

**MAURO BERTOLDO BOESSIO**

**CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS TIPOS DE  
DEFEITOS DECORRENTES DO PROCESSO DE  
CORTE LONGITUDINAL**

**JARAGUÁ DO SUL, 2013**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - GERALDO WERNINGHAUS  
CURSO TECNÓLOGO EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

**MAURO BERTOLDO BOESSIO**

**CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS TIPOS DE  
DEFEITOS DECORRENTES DO PROCESSO DE  
CORTE LONGITUDINAL**

Trabalho de conclusão de curso  
submetido ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de  
Santa Catarina como parte dos  
requisitos de obtenção do título de  
Tecnólogo em Fabricação  
Mecânica.

Professor Orientador  
Rubens Hesse, Dr.

**JARAGUÁ DO SUL, 2013**

B669c

Boessio, Mauro Bertoldo

Caracterização dos principais tipos de defeitos do processo de corte longitudinal / Mauro Bertoldo Boessio ; orientador Rubens Hesse. – Jaraguá do Sul : IFSC, 2013.

81 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (tecnólogo) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Inclui bibliografia.

1. Corte Longitudinal. 2. Bobina de aço – *Slitting*. 3. Processos de corte - defeitos . 3. Corte longitudinal – caracterização. I. Hesse, Rubens. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

CDD 671.3

Sistema de bibliotecas Integradas do IFSC

Biblioteca – Campus Jaraguá do Sul – Geraldo Werninghaus

Catalogado por: Khrisna Vivianne as Silva CRB 14/1229

# CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS TIPOS DE DEFEITOS DECORRENTES DO PROCESSO DE CORTE LONGITUDINAL

MAURO BERTOLDO BOESSIO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso Tecnólogo em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Jaraguá do Sul, 11 de dezembro de 2013.

## Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Edson Sidnei Maciel Teixeira, Me.

  
\_\_\_\_\_  
Rubens Hesse, Dr.

  
\_\_\_\_\_  
Marlon Vito Fontanive, Esp.

  
\_\_\_\_\_  
Kathia Mariane Fehsenfeld, Dr.



Este trabalho é dedicado aos meus pais  
e a todas as pessoas que ajudaram  
nesta caminhada.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que pode me proporcionar saúde para que chegasse até o final desta jornada.

Agradeço também a toda minha família, que mesmo distante soube dar apoio, conselhos, carinho e passar motivação, incentivando a lutar a cada novo desafio que se apresentava.

Agradeço também a minha namorada Fabiana, que sempre esteve disposta a me ajudar em assuntos de seu conhecimento, foi compreensiva com minha falta de atenção e falta de tranquilidade em muitos momentos.

Gostaria de agradecer em especial a empresa Divimec Tecnologia Industrial, que ajudou muito no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também a empresa WEG Equipamentos Elétricos que permitiu a captura de algumas imagens contidas neste trabalho.

Agradeço aos meus colegas de serviço, assim como aos meus colegas de turma, os quais por quase quatro anos convivemos todas as noites.

Aos professores que compartilharam muitas experiências, inúmeros aprendizados e dedicaram grande tempo nos atendendo para o esclarecimento de dúvidas, sejam elas esclarecidas em salas de aula ou corredores.

Por fim, agradeço a todos que ajudaram para que este momento possa estar sendo realizado. Um momento de grande alegria que quero compartilhar com todos.



Mente que se abre a novas ideias jamais volta ao seu tamanho original

(Albert Einstein)



## RESUMO

Este trabalho busca a realização de uma revisão de literatura, tendo como objetivo a apresentação dos principais tipos de defeitos que ocorrem no processo de corte longitudinal de bobinas de aço (*Slitting*). Este processo é caracterizado pela realização do corte através do comprimento do material a ser cortado, sendo que o corte está sujeito a todas as variações da matéria prima (bobinas), as variações do equipamento e as variações na forma de operação do equipamento.

Os defeitos do processo de corte podem estar ligados a fatores internos ao processo de corte (fatores ligados diretamente ao processo), ou a fatores externos (defeitos de matéria prima ou equipamento).

Desta forma, a caracterização do tipo de defeito, pode facilitar a identificação da causa de surgimento do mesmo, e assim promover ações para a sua correção.

**Palavras-chave:** Corte Longitudinal (*Slitting*). Defeitos do Processo de Corte. Caracterização do Defeitos do Processo de Corte Longitudinal .



## **ABSTRACT**

This work aims to present the main types of defects that occur in the longitudinal section of steel coils (Slitting) process. This process is characterized by conducting cutting through the length of material to be cut, and cutting this subject to all variations in the raw material (coils), the variations of equipment and variations in the mode of operation of the equipment.

The defects of the cutting process can be linked to the internal cutting process (factors directly linked to the process), or external factors (defects in raw materials or equipment).

Thus the characterization of the type of defect, can facilitate the identification of the cause of the appearance of it, and thus promote actions for correction.

**Keywords:** Longitudinal (Slitting). Defects Cutting Process. Characterization of Defects Process Longitudinal



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimento Relativo entre Ferramenta e Material (Exemplo de Corte em Matriz Fechada).....	29
Figura 2 - Movimento Relativo entre Material e Ferramenta (Exemplo de Corte em Matriz Aberta).....	29
Figura 3- Componentes do Processo de Corte Sem a Representação da Rebarba.....	30
Figura 4 - Regiões Características do Processo de Corte.....	31
Figura 5 - Regiões de Cisalhamento e Ruptura.....	32
Figura 6 - Guilhotina Plana.....	33
Figura 7 - Tesoura Circular.....	33
Figura 8 - Linha de Corte Longitudinal.....	34
Figura 9 - Corte Rotativo.....	35
Figura 10 - Corte Rotativo Originando Peças de Perfil Reto(Linhas Retas).....	36
Figura 11 - Sistema Composto de Carro de Alimentação, Desbobinador e Conjunto de Alimentação.....	38
Figura 12 - Tesoura Rotativa Utilizada em Máquina de Corte Longitudinal.....	38
Figura 13 - Modelo Básico de Linha de Corte.....	40
Figura 14 - Tensionador e Bobinador.....	41
Figura 15 - Utilização de Linha de Corte com <i>Looping</i> e Material Cortado com Diferença de Comprimento.....	42
Figura 16 - Máquina de Corte Longitudinal com <i>Looping</i> .....	43
Figura 17 - Linha de Corte com Duplo <i>Looping</i> .....	44
Figura 18 - Fases do Processo de Corte e Formação da Rebarba.....	45
Figura 19 - Representação da Posição das Folgas Verticais e Horizontais.....	46
Figura 20 - Referência de Folga Vertical para Chapas de Aço.....	46
Figura 21 - Mudança da Linha de Ruptura Conforme Alteração da Folga Horizontal.....	48
Figura 22 - Alteração da Folga Vertical (Mudança do Tipo de Material Cortado).....	48
Figura 23 - Ocorrência de <i>Camber</i> .....	50
Figura 24 – Bordas Onduladas.....	50
Figura 25 - Exemplos de Variação de Espessura.....	52
Figura 26 - Variação no Comprimento Final.....	53
Figura 27 - Variação da Espessura na Bobina.....	54
Figura 28 - Bobina Formando Espiral.....	55
Figura 29 - Bobina com Arqueamento.....	55
Figura 30 - Bobina com Quebras Superficiais.....	56
Figura 31 - Bobina com Torção.....	56
Figura 32 - Bobina com Bolhas Centrais.....	57
Figura 33 - Bobina com Borda Ondulada.....	57
Figura 34 - Indicação de Componentes Utilizados para a Montagem de um Cabeçote de Corte de Linha Longitudinal.....	60

Figura 35 - Desenho de Faca de Corte Utilizada para Processamento de Bobinas .....	61
Figura 36 - Bobina com Variação da Região Cisalhada .....	62
Figura 37 - Indicação de Dispositivo Montado Juntamente ao Eixo Excêntrico com Função de Indicação da Profundidade de Trabalho do Conjunto de Facas 63	
Figura 38 - Protocolo de Ensaio Geométrico de Cabeçote de Corte .....	65
Figura 39 - Cabeçote de Corte com Acionamento de Controle da Folga Vertical Através de Buchas Excêntricas .....	66
Figura 40 - Exemplo de Alimentação de Corte de Chapa de Aço em Linha de Corte Longitudinal .....	68
Figura 41 - Exemplo de Linha de Corte com Duplo <i>Looping</i> .....	69
Figura 42 - Exemplo de Cabeçote de Corte Montado com Anéis Expulsadores em toda a Extensão do Eixo de Corte .....	70
Figura 43 - Aplicação de Anéis Separadores de Realização de Abertura de Fenda em Tiras Cortadas .....	71
Figura 44 - Variação da Largura da Bobina (Diferença entre Bobina Inteira a Bobina Cortada devido a Utilização de Anéis de Separação) .....	72
Figura 45 - Deformação Lateral da Tira Cortada ao Passar Através de Anéis Separadores .....	73
Figura 46 - Sistema de Tensionamento com Acionamento Hidráulico .....	74
Figura 47 - Corte de Tiras de Aço com a Ocorrência de Variação no Tamanho do <i>Looping</i> Final .....	76
Figura 48 - Indicação de Funcionamento de um Conjunto Endireitador .....	78

## LISTA DE QUADROS

Tabela 1- Valores de Folga Horizontal.....	47
Tabela 2 - Tabela Comparativa (Tipo de Material Cortado/Tipo de Material do Cortador "Faca").....	67
Tabela 3 - Resumo das Causa de Geração de Rebarba .....	79
Tabela 4 - Resumo das Causas de Geração de Curvatura Lateral/Tensionamento .....	80



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PU–Poliuretano



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	25
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	25
1.3	OBJETIVO GERAL	26
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>27</b>
2.1	CORTE DE CHAPAS METÁLICAS	28
2.2	PROCESSOS DE CORTE	32
2.2.1	<i>Corte Por Guilhotinamento</i>	34
2.2.2	<i>Corte Rotativo</i>	35
2.2.3	<i>Corte longitudinal (Slitting)</i>	36
2.3	DEFEITOS DO PROCESSO DE CORTE	44
2.3.1	<i>Rebarba (Burr)</i>	45
2.3.2	<i>Curvatura lateral (Camber)</i>	49
2.3.3	<i>Defeitos de Tensionamento</i>	51
2.4	DEFEITOS RELACIONADOS ÀS CONDIÇÕES DA MATÉRIA PRIMA	54
2.4.1	<i>Variação da Espessura da Bobina (Crowned Strip)</i>	54
2.4.2	<i>Curvatura Longitudinal (Coil Set)</i>	54
2.4.3	<i>Arqueamento Transversal (Crossbow)</i>	55
2.4.4	<i>Quebras Superficiais (Minor Coil Breaks)</i>	56
2.4.5	<i>Torção na Bobina (Twisted Strip)</i>	56
2.4.6	<i>Bolhas Centrais (Quarter Buckles e Center Buckles)</i>	57
2.4.7	<i>Bordas Onduladas (Edge Wave)</i>	57
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>58</b>
3.1	REBARBA ( <i>BURR</i> )	58
3.2	CURVATURA LATERAL ( <i>CAMBER</i> )	67
3.3	DEFEITOS DE TENSIONAMENTO	74
3.4	DEFEITOS RELACIONADOS ÀS CONDIÇÕES DA MATÉRIA PRIMA	77
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>79</b>
	REFERÊNCIAS	<b>81</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

No Brasil, a fabricação de produtos laminados representa um volume de produção de 26 milhões de toneladas ano e os produtos planos são responsáveis por 58% deste volume de produção (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013).

No entanto, para a utilização deste material, na maioria das vezes, temos que realizar algum processo de corte para conferir a matéria prima o dimensional desejado para a aplicação (SCHAEFFER, 2004).

## **1.1 Justificativa**

Os processos de fabricação mecânica estão em constante evolução, tornando-se cada vez mais rigorosos. Processos de industrialização precisos requerem sempre tolerâncias dimensionais, forma e posição, cada vez menores, sem abrir mão da alta taxa de produtividade.

Como o processo de corte está presente em grande parte das operações de fabricação, a realização do mesmo com qualidade é fator determinante na qualidade e quantidade de produtos fabricados (SCHAEFFER, 2004).

Aliado a este contexto existe grande escassez de literatura sobre o processo de corte longitudinal, as informações existentes são de utilização exclusiva de algumas empresas, e estas apresentam grande negação em repassar informações, uma vez que são consideradas segredos de mercado.

Diante deste cenário de falta de conhecimento na área de processamento de bobinas, necessidade de melhor compreensão do processo e também a possibilidade de estudar o processo de corte longitudinal durante a realização do trabalho de conclusão de curso, foram os fatores que motivaram ao início da realização deste trabalho.

## **1.2 Definição do Problema**

Visando a busca de melhor qualidade nos processos iniciais de fabricação de blanques e bobinas semi acabadas, o corte longitudinal das bobinas de aço é uma etapa importantíssima para garantir a qualidade dos produtos a serem estampados e a produtividade nos processos seguintes.

Desta forma buscamos a identificação das variáveis presentes no processo de corte longitudinal, os principais tipos de defeitos originários neste processo, bem como formas de controlar estes defeitos e suas fontes geradoras, através da realização de uma revisão de literatura sobre este assunto.

### **1.3 Objetivo Geral**

Caracterização dos principais tipos de defeitos originários do processo de corte longitudinal, formas de identificação dos defeitos.

### **1.4 Objetivos Específicos**

Caracterização individual dos tipos de defeito aliado a formas para diminuir o problema ou realizar seu controle.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A fabricação de chapas metálicas surgiu logo após a descoberta dos primeiros metais. Data do século XVII o surgimento dos primeiros processos de laminação. Esta descoberta possibilitou grande expansão da produção deste tipo de mercadoria (SCHAEFFER, 2004).

No Brasil, as primeiras utilizações de ferro datam de 1587, onde foram realizadas as primeiras reduções de magnetita, porém, sem a fusão completa do material, sendo que este era conformado através da utilização de ferramentas de impacto (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013).

Somente em 1810 foi permitida ao Brasil a criação das primeiras unidades de exploração de ferro, que na época era utilizado para a fabricação de utensílios domésticos e peças para moendas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013). Somente em 1873 foi criada no Brasil a primeira usina produtora de aço, a qual utilizava para seu processo produtivo a redução direta.

O aço é uma liga ferro carbono, onde em percentuais adequados pode ser utilizado para uma grande variedade de aplicações e está presente em quase tudo que utilizamos. Marca uma grande evolução nos processos produtivos (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013).

Contudo, na década de 60 um novo impulso neste ramo da indústria apresentou ao mercado mundial a produção de chapas finas, com uma boa melhora na qualidade do produto fornecido, permitindo a sua utilização para diversas áreas da indústria, inclusive na utilização para estampagem de chapas de precisão (SCHAEFFER, 2004).

A produção deste tipo de matéria prima normalmente está ligada a terceira etapa da fabricação do aço, que pode ser denominada de laminação, podendo ainda ser dividida em dois grupos: laminação a quente, onde a temperatura de processamento da matéria está acima da temperatura de recristalização, e laminação a frio, onde o material é trabalhado em temperatura abaixo da temperatura de recristalização (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013).

