

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA**

**ANÁLISE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS EM  
PRODUTOS LONGOS LAMINADOS À QUENTE.**

**Eduardo Miranda Eira de Sá**

**Júlio César Figueira**

Pindamonhangaba – SP  
2017

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA**

**ANÁLISE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS EM  
PRODUTOS LONGOS LAMINADOS À QUENTE.**

**Eduardo Miranda Eira de Sá**

**Júlio César Figueira**

Monografia apresentado à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba, para graduação  
no Curso Superior de Tecnologia em Processos  
Metalúrgicos.

Prof. Orientador: Me. Amir Rivaroli Junior.

Pindamonhangaba – SP  
2017

S111a Sá, Eduardo Miranda Eira de.  
Análise de defeitos superficiais em produtos longos laminados à quente / Eduardo Miranda Eira de Sá; Júlio César Figueira / FATEC Pindamonhangaba, 2017.  
38f.; Il.

Orientador: Professor Me. Amir Rivaroli Junior  
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2017

1. Defeitos. 2. Inspeção visual. 3. Partículas Magnéticas.  
4. Laminação. I. Sá, Eduardo Miranda Eira de. II. Figueira, Júlio César. III. Rivaroli Junior, Amir. IV. Título.

CDD 669.14

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**“ANÁLISE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS EM  
PRODUTOS LONGOS LAMINADOS A QUENTE.”**

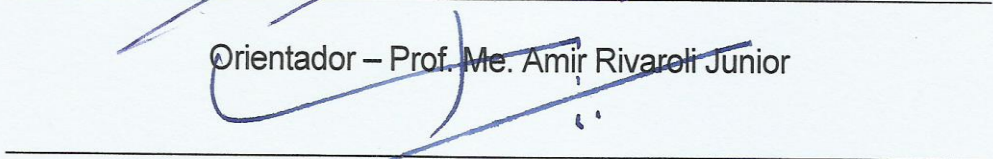
**EDUARDO MIRANDA EIRA DE SÁ  
JÚLIO CESAR FIGUEIRA**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba, para  
graduação no Curso Superior de  
Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

Comissão Examinadora

  
Orientador – Prof. Me. Amir Rivareli Junior

Membro – Prof. Dr. César Alves da Silva Leandro

  
Membro - Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

Membro - Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

**Pindamonhangaba, 03 de julho de 2017.**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho.

À minha esposa Beatriz de Lima Eira de Sá, que sempre me apoiou, à meu filho Renato Miranda de Lima que é minha inspiração para continuar meus estudos, à minha mãe Irene de Fátima Eira de Sá e minha irmã Andrea Miranda Eira de Sá que sempre acreditaram em mim.

Eduardo Miranda Eira de Sá

Dedico este trabalho.

A minha esposa Daniele, meu filho Leandro e meu Irmão Marcos que me deram coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

Julio César Figueira

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus pela vida que me deu, por tudo que tem feito em minha vida.

Agradeço a minha esposa Beatriz de Lima Eira de Sá e ao meu filho Renato Miranda Lima de Sá que com muita paciência, aguentaram este tempo todo de meu estudo.

Aos professores da Fatec Pindamonhangaba, que no tempo em que estive em aulas, tiveram paciência nos ensinando.

Ao nosso orientador Prof. Me. Amir Rivaroli Junior, que nos ajudou orientando no que fazer em nosso trabalho.

E a todos os colegas e amigos (da Fatec e fora da Fatec), que de uma forma ou de outra, me ajudaram nos estudos, apoiando, ensinando, etc.

Eduardo Miranda Eira de Sá

O Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, Jesus Cristo e meu santo guerreiro São Jorge, obrigado por toda a força e proteção.

A Fatec Pindamonhangaba, seu corpo docente, direção e administração, sempre me deram suporte nas dificuldades encontradas durante o curso.

Ao meu orientador Prof. Me. Amir Rivaroli Junior, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Aos meus pais Antônio Assis Figueira e Maria Celina Ribeiro Figueira, pelo amor, exemplo de caráter, incentivo e apoio incondicional na busca de conhecimento.

Aos meus irmãos Marcos e Daiane que tanto tenho orgulho, muito obrigado por estar do meu lado.

A minha esposa amada Maria Daniele de Souza Figueira e meu filho Leandro Lucas Figueira, só tenho a agradecer pelos incentivos e compreensão, principalmente, nas horas que estive ausente, me dedicando aos estudos.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Agradeço a Deus por me dar a oportunidade de viver.

Júlio César Figueira

SÁ, E. M. E. de; FIGUEIRA, J. C. **Análise de defeitos superficiais em produtos longos laminados à quente**. 2017. 39p. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, 2017.

## **RESUMO**

Atualmente os processos produtivos como o caso da laminação a quente de produtos longos, que produz em larga escala, vêm sofrendo modificações dia a dia para garantir melhora da qualidade. Com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir cada vez mais o custo de fabricação, pois os descartes de materiais com defeitos geram custos altos na produção e impactam diretamente no lucro da empresa sem contar os transtornos que também podem ser gerados no processo produtivo como atraso na entrega e comprometimento da produção do cliente. Para reduzir os defeitos apresentados em barras laminadas foi realizada inspeção 100% dos produtos, apesar de gerar custo, diminuiu o risco de entrega de produtos com defeitos ao cliente e reduziu o risco de reclamação. Foi possível também verificar que parte dos defeitos apresentados era decorrente do processo na Aciaria e tinha um maior tempo de recuperação ao contrário dos defeitos que eram de origem do processo de Laminação.

Palavras-chave: defeitos, inspeção visual, partículas magnéticas, laminação.

SÁ, E. M. E. de; FIGUEIRA, J. C. **Analysis of surface defects in long hot rolled products.** 2017. 39p. Graduation Work (Technology Course in Metallurgical Processes). Faculty of Technology of Pindamonhangaba, 2017.

## **Abstract**

At present, production processes such as the case of hot rolling of long products that are produced in large scale are undergoing modifications day by day to guarantee quality improvement. In order to increase productivity and reduce manufacturing costs, discarding defective materials generates high production costs and directly impacts the company's profit, not mentioning the problems that can also be generated in the production process, such as delay in the delivery and commitment of the client's production. In order to reduce the defects presented in rolled bars, 100% inspection of the products was performed, in spite of generating cost, reducing the risk of delivery of products with defects to the customer and reducing the risk of complaint. It was also possible to verify that part of the defects presented was due to the process in the steelworks and had a longer recovery time than the defects that were the origin of the production process.

