

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Sustentabilidade e Gestão do
Ambiente Construído

Rogério de Souza Barros

DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADES EM PERFIS
LAMINADOS DE ABAS PARALELAS POR ENSAIO
DE ULTRASSOM: UM ESTUDO DE CASO.

Belo Horizonte,
2019

ROGERIO DE SOUZA BARROS

**DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADES EM PERFIS
LAMINADOS DE ABAS PARALELAS POR ENSAIO
DE ULTRASSOM: UM ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Paula Bamberg

Belo Horizonte,

2019

FICHA CATALOGRÁFICA



B277d	<p>Barros, Rogério de Souza. Detecção de descontinuidades em perfis de abas paralelas por ensaio de ultrassom [recurso eletrônico] : um estudo de caso / Rogério de Souza Barros. – 2019. 1 recurso online (49 f. : il., color.) : pdf.</p> <p> Orientadora: Paula Bamberg.</p> <p>"Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais"</p> <p>Bibliografia: f. 48-49. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Construção civil. 2. Materiais laminados. 3. Ultrassom. I. Bamberg, Paula. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 69</p>
-------	---

Ficha catalográfica: Biblioteca Prof.º Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG

ATA DE DEFESA

CEPGAC

Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção
Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: ROGERIO DE SOUZA BARROS

MATRÍCULA: 2017720580

RESULTADO

Aos 12 dias do mês de agosto de 2019 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADES EM PERFIS LAMINADOS DE ABAS PARALELAS POR ENSAIO DE ULTRASSOM: UM ESTUDO DE CASO"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 3,5

CONCEITO: A

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Paula Bamberg

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUIDO"

Belo Horizonte, 12 de agosto de 2019

Coordenador do Curso

Prof. Adriano de Paula e Silva
Coordenador do Curso

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha querida família, em especial minha Mãe que sempre me apoiou.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma vitória.

Aos colegas do curso pela amizade e conversas que foram de grande colaboração para este trabalho.

Aos professores do Sustentabilidade e Gestão do Ambiente Construído, pela competência.

*Jamais desista de ser feliz, pois a vida é um
obstáculo imperdível, ainda que se apresentem
dezenas de fatores a demonstrarem o contrário.
Pedras no caminho?
Guardo todas, um dia vou construir um castelo . . .*

Fernando Pessoa

RESUMO

Esse trabalho apresenta e discute um procedimento de inspeção e detecção de descontinuidade e ou trinca interna na junção aba e alma em perfis laminados de aba paralelas através de um ensaio de ultrassom, oriundas do processo de fabricação na etapa de desempenho após o resfriamento dos perfis, a partir de um estudo de caso, visando a melhoria da qualidade e o controle do processo produtivo dos perfis. Utilizou-se o método de análise e solução de problemas (MASP) para detecção da não conformidade no produto e criação da proposta de controle do processo de produção e da qualidade dos perfis.

Palavras-chave: Trinca interna, perfis laminados, abas paralelas, ultrassom.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia MASP.	19
Figura 2 - <i>Beam Blank</i>	21
Figura 3 - Processo de Laminação X-H	21
Figura 4 - Processo de Laminação de Perfis.....	22
Figura 5 - Representação dos conjuntos de rolos desempenadores	23
Figura 6 - Representação do efeito abre e fecha nos perfis.....	24
Figura 7 - Campo de audibilidade das Vibrações Mecânicas.....	27
Figura 8 - Representação Ensaio de Ultrassom.....	28
Figura 9 - Descontinuidade no processo de soldagem.	30
Figura 10 - Ensaio Radiográfico	31
Figura 11 - Tela aparelho de ultrassom com indicação de descontinuidade	31
Figura 12 - Representação de ondas longitudinais.	32
Figura 13 - Representação de ondas transversal.....	33
Figura 14 - Representação de um transdutor vertical.	35
Figura 15 - Demonstração de ensaio por contato direto.	36
Figura 16 - Representação da técnica com transdutor Angular.	36
Figura 17 - Visão de uma macrografia.	39
Figura 18 - Representação da trinca interna.	40
Figura 19 - Bloco V1.....	43
Figura 20 - Bloco V2.....	44
Figura 21 - Desenho representativo da área a ser limpa.	45
Figura 22 - Deslocamento do Cabeçote.....	46
Figura 23 - Dados referentes aos ensaios de tração.....	47
Figura 24 - Localização de descontinuidade.	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	METODOLOGIA	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1	Produção e melhoria	16
4.2	Produção e produtividade	16
4.3	Melhoria na produção	17
4.3.1	MELHORIA NA PRODUÇÃO ATRAVÉS DO MASP.....	18
4.4	Produção de perfis laminados de abas paralelas.....	20
4.4.1	Processos de laminação de perfis	20
4.4.2	Processos de acabamento de perfis laminados	23
4.4.3	Vantagens dos perfis laminados.....	25
4.5	Ensaio de ultrassom.....	26
4.5.1	Conceitos.....	26
4.5.2	Finalidade do ensaio.....	28
4.5.3	Vantagens do ensaio de ultrassom em relação a outros ensaios.....	29
4.5.4	Inconvenientes do ensaio de ultrassom em relação a outros ensaios...	29
4.5.5	Tipo de ondas	32
4.5.6	Onda longitudinal.....	32
4.5.7	Transdutores.....	33
4.5.7.1	Transdutores Normais.....	34
4.5.7.2	Transdutores Angulares	34
4.5.8	Impedância acústica	35
4.5.9	Método de ensaio de ultrassom.....	36
5	AVALIAÇÃO DE DESCONTINUIDADES EM PERFIS LAMINADOS DE ABAS PARALELAS	37
5.1.1	Metodologia de Identificação das Causas do problema	38
5.1.2	Identificação do Problema	38
5.1.3	Observação do problema	38
5.1.4	Análise.....	39

5.1.5	Plano de ação.....	41
5.1.6	Ação	41
5.1.7	Verificação.....	42
5.2	Procedimento para detecção de trincas internas em perfis laminados por ultrassom	42
5.2.1	Procedimento para calibragem do equipamento de ultrassom para detecção de trincas	43
5.2.2	Preparação da superfície e varredura para detecção de trincas	44
5.3	Aprovação ou rejeição	46
6	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Os Perfis laminados de aba paralelas, são obtidos de um processo de laminação a quente, tendo como matéria prima blocos de aços pré-moldados oriundos de lingotamento convencional ou contínuo.

Após a aquisição dos blocos de aço, os mesmos são aquecidos em um forno de reaquecimento, antes de serem processados por conjuntos de cilindros de aço, que através da conformação mecânica, os transforma em perfis laminados de abas paralelas, que são posteriormente subdivididos conforme demanda de vendas.

Nesses processos de fabricação e de resfriamento, as barras de perfis sofrem empenos, oriundos ao processo de laminação e do resfriamento desigual, havendo a necessidade das barras de perfis serem tratadas (desempenadas).

O processo de desempenho, trabalha com os perfis a frio, promovendo deformações plásticas, tendo como objetivo a retirada total ou parcial dos empenos até que se enquadre dentro de parâmetros especificados por normas que podem variar de acordo com a bitola dos perfis (altura), comprimento e cliente.

Durante o processo de desempenho pode ocorrer a ruptura e, ou trincas internas e o que compromete todo o processo de produção em função deste é que se faz necessário buscar o entendimento sobre o processo.

A preocupação dos gestores das áreas de produção e acabamento de perfis com os custos, a qualidade e competitividade no mercado os leva a propor soluções mais eficazes na produção de perfis, de forma a buscar a estabilização do processo de desempenho, a garantia da qualidade, maior quantidade de material disponível para vendas e o atendimento de entrega em menor tempo aos clientes.

Sob esta ótica, este trabalho busca identificar a origem da ruptura e descontinuidades internas por intermédio de uma avaliação nos ajustes dos componentes mecânicos que realizam os esforços que promovem as deformações plásticas para o desempenho assim como as possíveis adequações nas dimensões dos perfis, descrevendo e mapeando as não conformidades encontradas além de propor experimentos no equipamento e processo.

A realização de testes de tração, dobramento e análise de descontinuidade interna (macrografia) em laboratório servem para avaliar o impacto que a trinca e, ou descontinuidade promove a uma viga em sua aplicação estrutural, com o objetivo de propor uma condição limite de referência para operação garantindo, assim, a

produção da planta com qualidade e potencializando o atendimento a meta dos indicadores.

Para o desenvolvimento do procedimento operacional e de inspeção que garanta ao processo de desempenho de perfis a estabilidade e possibilidade de intervenção de imediato no surgimento de trincas e, ou descontinuidade, faz-se necessário analisar e tratar as falhas mais relevantes a fim de se evitar e/ou sanar o surgimento de trincas e/ou descontinuidades internas. A utilização de uma ferramenta da qualidade tal como o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) torna-se um ponto de partida para a eficiência e eficácia.

2 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados os objetivos geral e específicos deste trabalho.

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar o procedimento de inspeção nos perfis laminados de abas paralelas em sua junção de aba e alma por meio de ensaio de ultrassom, visando a melhoria da qualidade e o controle do processo produtivo em empresa produtora de perfis.

2.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Caracterizar produção, processo produtivo e melhoria na produção;
- Caracterizar a melhoria através do Método de Análise e Solução de Problemas;
- Apresentar estudo sobre ensaio de ultrassom;
- Apresentar uma análise de procedimento de detecção de descontinuidades internas em perfil laminado do tipo abas paralelas, na junção aba e alma.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada pesquisa explicativa com a realização de um estudo de caso em uma usina siderúrgica. Foi realizada revisão bibliográfica a respeito de produção, produtividade e melhoria na produção, com destaque para o Método de Análise e Solução de Problemas - MASP. Foi estudado o ensaio de ultrassom, apresentados conceitos, finalidade do ensaio, vantagens e desvantagens da utilização deste.

Em seguida é apresentado o estudo de caso em uma empresa produtora de perfis laminados a quente, especificamente na área de laminação e acabamento onde foi evidenciado o aparecimento de rupturas e trincas na junção aba e alma dos perfis no processo de desempenho, gerando impacto que causa perda de qualidade, baixa produtividade, custo elevado e atrasos na entrega.

Mediante a detecção da presença de trincas e descontinuidades internas nos perfis laminados de abas paralelas, o estudo de caso apresenta metodologia adotada para solucionar o problema, as etapas e os resultados obtidos durante o trabalho.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica descrita na metodologia deste trabalho (item 3) será apresentada nos itens 4.1 a 4.5.

4.1 Produção e melhoria

Para Russomano (2000), a produção constitui-se num processo organizado que utiliza insumos, transformando-os em bens ou executando serviços, mas que ambos se apresentem dentro dos padrões de qualidade e preço, além de terem uma procura efetiva.

Chase, Jacobs e Aquilano (2006), por sua vez, afirmam que a produção consiste na utilização de recursos para a transformação de entradas em alguma saída desejada. Por entradas, pode-se entender matérias-primas, um cliente ou um produto acabado de outro sistema.