A partir destes processos as indústrias de transformação podem utilizar o material, seja este na forma de chapas, bobinas, barras, etc. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013).

O Brasil, anualmente fabrica mais de 15 milhões de toneladas de produtos siderúrgicos planos, onde estes na sua grande maioria não estão no dimensional adequado para o uso direto das indústrias de transformação (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013) (SCHAEFFER, 2004).

Desta forma, operações de corte se fazem necessárias já nas primeiras etapas de fabricação, uma vez que os materiais disponíveis à indústria dificilmente estão com o dimensional desejado para a aplicação. Esta condição confere aos processos de corte grande responsabilidade, uma vez que só é a partir destes que outras etapas de produção serão possíveis (SCHAEFFER, 2004).

Garantir a qualidade dos produtos a partir das primeiras operações de processo é fator determinante para melhor produtividade dos processos subsequentes. Segundo Ramos (2003), produtividade é o rendimento obtido entre o número de bens produzidos e tempo gasto para realizar esta quantidade de produtos. Produtividade também pode ser descrita como o crescimento da produção sem o aumento do custo de produção (TUBINO, 1997).

Desta forma, a produtividade testa a nossa capacidade de aperfeiçoar e conseguir produzir com qualidade o maior número de componentes por unidade de tempo e com o menor custo de produção (RAMOS, 2003).

Assim, a fabricação de produtos ou a realização de etapas de produção com a máxima qualidade possível é fator determinante na produtividade de um ciclo produtivo.

## **2.1 Corte de Chapas Metálicas.**

O corte de chapas metálicas, chapas planas ou bobinas normalmente é realizado por duas ferramentas de corte, sendo que devem ficar posicionadas uma na parte superior da peça e a outra na parte inferior da mesma. Desta forma empregando movimento relativo entre as ferramentas e a peça é possível a obtenção de uma região da peça onde os valores de tensão ultrapassam a tensão de ruptura do material da peça, levando à separação da mesma em duas partes distintas (BLUE SCOPE STELL, 2003).

Esta condição pode ser visualizada na Figura 1 e na Figura 2, onde através da utilização de duas ferramentas e a aplicação de movimento relativo entre as partes superior e inferior da ferramenta é possível a obtenção de duas peças distintas.

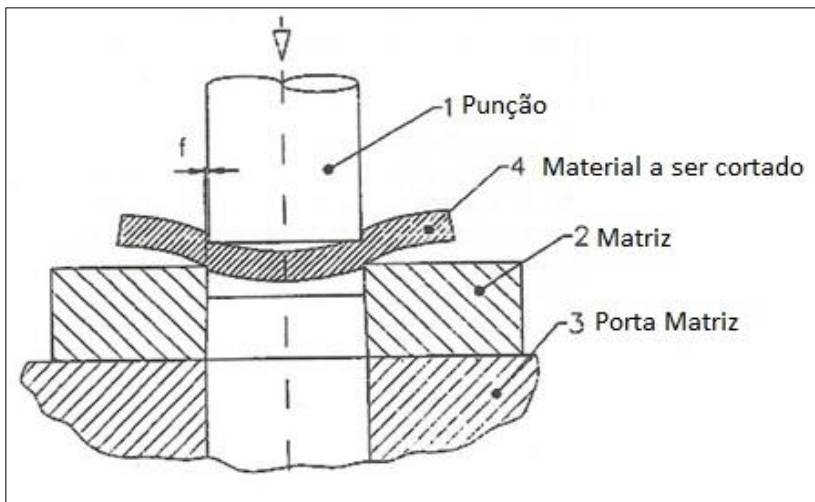


Figura 1 - Movimento Relativo entre Ferramenta e Material (Exemplo de Corte em Matriz Fechada)  
 Fonte: (SCHAEFFER, 2004)

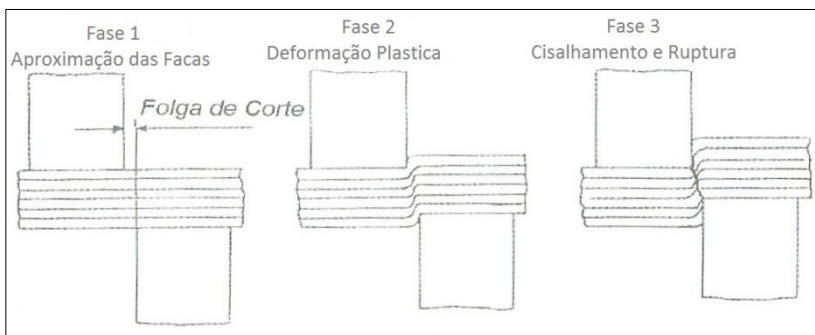


Figura 2 - Movimento Relativo entre Material e Ferramenta (Exemplo de Corte em Matriz Aberta)  
 Fonte: (DIVIMEC, 2010)

Na Figura 2 é representado o movimento relativo mesmo em ferramentas onde as superfícies do material não estão totalmente apoiadas, como no caso do processo de corte longitudinal de bobinas.

Na verdade, segundo Red Bud Industries (2007) e Divimec (2010) o corte se divide em quatro etapas distintas.

Em um processo de corte normal a primeira etapa consiste no amassamento da camada superficial do material, promovendo leve deformação da superfície externa da chapa.

Em seguida, na segunda etapa do processo, ocorre o processo de corte propriamente dito. Esta fase do processo de corte gera uma região brilhante e com superfícies bem acabadas, onde é possível intervir sobre os efeitos do corte (RED BUD INDUSTRIES, 2007).

A etapa do corte subsequente resulta em uma região de ruptura, onde o acabamento é caracterizado por uma superfície opaca onde o controle dimensional e geométrico é de difícil obtenção. Esta característica é alcançada devido as chapas na sua maioria romperem em um ângulo entre 7 e 9 graus. Esta variação no ângulo de ruptura ocorre devido as diferentes características dos aços (DIVIMEC, 2010).

A quarta componente do processo é uma resultante da deformação plástica do material da peça, a chamada rebarba ou *Burr*. A rebarba é normalmente uma componente indesejável do corte e requer medidas de controle para que sua ocorrência seja mínima. Estas quatro etapas do processo de corte podem ser visualizadas nas Figura 3 e Figura 4 (RED BUD INDUSTRIES, 2007) e (DIVIMEC, 2010).

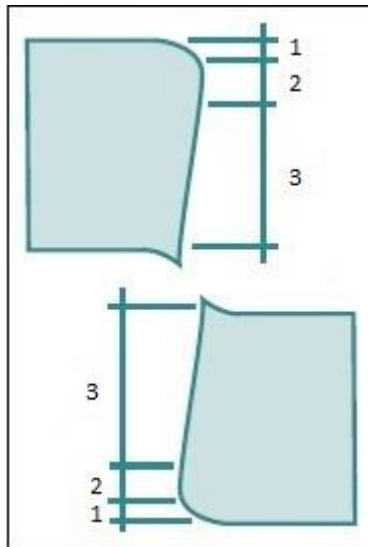


Figura 3- Componentes do Processo de Corte Sem a Representação da Rebarba  
Fonte: (BLUE SCOPE STELL, 2003)

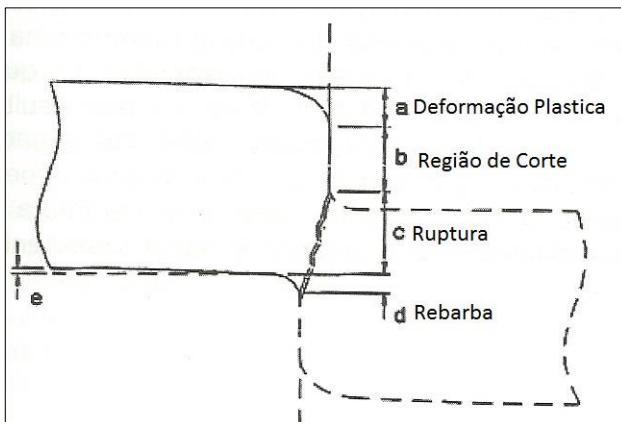


Figura 4 - Regiões Características do Processo de Corte

Fonte: (SCHAEFFER, 2004)

Segundo Steel (2003), como não é possível cisalhar um material por toda a sua espessura, a região de ruptura é uma consequência do processo e do tipo de material a ser utilizado, desta forma o controle de forma eficiente das etapas do processo que podem ser alteradas é de fundamental importância para que a ruptura ocorra de maneira correta, gerando as menores imperfeições possíveis.

Steel (2003) e Red Bud (2007) ainda afirmam que para alguns tipos de materiais a região cisalhada pode ser menor que comparada com a região que sofreu rompimento. Esta condição é demonstrada na Figura 5.

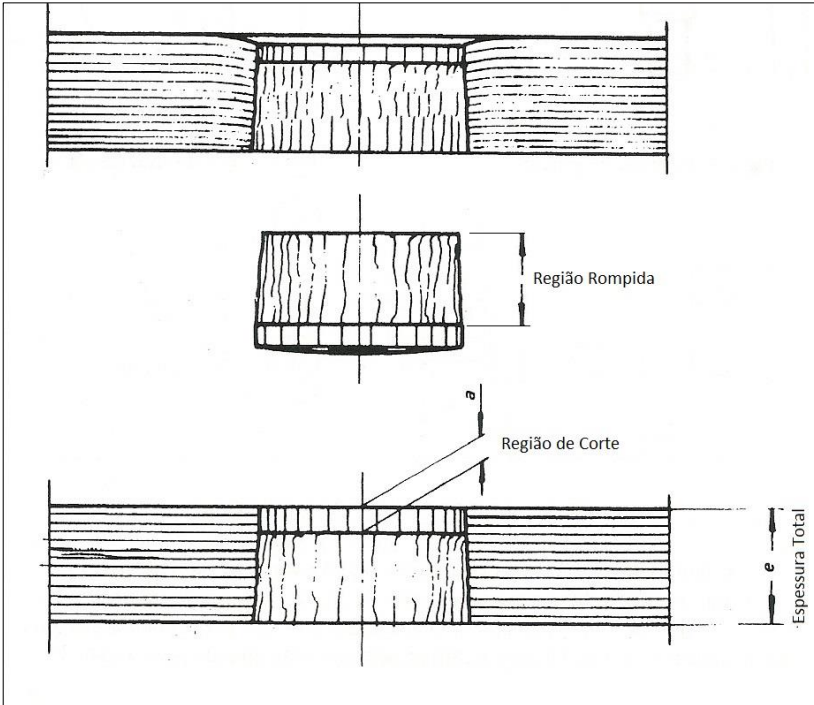


Figura 5 - Regiões de Cisalhamento e Ruptura

Fonte: (BRITO, 2004)

## 2.2 Processos de Corte

Os processos de corte podem apresentar algumas divisões, conforme o modo em que o processo é realizado ou quanto a forma geométrica da matéria prima a ser cortada (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Outra maneira de dividir os processos de corte pode ser conforme o tipo de equipamento a ser empregado para a operação (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Assim, os processos de corte por cisalhamento ou estampagem podem ser realizados utilizando os mais diversos tipos de equipamentos, onde podemos citar como exemplo guilhotinas de facas planas, guilhotinas rotativas, máquinas para cisalhamento de barras e linhas ou máquinas de corte longitudinal e/ou transversal (Slitting) (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Tais equipamentos são apresentados nas Figura 6, Figura 7 e Figura 8.



Figura 6 - Guilhotina Plana  
Fonte: (INDUTAR, 2013)



Figura 7 - Tesoura Circular  
Fonte: (PORTUGUESE.ALIBABA, 1999)



Figura 8 - Linha de Corte Longitudinal  
Fonte: (CHICAGOSLITTER, 2013)

O processo de corte longitudinal será melhor explicado a partir da seção 2.2.3.1.

### 2.2.1 Corte Por Guilhotinamento

É aplicado na fabricação de uma grande variedade de produtos, sendo que a sua principal função é o corte de peças planas com tamanho específico. Para esta aplicação podemos destacar o emprego para esquadreamento de peças planas e na fabricação de *blanks* para processos posteriores (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

A energia empregada para a realização do processo de corte pode ser obtida de várias formas, como pneumática, hidráulica e mecânica, onde para esta última, com o emprego de um volante, é possível conferir ao equipamento grande capacidade de corte com o emprego de um acionamento de pequena potência (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Exemplo típico deste tipo de equipamento pode ser visualizado na Figura 6, onde esta mostra uma guilhotina plana com acionamento hidráulico.

Para a realização do corte, dispositivos de fixação do próprio equipamento garantem o posicionamento e a fixação da peça, enquanto o conjunto superior do equipamento ou martelo se desloca, desta forma

ocorre movimento relativo entre a faca inferior que está fixada na estrutura da máquina e em contato com o material e o martelo (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

### 2.2.2 Corte Rotativo

Processo amplamente empregado para a fabricação de peças de formas circulares, porém, seu mecanismo também permite o corte em linhas retas (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Este sistema de corte trabalha com duas facas circulares montadas perpendicularmente entre elas e dotadas de movimento de rotação. Esta condição é indicada na Figura 9.

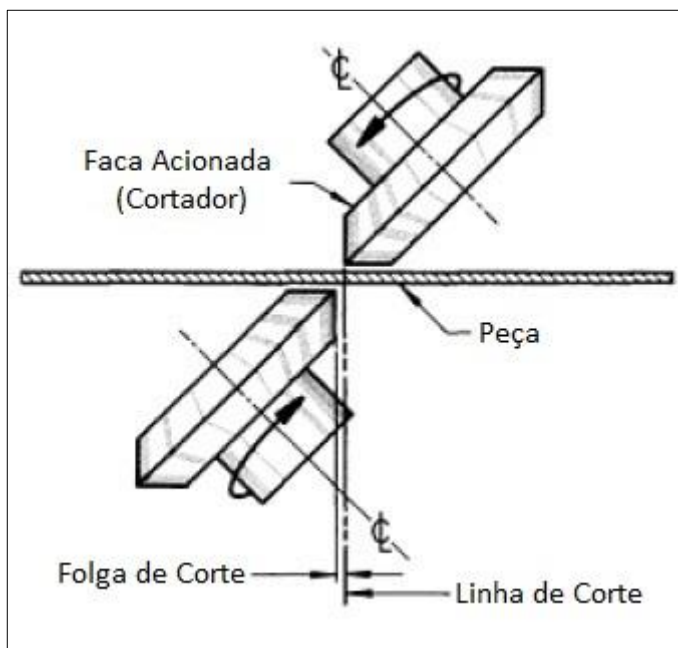


Figura 9 - Corte Rotativo

Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988)

Esta condição de montagem dos cortadores permite que peças circulares de qualquer diâmetro possam ser cortadas sem que ocorra interferência entre as facas e o material a ser cortado. Desta forma é permitido o giro de maneira livre do material tanto à direita como à esquerda (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Este processo permite a realização de corte de discos com boa precisão, o que está diretamente relacionado à rigidez que o equipamento oferece e também às características do sistema de centralização da peça (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

O corte rotativo também permite a realização de corte em superfícies retas e geometrias curvas ou complexas. Esta condição é alcançada com a utilização de equipamentos com dispositivos especiais (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Um exemplo desta aplicação é representado na Figura 10.