Keywords: defects, visual inspection, magnetic particles, lamination.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - esquema de laminação com dois cilindros .....	13
Figura 2 - Microestrutura do tarugo produzido no lingotamento contínuo .....	17
Figura 3 - Problema de qualidade em tarugos de lingotamento contínuo .....	17
Figura 4 - Aspecto de uma trinca transversal em um tarugo .....	18
Figura 5 - Trincas internas são muitas vezes observadas próximas aos cantos dos tarugos denominadas “off-corner” .....	19
Figura 6 - Escama de aciaria .....	22
Figura 7 - Escama de laminação .....	23
Figura 8 - Dobra .....	24
Figura 9 - Dobra com o formato de dois riscos .....	25
Figura 10 - Trinca de aciaria.....	25
Figura 11 - Trinca em faixa .....	26
Figura 12 - Trinca em rede .....	27
Figura 13 - Trincas pontuais de aciaria .....	28
Figura 14 - Trinca enraizada de aciaria .....	29
Figura 15 - Trinca de painel .....	30
Figura 16 - Trinca de laminação .....	31
Figura 17 - Risco de laminação .....	32
Figura 18 - Marcas de laminação.....	33
Figura 19 - Trinca de topo .....	34
Figura 20 - Barra com carepa incrustada.....	34

## LISTA DE ABREVIACÕES

Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	Magnetita
FeO.....	Wustita
Al.....	Aluminio
N <sub>2</sub> .....	Nitrogênio
Ni.....	Níquel
Cr.....	Cromo
mm.....	Milímetros

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1-Cilindro de laminação. ....	14
2.2-Macroestrutura do tarugo produzido no lingotamento contínuo. ....	17
2.3-Defeitos nos tarugos - trincas internas .....	18
2.4-Defeitos nos tarugos - trincas transversais. ....	18
2.5-Defeitos em produtos laminados .....	18
2.6-Trincas internas.....	19
2.7-Ensaio por partículas magnéticas.....	19
3- MATERIAIS E MÉTODOS .....	21
3.1-Levantamento de dados de produção .....	21
3.2-Principais defeitos superficiais encontrados nas barras laminadas.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	22
4.1-Defeitos encontrados após ensaio por partículas de magnéticas .....	22
4.1.1-Escamas .....	22
4.1.2-Dobras. ....	24
4.1.3-Trincas de aciaria. ....	25
4.1.4-Trincas em faixa.....	26
4.1.5-Trinca em rede. ....	27
4.1.6-Trincas pontuais de aciaria. ....	28
4.1.7-Trinca enraizada de aciaria. ....	29
4.1.8-Trinca de painel – aciaria .....	30
4.1.9-Trincas de laminação.....	31
4.2-Defeitos encontrados após análise visual nas barras laminadas .....	32
4.2.1-Riscos. ....	32
4.2.2-Marcas de laminação.....	33
4.2.3-Trinca de topo. ....	34
4.2.4-Carepa incrustada.....	34
5 CONCLUSÃO.....	36
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

# 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Rizzo (2010) todo produto de boa qualidade apresenta características que ao ser aplicado ao material em seu destino, o material irá apresentar condições de uso sem gerar retrabalhos ou perdas. O mercado exige de seus fornecedores, produtos de boa qualidade, por isso os laminadores aplicaram o conceito de garantia de qualidade, o que fez os laminadores se atentarem mais aos defeitos gerados no seu processo.

Essa qualidade é avaliada no processo pós-laminação, chamado de acabamento de produtos laminados, onde é avaliada a superfície do material e também a parte interna do material, tanto quanto o dimensional. O material passa por testes (ultrassom, partículas magnéticas, correntes parasitas), que detectam o defeito, e depois é analisado para ver se dá para recuperar o defeito ou descartar o material ou parte do mesmo.

Os materiais, como por exemplo, barras laminadas são utilizadas para vários processos como, usinagem, trefilação, rolamentos, molas, relaminação e principalmente forjamentos (a frio, a morno, a quente e por rolagem) e estes materiais atendem a vários setores que exigem alta qualidade, como setor automobilístico e de equipamentos industriais, que requerem uma qualidade bastante alta do produto.

Os defeitos gerados nos materiais laminados podem acontecer mediante os processos, máquinas (rolos), ou até mesmo operacionais, por isso tem-se que analisar o defeito para saber a origem deste.

De acordo com Bombana (2012), a qualidade de esmerilhamento de tarugos influencia na qualidade superficial de barras redondas de aço laminado. Diante de testes feitos em tarugos, sem esmerilhamento, esmerilhamento total simples e esmerilhamento total duplo, foi constatado que o esmerilhamento de tarugos influencia na qualidade da superfície de barras de aço laminadas.

Muito dos processos onde será utilizado estes materiais, vão receber esforços altos, como no caso do forjamento ou até mesmo trefilação, entre outros, e os defeitos existentes nos materiais podem se propagar ainda mais, fazendo com que a peça formada por esta matéria prima venha a se quebrar.

Para fornecer seu produto sem estas falhas, o fabricante destes produtos longos laminados a quente, precisa agir de forma planejada e sistemática, implementando atividades e demonstrando como é necessário para promover confiança adequada ao atendimento dos requisitos da qualidade no sistema de qualidade da empresa.

Para isto a empresa deve usar matérias-primas de boa qualidade, monitorar os seus parâmetros de processo nas etapas de produção na laminação e acabamento dos produtos, realizar os ensaios e testes de controle da qualidade do produto, fazer marcações para identificação do produto laminado para se evitar misturas e possibilitar a rastreabilidade do material.

Este trabalho tem como objetivo analisar, identificar e classificar os defeitos gerados no processo de laminação, podendo assim o operador saber identificar e classificar de forma correta os defeitos gerados, com isso reduzir o sucateamento gerado por estes defeitos e até mesmo perdas metálicas não aceitas pelo processo do cliente, defeitos que geram grandes custos as empresas do ramo.

Muitos dos defeitos gerados pela deficiência na laminação fazem com que se gerem altos custos (como retrabalhos, não aceite de clientes, entre outros), estes custos podem ser causados tanto direto como indiretamente do processo de laminação, e pode gerar reclamações de clientes que é algo indesejado para a empresa, com isso o fornecedor pode até perder seu cliente dependendo da resposta dada a reclamação feita.

Analisando como provêm os defeitos e classificando-os, pode-se evitar a geração destes defeitos, dando maior qualidade ao produto, evitando assim reclamações.

## 2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Rizzo (2010), o requisito de qualidade tem aumentado continuamente nas exigências do mercado de produtos laminados com isso as indústrias tem implantado o conceito garantia de qualidade neste setor.

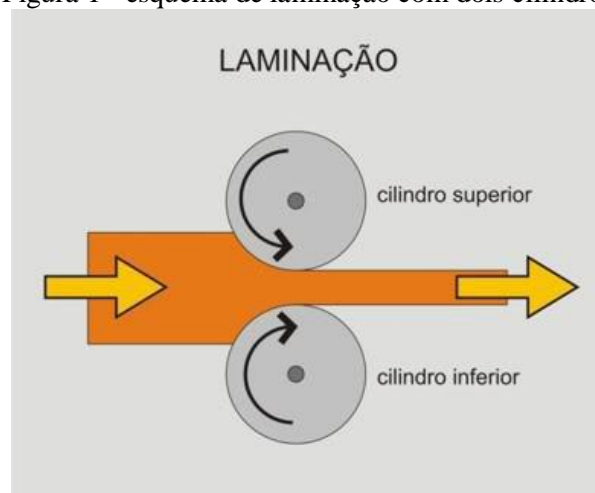
Defeitos superficiais, mesmo sendo pequenos (acima do nível permitido pelo cliente), podem gerar grandes perdas no processo ou até mesmo depois de aplicado, como por exemplo, o automóvel na estrada, por isso o nível de qualidade exigido pelo mercado aumentou bastante.

