

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de
Materiais - PPGEM

**ANÁLISE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS COM ORIGEM NO
PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE AÇOS ESPECIAIS PARA A
CADEIA AUTOMOTIVA E IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES.**

MÁRCIO COSTA VIANA

Engenheiro Metalúrgico

Dissertação para obtenção de título de
Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Siderurgia

Porto Alegre
2009

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de
Materiais - PPGEM

**ANÁLISE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS COM ORIGEM NO
PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE AÇOS ESPECIAIS PARA A
CADEIA AUTOMOTIVA E IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES.**

MÁRCIO COSTA VIANA

Engenheiro Metalúrgico

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais - PPGEM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Siderurgia.

Porto Alegre

2009

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção de título de Mestre em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Siderurgia e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rocha

Banca Examinadora:

Dr.Eng. Fidel Romel Mallqui

Prof. Dr. Nestor Cezar Heck

Dr. Alberto Moreira Guerreiro Brito

Prof. Carlos Pérez Bergmann

Coordenador do PPGEM

Porto Alegre, 20 de Dezembro de 2009.

Dedico esta dissertação aos meus pais Ruy Viana e Maria Viana, amigos que sempre me incentivaram e em especial a minha filha Marcele Viana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Gerdau Aços Especiais Piratini por proporcionar esta importante oportunidade de realizar a pós-graduação em uma das melhores universidades do Brasil.

Agradeço aos professores da Ufrgs pela dedicação e ensinamentos que muito contribuíram para minha capacitação, tanto profissional como pessoal.

Agradeço a Javier Salas por todo empenho e dedicação em passar seus conhecimentos que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao professor Alexandre Rocha pela dedicação em orientar este trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XI
RESUMO	XII
1.0 INTRODUÇÃO.....	1
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Segmentos de aços especiais	4
2.2 Fluxo de Fabricação.....	7
2.3 Aciaria: Lingotamento contínuo.....	7
2.4 Processo de Laminação	10
2.4.1 Fornos de Reaquecimento	13
2.4.2 Calibração	14
2.5 Equipamentos	17
3.0 DEFEITOS DE LAMINAÇÃO.....	20
3.1 Dobras com origem na calibração	21
3.2 Dobras originadas em riscos.....	23
3.3 Escamas	24
4.0 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	26
4.1 Etapas do procedimento experimental.....	26
4.2 Materiais utilizados	27
4.3 Metodologia de Análise.....	31
4.3.1 Macroanálise.....	31
4.3.2 Microanálise	32

5.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Priorização do problema.....	34
5.2	Desdobramento do problema.....	35
5.3	Estabelecimento de metas específicas	37
5.4	Identificação das causas potenciais	38
5.5	Estruturação do projeto (plano de ação)	41
5.6	Análise detalhada.....	42
5.7	Gestão da rotina	42
5.8	Acompanhamento do sucatamento nas linhas de inspeção para conhecimento dos tipos de defeitos	44
5.9	Tipos de defeitos nas linhas de inspeção:.....	45
5.10	Dobra de Calibração:	46
5.11	Dobras provenientes de riscos sofridos no laminador.....	48
5.11.1	Dobras com risco em caixa guias no desbaste intermediário.....	49
5.11.2	Dobras geradas de riscos de guias secas de entrada	51
5.12	Escamas provenientes de marcas ocorridas no laminador.....	53
5.12.1	Procedimento operacional para evitar marcas no laminador.....	54
5.13	Padronização.....	57
5.13.1	Padrões de processo.....	58
5.13.2	Álbum de defeitos de laminação	62
5.14	Atingimento das metas estabelecidas	62
6.0	CONCLUSÃO	64
7.0	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	66
8.0	REFERÊNCIAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:	Peça refugada durante o processo de forjamento devido a defeito pré existente com origem na laminação.....	1
Figura 1.2:	Gráfico apresenta a quantidade em percentual em função do tipo de defeito sucitado no período de janeiro de 2007 a janeiro de 2008.....	2
Figura 2.1:	Imagem mostrando a aplicação das peças provenientes das aços laminados na Gerdau Aços Especiais Piratini em um automóvel.....	5
Figura 2.2	Imagens mostrando a aplicação das peças provenientes das aços laminados na Gerdau Aços Especiais Piratini em veículos pesados.....	5
Figura 2.3:	Exemplos de peças forjadas de aços especiais para aplicação na indústria automobilística.	6
Figura 2.4:	Abertura de defeito após forjamento, devido a um defeito pré-existente de laminação (dobra).	7
Figura 2.5:	Cavalete com tarugos provenientes de lingotamento contínuo prontos para serem aplicados na laminação. Seção quadrada de 150mm com 6 metros de comprimento.	8
Figura 2.6:	Fluxo do processo produtivo na Gerdau Aços Especiais.	9
Figura 2.7:	Seção transversal de um tarugo evidenciando porosidades com grãos heterogêneos em um aço fundido e a sua estrutura final com grãos homogêneos após sofrer conformação durante a laminação. Fonte: Elements of Rolling Practcing (2).	10
Figura 2.8:	Ilustração do processo de laminação a quente. (Produção Gerdau Aços Especiais Piratini).	11
Figura 2.9:	Figura mostrando a entrada do material em uma gaiola de laminação. Fonte: Elements of Rolling Practcing (2).	12
Figura 2.10:	Desenho mostrando o comportamento do alargamento livre (região listrada vermelha) de um aço de seção quadrada entrando em um passe oval. Fonte: Calibração de produtos laminados a quente.	15
Figura 2.11:	Seqüência diamante - quadrado.....	16
Figura 2.12:	Seqüência oval - quadrado.....	17
Figura 2.13:	Seqüência oval - redondo.	17
Figura 2.14:	(a) Manipulador do desbaste (b) Com régua laterais utilizado na gaiola Bloom.	18
Figura 2.15:	Imagem de uma guia de entrada de canal.....	19

Figura 2.16:	(a) Imagem lateral de uma guia de entrada com a barra passando e sua respectiva fixação no barrão. (b) Imagem superior da guia roletada.....	19
Figura 3.1:	Classificação dos defeitos quanto à posição da barra. (a) Defeitos em duas geratrizes à 180° (característica típica de dobra de laminação), (b) Defeito em uma geratriz (característica de escamas).	20
Figura 3.2:	Caracterização quanto a continuidade.	21
Figura 3.3:	Fluxo representativo do processo de formação da dobra. a) primeiro passe formando o bigode; b) passe acabador formando a dobra a partir do bigode. c) Barra laminada final apresentando a dobra.	22
Figura 3.4:	Imagem de uma dobra originada de um risco visto no magnaflux.....	23
Figura 3.5:	Imagem de uma guia desgastada riscando o material nos primeiros passes de laminação com o material ainda na seção quadrada durante sua laminação.....	23
Figura 3.6:	Imagem no magnaflux de uma escama.....	24
Figura 3.7:	Imagem metalográfica do defeito, ataque Nital 2%.	24
Figura 4.1:	Imagem superior das gaiolas de desbaste com a identificação dos locais de retiradas de amostras.	28
Figura 4.2:	Imagem superior do trem contínuo com a identificação dos pontos estratégicos de retiradas de amostras para detecção de dobras.	30
Figura 4.3:	Fluxo de passes do trem contínuo na seqüência OVAL-REDONDO: (a) oval; (b) Redondo; (c) Oval; (d) Falso Redondo; (e) Redondo. Fonte: Calibração: Produtos longos de aço laminados a quente.....	30
Figura 4.4:	Macroanálise com magnaflux mostrando barras com o defeito tipo escama.	32
Figura 4.5:	Micrografia de amostra com defeito tipo escama atacada com o reagente nital 2%.	33
Figura 5.1:	Gráfico de pareto geral dos motivos de sucata do ano de 2007.	34
Figura 5.2:	Gráfico seqüencial de 2007 mostrando uma clara tendência de crescimento nos índices de sucatamento por escama e dobra, e a meta de 0,48% a ser atingida em Dezembro de 2008.	35
Figura 5.3:	Análise dos dados primeiramente por bitola e depois pelo tipo de aço.....	35
Figura 5.4:	Gráfico pareto do sucatamento por dobras e escamas na laminação 1 por bitola laminada.	36
Figura 5.5:	Gráfico pareto do sucatamento por dobras e escamas na laminação 1 por tipo de aço.....	36
Figura 5.6:	Gráfico seqüencial do percentual de refugo por dobra com a meta específica de 0,27% para ser atingida até Dezembro.	37
Figura 5.7:	Gráfico seqüencial do percentual de refugo por Escama com a meta específica de 0,14% para ser atingida até Dezembro.	37
Figura 5.8:	Fluxo mostra como deve funcionar o sistema de trabalho do laminador. ...	38

Figura 5.9:	Ishikawa de causas gerais do processo, onde as caixas laranja são os pontos a serem priorizados devido a sua importância.	40
Figura 5.10:	Fluxograma da estruturação do projeto.	41
Figura 5.11:	Ishikawa de causas detalhadas de um equipamento, onde as caixas laranja são os pontos a serem priorizados devido a sua importância.	43
Figura 5.12:	Gráfico de pareto mostrando ser a linha de inspeção de maio sucatamento.	44
Figura 5.13:	Padrão para classificação de defeitos.	45
Figura 5.14:	Imagem da amostra 2 apresentando bigode.....	46
Figura 5.15:	Inspeção por partículas magnéticas na barra laminada após sua laminação (tarugo 2 – amostra 3).....	47
Figura 5.16:	Imagem metalográfica, ataque Nital 2%. Fonte: Aços Especiais Charqueadas, Laminador 1.	47
Figura 5.17:	Figura mostrando o comportamento antes e após a mudança na seção de entrada do trem contínuo. Fonte: Projeto redução de refugo por dobras no laminador da Aços especiais charqueadas.	48
Figura 5.18:	Dobra com 0,24mm de profundidade, com 0,20mm de abertura inicial.	49
Figura 5.19:	Imagem metalográfica, ataque Nital 2%.	49
Figura 5.20:	Foto evidenciando o rolete da guia desgastado após quebra do rolamento e o desenho representando o risco no material.....	50
Figura 5.21:	Imagem da dobra originada de riscos no magnaflux.....	51
Figura 5.22:	Dobra com 0,34mm de profundidade, com 0,13mm de abertura inicial, com 4 peças sucataadas. Ataque Nital 2%.	51
Figura 5.23:	Desenho ilustrando o tarugo em contato com as partes desgastadas do laminador gerando defeitos.	52
Figura 5.24:	Imagem a: da cavidade com 0,17mm de profundidade analisada no magnaflux. Imagem b: ataque em Nital 2%.	53
Figura 5.25:	Imagem a: Escama com 0,26mm de profundidade - 0,12mm de abertura inicial do defeito, vista no magnaflux. Imagem b: ataque Nital 2%.	54
Figura 5.26:	Passo 1: recepção de um material pelo manipulador nos primeiros passes do blooming, sem encostar nas régua evitando geração de riscos que levarão a escamas.	55
Figura 5.27:	Passo 2: recepção de um material com o manipulador do tipo girador, evitando o contato com o material.....	55
Figura 5.28:	Utilização das pinças para girar o tarugo para alinhar com a entrada do canal.....	56
Figura 5.29:	Desenho esquemático mostrando a proposta de funcionamento do sistema de padronização.	57
Figura 5.30:	Diretrizes de laminação mostrando detalhadamente como evitar o surgimento de dobras.....	59

Figura 5.31:	Diretrizes gerais do processo mostrando detalhadamente como manipular o material destacando os “pontos chave” do processo.	60
Figura 5.32:	Padronização dos pontos críticos do equipamento com os requerimentos e itens de manutenção.....	61
Figura 5.34:	Gráfico seqüencial do resultado de sucata percentual de dobra e escamas a partir do momento da execução das ações.	62
Figura 5.33:	Visão geral do álbum de defeitos de laminação.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1:	Faixa de composição química para a qualidade de aço 20 MnCr 5.	28
Tabela 4.2:	Amostras retiradas durante a laminação nas gaiolas M2 e M3.	29
Tabela 4.3:	Amostras retiradas durante a laminação nas gaiolas M2 e M3.	29
Tabela 4.4:	Composição e preparação do reagente Nital 2%.	32
Tabela 5.1:	Tabela mostrando o resultado das amostras retiradas durante a laminação no trem contínuo.....	46
Tabela 5.2:	Amostras retiradas durante a laminação.....	53

RESUMO

TÍTULO: “ANÁLISE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS COM ORIGEM NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE AÇOS ESPECIAIS PARA A CADEIA AUTOMOTIVA E IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES”

Diversos tipos de defeitos superficiais estão presentes em barras laminadas (e produtos longos) e a presença destes defeitos pode ser muito prejudicial ao desempenho de peças, principalmente, quando se trata de aços para aplicação na cadeia automotiva, onde os níveis de exigência durante o forjamento da peça e durante a sua aplicação são extremamente elevados. Neste trabalho buscou-se determinar as condições operacionais mais apropriadas para a melhoria da qualidade superficial do produto laminado bruto com conseqüente redução de refugo e retrabalho ao longo de toda a cadeia de produção. O objetivo do trabalho é mostrar os defeitos de superficiais de dobra e escama como conseqüência de condições operacionais inapropriadas. Para isto aplicou-se uma metodologia que envolve a análise dos principais pontos de geração de defeitos, possibilitando um levantamento das causas. Com as ações propostas, buscou-se tornar o processo mais estável. Obtiveram-se melhorias significativas na qualidade superficial do material com acentuada redução no refugo por qualidade de aço produzido.

Palavras-chave: laminação, produtos longos, aço, defeitos qualidade.

ABSTRACT

TITLE: “ANALYSIS OF SURFACE DEFECTS ORIGINATED ON THE ROLLING PROCESS OF AUTOMOTIVE STEELS AND IMPLEMENTATION OF SOLUTIONS”

Several types of defects are present in rolled bars and their effects can be very harmful to the performance of mechanical parts, especially in the case of steels for application in the automotive industry, where quality requirements during forging and during its application are high. In this study we sought to determine the most appropriate operating conditions for the reduction of scrap caused by defects that originate in the rolling process, the analyzed defects were the so called overlap of rolling, scales and risks. For this a methodology that involved the analysis of the main points of generation of defects, allowing a survey of the causes was applied. With the proposed actions it was aimed at making the process more stable. This led to a significant improvement in surface quality of the material with marked reduction in scrap for each kind of steel..

Key-words: rolling, steel, long products, defects, quality

1.0 INTRODUÇÃO

As barras brutas manufaturadas da Gerdau AEP possuem aplicação final em usinagem, trefilação, rolamento, molas, relaminação e principalmente forjamento (a frio, a morno, a quente e por rolagem).

A maior parte do volume esta nas qualidades de aços de construção mecânica que atendem setores altamente exigentes do mercado, como o setor automotivo e de equipamentos industriais, o que faz com que o material seja submetido a condições severas de processamento e aplicação.

Devido às condições de processamento e aplicação, os níveis exigidos de qualidade são extremamente altos e pequenos defeitos na superfície da barra podem gerar grandes perdas durante o processamento da peça ou até mesmo uma quebra em campo já no automóvel.



Figura 1.1: Peça refugada durante o processo de forjamento devido a defeito pré existente com origem na laminação.

Para garantir que materiais defeituosos, defeitos estes que na sua grande maioria são visíveis apenas com auxílio de equipamento, as usinas investem milhões em linhas de inspeção automáticas capazes de identificar o local dos defeitos nas barras e separar o

material para recuperação, caso seja possível, ou sucata-lo. Em ambos os casos gera-se um prejuízo de milhões de reais ao ano para a empresa.

O trabalho foi focado nos principais problemas de qualidade, com base no histórico de sucata, conforme demonstra a figura 1.2.

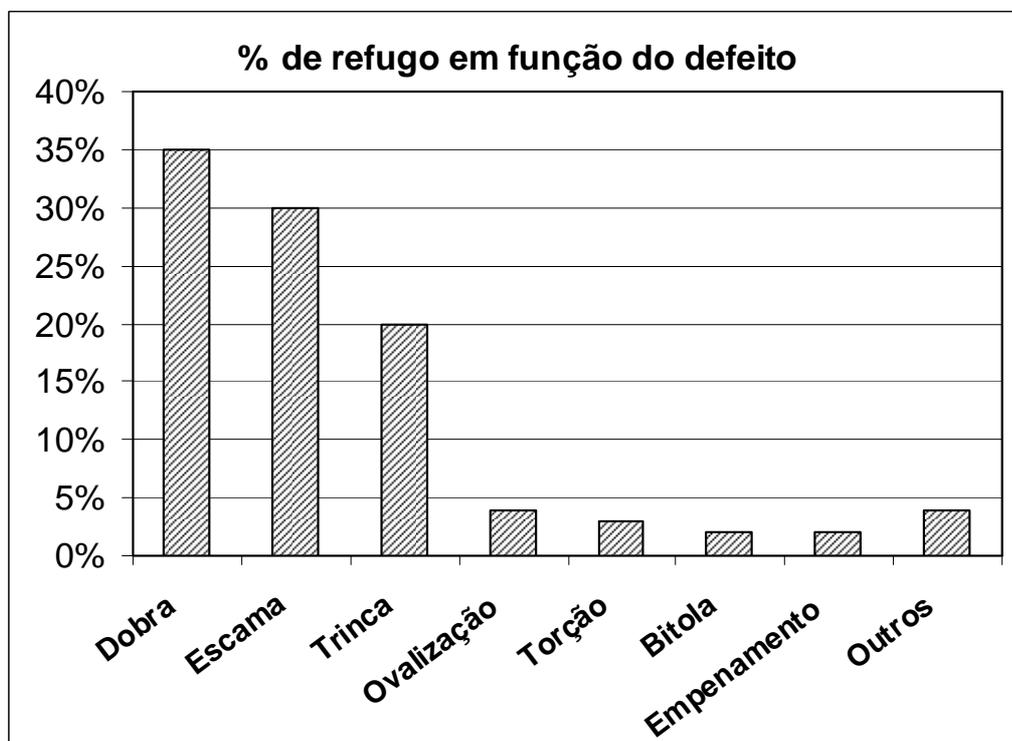


Figura 1.2: Gráfico apresenta a quantidade em percentual em função do tipo de defeito sucata no período de janeiro de 2007 a janeiro de 2008.

Conforme o histórico, 85% do refugo é proveniente de defeitos superficiais, estes chamados de dobras, escamas e trincas.

O objetivo do trabalho é redução do sucata por defeito superficial com origem na laminação chamados de dobra e escama que são responsáveis por 35% e 30% do sucata respectivamente. Também é objetivo do trabalho consolidar o resultado, desenvolvendo uma padronização que perpetue o know-how gerado na área de produção, acelere a capacitação de novos operadores e disponibilize o conhecimento a todos.

Sabemos que as dobras ocorrem devido a um excesso de alargamento no material, fenômeno este, que será detalhado no decorrer do trabalho. O alargamento é afetado diretamente pelas variáveis que influenciam a resistência a deformação do aço, como temperatura, composição química, % de redução (deformação por passe) e velocidade de deformação. Já as escamas são defeitos provenientes do atrito do material com algum

ponto do equipamento nos passes intermediários gerando irregularidades na superfície da barra que após sofrerem novos passes de laminação acabam ficando com um aspecto de escama de peixe.

Por se tratar de um processo industrial contínuo, eventuais 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.

O trabalho mostra como foi obtida uma melhora significativa da qualidade superficial do produto, detalhando desde o estudo dos dados históricos, o levantamento das causas possíveis, trabalho em campo, investigação das causas e descreve o fenômeno de geração dos defeitos de dobra e escama.

Esta dissertação visa a dar ferramentas e conhecimento para a equipe solucionar problemas, criar uma laminação mais segura com ações preventivas tornando processo menos susceptível a eventuais variações com a determinação dos pontos críticos do equipamento, determinando as condições necessárias para minimizar a geração de defeitos.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo realizou-se uma descrição do processo laminação de aços na empresa GERDAU - Aços Especiais Piratini, da aplicação de seus produtos, da importância da qualidade superficial e uma revisão da bibliografia existente sobre defeitos superficiais tipo dobra e escama e suas prováveis origens, segundo diversos pesquisadores e institutos de pesquisa.

2.1 Segmentos de aços especiais

As peças de barras brutas em aço de construção mecânica manufaturadas da Gerdau AEP apresentam inúmeras aplicações, sendo a grande maioria para forjamento de peças para aplicação em automóveis.

Os diversos aços produzidas na Aços Especiais Piratini são empregados em inúmeras aplicações: fabricação de capas, pistas e roletes para rolamentos, bielas, engrenagens, barra de direção, a maioria dos componentes do sistema de suspensão do automóvel e veículos pesados (figura 2.1 e figura 2.2), também pinhões e componentes de máquinas que exigem cementação. Alguns destes componentes podem ser vistos na figura 2.3.

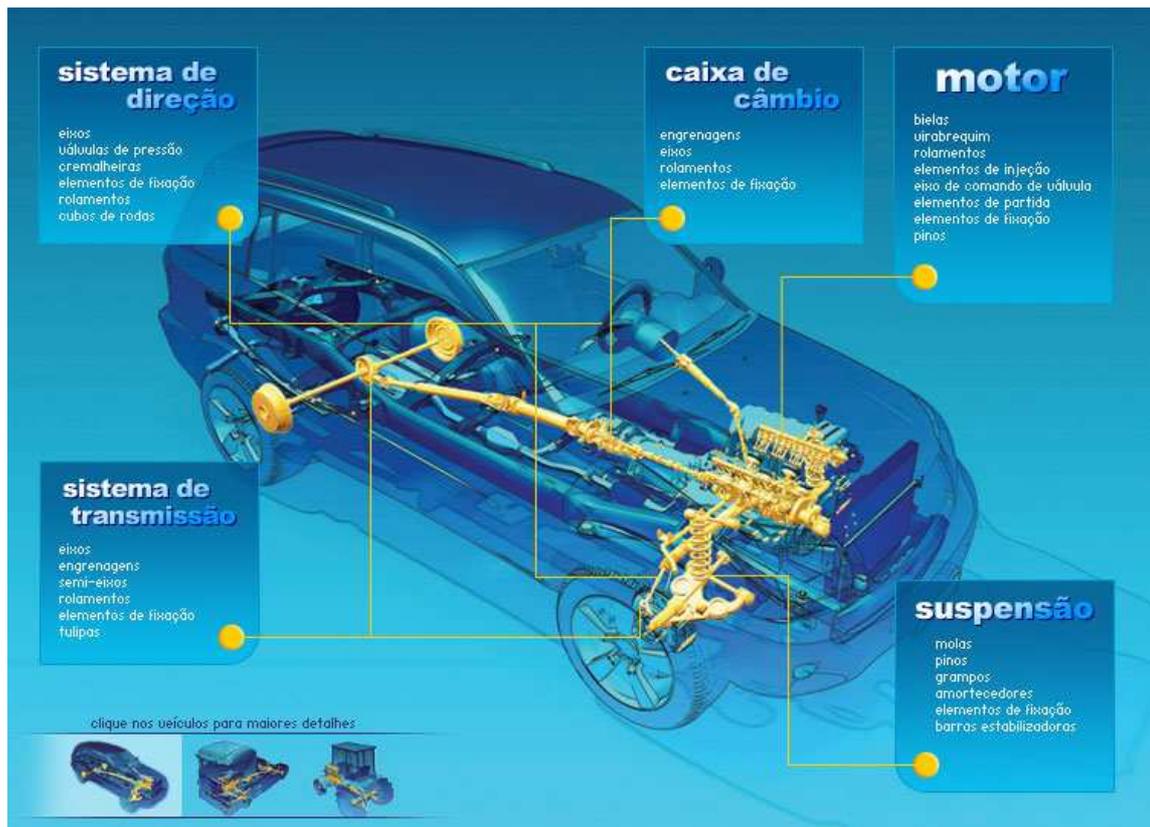


Figura 2.1: Imagem mostrando a aplicação das peças provenientes das aços laminados na Gerdau Aços Especiais Piratini em um automóvel.