Shingo (1996) afirma que os processos de produção podem ser melhorados de duas formas: a primeira consiste na melhoria do produto em si por meio da Engenharia de Valor e a segunda, na melhoria dos métodos de fabricação que se dá pela engenharia de produção. Nesse sentido, a questão que se coloca é “Como a fabricação de um produto pode ser melhorada?”

4.2 Produção e produtividade

A produção se constitui como uma rede de processos e operações, sendo o processo a transformação de matéria-prima em produto acabado, por meio de uma série de operações, já produtividade é a razão entre a quantidade de bens e serviços produzidos e da quantidade de recursos utilizados, um processo, ainda conforme Shingo (1996),

(...) visualizado como o fluxo de materiais no tempo e no espaço; é a transformação da matéria-prima em componente semiacabado e daí a produto acabado. Por seu turno, as operações podem ser visualizadas como o trabalho realizado para efetivar essa transformação – a interação do fluxo de equipamento e operadores no tempo e no espaço (SHINGO, 1996, p.42).

4.3 Melhoria na produção

A produtividade se constitui na capacidade de produzir ou a capacidade em que se dá a produção. Ela é medida pela relação entre os resultados obtidos pela produção e os recursos produtivos, como peças/hora-máquina. O aumento da produtividade pode ser obtido por meio do capital e, ou do trabalho. Na capacidade de produzir, o aumento de produtividade é conseguido através da aquisição de máquinas e de equipamentos mais produtivos. Na capacidade em que se dá a produção, o aumento é conseguido por meio de técnicas de estudo de métodos de trabalho, que permitem mais produção em menos tempo. (CONTADOR, 1997 *apud* CORRÊA, 2008).

Ainda para estes autores, as maneiras para se alcançar o aumento da produtividade são:

- A) Eliminação de atividades desnecessárias;
- B) Aumento da eficiência do trabalho;
- C) Eliminação da duplicidade de trabalho;
- D) Simplificação ao máximo de trabalho;
- E) Redução das paralisações (tempo de espera) das máquinas, equipamentos e mão de obra;
- F) Diminuição dos riscos de acidentes e da fadiga no desempenho do trabalho;
- G) Eliminação dos desperdícios, como de energia, de tempo, de material, etc.

Segundo Corrêa (2008), por muito tempo – e até hoje em alguns casos – acreditou-se que a qualidade resultava em diminuição do índice de produtividade do processo de produção. Entretanto, Edwards Deming (estatístico e consultor norte-americano) que introduziu no Japão, em 1950, o conceito de qualidade e produtividade, afirma que tal crença tem origem na visão de qualidade por inspeção e não qualidade centrada no processo.

Também Shingo (1996), sobre a melhoria das funções da produção, afirma que a divisão do trabalho demonstra um fluxo de dois eixos: o fluxo ao longo do eixo Y representa as mudanças que ocorrem no material quando é trabalhado, isto é, o objeto da produção. Já o fluxo ao longo do eixo X representa as operações executadas por trabalhadores e máquinas na matéria-prima, isto é, o sujeito da produção.

Os eixos X e Y são ortogonais e os fenômenos representados por eles devem ser óbvios. Desta forma, as pessoas começaram a se preocupar com as operações,

estáticas e ignoraram (ou não reconheceram) o processo contínuo de toda a área de produção. Assim, as operações e os processos foram identificados pelas pessoas como acontecendo no mesmo eixo, ou seja,

(...) quando as atividades de produção eram analisadas com utilização de grandes unidades de análise, estas unidades de análise eram “processo”; quando as atividades de produção eram analisadas com utilização de pequenas unidades de análise, estas unidades eram “operações”. Penso que as pessoas acreditavam que, ao melhorarem as operações, naturalmente o processo também melhoraria (SHINGO, 1996, p.98).

Entretanto, quando se muda o foco de atenção de melhorias somente em operações para melhorias nos processos, obtêm-se melhores resultados.

Nesse sentido, o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) constitui-se como um método prescritivo, racional, estruturado e sistemático para o desenvolvimento de um processo de melhoria na empresa, buscando a solução de problemas e a obtenção de resultados otimizados (BAZERMAN, 2004).

4.3.1 Melhoria na Produção através do MASP

Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), de origem japonesa, é um método ordenado, apresentado em etapas por passos e subpassos definidos para a escolha de um problema, a análise de suas causas, a determinação e o planejamento de um conjunto de ações que visem à solução, verificação do resultado da solução e realimentação do processo para a melhoria contínua do aprendizado, podendo assim aplicar em ciclos posteriores (BAZERMAN, 2004).

Para Bazerman (2004), a solução de um problema é um processo que obedece a uma sequência que deve ser lógica que se inicia na identificação do problema, passando pela análise e fechando o ciclo com a tomada de decisão, e fazendo girar o PDCA onde suas siglas representam as seguintes etapas:

P - planejar;

D - desenvolver;

C - checar;

A - agir/atuar.

As seqüências do MASP podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1 - Metodologia MASP.

PDCA	FLUXO	ETAPA	OBJETIVO
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vistas.
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais.
	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
D	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais.
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	?	(Bloqueio foi efetivo?)	
A	7	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	8	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro.

Fonte: MATTOS; SELIG (1998).

Conforme Mattos (1998), a metodologia MASP é dividida em oitos etapas:

1. Identificação do problema, etapa em que é definida de forma sucinta e objetiva o problema sem que seja pontuada as possíveis causas;
2. Observação, etapa com foco na investigação nas características específicas do problema sempre objetivando a uma visão e sob diferentes pontos de vista;
3. Análise, prioridade na descoberta das causas fundamentais do problema.
4. Plano de ação como concepção de um plano de ação que visa ao bloqueio das causas do problema.
5. Ação, configura como o bloqueio das causas fundamentais do problema.
6. Verificação, etapa que verifica os bloqueios das causas fundamentais para que o problema não ocorra novamente.
7. Padronização é a prevenção contra o reaparecimento do problema através

de procedimentos padrão que deverá ser utilizado por todas as pessoas que realizam a atividade descrita pelo mesmo.

8. Conclusão, em que se recapitula o processo de solução do problema completamente para trabalhos futuros.

Com a utilização correta das etapas do MASP, há uma maior probabilidade de que a causa do problema seja corretamente identificada, bloqueada e corrigida.

4.4 Produção de perfis laminados de abas paralelas

O processo de laminação e acabamento de perfis laminados de abas paralelas é dividido em subprocessos, todos com sua importância e características distintas. O entendimento macro de todo o processo é fundamental para o desenvolvimento do desse trabalho.

4.4.1 Processos de laminação de perfis

Para Almeida (2009) os perfis são obtidos a partir da laminação de blocos de aço que são oriundos de lingotamento convencional ou contínuo e de blocos pré-moldados em formato denominado *beam blank*, conhecido também por osso de cachorro devido sua forma geométrica, observado na Figura 2.

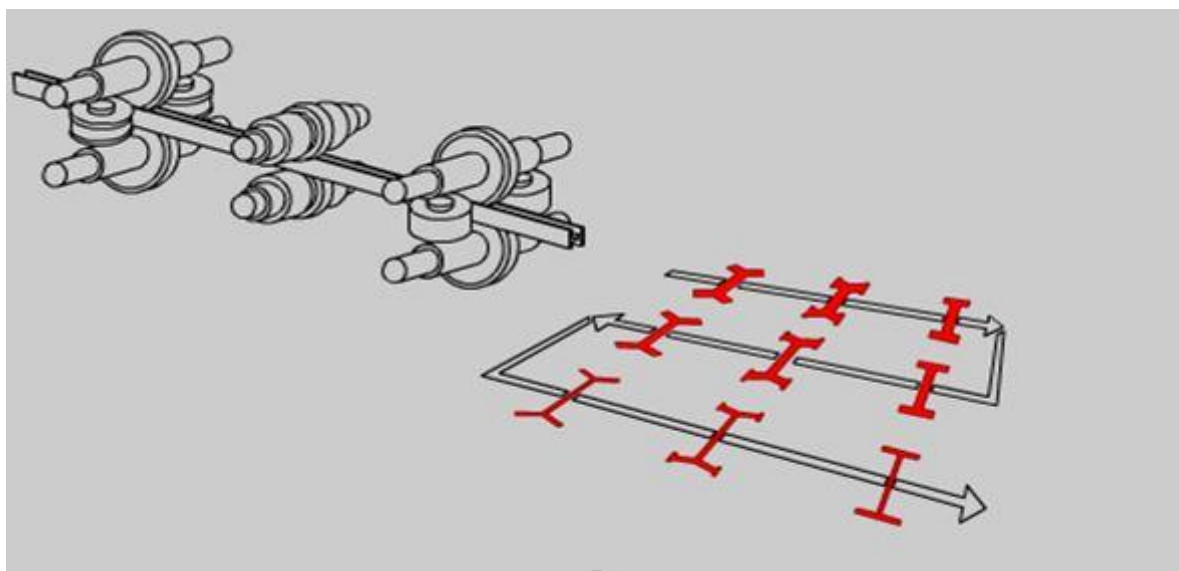
Inicialmente, o bloco pré-moldado é depositado em um forno de reaquecimento sendo aquecido, processado nos laminadores podendo variar dependendo da planta (processo de fabricação), e acaba por ganhar sua forma final por meio de uma sucessão de passes feitos em cilindros conformadores conhecidos também como cadeiras. Esse processo de laminação é denominado "X-H" em virtude da forma que o material vai adquirindo durante os passos de laminação. O laminador universal produz perfis estruturais de abas paralelas, atendendo às normas de qualidade como Euro Norma, ASTM A6, IRANINT e AMBT. Após a laminação das vigas, as mesmas são cortadas a quente pois acabaram de ser laminados no tamanho de 6 e 12 metros ou múltiplos, podendo variar de acordo com o plano de produção. Os perfis cortados são enviados para o processo de acabamento.

Figura 2 - *Beam Blank*

Fonte: Google imagens

A Figura 3 apresenta o processo de laminação X-H, utilizado na fabricação dos perfis (ALMEIDA, 2009.)

