regulamentam o mercado de trabalho, medidas protecionistas e investimentos em infraestrutura, o que propiciou o crescimento da indústria nacional nas décadas de 1930 e 1940. Destaca-se, nesse momento, a Segunda Guerra Mundial e, como consequência, a destruição de indústrias na Europa. Como passou a importar produtos industrializados, o Brasil pode se desenvolver e se beneficiar dessa necessidade. Com a evolução da sociedade, o aço tornou-se um produto imprescindível na vida moderna. Produzir aço significa produzir automóveis, eletrodomésticos, edificações e até fábricas, configurando-se num importante indicador do grau de desenvolvimento econômico de uma nação. Como diferentes aplicações necessitam de diferentes tipos de aço (propriedade mecânica e composição química, etc.), há necessidade de conferir-lhe características físico-químicas durante seu processo de fabricação. Dessa forma, as particularidades (por exemplo, grau do aço, aplicação final – uso) são respeitadas, além de se evitarem falhas ou desvios na qualidade final de cada produto (MARTINS, 2001).

Baseado nessa peculiaridade do processo de produção e utilização do aço, decidiu-se estudar a laminação de aços planos, objetivando entender os principais defeitos encontrados

nessa fase do processo. A laminação consiste em um processo de conformação mecânica em que o material (aço) é processado por compressão entre dois ou mais cilindros com redução de espessura ou com alteração de sua seção transversal para outro perfil geométrico. Trata-se do processo mais utilizado industrialmente em função do volume de produção (MARTINS, 2001).

O processo de laminação pode ocorrer a quente ou frio, sendo a principal diferença entre elas a temperatura de trabalho em que o material é laminado. Essa diferenciação de faixas de temperatura é feita conforme critérios metalúrgicos (conformabilidade, elasticidade, etc.). Entre os itens de conformidade que devem ser verificados no aço plano, está a verificação da qualidade de forma. A qualidade de forma envolve as características de aplainamento, retilineidade da chapa, o formato da bobina – indicador da conformidade do bobinamento – e os parâmetros definidos no padrão de produção (perfil transversal de espessura), (MARTINS, 2001).

Portanto, o objetivo deste estudo foi o compreender o processo de laminação de aço plano a partir do laminador de tiras a quente, a fim de se entender as causas das alterações dimensionais no perfil transversal das tiras laminadas. Essa alteração no perfil é conhecida como *Build-up* e, por ser um efeito indesejável e que compromete a qualidade do produto, devem ser investigadas formas de minimizá-lo ao longo de toda a sequência da operação de produção.

Para colaborar na estratificação dos dados levantados sobre as ocorrências das não conformidades envolvidas neste estudo, será utilizada uma metodologia de otimização de processos conhecida como *DMAIC - Six Sigma*. O acrônimo *DMAIC* significa: “*Define*” ou Definir - Identificar e mapear a situação dos processos, “*Measure*” ou Medir - Reunir e medir dados; “*Analyse*” ou Analisar - Determinar a prioridade das causas dos defeitos; “*Improve*” ou Melhorar - Desenvolver e testar possíveis soluções; “*Control*” ou Controlar – Criar mapas de melhoria, padronizar processos de melhoria.

Inicialmente concebido para projetos relacionados à qualidade, o *DMAIC* não é efetivo somente na redução de defeitos,

sendo abrangente para projetos de aumento de produtividade, redução de custo, melhoria em processos administrativos, entre outras oportunidades. A metodologia, portanto, consiste na utilização de modelagem estatística para o diagnóstico de problemas e determinação de oportunidades de melhoria e manutenção do nível desejado dos processos eventualmente otimizados (WERKEMA, 2012).

Do ponto de vista econômico-financeiro, as unidades envolvidas são responsáveis pela comercialização de produtos com alto valor agregado. Assim sendo, a interrupção total ou parcial do processo ou perdas ocorridas no decorrer do mesmo, influenciam diretamente no custo de produção. Além disso, em um cenário altamente competitivo, tanto na esfera nacional como internacional como aquele em que a empresa CSN – Companhia Siderúrgica Nacional se encontra atualmente, toda não conformidade não tratada repercute na imagem institucional da organização, provocando repercussões negativas a montante e a jusante do processo produtivo.

2. Metodologia

Para fundamentação teórica deste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica documental, tendo em vista a escassez de informações específicas relacionadas aos processos estudados. Para o desenvolvimento do estudo, foram realizadas visitas técnicas guiadas pelos profissionais envolvidos e analisados os resultados obtidos ao longo de cada etapa do processo de laminação. Nesse sentido, a pesquisa configura-se como uma metodologia de pesquisa-ação, devido à interação entre os diferentes sujeitos da pesquisa e os agentes de transformação, estando esses últimos – que também são funcionários da empresa - em ambas as categorias. Quanto à abordagem, a pesquisa constitui-se no plano empírico-analítico, apropriando-se tanto do conhecimento teórico formal como da prática profissional. Dessa forma, a metodologia utilizada aplica os conceitos adquiridos no decorrer do curso de Engenharia de Produção, associados a métodos, técnicas e ferramentas específicas de gestão de processos e de qualidade.

No encaminhamento do estudo, foi fundamental reconhecer e aproveitar como fonte

de informações todo o conhecimento acumulado em décadas de trabalho pelos profissionais envolvidos nas operações que foram estudadas. Somente o profundo conhecimento do processo de trabalho – que é um processo produtivo e de transformação – garante a transformação positiva do mesmo (WISNER, 1987).

3. Fundamentação teórica

3.1. Conceitos relativos à qualidade no processo produtivo

Qualidade é a conformidade, coerente com as expectativas do cliente; em outras palavras, significa “fazer certo as coisas”, mas as coisas que a produção precisa fazer certo variarão de acordo com o tipo de operação. Todas as operações encaram qualidade como um objetivo particularmente importante, já que existe algo de fundamental a respeito dela. Por isso, exerce claramente a maior influência na satisfação ou insatisfação do cliente. A percepção do cliente de produtos ou serviços de alta qualidade significa a satisfação do cliente e, com isso, uma chance maior de seu retorno (SLACK, 2009).

Quando a qualidade significa a produção consistente de serviços e produtos dentro das especificações, não apenas leva à satisfação de clientes externos, como também torna mais fácil a vida das pessoas envolvidas na operação. Satisfazer aos clientes internos pode ser tão importante quanto satisfazer aos clientes externos. Assim, quanto menos erros houver em cada processo da operação, menos tempo será necessário para a correção e, conseqüentemente, menos conflito entre os agentes do processo.

3.2. Ferramentas da qualidade

As ferramentas de qualidade são, em verdade, técnicas que utilizamos com a finalidade de definir, mensurar, analisar e propor soluções para resolver problemas que interferem no bom desempenho dos processos de trabalho (SLACK, 2009). Dentre as ferramentas de qualidade mais comuns, podem-se citar: *Diagrama de tendência*, *Histograma*, *Diagrama de Dispersão*, *Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe)*, *Controle*

Estatístico de Processo (CEP), Gráfico de Pareto, Brainstorming e 5W 1H.

O *Brainstorming* é a mais conhecida das técnicas de geração de ideias. Foi originalmente desenvolvida por Osborn, em 1938 (SANTOS, 2012). O termo inglês traduz-se, em português, por “tempestade cerebral”, por ser um processo em que ideias são lançadas, simultaneamente, por diferentes participantes que, num esforço coletivo de avaliação e síntese, buscam soluções de consenso para uma determinada situação ou um problema particular. Esse mecanismo decisório tende a produzir soluções criativas e inovadoras para os problemas, rompendo com paradigmas. O clima de envolvimento e motivação gerado pelo *Brainstorming* assegura melhor qualidade nas

decisões tomadas pelo grupo, maior comprometimento com a ação e um sentimento de responsabilidade compartilhado por todos.