Figura 2.2: Imagens mostrando a aplicação das peças provenientes das aços laminados na Gerdau Aços Especiais Piratini em veículos pesados.



Figura 2.3: Exemplos de peças forjadas de aços especiais para aplicação na indústria automobilística.

Devido às condições críticas de processamento e aplicação em campo, onde os esforços a que são submetidas as peças são extremamente altos, o mercado em que a Aços Especiais Piratini - AEP se encontra, exige níveis de qualidade superficial com praticamente isenção de defeitos superficiais, o que leva a empresa a investir milhares de reais tanto na busca da melhoria contínua da qualidade de seus materiais como também em linhas de inspeção automatizadas, garantindo a segurança de seus clientes em um mercado altamente competitivo e exigente. Na figura 2.4, é exemplificado um dos problemas que uma barra laminada com defeito pode originar em um processo de forjamento. Um defeito do tipo dobra de aproximadamente 0,30mm fez com que trincas se propagassem, inutilizando a peça, devido as forças aplicadas durante na conformação de topo do blank.

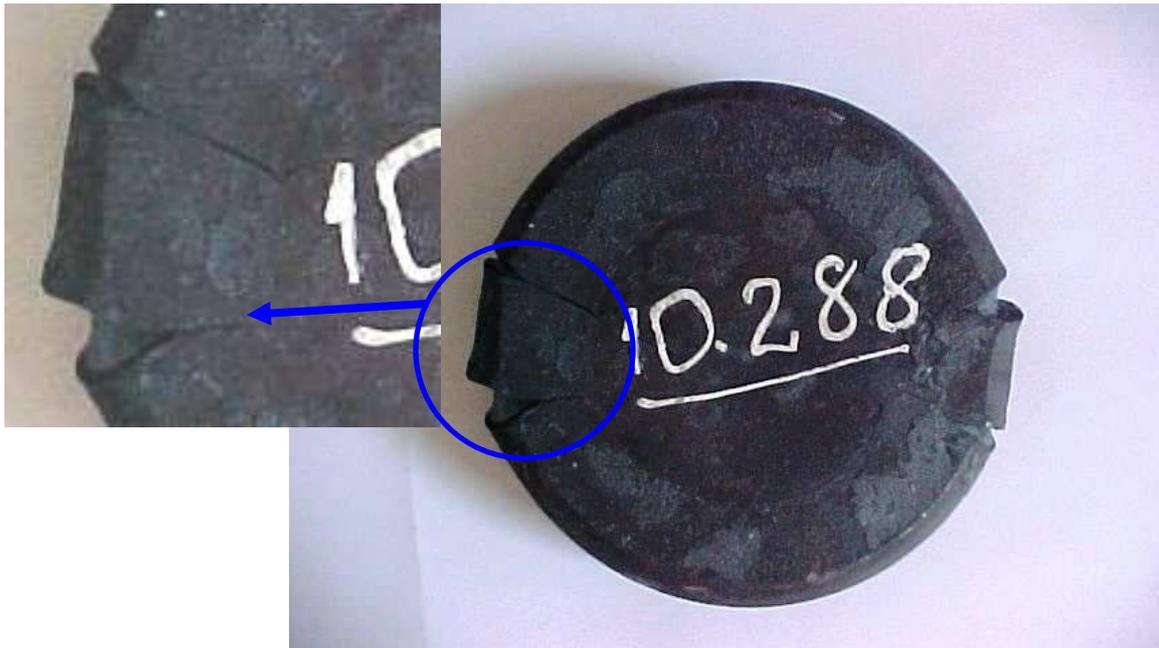


Figura 2.4: Abertura de defeito após forjamento, devido a um defeito pré-existente de laminação (dobra).

2.2 Fluxo de Fabricação

Inicialmente focou-se o trabalho em barras laminadas redondas e quadradas na faixa de bitola entre 50,80mm e 139,00 mm. O fluxo total do processo pode ser visto na figura 2.6. O processo pode ser exemplificado em 3 etapas fundamentais:

- Processo de fabricação do aço na aciaria, fornecendo o tarugo ou lingote.
- Processo de conformação na laminação, onde o aço na forma de tarugo é processado e transformado em barras redondas ou fio-máquina.
- Processo de inspeção, onde a barra já laminada sofre uma detalhada inspeção com o objetivo de liberar o material dentro das condições adequadas ao cliente.

2.3 Aciaria: Lingotamento contínuo

O seu produto é o aço em sua estrutura bruta de fusão (figura 2.5), usualmente chamado de tarugo, que segue para ser processado por laminação.

Feito basicamente de sucata e ferro gusa conforme pode ser visto no fluxo da figura 2.6.

No estado fundido o aço apresenta granulação grosseira, se forma a altas temperaturas e o esfriamento no interior dos moldes é muito lento.



Figura 2.5: Cavalete com tarugos provenientes de lingotamento contínuo prontos para serem aplicados na laminação. Seção quadrada de 150mm com 6 metros de comprimento.

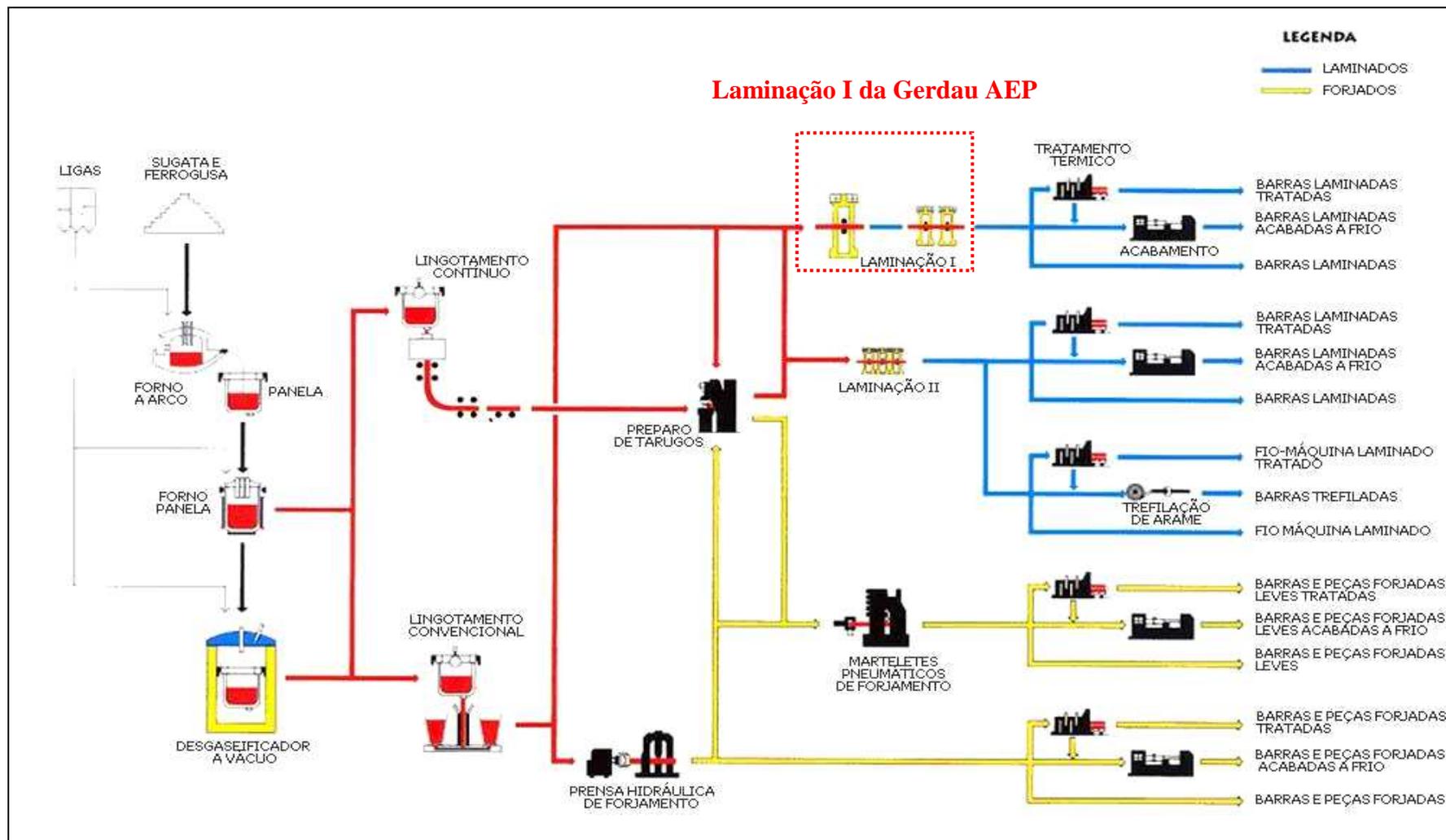


Figura 2.6: Fluxo do processo produtivo na Gerdau Aços Especiais.

2.4. Processo de Laminação

A laminação tem como objetivo básico dar forma a barra, melhorar a estrutura interna, propriedades mecânicas e qualidade superficial (DIETER 1981). O processo ocorre por deformação plástica dos metais com o material sendo submetido a tensões compressivas altas, resultantes da ação de prensamento de rolos, e a tensões cisalhantes superficiais, resultantes da fricção entre rolos e material conforme a figura 2.7. É o processo de transformação mecânica de metais mais usados na prática porque apresenta uma alta produtividade e um controle dimensional do produto acabado que pode ser bastante preciso.

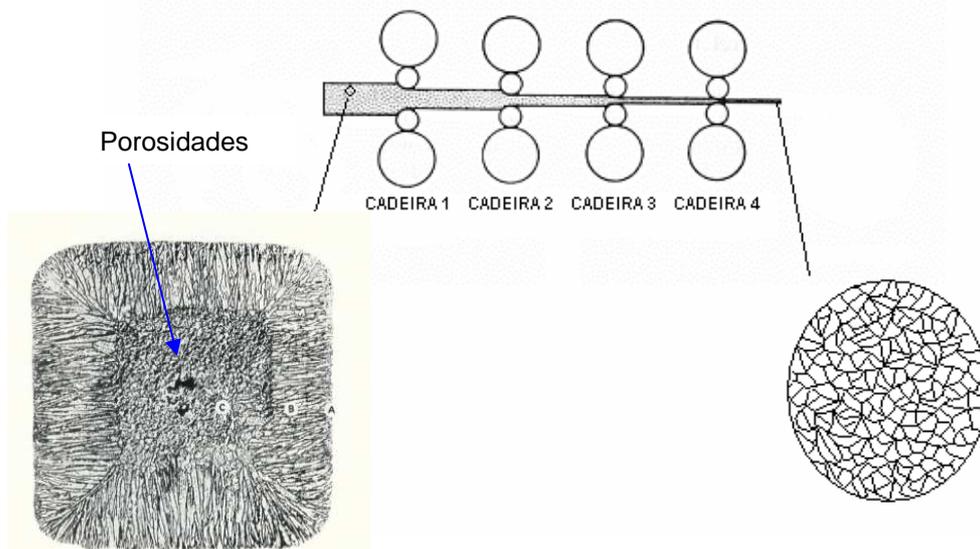


Figura 2.7: Seção transversal de um tarugo evidenciando porosidades com grãos heterogêneos em um aço fundido e a sua estrutura final com grãos homogêneos após sofrer conformação durante a laminação. Fonte: Elements of Rolling Practcing (2).

Conforme a figura 2.8, na laminação a quente os tarugos de aço são colocados em fornos de reaquecimento e aquecidos acima da temperatura de austenitização.

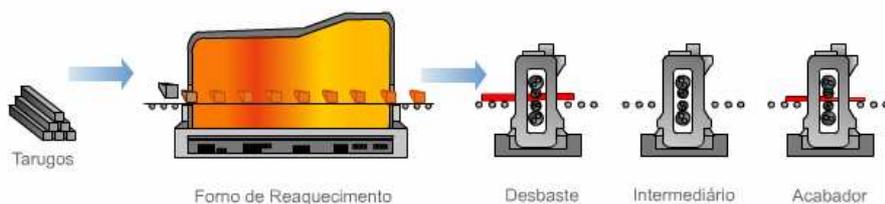


Figura 2.8: Ilustração do processo de laminação a quente. (Produção Gerdau Aços Especiais Piratini).

As forças envolvidas na laminação podem facilmente atingir milhares de toneladas, tornando-se necessária uma construção bastante rígida, além de motores muito potentes para fornecer a potência requerida. Fica assim fácil de compreender por que em modernas instalações de laminação gastam-se milhões de dólares de investimento e tempo de projeto uma vez que esses requisitos são multiplicados para as sucessivas bancadas (ou cadeiras) de laminação contínua (DIETER, 1981).

As gaiolas de trens contínuos de laminação podem ser divididas em dois grupos:

- 1) Onde o processo de laminação não ocorre continuamente e o metal deixa os respectivos cilindros livre.
- 2) Onde o processo de laminação ocorre continuamente.

No primeiro método o comprimento do metal a ser laminado é usualmente curto, ex. lingotes, billets, e placas etc. Os espaços entre as gaiolas são grandes, o que necessita de uma estrutura predial muito longa. Na laminação contínua, as gaiolas são postas uma próxima a outra, gerando grandes benefícios de qualidade, custo e produção. A pequena distância entre os cilindros leva a perdas pequenas de temperatura durante o passe, o que reduz o consumo de energia e o consumo de cilindro. Neste tipo de laminação grandes seções de tarugos podem ser usados (WUSATOSK, 1970).

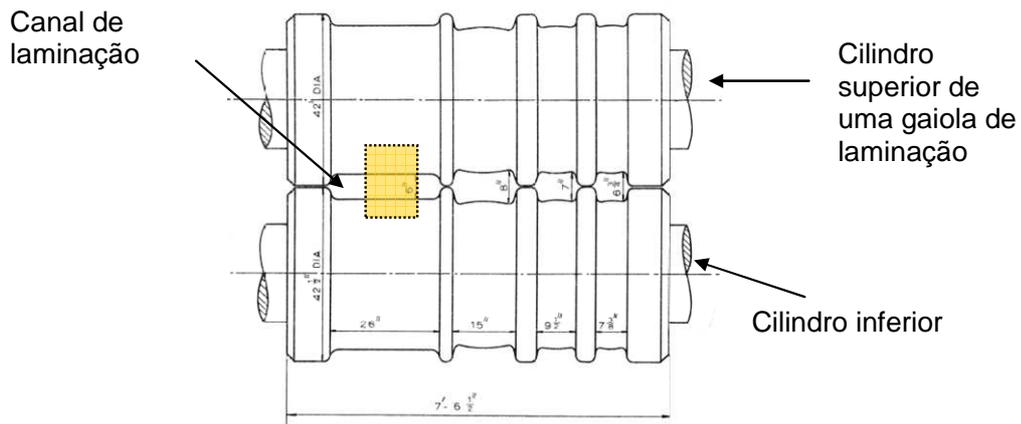


Figura 2.9: Figura mostrando a entrada do material em uma gaiola de laminação. Fonte: Elements of Rolling Practcing (2).

Em trens contínuos, uma vez que cada cadeia aplica uma redução diferente, a barra movimenta-se com velocidades distintas em cada estágio da laminação. A velocidade de cada grupo de rolos está sincronizada de maneira que cada cadeia sucessiva pegue a barra com uma velocidade igual à velocidade de saída da cadeia precedente.

O processo de laminação incluindo o reaquecimento irá interferir diretamente nas propriedades mecânicas do aço, além do lingote proveniente da Aciaria ganhar a forma desejada já que este se encontra com a textura bruta de fusão.

Textura bruta de fusão é uma expressão com que se designa a textura do aço no estado que se solidificou e esfriou normalmente, sem qualquer tratamento térmico ou mecânico posterior (COLPAERTE, 1997).

Muitos parâmetros influenciam o processo de laminação, mas alguns merecem destaque especial:

- Reaquecimento do tarugo: tempo e temperatura de forno.
- Calibração: determinam o percentual de redução por passe e a velocidade de deformação.

A chamada laminação a quente se deve ao fato do material ser aquecido acima da transformação Austenítica (em média 723°C para aços ao carbono), processo com temperatura abaixo desta é considerado laminação a frio.

A laminação a quente determina: baixa resistência a deformação, possibilidade de substanciais mudanças de forma, sucessivas regenerações e crescimento de grãos (material não encrua). A temperatura normal de início de laminação para aços está entre 1100°C e 1200°C. (CODA, 2000). Visto isso, o aquecimento dos aços é uma etapa fundamental na qualidade do produto final da laminação, busca-se com o reaquecimento dos aços transferir para a carga a quantidade de calor necessária de modo à facilitar os processos de conformação mecânica subseqüentes. (BEUREN, Jair; TRAVI, Tatiana, 2000).

Na fase de aquecimento dentro de um processo de reaquecimento, devem ser consideradas três variáveis básicas:

- Velocidade de aquecimento;
- Temperatura máxima de aquecimento;
- Tempo de permanência da peça na temperatura máxima.

Estas variáveis devem ser executadas dentro de padrões rígidos, variadas de acordo com as características microestruturais do aço (BEUREN, 2000).

A temperatura de aquecimento é mais ou menos fixa, sendo determinada pela natureza do processo, das propriedades e das estruturas finais desejadas, da composição química do aço e principalmente do seu teor de carbono.

A influência do tempo de permanência do aço à temperatura de aquecimento é mais ou menos idêntica à máxima temperatura de aquecimento, isto é, quanto mais longo o tempo à temperatura considerada de Austenitização, tanto, mais completa a dissolução do carbono de ferro ou outras fases presentes tais como carbonetos complexos e formados com os elementos de liga do aço, entretanto maior o crescimento de grão resultante (CHANDLER, 1995).

2.4.1 Fornos de Reaquecimento

Os fornos utilizados na indústria atualmente para o processo de laminação são os fornos contínuos, dotados de controles automáticos, quando se deseja obter elevada produtividade associada a um produto de qualidade.

Os fornos contínuos de reaquecimento utilizados na laminação basicamente são do tipo:

- Forno de Vigas e Soleiras Móveis (Walking Hearth e Beam)
- Forno empurrador (Pucher)

Para o bom desempenho destes fornos, é necessário que os seguintes requisitos sejam satisfeitos:

- a) Garantia de uma temperatura de desenformamento adequada ao processo de laminação, com uma boa homogeneidade térmica;
- b) Garantia de níveis de produtividade da linha, evitando-se que os fornos se tornem o gargalo do processo;
- c) Diminuição da formação e da aderência da carepa, assegurando-se a sua remoção nas descarepações, através de um controle adequado da temperatura e do ambiente do forno;
- d) Garantia da uniformidade de temperatura dos materiais, durante o processo de laminação;
- e) Minimização das diferenças de temperatura provocadas pelo resfriamento localizado na região do contato do vigas (região de contato com o tarugo) com os semi-produtos;
- f) Garantia de uma boa eficiência térmica do processo, visando o menor consumo de energia possível;
- g) Controle adequado da pressão interna dos fornos, visando uma melhor distribuição de temperaturas, evitando-se as entradas de ar frio nas câmaras de combustão;
- h) Desenformamento dos materiais de acordo com o tempo programado, objetivando uma velocidade uniforme de deslocamento da carga dentro do forno (HAUCK, 2000).

2.4.2 Calibração

A calibração consiste na distribuição da deformação total desejada no material em um conjunto de deformações intermediárias. Estas deformações intermediárias são denominadas passes de laminação (figura 2.11, 2.12 e 2.13), e os diferentes conjuntos de passes são denominados de seqüência de calibração.

Uma boa calibração implica em uma distribuição uniforme das reduções de área, pois um passe de laminação, utilizado corretamente, deve considerar as limitações de potência do equipamento, e os limites percentuais de redução de área que o material pode sofrer, já quando aplicado uma redução excessiva pode-se ultrapassar o limite de resistência a ductibilidade a quente, o que faz que o material se rompa ocasionando trincas no produto. Em média costuma se aplicar as maiores reduções nos desbastes em torno de 28% (CODA 2001).

Outra questão fundamental para uma boa calibração é o calculo correto do material de entrada e saída de cada passe já que um passe mal calculado poderá fazer com que entre material em excesso em um passe o que gera defeitos no material ou até mesmo quebrar o equipamento.

Alargamento e altura média

O alargamento corresponde ao aumento de largura da barra durante o passe de laminação. Conforme demonstrado na região vermelha da imagem da seção transversal de uma barra durante a passagem no canal na figura 2.10. O bom controle desse fenômeno é fundamental para a qualidade do produto laminado.

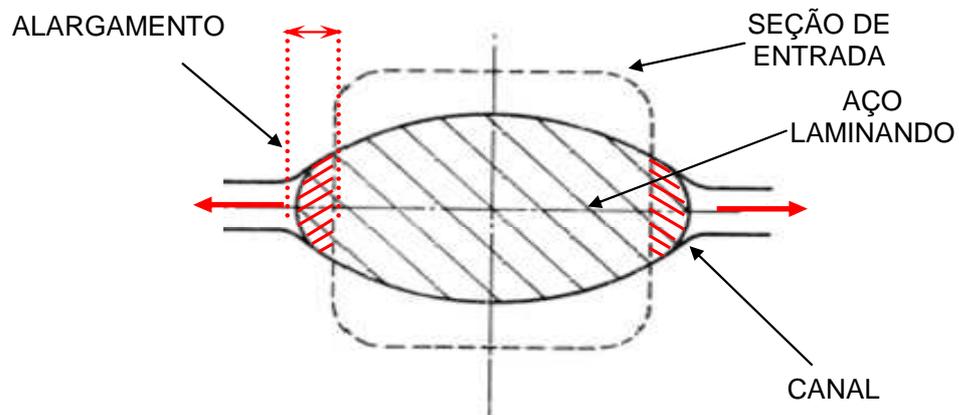


Figura 2.10: Desenho mostrando o comportamento do alargamento livre (região listrada vermelha) de um aço de seção quadrada entrando em um passe oval. Fonte: Calibração de produtos laminados a quente.