Figura 3 - Processo de Laminação X-H



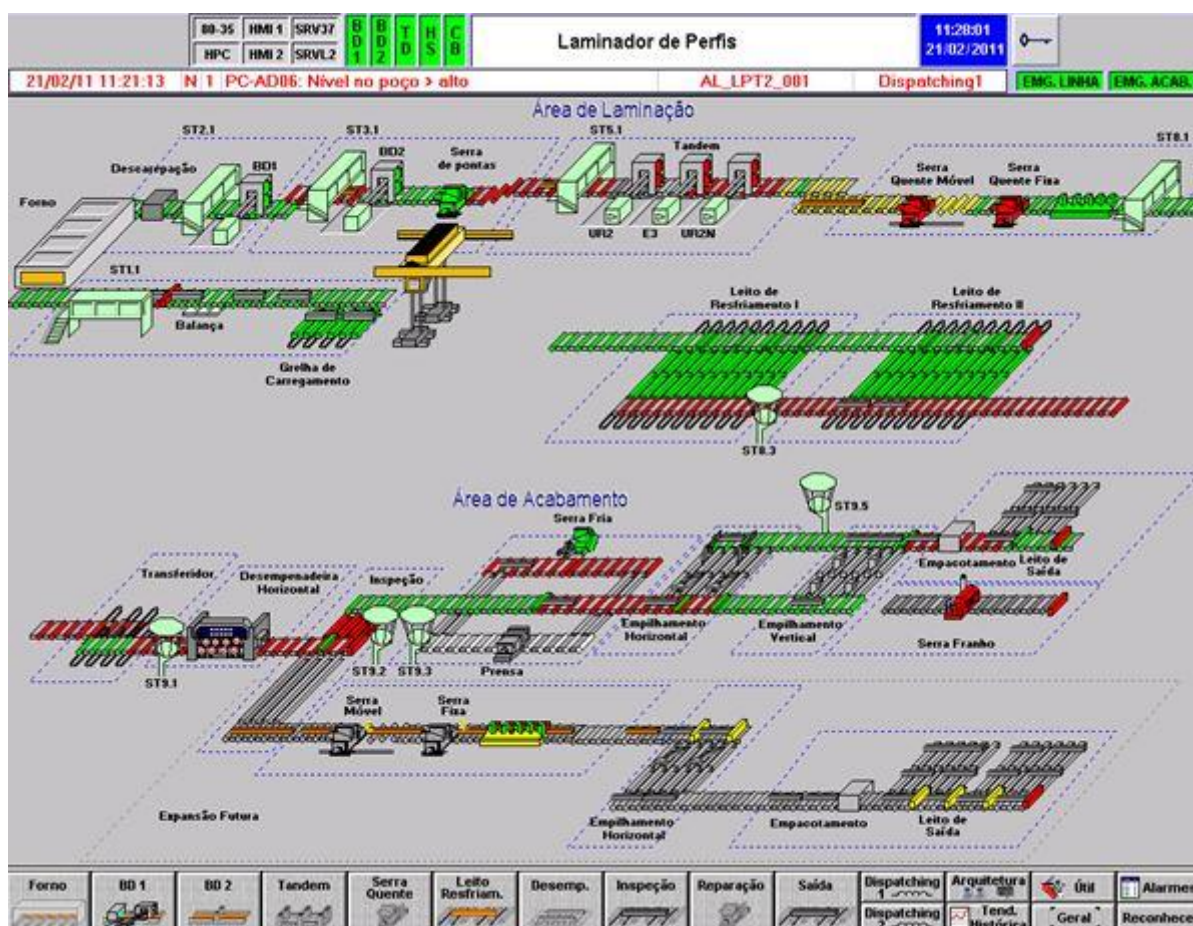
Fonte: ALMEIDA (2009).

A conformação mecânica desse processo consiste em modificar a seção transversal de um material passando entre cilindros, submetendo-o a tensões

compressivas elevadas, resultantes da ação de prensagem dos rolos para conformação e forma e a tensões cisalhantes superficiais, resultantes do atrito entre os rolos e o material, forças responsáveis por puxar. Nesse processo, é importante que suas variáveis de controle sejam rigorosamente controladas, visando garantir as dimensões estabelecidas em normas assim como a qualidade superficial, forma e a qualidade interna (ALMEIDA, 2009.)

A laminação e acabamento podem ser divididos em subprocessos, cada qual com suas características e finalidades distintas, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Processo de Laminação de Perfis



Fonte: ALMEIDA (2009).

4.4.2 Processos de acabamento de perfis laminados

De acordo com Souza e Oliveira (2011), o processo de acabamento de perfis consiste no recebimento dos perfis após o processo de laminação e corte a quente e é dividido em subprocessos podendo variar de acordo com cada planta (processo produtivo). No entanto, normalmente esse processo é composto pela seguinte configuração:

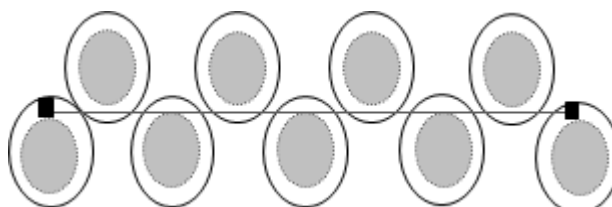
A) Leito de resfriamento

Após o processo de laminação e corte a quente, os perfis são enviados para o leito de resfriamento onde sofrem resfriamentos não forçados até que a temperatura fique abaixo de 100°C. Ainda no leito do resfriamento todos os perfis são inspecionados e recebem identificação contendo informações pertinentes do produto. Os que apresentarem alguma não conformidade são identificados de acordo com a padronização de cada planta e enviados para processos subsequentes de acordo com o defeito.

B) Desempenadeira

A desempenadeira é um equipamento composto por 9 rolos de desempenho conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Representação dos conjuntos de rolos desempenadores



Fonte: autor.

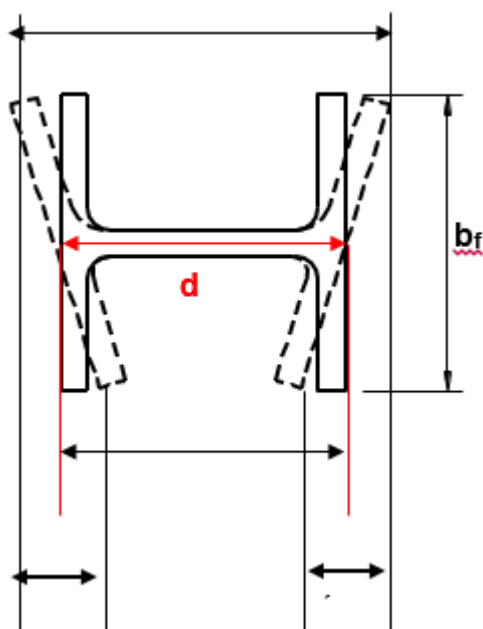
Contando, também, com mais dois rolos guias responsáveis por direcionar os materiais na entrada e saída do equipamento, configuração essa que pode sofrer alguma alteração de acordo com cada planta (processo de laminação). Os nove rolos de desempenho são divididos em três conjuntos, cada um composto por 3 rolos, tendo o diâmetro e largura ajustados conforme campanha do material (bitola do perfil) a ser produzido. O primeiro conjunto de rolos terá a aplicação das maiores tensões, que será responsável por provocar um empeno em toda a barra, sendo retirado nos dois conjuntos subsequentes.

Os esforços aplicados nesse processo trabalham na zona plástica para obtenção dos resultados esperados, Esse processo é considerado crítico, necessitando de um alto controle de suas variáveis, reduzindo, assim o potencial do surgimento de defeitos de forma e trincas internas, que podem comprometer a resistência do material.

Durante o processo de montagem dos rolos desempenadores, é importante que todos os parâmetros de controle sejam rigorosamente seguidos, tais como: diâmetro, largura do conjunto e raio de canto dos rolos estejam dentro do especificado para campanha (bitola), a não observância potencializa de forma negativa o excesso de esforço na junção aba e alma com probabilidade do surgimento de trincas e até mesmo rompimento da junção. A .

apresenta em detalhe o processo de desempenho no qual o dimensional dos perfis e, ou a largura do conjunto de rolos, estavam fora da especificação, causando o efeito de abrir e fechar as abas dos perfis, nesse caso a folga que deveria existir entre os rolos e a parte interna da aba dos perfis, não atenderam a especificação de no mínimo 3 mm folga entre eles.

Figura 6 - Representação do efeito abre e fecha nos perfis.



Fonte: autor.

C) Leito de inspeção

Após o processo de desempenho os perfis são reinspecionados tanto na qualidade do desempenho, quanto na qualidade interna da junção aba e alma.

D) Prensa hidráulica

Processo responsável por eliminar o empeno no sentido aba, os quais não são retirados na desempenadeira, por ter como característica trabalhar no sentido alma dos perfis.

E) Banca de Recondicionamento

Processo no qual os defeitos de superfície são retirados através do processo de esmerilhamento que constitui a retirada da não conformidade através de lixadeiras com discos abrasivos.

F) Serra a frio

O perfil ao qual o defeito não pode ser retirado por esmerilhamento, é cortado na serra a frio para remoção e enquadrado para faixa especificada na ordem de produção do cliente.

G) Empilhamento

Nesse processo, os perfis são empilhados de acordo com padrões de cada empresa formando assim os feixes de perfis, também muito conhecido como *pacotes*.

H) Cintadeira

Processo responsável por amarrar os feixes de perfis e identificá-los. Após essa etapa, os perfis são enviados para a área da logística onde são despachados.

4.4.3 Vantagens dos perfis laminados

As vantagens dos perfis estruturais laminados são: a) preços competitivos; b) pronta entrega em aço ASTM A 572 Grau 50 (aço carbono micro ligado de alta resistência mecânica) predominante no mercado interno, no comprimento padrão de 12 metros para todas as bitolas, ou de 6 metros para as bitolas até 310 mm; c) variedade de bitolas de 150 a 610mm (6 a 24 polegadas); d) material certificado e com garantia de qualidade; e) características e série definidas de bitolas que proporcionam flexibilidade no cálculo estrutural e no dimensionamento das estruturas; f) cortes em tamanhos especiais entre 6 e 24 metros (sob consulta); g) produzidos em aço especial como o COR 500 , o A131 e o A992. (ALMEIDA, 2009).

Para Almeida (2009), os perfis estruturais podem ser utilizados, entre outros, para:

- Construção civil e outros:
- Edifícios de andares múltiplos (comerciais e residenciais);
- Edifícios garagem;
- Hotéis e hospitais;
- Universidades e escolas;
- Mezaninos;
- Estádios e ginásios;
- Metrô (infraestrutura e estações);
- Pontes, viadutos e passarelas;
- Fundações e contenções.
- Indústria:
- Galpões;
- Estrutura de suporte de máquinas e equipamentos;
- Plataformas marítimas;
- Indústria naval;
- Refinarias e instalações industriais;
- Balanças;
- Pontes rolantes e monovias;
- Máquinas agrícolas;
- Chassis de veículos.

4.5 Ensaio de ultrassom

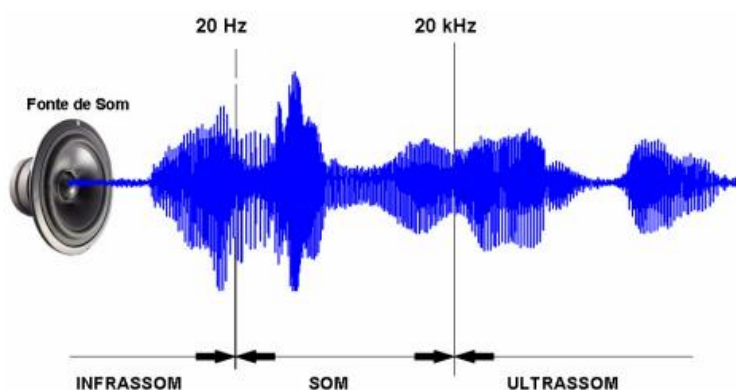
Entender os conceitos e os elementos que compõem um ensaio de ultrassom é importante para o desenvolvimento do trabalho. Os autores Andreucci (2014) e SIMONSEN (2011), descrevem de forma clara e objetiva a ciência que compõem esse ensaio.