O *Diagrama de Causa e Efeito (ou Espinha de peixe)* é uma técnica largamente utilizada, que mostra a relação entre um efeito e as possíveis causas que podem estar contribuindo para que ele ocorra. Construído com a aparência de uma espinha de peixe, essa ferramenta foi aplicada, pela primeira vez, em 1953, no Japão, pelo professor da Universidade de Tóquio, Kaoru Ishikawa (SANTOS, 2012), para sintetizar as opiniões de engenheiros de uma fábrica quando estes discutiam problemas de qualidade. Conhecido popularmente como diagrama dos 6 M's: **M**áquina, **M**ão de Obra, **M**étodo, **M**aterial, **M**ei Ambiente e **M**edida, conforme mostrado na Figura 1.

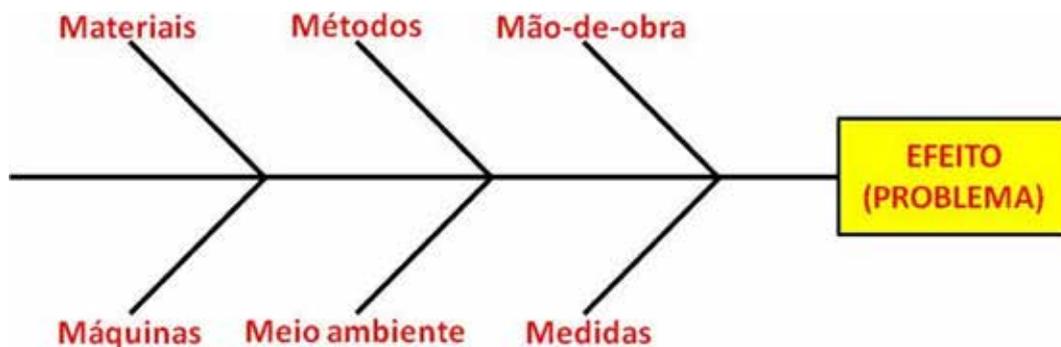


Figura 1 – Modelo de Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)

Fonte: SLACK (2009)

O princípio de *Pareto* relaciona-se ao pressuposto que, para um conjunto de situações, 80% das consequências derivam de apenas 20% das causas. Isso pode ser muito útil para tratar não conformidades, devido à possibilidade de se identificar pontos de melhoria e definir as ações que devem ser empreendidas em primeiro lugar, no que diz respeito à prioridade (CAMPOS, 1992). O princípio de *Pareto* estabelece que os problemas referentes à qualidade de produtos e processos e que resultam em perdas, podem ser classificados da seguinte maneira:

- **Poucos vitais:** representam poucos problemas que resultam em grandes perdas.
- **Muitos triviais:** representam muitos problemas que resultam em poucas perdas.

O *Diagrama de Pareto* é uma ferramenta que é apresentada em forma de gráfico de barras. O mesmo ajuda a determinar, por exemplo, as prioridades dos problemas a serem resolvidos, através das frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo assim a priorização dos problemas, de acordo com o grau de severidade do mesmo (CAMPOS, 1992). Na Figura 2, é exemplificado um modelo clássico de *Gráfico de Pareto*.

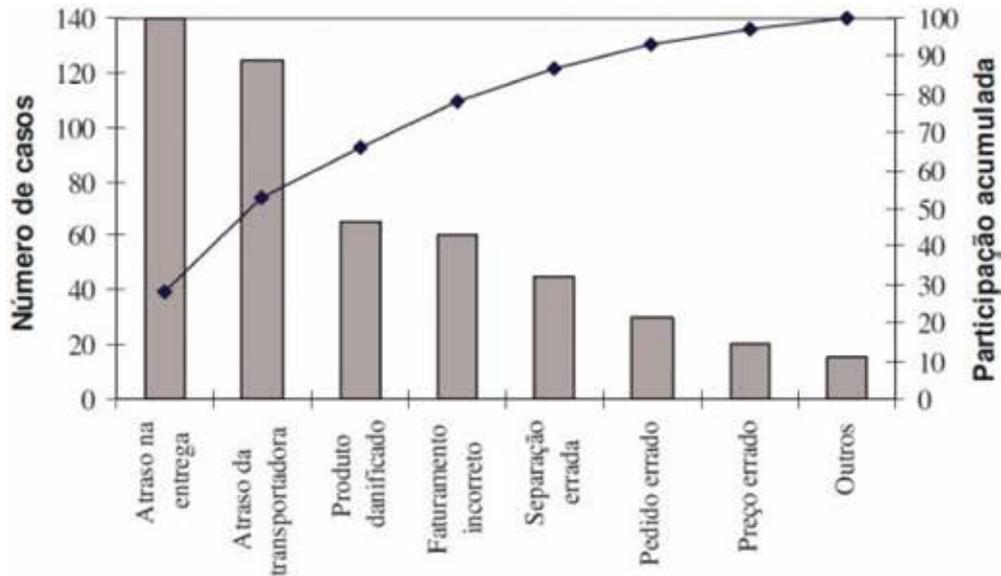


Figura 2 – Modelo de Diagrama de Pareto
Fonte: SLACK (2009)

Pode-se observar, a partir da análise das características de ambos modelos, que o *PDCA* e o *DMAIC* são complementares e podem funcionar muito bem juntos. Até o início da década de 90, o ciclo de Melhoria Contínua *PDCA* (*Plan – Do – Check – Act*) era utilizado pela maioria das organizações que possuíam uma iniciativa de Melhoria Contínua dentro do seu Sistema de Gestão (Figura 3). O *PDCA*, portanto, era bastante utilizado, principalmente, pelas montadoras de automóveis e seus fornecedores, assim

como na indústria de eletroeletrônicos. O modelo traz a disciplina do método para as iniciativas de melhoria de processos, assim como introduz as Organizações no uso das ferramentas analíticas básicas, ou como ficaram mais conhecidas, as sete (7) ferramentas básicas da qualidade: *Diagrama de Pareto*, *Diagrama de Causa e efeito*, *Lista de verificação*, *Histograma*, *Diagrama de Dispersão*, *Gráfico linear* e *Carta de Controle*. O grande foco, então, era a resolução dos problemas de qualidade das Organizações (SLACK, 2009).

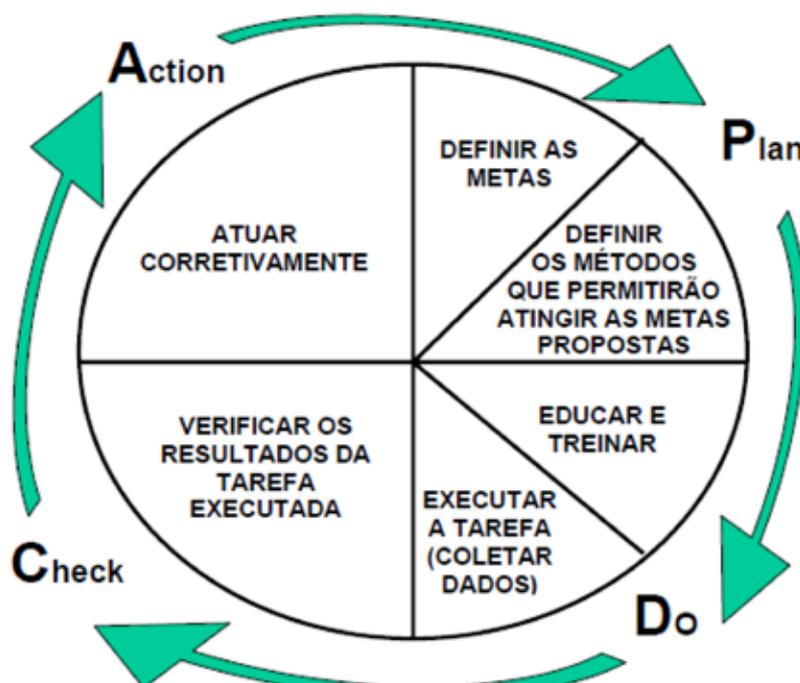


Figura 3 – Ciclo PDCA
Fonte: SLACK (2009)

A partir da década de 90, com a popularização dos *softwares* estatísticos mais baratos e “*user friendly*”, e com o aumento da necessidade do uso de ferramentas analíticas mais poderosas para ajudar as organizações a entender melhor a variação nos seus indicadores, passa-se a adotar um novo modelo, o *Seis Sigma DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Além disso, com a pressão crescente por resultados cada vez mais ambiciosos no plano dos negócios, a maioria das grandes organizações necessita manter suas margens reduzidas para não perder competitividade, o que se coaduna com o ideário apresentado pelo conceito *Six Sigma*.