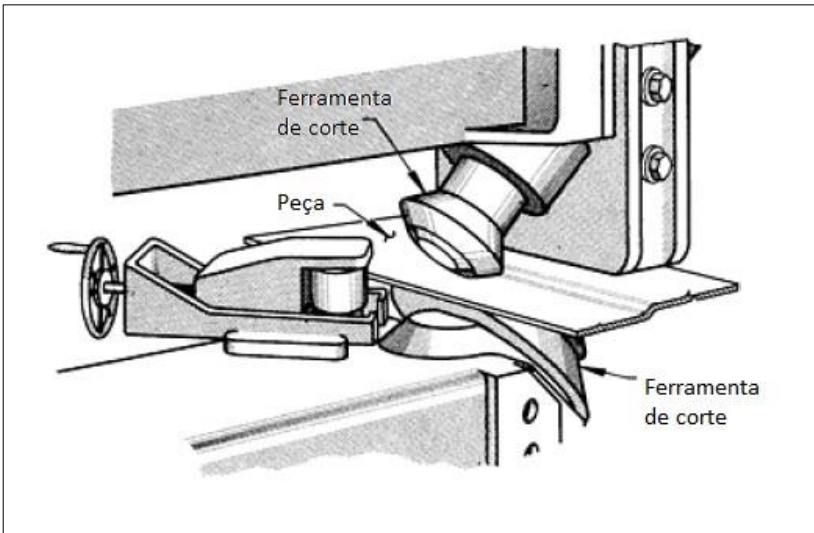


Figura 10 - Corte Rotativo Originando Peças de Perfil Reto(Linhas Retas)  
Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988)

### 2.2.3 Corte longitudinal (*Slitting*)

Este processo de corte está intimamente ligado ao processamento de bobinas. É considerado um dos mais complexos processos de corte por cisalhamento, uma vez que para seu entendimento não basta a compreensão dos fatores ligados ao corte, mas sim de fatores ligados aos processos de obtenção da matéria prima, as bobinas (RED BUD INDUSTRIES, 2007).

Sua realização é dividida em várias etapas, uma vez que a matéria prima a ser trabalhada não é alimentada, fixada e cortada como nos outros processos. A forma como o corte é realizado no processo

longitudinal altera dependendo do tipo de equipamento que será utilizado para a realização da operação de corte (RED BUD INDUSTRIES, 2007).

A realização do corte acontece com um conjunto de ações que vão iniciar com o desenrolamento da bobina, a alimentação até o cabeçote de corte, a passagem da tira pelo cabeçote, a separação das tiras cortadas, o tensionamento das tiras cortadas e o enrolamento das mesmas, formando novamente uma bobina (RED BUD INDUSTRIES, 2007) e (BLUE SCOPE STELL, 2003).

Segundo Divimec (2010), a concepção básica de uma linha de corte consiste em carro de alimentação, desenrolador, alimentador, tesoura rotativa e bobinador. Na Figura 8 podemos ver um exemplo de linha de corte longitudinal.

O carro de alimentação tem por principal função realizar o transporte e posicionamento da bobina no desbobinador. Sua construção, capacidade e tipo de acionamento podem variar conforme desenvolvimento do fabricante.

Já o conjunto do desenrolador ou desbobinador, tem a finalidade de suportar e fixar a bobina a ser cortada, além de permitir que a mesma seja desenrolada de forma controlada.

A tesoura rotativa é um componente de elevada importância no processo de corte, uma vez que é este componente é o responsável pela realização do corte. O seu funcionamento pode influenciar diretamente na qualidade do corte realizado (DIVIMEC, 2010).

Estes conjuntos podem ser visualizados respectivamente nas Figura 11 e Figura 12.



Figura 11 - Sistema Composto de Carro de Alimentação, Desbobinador e Conjunto de Alimentação  
Fonte: (DIVIMEC, 2010)

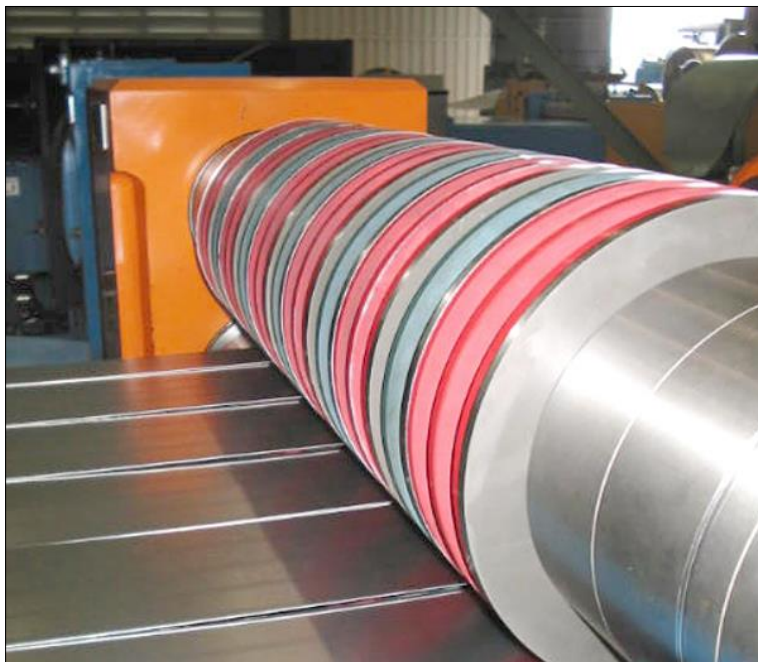


Figura 12 - Tesoura Rotativa Utilizada em Máquina de Corte Longitudinal  
Fonte: (DIVIMEC, 2010)

As principais funções destes conjuntos são respectivamente as de realizar o abastecimento das bobinas para o desenrolador, permitir que a bobina seja desenrolada de forma controlada, puxar a tira do desenrolador e garantir melhor sincronismo entre matéria prima e tesoura rotativa, realizar o corte do material e enrolar o material novamente (DIVIMEC, 2010).

Segundo HandBook (1988), a escolha da linha de corte depende basicamente de quatro fatores: força necessária para o cisalhamento, espessura das tiras cortadas, número de cortes a partir da tira inicial e velocidade de corte. Desta forma podemos classificar as linhas de corte de acordo com o tipo de acionamento e a presença ou não de *loop*, onde vale destacar alguns tipos principais de linhas de corte.

### 2.2.3.1 Linha Básica

Segundo Handbook (1988), este tipo de equipamento consiste no fato da tesoura rotativa não ser acionada durante o processo de corte. Em outras palavras, o material é alimentado até a tesoura, cortado e levado até o sistema que realiza o enrolamento da fita. Quando estas etapas estão concluídas a tesoura rotativa tem seu acionamento de rotação desligado, ou desacoplado, e o material a ser cortado é puxado para o encontro da tesoura.

Desta forma a velocidade de enrolamento é quem dita a velocidade da linha e a tensão de enrolamento é dada pela resistência gerada para a realização do corte, uma vez que todas as tiras são fixadas ao mesmo conjunto que as traciona (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Devido a sua concepção, não há preocupação com o sincronismo da linha, pois o material é puxado para o sistema de corte e todas as tiras são enroladas de uma só vez, sem passar por qualquer tipo de mecanismo de controle do tensionamento das tiras.

Este tipo de linha é mostrado na Figura 13. Também nesta figura podemos perceber que caso ocorra variação na tensão de enrolamento das várias tiras cortadas não é possível a correção do problema (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Este tipo de linha também pode ser chamado de linha de corte sem *looping*, onde as principais limitações do emprego deste tipo de equipamento estão na largura das tiras cortadas, na espessura do material e no tipo de material, sem contar o fator do controle da tensão de enrolamento (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

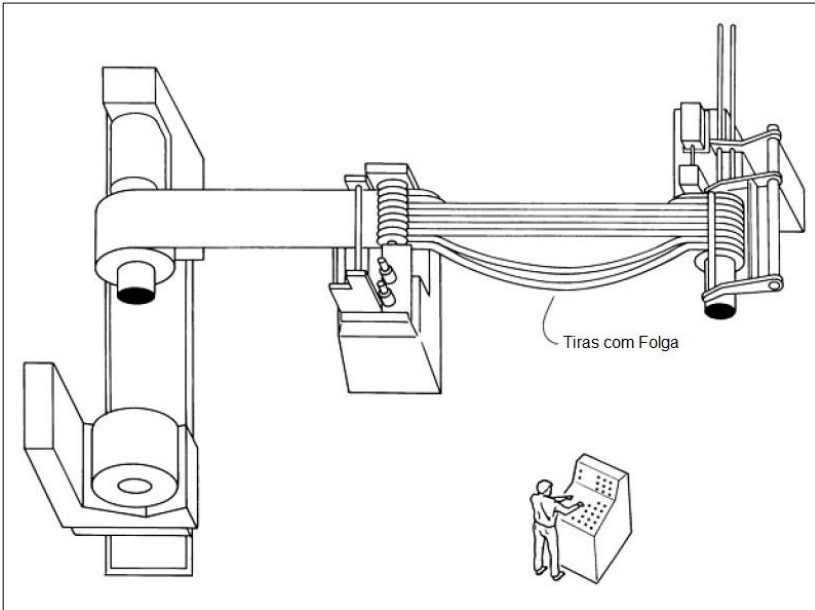


Figura 13 - Modelo Básico de Linha de Corte  
 Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988)

### 2.2.3.2 Linha com *Looping* ou Linha Dirigida

Neste modelo de equipamento, o material não é mais puxado sobre o conjunto de corte. A tesoura rotativa é dotada de acionamento durante todo o período de realização do corte da bobina e há grande preocupação com o sincronismo entre as partes da linha, principalmente para evitar trancos entre o sistema de desenrolamento e a tesoura rotativa (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Por se tratar de um equipamento com acionamento no conjunto da tesoura rotativa, o mesmo ganha alguns acessórios antes não necessários nas linhas de arraste.

O principal componente que se destaca neste tipo de linha de corte é o conjunto de tensionador (*Drag*), que tem por finalidade causar uma resistência à passagem da tira cortada, conferindo ao material uma tensão entre a região de tensionamento e o bobinador (ASM METAL HANDBOOK, 1988). Esta condição é representada na Figura 14.



Figura 14 - Tensionador e Bobinador  
Fonte: (AUTOR 2013)

Outra característica marcante neste tipo de linha é a existência de *looping* para compensação da tensão entre as tiras cortadas e absorver pequenas variações de velocidade do conjunto, desta forma é possível que a máquina opere mesmo com diferença de comprimento entre as tiras conforme indicação na Figura 15 (DIVIMEC, 2010) e (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

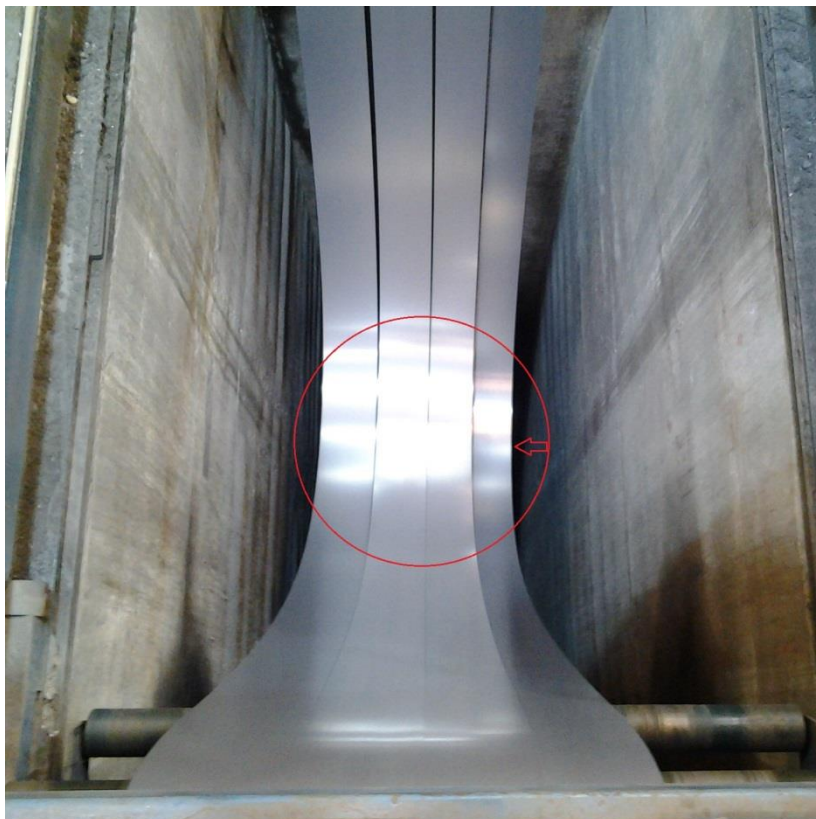


Figura 15 - Utilização de Linha de Corte com *Looping* e Material Cortado com Diferença de Comprimento  
Fonte: (AUTOR, 2013)

Este tipo de equipamento pode ser visualizado na Figura 16, onde é ilustrada a existência do sistema de tensionamento e *looping*.

Esta concepção de equipamento é bastante utilizada, uma vez que permite boa flexibilidade de corte e possibilita o emprego de diversas espessuras de bobinas e tipos de materiais.

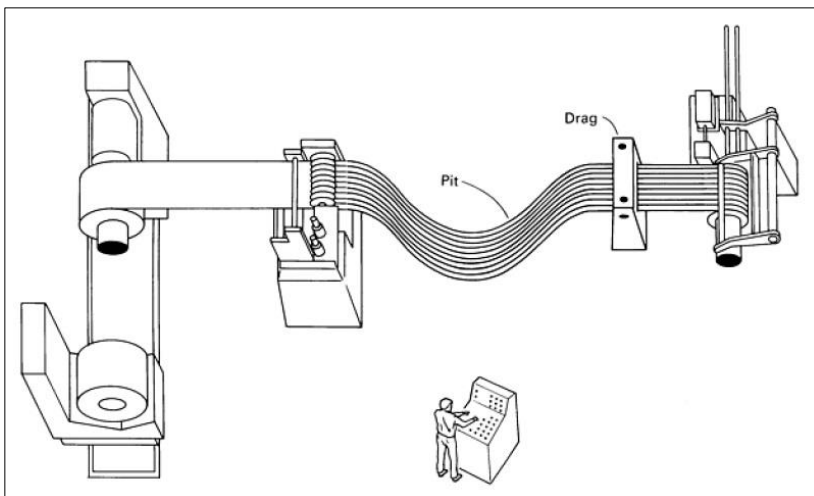


Figura 16 - Máquina de Corte Longitudinal com *Looping*  
 Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Equipamentos conforme apresentados na Figura 16 permite maior faixa de utilização de materiais e larguras de tiras cortadas, uma vez que permite controle da tensão de enrolamento do material e sincronismo entre tesoura rotativa e demais partes do equipamento (BLUE SCOPE STELL, 2003)

Devido as constantes evoluções tecnológicas, outros modelos de linhas de corte podem existir, dependendo do tipo de fabricante e aplicações do equipamento. Um exemplo deste tipo de aplicação são as linhas de duplo *looping*, que podem ser utilizadas no processo de corte de chapas finas e/ou oleadas, onde o atrito gerado pelo sistema de corte não é suficiente para garantir a fixação das tiras (DIVIMEC, 2010).