4.5.1 Conceitos

Para Simonsen (2011) não são todos os sons que podem ser percebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência deste, mas por caracterizarem vibrações com frequências muito baixas, até 20Hz (infrassom) ou com frequências

muito altas acima de 20 kHz (ultrassom) ambas inaudíveis, conforme Figura 7, onde pode-se observar o campo de audibilidade das Vibrações Mecânicas.

Figura 7 - Campo de audibilidade das Vibrações Mecânicas



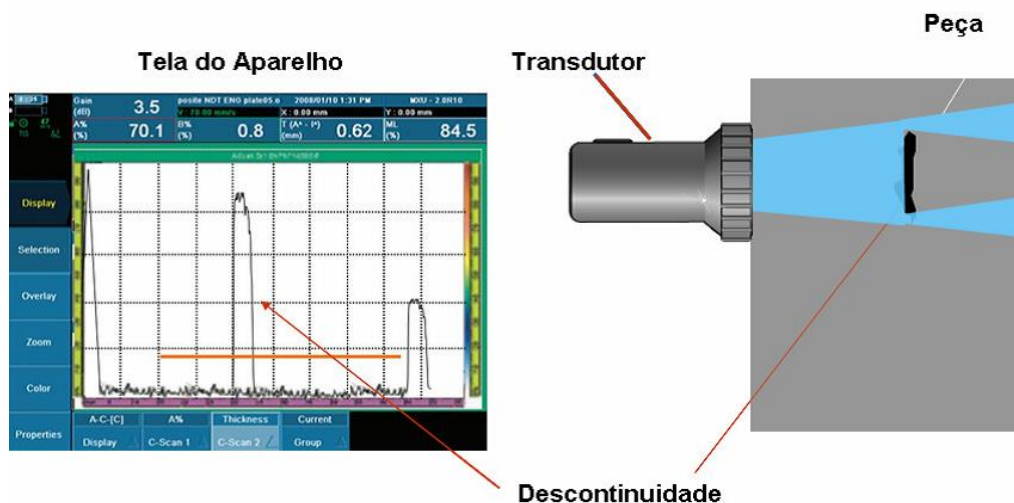
Fonte: (SIMONSEN,2011).

O ensaio por ultrassom é definido como um método de ensaio não destrutivo, por se tratar de um ensaio no qual a peça ou objeto a ser reinspecionado não necessita ser danificada ou inutilizada, tendo como finalidade principal a detecção de descontinuidades e, ou defeitos internos em uma variedade de tipos de materiais. Os sons produzidos são refletidos e reverberam em um ambiente qualquer, nas peças que consistem em o mesmo, com capacidade de ser transmitidos a outros ambientes. Fenômenos como este, apesar de simples e serem frequentes na vida cotidiana das pessoas, constituem os fundamentos do ensaio ultrassônico de materiais. Já se ouviu muitas histórias que no passado, os testes de eixos ferroviários, ou sinos, eram realizados através de testes com martelo, em que o som, produzido pela peça (timbre), denunciava a presença de rachaduras ou trincas grosseiras pelo som característico, sendo necessário uma boa acuidade auditiva para tal percepção. Assim, como uma onda sonora, reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica ao percorrer um meio elástico, que pode ser um metal, plástico, concreto, dentre outros, refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna neste meio considerado. (ANDREUCCI, 2002).

Na Figura 8, é apresentada a detecção de uma descontinuidade com a utilização de um transdutor de onda longitudinal que, ao realizar o ensaio, emite um feixe sônico, efetuando uma varredura na região examinada, ao encontrar uma descontinuidade de qualquer natureza, o feixe sônico é refletido e captado pelo

transdutor, representando na tela na tela do aparelho, informando o comprimento e amplitude da onda que deverão ser interpretados por profissionais qualificados.

Figura 8 - Representação Ensaio de Ultrassom



Fonte: ANDREUCCI, 2002.

4.5.2 Finalidade do ensaio

Conforme Andreucci (2014), o ensaio por ultrassom é um método de ensaio não-destrutivo não havendo a necessidade de deformação ou inutilização do objeto ou peça em inspeção, com a finalidade de detectar descontinuidades e/ou defeitos internos em diversos tipos de materiais.

Para Simonsen, (2011), o fundamento do ensaio de ultrassom consiste na emissão de um feixe de ondas acústicas no material sob exame e captação do feixe emitido após interação com o material. A utilização de ondas, longitudinais é mais frequente por apresentar uma velocidade de propagação aproximadamente duas vezes maior do que as ondas transversais.

(...) O ultrassom é um tipo de onda acústica situada na faixa de 0,5 MHz a 25 MHz. O pulso ultrassônico é gerado e transmitido através de um transdutor especial, encostado ou acoplado ao material. Eles são refletidos por uma descontinuidade ou pela superfície oposta da peça, são captados pelo transdutor, convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela LCD ou em um tubo de raios catódicos (TRC) do aparelho. As dimensões reais de um defeito interno podem ser estimadas com uma razoável precisão, fornecendo meios para que a peça ou componente em questão possa ser aceito ou rejeitado, baseando-se em critérios de aceitação da norma aplicável. Utiliza-se ultrassom também para medir espessura e determinar corrosão com extrema facilidade e precisão (SIMONSE, 2011, p156).

São inúmeras as aplicações do ensaio de ultrassom: soldas, laminados, fundidos, ferrosos e não ferrosos, ligas metálicas, concreto, vidro, borracha, materiais compostos, todos podem ser analisado por ultrassom. As indústrias de base (usinas siderúrgicas) e de transformação (mecânicas pesadas), automobilística, transporte marítimo, ferroviário, rodoviário, aéreo e aeroespacial também utilizam o ultrassom, e não só na indústria, a primeira imagem de um feto humano é obtida por ultrassom (SIMONSE, 2011).

4.5.3 Vantagens do ensaio de ultrassom em relação a outros ensaios

Para Andreucci (2014), a metodologia de ensaio por ultrassom possui alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades internas, por exemplo: trincas devido a tratamento térmico, fissuras e outros de difícil detecção por ensaio de radiações penetrantes (radiografia ou gamagrafia);

A interpretação das indicações é imediata, dispensando assim processos intermediários;

No caso de radiografia ou gamagrafia, existe a necessidade de processos intermediários como a revelação do filme, aumentando a demanda tempo para obtenção dos resultados. Diferentemente dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio ultrassônico não necessita planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação.

A localização, avaliação do tamanho e interpretação das descontinuidades encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultrassônico, enquanto os outros exames não definem tais fatores. Segundo Andreucci (2014) “um defeito mostrado num filme radiográfico define o tamanho, mas não sua profundidade e em muitos casos este é um fator importante para proceder um reparo”.

4.5.4 Inconvenientes do ensaio de ultrassom em relação a outros ensaios

Para Simonsen (2011) nenhum método de ensaio não destrutivo pode ser considerado o mais completo, pois cada um possui limitações e convenientes e fazem com que aplicação de cada ensaio seja objeto de análise e estudo da viabilidade de sua utilização, em conjunto com os Códigos e Normas de fabricação.

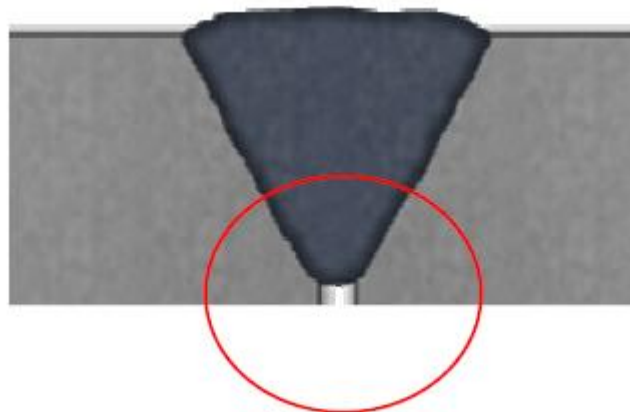
Para Andreucci (2002) algum dos inconvenientes do ensaio de ultrassom são:

- Requer um amplo conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor ao realizar o ensaio;
- O registro permanente do ensaio não é facilmente obtido, pois normalmente é manual e não computadorizado;
- Faixas de espessuras apresentam-se como dificuldade para aplicação do método;
- A superfície precisa ser preparada para aplicação. Em casos de inspeção de solda, existe a necessidade da remoção total do reforço da solda, demandando um maior tempo.

Existe a concorrência direta entre o ensaio de ultrassom e radiográfico em razão de ambos detectarem descontinuidades internas nos materiais. Entretanto, a imagem radiográfica das descontinuidades apresentadas no material é sempre mais confiável e fácil de ser interpretada quando comparados à indicação mostrada na tela do aparelho de ultrassom, que nem sempre é possível afirmar com certeza o tipo da descontinuidade detectada e, por esta razão, alguns códigos de construção priorizam o ensaio radiográfico em detrimento do ultrassom (ANDREUCCI, 2002).

A Figura 9 apresenta uma descontinuidade em uma solda, onde a mesma foi submetida ao ensaio de ultrassom e radiográfico.

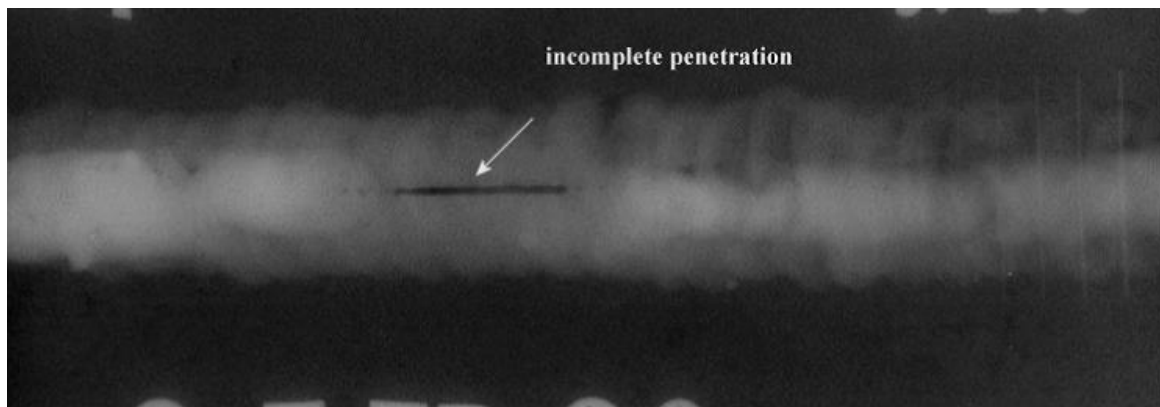
Figura 9 - Descontinuidade no processo de soldagem.



Fonte: ANDREUCCI (2002).

Na Figura 10, nota-se facilmente a descontinuidade da solda na imagem radiográfica, minimizando assim possíveis dúvidas do defeito em questão.