As organizações, atualmente, partem, não apenas dos indicadores de qualidade, como era mais comum no caso do *PDCA*, como também usam a capacidade analítica das ferramentas estatísticas do *DMAIC* para desenvolver projetos para melhorar vários elementos do negócio. Dentre esses elementos, temos a satisfação do cliente, a busca pelo aumento da receita, a redução de custos fixos e variáveis, além da melhoria da lucratividade, já que o reforço de caixa libera recursos para que as organizações possam realizar mais investimentos.

Algumas ferramentas estatísticas como *Cálculo de Capabilidade, Teste de Hipótese, ANOVA, Análises de Regressão, DOE*, entre outros, passaram a ser largamente empregadas para entender a variação nos principais indicadores de Negócio (*KPI's – Key Performance Indicators*) e para, a partir desse entendimento, melhorar os processos da Organização e

gerar benefícios financeiros e de satisfação de cliente. Além disso, diferentemente do *PDCA*, que pressupõe um processo de melhoria contínua, o *Six Sigma DMAIC* exige que as melhorias sejam executadas num prazo de 4 a 6 meses. Esse tempo, denominado *Projeto Seis Sigma* é um processo em que a equipe encarregada do mesmo deve apresentar, obrigatoriamente, os resultados para a Organização, incluindo o impacto financeiro gerado pelo projeto (WERKEMA, 2012).

O *PDCA* ainda é o “coração” da maioria dos modelos de Gestão, adotado nas organizações com iniciativas de melhoria contínua e é complementado pelo *DMAIC* e suas ferramentas estatísticas mais avançadas. Adotar o *DMAIC* não significa substituir o *PDCA*, mas evoluir o Sistema de Gestão para um modelo com maior poder analítico, focado em todos os indicadores de Negócio (e não apenas nos indicadores de qualidade). Dessa forma, procura-se avaliar também os benefícios financeiros que o Sistema de Gestão traz para a Organização. De forma simplificada, poderíamos dizer que o *DMAIC* é um *PDCA* com foco na fase de investigação das causas raízes de variação nos processos.

O poder de controle de processo e, em particular, a importância de reduzir variação em desempenho forneceram a base para o que se tornou um importante conceito em termos de melhoria de processos. Esse fluxo engloba as áreas de redução, metalurgia, laminação a quente e laminação a frio, sendo que o foco do trabalho se resumirá nas áreas citadas de laminação (Figura 4).



Figura 4 – Fluxo de fabricação de aço

Fonte: CSN (2012)

3.3. Laminação

O processo de laminação consiste em uma conformação mecânica em que o material é processado por compressão entre dois ou mais cilindros com redução de espessura ou com alteração de sua seção transversal para outro perfil geométrico, de forma a atender diferentes necessidades do mercado consumidor (Figura 5).

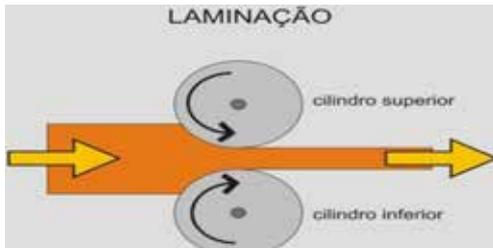


Figura 5 - Desenho esquemático de um processo de laminação
Fonte: Martins (2001)

É o processo de conformação mais utilizado mundialmente, devido à alta produtividade e viabilidade na obtenção dos produtos com espessuras reduzidas e controles dimensionais precisos. Quanto mais criteriosas e rígidas forem às especificações, mais complicado será o procedimento e maior o número de operações necessário para alcançar o objetivo final.

A laminação a quente consiste em uma laminação onde o material é aquecido a altas temperaturas ($\approx 1200^\circ\text{C}$), obtendo-se maior plasticidade e menor resistência à deformação, podendo aplicar grandes graus de deformação, sem que ocorra ruptura do material. Sendo um processo onde as operações de laminação são feitas em ambiente aberto, o oxigênio presente no ar oxida a superfície metálica (formando carepa – composto formado por Fe e O, gerando Fe_2O_3), afetando a qualidade superficial do material.

A CSN atende a uma vasta linha de especificações de produtos laminados a quente, variando em função dos requisitos de composição química e propriedades mecânicas, sendo destinada a aplicações para usos gerais, estampagem, estrutural, estrutural de boa conformabilidade, estrutural de alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica, tubos, relaminação, etc. O material é laminado no *Laminador de Tiras a Quente - LTQ* (Figura 6), o maior e mais moderno da América do Sul, sob rígido controle de processo e de rastreabilidade, que garantem aos clientes o re-

cebimento do produto, satisfazendo às mais rigorosas especificações de qualidade.



Figura 6 – Laminador de Tiras a Quente
Fonte: CSN (2012)

Os produtos laminados a quente da CSN constituem-se de produtos planos de aço fabricados em laminador de tiras a quente, podendo ser fornecidos aos clientes na forma de bobinas ou chapas, com espessuras entre 1,20mm e 12,70 mm e larguras entre 720 mm e 1.575 mm, em conformidade com normas brasileiras e internacionais. As dimensões mínimas e máximas poderão variar em função da composição química e propriedades mecânicas do material.

A decapagem é o processo de remoção da camada de óxido (carepa) formada na superfície da tira de aço do processo de laminação de tiras a quente (LTQ), seja pela ação de uma solução diluída, seja mecanicamente, a fim de permitir a deformação a frio (como a laminação, estiramento ou estampagem) ou a aplicação de um revestimento protetor (pintura ou eletrodeposição). No caso de estampagem profunda, a presença de óxido tenderia a reduzir a vida dos estampos, causar condições de repuxamento irregulares e destruiria a lisura da superfície do produto e, no caso de pintura ou eletrodeposição, impediria a aderência do revestimento (ARAÚJO, 1997).

Durante o processo de decapagem podem ocorrer dois fenômenos indesejáveis: a sub decapagem e a super decapagem. A sub decapagem consiste na remoção ineficiente da carepa, isto é, a não remoção total do filme de óxido, podendo ocorrer pelo pouco tempo de decapagem, pela baixa temperatura dos banhos ou concentração inadequada dos banhos. A super decapagem é um ataque excessivo da solução na chapa. Isso ocorre quando o ácido reage com toda a carepa existente na região e inicia um ataque à superfície do material (metal base).

O processo de laminação a frio tem como objetivo reduzir a espessura do material den-

tro das tolerâncias especificadas junto aos clientes. A matéria prima para esse processo é conhecida como bobina laminada a quente e decapada. Informações de dimensão como espessura de entrada, espessura de saída e largura são fundamentais para cálculos dos *pre-set's* de laminação; essas variáveis de entrada no processo servem para todos os cálculos das variáveis controláveis.

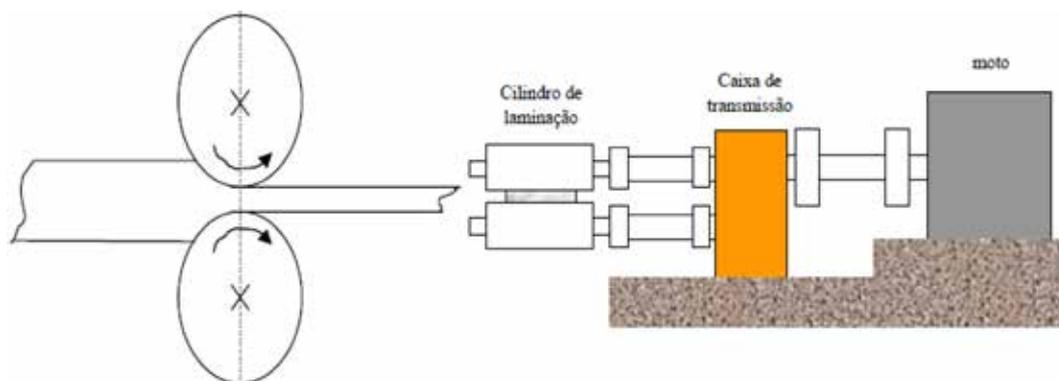


Figura 7 – Desenho esquemático do sistema de acionamento de um LTF

Fonte: CSN (2012)

As deformações impostas pelo processo de laminação, tanto a quente como a frio, altera significativamente sua microestrutura e propriedades. O produto final gerado no processo de laminação a frio é comumente denominado por BFH (Bobina Laminado a Frio - *Full-Hard*), conforme evidenciado na Figura 8. Possui esse nome devido a ter um valor de dureza alto, da ordem de 90 a 100 HRB. A BFH pode passar por operações de acabamento, que consistem em tratamentos térmicos (normalização, recozimento, etc.) ou superficiais (galvanização, estanhamento).



