
PROCESSOS DE DECAPAGEM, LAMINAÇÃO A FRIO E RECOZIMENTO DE PRODUTOS PLANOS DE AÇO



**ERNANDES MARCOS
DA SILVEIRA RIZZO**

**COLEÇÃO
DE LIVROS
abm**

Blucher

abm
Associação Brasileira de
Metalurgia, Materiais e Mineração

Série: Capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos
Área: laminação

Ernandes Marcos da Silveira Rizzo

Associado da ABM, técnico em metalurgia (IFES), engenheiro mecânico (UFES),
mestre em Materiais e Processos de Fabricação (UNICAMP),
doutor em Materiais e Processos de Fabricação
(UNICAMP e The University of Iowa, Estados Unidos).

Website: www.erct.com.br

PROCESSOS DE DECAPAGEM, LAMINAÇÃO A FRIO E RECOZIMENTO DE PRODUTOS PLANOS DE AÇO

Processos de decapagem, laminação a frio e recozimento de produtos planos de aço

© 2022 Ernandes Marcos da Silveira Rizzo

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenação editorial Jonatas Eliakim

Produção editorial Lidiane Pedroso Gonçalves

Preparação de texto Maurício Katayama

Diagramação Roberta Pereira de Paula

Revisão de texto Ana Lúcia dos Santos

Capa Leandro Cunha

Imagem da capa iStockphoto

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Rizzo, Ernandes Marcos da Silveira

Processos de decapagem, laminação a frio e recozimento de produtos planos de aço /

Ernandes Marcos da Silveira Rizzo. –

São Paulo : Blucher, 2022.

370 p. (Coleção Capacitação Técnica em Processos Siderúrgicos)

Bibliografia

ISBN 978-65-5506-454-4 (impresso)

ISBN 978-65-5506-455-1 (ebook)

1. Laminação (Metalurgia) 2. Aços – Tratamento térmico I. Título II. Série

22-3850

CDD 669.1

Índice para catálogo sistemático:

1. Laminação (Metalurgia)

CONTEÚDO

1. PRODUTOS PLANOS LAMINADOS A FRIO	15
1.1 Classificação dos produtos planos laminados	15
1.2 Fluxogramas para a fabricação de produtos planos laminados a frio	23
1.3 Apresentação das normas técnicas relativas a produtos planos laminados a frio	30
1.4 Aplicações típicas de produtos planos laminados a frio	35
2. DECAPAGEM	47
2.1 Objetivo	47
2.2 O fenômeno da formação de carepa	50
2.3 Métodos de remoção de carepa	68
2.4 O processo de decapagem química	73
2.5 <i>Layouts</i> típicos de unidades de decapagem química	89
2.6 Turbulência e concentração do ácido nos tanques de decapagem	98
2.7 Soldagem de bobinas	100
2.8 Lavagem da chapa decapada	106

2.9	Integração de linhas de decapagem e laminação a frio	106
2.10	Métodos de regeneração do ácido gasto	108
3.	LAMINAÇÃO A FRIO	119
3.1	Introdução	119
3.2	Etapa de laminação a frio	127
3.3	Sistemas de balanceamento dos cilindros e sistemas de ajuste da luz ou <i>gap</i>	170
3.4	Medição da carga de laminação	179
4.	LUBRIFICAÇÃO NA LAMINAÇÃO A FRIO	185
4.1	Por que a lubrificação é necessária	185
4.2	Tipos de refrigerantes e de lubrificantes	195
4.3	Métodos de aplicação do lubrificante e do refrigerante	201
4.4	Parâmetros de controle dos lubrificantes e refrigerantes	210
5.	MÉTODOS DE CONTROLE DA PLANICIDADE E DO PERFIL DA CHAPA LAMINADA	215
5.1	Definição de termos relativos ao perfil e à planicidade de chapas e folhas laminadas	215
5.2	Métodos de avaliação da planicidade e do perfil de chapa e folhas laminadas a frio	233
5.3	Métodos de controle da planicidade e do perfil de chapas e folhas durante o processo de laminação a frio	242
5.4	Métodos de medição e controle da espessura do material laminado a frio	258
6.	TRATAMENTOS TÉRMICOS DE PRODUTOS PLANOS LAMINADOS A FRIO	269
6.1	Conceitos básicos relativos aos tratamentos térmicos dos aços	269
6.2	Preparação do material para tratamento térmico	271
6.3	Recozimento	275