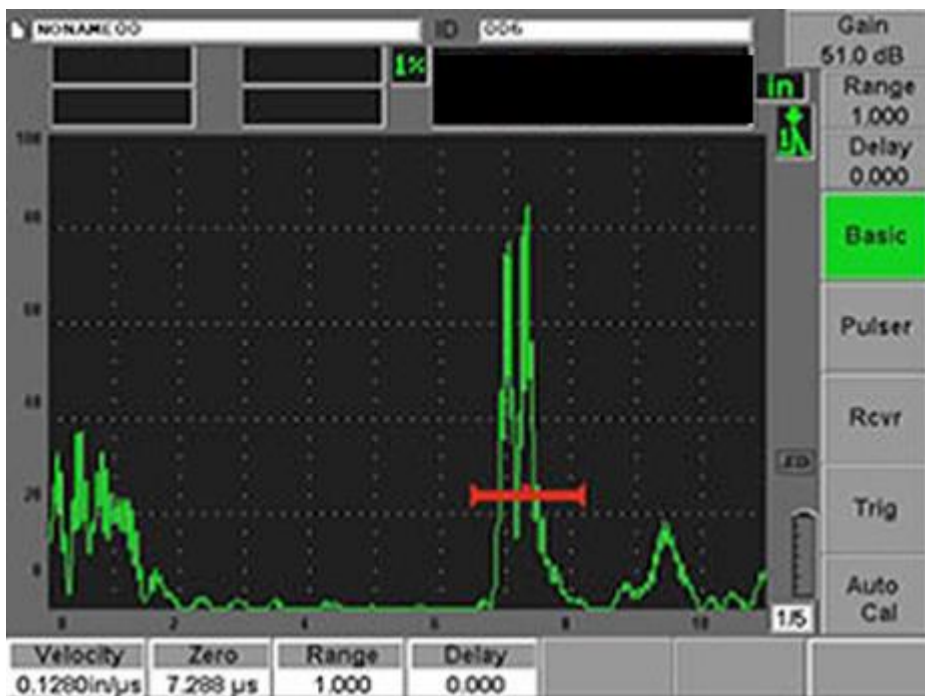
Figura 10 - Ensaio Radiográfico



Fonte: ANDREUCCI, 2002.

Submetendo a mesma peça da Figura 8 ao ensaio de ultrassom, o resultado é apresentando na tela do aparelho de uma forma mais complexa, conforme pode ser observado na Figura 9. Em ambos os resultados, o defeito é o mesmo, sendo cada ensaio com sua peculiaridade distinta, cabendo ao profissional avaliar qual o melhor método a ser utilizado.

Figura 11 - Tela aparelho de ultrassom com indicação de descontinuidade



Fonte: (ANDREUCCI, 2002)

4.5.5 Tipo de ondas

O ensaio de ultrassom tem como princípio o uso de ondas mecânicas ou acústicas propagadas no meio a ser inspecionado ao contrário da técnica radiográfica, que usa ondas eletromagnéticas ou radiação ionizante.

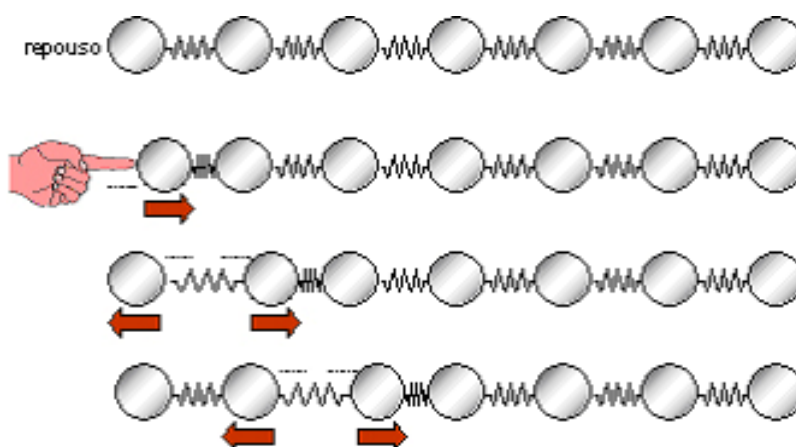
A onda mecânica é composta de oscilações de partículas discretas no meio em que se propaga, sendo assim:

(...) A passagem de energia acústica no meio faz com que as partículas que compõem o mesmo, executem o movimento de oscilação em torno da posição de equilíbrio, cuja amplitude do movimento será diminuída com o tempo em decorrência da perda de energia adquirida pela onda. Se assumirmos que o meio em estudo é elástico, ou seja que as partículas que o compõem rigidamente ligadas, mas que podem oscilar em qualquer direção ANDREUCCI (2014, p.176).

4.5.6 Onda longitudinal

Ondas longitudinais, também conhecidas como ondas de compressão devido ao efeito elástico em sua movimentação, são ondas cujas partículas oscilam na direção de propagação da onda, podendo ser transmitidas a sólidos, líquidos e gases. A Figura 12 mostra de forma ilustrativa o movimento das ondas longitudinais onde é possível notar que o primeiro plano de partículas vibra e transfere sua energia cinética para os próximos planos de partículas que passam a oscilar. Desta maneira, todo o meio elástico vibra na mesma direção de propagação da onda (longitudinal), e aparecerão zonas de compressão e zonas diluídas. As distâncias entre duas zonas de compressão determinam o comprimento de onda. (ANDREUCCI, 2002).

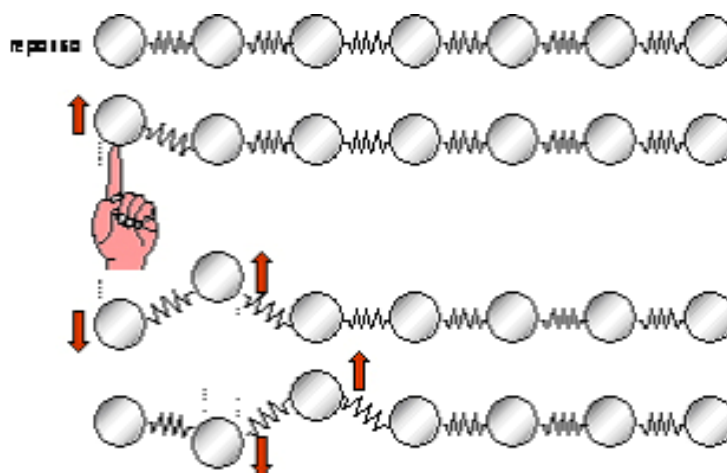
Figura 12 - Representação de ondas longitudinais.



Fonte: SIMONSEN, 2011.

Onda transversal é definida quando as partículas do meio vibram na direção perpendicular ao de propagação. Neste caso, observa-se que os planos de partículas, mantêm-se na mesma distância um do outro, movendo-se apenas verticalmente, conforme pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Representação de ondas transversal.



Fonte: (SIMONSEN, 2011).

As partículas oscilam na direção transversal a direção de propagação, podendo ser transmitidas somente a sólidos. As ondas transversais são praticamente incapazes de se propagarem nos líquidos e gases pela característica das ligações entre partículas, destes meios. O comprimento de onda é a distância entre dois “vales” ou dois “picos”. (ANDREUCCI, 2002).

4.5.7 Transdutores

De acordo com Simonsen (2011), o transdutor é também conhecido como *cabeçote*, sendo todo dispositivo que converte um tipo e energia em outra. No ensaio de ultrassom, os transdutores são necessários para converter energia elétrica em energia mecânica de vibração (ultrassom) e vice-versa.

Ainda conforme Simonsen (2011), existem diversas variedades de transdutores para atender as diversas aplicações, sendo subdivididos em duas categorias: quanto ao ângulo de emissão e, ou recepção do ultrassom e quanto à função (emissor e, ou receptor ou emissor e receptor). Quanto ao ângulo de emissão /recepção do ultrassom os transdutores podem ser:

- Transdutores normais;
- Transdutores angulares.

4.5.7.1 Transdutores Normais

Denomina-se transdutores normais os cabeçotes monocristais geradores de ondas longitudinais normais a superfície de acoplamento.

Conforme Andreucci (2014) os transdutores normais são construídos a partir de um cristal piezelétrico colado num bloco rígido denominado amortecedor e sua parte livre protegida por uma membrana de borracha ou uma resina especial. O bloco amortecedor tem função de servir de apoio para o cristal e absorver as ondas emitidas pela face colada a ele.

O transdutor emite um impulso (onda) ultrassônico que atravessa o material a inspecionar e reflete nas interfaces, originando o que chamamos ecos. Estes ecos retornam ao transdutor e gera, no mesmo, o sinal elétrico correspondente.

(...) a face de contato do transdutor com a peça deve ser protegida contra desgastes mecânico podendo utilizar membranas de borracha finas e resistentes ou camadas fixas de epox enriquecido com óxido de alumínio. Em geral os transdutores normais são circulares, com diâmetros de 5 a 24 mm, com frequência de 0,5; 1; 2; 2,5; 5 e 6 MHz. Outros diâmetros e frequências existem, porém para aplicações especiais (ANDREUCCI, 2014, p.89)

O transdutor normal tem sua maior utilização na inspeção de peças com superfícies paralelas ou quando se deseja detectar descontinuidade na direção perpendicular à superfície da peça a ser inspecionada, podendo o diâmetro do transdutor variar dependendo a aplicação (ANDREUCCI, 2014)

De acordo com Andreucci (2002), em relação à funcionalidade, há a possibilidade do transdutor ser subdividido em:

- Monocristal: possui apenas um cristal piezelétrico. Há três modalidades: Só emissor de ondas ultrassônicas;
- Só receptor de ondas ultrassônicas (nesse caso ele deve trabalhar junto com o emissor de ondas ultrassônicas);
- Emissor e receptor de ondas ultrassônicas (o mesmo cristal emite e recebe os ecos ultrassônicos de maneira sincronizada).

4.5.7.2 Transdutores Angulares

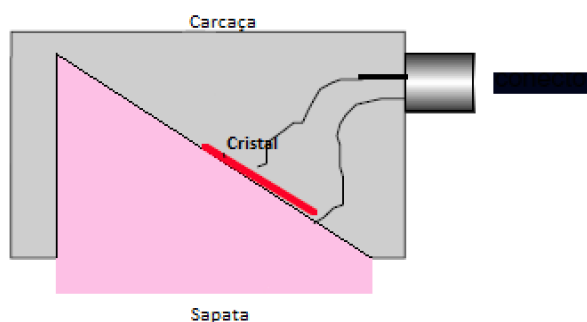
Conforme Simonsen (2011), o que difere entre transdutores angulares dos retos ou normais é o fato de o cristal formar um determinado ângulo com a superfície do material conforme Figura 14.

(...) O ângulo é obtido, inserindo uma cunha de plástico entre o cristal piezelétrico e a superfície. A cunha pode ser fixa, sendo então englobada pela carcaça ou intercambiável. Neste último caso temos um transdutor normal que é preso com parafusos que fixam a cunha à carcaça. Como na prática operamos normalmente com diversos ângulos (35, 45, 60, 70 e 80 graus) esta solução é mais econômica já que um único transdutor com várias cunhas é de custo inferior, porém necessitam de maiores cuidados no manuseio impulsos (ANDREUCCI, 2014)

O ângulo nominal, sob o qual o feixe ultrassônico penetra no material vale somente para inspeção de peças em aço; se o material for outro, deve-se calcular o ângulo real de penetração. A mudança do ângulo deve se à mudança de velocidade no meio.