A região de alargamento livre é o local da peça que está sendo laminada, de maior dificuldade de controle durante o processo de laminação, este alargamento é afetado diretamente pela resistência a deformação do aço, que varia conforme variações de

temperatura, composição química, % redução de área, velocidade de laminação, coeficiente de atrito do cilindro. (CODA 2000).

Wusatowski comprovou por experimentos empíricos que o alargamento é afetado diretamente pela resistência a deformação do aço, conseqüentemente o alargamento é influenciado pelas seguintes variáveis:

- Composição química do aço. (aumento no % de ligas = maior alargamento)
- Temperatura de laminação (aumento de temperatura; reduz o alargamento).
- % de redução de área (aumento do % redução de área; reduz o alargamento).
- Velocidade de laminação. (aumento de velocidade de laminação; reduz o alargamento).

Com base nestes fatores controlar este ponto de forma segura é um desafio na laminação mediante á estas variáveis. Conforme figuras abaixo seguem os diferentes seqüências de laminação, com as linhas pontilhadas representando a seção de entrada no canal e seus respectivos alargamentos:

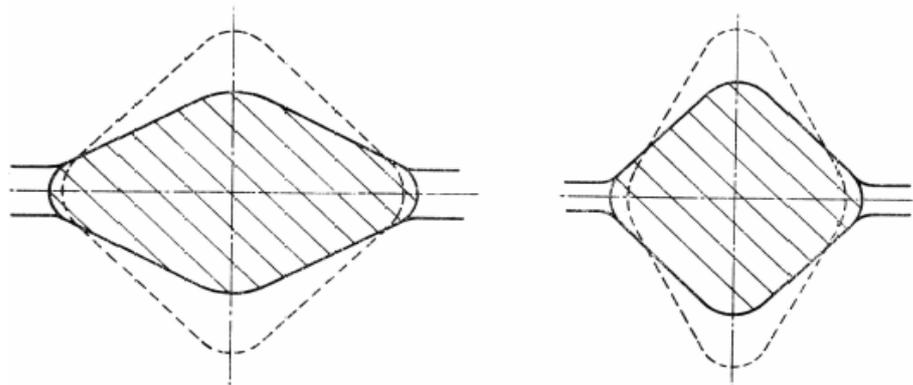


Figura 2.11: Seqüência diamante - quadrado.

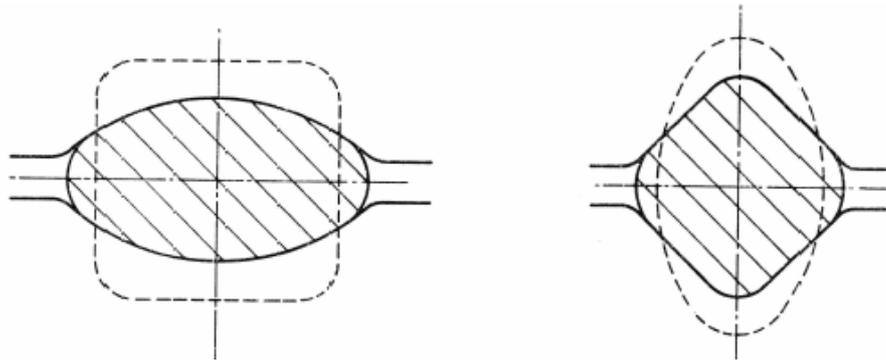


Figura 2.12: Seqüência oval - quadrado.

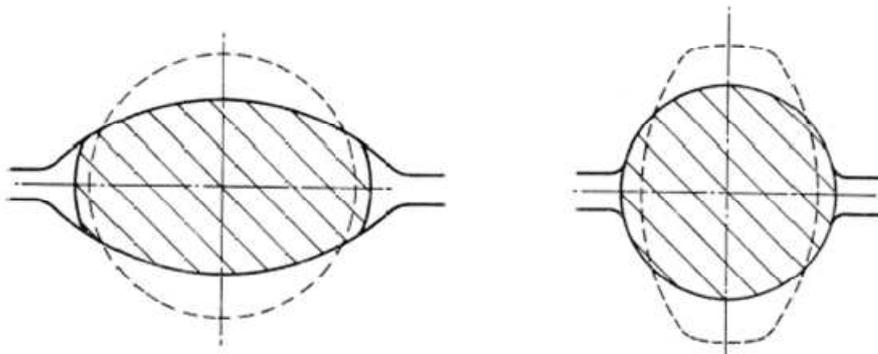


Figura 2.13: Seqüência oval - redondo.

2.5 Equipamentos

As gaiolas do laminador em estudo são caracterizadas pelo seguintes tipos:

- Duo reversível (Desbaste no Blooming)
- Gaiola trio. (Desbaste intermediário)
- Laminador contínuo (Alternância de gaiolas verticais e horizontais)

O processo de laminação no blooming consiste em realizar os primeiros passes no tarugo, e é onde são aplicadas as maiores reduções no tarugo em um laminador duo reversível. Consiste em uma gaiola de 2 cilindros, com motor de corrente alternada onde são dados em média 9 passes de laminação com reduções médias de 18%.

No desbaste intermediário é realizado em duas gaiolas trio, com mesas basculantes e manipuladores nos dois lados.

O laminador contínuo possui duas gaiolas intermediárias e um bloco acabador com duas gaiolas contínuas.

Nos primeiros passes de laminação e em muitas gaiolas intermediárias, são necessários manipuladores para movimentar peças grandes entre os passes. Um manipulador pode ser necessário para executar qualquer uma das seguintes funções: girar a barra em 60° ou 45° entre os passes, movimentar a peça entre uma gaiola e outra e para guiar e segurar a peça entre os cilindros. Os manipuladores se encontram perto das gaiolas de laminação e são operados por eletricidade ou hidráulica.

Os manipuladores do desbaste (primeiros passes em um trem de laminação) são os mais comuns (figura 2.14.b), ele possui réguas com pinças para girar a peça (mesmo sistema aplicado no desbaste na Laminação 1 da AEP). As duas réguas possuem movimentos independentes então sua separação e disposição ao longo da laminação podem variar independente. Pequenas peças e formas não retangulares são de difícil operação com este tipo de manipulador, particularmente onde as peças tem que ser seguras na diagonal para entrarem na gaiola. O manipulador um pouco mais moderno é o tipo agarrador, conforme ilustrado na figura 2.14 (a) (utilizado nas gaiolas intermediarias da AEP). Esse manipulador consiste em dois roletes montados em uma estrutura que pode girar para o ângulo desejado após estar com a barra pressionada.

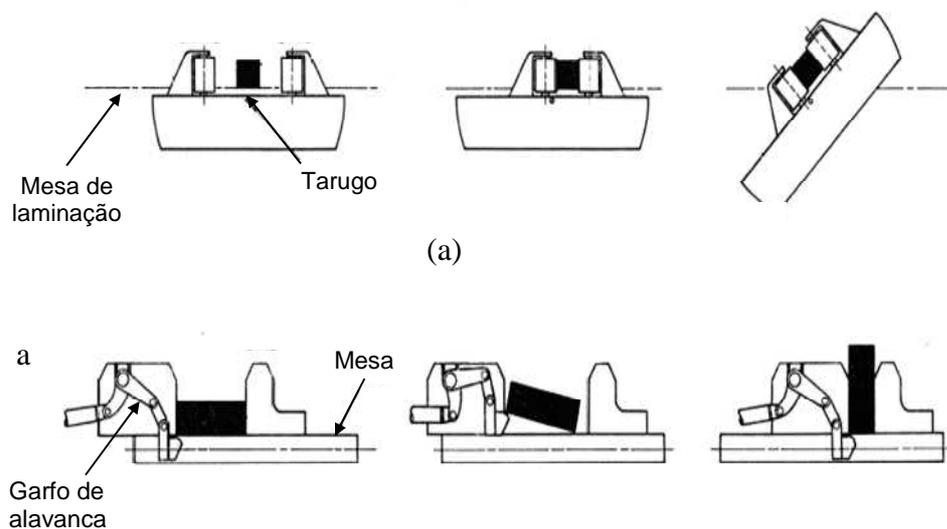


Figura 2.14: (a) Manipulador do desbaste (b) Com réguas laterais utilizado na gaiola Bloom.

As guias roletadas têm a função de guiar corretamente a peça no canal, manter o ângulo correto de agarre e o acoplamento da peça junto ao canal. Elas influenciam diretamente na qualidade do produto e na ocorrência de dobras. Como o próprio nome diz, elas auxiliam guiando o material a entrar e sair no canal de laminação. Elas são chamadas de guias de entrada e guias de saída dependendo de sua localização. Guias fixas são aquelas que não possuem partes móveis e são de ferro fundido fixadas em barrões, ocasionalmente sua estrutura é feita de bronze para minimizar os perigos de riscar a barra.

O caso simples de uma guia fixa consiste em duas chapas fundidas juntas para formar o funil de entrada conforme ilustrada na figura 2.15. Guias de saída são referidas somente como guias separadoras, particularmente quando elas estão em contato com o canal de laminação, para manter afastada a barra dos roles. (Elements of Rolling, 1963).

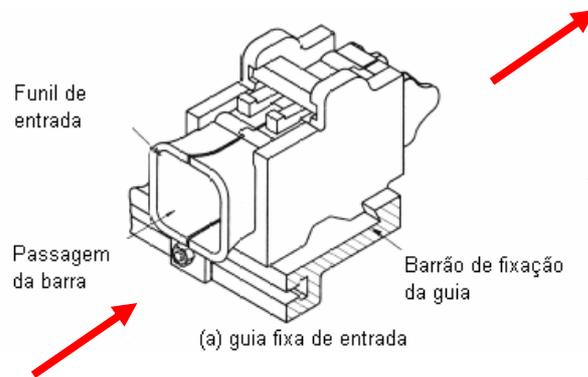


Figura 2.15: Imagem de uma guia de entrada de canal.

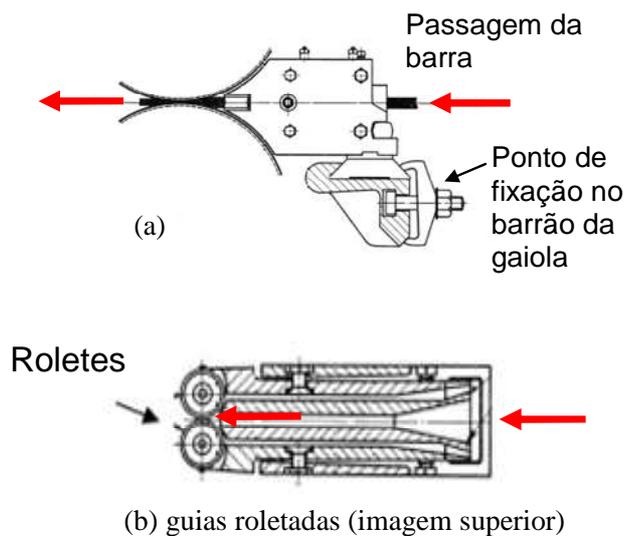


Figura 2.16: (a) Imagem lateral de uma guia de entrada com a barra passando e sua respectiva fixação no barrão. (b) Imagem superior da guia roletada.

3.0 DEFEITOS DE LAMINAÇÃO

Um correto registro das características gerais de um defeito é de suma importância, para a determinação de sua origem. Nesse sentido é importante checar dados como: tipo de aço, dimensões, microestrutura, localização do defeito (em referência a ponta, meio ou cauda), sobre uma geratriz única, várias geratrizes, geratrizes opostas (180°), aleatório e quanto a continuidade conforme pode ser visto na figura 3.1 e 3.2. Os defeitos de laminação na sua grande maioria são contínuos. (Sidenor, 2002).

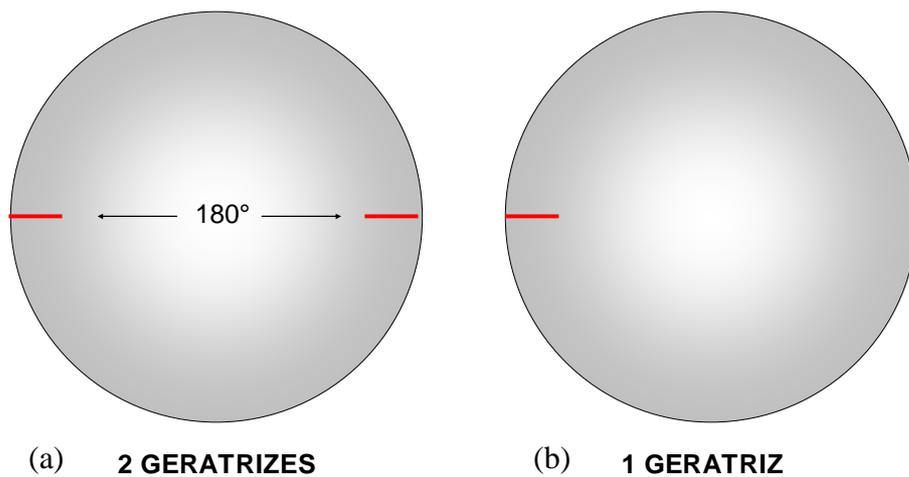


Figura 3.1: Classificação dos defeitos quanto à posição da barra. (a) Defeitos em duas geratrizes à 180° (característica típica de dobra de laminação), (b) Defeito em uma geratriz (característica de escamas).

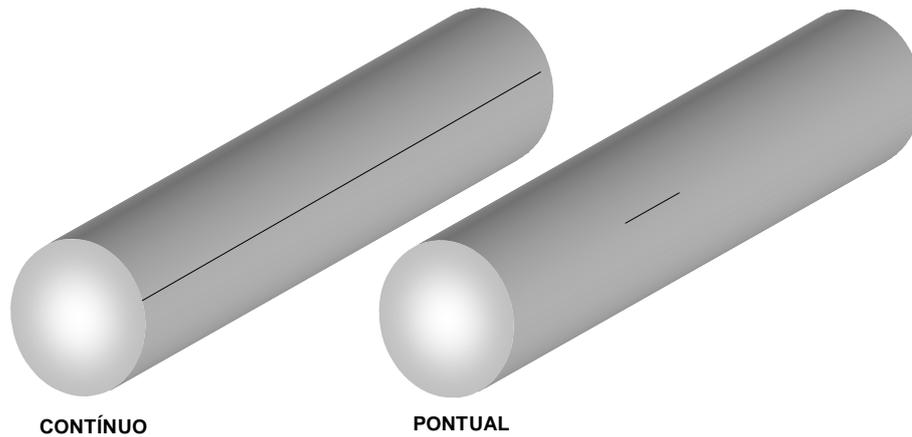


Figura 3.2: Caracterização quanto a continuidade.

3.1 Dobras com origem na calibração

Um dos piores defeitos de laminação, que se caracteriza por ser contínuo, em uma ou duas geratrizes, geralmente estas, em 180° é o defeito chamado dobra que tanto pode ter como causa original um bigode (figura 3.3.a e 3.3.b) por excesso de alargamento ou devido a marcas devido ao contato com o equipamento (DAIDO, 2000).

Este tipo de defeito apresenta uma ligeira descarbonetação em sua microestrutura, formando um ângulo com o eixo da barra de aproximadamente 25° conforme figura 3.3.c (Sidenor, 2000).

É importante uma orientação precisa para evitar a ocorrência deste defeito, pois caso contrário, os operadores terão que checar em locais desnecessários resultando em tempos excessivos de parada do laminador.

De acordo com Daido 2000, de forma preventiva deve-se: “quando parar o equipamento habituar-se a inspecioná-lo sempre, assim como verificar a condição do material nestes pontos, com base nesta questão definem-se estratégias para retirada de amostras no laminador de forma a identificar o local da geração de defeitos”.

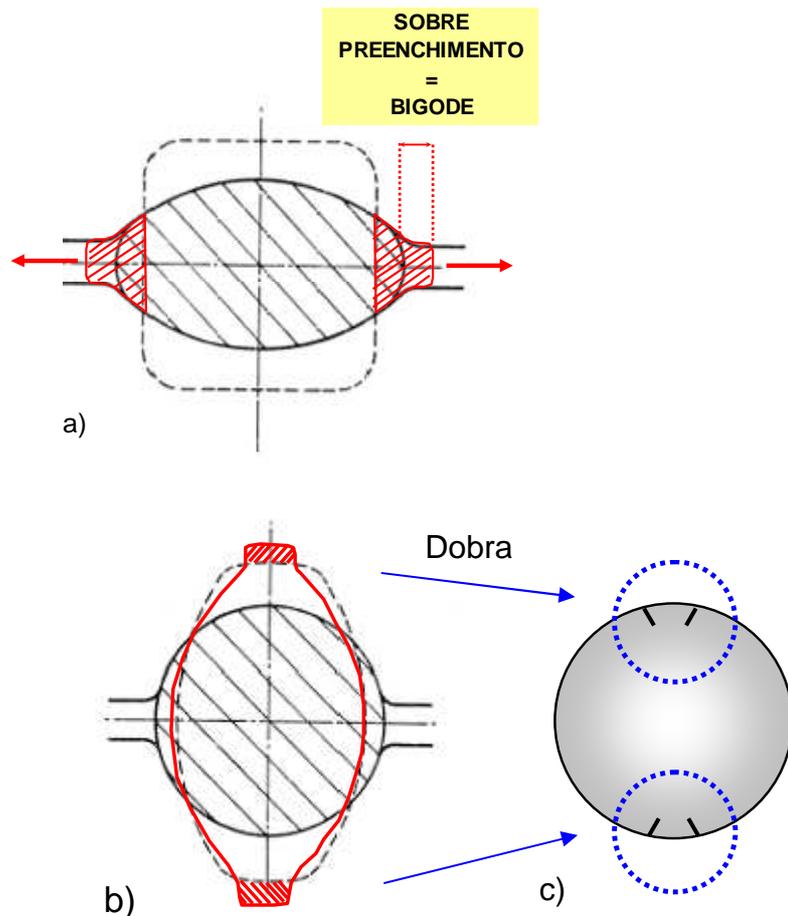


Figura 3.3: Fluxo representativo do processo de formação da dobra. a) primeiro passe formando o bigode; b) passe acabador formando a dobra a partir do bigode. c) Barra laminada final apresentando a dobra.

É importante lembrar que na laminação, assim como em todos os processos de conformação envolvendo deformação plástica de materiais, a lei dos volumes constantes é observada, excetuando-se é claro as perdas devido a oxidação. Assim pode-se escrever que:

Volume de entrada (V_1) = Volume de saída (V_2), ou seja,

$$A_2 \times L_2 = A_1 \times L_1 \text{ (Equação 2)}$$

Onde A_1 é a área da seção transversal de entrada e A_2 a área da seção transversal de saída, L_1 o comprimento inicial e L_2 comprimento final.

Conforme a equação 1 verifica-se que a medida que o material sofre redução de área, seu comprimento aumenta mantendo o volume constante do material, mas um

escoamento lateral para a região de menor resistência, que no caso é na região de espaçamento entre os cilindros, pois a resistência ao alongamento do material aumenta significativamente (CODA, 2001).

3.2 Dobras originadas em riscos

Defeito laminado com aspecto dobrado originado do atrito da barra com algum ponto do laminador. Este defeito na sua grande maioria se apresenta da forma contínua em 1 geratriz (figura 3.4), mas podendo também ser semi-contínuo.

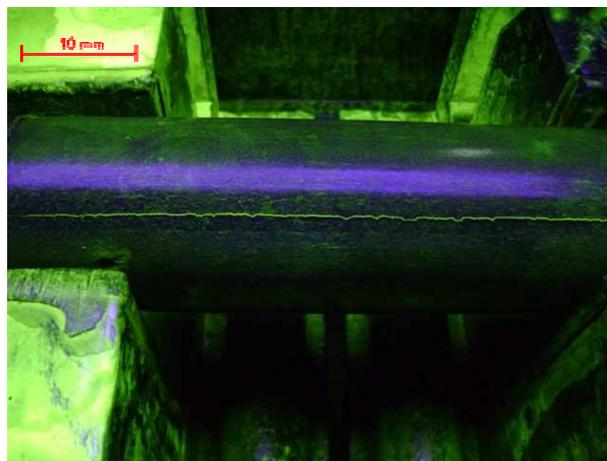


Figura 3.4: Imagem de uma dobra originada de um risco visto no magnaflux.

As causas que geram este problema são equipamentos como guias, roletes e rolos de transporte desgastados ou trancado que ao ter contato com o material acabam riscando, conforme demonstra a figura 3.5.

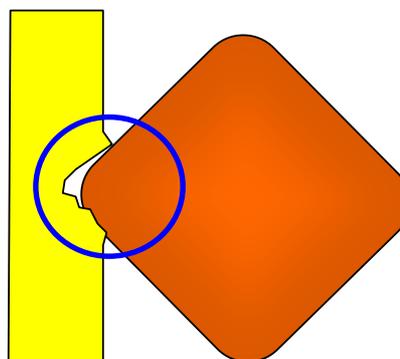


Figura 3.5: Imagem de uma guia desgastada riscando o material nos primeiros passes de laminação com o material ainda na seção quadrada durante sua laminação.

3.3 Escamas

Segundo o Instituto Argentino de Siderurgia – IAS as escamas são pequenos segmentos de metal ligados ao material, em apenas um dos lados, trabalhados a quente para dentro da superfície (figura 3.6 e 3.7). É comum acontecer em aço com baixa resistência (com alto teor de enxofre, chumbo ou cobre). A sua detecção é visualmente fácil. Exame microscópico pode revelar anomalias (inclusões não-metálicas, bolsas de óxidos, etc.) que causaram ruptura superficial. O endireitamento pode expor a escama a superfície.

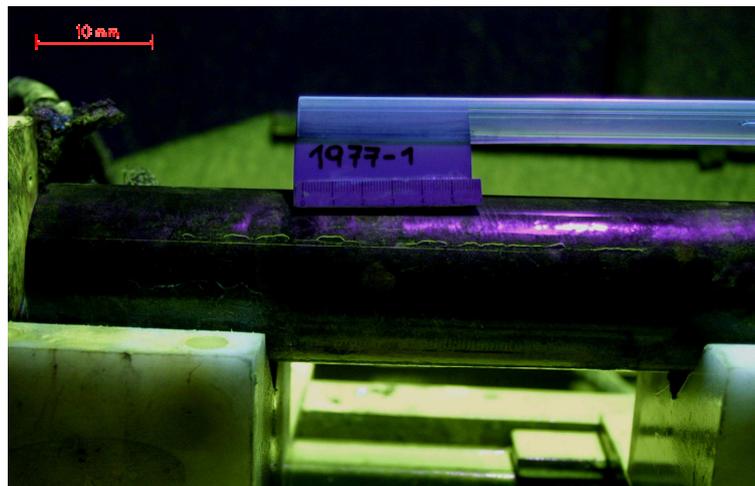


Figura 3.6: Imagem no magnaflux de uma escama.