Um exemplo de linha de corte com duplo *looping* é mostrado na Figura 17.

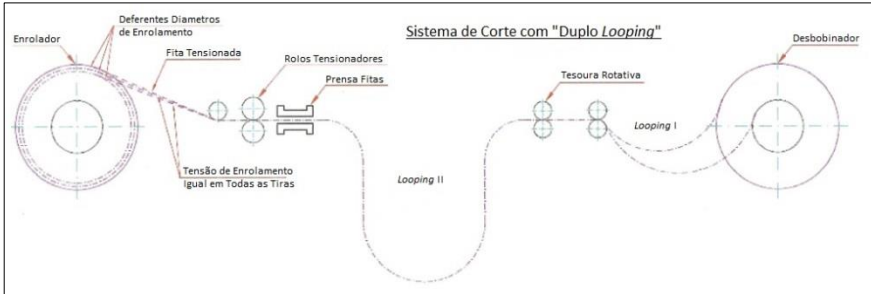


Figura 17 - Linha de Corte com Duplo *Looping*.

Fonte: (DIVIMEC, 2010)

Também decorrente das evoluções dos processos de corte e das matérias primas, dispositivos para facilitar a operação dos equipamentos estão constantemente em desenvolvimento (DIVIMEC, 2010).

### 2.3 Defeitos do Processo de Corte

Todos os processos produtivos estão sujeitos a variações geométricas decorrentes da sua realização. Estas variações podem ocorrer devido a fatores externos ou fatores internos dos processos produtivos.

Os fatores de variação chamados de fatores internos são os que fazem parte diretamente da realização da operação e são causados devido às condições vulneráveis em que estes processos são realizados.

Os fatores externos podem ser descritos como os fatores que influenciam na realização da etapa produtiva e são causados por variações do meio onde a operação é realizada.

Esta condição é válida também para os processos de corte, onde um grande número de variáveis externas e internas influencia a qualidade do produto processado (BLUE SCOPE STELL, 2003).

Devido ao processo de corte longitudinal ser uma etapa inicial da cadeia produtiva, garantir a realização desta etapa com qualidade pode possibilitar que etapas posteriores tenham a produtividade especificada para a operação ou até mesmo garantir a qualidade do produto produzido nesta etapa.

Segundo HandBook (1988), os processos de corte, em especial o processo de corte longitudinal, podem conter vários fatores que influenciam na qualidade do produto gerado. Entre estes fatores

podemos destacar a rebarba, a curvatura lateral e os defeitos de tensionamento.

### 2.3.1 Rebarba (*Burr*)

As rebarbas são encontradas em todos os processos de corte por cisalhamento, podendo variar de grau de intensidade conforme as condições do corte.

Sua geração ocorre devido à deformação plástica do material durante o processo de corte. Esta deformação plástica que o material sofre preenche a folga existente entre as lâminas que realizam o corte (Folga de Corte) e sua geração está intimamente ligada à condição do ferramental de corte e condições do cabeçote de corte (ASM METAL HANDBOOK, 1988) (BLUE SCOPE STELL, 2003) e (RED BUD INDUSTRIES, 2007).

Na Figura 18 podemos observar as fases de realização do processo de corte, assim como a ocorrência de rebarba da face inferior ao longo do sentido de realização do movimento relativo de corte.

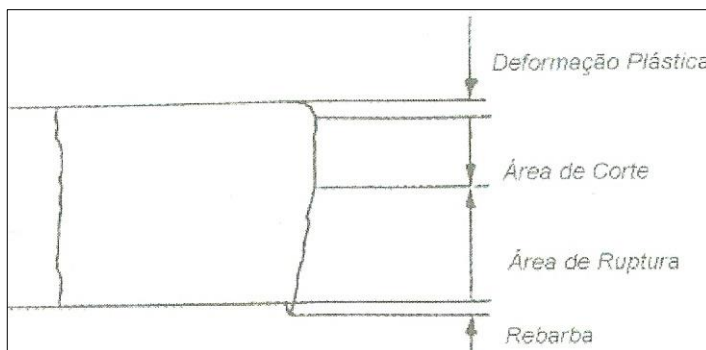


Figura 18 - Fases do Processo de Corte e Formação da Rebarba

Fonte: (DIVIMEC, 2010)

Nos casos onde a condição do ferramental não está adequada, ocorre o aumento da força de compressão necessária para o cisalhamento do material e como consequência o aumento da rebarba (RED BUD INDUSTRIES, 2007).

Segundo Asm Metal Handbook (1988), a formação da rebarba pode estar ligada também à dureza do material cortado e às folgas do conjunto de facas do cabeçote de corte. Estas folgas podem ser verticais ou horizontais, conforme indicado na Figura 19.

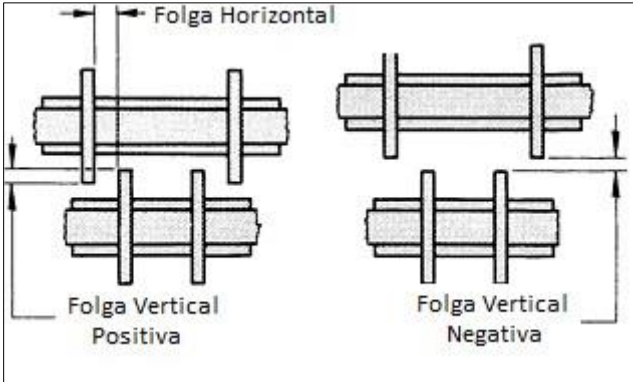


Figura 19 - Representação da Posição das Folgas Verticais e Horizontais  
 Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988)

Baseado nesta afirmação, Asm Metal Handbook (1988) apresenta uma tabela com os valores indicados de folga, tanto vertical como horizontal.

Esta indicação pode ser visualizada na Figura 20 e na Tabela 1, conforme a interpretação de (DIVIMEC, 2010) e (ASM METAL HANDBOOK, 1988), respectivamente.

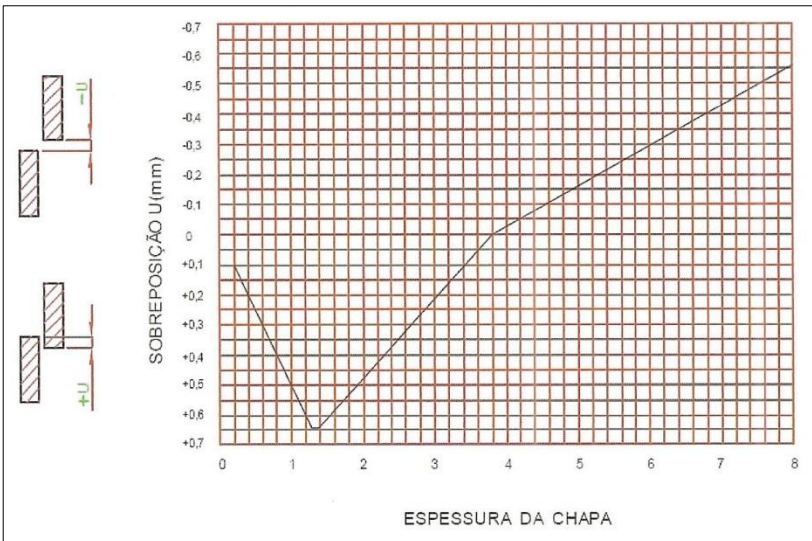


Figura 20 - Referência de Folga Vertical para Chapas de Aço  
 Fonte: (DIVIMEC, 2010)

Tabela 1- Valores de Folga Horizontal

<b>Valores de Folga Horizontal</b>	
Espessura	Folga
0,20 ou menor	0
0,23 a 0,25	0,013
0,28 a 0,48	0,025
0,51 ou maior	7 a 8%

Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988)

Além dos fatores já mencionados, a geração da rebarba pode estar relacionada à quantidade de cortes que estão sendo realizados, à deflexão vertical do eixo do cabeçote de corte, à posição de montagem dos cortes no cabeçote de corte, à rigidez do equipamento, à forma construtiva do cabeçote, ao seu estado de funcionamento e à limpeza e condição de trabalho do ferramental (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Os valores de folgas de corte, tanto vertical como horizontal, não alteram apenas a geração da rebarba, mas também alteram as regiões do corte, assim como as forças envolvidas no processo, podendo ainda influenciar em outros defeitos.

A Figura 21 e a Figura 22 mostram exemplos destas alterações. É possível observar a alteração da posição da linha de ruptura do material, assim como a alteração da folga vertical, conforme o tipo de material a ser cortado (RED BUD INDUSTRIES, 2007).

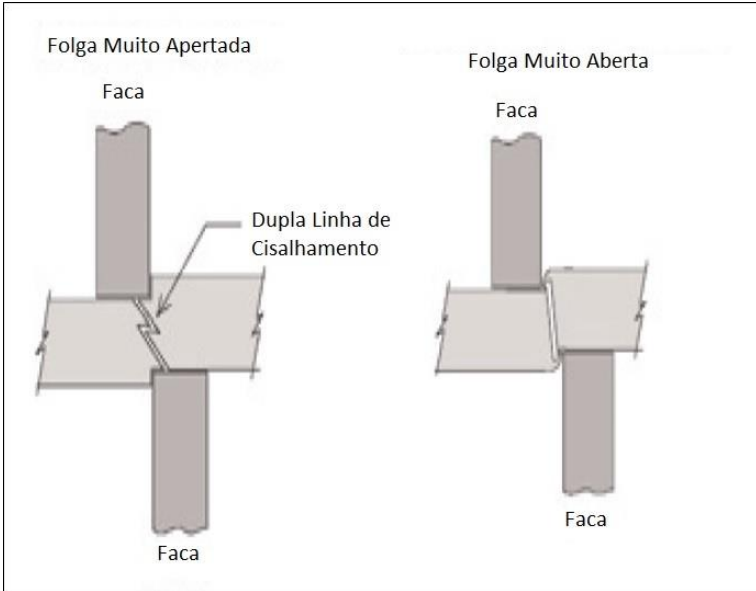


Figura 21 - Mudança da Linha de Ruptura Conforme Alteração da Folga Horizontal

Fonte: (RED BUD INDUSTRIES, 2007)

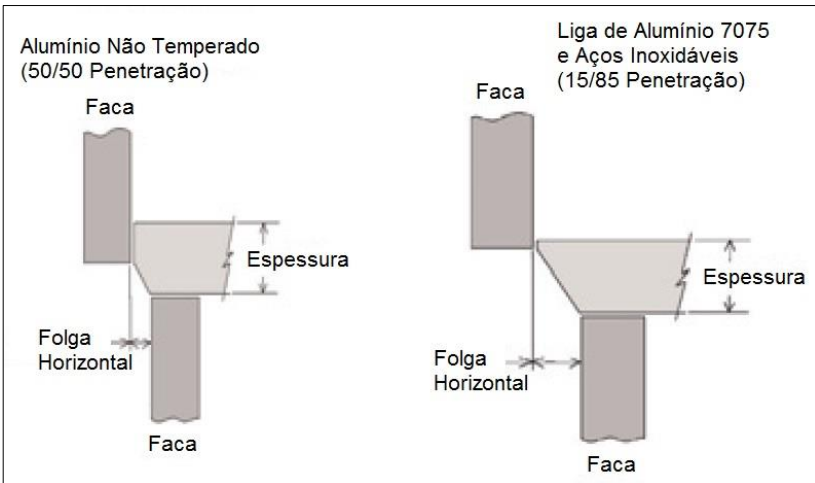


Figura 22 - Alteração da Folga Vertical (Mudança do Tipo de Material Cortado)

Fonte: (RED BUD INDUSTRIES, 2007)

Tanto as variações de folga horizontal como vertical alteram as relações de esforços existentes nas facas de corte, além de mudar as características da linha de ruptura do material.

### 2.3.2 Curvatura lateral (*Camber*)

Este defeito é caracterizado pela existência de uma curvatura na lateral da peça cortada, condição que pode ser vista na Figura 23 (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Sua ocorrência pode estar relacionada com diversos fatores ligados ao corte ou até mesmo defeitos da própria matéria prima cortada (BLUE SCOPE STELL, 2003).

Para grande parte dos materiais cortados, onde a matéria prima apresenta defeitos de *camber*, estes defeitos são repassados ao material cortado. Esta característica ocorre devido à grande dificuldade de identificação do defeito enquanto o material está em forma de bobina e é agravado, uma vez que os defeitos de *camber* ocorrem nas etapas finais de processamento do material, ou seja, no bobinamento (BLUE SCOPE STELL, 2003).

Segundo HandBook (1988), a ocorrência de *camber* aumenta à medida que o número de cortes aumenta. Outro fator que influencia na ocorrência de *camber* é o tensionamento desigual das tiras. Esta condição pode agravar muito este problema, além de favorecer o surgimento de bordas onduladas na lateral da tira, como pode ser visualizado na Figura 24.

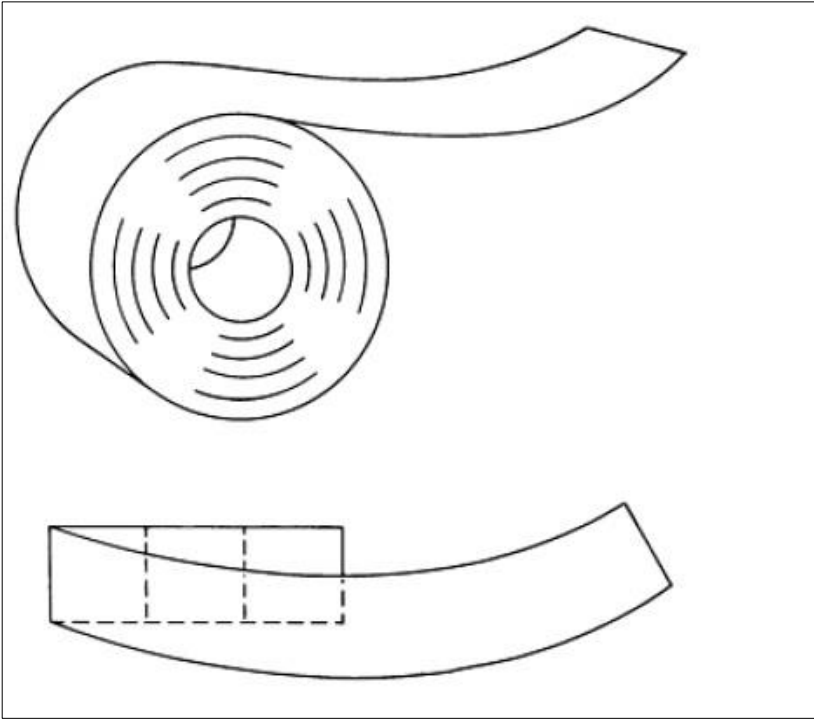


Figura 23 - Ocorrência de *Camber*  
Fonte: (HEDRICK, 2002)

A largura da tira cortada também possui influência sobre a ocorrência de *camber* na peça, uma vez que quanto menor a largura da tira, maior a ocorrência de *camber* nas peças (BLUE SCOPE STELL, 2003).