O cristal piezelétrico com dimensões que podem variar entre 8 x 9 mm até 15 x 20mm, somente recebe ondas ou impulsos ultrassônicos que penetram na cunha em uma direção paralela à de emissão, em sentido contrário. A cunha de plástico funciona como amortecedor para o cristal piezelétrico, após a emissão dos impulsos (ANDREUCCI, 2014.):

Figura 14 - Representação de um transdutor vertical.



Fonte: (SIMONSEN, 2011).

O transdutor angular é muito utilizado na inspeção de soldas, quando a descontinuidade, está orientada perpendicularmente à superfície.

4.5.8 Impedância acústica

Ao se acoplar o transdutor sobre a peça a ser inspecionada, imediatamente estabelece-se uma camada de ar entre a sapata do transdutor e a superfície da peça. Esta camada de ar impede que as vibrações mecânicas produzidas pelo transdutor se propaguem para a peça em razão das características acústicas (impedância acústica) muito diferente do material a inspecionar.

A impedância acústica "Z" é definida como sendo o produto da densidade do meio (ρ) pela velocidade de propagação neste meio (V), ($Z = \rho \times V$) e representa a

quantidade de energia acústica que reflete e transmite para o meio (material em inspeção) (SIMONSEN, 2011).

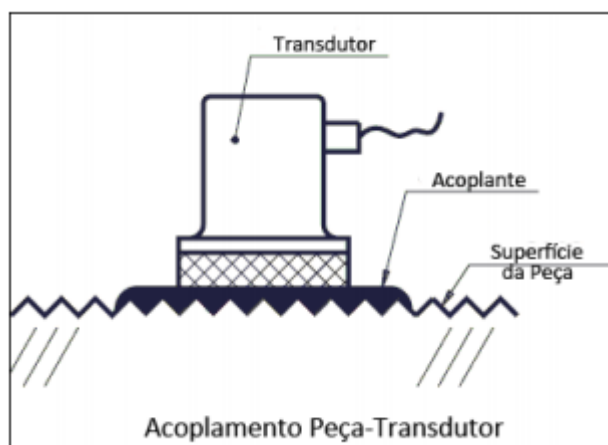
4.5.9 Método de ensaio de ultrassom

De acordo com Simonsen (2011), o acoplamento utilizado no ensaio por ultrassom pode ser classificado em dois grupos:

- Grupo 1: ensaio por contato direto: o acoplante é colocado em pequena quantidade formando uma camada fina (película) entre a peça e o cabeçote.
- Grupo 2: ensaio por imersão: a peça e o cabeçote são mergulhados em um líquido, geralmente água, obtendo-se um acoplamento perfeito. A aplicação deste método requer a construção de dispositivos adaptados ao tipo de peça a ensaiar.

A Figura 15 representa um ensaio por contato direto.

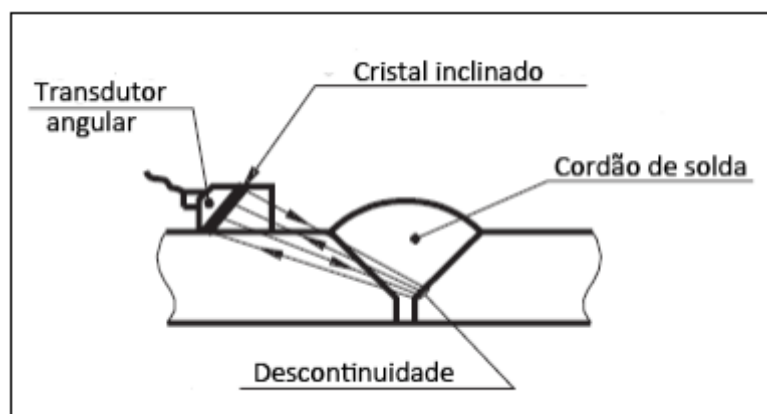
Figura 15 - Demonstração de ensaio por contato direto.



Fonte: (SIMONSEN, 2011).

Em ensaios de ultrassom utiliza-se também a técnica com transdutores angulares, imagina-se a colocação de um transdutor sobre um cordão de solda demonstrado na Figura 16, não teríamos acoplamento suficiente entre a superfície do cabeçote e a superfície da peças para realizar o ensaio. Neste caso, são usados transdutores angulares que possibilitam um acoplamento perfeito e a detecção das descontinuidades. (SIMONSEN, 2011).

Figura 16 - Representação da técnica com transdutor Angular.



Fonte: SIMONSEN (2011).

5 AVALIAÇÃO DE DESCONTINUIDADES EM PERFIS LAMINADOS DE ABAS PARALELAS

Em uma empresa produtora de perfis, especificamente na área de laminação e acabamento, foi evidenciado o aparecimento de rupturas e trincas na junção aba e alma dos perfis no processo de desempenho, gerando impacto que causa perda de qualidade, baixa produtividade, custo elevado e atrasos na entrega.

As ocorrências mencionadas, se dão no processo de desempenho, as vigas após serem processadas apresentam ruptura na região de junção da aba com alma ou apresentam descontinuidades internas que comprometem a qualidade das mesmas, daí a necessidade de melhoria para estabilização do processo e definição dos parâmetros operacionais para o processo de desempenho.

Por se tratar de uma cenário ainda desconhecido, foi solicitado apoio de uma empresa de consultoria em produção de perfis que também mencionou que nunca havia ocorrido este problema em sua história, e supostamente ocorreram durante o processo de desempenho, e o foco deveria ser através de ensaios experimentais no produto, realizações de análises dos ajustes finos no equipamento, análise das dimensões de abas e almas, como também a criação de um procedimento para realizar ensaios de ultrassom em todas as vigas processadas até obter resultados satisfatórios.

Pelos motivos apresentados anteriormente, surge um projeto com foco na qualidade, estabilidade do processo, custos e com a busca pela competitividade no mercado, uma vez que se trata de produtos que têm grande valor agregado proporcionando uma maior lucratividade para a empresa. Daí a proposição de novos

rumos para o processo de desempenho para a laminação de perfis, garantindo os indicadores estabelecidos.

5.1.1 Metodologia de Identificação das Causas do problema

As causas fundamentais do problema foram identificadas através da utilização da metodologia MASP e confirmadas através de ensaios experimentais conforme demonstrada na execução das etapas do MASP.

5.1.2 Identificação do Problema

Utilizando a Metodologia MASP, o primeiro passo foi à identificação do problema, de modo claro, que se deu através da inspeção visual dos produtos após o processo de desempenho, constatando a presença de ruptura superficial na junção aba e alma do perfil, situação essa inesperada por se tratar de um evento novo no processo.

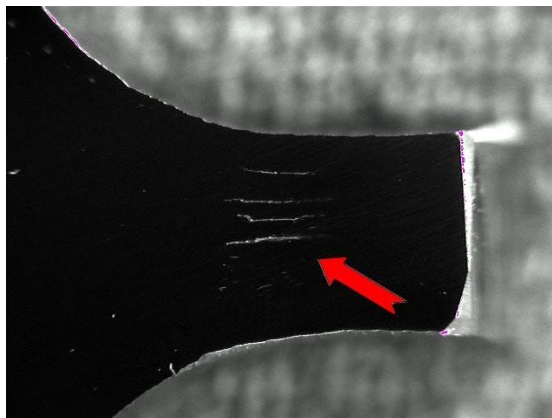
5.1.3 Observação do problema

O passo seguinte foi a observação do problema com atenção nas características específicas em cada produto (perfis) e avaliação dos parâmetros sob pontos de vistas diferentes, objetivando levantar todas as possíveis causas.

A avaliação visual da junção aba e alma teve por objetivo identificar as características da ruptura, esta avaliação foi decisiva para solicitar testes em laboratório, uma vez que a característica da ruptura apresentada nos perfis, sugeria um esforço excessivo na região e praticamente eliminava a possibilidade do problema estar relacionado com a composição química da matéria prima e com fortes indícios de ser no processo de laminação (produção).

Ao submeter uma amostra ao ensaio de macrografia que é ensaio onde a amostra é devidamente preparada e submetida a avaliação a olho nu ou utilizando microscópio com ampliação de até 10 vezes, o resultado confirmou a suspeita percebida durante a inspeção visual que caracterizou a ruptura sendo oriunda de esforço excessivo e apresentou um fato novo que foi a presença de trincas internas na junção aba e alma, conforme pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Visão de uma macrografia.



Fonte: autor.

As trincas indicadas no ensaio de macrografia, têm provável origem nos esforços excessivos a frio. Tornando-se necessário identificar as causas fundamentais que estão provocando as trincas e rupturas na junção aba e alma iniciando assim a etapa de análise.

5.1.4 Análise

Em função dos dados já obtidos nas etapas de identificação e observação, iniciou-se a análise nos seguintes pontos:

- Registros das produções anteriores no processo de desempenho.

Por se tratar da etapa que realiza grandes esforços e trabalha na zona plástica do material, o intuito foi comparar os valores das cargas exercidas sobre os rolos de desempenho da campanha em análise com o histórico dos materiais da mesma família (bitola). Após a análise dos dados, ficou evidente que a campanha atual apresentou cargas superiores à média dos registros, evidenciando um ponto crítico no processo apresentando os seguintes valores de média em toneladas/rolos de desempenho:

- Campanha em Anteriores/Histórico – Rolo 2 (16,3) - Rolo 4 (12,7) - Rolo 6 (7,7);
- Campanha em Análise/Atual - Rolo 2 (23,4) - Rolo 4 (19,6) - Rolo 6 (12,3).

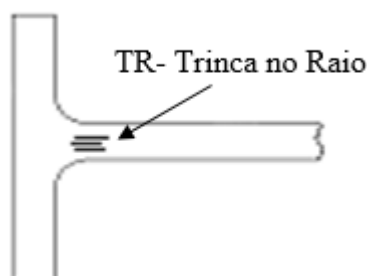
Os valores dos rolos auxiliares da desempenadeira foram desconsiderados por serem usados somente como guia.

O passo seguinte foi a realização de experimentos no ajuste do equipamento para colocar os valores de cargas dentro dos limites da média e após a realização dos testes, não foi constatada a ruptura externa na junção aba e alma, no entanto, a

redução dos esforços não seria mais possível, senão a finalidade, que é o desempenho dos perfis do processo, não seria atingida.

Após várias amostragens dos perfis foi constatada a presença de trincas na junção aba e alma e pelo ensaio de ultrassom constatou-se que a geometria da mesma apresentava na posição perpendicular à face da aba interna conforme pode ser visto na Figura 18 sendo essa uma região que sofre o efeito de “abre e fecha no momento do desempenho, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 18 - Representação da trinca interna.



Fonte: autor

Desse ponto em diante, deu-se início a verificação de outro registro.

- Registro do dimensional dos materiais.

Após a redução das cargas nos rolos desempenos não sanarem por completo a presença de trincas internas, desse ponto adiante, iniciou verificação dos históricos de laminações quanto as características dimensionais dos perfis. Nesse ponto, foi observado que a espessura da alma foi laminada no mínimo da norma e a espessura da aba laminada no máximo, tornando, assim, a relação das espessuras aba e alma desproporcional.