Figura 8 – Bobinas Laminado a Frio (Full-Hard)

Fonte: CSN (2012)

A excelente resistência à corrosão em diferentes ambientes e a sua facilidade de ligação metalúrgica ao aço, tornam o zinco (Zn) um dos

A Figura 7 mostra a representação esquemática do sistema de acionamento de um *Laminador de Tiras a Frio (LTF)*. Pode ser observada uma sequência de cinco cadeiras onde, a cada passe, a espessura vai sendo reduzida até o seu valor final na saída da cadeira 5. Todo processo de afinamento da espessura é feito pela combinação de esforços de compressão e tração, simultaneamente.

mais importantes revestimentos usados para proteger o aço contra corrosão atmosférica.

Esse processo consiste, basicamente, em depositar sobre a superfície da tira de aço limpa, geralmente recozida, uma camada de revestimento de uma liga à base de zinco, sendo que, normalmente, o processo de limpeza e recozimento ocorre na própria linha de zincagem e a deposição da camada ocorre pela passagem submersa da tira em um pote de zinco líquido. Outros equipamentos, acoplados a linha ou em outros processos posteriores, também são necessários para obtenção do produto zincado final. De acordo com o engenheiro José Eduardo Ribeiro de Carvalho (Gerente de Garantia de Qualidade – *Galvasud* ou CSN Porto Real), as principais razões para que o zinco seja empregado como revestimento protetivo para o aço são que o zinco oxida muito mais lentamente dos que o aço, nos ambientes naturais, protege, galvanicamente, o aço e se liga, metalurgicamente, ao aço base, através de camada de liga do zinco-ferro, formando um sistema aço/zinco perfeitamente integrado.

O processo de galvanização consiste em recobrir um metal com outro, no caso o zinco, a fim de proteger a peça contra a corrosão,

umentando a sua durabilidade quando exposta à ação de intempéries. Para que se obtenha um resultado perfeito, a peça deve estar totalmente isenta de substâncias estranhas à reação ferro-zinco, o que poderia resultar em um recobrimento indesejado.

4. Desenvolvimento do estudo

O presente estudo utiliza para parametrização dos conceitos e da metodologia de pesquisa adotada um estudo de caso a partir da análise do processo de laminação da Companhia Siderúrgica Nacional, a CSN. Os processos de fabricação de aço da empresa trabalham integrados, ao ponto de um equipamento parar a produção do processo seguinte. O planejamento da produção tem vital importância para controle dos pedidos das encomendas dos clientes, pois garante as etapas de fabricação até a entrega do produto final.

A Gerência da Qualidade age como intermediador entre os clientes e empresa e representa o elo entre o mercado e a produção. A conformidade dos produtos é avaliada e medida nos postos de inspeção localizados em cada equipamento de produção e, em alguns casos, os materiais mais nobres sofrem ensaios laboratoriais para liberação do produto com certificado, por exigirem propriedade mecânica (Ex.: montadoras, que compram materiais para estampagem de peças como: lateral, porta, capô de automóveis).

O defeito localizado no perfil transversal de uma tira laminada a quente, mais conhecido como *Build-Up*, cuja sigla é “BI” (Figura 9), é uma descontinuidade de forma que ocorre normalmente em uma a três faixas esparsas ao longo da largura, estendendo longitudinalmente ao longo do comprimento da bobina, com variação do grau de intensidade (leve, médio ou forte). A tira com o defeito “BI” ao ser enrolada sob tensão nos equipamentos subsequentes ao *Laminador de Tiras a Quente (LTQ)*, gera uma bobina com um ressalto ou saliência (Figura 10) nas regiões do defeito, significando que há, nessa posição, excesso de material.



Figura 9 – Foto tirada do defeito *Build-up* durante o corte de uma bobina galvanizada

Fonte: CSN (2012)



Figura 10 – Foto tirada do defeito *Build-up* (formato de para-lama de bicicleta) durante o processo de acabamento e inspeção (LACF)

Fonte: CSN (2012)

Essas descontinuidades são reveladas na laminação a Frio e no processo de galvanização, sendo observadas nas regiões das tiras laminadas a quente, correspondente àquela onde se encontravam as citadas descontinuidades nas tiras a frio, havendo existência de piques de espessura no perfil transversal. As ocorrências de “BI” no processo e produto são graves, podendo gerar consequências indesejáveis nos processos subsequentes ao LTQ.

No estudo apresentado, as ocorrências de defeito de forma foram localizadas no produto final, onde, normalmente, são associadas às descontinuidades pontuais (picos) no perfil transversal de espessura da tira laminada a quente. As análises das características das ocorrências nos produtos finais apresentaram:

- Quanto menor a espessura da tira laminada a quente, maior a ocorrência;
- Quanto menor a largura da tira laminada a quente, maior a ocorrência;

- As ocorrências foram mais intensas e frequentes nos produtos finais, ou seja, no processo de galvanização por imersão a quente, quando comparados com os produtos na forma de chapas das bobinas laminados a frio (BFF);
- A largura média das faixas de descontinuidade após a linha de galvanização era de 50 mm;
- O grau de severidade da ocorrência da descontinuidade varia ao longo do comprimento da bobina, e tende a aumentar de grau de intensidade quanto maior for crescendo o diâmetro externo da bobina galvanizada;
- A diferença de espessura entre as regiões com e sem descontinuidade ao longo do perfil transversal do produto zincado ficou evidenciado nas amostras retiradas das bobinas galvanizadas;
- Não foi constatado que essa descontinuidade tem origem na laminação a frio, já que o produto a quente com aplainamento perfeito pode gerar produtos a frio com problemas.

4.1. Descrição do Processo de Laminação onde está ocorrendo o defeito

Baseado nas reclamações dos clientes CSN – Paraná, Electrolux, Eletrofrio e Gelopar,

a gerência de Galvanizados solicitou a área da Qualidade que fosse criado um grupo para estudar as ocorrências e tratar o problema em caráter emergencial, atuando no efeito, com o objetivo de reter todo defeito com intensidade forte na empresa, impedindo sua liberação indevida para os clientes citados; e atuar na causa raiz do problema através, de uma investigação aprofundada nos dados históricos.

A partir das informações fornecidas pela equipe operacional da Galvanização sobre as diversas ocorrências do defeito apresentado nas bobinas zincadas, iniciou-se uma investigação nas matérias-primas (Bobinas Laminadas a Frio) oriundas dos laminadores de tiras a frio 2 e 3. Foram realizados alguns acompanhamentos de processo na linha, objetivando a identificação mais aproximada da causa raiz. O grupo passou a se reunir semanalmente (Vide ata de reunião – Figura 11), no intuito de estudar o problema diretamente nas fontes do LTQ, LTF e na própria Galvanização, definindo ações de bloqueio para evitar problemas e/ou reclamações de clientes recorrentes.