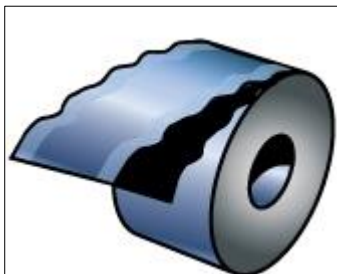


Figura 24 – Bordas Onduladas  
Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988)

Falhas no sincronismo entre o conjunto de cortadores e o conjunto desbobinador também podem ocasionar a geração de *camber* nas peças cortadas. A ocorrência deste defeito é favorecida quando ocorre escorregamento entre os cortadores e o material (ASM METAL HANDBOOK, 1988).

Também a presença de rebarba no material cortado é uma condição que favorece o surgimento da curvatura lateral. Se a existência de rebarba no material cortado for desigual entre os lados cortado ao passar pelo sistema de tensionamento da tira, antes do bobinamento, favorece o surgimento de uma maior resistência em um dos lados da tira.

Isto propicia ao material maior deformação elástica em um dos lados, modificando o seu comprimento inicial e causando a torção da tira (BLUE SCOPE STELL, 2003) (DIVIMEC, 2010).

### 2.3.3 Defeitos de Tensionamento

Este defeito está intimamente ligado à tensão com que o material é submetido durante o processo de bobinamento. Quando o processo de corte envolve o processamento de várias tiras a partir de uma bobina, normalmente podemos observar que ao final de um corte a ocorrência de tiras com comprimentos diferentes ocorre na grande maioria dos cortes (BLUE SCOPE STELL, 2003)

Este defeito pode ser originado de duas formas. A primeira delas ocorre devido às variações de espessura da tira cortada, assim como alteração da condição de rebarba do material já cortado (ASM METAL HANDBOOK, 1988). Devido a estas mudanças e a forma construtiva do equipamento, podemos obter ao final de um corte tiras com comprimentos diferentes.

A Figura 25 e a Figura 26 representam um exemplo de variação de espessura da tira cortada e também o resultado de um processo de corte onde ao final o comprimento das tiras cortadas não é uniforme.

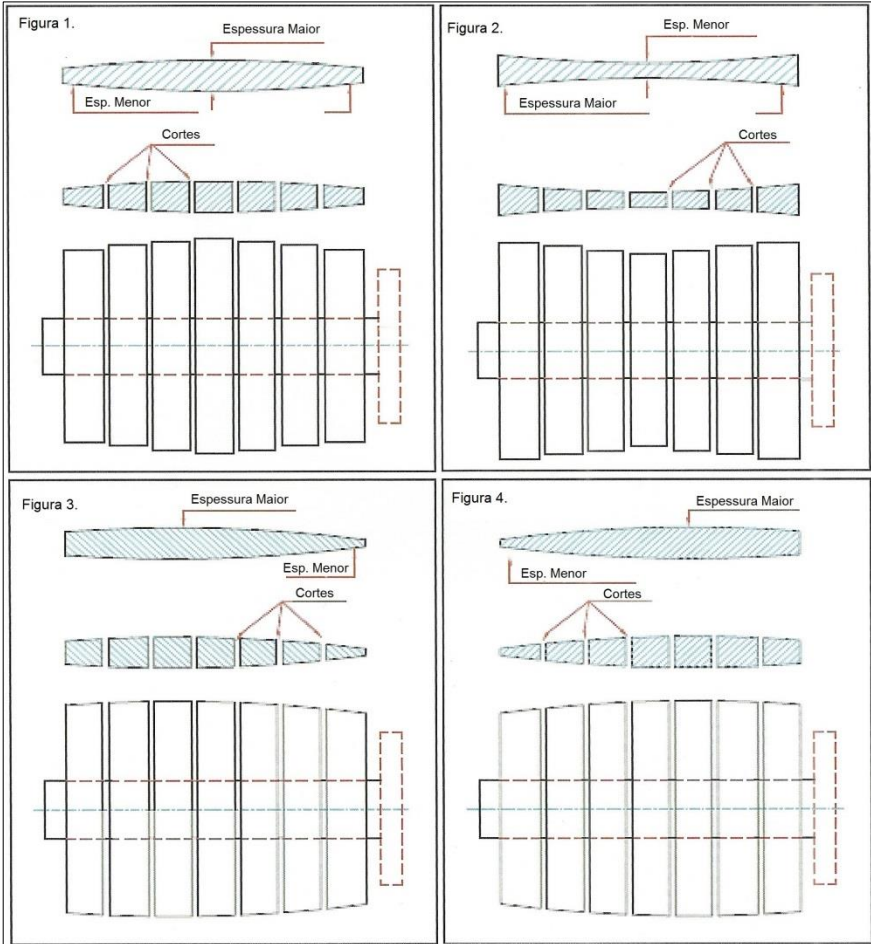


Figura 25 - Exemplos de Variação de Espessura  
 Fonte: (DIVIMEC, 2010)

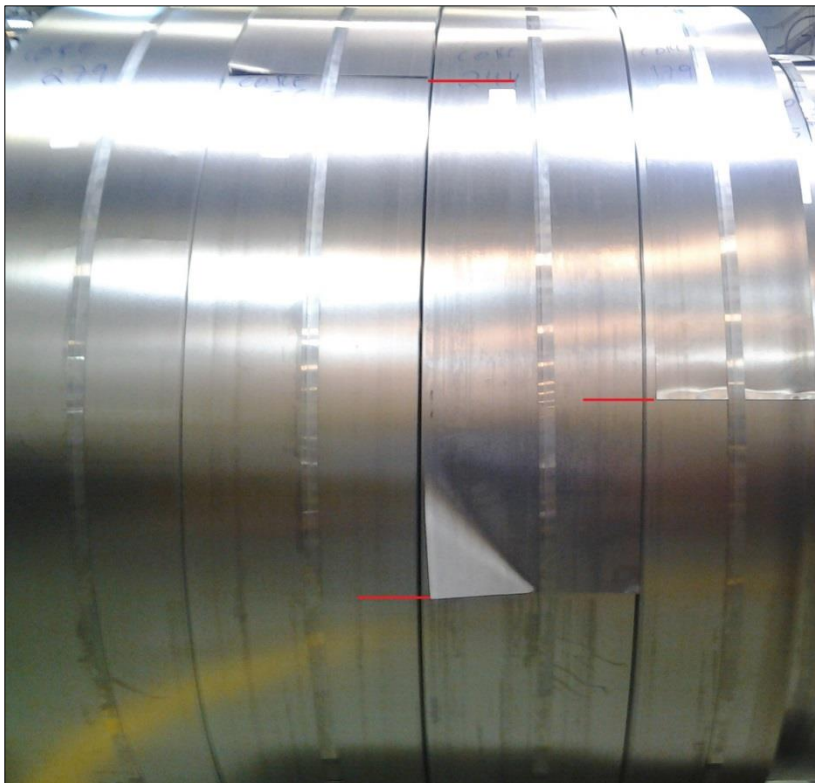


Figura 26 - Variação no Comprimento Final  
Fonte: AUTOR (2013)

Outra condição para a ocorrência de variação no tensionamento da tira está ligada ao número de tiras cortadas e à variação de largura entre tiras de um mesmo corte. Segundo HandBook (1988), é comum que as tiras localizadas nas extremidades dos equipamentos de corte possuam maior comprimento dentro da região do *looping*.

Esta condição pode ser visualizada na Figura 15. Também devido a estas alterações é comum encontrar tiras mais estreitas que, ao final de um corte, possuem seu comprimento bem maior que o comprimento de tiras mais largas (BLUE SCOPE STELL, 2003).

Quando o processamento ocorre em chapas oleadas é comum a variação no coeficiente de atrito entre as tiras e o tensionador, podendo ocasionar tiras com tensões de bobinamento diferentes (DIVIMEC, 2010).

## 2.4 Defeitos Relacionados às Condições da Matéria Prima

Segundo (DIVIMEC, 2010), além dos defeitos ligados diretamente ao processo de corte, é comum também o surgimento ou a detecção de defeitos ligados aos processos anteriores ao corte.

Estes defeitos podem variar dependendo do tipo de processo de fabricação no qual a matéria prima foi originada (THEFABRICATOR, 2012).

Desta forma, (DIVIMEC, 2010) e (THEFABRICATOR, 2012) destacam que os principais problemas decorrentes do processo de obtenção de bobinas são os seguintes: variação da espessura da bobina, curvatura longitudinal, arqueamento transversal, quebras superficiais, torção na bobina, bolhas centrais e bordas onduladas.

### 2.4.1 Variação da Espessura da Bobina (*Crowned Strip*)

Este defeito é decorrente do processo de laminação e dificilmente pode ser corrigido em processos posteriores. Sua forma mais comum é a existência de tiras com maior espessura na parte central da bobina, porém, variações podem ocorrer (DIVIMEC, 2010). Esta condição é demonstrada na Figura 27.

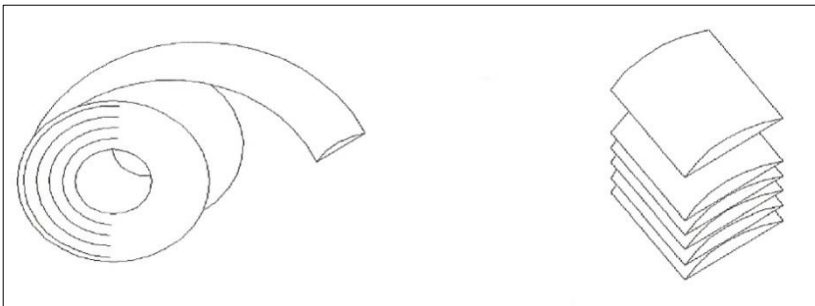


Figura 27 - Variação da Espessura na Bobina  
Fonte: (DIVIMEC, 2010)

### 2.4.2 Curvatura Longitudinal (*Coil Set*)

Este defeito consiste que, ao desenrolar a bobina, esta tende a formar um espiral no sentido longitudinal. Esta curvatura pode ser com sentido positivo ou negativo, sendo que sua formação ocorre

principalmente durante as etapas finais de fabricação da bobina (DIVIMEC, 2010) (THEFABRICATOR, 2012).

Este defeito está relacionado ao comprimento das superfícies entre as partes superior e inferior da bobina.

Esta condição pode ser visualizada na Figura 28.

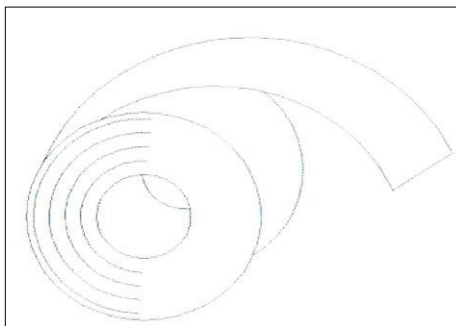


Figura 28 - Bobina Formando Espiral

Fonte: (DIVIMEC, 2010)

#### 2.4.3 Arqueamento Transversal (*Crossbow*)

Esta condição é originada nas etapas finais de fabricação das bobinas e sua correção requer cuidados, uma vez que este defeito é resultado da diferença de comprimento do sentido transversal, entre as faces da bobina (THEFABRICATOR, 2012).

Sua condição está representada na Figura 29.

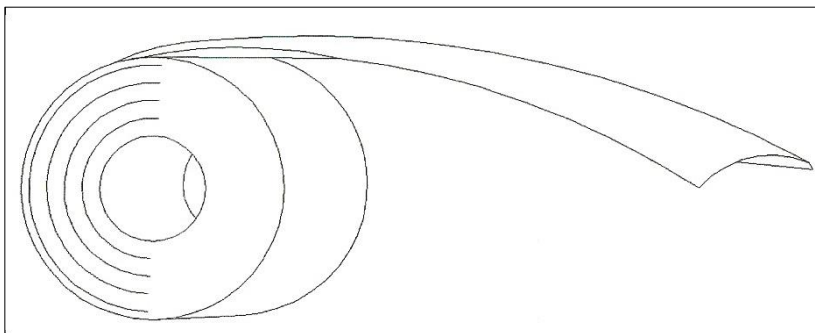


Figura 29 - Bobina com Arqueamento

Fonte: (DIVIMEC, 2010)

#### 2.4.4 Quebras Superficiais (*Minor Coil Breaks*)

Condição normalmente encontrada em bobinas de maior espessura ou em bobinas fabricadas pelo processo de laminação a quente. Sua ocorrência está relacionada às variações de tensões ou temperaturas durante a realização do bobinamento. Esta falha está demonstrada na Figura 30 (DIVIMEC, 2010).

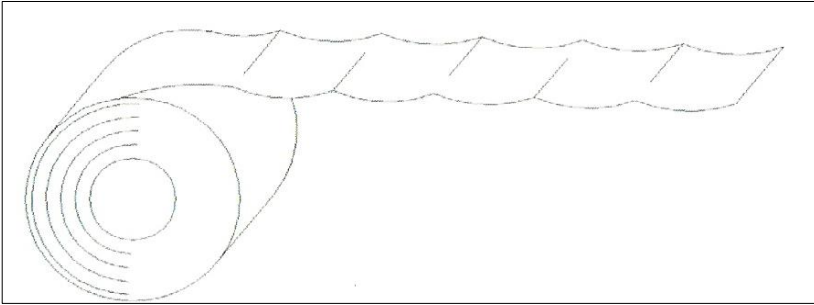


Figura 30 - Bobina com Quebras Superficiais  
Fonte: (DIVIMEC, 2010)

#### 2.4.5 Torção na Bobina (*Twisted Strip*)

Esta condição é mais rara de ser encontrada e sua ocorrência está relacionada ao enrolamento do material, quando o mesmo durante o processo de bobinamento sofre oscilação do raio de bobinamento. Esta condição pode ser visualizada na Figura 31 (THEFABRICATOR, 2012).

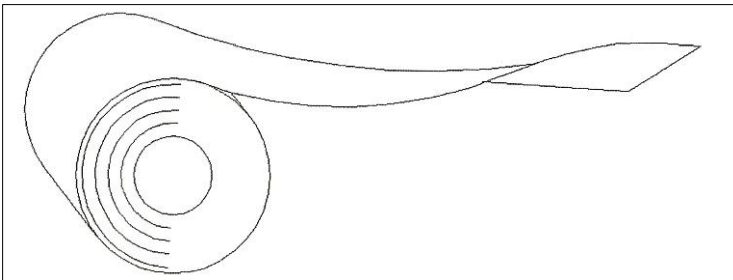


Figura 31 - Bobina com Torção  
Fonte: (DIVIMEC, 2010)

#### 2.4.6 Bolhas Centrais (*Quarter Buckles* e *Center Buckles*)

Defeito originário das variações nos rolos laminadores. Sua ocorrência tem relação com a formação de bordas e centro de bobina com tensões distintas (THEFABRICATOR, 2012).