Em estudo das campanhas anteriores, evidenciou-se que a relação entre aba e alma nunca havia ultrapassado 1.7, sinalizando uma possível causa com potencial para desestabilização do processo, uma vez que na campanha em análise, chegou a apresentar a relação de 1.9.

O próximo teste se deu com a redução das cargas dos rolos desempenadores e com a relação aba e alma menor ou igual a 1.7, onde o resultado foram satisfatórios não apresentando ruptura e nem trincas internas na junção aba e alma.

Nos testes propositais alterando os parâmetros de carga dos rolos desempenadores para valores superiores ao registro da média e/ou relação aba e alma superior a 1.7, todas as amostragens inspecionadas por ultrassom apresentaram descontinuidade interna, os testes foram registrados com os seguintes valores:

- Média em toneladas/rolo de desempenho - Rolo 2 (22,6) - Rolo 4 (19,1) - Rolo 6 (10,5);
- Relação aba e alma média 1.9.

5.1.5 Plano de ação

Mediante os dados analisados o desenvolvimento de um plano de ação foi fundamental, tendo como ação os seguintes itens:

- Criar dispositivo no programa de registro dimensional que acusasse quando a relação aba e alma for superior 1.7;
- Criar um procedimento de ultrassom para controle de processo e qualidade;
- Criar uma carta de controle para averiguar alterações nas cargas sobre os rolos de desempenho;
- Capacitar os responsáveis diretos no procedimento de ultrassom;
- Capacitar os operadores do processo nas alterações realizadas.

5.1.6 Ação

Implementou-se um programa computacional no ato do registro das amostras dimensionais dos perfis que indica a relação aba e alma, caso esteja superior a 1.7 uma alerta é emitido deixando em vermelho o valor referido.

A implantação de uma carta de controle, para acompanhamento das cargas sobre os rolos de desempenos, assim com um procedimento de inspeção mais detalhada quando houver variações significativas contemplado dentro da metodologia de inspeção por ultrassom.

Estabeleceu-se uma metodologia de ensaio por ultrassom com o objetivo de controle da qualidade e do processo, iniciando a capacitação dos colaboradores envolvidos diretamente.

5.1.7 Verificação

Através das ações implantadas, a verificação da espessura entre aba e alma tornou-se procedimento de rotina, minimizando as causas fundamentais, pois sua detecção é imediata quando ocorre.

Os valores de esforços sobre os rolos de desempenho foram padronizados e acompanhados pela carta de controle.

Através do ensaio de ultrassom, após o processo de desempenho, passou-se a garantir a estabilidade e qualidade dos produtos e do processo.

5.2 Procedimento para detecção de trincas internas em perfis laminados por ultrassom

A metodologia tem por objetivo estabelecer um procedimento padrão para detecção de trinca interna nos perfis laminados de abas paralelas na junção aba e alma baseado nos conceitos de SIMONSEN (2011) e ANDREUCCI (2014) durante o estudo e análise do problema, tornou-se evidente a necessidade do controle por ensaio de ultrassom nas seguintes situações:

- No início de cada campanha de produção.

Devido ser a etapa na qual são realizados os ajustes finos no equipamento para garantir a qualidade superficial, forma e dimensional dos perfis:

- Na troca de kg/m (bitola).

Na troca de kg/m, o dimensional do material é ajustado com o intuito de aumentar ou diminuir massa, a verificação é importante para certificar a qualidade interna.

- Quando houver variação superior a 1,0mm na espessura da alma em relação a espessura definida no início da produção, neste caso é necessário conferir a relação da espessura da aba / espessura da alma que deverá ser menor ou igual a 1,7 minimizando assim o potencial de surgimento de trincas internas.
- Quando houver necessidade de ajustes de penetração superior a 1,0 mm no conjunto de desempenho.

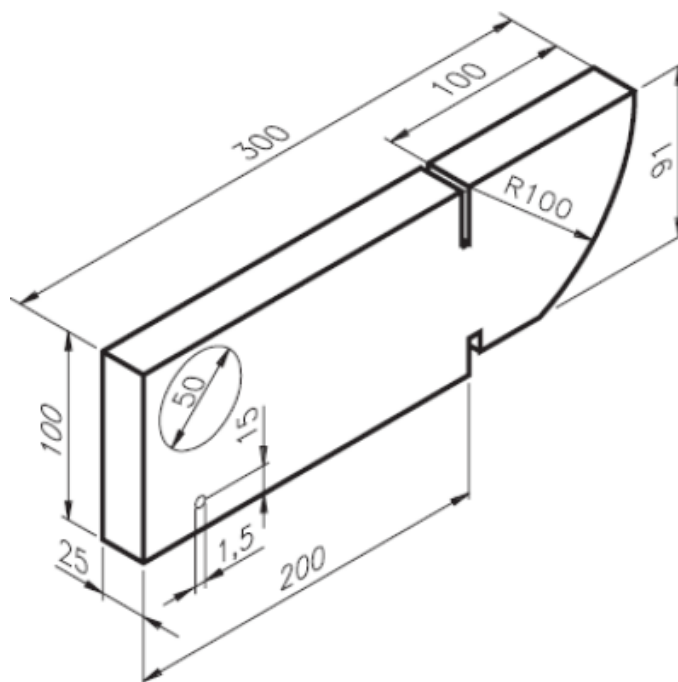
Para a realização de um ensaio de ultrassom, é imprescindível que o equipamento esteja calibrado conforme já exemplificado, seja utilizando o cabeçote apropriado para o tipo do material, o domínio na técnica pelo executante e procedimentos para o trabalho, garantindo assim a confiabilidade das respostas.

5.2.1 Procedimento para calibragem do equipamento de ultrassom para detecção de trincas

A confiabilidade de um ensaio não está somente centrada na técnica do profissional qualificado, mas também na confiabilidade do equipamento utilizado, para isso a utilização de equipamentos em bons estados e calibrados é de suma importância para realização de um ensaio confiável.

Na calibração tem-se referências nos conceitos de ANDREUCCI (2014) utilizando os blocos-padrão V1 e V2, onde o bloco V1 conforme Figura 19 será a referência de tamanho equivalente da descontinuidade através de seu furo passante de 1,6mm e também para calibrar o ponto de saída sônica do transdutor e checagem de seu ângulo real de feixe sônico.

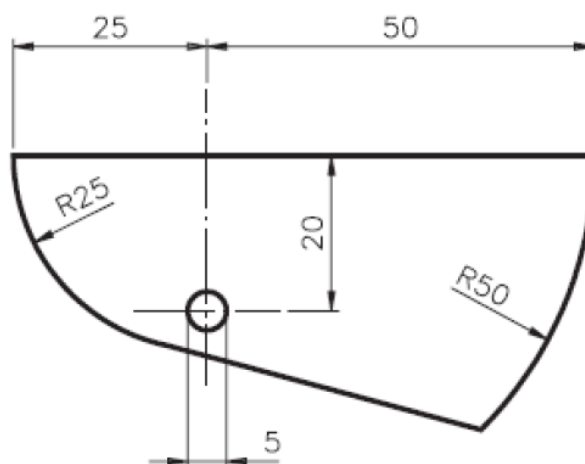
Figura 19 - Bloco V1



Fonte: SIMONSEN (2011).

Com o bloco V2, conforme Figura 20, será construída a escala de trabalho para varredura adotando um pulo e meio de percurso sônico, ou seja, um percurso que consiga atingir toda região que se pretende avaliar.

Figura 20 - Bloco V2.



Fonte: SIMONSEN (2011).

O transdutor a ser utilizado deverá ser MWB7O-4, para espessura de até 20mm.

Onde:

- M: Miniatura
- W: Transdutor de ondas transversais
- B: Cristal utilizado nesse caso titanato de bário
- 70 graus: O ângulo nominal de saída do feixe sônico
- 4Hz: Frequência.

Foi utilizada uma escala para essa metodologia desenvolvida de 100mm.

O ajuste de supressão em caso de utilização de aparelhos analógicos deverá estar na posição zero.

A calibração da sensibilidade e escala horizontal deverá ser feita antes do ensaio.

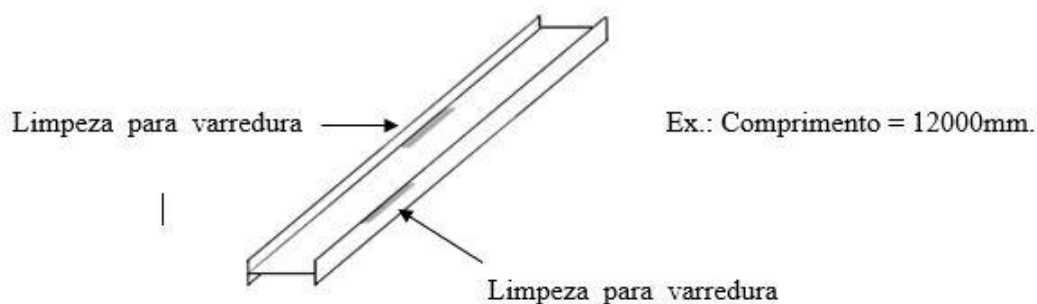
A sensibilidade do ensaio deverá ser com referência ao furo $f=1,6$ mm do bloco V1, o eco do furo de 1,6 deverá ser posicionado a 40% da altura da tela. Os dB's usados para amplitude equivalente a 40% da tela será o nível de referência. O ajuste da sensibilidade para inspeção de produto será o nível de referência acrescido de 8 dB.

5.2.2 Preparação da superfície e varredura para detecção de trincas

A limpeza e preparação da superfície a ser ensaiada é importante para a qualidade do ensaio de ultrassom e interpretação de seus resultados. A presença

principalmente de carepa oriunda do processo de aquecimento deverá ser removida através de escovas de aço ao longo de toda a peça a ser ensaiada com 100 mm de largura em cada junção da aba com a alma, conforme demonstrado na Figura 21, região essa proveniente do surgimento de trincas internas.

Figura 21 - Desenho representativo da área a ser limpa.



Fonte: autor.

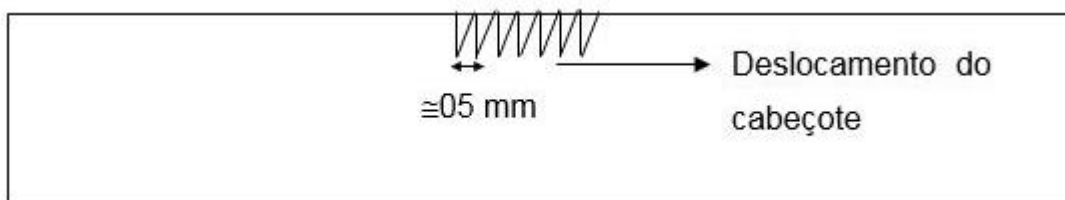
Durante o ensaio, a varredura, deverá ter uma sobreposição mínima sobre a anterior da metade da largura do cabeçote e garantir que 100% da área que será testada conforme Figura 8.

Utilizar uma camada fina e uniforme do acoplante metil celulose cobrindo toda a área a ser inspecionada conforme conceito de Anedrucci (2014), observar e avaliar na tela do aparelho os ecos referentes às descontinuidades, caso alguma peça apresente defeito interno passível de rejeição, retirar uma amostra e enviar para o laboratório para análise de defeito interno.