Figura 3.7: Imagem metalográfica do defeito, ataque Nital 2%.

Quanto a classificação:

- São defeitos pontuais e podem ser originados por laminação a quente;
- Arrancamentos mecânicos severos no laminador podem se tornar escamas após laminação subsequente;
- Marcas superficiais durante a laminação por manipulação do material atrito com guias, rolos e cilindros.
- Estes defeitos parecem ser mais prováveis em laminadores com maiores velocidades.
- São saliências profundas pelo acondicionamento de tarugos;

Podem ser também devido a inclusões não-metálicas grosseiras, logo abaixo da superfície do lingote, trincas transversais e longitudinais associadas a defeitos de lingotamento por causa da temperatura imprópria de lingotamento. Normalmente são imperfeições no condicionamento dos tarugos ou semi-produtos, escorregamento do estoque, ou ainda danos oriundos de passes de rolos excessivamente usados. Sendo que este tipo de escama não será tratado no trabalho.

Segundo Outros Autores

Yu (2002) refere-se à resistência da carepa e sua influência nos parâmetros da laminação como sendo um dos parâmetros que dão à origem do defeito superficial estudado. Carepas grossas diminuem o coeficiente de atrito diminuindo a força de separação dos rolos e a energia requerida. Porém a carepa apresenta um potencial de gerar defeitos. Se as forças resultantes da laminação ultrapassam a resistência da carepa ela quebra e pode ser pressionada para dentro do substrato, dando origem a carepa incrustada.

Já Menezes (1980) observou que escamas podem ter diversas origens, desde a aciaria até a laminação final, incluindo a participação dos fornos de reaquecimento, dos passes desbastadores e, até mesmo, do acondicionamento do semi-produto.

4.0 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentadas as qualidades das barras de aços laminadas analisadas e a metodologia utilizada para determinar a origem dos defeitos superficiais tipo escama e dobra com origem na laminação.

4.1 Etapas do procedimento experimental

Antes de chegar aos fatores causais e nas ações para a geração dos defeitos de laminação o projeto foi precedido de etapas desenvolvidas para que antes de se focar em um ponto específico seja realizado uma análise geral do processo para se gerar conhecimento e atuar de forma efetiva nos pontos realmente necessários.

O trabalho abrangeu as seguintes etapas:

- 1) Elaboração de gráfico de pareto com os dados de sucata com os pesos de dobra e escama percentual relativo a produção do ano de 2007, visto que com esses dados visualiza-se o problema de maior impacto no sucata.
- 2) Elaboração de gráfico seqüencial para avaliação do comportamento do refugo ao longo do tempo: este gráfico possibilita a análise de tendência do problema, ou seja, se está aumentando ou diminuindo e também é possível ver se temos causas especiais ou causas comuns.
- 3) Desdobramento e priorização das principais bitolas a serem acompanhadas e analisadas: após a verificação dos principais problemas verificou-se dentro destes problemas quais as bitolas de maior impacto.
- 4) Estabelecimento de metas específicas para dobra e escama: de acordo com todos os problemas, traçou-se objetivos específicos para serem alcançados até setembro.

- 5) Identificação das causas (Ishikawa, brainstorming): etapa fundamental do trabalho, pois se possibilitou executar ações de forma focada e possibilitou levantar o conhecimento existente.
- 6) Elaboração do plano de ação: etapa onde se definiu ações nos pontos mais importantes de forma a reduzir os defeitos e atingir as metas específicas.
- 7) Retirada de amostras e análise de defeitos: elaborou-se um roteiro de tiradas de amostras do produto durante a produção. Pontos estratégicos foram selecionados, para a constatação dos pontos geradores de defeitos superficiais.
- 8) Padronização das ações estabelecidas: após a identificação dos pontos geradores de defeitos e estabelecidas ações consistentes, foram criados documentos de padronização de forma a estabilizar o processo.

4.2 Materiais utilizados

Este trabalho foi realizado utilizando como material de análise barras laminadas redondas das seguintes qualidades de aço: 20 MNCR 5, com bitolas na faixa de 76,20 mm a 101,60mm, amostras estas retiradas durante o processo de laminação da GERDAU - Aços Especiais Piratini. Estas barras foram inspecionadas a olho nu e com o auxílio de partículas magnéticas. A amostragem foi direcionada para os materiais que apresentavam defeitos durante a laminação e ou apresentavam variação na temperatura de laminação, foram retiradas mais de 40 amostras diferentes durante o processo de laminação, e coletadas as variáveis de processo de modo a correlacionar estas variáveis com as condições de laminação, em regra geral as variáveis como velocidade de laminação, luz do canal foram fixadas permanecendo as mesmas durante as amostragens.

A Tabela 4.1 representa as faixas de composição química dos aços 20 MnCr 5. Todas as amostras obtidas para este trabalho estão dentro da faixa de composição química especificadas nas tabelas.

Tabela 4.1: Faixa de composição química exigida para a qualidade de aço 20 MnCr 5.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% em peso)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	al
Mínimo	0,160	0,150	1,100	-	0,005	1,170	0,200	0,060	0,020	0,020
Máximo	0,180	0,300	1,250	0,025	0,015	1,270	0,250	0,080	0,030	0,030

As figuras 4.1 e 4.2 mostram os locais em que foram retiradas as amostras para a busca dos pontos de geração de escamas e dobras respectivamente.

Para escamas buscaram-se pontos onde o atrito era maior, o que ocorre nas gaiolas M2 e M3, já que possuem manipuladores do tipo girador e guias roletadas na entrada dos passes quadrados.

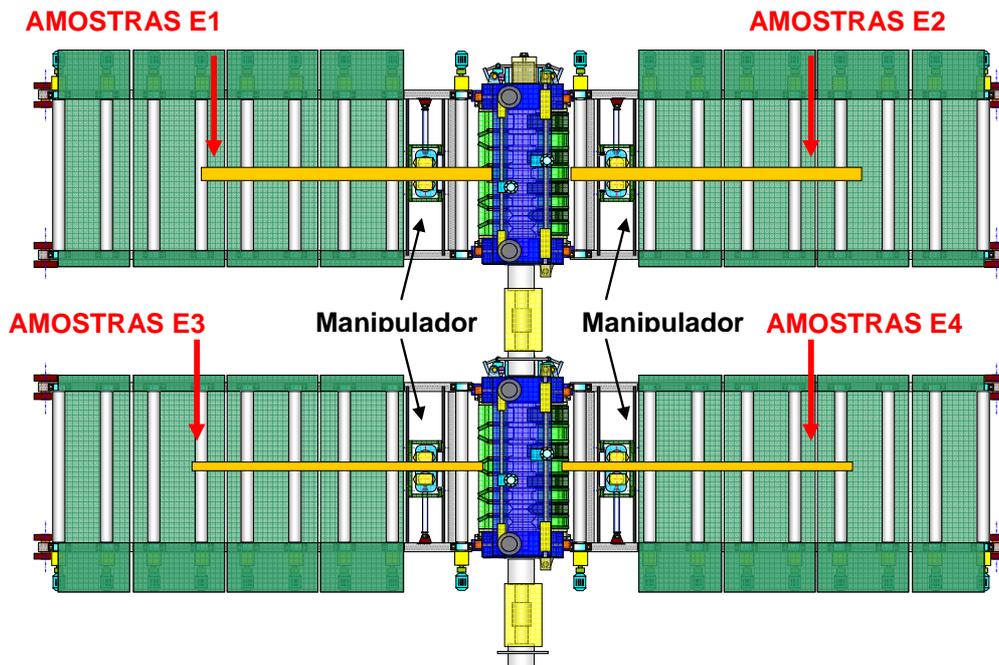


Figura 4.1: Imagem superior das gaiolas de desbaste com a identificação dos locais de retiradas de amostras.

A tabela 4.2 mostra as amostras retiradas com a respectiva temperatura do tarugo, estando a velocidade de laminação fixada em 650 rpm.

Tabela 4.2: Amostras retiradas durante a laminação nas gaiolas M2 e M3.

Tarugo	Amostra	Temperatura [C°]	Bitola
1	E1	1070	88,90
1	E2	1050	88,90
1	E3	950	88,90
1	E4	920	88,90
2	E1	1070	88,90
2	E2	1050	88,90
2	E3	1020	88,90
2	E4	1000	88,90
3	E1	1070	88,90
3	E2	1050	88,90
3	E3	1020	88,90
3	E4	1000	88,90

No que se refere a dobra foram retiradas 3 amostras de cada tarugo laminado do aço 20 MnCr 5, conforme indica a figura 4.2.

- Amostra 1: Falso redondo antes da gaiola (a).
- Amostra 2: Redondo entre a gaiola (b) e (c).
- Amostra 3: Produto final após bloco acabador entre as gaiolas (c), (d) e (e).

A tabela 4.3 traz as amostras retiradas com a respectiva temperatura do tarugo, já que a velocidade de laminação do trem contínuo estava em 1 mm/s.

Tabela 4.3: Amostras retiradas durante a laminação nas gaiolas M2 e M3.

Tarugo	Amostra	Temperatura [C°]	Bitola	CONDIÇÃO
1	1	1000	88,90	NORMAL
1	2	950	88,90	
1	3	930	88,90	
2	1	905	88,90	BAIXA TEMPERATURA
2	2	828	88,90	
2	3	805	88,90	
3	1	1010	88,90	NORMAL
3	2	955	88,90	
3	3	942	88,90	

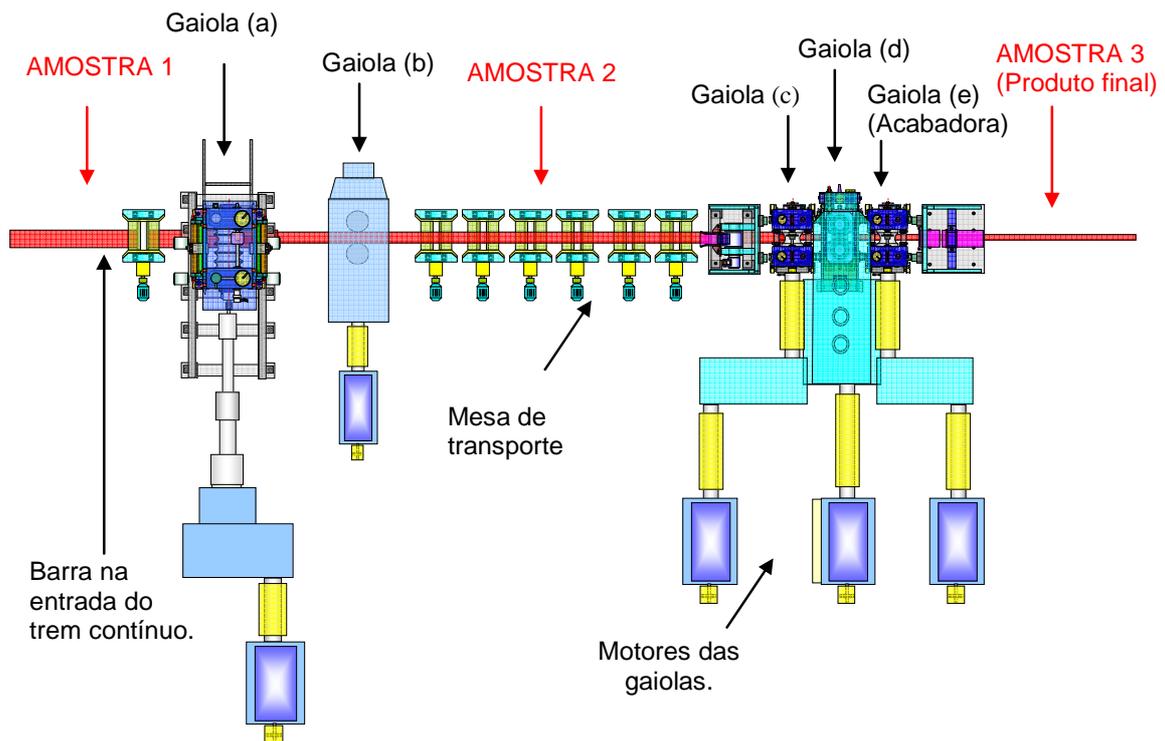


Figura 4.2: Imagem superior do trem contínuo com a identificação dos pontos estratégicos de retiradas de amostras para detecção de dobras.

A figura 4.3 mostra o perfil do material na seqüência de passes oval-redondo do trem contínuo e o conseqüente perfil das amostras.

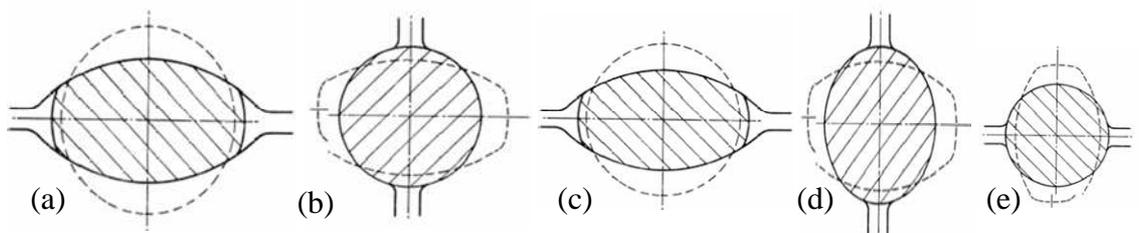


Figura 4.3: Fluxo de passes do trem contínuo na seqüência OVAL-REDONDO: (a) oval; (b) Redondo; (c) Oval; (d) Falso Redondo; (e) Redondo. Fonte: Calibração: Produtos longos de aço laminados a quente.

4.3 Metodologia de Análise

A determinação da origem de defeitos superficiais, visando sua minimização, inclui a observação dos aspectos gerais, tais como a frequência, localização, posicionamento na barra (uma geratriz ou várias).

É fundamental na laminação o estudo detalhado dos aspectos visuais do defeito, a olho nu e com ajuda de analisador de partículas magnéticas, assim como a observação de amostras polidas, obtidas geralmente por cortes transversais e atacado com nital para visualização da forma metalográfica do defeito. Logo, a metodologia empregada para análise consistiu em caracterização visual dos defeitos a olho nu e com partículas magnéticas em microscópio óptico.

4.3.1 Macroanálise

O estudo da frequência, localização e espaçamento de um defeito é a primeira tarefa necessária para estudar sua origem. Discutem-se separadamente as características gerais dos defeitos e a observação a simples vista e partículas magnéticas (magnaflux) é um bom recurso para se diferenciar escamas e dobras de outros tipos defeitos.

Magnaflux

A macrografia apresentada na figura 4.4 tem como objetivo determinar a posição do defeito em relação à barra. Pode-se ainda observar a distribuição dos defeitos ao longo da mesma diferenciando escama de dobra de laminação que é um defeito contínuo.

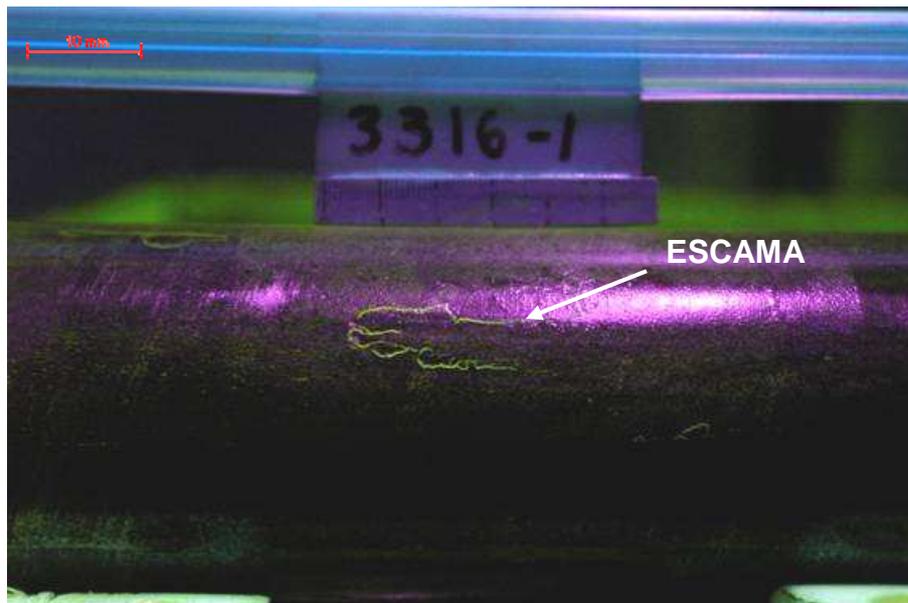


Figura 4.4: Macroanálise com magnaflux mostrando barras com o defeito tipo escama.

4.3.2 Microanálise

Ataque com Nital 2%

O Nital é um reagente de uso geral na metalografia dos aços ao carbono, de fácil preparação e uso. A preparação deste reagente é observada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Composição e preparação do reagente Nital 2%.

Reagente	Quantidade
Ácido Nítrico HNO ₃	2 ml
Álcool Etílico	98 ml
Acrescentam-se 2 ml de HNO ₃ aos 98 ml de álcool para obter Nital 2%.	
Ataque: 10 a 30 segundos a temperatura ambiente por imersão.	

O ataque com Nital permite definir grãos de ferrita e torna a perlita escura em MO. Permite observar a descarbonetação, o crescimento anormal de grão, a estrutura bandada, a segregação central e as linhas de deformação em defeitos submetidos a conformação. A descarbonetação ao redor de defeitos expostos a alta temperatura e atmosfera oxidante ou em contato com óxido de ferro é bem visível em aços de médio e alto teor de carbono. A figura 4.5 apresenta micrografia de amostras atacadas com Nital 2%.

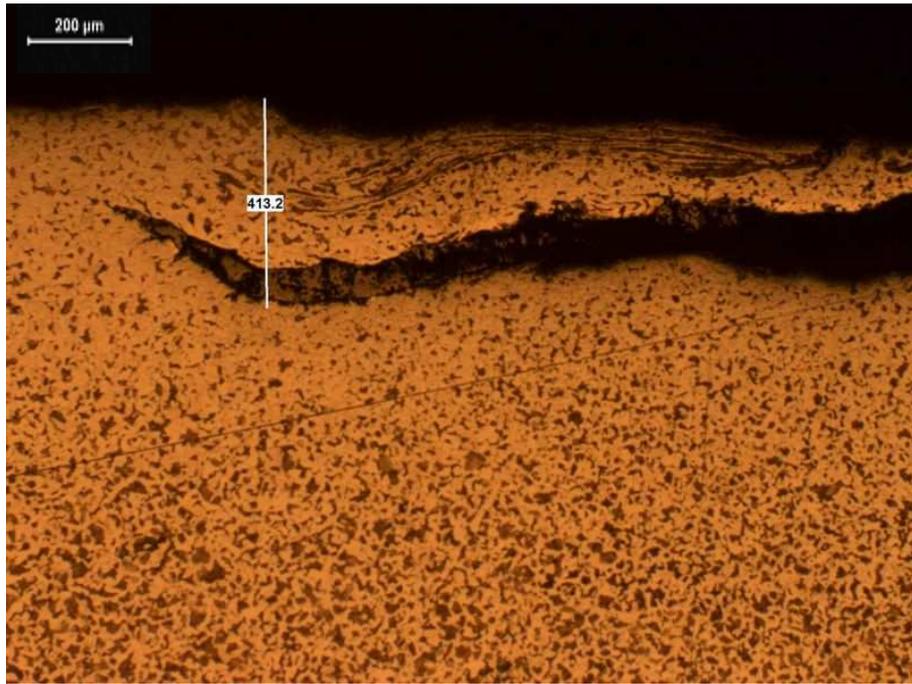


Figura 4.5: Micrografia de amostra com defeito tipo escama atacada com o reagente nital 2%.

Este ataque permite a verificação da microestrutura da região, bem como a presença de marcas de deformação sugerindo defeito ocasionado no processo de laminação. Também se pode observar de descarbonetação em torno do defeito.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Priorização do problema

Com base nos dados de 2007 focou-se o trabalho na busca de causas e soluções que levam o material a sucatar pelos defeitos de laminação dobra e escama, que apresentavam 57% do refugo total com origem na laminação conforme pode ser visto na figura 5.1.

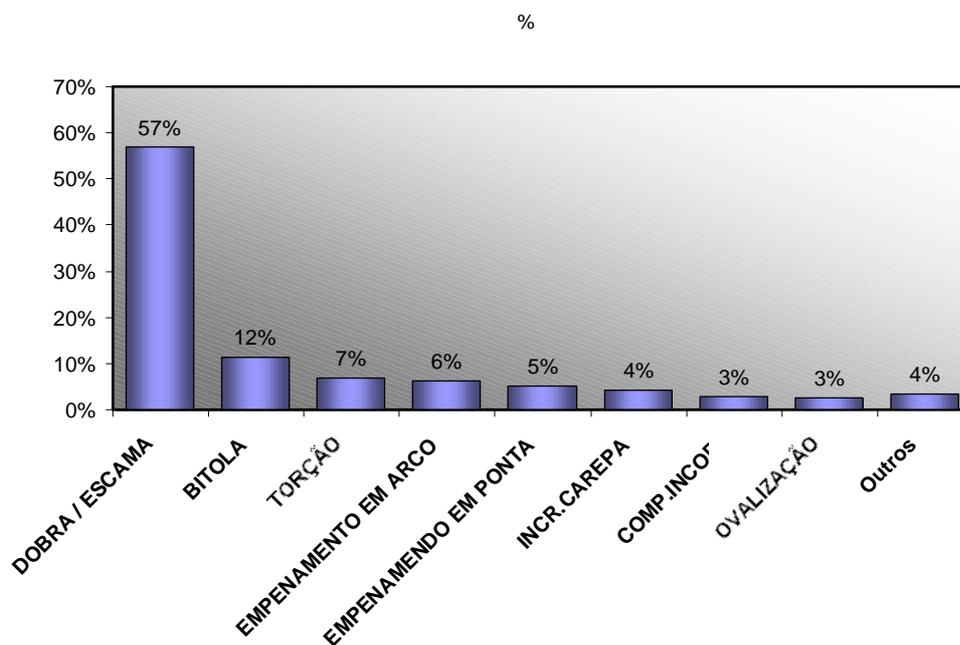


Figura 5.1: Gráfico de Pareto geral dos motivos de sucata do ano de 2007.

Com o gráfico sequencial pode constatar-se que ao longo do ano de 2007 (figura 5.2), evidencia-se uma tendência de crescimento no sucatamento de defeitos. A partir de Maio de 2007 o índice apresentou uma média de 0,68% sobre a produção do total de laminado, com base nesses valores estipulou-se uma meta para o somatório de ambos os defeitos de 0,48%, para ser atingida até Dezembro de 2008, representando uma redução de 30% no sucatamento.