CSN		DUPV - Diretoria da Usina Presidente Vargas	Tipo / Número	Rev
Título:	Relatório de Visita Técnica a CSN / PR; Electrolux; Eletrofrio e Gelopar.		RTC	00
Área:	GRZ, GLP e GLQ.			
Processo:	Linhas de Pintura e Linhas de corte			
Produto:	BZN			
Objetivo:				
<ul style="list-style-type: none"> - Atender reclamações de materiais processados nas LZC's 1, 2 e 3. - CSN - PR: Repuxado Central; Build up; Ferrugem Branca e Rugosidade a Mais; - Electrolux: Acanoamento; Build up; - Eletrofrio: Borra; Vinco e Build up; - Gelopar: Build up 				
Relatório:				
1. Acompanhamento na CSN-PR:				
<ul style="list-style-type: none"> - RC – RNC 057/2009: 0,95 x 1200 mm (Painéis) - 349264 0404 - (10,5 t) <p>Não foi possível fazer uma avaliação correta por falta de disponibilidade nas linhas de corte, mas aparentemente o material está OK, dentro das faixas de liberação e conforme protocolo.</p> <p>Obs. Solicitamos que retornassem novamente para corte com acompanhamento da RQA CSN-PR.</p>				
2. Acompanhamento na Electrolux:				
<ul style="list-style-type: none"> - Reclamação por BI (semana 30) – 0,43 x 700 (Linha branca – Laterais) minimizado (24 t) – lotes 336962 0101; 0201 e 0202 - Reclamação precedente <p>Solicitamos que fosse colocada na máquina a bobina 336962 0201 para inspeção e verificação se o defeito reclamado era Build up ou repuxado central. Constatamos que o defeito apresenta características de BI com várias ondas impossibilitando a utilização pelo cliente - (reclamação precedente)</p> <p>Retiramos amostra para caracterização do perfil do revestimento e espessura para identificação de causa.</p>				
3. Acompanhamento na Eletrofrio:				
<ul style="list-style-type: none"> - Reclamação por BI (semana 29) – 0,50 x 1200 – Minimizado – 342980 0103 e 0104 (15 t) – Reclamação precedente. <p>Inspecionado a bobina 342980 0104 onde constatamos aproximadamente 05 ondas por metro com largura de 8 cm. Verificamos que na região próxima ao final da bobina o defeito apresentava-se mais leve, porém ainda sem condição de uso pelo cliente, pois o mesmo afirma que na confecção dos painéis o defeito fica muito evidente.</p>				

Figura 11 – Ata de Reunião das Reclamações de Clientes por *Build-up*

Fonte: CSN (2009)

Como as matérias-primas dos dois laminadores de tiras a frio estavam apresentando ocorrência do defeito na Galvanização, foram estratificados os dados históricos levantados para avaliar os números, no intuito de verificar alguma correlação com os laminadores que

forneciam essas matérias-primas. Conforme se pode identificar, através de análise dos gráficos obtidos (Figura 12), observa-se que não há relevância entre os dados. Pode-se inferir, portanto, que a origem do defeito esteja em outro equipamento.

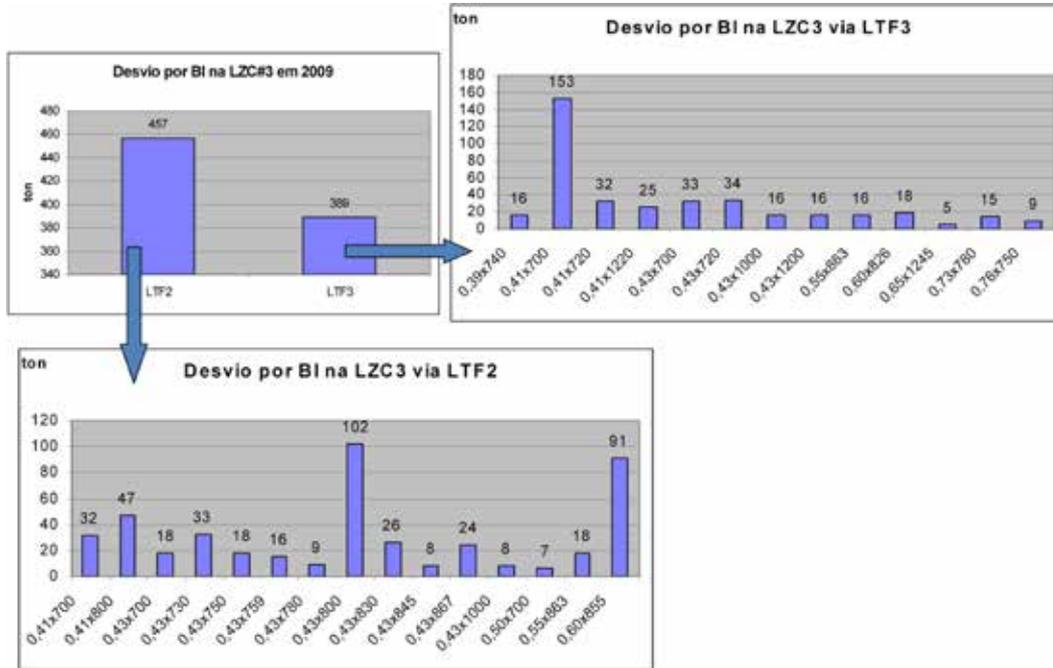


Figura 12 – Ocorrências do defeito distribuído por Laminador de Tiras a Frio
Fonte: CSN (2009)

4.2. Sobre o problema envolvendo o LTQ, LTF e a Galvanização

Como historicamente o defeito *Build-up* possui origem conhecida no laminador de tiras a quente, foi elaborado um diagrama de

Ishikawa, também conhecido como gráfico dos 6M's (**M**edida, **M**atéria Prima, **M**áquina, **M**ei Ambiente, **M**étodo e **M**ão de Obra) com as principais variáveis de processo do LTQ (Figura 13) que poderiam estar influenciando na geração do defeito na Galvanização.

Ishikawa - Laminador de Tiras a Quente

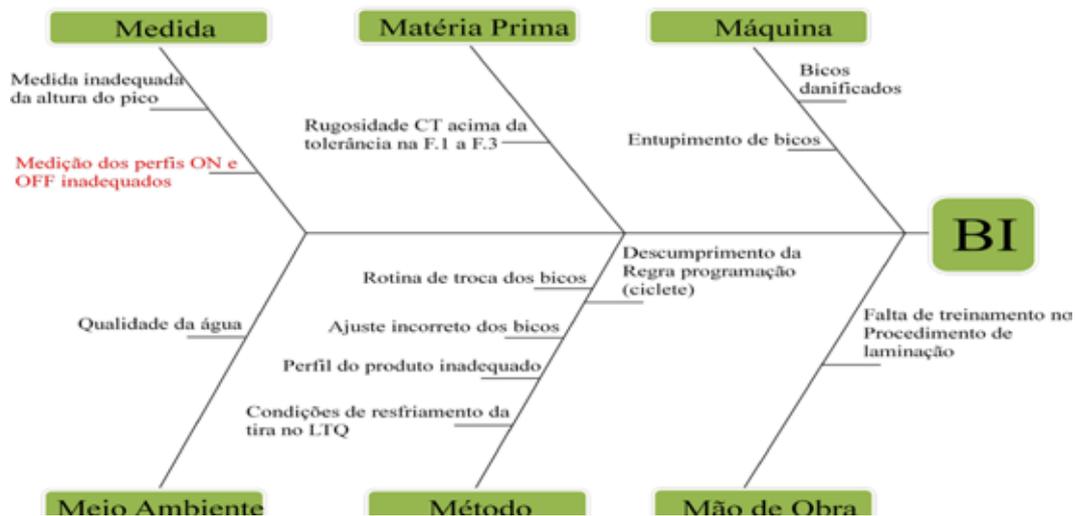


Figura 25 – Diagrama de *Ishikawa* das variáveis de processo do Laminador de Tiras a Quente

A partir das variáveis apresentadas no gráfico, foi realizada análise da carta de perfil de laminação a quente de uma bobina reclamada pela operação da Galvanização (Figura 14), na qual ficou evidenciado que o perfil estava correto, ou seja, dentro dos parâmetros estabelecidos pelo padrão de processo. O resultado da análise da carta de perfil apresentada (Bobina Laminada a Quente) mostra, no eixo vertical, a espessura do material e, no eixo horizontal, a largura, formando a curva obtida no material a analisado. Então, partiu-se para análise do perfil de uma bobina laminada a frio pelo LTF, com objetivo de buscar respostas para o defeito reclamado pelo processo de galvanização e

pelos clientes externos da CSN. Na Figura 15 é apresentado um diagrama de Ishikawa com as principais variáveis de processo controladas em um Laminador de Tiras a Frio. Estudou-se as variáveis do LTF, em função da matéria prima a BFH abastecer diretamente o processo de Galvanização, equipamento que estava apresentando o defeito, retendo todo material com o defeito de intensidade leve, média e forte na bobina zincada. Por esse motivo, antes de explorar o processo da Galvanização em si, foram analisados os dados de uma bobina laminada a frio apresentando o defeito (formato de para-lama de bicicleta) na bobina zincada, ou seja, com aplicação de revestimento de zinco.