Sua ocorrência está representada na Figura 32.

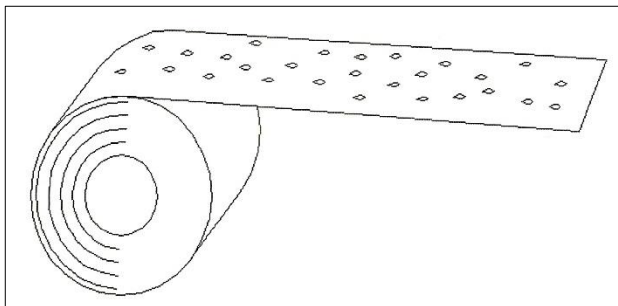


Figura 32 - Bobina com Bolhas Centrais  
Fonte: (DIVIMEC, 2010)

#### 2.4.7 Bordas Onduladas (*Edge Wave*)

Defeito causado devido à diferença de comprimento entre as bordas e o centro da bobina. Sua ocorrência está ligada ao processo de laminação da bobina.

Este defeito, quando originado do processo de laminação, é mais simples de ser resolvido, condição oposta ao caso em que o mesmo for originado no processo de corte (THEFABRICATOR, 2012).

Sua ocorrência pode ser visualiza na Figura 33.

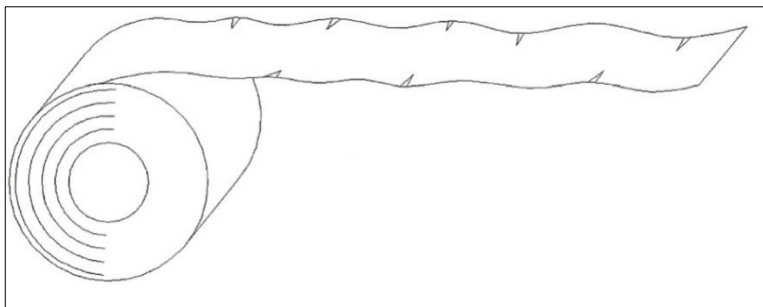


Figura 33 - Bobina com Borda Ondulada  
Fonte: (DIVIMEC, 2010)

### 3 METODOLOGIA

Como apresentado anteriormente, o processo de corte longitudinal requer muitos cuidados e sua realização sofre influência de diversas variáveis. Desta forma, ações que efetivamente atuam na causa do problema são fundamentais para a sua resolução.

Sendo assim, com base no estudo realizado e alguns acompanhamentos em campo serão apresentadas algumas relações entre os defeitos e os tipos de ações corretivas, lembrando que este é um processo com muitas variáveis e o seu controle é complicado.

Esta condição é agravada devido à influência dos ajustes do equipamento ser de fundamental importância na correção de desvios que podem vir a ser originados.

Blue Scope Stell (2003) afirma que grande parte dos problemas relacionados ao processo de corte longitudinal pode ser resolvida com a utilização de operadores treinados e experientes na realização do processo.

Porém, com base nos dados analisados, algumas ações de caráter preventivista podem ser tomadas, buscando a melhora na qualidade do produto produzido e serem apresentadas a seguir.

#### 3.1 Rebarba (*Burr*)

Certamente a rebarba é o defeito mais grave no processo de corte. Sua existência não pode ser eliminada, uma vez que este defeito está intrínseco ao processo de corte. Porém, tomar ações para conter as causas de sua geração possibilita trabalhar com valores aceitáveis de rebarba.

Desta forma, destaca-se que a rebarba pode ser originada devido à combinação de alguns fatores que são apresentados no item 2.3.1.

A identificação dos fatores causadores da rebarba, caso a caso, propicia maior efetividade no seu controle e com base nesta indicação é possível apontar algumas formas de diminuir a incidência de rebarba no material cortado.

O controle da folga horizontal é um dos principais pontos a ser abordados. Sua variação ocorre por diversas maneiras, partindo de uma programação de corte incorreta até desvios do equipamento.

Para a montagem do conjunto de facas em um cabeçote de corte são necessários três elementos básicos:

- Facas de Corte: Consiste na ferramenta que irá desenvolver o processo de corte. Além de realizar o

corte, a faca realiza a alimentação da chapa a ser cortada através do atrito gerado com o material nas suas laterais;

- Buchas distanciadoras: São basicamente anéis de aço utilizados para preencher a distância entre uma faca e outra, transmitindo ao conjunto rigidez mecânica e precisão dimensional;
- Anéis expulsadores: Devido ao surgimento de tensões laterais durante o processo, o material cortado tende a ficar fixado no interior de dois cortadores simultâneos. Devido à necessidade de realizar a extração do material cortado do interior do corte, a utilização de anéis flexíveis montados juntamente com as buchas distanciadoras e facas se faz necessária.

Os expulsadores mais utilizados atualmente são os anéis revestidos com poliuretano ou borracha, que possuem três funções principais e de fundamental importância para o processo:

1. Realizar a expulsão do material cortado de dentro da montagem das facas;
2. Servir como espaçadores para a montagem do cabeçote;
3. Ajudar como guia e tracionador, principalmente nos caso de corte de chapas de pouca espessura, normalmente abaixo de 0,80 mm.

Estes três componentes utilizados na montagem do conjunto de corte, possuem grande importância sobre o processo, sendo que cada componente indicado acima pode ser observado na Figura 34 (ASM METAL HANDBOOK, 1988), (BLUE SCOPE STELL, 2003), (DIVIMEC, 2010).

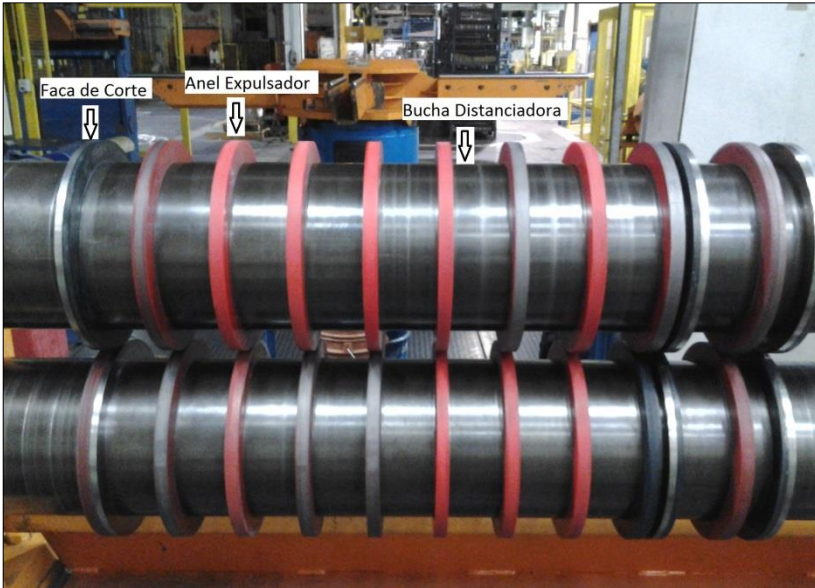


Figura 34 - Indicação de Componentes Utilizados para a Montagem de um Cabeçote de Corte de Linha Longitudinal  
Fonte: (AUTOR 2013)

Garantir o controle dimensional destes componentes também é fator fundamental no controle da geração de rebarba. O batimento axial do conjunto deve atender aos requisitos do processo de corte para o qual o cabeçote é empregado.

A Figura 35 traz a informação de quanto preciso são os componentes que compõem a montagem de um cabeçote de corte. Esta condição explica porque é importante o manuseio cuidadoso, assim como o armazenamento adequado da ferramenta de corte.

Tanto o manuseio do ferramental como o armazenamento do mesmo possuem influência notável na qualidade do material cortado, porém, o seu controle é difícil, uma vez que está ligado diretamente à forma como o ferramental é manipulado pelos operadores.

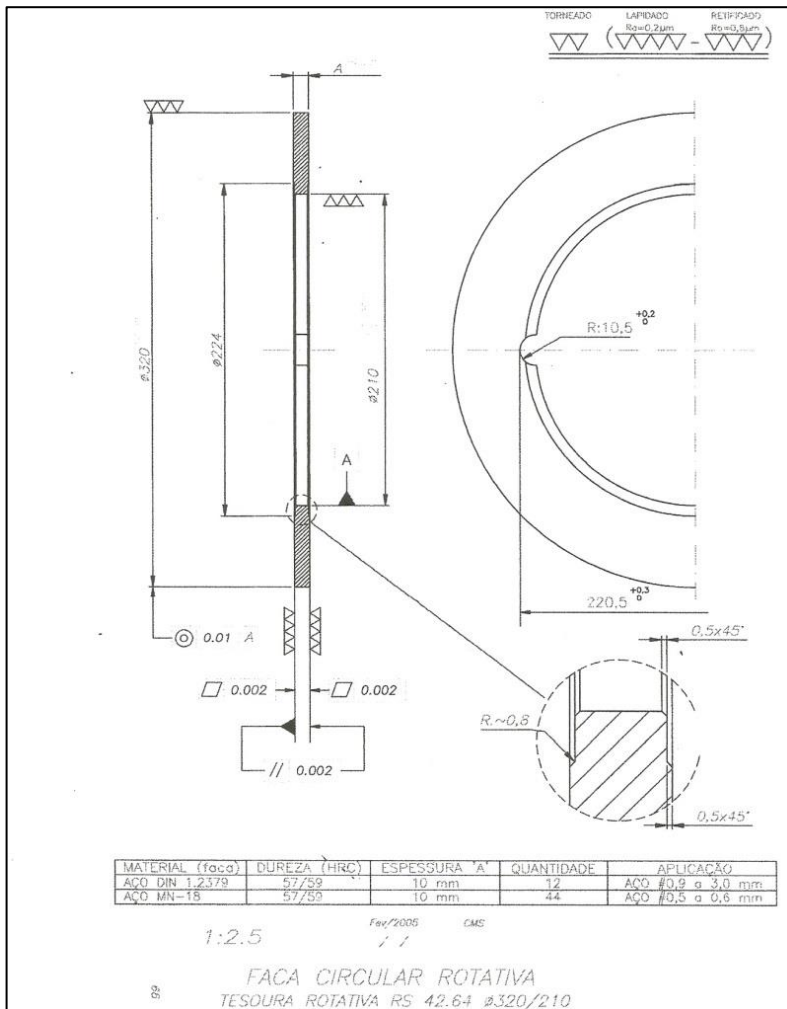


Figura 35 - Desenho de Faca de Corte Utilizada para Processamento de Bobinas  
Fonte: (DIVIMEC, 2010)

Em diversas situações onde a condição de montagem apresenta valores, por exemplo, de variação axial no conjunto de facas, os resultados podem ser drásticos.

Em uma montagem onde ocorra variação na folga horizontal (condição conhecida como batimento axial), os valores de folga de corte sofrem constantes alterações, conforme o giro do eixo do cortador. Esta

situação acarreta em variações da linha de ruptura do material, assim como mudança nas forças envolvidas no processo.

Decorrente a este defeito, podemos observar na Figura 36 uma bobina cortada onde ocorreu variação da folga de corte. Esta condição fica clara devido a não existência de uma linha de cisalhamento na bobina, sendo que a lateral do material cortador apresenta alternância entre partes cisalhadas e partes rompidas.

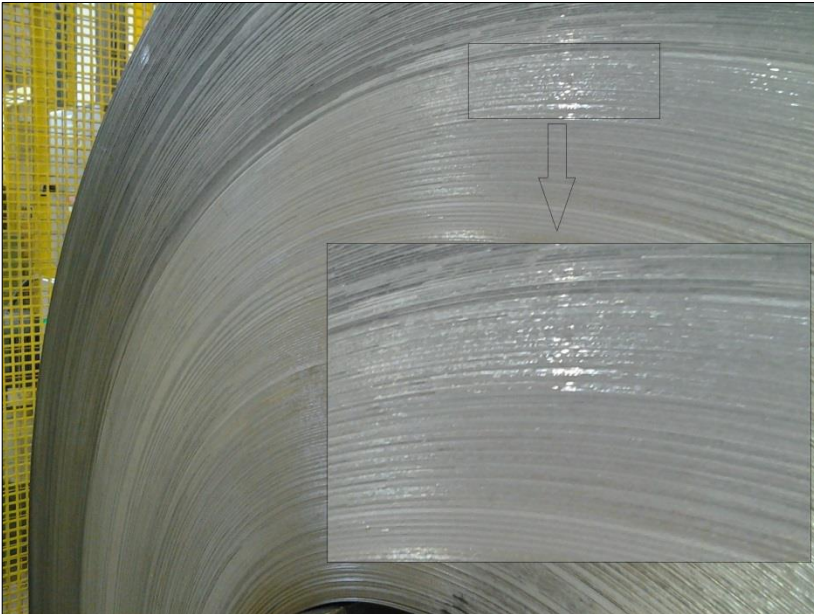


Figura 36 - Bobina com Variação da Região Cisalhada  
Fonte: (AUTOR 2013)

O controle da folga vertical, por sua vez, é mais fácil de ser realizado, já que os cabeçotes de corte na sua maioria possuem sistemas de indicação de medida de profundidade incorporado ao cabeçote, como pode ser visto na Figura 37.