A varredura deve ser realizada perpendicularmente a face interna da aba, em uma velocidade uniforme passível da leitura e interpretação na tela do aparelho com a área que está sendo inspecionada.

O ensaio para detecção de trinca no raio, foi realizado em 6 amostras de 1200 mm de cada lado, sendo as áreas amostradas no início meio e fim da viga, e todo resultado foi registrado para avaliação.

Figura 22 - Deslocamento do Cabeçote.



Fonte: autor.

5.3 Aprovação ou rejeição

Qualquer indicação de descontinuidade de comprimento maior que 50 mm e amplitude maior de 40% da tela deverá ser rejeitada, as indicações deverão ser separadas no mínimo por $2 \times C$, sendo C o comprimento da maior descontinuidade. Descontinuidades com amplitude menor que 40% e comprimento inferior a 50 mm serão aprovadas.

Os valores de aprovação e rejeição foram determinados através de ensaios laboratoriais de tração, tendo como aprovado os resultados que não interferem na resistência dos perfis e os que compromete sendo rejeitados, conforme pode ser observado na Figura 23. O procedimento de amostragem e norma de preparação do corpo de prova e de ensaio de tração, não foram abordados, pois para fim desse trabalho os valores dos resultados dos ensaios são suficientes.

Figura 23 - Dados referentes aos ensaios de tração.

Lote	Norma	Nº Amostra	CP	Carga Esc. (N)	Carga Rup. (N)	LE	LR	Along %	Especificação Norma		
Amostras Com Descontinuidade de Comprimento Maior que 50 mm e Amplitude Maior de 40% (Reprovadas)									Característica	Min.	Max.
									LE (M Pa)	345	600
4193668	ASTMA572	13119/2.4	01.02	163000	234000	329	466	32	LR (M Pa)	450	700
4193668	ASTMA572	13119/2.4	01.02	163000	234000	324	465	32			
4194425	ASTMA572	13121/2.3	01.02	161000	226000	337	473	31	A % (%)	18	40
4194425	ASTMA572	13121/2.4	01.03	168000	234000	342	477	31,5			
4193667	ASTMA572	13118/2.5	03.04	166000	239000	330	476	30,5			
4193667	ASTMA572	13118/2.6	04.05	165000	241000	324	474	31			
4193668	ASTMA572	13119/2.5	01.06	161000	237000	321	473	32,5			
4193668	ASTMA572	13119/2.6	01.07	160000	233000	318	463	33,5			
4194425	ASTMA572	13121/2.5	01.03	164000	231000	332	468	32,5			
4194425	ASTMA572	13121/2.6	01.04	160000	231000	325	470	29			
44 15737	ASTMA572	18735/2.1	01.01	138000	168000	369	449	33,5			
44 15737	ASTMA572	18735/2.2	01.02	132000	165000	361	451	30			
44 15737	ASTMA572	13118/2.3	01.03	137000	171000	351	438	30			
44 15737	ASTMA572	13118/2.4	02.08	138000	172000	353	440	30,5			
Amostras com Descontinuidades de Amplitude Menor que 40% e Comprimento Inferior a 50 mm (Aprovadas)											
4194486	ASTMA572	13148/2.1	02.02	246000	308000	434	543	29			
4194486	ASTMA572	13148/2.2	02.04	246000	301000	440	539	30,5			
4194485	ASTMA572	13149/2.1	02.06	243000	311000	422	540	30,5			
4194485	ASTMA572	13149/2.2	03.01	210000	266000	424	537	26			
4194484	ASTMA572	13150/2.1	01.02	230000	286000	420	523	28,5			
4194484	ASTMA572	13150/2.2	01.03	225000	285000	400	507	28,5			
4194483	ASTMA572	13151/2.1	01.04	228000	280000	429	527	30,29			
4194483	ASTMA572	13151/2.2	01.05	229000	283000	423	522	28			

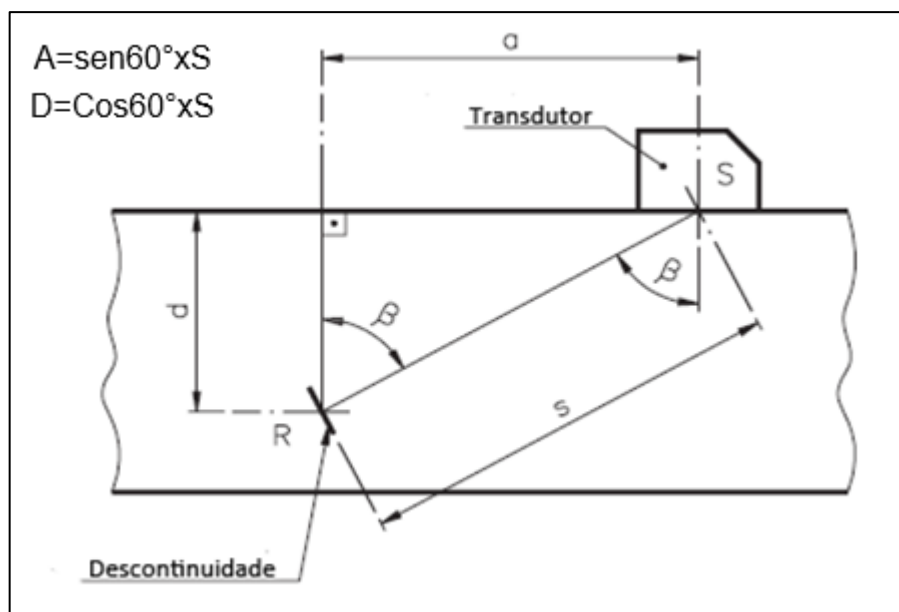
Fonte: autor.

Sendo:

- Lote: Identificador da ordem de produção (campanha de laminação);
- Norma: Norma do Aço;
- Nº Amostra: Número identificador da amostra;
- Carga Esc. Carga de escoamento em Newtons;
- Carga Rup. Carga de ruptura em Newtons;
- LE – Limite de escoamento do aço;
- LR – Limite de ruptura do aço;
- A – Alongamento do corpo de prova.

Para determinar o a localização da trinca, usa-se a relação trigonométrica conforme pode ser observado na Figura 24.

Figura 24 - Localização de descontinuidade.



Fonte: SIMONSEN, 2011).

Sendo:

S = Distância da profundidade da descontinuidade até o ponto de emissão do feixe sônico pelo transdutor, valor esse disponibilizado na tela do aparelho;

a = Distância do ponto de emissão do feixe sônico do transdutor em linha reta até o ponto perpendicular ao da descontinuidade;

d = Profundidade da localização da descontinuidade perpendicular a face do material.

Formulas para cálculo:

A= seno do ângulo real do transdutor x S;

D= cosseno do ângulo real do transdutor x S.

6 CONCLUSÃO

Atualmente, os empreendedores para serem competitivos, buscam ferramentas que possam auxiliar em tomada de decisão e resolução de problemas. O desenvolvimento de parâmetros para controle do processo e qualidade torna-se fundamental para sobrevivência de qualquer cadeia produtiva.

No estudo de caso apresentado, foi utilizada a metodologia de solução de problema MASP, sendo seus oito passos um direcionamento para o entendimento do problema até o bloqueio de suas causas fundamentais, e a criação de procedimento que buscam assegurar os resultados planejados.

Foi verificada neste estudo a necessidade do controle da qualidade interna dos perfis após o processo de desempenho, dentre alguns métodos possíveis para averiguação desse requisito. O ensaio de ultrassom foi o escolhido por se tratar de um ensaio não destrutivo, que pode ser realizado durante o processo sem demandar tempo como revelação de imagens, montagem de estruturas, evacuação de área dentre outros fatores necessários para outros ensaios.

Outro ponto também fundamental que influenciou na escolha da utilização do ensaio de ultrassom é que o resultado obtido é de imediato, pois minutos em que a produção fica parada, os impactos são consideráveis para o cumprimento de metas em uma linha de produção.

Assim como a escolha do ensaio a ser utilizado é importante, a capacitação dos envolvidos nos procedimentos e parâmetros de inspeção por ensaio de ultrassom é fundamental para garantir a qualidade interna dos perfis e a estabilidade do processo de produção.

Com o estudo do problema e a implantação da metodologia de ensaio de ultrassom, foi potencializada a detecção das trincas de imediato, mas para o método ser eficaz é necessário o comprometimento de todos os envolvidos no processo

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. A. **Relatório técnico curricular supervisionado**. 2009. 48f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Faculdade Santa Rita Fasar, Conselheiro Lafaiete, 2009.

ANDREUCCI, R. **Ensaio por Ultrassom**. São Paulo: ABENDE, 2014. 102p.

_____. **Ensaio por Ultra-som Aspectos Básicos**. 3. ed. São Paulo: Ricardo Andreucci, 2002. 77p. Disponível em: <<https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/ensaios/ensaio-por-ultrassom.pdf>> Acesso em: 08 abr. 2019.

AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B.; JACOBS, F. R. **Administração da Produção para a Vantagem Competitiva**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 724p.

BAZERMAN, M. **Processo Decisório**: para cursos de administração, economia e MBAs. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 248p.

CAMPOS, V. F. **Controle da Qualidade Total**. Belo Horizonte: Vicente Falconi Campos, 1999. 286p.

CORRÊA, V. G. **Proposta de melhoria dos processos de produção em um laboratório de lentes**. 2008. 77f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.pro.poli.usp.br/publicacoes/trabalhos-de-formatura/proposta-de-melhoria-dos-processos-de-producao-em-um-laboratorio-de-lentes>> Acesso em: 09 abr. 2019.

FERREIRA, G. F. **O processo estratégico de internacionalização da Gerdau**. 2007. 140f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007.

MATTOS, R.; SELIG, P. M. **Análise crítica de uma metodologia de solução de problemas na prestação de serviços**. 1998. 165f. Monografia (Bacharelado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/77414/138004.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 8 abr. 2019

RUSSOMANO, V. H. **PCP. Planejamento de Controle de Produção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Victor Henrique Russomano, 2000. 320p.

SHINGO, S. **Sistema de Produção com Estoque Zero**. Porto Alegre: Bookman, 1996. 380p.

SIMONSEN, R. **Ensaio de Ultrassom**. São Paulo: SENAI, 2011. 25p.

SOUZA, C. OLIVEIRA, R. **Melhoria do processo de produção de perfis estruturais** 51f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Faculdade Santa Rita Fasar, Conselheiro Lafaiete, 2010.

SIMENS GLOBAL WESITE. **Galeria de imagens**. Disponível em:
<[https://www.siemens.com/press/en/presspicture/?press=/en/presspicture/2010/industry_solutions/iis201003184-01.htm&content\[\]=IS&content\[\]=ISD&content\[\]=IMT&content\[\]=PDMT](https://www.siemens.com/press/en/presspicture/?press=/en/presspicture/2010/industry_solutions/iis201003184-01.htm&content[]=IS&content[]=ISD&content[]=IMT&content[]=PDMT)> Acesso em: 17 jun. 2019.