Figura 14 – Carta de perfil de uma bobina, que apresentou o defeito
Fonte: CSN (2009)

Ishikawa - Laminador de Tiras a Frio

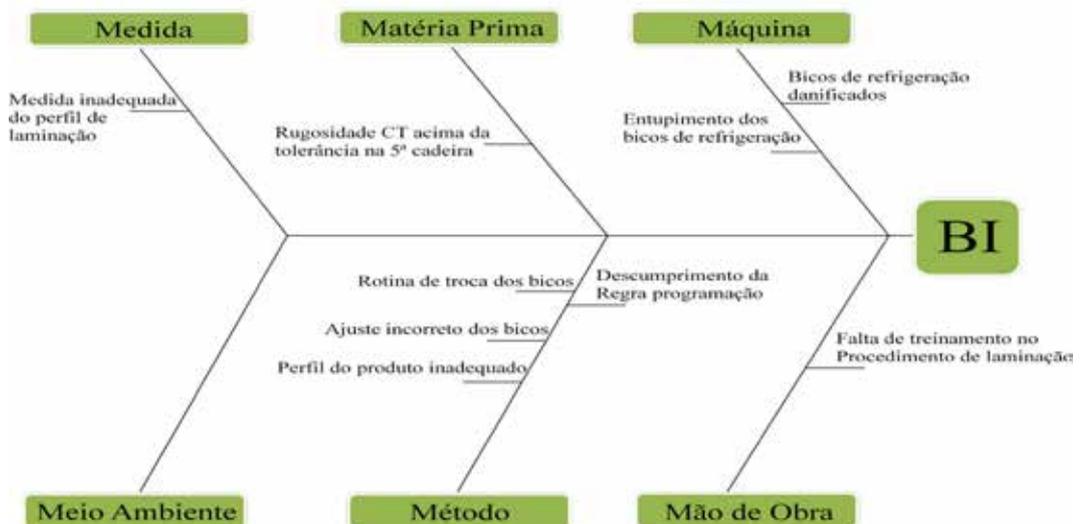


Figura 15 – Diagrama de Ishikawa das variáveis de processo do Laminador de Tiras a Frio

Através da análise do diagrama de Ishikawa do Laminador de Tiras a Frio, antes de aprofundar nas variáveis de processo apresentadas no diagrama, o grupo avaliou uma carta de perfil de uma bobina reclamada pela Galvanização (Figura 16) e, a partir dessa análise, constatou que os valores de processo estão conforme os padrões estabelecidos para o material. Dessa forma, o grupo iniciou a análise do processo dentro da própria linha

de zincagem (Galvanização), local onde originou as reclamações internas dos produtos BZN, o que motivou a formação do grupo para tratar do problema, em detrimento do número elevado de ocorrências registradas pela inspeção de qualidade da linha (em torno de 2.000 t de material colocado em Qualidade / RDQ), aguardando avaliação na Linha de Acabamento de Bobinas (LACF).

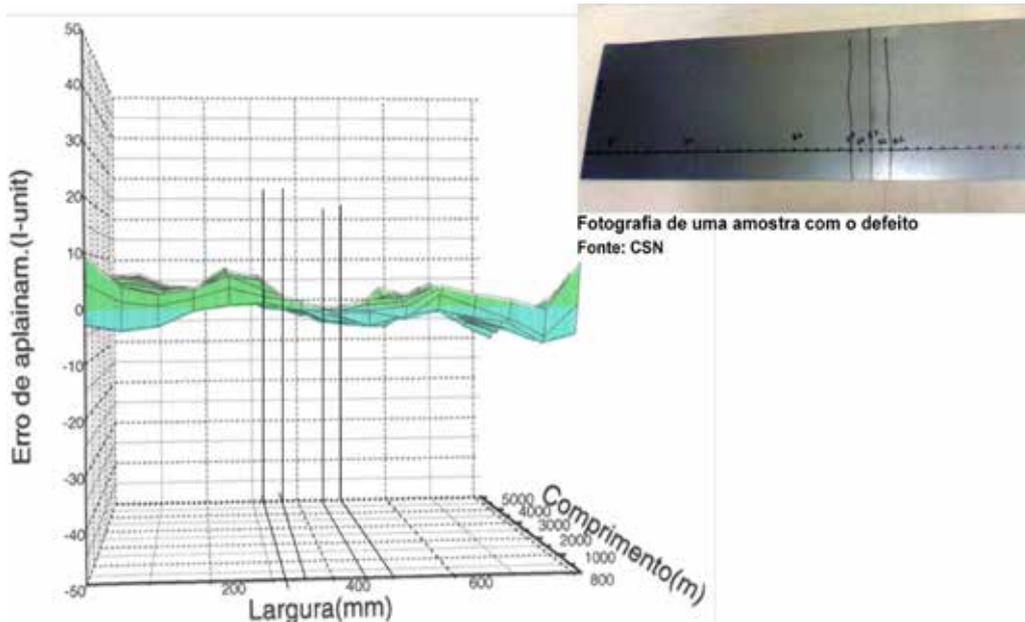


Figura 16 – Carta de perfil a frio de uma bobina comparada com uma amostra com o defeito
Fonte: CSN (2009)

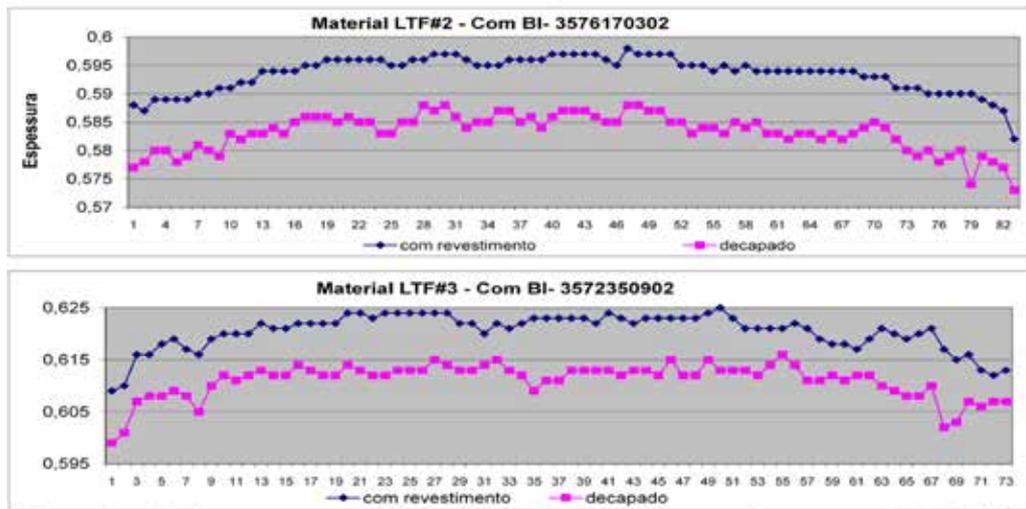
Gerou-se novo gráfico de Ishikawa (Figura 17) com as variáveis de processo dentro da própria linha de zincagem (Galvanização). Analisando-se as principais variáveis de processo na linha de zincagem, foi inicialmente analisado o perfil de revestimento aplicado nos materiais outrora reclamados, no senti-

do de investigar possíveis irregularidades na aplicação do revestimento de zinco (massa por m²/face). Os gráficos obtidos nessa análise mostraram que não há correlação entre o metal base e o excesso de massa de revestimento aplicado em ambas as faces do material reclamado, conforme mostra a Figura 18.