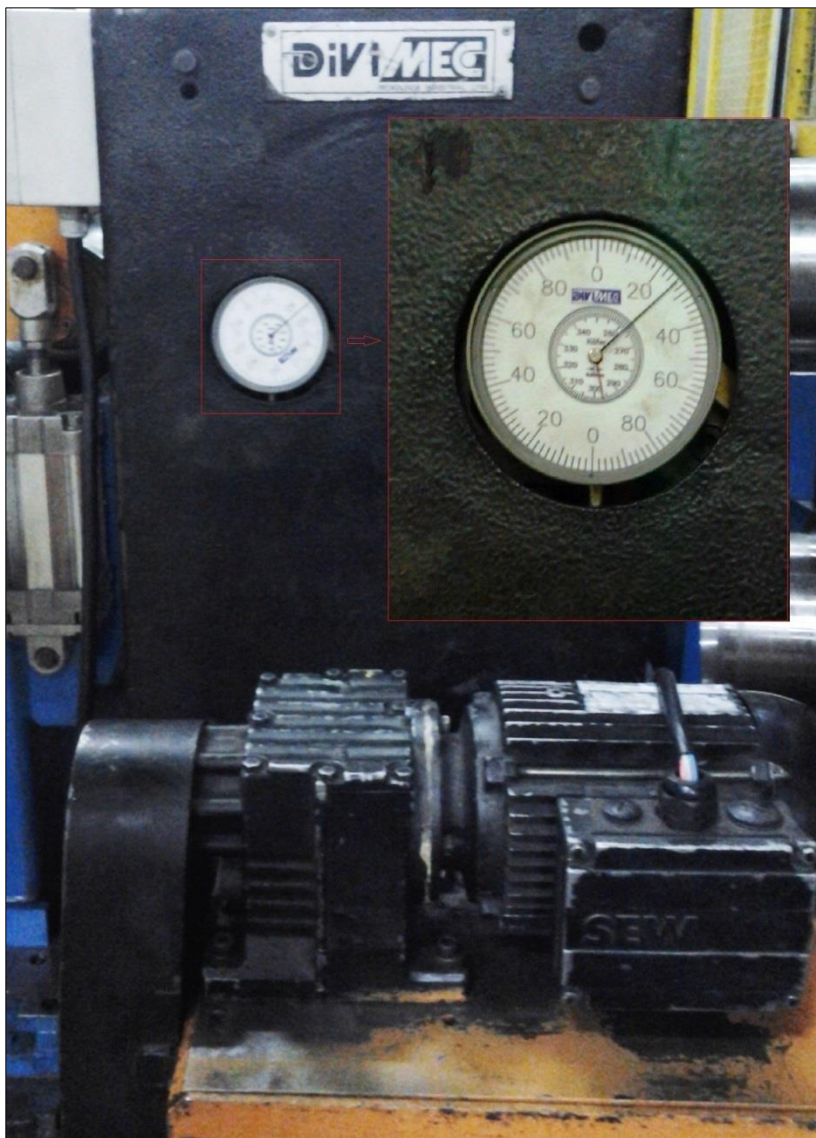


Figura 37 - Indicação de Dispositivo Montado Juntamente ao Eixo Excêntrico com Função de Indicação da Profundidade de Trabalho do Conjunto de Facas  
Fonte: (AUTOR 2013)

A manutenção do equipamento de corte também é fator fundamental na qualidade do produto cortado. Esta manutenção muda conforme o tipo de equipamento que a empresa possui, sua forma construtiva e precisão que o cabeçote deve atender.

A Figura 38 indica uma avaliação geométrica de um cabeçote de corte que pode trabalhar entre 0,5 a 3,5 mm de espessura de material e velocidade de trabalho de até 300 m/min.


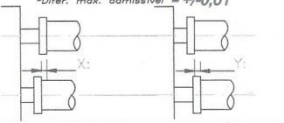
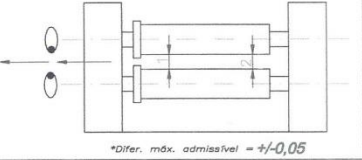
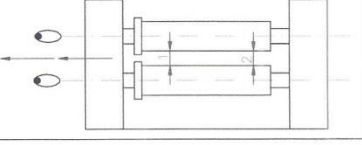
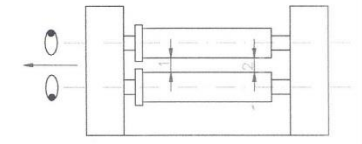
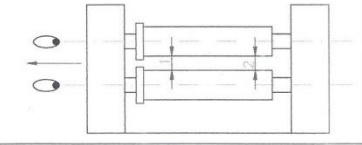
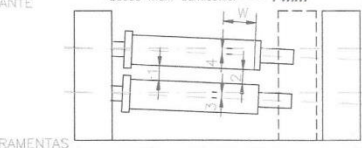
	RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PARA TESOURA ROTATIVA	FOLHA ___ DE ___ PEDIDO: _____
<p>PARALELISMO ENTRE AS FACES DE ENCOSTO          *Difer. máx. admissível = <math>\pm 0,01</math></p> 	<p> <math>\varnothing</math> DO EIXO SUPERIOR: _____  <math>\varnothing</math> DO EIXO INFERIOR: _____  <math>\varnothing</math> DAS FACAS: _____          DISTÂNCIA ENTRE MONTANTES: _____       </p>	
<p>A) REGULAGEM EXCÊNTRICA MÍNIMA:          1) PARALELISMO DO EIXO DAS FACAS:          COTA 1: _____          COTA 2: _____</p>	 <p>*Difer. máx. admissível = <math>\pm 0,05</math></p>	
<p>B) REGULAGEM EXCÊNTRICA 90° PARA O LADO DA CHAPA          1) PARALELISMO DO EIXO DAS FACAS:          COTA 1: _____          COTA 2: _____</p>	 <p>*Difer. máx. admissível = <math>\pm 0,05</math></p>	
<p>C) REGULAGEM EXCÊNTRICA MÁXIMA:          1) PARALELISMO DO EIXO DAS FACAS:          COTA 1: _____          COTA 2: _____</p>	 <p>*Difer. máx. admissível = <math>\pm 0,05</math></p>	
<p>D) REGULAGEM EXCÊNTRICA 90° PARA O LADO GUIA DE SAÍDA:          1) PARALELISMO DO EIXO DAS FACAS:          COTA 1: _____          COTA 2: _____</p>	 <p>*Difer. máx. admissível = <math>\pm 0,05</math></p>	
<p>E) QUEDA QUANDO DA SAÍDA DO MONTANTE          1) EXCENRICIDADE:          COTA 1: _____          COTA 2: _____          COTA 3: _____          COTA 4: _____</p>	 <p>*Queda máx. admissível = <math>\sim 1</math> mm</p>	
W: 10 mm DA FACE DE APOIO DAS FERRAMENTAS		

Figura 38 - Protocolo de Ensaio Geométrico de Cabeçote de Corte  
 Fonte: (DIVIMEC, 2010)

Conforme afirmação de ASM METAL HANDBOOK (1988), os cabeçotes com maior precisão permitem o corte de materiais com espessuras abaixo de 0,80 mm, onde o conjunto de regulagem de folga vertical é o componente de maior importância na precisão do cabeçote, assim como as mancalizações dos eixos.

Este conjunto, como indicado pelo autor para atender aos requisitos de precisão, pode ser do tipo excêntrico, onde a variação da profundidade dos cortadores ocorre com o giro das buchas excêntricas. Esta condição pode ser vista na Figura 39.

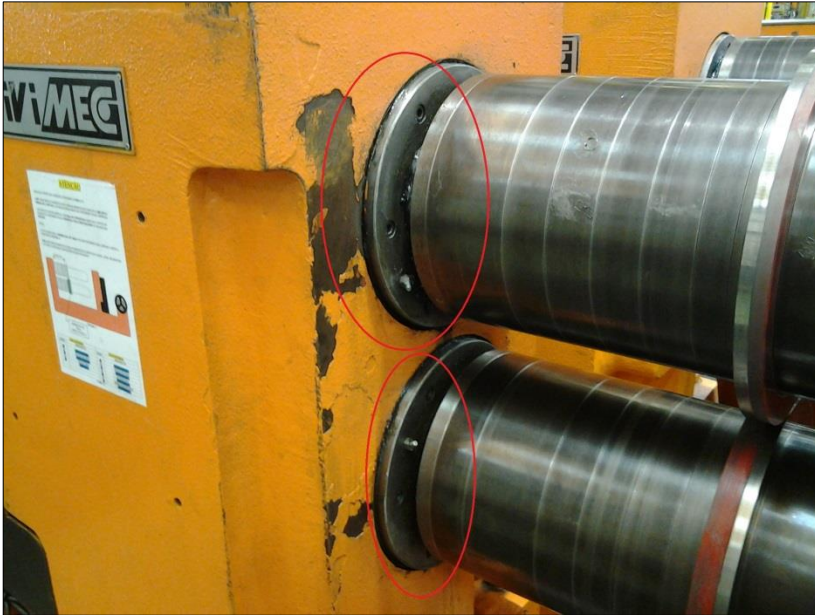


Figura 39 - Cabeçote de Corte com Acionamento de Controle da Folga Vertical Através de Buchas Excêntricas

Fonte: (AUTOR 2013)

Também os cortadores, ou facas, são fatores que causam variações no corte do material. A correta seleção do tipo de material dos cortadores pode determinar valores de elevada importância na realização do corte com qualidade e produtividade.

Escolher cortadores com dureza muito elevada pode levar os mesmos a quebras precoces, porém, a escolha de cortadores mais dúcteis pode promover o desgaste prematuro das arestas de corte, aumentando as forças necessárias para a realização do corte e, como consequência, a geração de rebarba.

Assim, um balanço entre desgaste e quebra deve ser traçado, buscando a escolha do tipo de faca que melhor atende a aplicação.

Segundo ASM METAL HANDBOOK (1988), uma relação entre dureza e desgaste do volume de produção pode ser estabelecida. Esta

relação é demonstrada na Tabela 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 2 - Tabela Comparativa (Tipo de Material Cortado/Tipo de Material do Cortador "Faca")

Material a ser Cortado	Material do Cortador (Faca)			
	Espessura até 6,4 mm		Espessura entre 6,4 - 12,7 mm	
	Baixa Produção	Alta Produção	Baixa Produção	Alta Produção
Aços Carbono e Aços de Baixa Liga (C<0,35%)	A8 Modificado, H13; L6	D2	A8 Modificado; H13; L6	A2
Aços Carbono e Aços de Baixa Liga (C=0,35%)	A8 Modificado, H13; L7	D2	A8 Modificado; H13; L6	S5
Aços Inoxidáveis e Aços Resistentes ao calor	A8 Modificado, H13; L8	D2	S5	A2
Aços elétricos Siliciosos	D2	D2; Carbide	S5	S5
Ligas de Cobre e Ligas de Alumínio	A8 Modificado, H13; L8	A2; D2	A8 Modificado; H13; L6	A2
Titânium e suas Ligas	D2	D2	...	...

Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988)

### 3.2 Curvatura Lateral (*Camber*)

Este defeito é causado devido ao aparecimento de curvatura lateral na tira cortada. Suas principais causas de aparecimento estão ligadas a seis fatores principais:

- Defeitos na matéria prima;
- Variação de sincronismo entre desbobinador e tesoura rotativa;
- Número de tiras cortadas;
- Largura utilizada nos anéis espaçadores;
- Posição das tiras cortadas;
- Tensionamento desigual entre as tiras ou na própria tira, com variação da tensão entre os lados da tira cortada.

Com base nesta afirmação, podem ser levados em consideração alguns fatores que se referem a este tipo de defeito.

Todos os autores pesquisados afirmam que se a matéria prima apresentar o defeito de curvatura lateral, as tiras cortadas irão apresentar o mesmo defeito, ou seja, a realização do corte não elimina a existência de curvatura lateral.

Desta forma, caso ocorra defeitos na matéria prima, as possibilidades de correção dos mesmos são remotas.

No entanto, existem afirmações que, caso ocorra escorregamento entre as facas e o material cortado, pode surgir dois defeitos. O primeiro seria a tendência de quebra das arestas dos cortadores (facas) e, pelo fato de ter ocorrido escorregamento entre o material e as facas, pode acarretar

em variação no posicionamento lateral da tira, desta forma a mesma pode originar curvatura lateral.

Esta condição é muito difícil de ser evidenciada, uma vez que o material é alimentado e cortado de forma contínua, conforme indicação na Figura 40.

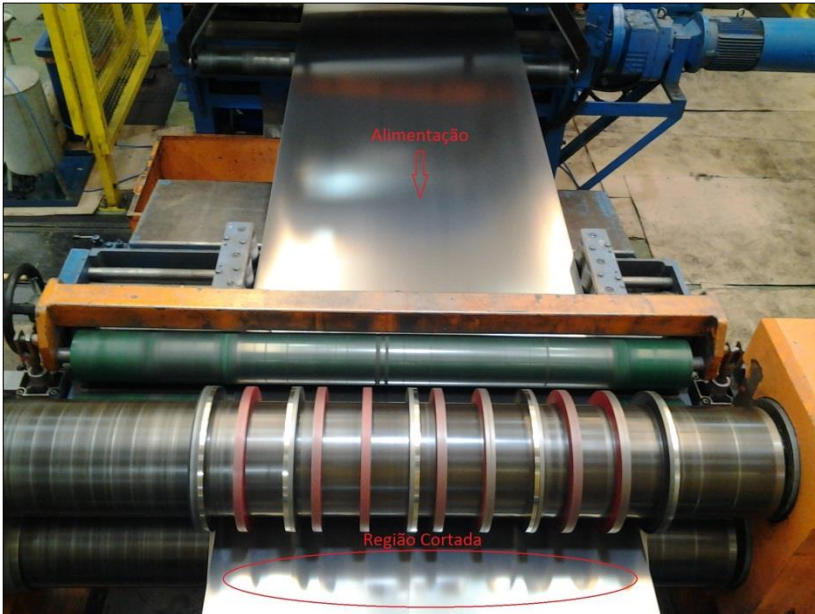


Figura 40 - Exemplo de Alimentação de Corte de Chapa de Aço em Linha de Corte Longitudinal  
Fonte: Autor (2013)

Este defeito pode ser minimizado com a utilização de sistemas de controle de sincronismo, ou ainda com a utilização da linha de corte de duplo *looping*, conforme indicado na Figura 41. Este tipo de linha de corte desenrola o material dentro de um fosso, formando um *looping* antes da tesoura rotativa.

Desta forma, a carga trativa que o conjunto da tesoura rotativa está sujeito é apenas relativa ao peso do material acumulado dentro do *looping*.



Figura 41 - Exemplo de Linha de Corte com Duplo *Looping*  
Fonte: Autor (2013)

Outra condição que pode ser utilizada a fim de buscar a melhora do sincronismo entre tesoura rotativa e material cortado é a utilização de uma maior quantidade de anéis expulsadores.

Assim, o atrito gerado entre a superfície dos anéis e o material facilita o tracionamento da tira, que inicialmente era de responsabilidade do atrito gerado entre o material cortado e as laterais das facas.

Esta condição é utilizada por algumas empresas que realizam o processamento de chapas com espessura entre 0,2 e 0,4 mm, normalmente de ligas leves como alumínio. Um exemplo desta aplicação pode ser visualizado na Figura 42.



Figura 42 - Exemplo de Cabeçote de Corte Montado com Anéis Expulsadores em toda a Extensão do Eixo de Corte  
Fonte: (RED BUD INDUSTRIES, 2007)

Ainda segundo afirmação de ASM METAL HANDBOOK (1988), o defeito de curvatura lateral pode ser originado devido ao número de cortes realizados a partir de uma mesma tira.

Esta situação, segundo o autor, ocorre devido à necessidade de separação das tiras cortadas para o posterior bobinamento. Esta separação é realizada com a utilização de anéis de separação montados com distância igual a largura da tira cortada, conforme indicação na Figura 43.



Figura 43 - Aplicação de Anéis Separadores de Realização de Abertura de Fenda em Tiras Cortadas  
Fonte: Autor (2013)

Devido à diferença de medida criada com a utilização dos anéis de separação, o material cortado tende a deformar lateralmente. Assim, a bobina possui largura maior no momento de ser rebobinada, quando comparada com o momento da realização do seu corte, como pode ser visualizado na Figura 44.

Devido à resistência das tiras à deformação lateral, que pode ser caracterizada como variação do comprimento de segmentos de reta ou variação nos ângulos entre eles (HIBBELER, 2009), as tiras localizadas nas extremidades do bobinador estão mais tensionadas lateralmente, comparadas com as tiras centrais.