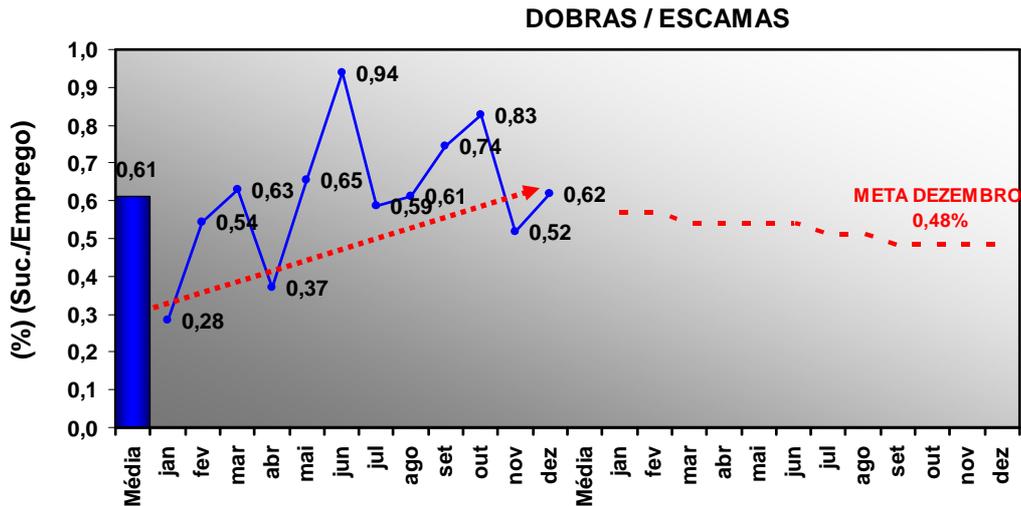


Figura 5.2: Gráfico sequencial de 2007 mostrando uma clara tendência de crescimento nos índices de sucata por escama e dobra, e a meta de 0,48% a ser atingida em Dezembro de 2008.

5.2 Desdobramento do problema

De acordo com o conhecimento técnico e da influência das variáveis desdobrou-se o problema primeiramente por bitola, conforme figura 5.3, pois os defeitos estão relacionados diretamente com bitola e sua respectiva seqüência de passes e calibração.



Figura 5.3: Análise dos dados primeiramente por bitola e depois pelo tipo de aço.

Conforme gráfico da figura 5.4 os valores de sucata dos últimos 12 meses, nos mostram que as seções de bitola redondas que serão representadas pelas letras a, b, c e d são os principais problemas tanto para escama como para dobra já que juntos representam 44,4% do total do problema.

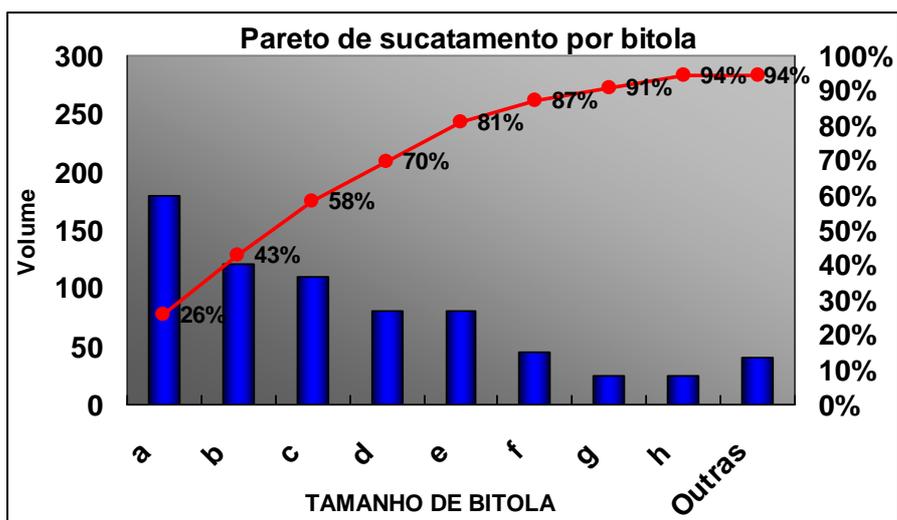


Figura 5.4: Gráfico pareto do sucata por dobras e escamas na laminação 1 por bitola laminada.

Com base nesta análise verificou-se que a seqüência de passes das 4 primeiras bitolas do pareto possuem seqüências de calibração muito semelhantes até o laminador intermediário (tamanho de bitolas a/b/c/d). O que nos ajudou a focar o problema e dando uma evidência de que os defeitos ocorrem na mesma origem.

A figura 5.5 mostra o sucata por classe de aço, onde apenas uma qualidade se destaca, apresentando um sucata alto que é a classe de aço A, mas tal fato se deve apenas por se tratar do maior volume laminado nesta qualidade.

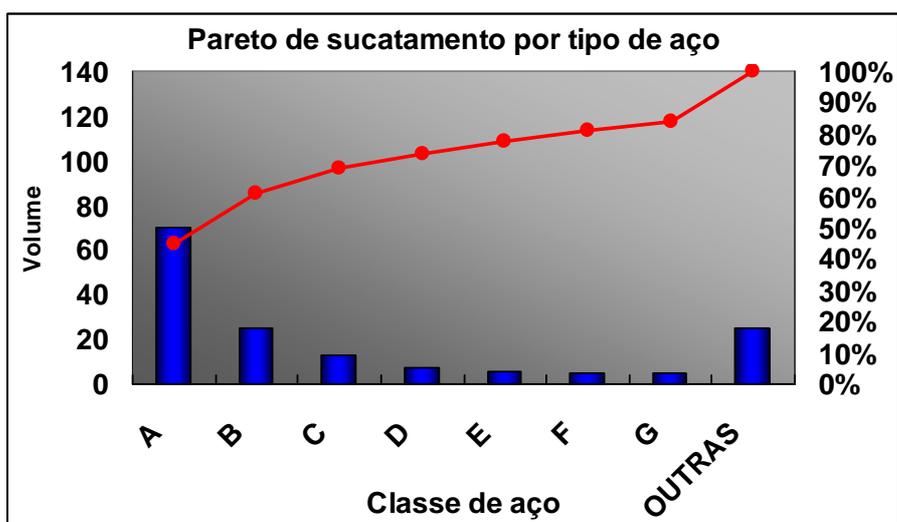


Figura 5.5: Gráfico pareto do sucata por dobras e escamas na laminação 1 por tipo de aço.

5.3 Estabelecimento de metas específicas

Avaliando os dados históricos de sucatamento por dobra e escama estabeleceu-se metas específicas para ambos os defeitos para serem atingidas até Outubro de 2008, conforme linha pontilhada vermelha no gráfico da figura 5.6 e 5.7.

- Meta para dobra: 0,27%
- Meta para escama: 0,14%.

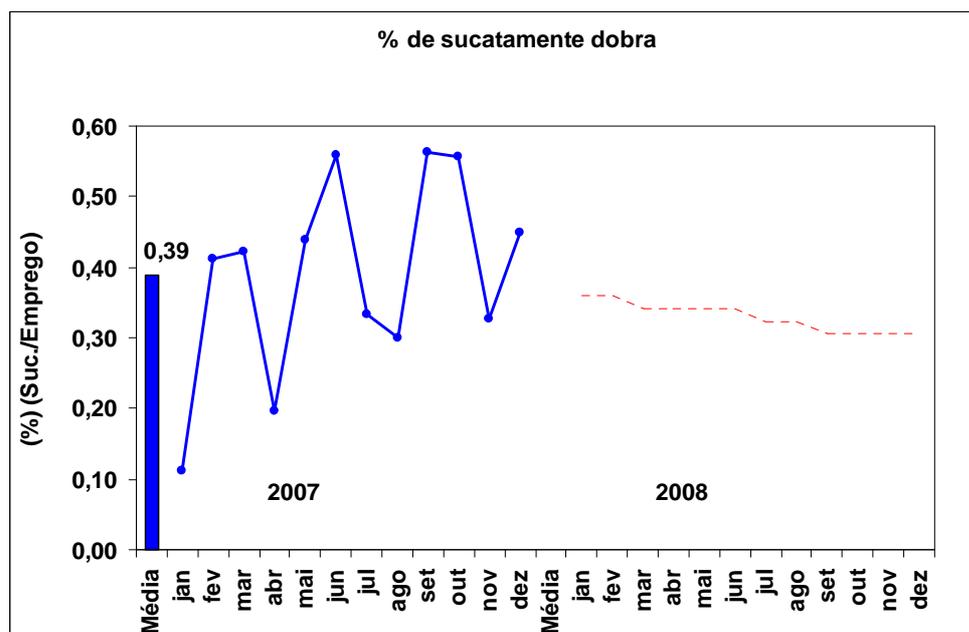


Figura 5.6: Gráfico sequencial do percentual de refugo por dobra com a meta específica de 0,27% para ser atingida até Dezembro.

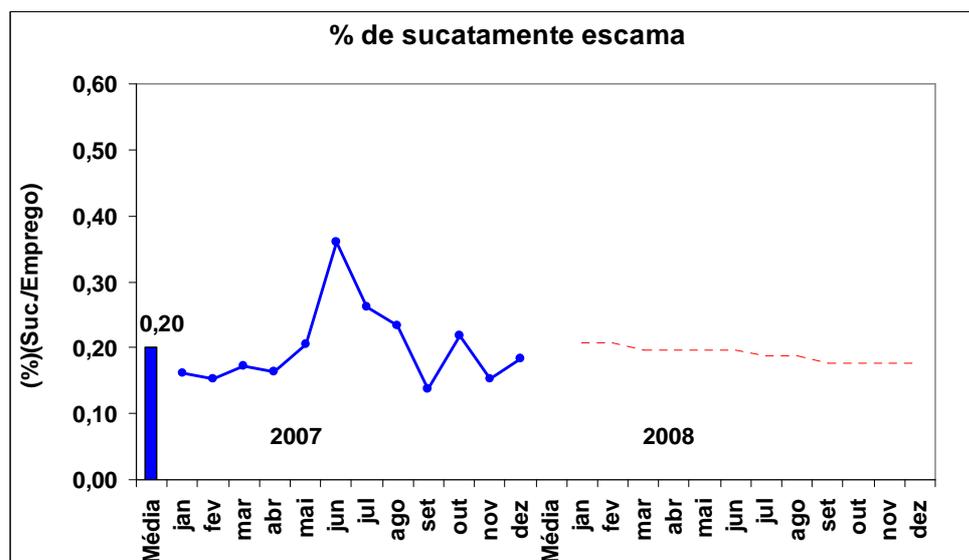


Figura 5.7: Gráfico sequencial do percentual de refugo por Escama com a meta específica de 0,14% para ser atingida até Dezembro.

5.4 Identificação das causas potenciais

Para levantamento das causas potenciais realizou-se uma análise olhando o processo de forma geral e montou-se um diagrama de causa e efeito (Ishikawa) resumido na figura 5.8. Identificaram-se cinco pontos fundamentais que deveriam ser trabalhados:

- 1) Comportamento e atitude:
 - Falta de investigação das causas / origem no laminador.
 - Falta de envolvimento.
- 2) Sistemas de controle.
 - Falta de orientação.
 - Falta de conhecimento da necessidade manutenção de alguns pontos importantes.
 - Falta de conhecimento das origens.
- 3) Gerenciamento
 - Tratamento de qualidade deficiente (falta de conhecimento).
- 4) Tratamento da informação
 - Falta de ligação da causa com o efeito.
- 5) Padronização know how.
 - Falta conhecimento.
 - Padronização deficiente.

.Constatou-se que com a falta de conhecimento técnico gerava-se uma padronização deficiente criando uma dificuldade de se atingir resultados e levando a uma conseqüente desmotivação e falta de comprometimento da equipe (figura 5.8).



Figura 5.8: Fluxo mostra como deve funcionar o sistema de trabalho do laminador.

Neste contexto além da necessidade de se gerar conhecimento deve se trabalhar fortemente no gerenciamento e controle da rotina para fazer o sistema funcionar e andar sozinho.

Focou-se as ações nos seguintes pontos:

- Gerar know-how para equipe da seguinte maneira: levantando as causas e origens dos defeitos, criar um álbum de defeitos, identificar os pontos críticos do processo.
- Aumentar o comprometimento da equipe criando procedimento confiáveis, de fácil compreensão e informativos detalhando os pontos chaves do processo, estruturar um gerenciamento diário com análise na rotina.
- Padronização todo o conhecimento adquirido.

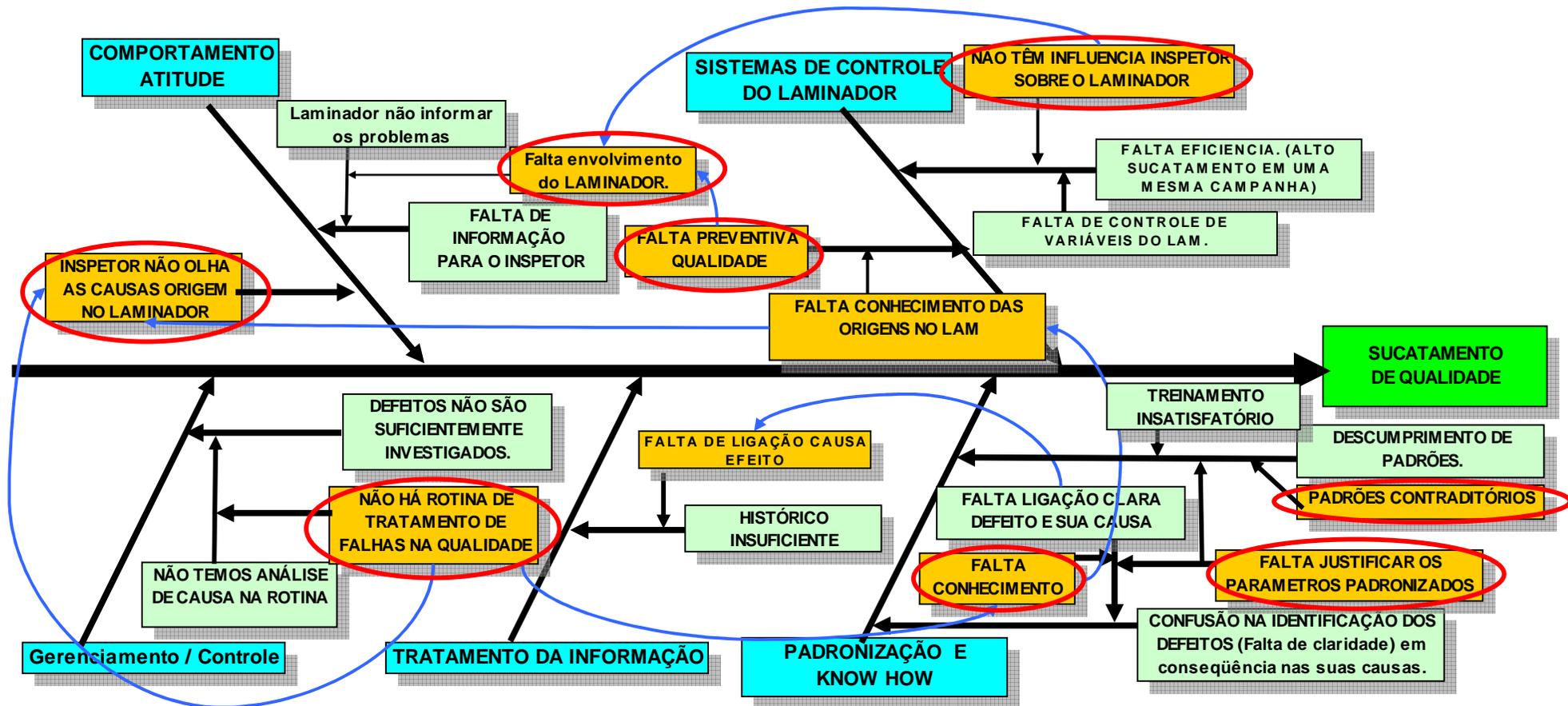


Figura 5.9: Ishikawa de causas gerais do processo, onde as caixas laranja são os pontos a serem priorizados devido a sua importância.

5.5 Estruturação do projeto (plano de ação)

Com a análise geral verificou-se a necessidade de estruturar demais análises da seguinte maneira:

- a) Ações gerais com um plano de ação para a rotina.
- b) Análise detalhada (brainstorming com análise técnica de todo equipamento que poderia influenciar na condição do material): forno, Desbaste e bloco acabador (laminador contínuo), as serras não serão consideradas neste trabalho, pois não exercem influência sobre dobra e escama.

A figura 5.10 apresenta de forma esquemática a maneira como se estruturou o projeto.

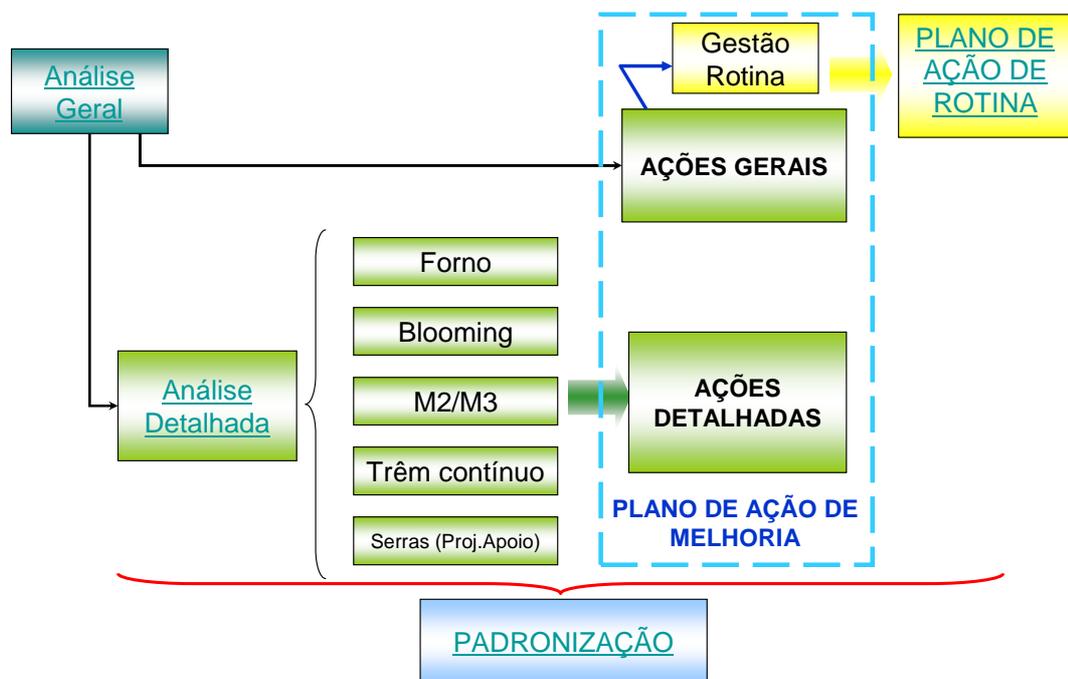


Figura 5.10: Fluxograma da estruturação do projeto.

Após estruturado o projeto analisou-se em detalhe os equipamentos e focou-se os estudos nos pontos que realmente tinham possibilidade de gerar defeitos.

A etapa de padronização, onde todo o conhecimento adquirido durante o projeto deverá ser colocado de forma a garantir o resultado, de forma que seja fácil o entendimento e execução do operador, será um ponto fundamental para o projeto.

5.6 Análise detalhada

Na análise detalhada trabalharam-se os pontos que realmente tinham possibilidade de gerar defeitos em cada equipamento.

A análise foi dividida em 4 grupos de problemas conforme figura 5.11, onde priorizou-se os itens marcados de laranja:

- Calibração.
- Ajustagem.
- Perda de ductibilidade
- Problemas mecânicos.

Com esta análise estabeleceram-se os seguintes objetivos;

- Necessidade de conhecer o equipamento no detalhe.
- Muitos defeitos com possíveis origens no equipamento
- Fazer o correto ajuste da máquina.

5.7 Gestão da rotina

A gestão de rotina irá garantir a continuidade dos bons resultados, fazendo com que novos problemas sejam tratados eficientemente e os padrões sejam constantemente revisados, para isto definiu-se os seguintes objetivos:

- Tratar Falhas Eficientemente
- Manter Conhecimento Adquirido

Registrar e manter o conhecimento adquirido no dia a dia é fundamental para isto criou-se a “ata da rotina” onde se procurou registrar todos os problemas encontrados no dia a dia com as causas e ações detalhadas tendo em mãos um histórico de problemas.

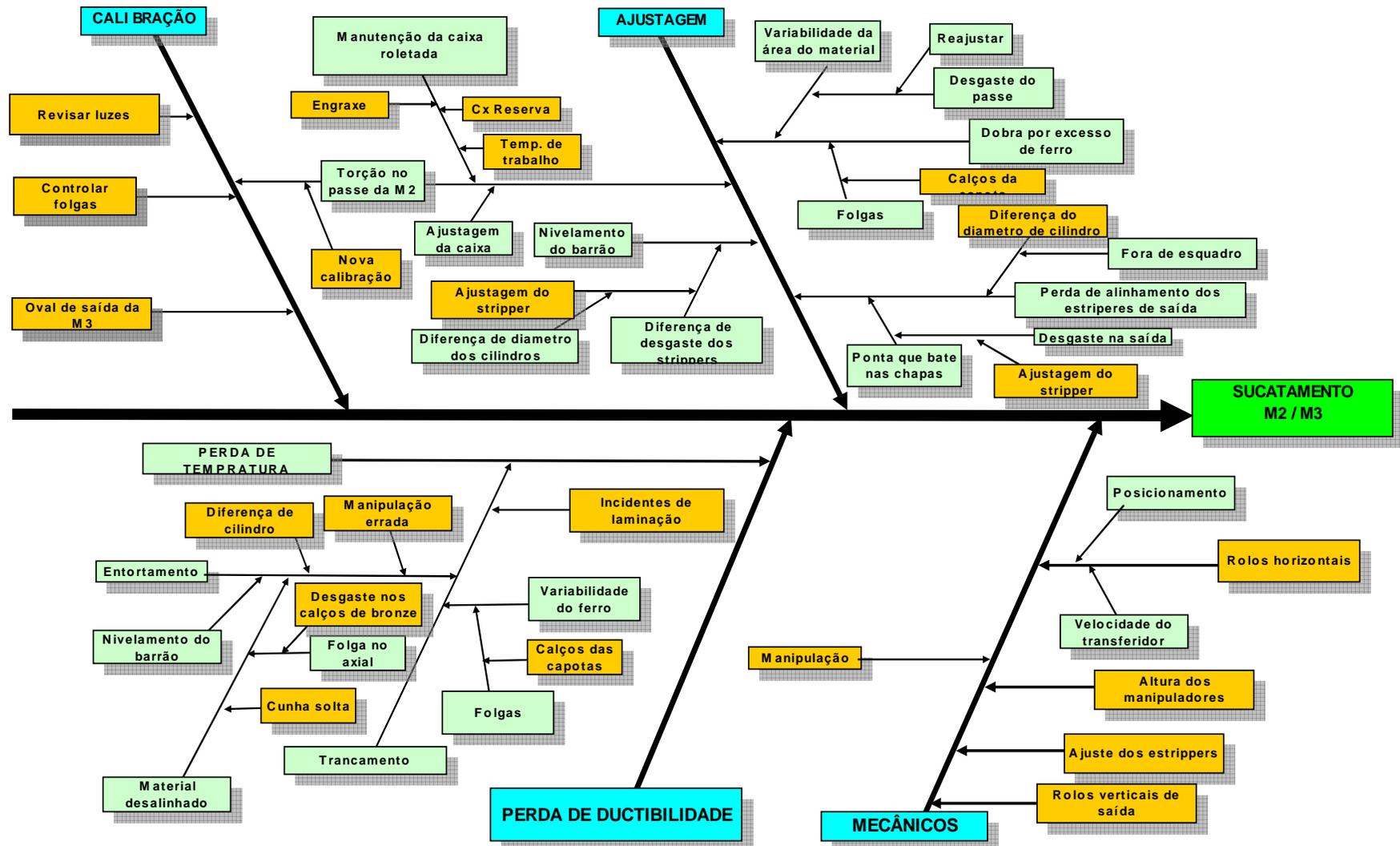


Figura 5.11: Ishikawa de causas detalhadas de um equipamento, onde as caixas laranja são os pontos a serem priorizados devido a sua importância.