Figura 17 – Diagrama de Ishikawa das variáveis de processo da Linha de Galvanização

Perfil de Espessura



Gráficos de perfis de espessura com e sem revestimento de zinco em uma chapa apresentando Build-up (BI)

Figura 18 – Gráficos de perfis de espessura com e sem revestimento de zinco em uma chapa com o defeito

Foi iniciada outra pesquisa de análise da camada de revestimento, dessa vez, em escala microscópica, através da utilização do equipamento com maior precisão, chamado de *MEV* – *Microscópio Eletrônico de Varredura*, existente no Centro de Pesquisas da CSN, objetivando uma análise mais profunda da região afetada pelo defeito reclamado. Como pode ser observado na

Figura 19, o resultado do MEV mostrou uma irregularidade no perfil de revestimento aplicado no material reclamado. Tanto a face inferior quanto a face superior do material apresenta um desnível de aplicação no perfil de revestimento, indicando uma possível irregularidade no conjunto de navalhas, utilizado durante o processo do material reclamado na linha de zincagem.

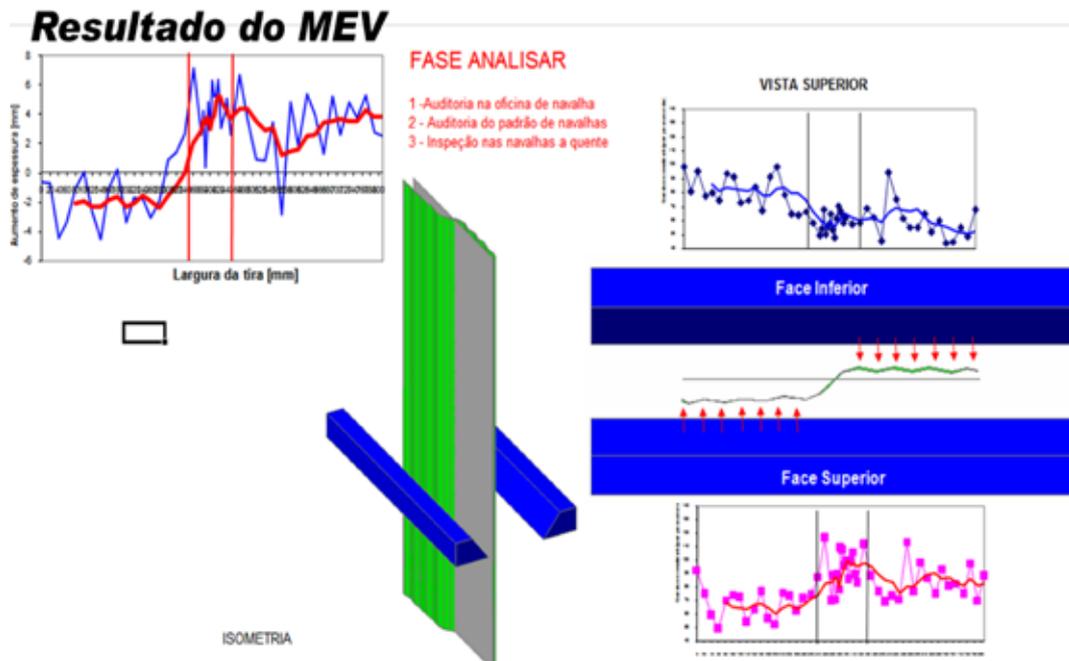


Figura 19 – Resultado do perfil de revestimento obtido através da análise do MEV do Centro de Pesquisa

Fonte: CSN (2009)

Coube ainda uma investigação no equipamento conhecido como *Navalha de Ar*, que tem como principal função, controlar o peso de revestimento aplicado na tira de aço que sobe no pote de zinco (sai da cuba de zinco) a uma temperatura em torno de 465 °C. Foram realizadas três (3) auditorias na oficina das navalhas e durante a troca das mesmas, em frente ao pote, nas quais, foram detectadas algumas irregularidades no tocante às montagens das navalhas. A partir dessa constatação, foi solicitado à Manutenção

e Operação da linha que efetuassem as devidas correções nessas irregularidades.

Após a correção dos itens não conformes encontrados nas navalhas, foram realizados novos ensaios de revestimento nos materiais, e não foi encontrada nenhuma irregularidade no perfil de revestimento. Foi solicitado às equipes de operação que realizassem a padronização das alterações necessárias para corrigir as irregularidades. Posteriormente foi aplicado o plano de ação 5W 1H na linha de zincagem contínua (Figura 20).

O QUE (WHAT)	POR QUE (WHY)	QUEM (WHO)	QUANDO (WHEN)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)
Revisar o padrão de inspeção	Garantir a não ocorrência de EI	Téc. de Qualidade	Imediato	Escri. Padronização	Elaborando melhorias
Implantar rastreabilidade das navalhas	Controlar a vida útil das navalhas	Eng*Mecânico	Imediato	Operação	Implantando planilha
Auditar a rastreabilidade das navalhas	Garantir o cumprimento do padrão	Téc. de Qualidade	Semanalmente	Na área	Durante auditorias
Padronizar a inspeção das navalhas na oficina	Controlar a vida útil das navalhas	Eng*Mecânico	Imediato	Na oficina	Elaborando melhorias
Realizar inspeção das navalhas na oficina	Garantir a perfeita troca das navalhas	Eng*Mecânico	Semanalmente	Na oficina	Conforme padrão
Revisar os desenhos das navalhas de ar	Melhoria contínua	Eng*Mecânico	30 dias	Escri. Padronização	Conforme projeto
Revisar o Padrão de manutenção das navalhas de ar	Garantir o perfeito funcionamento	Eng*Mecânico	30 dias	Escri. Padronização	Elaborando melhorias
Verificar o GAP a quente das navalhas	Garantir a não ocorrência de EI	Inspeção Mecânico	A cada troca	Na linha	Medindo com apalpador
Realizar inspeção de 2 bobinas por enroladeira na LACF	Garantir a retenção do material	Téc. de Qualidade	Todo início de turno	Na LACF	Realizando inspeção
Implantar o uso da pedra alemã pela inspeção na LZC	Para facilitar a visualização do defeito	Eng*Operação	Imediato	Na inspeção	Revisando padrão
Troca imediata das navalhas de ar quando ocorrer o defeito	Para evitar novas ocorrências	Supervisor Op.	Aparecer o defeito	Na linha	Parando a linha
Realizar acompanhamento de processo	Garantir o cumprimento das ações	Eng*Qualidade	Semanalmente	Na linha	In loco na linha
Realizar visita aos clientes	Questão de sobrevivência	Eng*Qualidade	Na Reclamação	No cliente	Programando visita

Figura 20 – Plano de Ação formato 5W 1H, implementado na Linha de Galvanização

5. Resultados preliminares da aplicação do DMAIC

A metodologia DMAIC, aplicada ao estudo das ocorrências registradas, contribuiu para organizar os dados ao longo do tempo e facilitou a análise do problema através da aplicação de ferramentas da Qualidade e ferramentas estatísticas. A Figura 21 mostrou que o processo na linha de Galvanização estava necessitando de melhorias. Nesse equipamento foi detecta-

da a causa raiz do problema gerado, ou seja, um aumento no valor de *Overcoat* (excesso de zinco aplicado na superfície das chapas revestidas, além do valor especificado, pago pelo cliente). Isso ocorreu devido aos problemas de manutenção pendentes nas navalhas de ar, detectados também durante as auditorias de *check list* realizadas na oficina das navalhas e durante a troca de navalhas em frente ao pote (cuba de zinco) da linha de Galvanização.