Com isso definimos que laminação é um processo de conformação em que os materiais passam entre dois cilindros, girando em sentidos opostos, com a mesma velocidade e com espaços entre si a uma distância menor que o da dimensão inicial do material a ser conformado.

Rizzo (2008) nos fala que no processo de laminação que dos lingotes saem produtos semi-acabados com, por exemplo, os materiais tarugos e ou lingotes de processo contínuo, e destes sairão produtos acabados, como perfis ou barras que deverão atender as especificações de formas, dimensões e outros critérios estabelecidos em termos de propriedade mecânica.

Rodrigues (2013) nos mostra na figura 1 um esquema de laminação que consiste em um processo de conformação mecânica modificando a seção transversal de um metal pela passagem entre dois cilindros colocados paralelamente e girando em sentidos opostos. Fazendo com que o material se reduz na seção transversal e alongue o material.

Figura 1 - esquema de laminação com dois cilindros



Fonte: Rodrigues (2013)

Normalmente o processo de laminação é feito a quente, mas pode ser feito também a morno e frio. O processo à quente é usado no processo de desbaste e a frio no processo de acabamento do produto.

Para Rodrigues (2013), a estrutura do laminador é formada de parte metálica que suporta os cilindros com os mancais, as partes montadas e todos os acessórios necessários. Esse conjunto é chamado de cadeira de laminação ou gaiola.

O objetivo principal do processo de laminação é conformar o material deixando o final do produto com as dimensões e forma que se deseja para ser trabalhado (usinado, forjado, trefilado, etc).

### **2.1-Cilindro de laminação.**

De acordo com Rodrigues (2013) o cilindro de laminação é o elemento principal de um laminador. Tendo a superfície podendo ser lisa, para laminar chapas ou com canais, para produzir os perfis desejados. No desbaste, os cilindros precisam de grande resistência mecânica e são de diâmetros maiores por causa do forte esforço que precisa para executar o processo. No acabamento os cilindros precisam de maior dureza superficial, para evitar o desgaste e são de diâmetros menores.

Os cilindros de laminação podem ser peças fundidas ou forjadas, são formadas de uma parte central que recebe o nome de corpo, pois é a que executa o maior esforço na deformação.

Conforme Rodrigues (2013) um cilindro de laminação, podem-se nele haver três partes básicas:

- Corpo - onde acontece o processo de laminação da peça
- Pescoço - onde o peso do cilindro e a carga de laminação podem ser suportados
- Trevo - onde acontece o acoplamento com o eixo motor através de uma manga de engate

E estes cilindros podem ser feitos dos materiais, conforme seu uso:

- Cilindros de desbaste: aços carbono e aços ligados
- Cilindros intermediários: aços ligados e ferro fundido
- Cilindros de acabamento: ferros fundidos

Estes cilindros se não estiverem de forma adequada para a realização do trabalho, poderão gerar defeitos em seus produtos, atrapalhando na qualidade final.

O que determina qual rota seguirá o material é a quantidade e profundidade de defeitos superficiais exigidas pelo cliente final.

Bombana (2012) nos diz que nas usinas siderúrgicas existem duas áreas responsáveis pela preparação do tarugo, com o objetivo de reduzir o número de defeitos e imperfeições na superfície do tarugo, estas são a aciaria e o laminador. E nos fala ainda que a remoção destes defeitos deva ser o suficiente para garantir a qualidade do produto final.

Os tarugos que serão laminados para formar barras ou perfis se vierem com estes defeitos, mesmo sendo pontuais, conseqüentemente seu produto sairá também com estas imperfeições, podendo se alongar ou penetrar ainda mais no material.

Soares (2010) nos diz que o material muitas vezes precisa passar mais de uma vez entre os cilindros para conseguir a dimensão e forma requerido, tendo que ajustar os cilindros para cada passe ou trabalhar com o uso de vários cilindros, o chamado laminador contínuo.

Soares (2010) nos diz que a matéria prima de barras ou fio máquina laminados, são tarugos obtidos de lingotes que foram laminados em um laminador de seções maiores, laminador desbastador chamado de *blooming mill*. Estes tarugos são reaquecidos em fornos e são aquecidas por todo o longo do comprimento do material até atingir uma temperatura que vai de 1100°C a 1200°C. A laminação se divide nas seguintes etapas e nas sequências: 1-desbaste, 2-intermediária e 3-acabadora em que o produto final recebe a forma e dimensões desejadas. A velocidade de laminação dos laminadores atuais é bem alta podendo alcançar até 140 m/s na fase final do processo. Estas etapas mencionadas anteriormente devem estar bem projetadas e bem ajustadas para evitar grande volume de perdas de material por qualidade ou com consumo e custos expressivos e não necessários.

Rizzo (2010) nos fala ainda que para atender os quesitos de qualidade devemos ter matérias-primas adequadas, monitorar todos os processos tanto na etapa de laminação quanto de acabamento do produto, realizando todos os testes de controle da qualidade e identificar o produto para evitar misturas e possibilitar a rastreabilidade do material.

De acordo com Viana (2009), Por ser um processo industrial contínuo, problemas operacionais que interfiram no ritmo de laminação geram uma variação na temperatura de laminação, fazendo com que nem todo o material laminado apresente o mesmo comportamento na sua conformação.

Conforme Rizzo (2010) no controle de qualidade no processo de laminação deve-se verificar se o produto laminado está de acordo com as suas especificações, se os requisitos de qualidade estão sendo atendidos ou não, e dentre eles podemos citar:

- Tipo de aço (categoria e/ou classe);
- Composição química;
- Nível de inclusões internas;



- Microestrutura (tipo, quantidade, tamanho, forma e distribuição das fases presentes);
- Textura metalográfica e cristalográfica;
- Teor máximo de gases (em especial o hidrogênio);
- Ausência de descontinuidades internas;
- Relativos aos aspectos dimensionais (espessura, comprimento e largura ou diâmetro dentro de faixas específicas e com boa uniformidade);
- Relativos à forma da seção (perfil transversal, perpendicularidade e paralelismo das faces, concavidade ou convexidade e cunha);
- Relativos à forma geométrica (aplainamento, empeno lateral ou encurvamento);
- Relativo à massa total ou linear;
- Relativo aos tratamentos térmicos ou processos de acabamento ou fabricação aplicados ou a serem aplicados (temperabilidade, soldabilidade, etc.);
- Relativo ao aspecto superficial dos produtos; e
- Relativo às propriedades mecânicas (dureza, limite de escoamento, limite de resistência mecânica, limite de resistência à ruptura, relação entre limites de escoamento e de resistência, alongamento, dobramento, conformabilidade, tenacidade, etc.).