5.8 Acompanhamento do sucata nas linhas de inspeção para conhecimento dos tipos de defeitos

Procurou-se conhecer de que maneira se apresentavam os defeitos. Para isto foi escolhido como local de análise a linha de inspeção 3, pois se tratam da linha de inspeção que mais apresentou sucata, conforme figura 5.12.

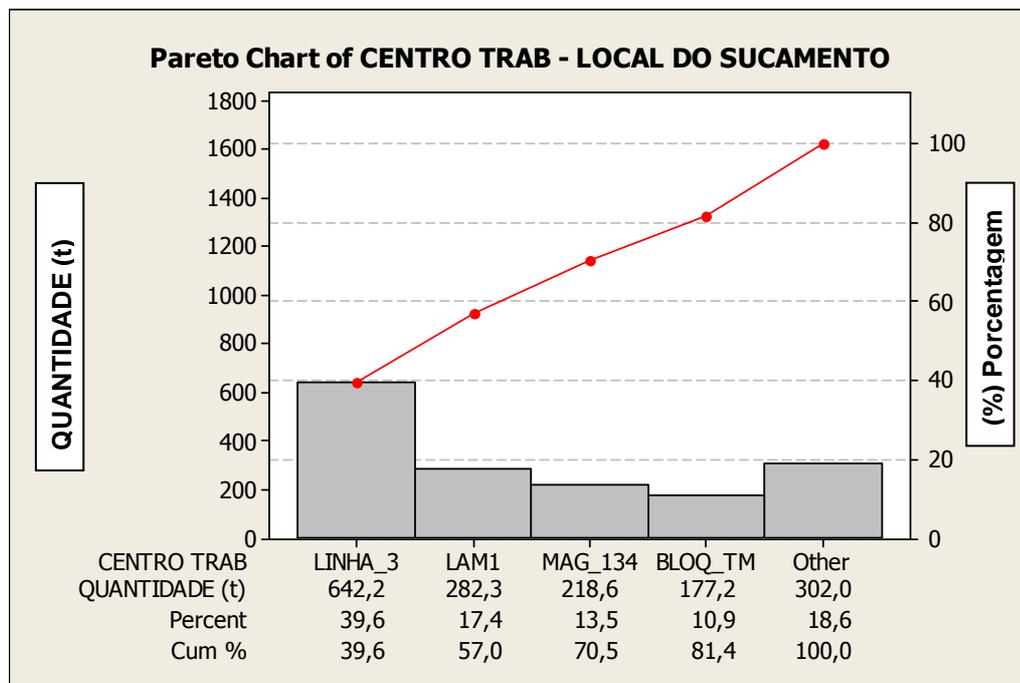


Figura 5.12: Gráfico de pareto mostrando ser a linha de inspeção de maio sucata.

É necessário que ocorra uma caracterização apropriada do defeito por parte do operador. Caso o operador não esteja qualificado para distinção de cada defeito, os valores de cada código de refugo podem não apresentar a realidade.

São realizadas análises mais detalhadas apenas para sucata maiores que 2 t, que é retirada de amostras para análise em laboratório do defeito, enquanto abaixo deste valor o material é sucata diretamente pelo operador de acordo com o procedimento de caracterização de defeitos (figura 5.13) o que pode apresentar erros de apropriação de sucata. Exemplo: dificuldades de distinção entre dobras, trincas de aciaria, trincas de laminação e riscos.

Para conhecer o problema começamos um estudo em todo material refugado nas linhas de inspeção de modo e entender a forma e as possíveis origens dos defeitos.

CARACTERIZAÇÃO DE DEFEITOS

Anexos do Procedimento de Rotina:269-R-061

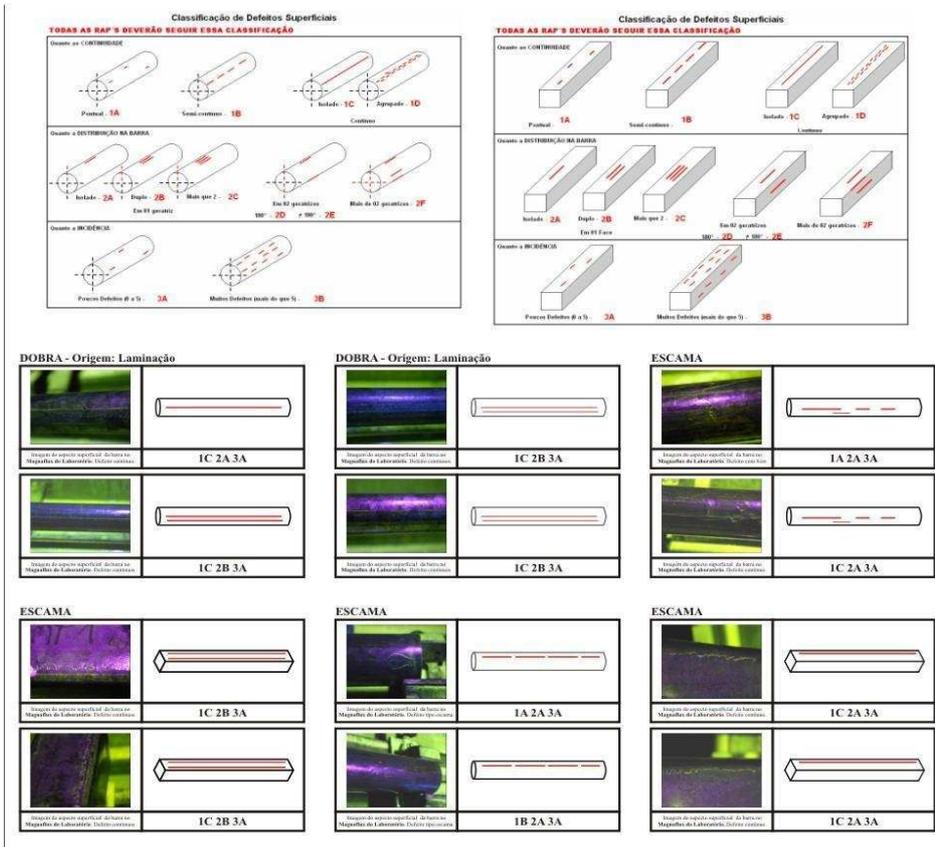


Figura 5.13: Padrão para classificação de defeitos.

5.9 Tipos de defeitos nas linhas de inspeção:

Os defeitos foram agrupados em 3 grupos com dois tipos de defeitos de laminação:

- 1) Dobra de calibração (oriundas de bigode).
- 2) Dobras provenientes de riscos sofridos no laminador.
- 3) Escamas provenientes de marcas sofridas no laminador.

De posse dos defeitos realizou-se análises de acompanhamento no laminador de forma a buscar as causas.

5.10 Dobra de Calibração:

Neste item será discutido o resultado do trabalho realizado na retirada de amostras para avaliação das dobras. O resultado segue conforme a tabela 5.1.

A coluna “Amostra” esta relacionada com os locais de retirada de amostra conforme denominado na figura 4.2.

Tabela 5.1: Tabela mostrando o resultado das amostras retiradas durante a laminação no trem contínuo.

Tarugo	Amostra	Temperatura [C°]	Bitola	CONDIÇÃO	Defeitos
1	1	1000	88,90	NORMAL	NÃO
1	2	950	88,90		NÃO
1	3	930	88,90		NÃO
2	1	905	88,90	BAIXA TEMPERATURA	Não
2	2	828	88,90		BIGODE
2	3	805	88,90		DOBRA
3	1	1010	88,90	NORMAL	NÃO
3	2	955	88,90		NÃO
3	3	942	88,90		NÃO

Durante a laminação com condições estáveis de processo o material não apresentou defeitos mas bastou a temperatura reduzir para gerar um interferência no processo.

Tarugo 1: Em todas as amostras o material apresentou uma condição superficial isenta de defeitos.

Tarugo 2 (Amostra 1): A amostra n°1 apresentou um material isento de defeitos, evidenciando que o material chega ao trem contínuo em perfeitas condições.

Tarugo 2 (Amostra 2): A amostra número dois apresentou um bigode, conforme figura 5.14, na saída do redondo da gaiola (b), fato que evidenciou o local de geração do defeito.



Figura 5.14: Imagem da amostra 2 apresentando bigode.

A amostra número 3 do tarugo 2, figura 5.15, vista no magnaflux mostra um defeito contínuo duplo, ficando evidente ser uma dobra devido ao bigode, sendo caracterizado como um defeito originado na saída do passe redondo intermediário da gaiola (b).

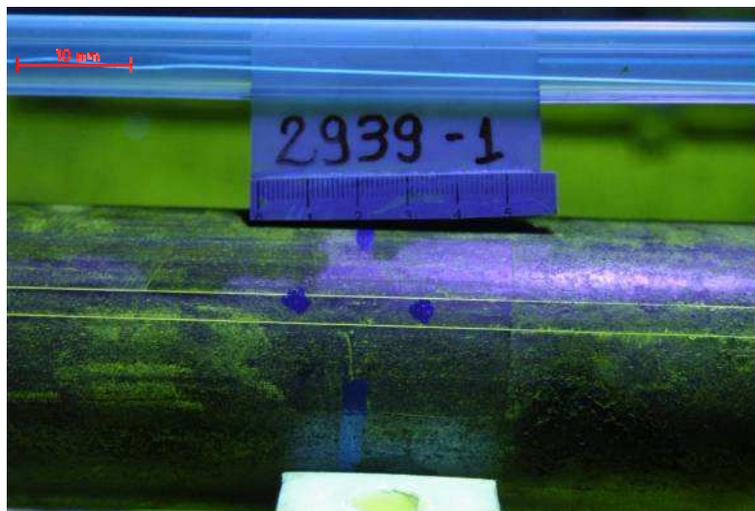


Figura 5.15: Inspeção por partículas magnéticas na barra laminada após sua laminação (tarugo 2 – amostra 3).

A imagem da metalografia das amostras (figura 5.16) confirma ser um defeito de laminação devido às características apresentadas, como o ângulo aproximado de 30° com a superfície e descarbonetação imperceptível ao redor do defeito.

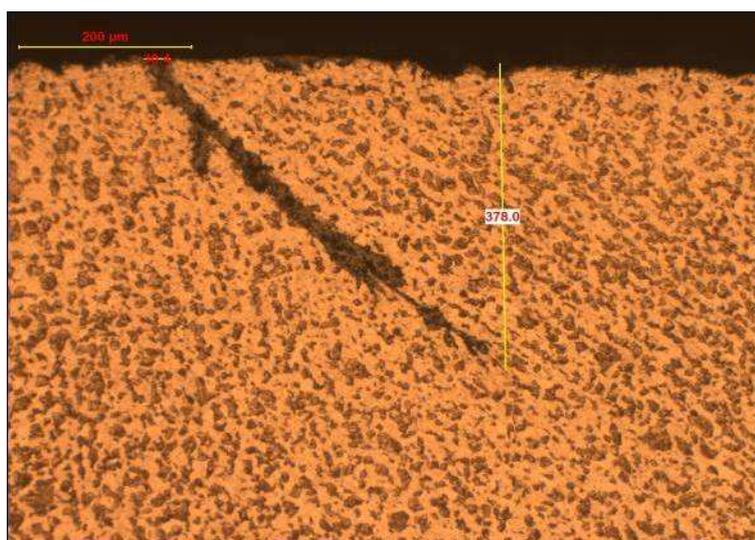


Figura 5.16: Imagem metalográfica, ataque Nital 2%. Fonte: Aços Especiais Charqueadas, Laminador 1.

Tarugo 3: Assim que o processo retornou a sua condição normal de temperatura não foi mais detectado o defeito.

Nas barras laminadas antes e depois não foram encontrados o defeito, mostrando que o defeito ocorre naqueles materiais que apresentavam variação de temperatura, pois as outras variáveis como a velocidade e o % de redução de área não variavam de forma significativa (WUSATOWSKI, 1969).

Como medida de prevenção a este defeito, de forma a tornar o processo mais robusto foi tomada como solução diminuir a seção de entrada no trem contínuo, de modo a deixá-lo menos suscetível a variações de temperatura e qualidade afastando a possibilidade de dobra por variações do processo conforme a figura 5.17.

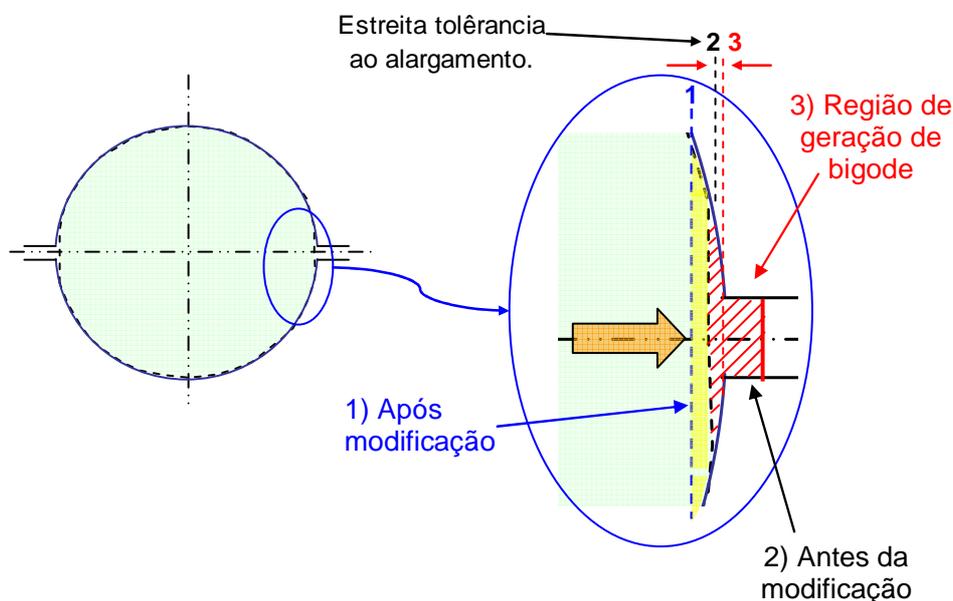


Figura 5.17: Figura mostrando o comportamento antes e após a mudança na seção de entrada do trem contínuo. Fonte: Projeto redução de refugo por dobras no laminador da Aços especiais charqueadas.

5.11 Dobras provenientes de riscos sofridos no laminador.

O mesmo procedimento de retiradas de amostras para detecção possibilitou a determinação de uma dobra gerada de riscos contínuos em passes intermediários, e a medida que são aplicadas novas reduções o defeito vai ficando com o aspecto dobrado levemente ondulado. Este problema é agravado por ser contínuo e de difícil remoção, causando um volume alto de refugo.

5.11.1 Dobras com risco em caixa guias no desbaste intermediário.

O procedimento para determinar este problema foi verificar todos os pontos levantados na análise detalhada com a equipe, onde se constatou que ao passar no passe 6 da gaiola de desbaste M2 anterior ao trem contínuo (ver layout do trem conforme figura 4.1), o material riscava no rolete desgastado por estar trancado, devido à quebra de rolamento. Fato evidenciado com retirada de amostras antes e depois do passe.

As figuras 5.18 e 5.19 mostram o defeito com origem de rolete de caixa guia trancada, a guia que pode ser vista na figura 5.20.

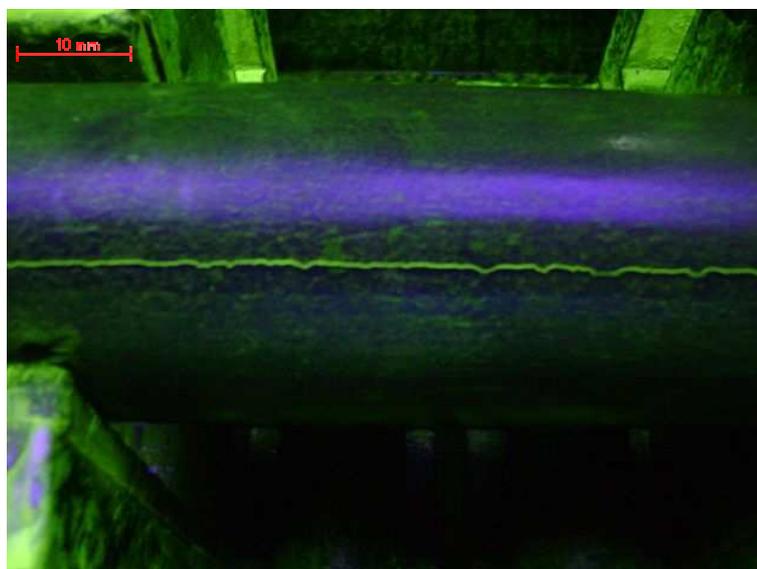


Figura 5.18: Dobra com 0,24mm de profundidade, com 0,20mm de abertura inicial.

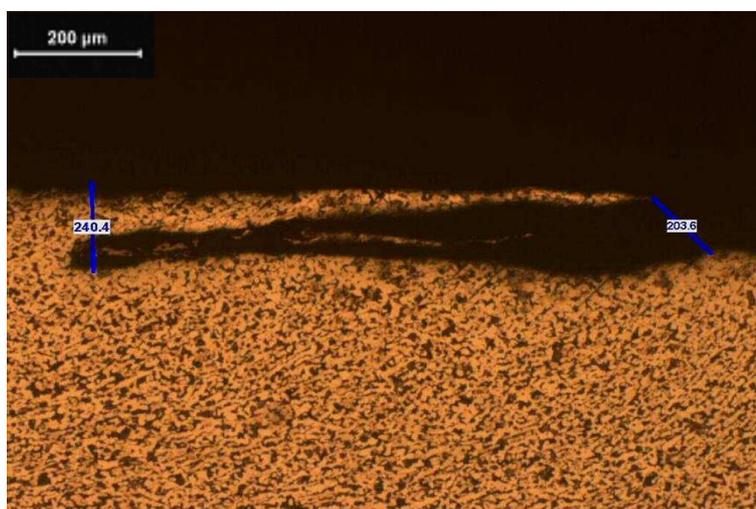


Figura 5.19: Imagem metalográfica, ataque Nital 2%.

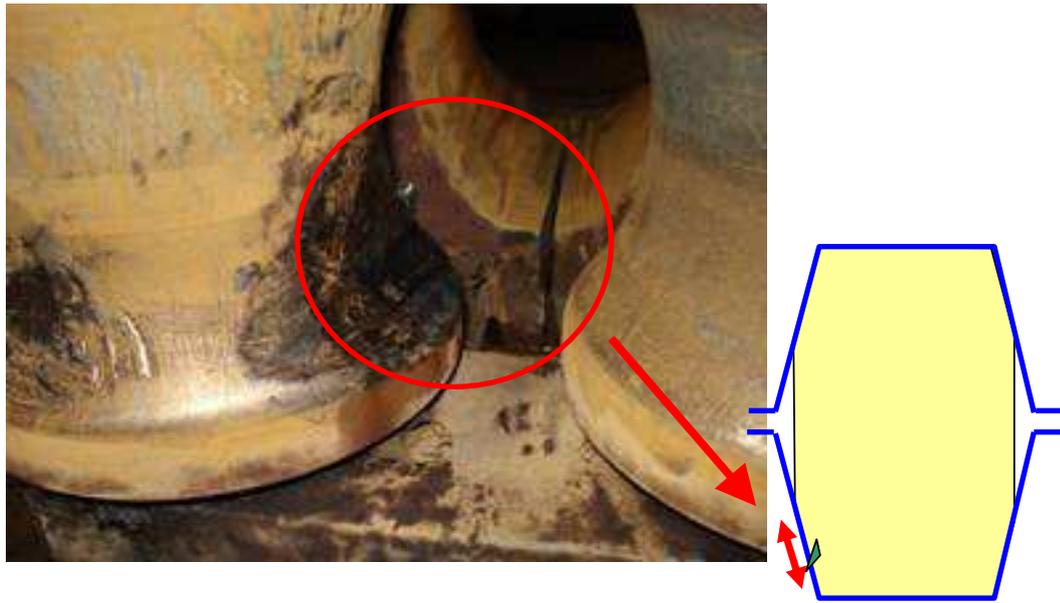


Figura 5.20: Foto evidenciando o rolete da guia desgastado após quebra do rolamento e o desenho representando o risco no material.

A causa fundamental para este problema foi o engraxe insuficiente dos rolamentos do rolete. Com isso, foi tomada a ação de intensificar o engraxe das caixas e reduzir o período de troca.

5.11.2 Dobras geradas de riscos de guias secas de entrada

Este defeito nem sempre se apresenta em todas as barras do tarugo laminado e em muitos casos não é contínuo (figura 5.21 e 5.22), o que o torna de difícil detecção durante a operação.



Figura 5.21: Imagem da dobra originada de riscos no magnaflux.