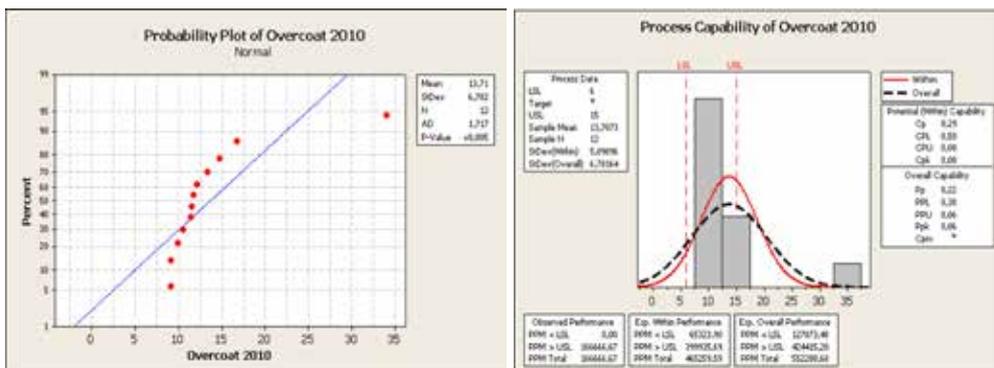


Figura 20 – Resultado do Teste de Normalidade (Anderson Darling) e de Capabilidade (Cp, Cpk) com dados do Overcoat.

Fonte: Cálculo estatístico realizado pelos autores, obtido através do MINITAB (Versão 16)

Observou-se também que, ao final de toda análise estatística empregada através da metodologia *DMAIC - Six Sigma*, avaliando os dados das ocorrências com embasamento teórico e técnico, o defeito reclamado pelos clientes apresentou excesso de massa de zinco na região do defeito em relação ao restante do material, conforme ensaios de perfil de revestimento e Microscopia (MEV), realizados no laboratório do Centro de Pesquisa. As áreas envolvidas na cadeia produtiva conheceram a causa raiz das ocorrências de “BI”, culminando com a atualização do plano de ação das ações corretivas, que correspondem à aplicação do ciclo *PDCA*, objetivando a garantia das ações de melhoria a serem implementadas, de forma a evitar novas ocorrências. Essa garantia se dará através do *check list* implementado nas rotinas da manutenção e operação.

Conforme pode ser observado nos gráficos estatísticos obtidos após a implantação das melhorias propostas no processo da Linha de Galvanização, os resultados foram satisfatórios tanto no gráfico de análise dos dados de normalidade *Anderson Darling* (Figura 21), quanto no gráfico de capacidade de processo *Cp* e *Cpk* (Figura 22). Além do valor de Sigma em PPM Total obtido (redução de 552.000 PPM em 2010 para 24.400 PPM em 2011), houve uma redução significativa do desnível do perfil de revestimento aplicado nos materiais, contribuindo com a redução no consumo de zinco. Portanto, a redução do *overcoat* aplicado nas chapas zincadas irá eventualmente impactar na lucratividade da empresa.

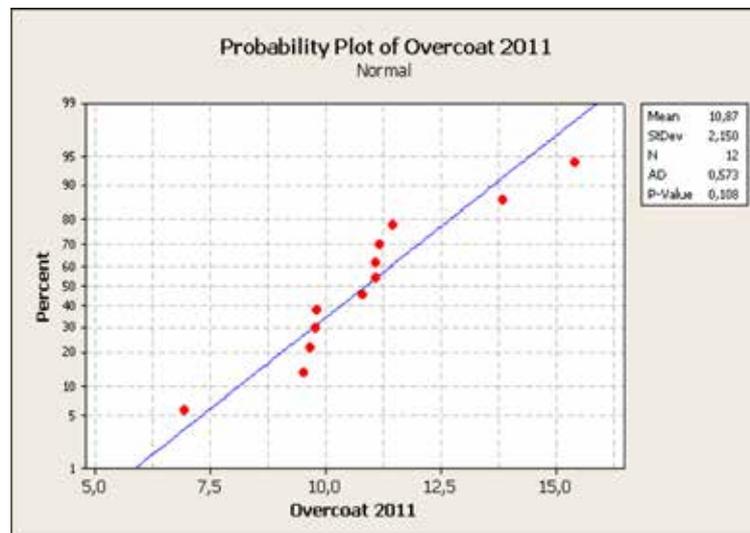


Figura 21 –Teste de Normalidade (Anderson Darling) do Overcoat de 2011

Fonte: Cálculo estatístico realizado pelos autores, obtido através do MINITAB (Versão 16)

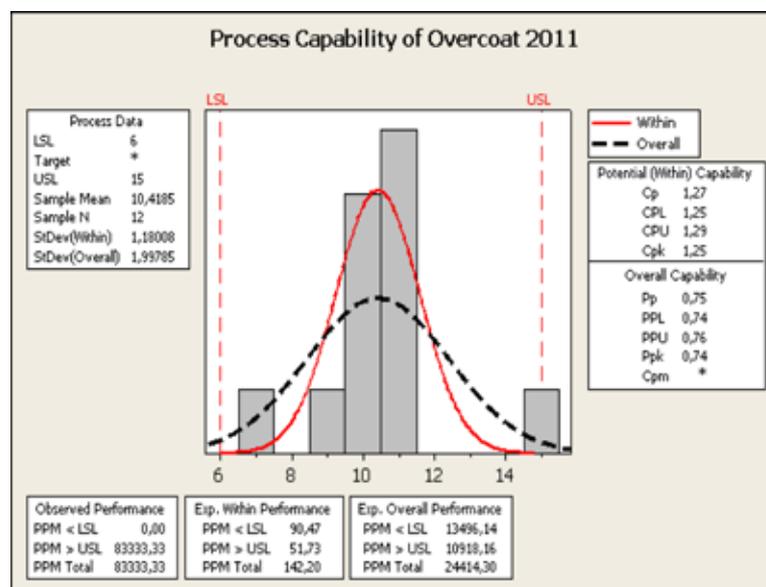


Figura 21 –Teste de Capacidade (Cp, Cpk) com dados do Overcoat de 2011

Fonte: Cálculo estatístico realizado pelos autores, obtido através do MINITAB

6. Conclusão

O trabalho possibilitou resultados reais relacionados a um problema na produção de aços planos, mais especificação no processo de laminação. Os resultados da aplicação da metodologia foram efetivamente implementados nessa parte do processo produtivo e mostraram-se bem promissores. Isso pode ser comprovado estatisticamente através dos gráficos de *Teste de Normalidade (Anderson Darling)* e *Capabilidade de Processo (Cpk)*. Além disso, os depoimentos das equipes operacionais e de qualidade também atestam esses resultados satisfatórios. E por último, mas não menos importante, os clientes agradeceram à empresa CSN pela qualidade do material recebido e não houve mais reclamações acerca dos materiais fornecidos. Esses resultados e repercussões corroboraram a proposta inicial do estudo e confirmaram a validade de aplicação da metodologia *DMAIC*.

7. Referências Bibliográficas

ARAÚJO, Luiz Antônio de. **Manual de siderurgia**. São Paulo: Arte & Ciência, 1997. v.1 e 2.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos / logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre, 2007.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da qualidade total no estilo japonês**. 2. ed. São Paulo: Bloch, 1992,

CARVALHO, Wailton de, **Curso de especialização em engenharia da qualidade – Lean Six Sigma**. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2008.

GAMA, Maria Cecília Fontainha de Almeida. Sávio Gama: **Fatos que contam a sua história** / Maria Cecília Fontainha de Almeida Gama – Volta Redonda: Editora FOA, 2013.

MARTINS, Leandro Oliveira, **Introdução ao processo de laminação de aços planos**. Curso de Laminação aplicado em 2001 na CSN.

SANTOS, Marcello S., **Apostila ferramentas para gerenciamento de projetos**. Curso de Administração UNIFOA, 2012.

40º SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO. **Processos e produtos laminados e revestidos**. Vitória ES: ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2003.

39º SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO. **Processos e produtos laminados e revestidos**. Ouro Preto MG: ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002.

SLACK, Nigel; STUART, Chambers; ROBERT, Johnston. Trad. CORRÊA, Henrique Luiz. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

WERKEMA, C., **Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do lean manufacturing**, São Paulo: Elsevier, 2012.

WISNER, Alain. **Por dentro do trabalho ergonomia: método & técnica**. São Paulo: FTD / Oboré, 1987.