Rizzo (2010), nos mostra que para realizar a identificação dos defeitos devemos considerar algumas características particulares, como:

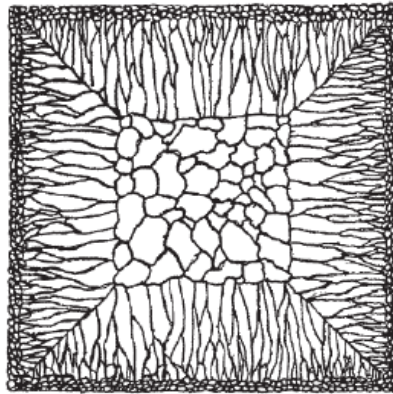
- Posição no laminado;
- Coloração;
- Grau de desoxidação;
- Face;
- Equidistância;
- Composição química.
- Sentido de laminação;

## 2.2-Macroestrutura do tarugo produzido no lingotamento contínuo.

Bombana (2012) nos mostra na figura 2 que a microestrutura do lingote se encontra em três fases, zona coquilhada, zona colunar e zona equiaxial.

Figura 2- Diagrama esquemático da morfologia das zonas de solidificação da seção transversal de um tarugo de aço lingotado. Na parte externa a zona coquilhada, colunar e no centro a equiaxial.

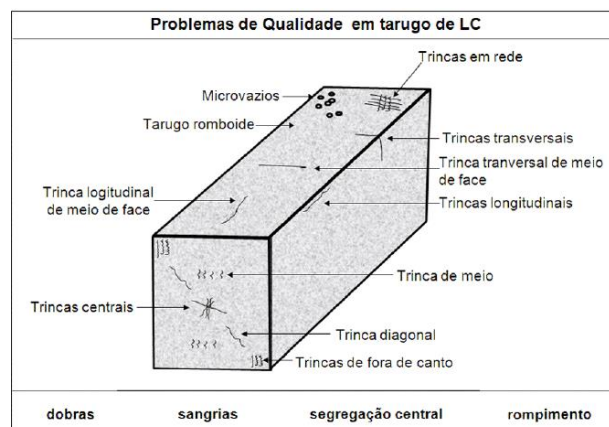
Figura 2 - Microestrutura do tarugo produzido no lingotamento contínuo



Fonte: Bombana (2012)

Bombana (2012), nos mostra em seu trabalho, na figura 3, a formação de trincas e defeitos superficiais em tarugos de aço micro ligados e em seu trabalho busca melhorar os processos de lingotamento para eliminar estas trincas.

Figura 3 - Problema de qualidade em tarugos de lingotamento contínuo



Fonte: Bombana (2012)

### 2.3-Defeitos nos tarugos - trincas internas

Rodrigues (2013) nos fala que as trincas no processo de lingotamento contínuo são relacionadas à estrutura dendrítica e que as trincas superficiais são identificadas através de inspeção visual e as internas são identificadas através de um corte feito na seção transversal ou longitudinal e um ataque com reagentes específicos para identificar a trinca existente.

### 2.4-Defeitos nos tarugos - trincas transversais.

De acordo com Rodrigues (2013) As trincas transversais, nem sempre são detectadas na inspeção dos tarugos, assim dá lugar a sérios defeitos durante a laminação de acordo com figura 4.

Figura 4 - Aspecto de uma trinca transversal em um tarugo



Fonte: Rodrigues (2013).

### 2.5-Defeitos em produtos laminados

De acordo com Rodrigues (2013) os defeitos em produtos laminados podem ser:

- De forma: quando o formato geométrico da seção transversal não está conforme o especificado.
- Dimensional: quando não atendem as tolerâncias dimensionais especificadas.
- Internos: são os de origem da matéria prima, na maioria associados a interações metalúrgicas que aparecem durante a produção e solidificação do metal líquido.
- Superficiais: que são descontinuidades que ocorrem na superfície do produto.

De acordo com Rodrigues (2013) os defeitos superficiais muitas vezes tem sua origem no processo de solidificação do metal líquido, durante a conformação do lingote, tratamento térmico e também devido ao manuseio.

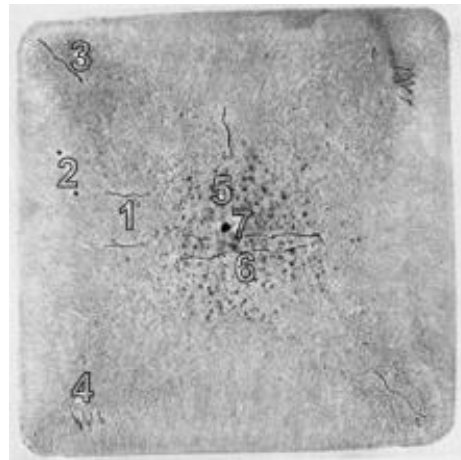
Rodrigues (2013) nos fala que defeitos superficiais são os que podem ser localizados, identificados e visualizados na superfície externa dos produtos laminados. A identificação destes

defeitos é auxiliada pelo uso de equipamentos de inspeção que fazem uso de técnicas de ensaios não destrutivos tais como, partículas magnéticas, campo de fuga, etc.

## 2.6-Trincas internas

As trincas encontradas em um lingote contínuo estão relacionados a estrutura dendrítica. A partir de um corte na seção transversal ou longitudinal no tarugo e atacando com reagente específicos podemos ver as trincas existentes.

Figura 5 - Trincas internas são muitas vezes observadas próximas aos cantos dos tarugos denominadas “off-corner”



1	Trincas de meio raio
2	Pin holes
3	Trincas diagonais
4	Trincas off-corner
5	Porosidade central
6	Trinca central
7	Segregação central

Fonte: Bombana ( 2012)

Segundo Bombana (2012), as trincas internas geradas no lingotamento contínuo dos aços tem direcionamento e origem na zona interdendrítica.

De acordo com Bombana (2012), existe diferença de comportamento de temperatura de solidificação do lingote em relação a composição química de acordo com a transformação de fases no resfriamento. Em relação a concentração de carbono, o aço pode solidificar seguindo diversos caminhos.

## 2.7-Ensaio por partículas magnéticas

Andreucci (2009) nos fala que, o ensaio por partículas magnéticas é utilizado para verificar discontinuidades na superfície e subsuperfície encontrado em materiais

ferromagnéticos. Magnetizando a peça a ser feita o ensaio e aplicando partículas ferromagnéticas, onde existe a descontinuidade haverá um campo de fuga, e essas partículas se aglomerarão destacando a descontinuidade. Existem diferentes tipos de magnetização para cada formato de material e defeito a ser analisados (Magnetização Longitudinal, Magnetização Circular e Magnetização Multidirecional). O ensaio por partículas magnéticas pode ser por via úmida, onde as partículas são misturadas com um líquido que se denomina veículo (água, querosene ou óleo leve) ou via seca, como o próprio nome diz, aplicado a seco.

### **3- MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1-Levantamento de dados de produção**

Foram levantados dados através de ensaios realizados em produtos laminados, no período de 01-06-2016 à 15-03-2017, onde foram identificados os defeitos e suas particularidades, alguns deles foram analisados através de ensaios por partículas magnéticas e outros através de inspeção visual. Todos os defeitos foram verificados na etapa final de acabamento, onde os produtos são preparados para inspeção. Foi observada em boa parte do material analisado a origem das falhas presentes, podendo identificar se era referente ao processo de laminação ou referente ao processo de lingotamento do produto. Não foi contado o número de barras inspecionadas, apesar de a inspeção ter sido em 100% da produção.