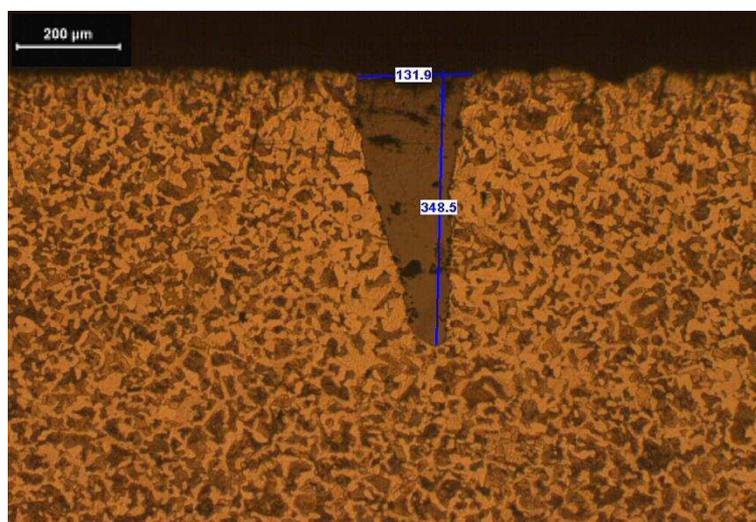


Figura 5.22: Dobra com 0,34mm de profundidade, com 0,13mm de abertura inicial, com 4 peças sucataadas. Ataque Nital 2%.

Este tipo de defeito ocorre em guias em que não há a presença de roletes e ocorre o desgaste da superfície da guia devido ao atrito da barra, guias estas chamadas de guias secas. Para guiar a barra na entrada do cilindro há um suporte chamado barrão no qual possui a peça de ferro fundido chamada estriper, esta peça é sujeita ao desgaste excessivo, pois sofre o atrito com a peça (figura 5.23).

O problema verificado foi que o desgaste não uniforme causa cantos vivos nas guias gerando riscos no material.

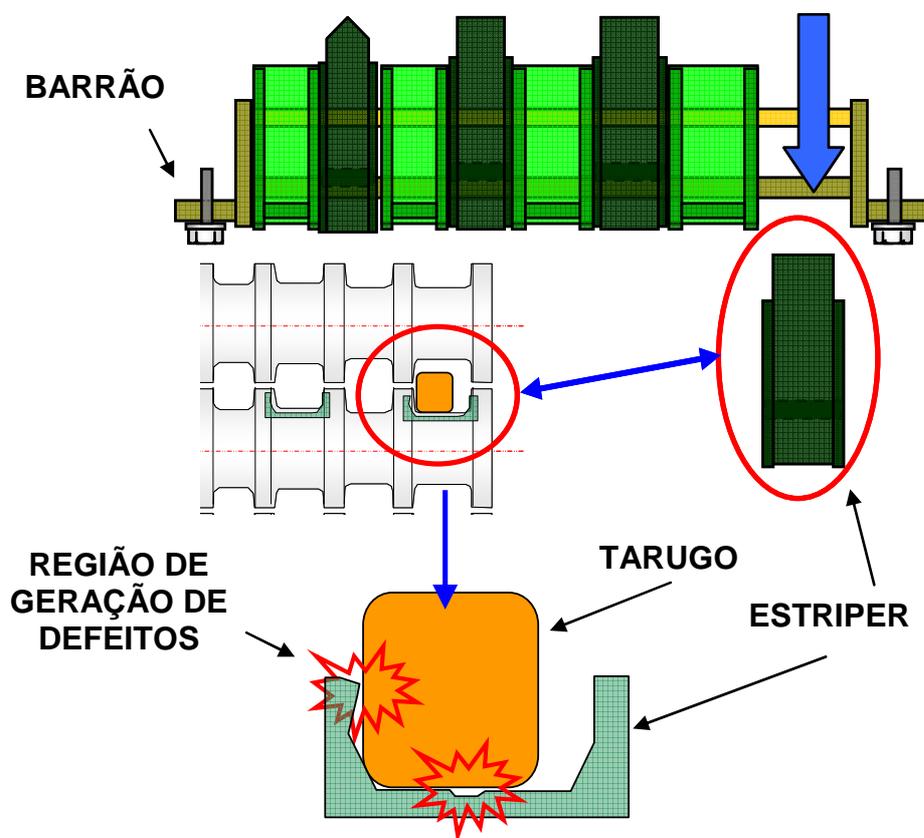


Figura 5.23: Desenho ilustrando o tarugo em contanto com as partes desgastadas do laminador gerando defeitos.

Pontos de atuação:

- Garantir uma forma adequada (simétrico) de modo a gerar um desgaste uniforme do estriper.
- Barrão bem alinhado.
- Sem desgastes com arestas.

5.12 Escamas provenientes de marcas ocorridas no laminador

Este tipo de defeito impacta fortemente tanto em sucata, quando se apresentam de forma mais profunda (acima de 0,30mm) e ou contínuo como também impacta fortemente em retrabalho para sua remoção nas linhas de inspeção quando for possível sua recuperação.

A tabela 5.2 mostra de forma representativa uma parte da amostragem retirada para constatação do defeito tipo escama. A coluna amostra é referente aos locais de retirada de amostra conforme a figura 4.1.

Tabela 5.2: Amostras retiradas durante a laminação.

Tarugo	Amostra	Temperatura [C]	Bitola	CONDIÇÃO T [°C]	DEFEITOS	OBSERVAÇÃO	
1	E1	1070	88,90	NORMAL	SIM	DIFICULDADES DE MANIPULAÇÃO NO BLOOMING	
1	E2	1050	88,90		SIM	-	
1	E3	1020	88,90		NÃO	-	
1	E4	1000	88,90		NÃO	-	
1 PRODUTO FINAL		T. ambiente	88,90	NORMAL	SIM	ESCAMAS	
2	E1	1070	88,90	NORMAL	NÃO	-	
2	E2	1050	88,90		NÃO	-	
2	E3	950	88,90		BAIXA TEMPERATURA	NÃO	-
2	E4	920	88,90		BAIXA TEMPERATURA	NÃO	-
2 PRODUTO FINAL		T. ambiente	88,90	NORMAL	NÃO	-	
3	E1	1070	88,90	NORMAL	NÃO	-	
3	E2	1050	88,90		NÃO	-	
3	E3	1020	88,90		NÃO	-	
3	E4	1000	88,90		NÃO	-	
3 PRODUTO FINAL		T. ambiente	88,90	NORMAL	NÃO	-	

Constatou-se que a temperatura de laminação não influencia neste tipo de defeito e o fator causal deste tipo de escama de laminação é a condição de operação do laminador, principalmente os manipuladores de barra. As imagens 5.24. e 5.25 mostram o defeito da amostra E4 do tarugo 1.

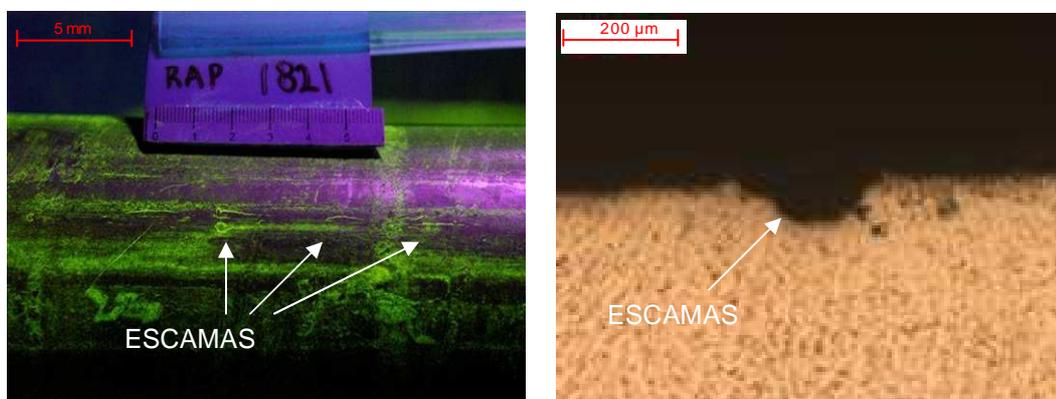


Figura 5.24: Imagem a: da cavidade com 0,17mm de profundidade analisada no magnaflux. Imagem b: ataque em Nital 2%.

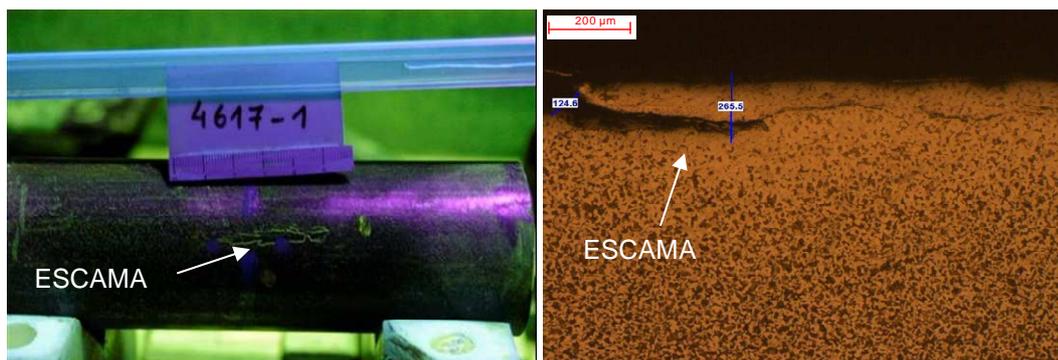


Figura 5.25: Imagem a: Escama com 0,26mm de profundidade - 0,12mm de abertura inicial do defeito, vista no magnaflux. Imagem b: ataque Nital 2%.

Este tipo de problema pode ocorrer em consequência de riscos e pequenas marcas que ocorrem na movimentação durante a manipulação do tarugo. Verificou-se a necessidade de fazer um procedimento passo a passo de operação e exigências do equipamento de modo a definir as condições necessárias de operação para minimizar este tipo de defeito.

5.12.1 Procedimento operacional para evitar marcas no laminador

Os padrões de manipulação contemplaram passo a passo como operar o equipamento visando as melhores práticas para a condição superficial do material e como manter o equipamento em condições boas de manutenção.

Como fazer a recepção de um passe losango

1. Deixar as réguas alinhadas com a saída da barra, sem tocar a barra evitando que as réguas ou roletes marquem o material (figura 5.26)
2. Desacelerar o cilindro um pouco antes de a barra sair totalmente de dentro do canal para que a barra não se afaste demais do passe e que não seja necessário utilizar as réguas para parar o material.
3. Deixar o manipulador virado (figura 5.27) para a direita com altura e ângulo alinhados com a barra e a mesa após ter passado a ponta da barra.

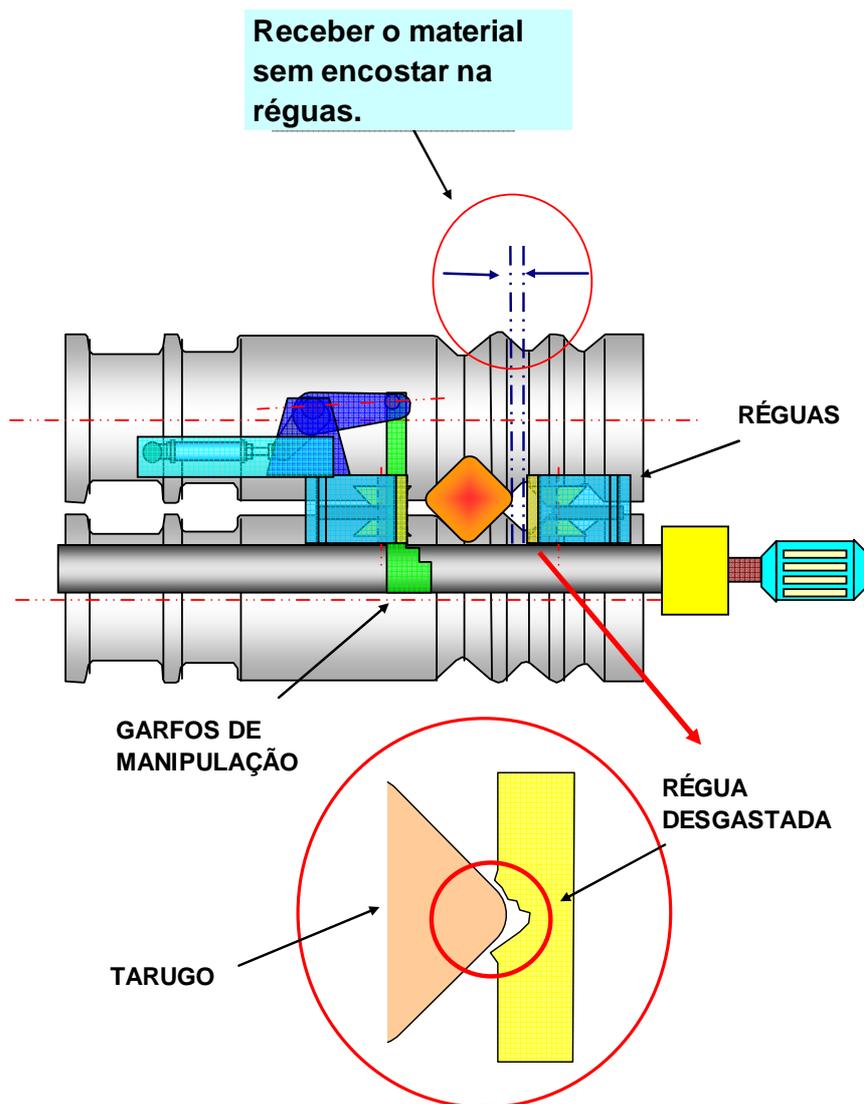


Figura 5.26: Passo 1: recepção de um material pelo manipulador nos primeiros passes do blooming, sem encostar nas régua evitando geração de riscos que levarão a escamas.

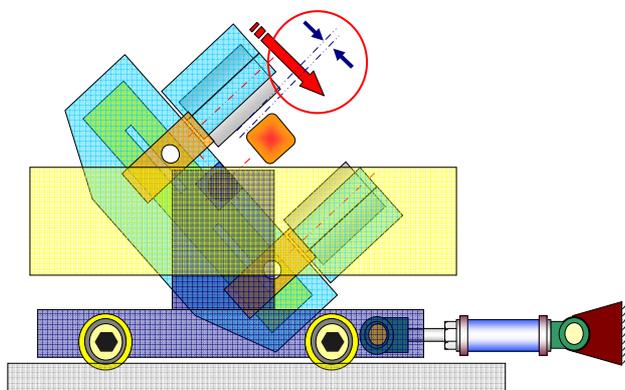


Figura 5.27: Passo 2: recepção de um material com o manipulador do tipo girador, evitando o contato com o material.

4. Aproximar primeiro o Rolo do manipulador a barra até ficar do lado dela SEM TOCAR A BARRA.
5. Fechar o Rolo do manipulador que fica embaixo sem fazer pressão sobre a barra.
6. Manter o Manipulador na posição sem abrir os Rolos do Manipulador.

Porque fazer o alinhamento de um passe losango:

1. Para direcionar a barra evitando que esta saia torta, não tocando na barra para que não sejam gerados riscos na barra.
2. Para que a barra seja freada com a desaceleração dos cilindros e não com a manipulação e evitar que a barra se distancie dos manipuladores aumentando o tempo de manipulação com conseqüente perda de temperatura.
3. Ao deixar o manipulador virado para a direita com um pequeno giro para a esquerda o material já estará alinhado com a entrada do passe seguinte.
4. Não tocar na barra, pois geram riscos, escamas e desgasta os roletes.
5. Para alinhar a barra com o laminador, evitando que ao fechar os rolos a barra seja pressionada contra o laminador e que entorte (figura 5.28).

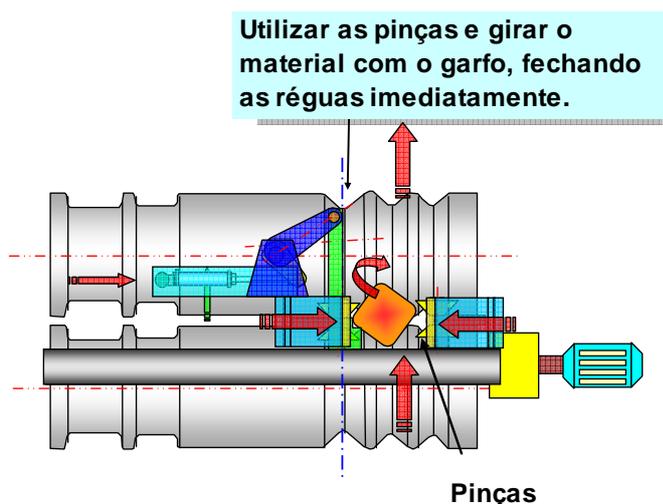


Figura 5.28: Utilização das pinças para girar o tarugo para alinhar com a entrada do canal.

5.13 Padronização

Montou-se uma padronização com o objetivo de garantir que o conhecimento gerado (know-how) se perpetue e o gerenciamento da rotina ocorra de forma eficiente, fazendo que todos obtenham o conhecimento de forma didática e tenham o correto conhecimento da influência de sua atividade no produto final, buscando principalmente formar pessoas executoras de tarefas e sim profissionais que tenham a capacidade de interagir com o processo tendo a correta noção da influencia de sua atividade no produto final

Com o resultado dos procedimentos práticos decidiu-se estruturar uma padronização conforme mostra a figura 5.29, tendo como foco os dois pontos fundamentais que garantem a qualidade do produto: operadores e condições do equipamento.

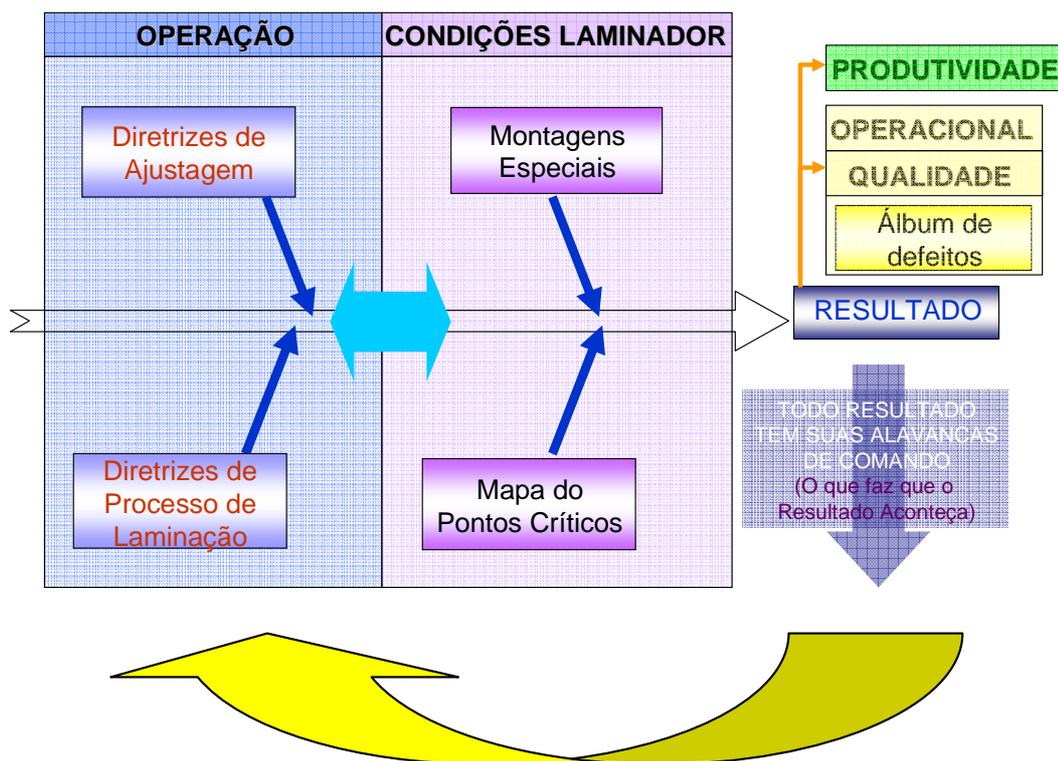


Figura 5.29: Desenho esquemático mostrando a proposta de funcionamento do sistema de padronização.

A padronização mostra um sistema que funciona como o processo de PDCA no qual periodicamente o sistema é revisado quando um produto não atende as condições necessárias de qualidade. Deixando claro que o importante é que uma vez gerado o

conhecimento este se perpetue na equipe e quando contemplando na padronização o fato não volte a ocorrer.

Destacam as seguintes características da padronização:

- Pontos críticos do equipamento sob controle (em operação)
- Montagens críticas bem executadas (antes da operação).
- Operação de qualidade, isto é:
- Ajustar bem o laminador.
- Operar bem o laminador durante o processo.

Todo o resultado tem sua causa e origem na máquina ou na operação, portanto todo o resultado terá que ter ligação com algum dos pontos antes mencionados.

5.13.1 Padrões de processo

No padrão chamado diretrizes de laminação conforme figura 5.30, detalhou-se todos os pontos em que se constatou existir uma influência sobre a qualidade superficial do material, como controle do alargamento e ajuste de bitola. Já nas diretrizes de processo (figura 5.31 e 5.32) foi destacado como operar o laminar.

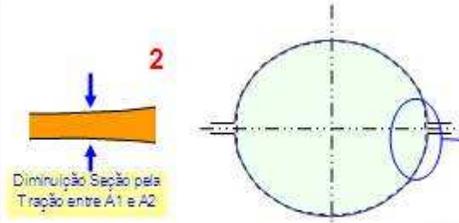
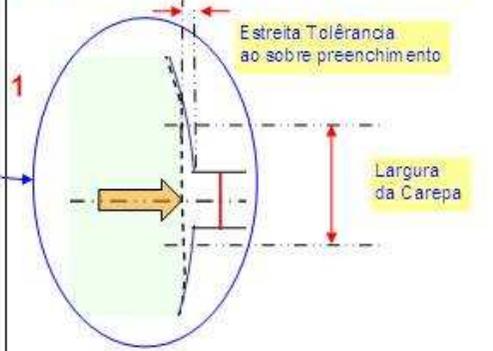
GERDAU		MANUAL DE OPERAÇÕES		PROCESSO	
		LAMINAÇÃO 1 AEP		LAMINAÇÃO AEP	
				LAM 1	
TIPO DE PADRÃO: OPERACIONAL		Firma Processo:		Firma Laminação:	
CÉLULA: LAM 1				NORMA OPERATVA	
DATA DA ÚLTIMA REVISÃO: 08/05/2008				Pág. 3,6	
				LT -05 REV 1	
INSTRUÇÃO ESPECIAL: Diretrizes Gerais de Ajustagem do Laminador 1					
ONDE?	O QUÊ?	QUÊM?	DIRETRIZES	PONTOS CHAVE	
Trem Contínuo	Ajustagem da Gaiola A2 para garantir que não vai sair bigode da A2 (Dobra pelo Bloco).	- Ajustadores - Pulpito	<p>- Ajustar para sempre ter uma mínima largura de Carepa Garantindo que o Ferro que chega da A1 é adequado</p> <p>- Se não for suficiente Fazer que A1 e A2 trabalhem com Trações para diminuir a seção na entrada da A2 e diminuir a Seção da barra na entrada e impedindo que o material estore no passe.</p>  <p>Fig. 5</p>	<p>- Se tem muito risco de Bigode que vai ser especialmente ruim na laminação pelo Bloco onde vai fechar fazendo uma Dobra</p> <p>- A saída dos Passes da A2 é muito fechada, o que faz que seja muito sensível aos bigodes e Sobre-preenchimentos</p> <p>- A sobre-velocidade de entrada da A2 vai gerar uma tração para a ponta que vai diminuir o Ferro da A1 para A2 e o trabalho com tração entre A1 e A2 depois de entrar a barra na A2 vai diminuir o Ferro do resto da barra ate a Calda</p> 	
	Ajustagem Geral das Gaiolas A1 e A2	- Ajustadores - Pulpito	<p>- Operador do Pulpito avisará os Ajustadores quando mudar a Qualidade Laminada para uma de alto Sobre-Preenchimento (4XXXX, 5XXXX, Inox etc.).</p> <p>- Se surgir algum problema se procederá com os mesmos critérios descritos nos itens específicos anteriores.</p>	- Não esquecer as Diretrizes dos Passos anteriores.	