7. OPERAÇÕES DE ACABAMENTO DE PRODUTOS PLANOS LAMINADOS A FRIO	289
7.1 Objetivos do processo	289
7.2 Ajuste de propriedades mecânicas	290
7.3 Métodos de correção do aplainamento	294
7.4 Acabamento superficial e proteção da chapa bobinada	295
7.5 Acabamento superficial de aços inoxidáveis	299
8. CILINDROS UTILIZADOS NOS PROCESSOS DE LAMINAÇÃO A FRIO	301
8.1 Noções básicas sobre o dimensionamento dos cilindros de um laminador a frio	301
8.2 Preparação de cilindros para a obtenção de acabamento superficial de produtos laminados a frio	304
8.3 Processo de cromagem	309
APÊNDICE – BREVE HISTÓRICO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DOS AÇOS	311
A.1 O início da utilização do ferro pelo homem	311
A.2 Desenvolvimento dos processos de laminação	317
REFERÊNCIAS	345
BIBLIOGRAFIA	355
ANEXO – EQUIVALÊNCIA DE VOCABULÁRIO DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS	363

CAPÍTULO 1

Produtos planos laminados a frio

1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS PLANOS LAMINADOS

De uma maneira geral, as normas consideram produtos planos aqueles produtos laminados acabados com a seção transversal retangular (ou aproximadamente, se considerarmos as bordas e o perfil transversal), com a largura muitas vezes maior que a espessura. A sua superfície é tecnicamente lisa, mas pode, em certos casos, apresentar intencionalmente entalhes ou relevos regularmente espaçados (chapas de piso ou painéis, por exemplo). A superfície também pode apresentar uma combinação de acabamento e rugosidade, para torná-la adequada a receber certos revestimentos superficiais ou passar por processos de conformação de forma mais adequada (receber uma camada de lubrificante na etapa de estampagem, por exemplo).

Pela ABNT e pela maioria das normas internacionais (ISO, ASTM, CEN, DIN etc.), são considerados produtos planos laminados de aço os seguintes tipos: chapas finas, chapas grossas, tiras, folhas e fitas. Esses produtos podem ser fornecidos na forma linear ou enrolados formando bobinas e rolos. Podem ser fornecidos com ou sem revestimentos metálicos ou orgânicos.

As normas técnicas das organizações ABNT, ISO, ASTM e CEN também devem ser consultadas, entre várias outras organizações de normalização e outras normas da ABNT que serão citadas no decorrer do livro. Para a classificação dos produtos laminados planos de aço, foram utilizadas as seguintes normas da ABNT:

NBR 6215/2011	Produtos siderúrgicos – Terminologia
NBR 8643/1995	Produtos siderúrgicos de aço
NM-COPANT 1588/1996	Produtos siderúrgicos
NBR 5903/2015	Produtos planos laminados de aço – Terminologia
NBR 8590/1994	Grandezas e unidades de medida na laminação de produtos de aço
NBR 11888/2015	Bobinas e chapas finas a frio e a quente de aço-carbono e de aço de alta resistência e baixa liga – Requisitos gerais

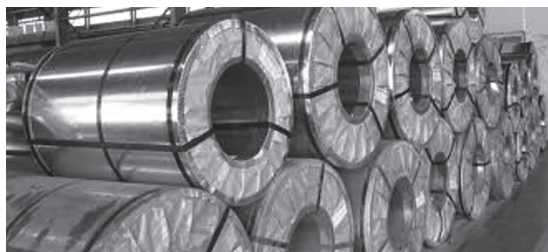
Outras normas de outros órgãos de normalização também podem ser consultadas:

ISO 6929/1987	Steel products – Definitions and classification
EN 10079/2007	Definition of steel products (norma da União Europeia)
ASTM A941 – 10a/2010	Standard Terminology Relating to Steel, Stainless Steel, Related Alloys, and Ferroalloys
ASTM A6/A6M/2012	Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling
ASTM A994/2011	Standard Guide for Editorial Procedures and Form of Product Specifications for Steel, Stainless Steel, and Related Alloys

As delimitações dimensionais para cada tipo de produto acabado plano, obtidas por laminação a quente ou a quente e a frio, foram atualizadas na versão de 2015 da NBR 5903 (Produtos planos laminados de aço – Terminologia). Ressalta-se que essas delimitações dimensionais e os termos associados podem variar significativamente conforme o tipo de organização de normalização escolhida, podendo variar inclusive entre as normas de uma mesma organização em função, entre outros motivos, da data de revisão de uma dada norma. A seguir, são apresentados os principais produtos definidos pela NBR 5903/2015 (entre parênteses são apresentados os termos correspondentes em espanhol e inglês), além de algumas definições da NBR 6215/2011.