#### **3.2-Principais defeitos superficiais encontrados nas barras laminadas**

Foram verificados os defeitos superficiais que passaram por ensaio de partícula magnética e inspeção visual, onde foram caracterizados os seguintes defeitos:

- escama de aciaria;
- escama de laminação;
- dobras;
- trincas de aciaria;
- trincas em faixa;
- trincas em rede;
- trincas pontuais de Aciaria;
- trincas enraizadas de Aciaria;
- trincas de painel – Aciaria;
- trincas de laminação;
- riscos;
- trincas de topo;
- marcas de laminação;
- incrustação de carepa;

Após a detecção dos defeitos foi verificado a origem de cada um deles, através de análise mais detalhada do processo de laminação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após análise, foram caracterizados os defeitos e suas origens. As figuras 6 a 16 descrevem os defeitos encontrados no ensaio de partícula magnética e a sua origem, as figuras 17 a 20 descrevem os defeitos encontrados na inspeção visual.

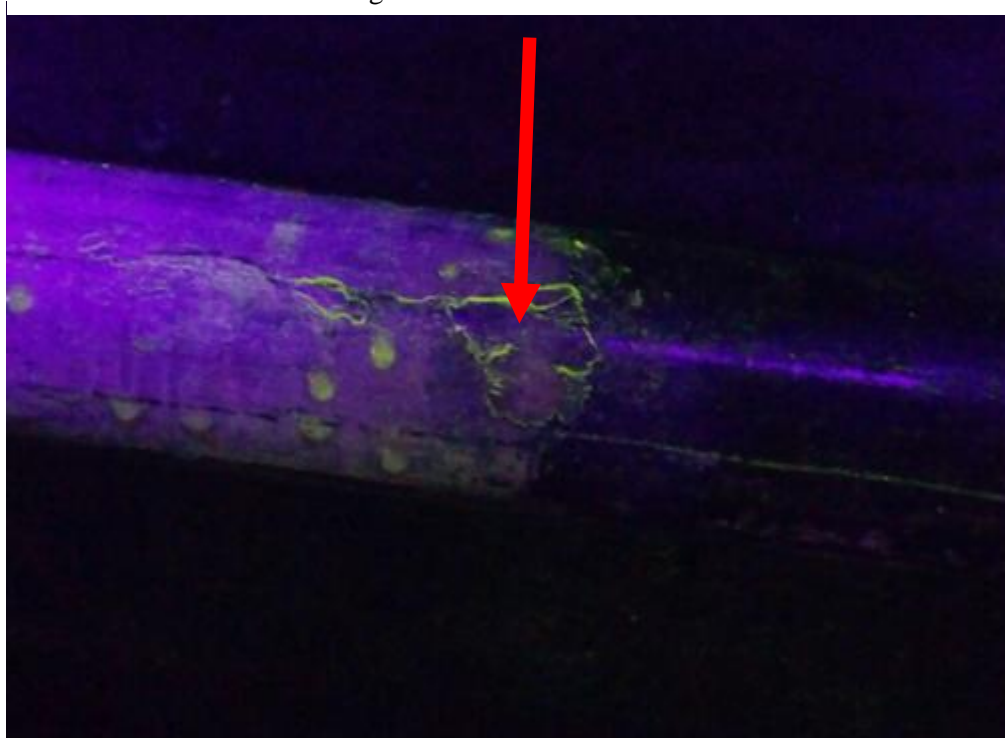
### 4.1-Defeitos encontrados após ensaio por partículas de magnéticas

O ensaio por partículas magnéticas foi realizado para se detectar descontinuidade ao longo do produto inspecionado, podendo ser por via úmida ou a seco, onde a partícula através de corrente magnética se desloca para dentro da descontinuidade revelando-a.

#### 4.1.1-Escamas

A figura 6 demonstra o defeito de escama de aciaria.

Figura 6 - Escama de aciaria



Fonte: Os autores.

As escamas são defeitos superficiais muito finos, distribuídas sobre o produto laminado. São defeitos encontrados nos materiais, são idênticos a uma escama de peixe sobreposta no material e que variam de forma e tamanho, se estendem de maneira irregular sobre a superfície do material laminado. Normalmente, entre o material e a escama, temos presença de óxidos. A escama tem diversas origens, desde a aciaria, sendo bem profundas, descarbonetadas, com presença de óxidos e de oxigênio até a laminação, tendo a participação

dos fornos de reaquecimento, dos passes intermediários e até mesmo do acondicionamento dos tarugos.

A figura 7 demonstra o defeito de escama de laminação.

Figura 7 - Escama de laminação



Fonte: Os autores.

Os defeitos que são de origem no laminador, acontecem devido:

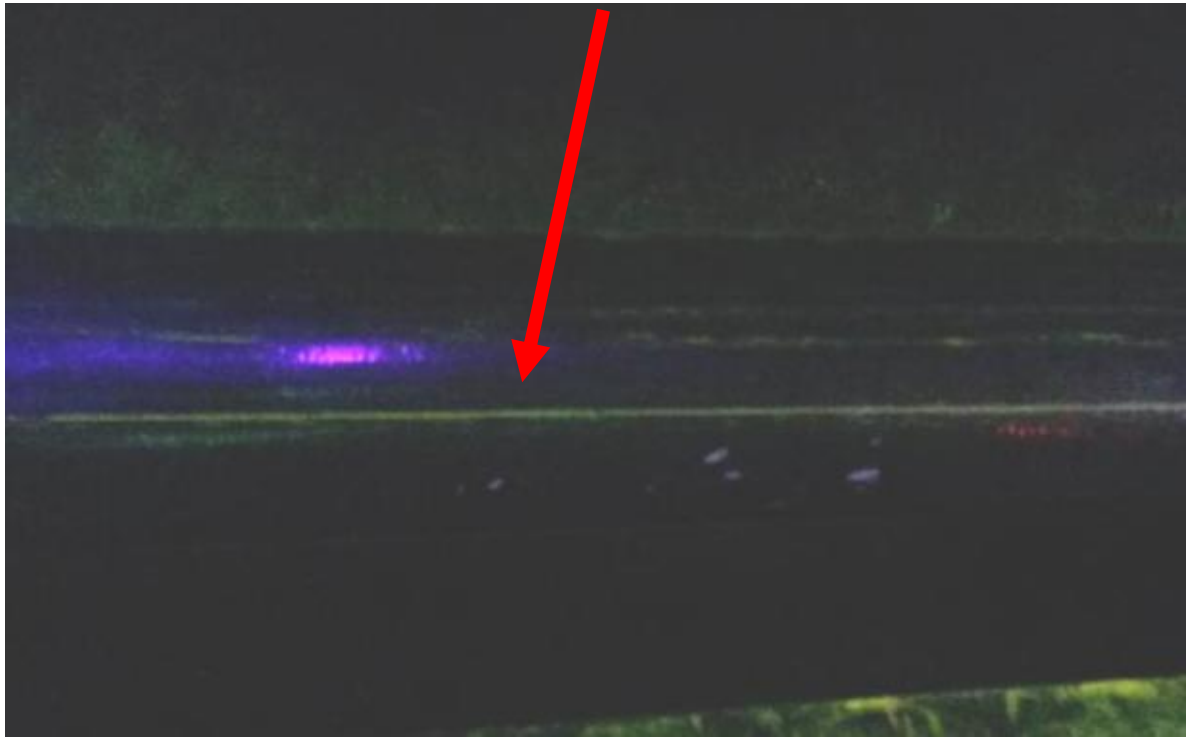
- Ressaltos produzidos sobre a superfície do material, durante a laminação, por marcas profundas existentes em canais das sequências de desbaste e intermediária;
- Marcas profundas produzidas sobre a superfície do material, durante a laminação, por canais ou rolos gastos;
- Cortes localizados e profundos causados por superfície ou aresta cortantes localizadas nas calhas do laminador.
- Cilindros patinando.
- Atrito da barra quente com pontos frios durante a laminação.
- Marcas de manuseio nos fornos de reaquecimento também geram este defeito.