Figura 5.30: Diretrizes de laminação mostrando detalhadamente como evitar o surgimento de dobras.

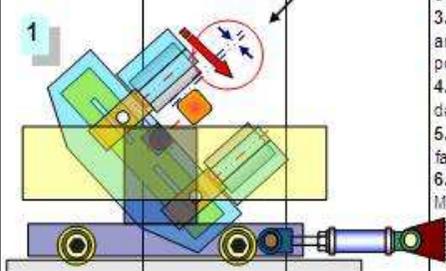
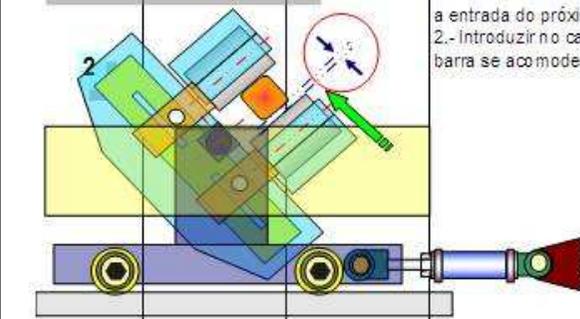
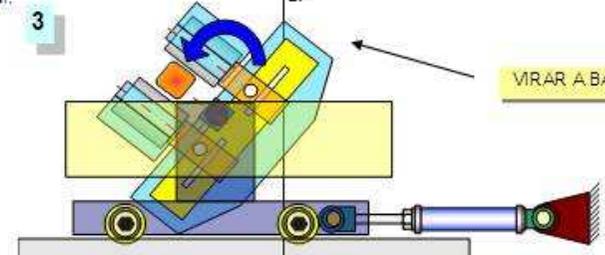
MANUAL DE OPERAÇÕES			PROCESSO	
			LAMINAÇÃO 1 AEP	
TIPO DE PADRÃO: OPERACIONAL			Firma Processo:	
CÉLULA: LAM 1			Firma Laminação:	
DATA DA ÚLTIMA REVISÃO: 16/06/08			NORMA OPERATIVA	
			Pág. 48	
			LT - 05 REV 1	
INSTRUÇÃO ESPECIAL: Diretrizes Gerais de Processo do Laminador 1				
ONDE?	O QUÊ?	QUÊM?	DIRETRIZES	PONTOS CHAVE
Blooming	Laminação nos passe LOSANGO	- Operador do blooming	<p>RECEPÇÃO DO PASSE LOSANGO:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Deixar as régua alinhadas com a saída da barra, sem tocar a barra (fig.1). 2.- Desacelerar o cilindro um pouco antes de a barra sair totalmente do canal para que a barra não se afaste demais do passe e pare sem a necessidade de utilizar as régua. 3.- Deixar o manipulador virado para a direita com altura e angulo alinhados com a barra e a mesa após ter passado a ponta da barra. 4.- Aproximar primeiro o Rolo do manipulador que fica acima da barra até ficar do lado dela SEM TOCAR A BARRA. 5.- Fechar o Rolo do manipulador que fica em baixo sem fazer pressão sobre a barra. 6.- Manter o Manipulador na posição sem abrir os Rolos do Manipulador. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Para direcionar a barra evitando que esta saia torta, não tocando na barra para que não sejam gerados riscos na barra. 2.- Para que a barra seja freada com a desaceleração dos cilindros e não com a manipulação e evitar que a barra se distancie dos manipuladores aumentando o tempo de manipulação com conseqüente perda de temperatura. 3.- Ao deixar o manipulador virado para a direita com um pequeno giro para a esquerda o material já estará alinhado com a entrada do passe seguinte. 4.- Não tocar na barra pois gera riscos, escamas e desgasta os roletes. 5.- Para alinhar a barra com o laminador, evitando que ao fechar os rolos a barra seja pressionada contra o laminador e que entorte. 5.1.- Evitar que a barra entorte e saia do passe sem torção. 6.-
	<p>APROXIMAR A PARTE SUPERIOR SEM APOIAR NA BARRA</p> 		<p>ALINHAMENTO E ENTRADA DO PASSE LOSANGO COM MANIPULADOR</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Virar a barra da direita para a esquerda e alinhando com a entrada do próximo passe com o manipulador. 2.- Introduzir no canal com velocidade reduzida para que a barra se acomode no canal. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Recebendo o material com o manipulador corretamente posicionado facilitará e agilizará o alinhamento ao próximo passe evitando perda de tempo e temperatura. 2.-
	<p>FOLGA, NO CHEGAR A APOIAR NO MATERIAL</p> 		 <p>VRAR A BARRA</p>	

Figura 5.31: Diretrizes gerais do processo mostrando detalhadamente como manipular o material destacando os “pontos chave” do processo.

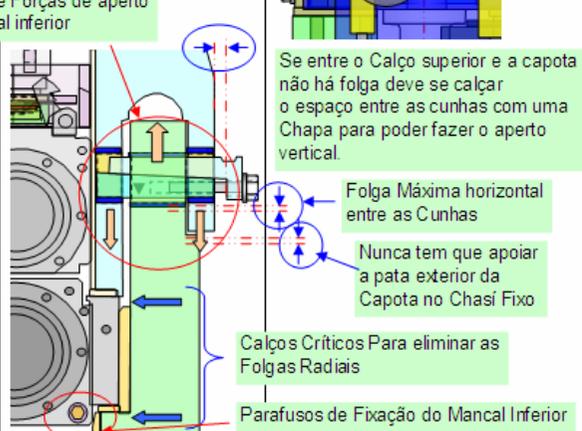
		MANUAL DE OPERAÇÕES		PROCESSO	
LAMINAÇÃO 1 AEP		ESPECIFICAÇÕES DE OPERAÇÃO		LAMINAÇÃO AEP	
TIPO DE PADRAO: OPERACIONAL		Firma Processo:		LAM 1	
CELULA: LAM 1		Firma Laminação:		NORMA OPERATIVA	
DATA DA ULTIMA REVISAO: 16/06/08				Pág.	7/16
				LT - 05	REV 1
PONTOS CRITICOS OPERACIONAIS E DE QUALIDADE DO PROCESSO DA LAMINAÇÃO 1					
Elem	Problemas Gerados	Croqui	Requerimentos	Manutenção Autônoma	
M2-M3 / Chasi /	<p>1.- Dobra, Lasca por variação fora do controle das luzes da Gaiola gerando variação nas seções intermediárias devido às FOLGAS RADIAIS.</p> <p>2.1.- Lasca e Torcido devido às FOLGAS AXIAIS que geram instabilidade da barra nos Passes (Especialmente nos Passes Caixa) ou Seção irregular devido à Falta de Equilibrado dos Cilindros.</p> <p>2.2.- Trinca - Escama ao torcer a barra e rolar ao arrasta-la com o Arrastrador devido as Folgas.</p>	<p>Folga entre os Bronzes</p>  <p>Se entre o Calço superior e a capota não há folga deve se calçar o espaço entre as cunhas com uma Chapa para poder fazer o aperto vertical.</p> 	<p>1.- Correta montagem da Gaiola controlando as origens das Folgas Radiais:</p> <p>1.1. - Folgas no Cilindro Inferior --> Não ocorrem devido ao efeito da gravidade.</p> <p>1.2. - Folgas Cilindro Central --> Contida pela Capota da Gaiola</p> <ul style="list-style-type: none"> - Requer que a soma dos desgastes dos Calços do Chasi fixo e da Capota sejam menores que a tolerância de aperto das Cunhas que seguram a Capota. - A Máxima distância é dada pelas Cunhas e tem que ser menor que a Folga da pata exterior da Capota ao Chasi Fixo. <p>1.3.- Folgas do Cilindro Superior contida pelos Cilindros Hidráulicos do Balançinho.</p> <p>2.- Sem Folgas Axiais, que têm origem em:</p> <p>2.1.- Charneiras de Ajustagem de Luzes com Folgas por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de aperto das porcas da Charneira - Bronzes de seguro sem folgas entre eles e em consequência geram folgas com os pinos do mancal que não o seguram. - Desgastes de Rolamentos internos dos Mancais. 	<p>DIRETRIZES DE MONTAGEM (Seguir a Sequência da NOMESEP)- Ao Montar a Gaiola</p> <p>1.- Quando tivermos que Calçar as Cunhas para segurar a fixação da Capota Acima do Mancal Abrir Etiqueta de Manutenção para a Manutenção Mecânica concertar e/ou:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Os Calços Críticos para Retirar as Folgas - Os Embuchamentos das Cunhas no Chasi Fixo ou na Capota. - Trocar Copos de Segurança para Avaliar seu estado ao Mag.  <p>2.- Verificar que os Bronzes dos Pinos dos Mancais Inferior e Superior tem Folga entre eles para garantir que não vão ter folga com os Pinos dos Mancais.</p> <p>Se a Folga não for Adequada Etiqueta de Manutenção para o Escritório de Cilindros</p> <p>NA OPERAÇÃO - POR TURMA</p> <p>2.- Para Folgas Radiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Garantir que as Cunhas estão bem fixas - Que os Cilindros de elevação do Cilindro Superior encostam completamente os Mancais nos Parafusos das Luzes. <p>1.- Para Folgas Axiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Garantir aperto dos Parafusos de Fixação do Mancal Central com o Chasi Fixo. - Garantir aperto dos Parafusos da Charneira.  <p>- Avaliar que os Bronzes dos Pinos estão com folga entre eles e sem quebrar.</p>	

Figura 5.32: Padronização dos pontos críticos do equipamento com os requerimentos e itens de manutenção.

5.13.2 Álbum de defeitos de laminação

Para ajudar na identificação do defeito de forma efetiva e rápida criou-se o álbum de defeitos de laminação com a descrição do defeito, imagens e croquis dos defeitos, causas possíveis e a ação para correção do defeito. Este padrão mostra a consequência das falhas na execução da padronização facilitando o seu tratamento e mantendo o conhecimento adquirido.

5.14 Atingimento das metas estabelecidas

O figura 5.34 apresenta o gráfico seqüencial do sucata de dobra e escamas ficando claro a redução acentuada a partir de fevereiro de 2008 após o início da implementação das ações chegando a valores de 0,11%, obtendo-se uma redução de 80% do refugo.

Contatamos que o ideal é criar condições de laminação que minimize ao máximo o atrito do material com o equipamento, pois caso contrario, estaremos gerando um produto de baixa qualidade superficial sujeito a um grande sucata, retrabalho.

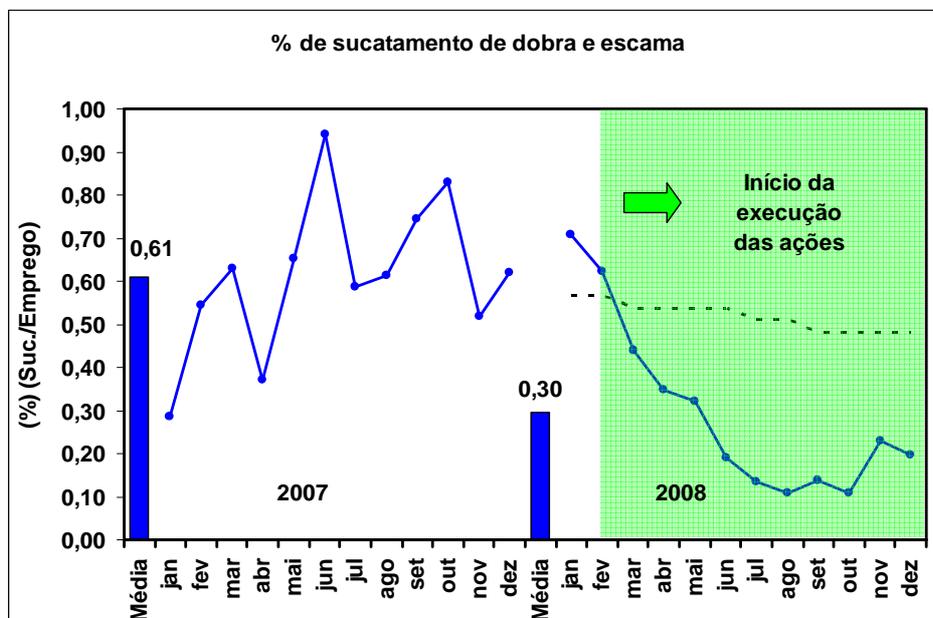


Figura 5.33: Gráfico seqüencial do resultado de sucata percentual de dobra e escamas a partir do momento da execução das ações.

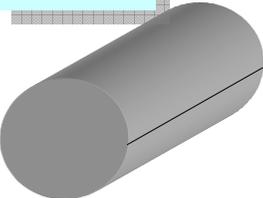
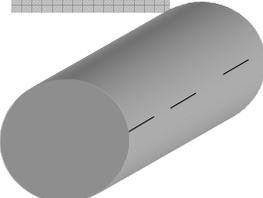
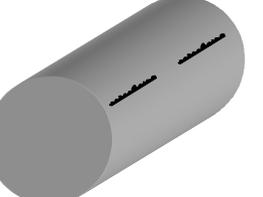
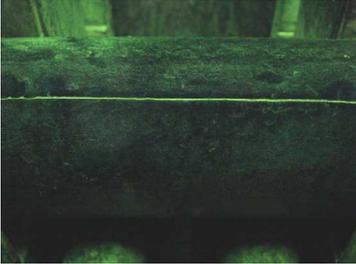
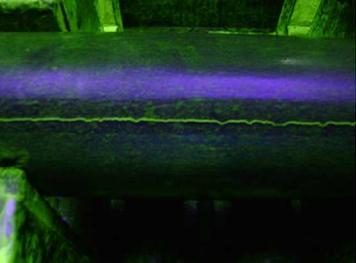
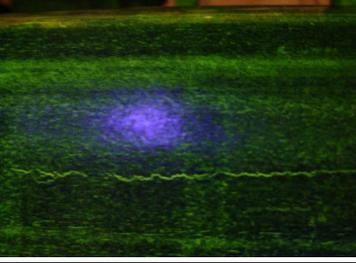
Descrição do defeito	Exemplo	Causas possíveis	Ação
<p>RISCO LAMINADO Riscos contínuo e intermitente em uma ou mais geratrizes da barra, muito similar ao aspecto de uma Dobra impactam fortemente em Sucata e Rejeição nas linhas.</p> <p>Contínuo</p>  <p>Intermitente</p>  <p>Intermitente / Pontual</p> 	<p>Imagem 1: Risco gerado nos pentes do blooming.</p>  <p>Imagem 2: Risco contínuo gerado em caixas roletadas M2 e M3.</p>  <p>Imagem 3: Risco gerado nos Stripers da gaiola M3.</p> 	<p>1.1.- Pentes do blooming em contato com o material.</p> <p>1.2.- Contato do material com a superfície das réguas do blooming desgastadas.</p> <p>2.1.- Guias roletadas da M2 e M3 com roletes trancados.</p> <p>2.2.- Altura e Trancamento dos Rolos.</p> <p>3.1.- Guias secas M2 / M3 (Stripers) desgastados, com material colado.</p> <p>Demais causas prováveis:</p> <p>4.- Mal posicionamento dos roletes do desviador de entrada da tesoura.</p> <p>5.- Desponte preso na calha da tesoura.</p> <p>6.- Funil do descarepador.</p> <p>7.- Roletes da calha.</p> <p>8.- Roletes de entrada do bloco, principalmente quando não estão com os cantos arredondados.</p> <p>9.- Lascas presas ao longo do laminador.</p> <p>10.- Operação incorreta durante a manipulação do material nas gaiolas M2 / M3.</p> <p>Obs.: Estes são os pontos mais prováveis, mas podem acontecer outros riscos em outros pontos do Laminador.</p>	<p>1.1.- Verificar posição dos pentes do blooming. Responsável: Operador do blooming (Ptos.Críticos).</p> <p>1.2.- Não parar o material com as réguas e retificar as réguas, conforme Diretrizes de Processo de Laminação. Responsável: Operador do blooming.</p> <p>2.1.- Trocar caixas roletadas. Responsável: Ajustadores.</p> <p>2.2.- Ajustar o manipulador para que não fique acima da linha de laminação pois acaba riscando o material nas guias secas. Responsável: Ajustador.</p> <p>3.- Retificar as guias conforme Pontos Críticos. Responsável: Ajustador.</p> <p>4.- Posicionar corretamente o desviador (Ptos. Críticos). Responsável: Ajustador.</p> <p>5.- Retirar desponte preso (Ptos.Críticos). Responsável: Ajustador.</p> <p>6.- Acionar Manutenção Mecânica. Responsável: Ajustador.</p> <p>7.- Trocar roletes trancados e posicionar corretamente roletes fora de posição. Responsável: Ajustador e Inspetor.</p> <p>8.- Trocar os roletes. Responsável: Ajustador.</p> <p>9.- Inspeccionar as gaiolas do laminador e remover lascas presas a gaiola. Responsável: Ajustador.</p> <p>10.- Operar conforme as Diretrizes de Processo de Laminação. Responsável: Operador da Gaiola M2 / M3</p>

Figura 5.34: Visão geral do álbum de defeitos de laminação.

6.0 CONCLUSÃO

A falta de know-how faz com que todo o sistema de resolução de problemas funcione de forma incorreta, sendo fundamental a geração de conhecimento e a garantia que este conhecimento chegue a mão de todos envolvidos no processo via uma boa padronização.

A análise detalhada só surtiu efeito positivo devido a um bom conhecimento de onde ocorriam os problemas, fato que se deu devido a análise de dados juntamente com os acompanhamento tanto durante o processo de laminação como durante a inspeção nas linhas de modo a conhecer bem os defeitos de qualidade. Com isso foi possível focar na faixa de bitolas que mais apresentavam problemas, confirmado posteriormente pela retirada de amostras.

Através das amostragens e análises dos defeitos, as principais origens para dobra é a variação de temperatura que ocorre devido a problemas operacionais que levam o material a perder temperatura e o contato do material com partes desgastadas do equipamento e problemas de manipulação do equipamento, sendo este último também o fator causal para escamas.

A proposta de reduzir a seção do material de entrada no laminador contínuo apresentou um excelente resultado com, praticamente, a eliminação do defeito. Esta nova maneira de laminar tornou o processo mais estável no que se refere ao aparecimento de defeitos superficiais com origem na laminação.

A identificação dos pontos críticos do equipamento e a elaboração de procedimentos determinando como operar para evitar marcas no material reduziu significativamente as marcas geradores de escamas.

A padronização criada de forma a levar a informação não somente com a orientação da tarefa, mas sim mostrando o porquê da tarefa de forma clara e didática leva o

conhecimento a todos de forma rápida e eficaz, o que faz que os operadores não fossem meros executores de tarefas e sim pessoas que participam ativamente do processo, podendo contribuir de forma efetiva ao resultado.

As ações tomadas geraram um ganho e uma redução de aproximadamente 78% em relação ao ano anterior.

7.0 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Aprofundar o trabalho levantando outros pontos de geração de defeito.
- Consolidar as diretrizes de laminação como pratica na área de produção.

8.0 REFERÊNCIAS

DIETER, George E. **Metalurgia Mecânica**. 2.ed. Tradução de Antonio S. de Souza, Luiz Henrique de Almeida e Paulo E. Valadão de Miranda. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981. 653p.

COLPAERT, Hulbertus. **Metalografía dos produtos siderúrgicos**. 5 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 411p.

HAUCK, Gustavo Acácio Corrêa; LAIA, Levi Lopes. **Fornos de Reaquecimento**. São Paulo: ABM, 2000. 44p.

BEUREN, Jair; TRAVI, Tatiana. **Processos de Aquecimento nos Aços**. [s.l.]: [s.n.], 2000; 28p.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. 2. ed. São Paulo, Ziguarte Editora, 1998. 159 p.

CHANDLER, H; FLINT, V; DAVIDSON, G. M.; BONRING, R. L; POWERS C. L. **Heat Treater's Guide Practices Produces for Irons and Steels – 2nd Edition**". American Society of Metals Publishing, 1995.

HERNANDEZ, D.; MORALES D.; CABANÃS-MORENO J. **The Spheroidization of Cementite in a Médium Carbon Steel by Means of Subcritical and Intercritical Annealing**. ISTJ international, vol. 32, 1992.

CODA, R. C; **Análise de Defeitos em Laminação**. Porto Alegre, UFRGS, 2002. 39 p.

CODA, R. C; **Calibração: Produtos longos de aço laminados a quente**. Porto Alegre, UFRGS, 2001 125 p.

CODA, R. C; **Laminação – Produtos longos de aço laminados a quente**. Porto Alegre, UFRGS, 2000. 113 p.

WUSATOWSKI, Zygmunt D. Sc; **Fundamentals of Rolling**. Gliwice, Poland; Professor of the Polytechnical University, 1969. 697 p.

The United Steel Companies Limited; **Elements of Rolling Practice**. Sheffield, England, 1963.142 p.

TSELIKOV, A.I, SMIRNOV, V.V; **TRENES DE LAMINACION**. Traduzido por Ignacio Iturrigada, Bilbao, Editora Urmo, 1965. 170 p.

DAM, Buddy, E; PAUSKAR, Praven; IVES, Jeffery; CONNEELY, Mark. **Modeling Hot Bar Rolling to Predict Surface Quality**. The Timken Company, Canton, OH, USA.

SIDENOR; Manual de Defectos en Barras Laminadas. ESP, 2002. 72 p.

IAS – Instituto Argentino de Siderurgia – **Defeitos em Produtos Longos de Aços ao Carbono e Baixa Liga**, IAS Publicações. Outubro de 2004.

MADIAS, J.; REDA, L. **Defeitos em Produtos Longos de Aços ao Carbono e Baixa Liga**. IAS publicações– Instituto Argentino de Siderurgia, 2004.