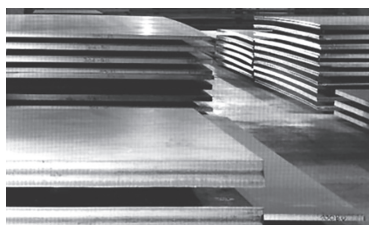
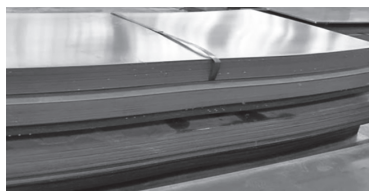
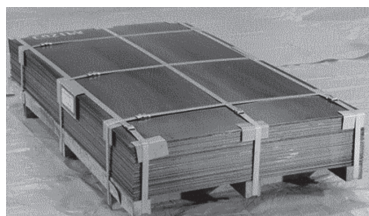
Os *produtos acabados planos* são obtidos por laminação a quente de placas em cilindros lisos (sem canais), podendo ainda ser laminados a frio em etapas subsequentes. Esses produtos planos são classificados, de acordo com as dimensões (segundo a NBR 6215/2011 e com algumas inserções do autor por existirem falhas na norma), em:

bobina (rollo/coil) – produto plano laminado, com largura mínima de 600 mm, enrolado na forma cilíndrica e com comprimento variável;



chapa (*plancha/sheet*) – produto plano de aço, com largura superior a 600 mm, laminado a partir de placa, podendo ser obtido de bobina.

- Chapa fina (*plancha delgada/sheet*) – chapa cuja espessura¹ é igual ou inferior a 5,00 mm e igual ou superior a 0,30 mm.
- Chapa fina a frio (*plancha delgada laminada en frio/cold rolled sheet*) – chapa fina cuja espessura final é obtida por laminação a frio.
- Chapa fina a quente (*plancha delgada laminada en caliente/hot rolled sheet*) – chapa fina cuja espessura² final é obtida por laminação a quente.
- Chapa grossa (*chapa gruesa/plate*) – chapa cuja espessura é superior a 5,00 mm (de acordo com a NBR 11889/2011 – Bobinas e chapas grossas de aço-carbono e de aço de baixa liga e alta resistência – Requisitos, as bobinas e chapas do laminador contínuo são fabricadas com espessuras entre 5,00 mm e 16,00 mm, e, acima dessa espessura, o produto plano é fabricado, geralmente, no laminador reversível).³
- Chapa galvanizada ou zincada (*chapa galvanizada/galvanized sheet*) – chapa fina de aço revestida, em uma ou ambas as faces, com camada de zinco ou suas ligas (zinco-alumínio, zinco-ferro), aplicada por imersão a quente ou por eletrodeposição.
- Chapa de piso ou xadrez (*chapa embutida/flooring sheet* ou *tear plate*) – chapa que apresenta em uma das faces uma configuração geométrica em relevo, destinada a assegurar características antiderrapantes, podendo também ser fornecida em bobina;



¹ A EN 10079/2007 (Definition of steel products) estipula o valor de 3,0 mm para separação entre chapas finas (*sheet*) e grossas (*plate*). A NM-COPANT 1588/1996 (Produtos siderúrgicos – Definições e classificação) também faz a mesma divisão. Já a norma estadunidense ASTM A6/2012 (Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling) designa “chapa grossa” (*plate*) o produto plano com espessura > 6 mm e largura > 200 mm, ou espessura > 4,5 mm e largura > 1.200 mm.

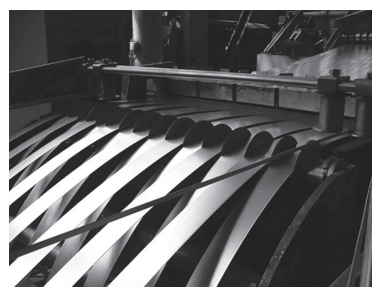
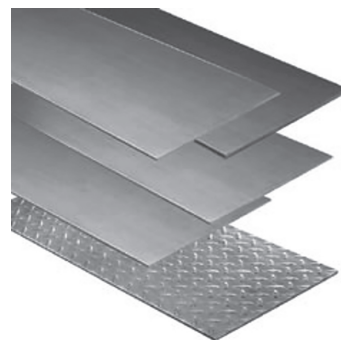
² Apesar de a norma considerar como bobina laminada a quente a partir da espessura de 1,2 mm, já existem empresas que realizam a laminação de bobinas com uma espessura de 0,8 mm.