#### 4.1.2-Dobras.

A figura 8 demonstra o defeito dobra de laminação

Figura 8 - Dobra



Fonte: Os autores.

A causa mais frequente está associada ao excesso de material no canal, que é forçado para fora na luz do cilindro (*bigode*) e nos passes seguintes é dobrado e laminado sobre a superfície do material. Podem também se formar quando os canais não são preenchidos suficientemente e assim o perfil laminado “magro” demais, vira no canal. Outro motivo que ocorre é o desalinhamento de gaiolas, causando *arestas* que são dobradas nos passes seguintes.

As dobras são descontinuidades que penetram obliquamente da superfície para o interior do material, são longas e uniformes. Sempre são paralelas ao eixo longitudinal e distribuídas de forma uniforme na superfície da barra. Algumas vezes aparecem também como linhas duplas paralelas.

Figura 9 demonstra o defeito de dobra de laminação com o formato de dois riscos.

Figura 9 - Dobra com o formato de dois riscos

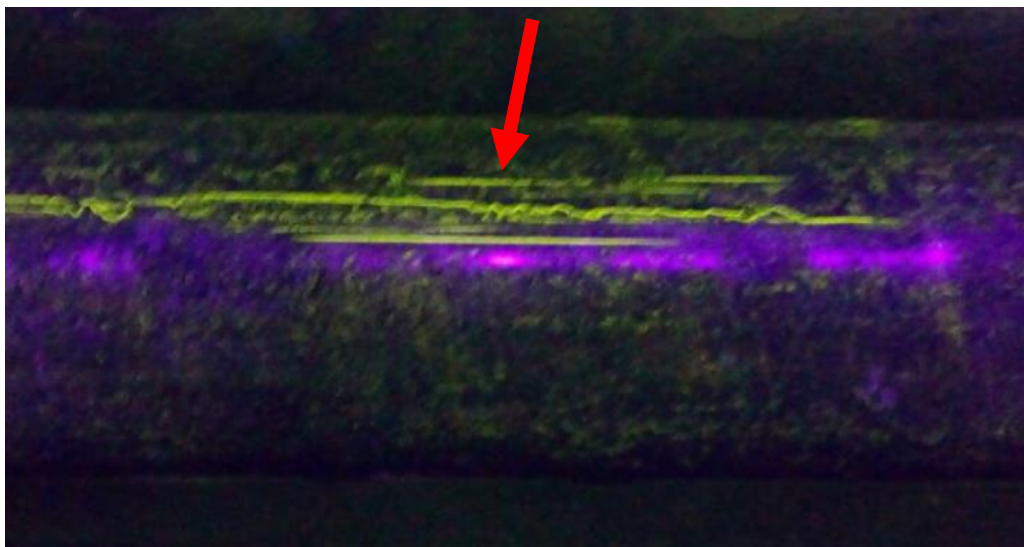


Fonte: Os autores.

#### 4.1.3-Trincas de aciaria.

A figura 10 demonstra o defeito de trinca de aciaria.

Figura 10 - Trinca de aciaria.



Fonte: Os autores.

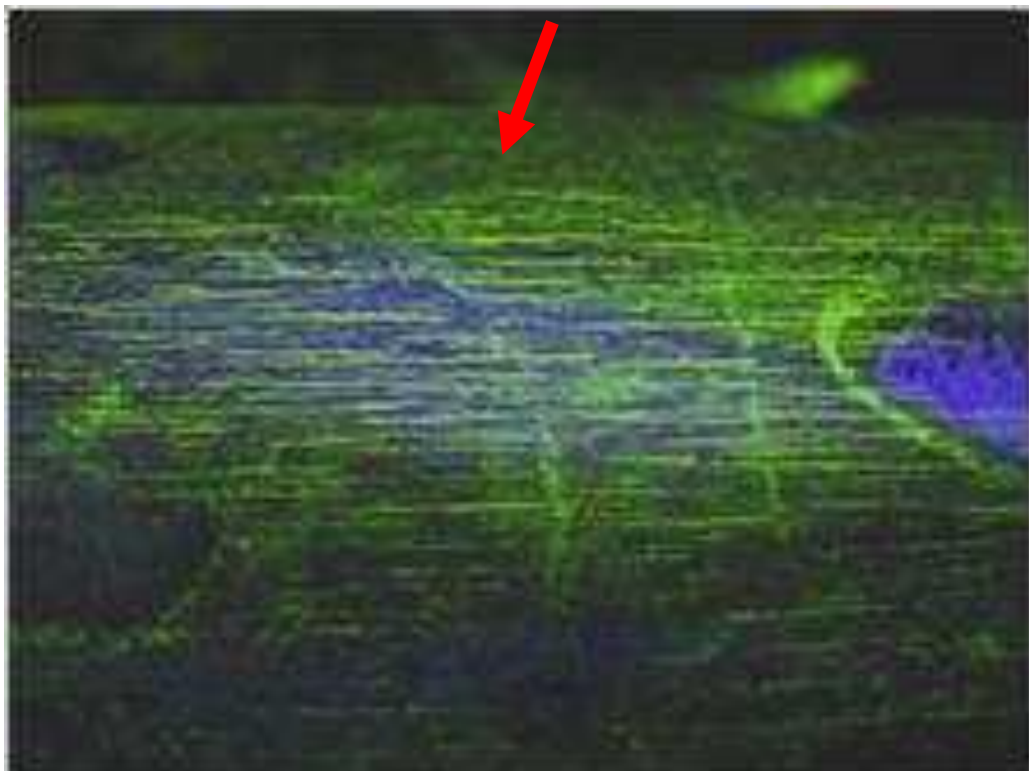
O processo de lingotamento contínuo de aços é um dos principais fatores para a formação de trincas, pois o lingote resfria muito rápido e o excesso de temperatura na superfície pode mudar rapidamente e gerar tensões térmicas conforme a superfície expande ou contrai. A superfície do lingote é submetida a tensões mecânicas induzidas devido à fricção no molde, pressão dos rolos extratores, pressão ferrostática, desalinhamento da máquina, curvatura e operações de endireitamento. Através deste esforço, qualquer uma destas tensões e deformações pode resultar na formação de trincas.