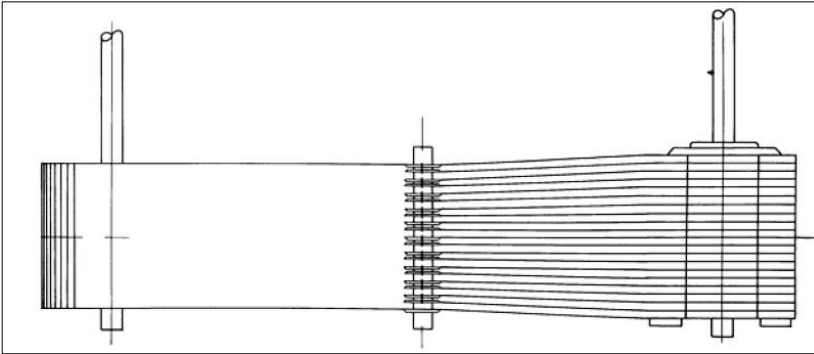


Figura 44 - Variação da Largura da Bobina (Diferença entre Bobina Inteira a Bobina Cortada devido a Utilização de Anéis de Separação)  
 Fonte: (ASM METAL HANDBOOK, 1988)

Sendo assim, podemos afirmar que quanto menor for o espaço gerado pela utilização dos anéis separadores, menor será o dano causado as tiras de bobina durante o rebobinamento.

Ainda podemos indicar a utilização de tiras de bobinas mais largas na lateral do conjunto de separadores, deixando as tiras estreitas localizadas mais ao centro da região de corte.

Esta afirmação pode ser fundamentada com base na resistência à flexão das vigas de seção retangular, lembrando que uma tira cortada pode ser comparada com uma viga retangular engastada.

Porém, apesar da tira mais larga suportar maior esforço lateral sem deformar, é necessário realizar uma comparação entre a curvatura lateral e o amassamento de borda.

Tiras muito largas, mas com pouca espessura, podem amassar facilmente quando a utilização de anéis separadores for demasiada ou com largura incorreta. Esta afirmação pode ser relacionada com a força de atrito entre as laterais dos anéis separadores e a chapa, em relação a força necessária para causar o amassamento de borda da tira cortada.

As tiras das laterais podem não deformar, porém, o esforço sobre a lateral da tira pode levar as mesmas a criar bordas onduladas ao passar pelo anéis separadores.

Esta condição pode ser observada na Figura 45, onde é possível perceber a deformação (ondulamento lateral) da tira cortada ao passar pelo conjunto de anéis de separação.



Figura 45 - Deformação Lateral da Tira Cortada ao Passar Através de Anéis Separadores

Fonte: (AUTOR 2013)

Além destes itens já comentados, é necessário mencionar a diferença de tensionamento entre as tiras, ou a presença de rebarbas desiguais entre as laterais da mesma tira cortada. Esta condição pode levar a tira cortada a valores de tensão diferentes, uma vez que após o corte o material passa, na maioria dos casos, pelo sistema de tensionamento da tira.

A operação de tensionar a tira é importante, pois é através deste processo que é conferida a resistência mecânica à bobina. Caso ocorra falta de tensão ao rebobinar a tira cortada, a bobina resultante pode não possuir resistência mecânica para suportar o seu próprio peso, causando deformação em sua forma e na maioria dos casos impossibilitando o uso do material.

O processo de tensionamento causa uma restrição à passagem da chapa pelo sistema de freio. Esta condição é gerada através da compressão do material cortado. Para isso é comum a utilização de cilindros hidráulicos para a realização da compressão do material e ainda a utilização de feltros, para que ocorra marcas de enrustimento no material e também para servir como elemento de desgaste.

Sendo assim, caso o material apresente variações de espessura ou a existência de rebarbas, estas variáveis não podem ser compensadas, uma vez que o sistema de compressão é acionado hidráulicamente, como indicado na Figura 46.



Figura 46 - Sistema de Tensionamento com Acionamento Hidráulico  
Fonte: (AUTOR 2013)

Desta forma, é possível a ocorrência de deformação plástica nas regiões de borda das tiras cortadas, uma vez que é nestas regiões que estão as rebarbas causadas pelo corte. Esta deformação plástica altera a relação de comprimento entre as laterais da tira e pode provocar a formação da curvatura lateral e ondulamento das bordas.

### 3.3 Defeitos de Tensionamento

Os defeitos de tensionamento, por sua vez, estão relacionados a causas externas na grande maioria das vezes, como é o caso da variação de espessura das bobinas.

Sua relação está ligada à condição final da bobina, ou seja, ao final do corte a bobina gerada deve possuir resistência mecânica suficiente para suportar o seu próprio peso.

Gerar bobinas incapazes de suportar o seu próprio peso acarreta no descarte do material processado antes da sua utilização ou no reprocessamento da bobina já cortada.

Porém, as falhas relacionadas ao tensionamento não ficam limitadas apenas ao bobinamento das tiras cortadas. Podem estar relacionadas também a falhas no sistema de tensionamento, como a geração de ondulações laterais nas bobinas, curvatura lateral e riscos na superfície das chapas. Este último item ocorre principalmente em chapas com tratamento superficial, como pintura.

Portanto, fatores como rebarba e amassamentos da tira possuem influência direta sobre a qualidade do tensionamento gerado.

Este tipo de defeito não é simples de ser corrigido, até mesmo pelo fato de sua ocorrência poder estar relacionada a fatores externos do processo de corte, como o caso da variação de espessura das tiras cortadas.

Também o processamento de tiras com diferentes larguras resulta na geração de tiras com comprimentos diferentes ao final de uma mesma bobina, condição indicada na Figura 26.

Uma variação de comprimento como a apresentada na Figura 47 pode ser originada por diversos motivos. Uma das prováveis causas de variação do comprimento pode estar ligada a variação de espessura da bobina cortada, porém, analisando o fato do material estar passando por um sistema de freio e posteriormente sendo tracionado, esta ocorrência pode estar ligada às diferentes tensões trativas geradas após o conjunto tensionador.



Figura 47 - Corte de Tiras de Aço com a Ocorrência de Variação no Tamanho do *Looping* Final

Fonte: (AUTOR 2013)

Com base nesta condição, é possível a interpretação de que, pelo fato de existir uma diferença de área entre as tiras cortadas, isso pode resultar em diferentes tensões internas do material a ser bobinado (tensões trativas), uma vez que todas as tiras são tracionadas pelo mesmo conjunto.

Como a tensão interna do material é uma relação entre força e área da seção transversal, a variação da largura da tira cortada altera o valor de tensão gerado na mesma durante o bobinamento.

Ainda para este caso, a força trativa está relacionada com a força de atrito gerada pelo sistema de tensionamento.

Desta forma, como a força normal é exercida pelos cilindros de acionamento do tensionador e o coeficiente de atrito entre a chapa e o feltro é constante, não há variação da força de frenagem entre as tiras cortadas, porém, devido a variação da largura da tira cortada, existe variação da área da seção transversal a qual a força de frenagem é aplicada.

Com estas relações é possível que ocorra variação da tensão trativa nas diversas tiras cortadas, resultando em tiras com diferença de tensionamento a medida que exista diferença de largura.

Com isso, é possível a interpretação de que as tiras com menor largura sofrem maiores tensões de tração, condição que pode resultar no aumento da deformação elástica sofrida por estes componentes. Esta deformação elástica resulta no acúmulo de material (maior comprimento) dentro do *looping* anterior ao tensionador, como representado na Figura 47.

### **3.4 Defeitos Relacionados às Condições da Matéria Prima**

Estes defeitos são causados devido as falhas do processo de produção da bobina. Pelo fato de alguns defeitos serem originados nas etapas finais de produção das tiras, o seu controle é de difícil realização.

Desta forma, caso a bobina apresente defeitos decorrentes do seu processo de fabricação, as operações posteriores à etapa de laminação irão somar seus defeitos ao produto gerado.

Também é possível com a utilização de equipamentos especiais, montados juntamente com linhas de corte, a correção de alguns dos defeitos provenientes da laminação. Estes equipamentos são chamados de endireitadores ou niveladores e podem ser visualizados na Figura 48.

Este equipamento causa regiões específicas de cargas no material que está sendo processado, possibilitando a compressão e tração das fibras de lados opostos, onde, conforme o grau de deformação empregado, causará o estiramento localizado no material, possibilitando com isso a correção de alguns dos defeitos originados no processo de laminação (HEDRICK, 2002).



Figura 48 - Indicação de Funcionamento de um Conjunto Endireitador  
 Fonte: (HEDRICK, 2002)

Porém, dependendo do tipo de defeito, sua correção é complicada e muitas vezes acarreta em descarte do material.

Entre os defeitos passíveis de tratamento, para posterior utilização do material em outras etapas, podemos destacar os seguintes:

- Curvatura Longitudinal (*Coil Set*);
- Arqueamento Transversal (*Crossbow*);
- Torção na Bobina (*Twisted Strip*).

Porém, outras falhas como Bolhas Centrais (*Quarter Buckles* e *Center Buckles*), Bordas Onduladas (*Edge Wave*) e Curvatura Lateral (*Camber*) são defeitos de difícil tratamento e normalmente o processamento de bobinas com estes defeitos resulta em bobinas com os mesmos defeitos.

## 4 CONCLUSÃO

A grande falta de literatura sobre este processo certamente foi uma grande barreira enfrentada para a realização deste trabalho. No entanto, com a realização de inúmeras pesquisas é possível a realização de algumas afirmações.

O processo de Corte Longitudinal está sujeito, durante a sua realização, a diversos fatores de difícil controle.

As condições da matéria prima, a forma de operação e as condições de manutenção do equipamento, são fatores que alteram as características do produto processado, podendo inserir a este, defeitos como relatado durante o desenvolvimento do trabalho.

Esta condição faz do processo de corte longitudinal um dos processos de grande dificuldade na sua realização, onde o número de certezas sobre as formas de realização das operações é pequeno.

Também com o desenvolvimento deste trabalho é possível a apresentação de forma resumida dos principais tipos de defeitos do processo de corte longitudinal, conforme Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 - Resumo das Causas de Geração de Rebarba

Rebarba	
Causas	Ações
Variação da Folga de Corte Longitudinal	Padronização das Folgas de Corte (Verticais e Horizontais)
	Utilização de Programas de Computador para a Realização de Sequência de Preparação do Conjunto de Corte
	Manutenção do Ferramental de Corte (Buchas Distanciadoras, Anéis Espulsadores, Facas de corte)
	Instalação Cuidadosa
Falhas de Ferramental	Cuidado nas Reafiações do Ferramental
	Controle Geométrico do Ferramental de Corte
	Controle de Forma e Posição das Ferramentas de Corte
	Armazenamento e Transporte Adequado do Ferramental
Tipo de Material	Seleção Inadequada entre Material Cortado/Volume de Produção, Tipo de Material e Tratamento da Faca
Falha do Equipamento de Corte	Cabeçote de Corte com Condição de Trabalho Fora da Indicada pelo Fabricante
	Falta de Sincronismo no Equipamento
	Vibração nos Eixos de Corte

Tabela 4 - Resumo das Causas de Geração de Curvatura Lateral/Tensionamento

Curvatura Lateral ( <i>Camber</i> ) / Tensionamento	
Causas	Ações
Matéria Prima	As Variações de Espessura da Tira Cortada não Podem ser Controladas na Máquina de Corte Diferença de Coeficiente de Atrito em Tiras Oleadas (Utilização de Lubrificante Durante o Corte)
Defeitos do Corte	Rebarbas Irregulares Aumentam a Ocorrência de <i>Camber</i> (Controlar a Ocorrência de Rebarba)
Condições do Equipamento	Garantir o Sincronismo Correto entre Desbobinador e Tesoura Utilização de Anéis Expulsadores na Quantidade Incidida para o Corte (Evitando Escorregamento) Escolha Adequada do Tipo de Equipamento Conforme o Tipo de Material Cortado Utilização de Equipamento com Ajuste da Força de Trabalho Conforme o Tipo de Material Cortado Controle do Alinhamento do Equipamento (Equipamento Desalinhado Agrava a Ocorrência do Defeito) Preferência para Equipamentos que Permitam o Ajuste de Força de Frenagem Conforme a Largura da Tira
Número de Cortes	Quanto Maior o Número de Tiras Cortadas, Maior a Ocorrência de <i>Camber</i> Posicionamento das Tiras Mais Largas na Região Externa da Máquina (Nas Laterais) Utilizar Anéis Espaçadores com a Menor Espessura Possível

Espera-se através deste trabalho ter apresentado resultados relevantes sobre os fatores que causam influência no processo de corte, assim como possibilitar o entendimento de parte deste processo.

Estes aspectos apresentados ainda podem sofrer influência de fatores não considerados neste trabalho, como a velocidade de processamento e o tipo de material cortado. Portanto, este trabalho pode ser complementado com estudos ligados a itens anteriormente mencionados.

## REFERÊNCIAS

- ASM METAL HANDBOOK. **Forming and Forging**. 9. ed. [S.l.]: ASM International, v. 14, 1988.
- BLUE SCOPE STEEL. Shearing and Slitting Steel Sheet and Strip. **Technical Bulletin**, Australia, nov. 2003.
- BRITO, O. D. **Técnicas e Aplicações dos Estampos de Corte**. [S.l.]: Hemus livraria, Distribuidora e Editora, 2004.
- CHICAGOSLITTER, 2013. Disponível em: <<http://chicagoslitter.com/coil-processing-equipment/>>. Acesso em: 06 nov. 2013.
- DIVIMEC, 2010. Disponível em: <[http://www.divimec.com.br/corte\\_longitudinal.htm](http://www.divimec.com.br/corte_longitudinal.htm)>. Acesso em: 06 nov. 2013.
- HALLIDAY, D. **Fundamentos de Física 1**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científicos Editora S.A., 1994.
- HEDRICK. Forming high-strength materials, Greeville, jan. 2002.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2009.
- INDUTAR, 2013. Disponível em: <<http://www.indutar.com.br/Web/?Pagina=Produtos/Servicos> Acesso 10/11/2013>. Acesso em: 10 nov. 2013.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. **acobrasil**, 2013. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/produtos--forma-geometrica.asp>>. Acesso em: 22 out. 2013.
- PORTUGUESE.ALIBABA, 1999. Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/product-free-img/circular-shears-123498710.html>>. Acesso em: 06 nov. 2013.
- RAMOS, A. N. **Produtividade Manual Pedagógico Pronaci**. Portugal: Associação Empresarial de Portugal, 2003.
- RED BUD INDUSTRIES. The Art of Slitting. **The Cutting Edge**, Illinois, v. 21, out. 2007.
- SCHAEFFER, L. **Conformação de Chapas Metálicas**. Porto Alegre: Imprensa Livre Editora Ltda, 2004.
- THEFABRICATOR. Thefabricator.com, 2012. Disponível em: <<http://www.thefabricator.com/article/coilprocessing/straightening-out-coil-terms>>. Acesso em: 20 nov. 2013.
- TUBINO, P. D. D. F. **A Produtividade no Chão de Fábrica**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.