Geralmente são profundas, sendo acima de 0,40mm de profundidade, apresentam descarbonetação em sua volta, podem apresentar inclusões não metálicas, presença de óxidos, diferenças entre o tamanho de grão na região do defeito e no restante da amostra, ocorrência de grão austenítico ancorado devido à oxidação, presença de Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dispersa em uma matriz de Wustita ( $\text{FeO}$ ). Não são de formas retas como as trincas de laminação.

#### 4.1.4-Trincas em faixa.

A figura 11 demonstra o defeito de trinca em faixa.

Figura 11 - Trinca em faixa



Fonte: Os autores.

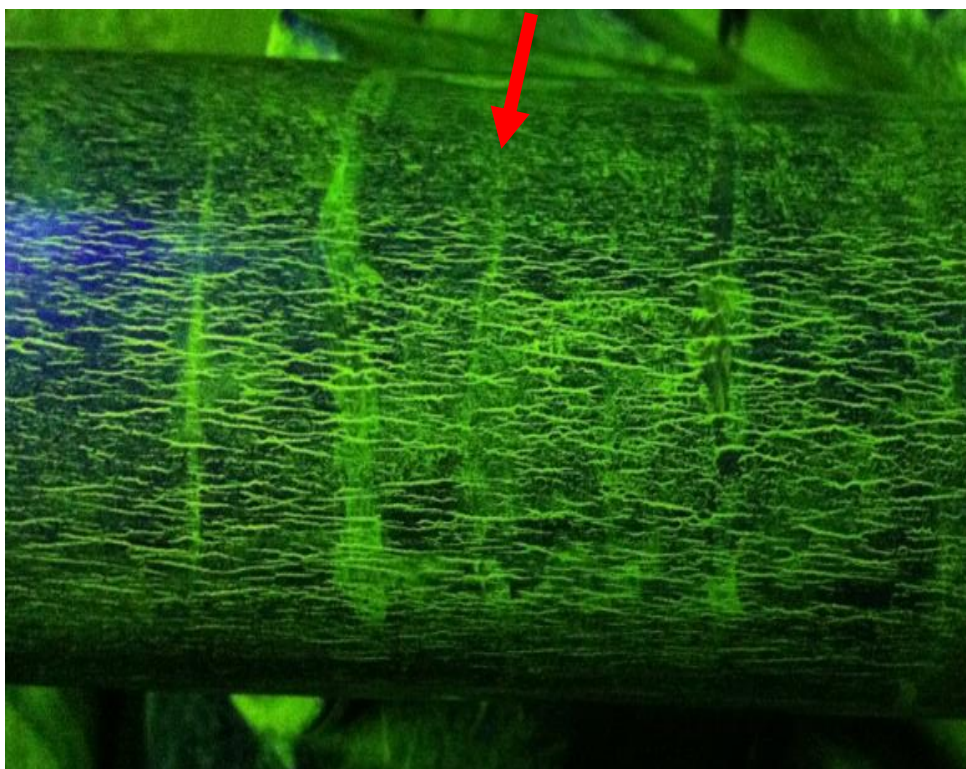
É um tipo especial de trinca de laminação, no qual várias trincas rasas encontram-se alinhadas em uma ou mais geratrizes. Essas trincas alinhadas continuam, apresentam-se

geralmente entre 2 a 3 geratrizes variando entre 25 e 50% do diâmetro com profundidades entre 0,10mm a 0,30mm no máximo, geralmente preenchida por óxidos (carepa incrustada), tipicamente sem descarbonetação ou com pouca descarbonetação. Podem surgir devido à rugosidade excessiva na superfície desgastada ou danificada dos cilindros de laminação associado a um alto grau de redução do tarugo e a perda da temperatura ao longo do processo de laminação.

#### 4.1.5-Trinca em rede.

Figura 12 demonstra o defeito de trinca em rede

Figura 12 - Trinca em rede



Fonte: Os autores.

Trincas com profundidade elevada variando geralmente acima de 0,40mm, descarbonetadas ao longo dos defeitos e que podem ser confundidas com trincas enraizadas de aciaria. São diversas trincas que se cruzam, geralmente curvas, no sentido da laminação, formando uma espécie de rede ou trama na superfície do material, geralmente com largura maior que 50% do diâmetro do material.

#### 4.1.6-Trincas pontuais de aciaria.

A figura 13 demonstra o defeito de trincas pontuais de aciaria.

Figura 13 - Trincas pontuais de aciaria



Fonte: Os autores.

Sua profundidade com aparência de ser rasa, mas na verdade é elevada, geralmente maior que 0,40mm, e apresenta descarbonetação ao longo do defeito, com presença de óxidos de reoxidação, precipitados e dispersos na matriz metálica devido à difusão do oxigênio da carepa presente antes das operações de aquecimento da laminação.



#### 4.1.7-Trinca enraizada de aciaria.

A figura 14 demonstra o defeito de trinca enraizada de aciaria.

Figura 14 - Trinca enraizada de aciaria



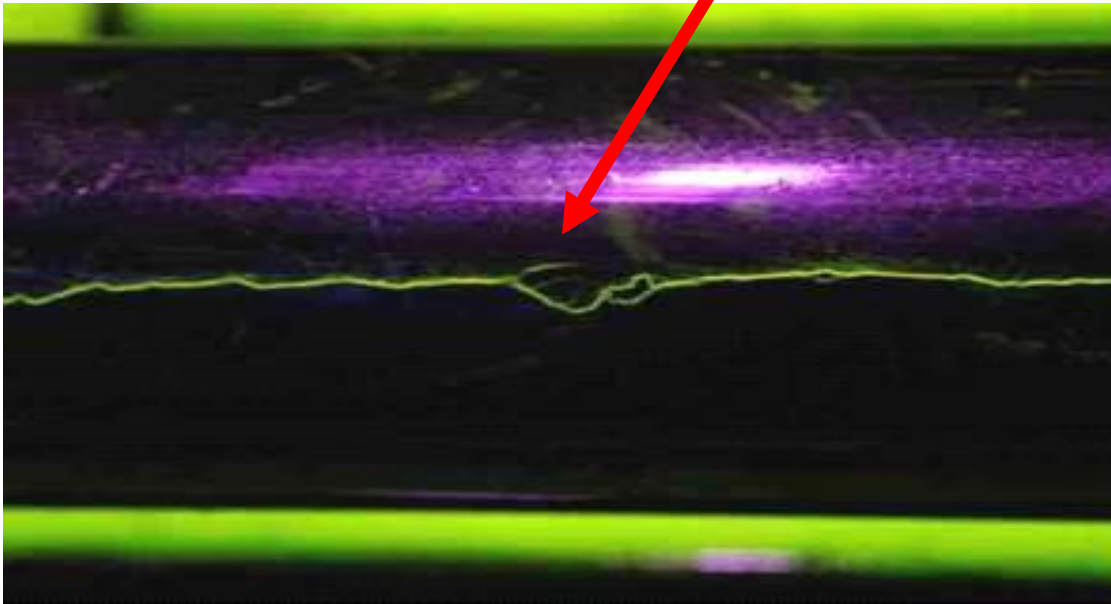
Fonte: Os autores.

Este defeito apresenta profundidade elevada, maior que 0,40mm e apresenta também descarbonetação ao longo do defeito, a característica principal é o formato que este defeito apresenta, pois não faz uma linha reta, este defeito apresenta um formato irregular.

#### 4.1.8-Trinca de painel – aciaria

A figura 15 demonstra o defeito de trinca de painel.

Figura 15 - Trinca de painel



Fonte: Os autores.

Acontecem normalmente na estrutura bruta de fusão do lingote/tarugo, afetando sempre o centro de uma das faces da peça. Geralmente são muito profundas, pois se abrem quando o lingote resfria. Estão normalmente associadas a um alto índice de Alumínio(Al) x Nitrogênio(N<sub>2</sub>) e ainda associado à alta tensão térmica. Idêntica a uma trinca de aciaria, só que bem mais profunda. Este defeito engana bem, pois é leve na superfície e conforme vai esmerilhando, a trinca vai se abrindo e se obtêm a visualização da profundidade real, geralmente acima de 10 mm de profundidade, com presença de óxidos, e descarbonatadas.

#### 4.1.9-Trincas de laminação.

A figura 16 demonstra o defeito de trinca de laminação

Figura 16 - Trinca de laminação.



Fonte: Os autores.

Nos processos anteriores ao da laminação, ou seja, no lingotamento, movimentação, espelhamento ou até mesmo provenientes do próprio tarugo, tem grande potencial em gerar defeitos superficiais no material, porém muito menor do que a aciaria.

As trincas de laminação surgem por marcas de guias, forma imprópria do canal, temperaturas incorretas de reaquecimento, riscos gerados nos primeiros passes de laminação, lascas presas ao longo do laminador, barra virada, entre outros.

Um dos fatores que interferem no surgimento de trincas na etapa de laminação é a calibração do equipamento e outra ainda é a temperatura durante a laminação. Mas existem outros fatores que também influenciam como, por exemplo, a carepa e a tensão do material.

O controle da temperatura de reaquecimento na laminação pode evitar a formação de muitos defeitos. Aumentando a temperatura de reaquecimento o material será laminado a uma temperatura mais alta, fazendo com que haja deformações em regiões nas quais o material apresenta uma melhor ductilidade a quente, reduzindo as chances de surgimento de trincas por esforços em zonas de baixa ductilidade.

As trincas de laminação tem baixa profundidade, geralmente menor que 0,60mm, pode ser preenchidas por óxidos ou não, pois este óxido pode ser uma carepa pré-existente que foi



deformada junto com a barra tipicamente sem descarbonetação ou com pouca descarbonetação.

## 4.2-Defeitos encontrados após análise visual nas barras laminadas

### 4.2.1-Riscos.

A figura 17 demonstra o defeito de risco de laminação

Figura 17 - Risco de laminação



Fonte: Os autores.

São marcas ao longo da superfície da peça laminada, que passam durante a laminação por alguma superfície pontiaguda ou arestas, localizados em guias, calhas ou condutores longitudinais.

Durante o processo de laminação, se existir arestas ou partes pontiagudas, o material laminado será cortado, ocorrendo então o arrancamento de uma tira de metal. Nesse local do produto, ficará uma marca longa, que pode manter-se aberta até o produto final.

#### 4.2.2-Marcas de laminação.

A figura 18 demonstra o defeito de marcas de laminação.

Figura 18 - Marcas de laminação.



Fonte: Os autores

Durante o processo, quando há uma quebra no rolo do laminador, esse material ao ser laminado surgirão marcas, com espaçamentos iguais entre uma marca e a outra. Dificilmente se detecta este problema no material em processo, visualizando após o término do processo de laminação do material.

#### 4.2.3-Trinca de topo.

A figura 19 demonstra o defeito de trinca de topo.

Figura 19 - Trinca de topo



Fonte: Os autores.

Este defeito ocorre na tesoura a frio quando o corte da peça está com temperatura abaixo do padrão, aumentando a tensão e gerando a trinca.

#### 4.2.4-Carepa incrustada.

A figura 20 demonstra o defeito de carepa incrustada

Figura 20 - Barra com carepa incrustada.



Fonte: Os autores

A carepa incrustada é um defeito superficial provocado pela impressão de carepa sobre a barra, durante a laminação.

Placas de carepa, durante a laminação, nos tarugos formados no forno se desprendem e são pressionadas sobre o material causando oscilações de formas e distribuição aleatórias.

Ocorrem devido a três causas básicas:

- Aços ligados ao níquel (Ni) e ao cromo (Cr) que aprisionam mecanicamente a carepa, dificultando o seu desprendimento;
- Formação de carepa aderente devido ao excesso de uso de ar de combustão e longo tempo de permanência a temperaturas elevadas;
- Má calibração dos primeiros passes de desbaste que não removeram a carepa.

## 5 CONCLUSÃO

Após as análises dos ensaios realizados nas barras laminadas no setor de acabamentos, podemos chegar as seguintes conclusões:

- 1- Os defeitos encontrados nas barras que são de origem de aciaria tem profundidade maior do que as de origem no laminador, geralmente apresentam descarbonetação em volta da descontinuidade devido ao aquecimento das barras para laminação e a recuperação da barra para envio ao cliente tem um custo mais elevado;
- 2- O defeito que tem sua origem no laminador geralmente acontece por alguma falha operacional, ou quebra de cilindro durante o processo de laminação e geralmente são mais fáceis de recuperar;
- 3- O defeito encontrado geralmente é removido por esmerilhamento, caso retire material que comprometa a dimensão permitida pelo cliente este material ou parte dele é descartado.
- 4- A grande importância da realização da inspeção em 100% das barras, pois os defeitos podem ter várias origens e várias causas e caso vá para o cliente pode gerar em prejuízo de qualidade;

Com todas essas informações podemos definir a importância da padronização das operações tanto na aciaria, como na laminação, somente dessa maneira poderemos garantir a qualidade e reduzir o número de defeitos apresentados.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Neste trabalho foram somente caracterizados os defeitos apresentados ao longo de 09 meses, como sugestão para trabalhos futuros, analisar de maneira estatística se as ocorrências dos defeitos predominam, em algum tipo de material.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOMBANA, L. T. A.. **Influência da qualidade e tipo de esmerilhamento de tarugos na geração de defeitos superficiais de barras laminadas.** Artigo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.
- RODRIGUES, F. A. M.. **Caracterização do defeito tipo trinca de laminação, ocorrido no processo de laminação de barras de aço.** Dissertação. UNESP. Guaratinguetá. 2013.
- RIZZO, E. M. S. **Processos de Laminação de Produtos longos de aço.** 1. ed. ABM. São Paulo, 2010.
- RIZZO, E. M. S. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico.** Apostila. ABM. São Paulo, 2008.
- SOARES, I. R. **Simulação por Elementos Finitos da Etapa de Desbaste na Laminação de Longos.** Dissertação. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.
- VIANA, M. C. **Análise de defeitos superficiais com origem no processo de laminação de aços especiais para a cadeia automotiva e implementação de soluções.** Dissertação. UFRGS. Porto Alegre. 2009.
- ANDREUCCI, R. **Partículas Magnéticas.** Apostila. ABENDE. Sem local. 2009.