³ Já existem empresas que laminam e bobinam chapas grossas com espessuras acima de 18 mm.

tira (fleje/strip) – produto laminado plano, com largura igual ou inferior a 600 mm.

- Tira cortada – produto plano laminado fornecido com comprimento definido. Pode ser obtido de rolos cortados aplainados ou de corte mecânico de chapas finas a frio, chapas finas a quente, chapa grossa ou qualquer produto plano laminado.
- Tira relaminada (*tira relaminada/rolled cold strip*) – tira laminada a frio, com espessura igual ou inferior a 8,00 mm, que se distingue da tira cortada por ter tolerâncias mais restritas na espessura e largura decorrentes do processamento de fabricação.

Observação: A NM-COPANT 1588/1996 define tira estreita laminada quando a largura é menor que 600 mm, e tira larga laminada quando a largura é igual ou maior que 600 mm, definição semelhante à da EN 10079/2007 (sem a menção de espessura nas duas normas citadas), porém, nessa norma, o termo *strip* se refere a um produto bobinado;



rolo (rodillo/platen) – produto plano relaminado a frio ou produto plano laminado, com largura igual ou inferior a 600 mm, enrolado na forma cilíndrica de tal modo que a largura final do rolo seja igual à largura do produto plano (rolo simples), ou, então, de modo que a largura final do rolo seja superior à largura do produto plano, o qual é obtido em sistema oscilante (rolo zigue-zague).

Na NBR 6215/2011, o rolo é definido como produto resultante do bobinamento do *aço longo*, com seção transversal tipicamente redonda, proveniente de laminação a quente, trefilação ou laminação a frio;



fita de aço para embalagem (*cinta de acero para empacquetamiento/steel strip for packing ou steel band for package*) – produto plano laminado, com espessura igual ou inferior a 1,50 mm e largura igual ou inferior a 51,00 mm, utilizado como elemento de fixação e compactação no acondicionamento e/ou na embalagem. É fornecido na forma de rolo;

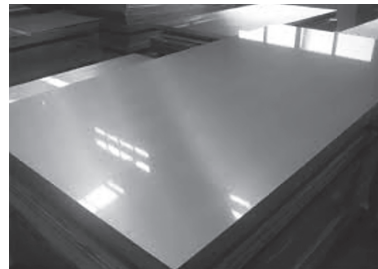
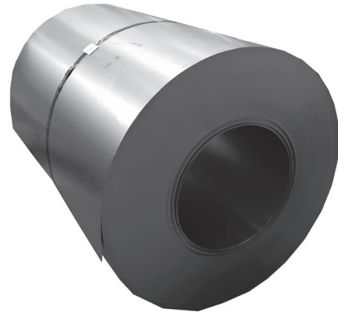


folha (*hoja/sheet*) – produto plano laminado de aço baixo carbono, com espessuras entre 0,12 e 0,49 mm, revestido com estanho ou cromo, e não revestido.

- Folha de flandres – folha laminada de aço-carbono, revestida, em ambas as faces, com estanho, pelo processo de eletrodeposição e passivação com compostos de cromo.
- Folha de flandres revestida com revestimento diferencial – folha que apresenta camada nominal de estanho diferente em cada uma das faces.
- Folha cromada – folha de aço com baixo teor de carbono, revestida em ambas as faces com camada de cromo aplicada por eletrodeposição.
- Folha não revestida – folha laminada de aço sem revestimento protetivo, normalmente oleada e sem nenhum outro tratamento superficial.

A NM 42/2001 (Folha de flandres e chapa não revestida em folhas e bobinas de simples e dupla redução) define:

- bobina e folha não revestida de simples redução: obtidas por laminação a frio a partir de uma tira laminada a quente de espessura entre 0,17 mm e 0,53 mm;
- bobina e folha duplamente reduzida: obtidas por relaminação a frio a partir de uma tira laminada a quente, que tem uma maior redução a frio no laminador de encruamento depois de recozida, em espessuras de 0,15 mm a 0,38 mm.



Na Figura 1.1, são representados os limites dimensionais para os produtos planos laminados. Observa-se que esses limites não são muito claros na norma.

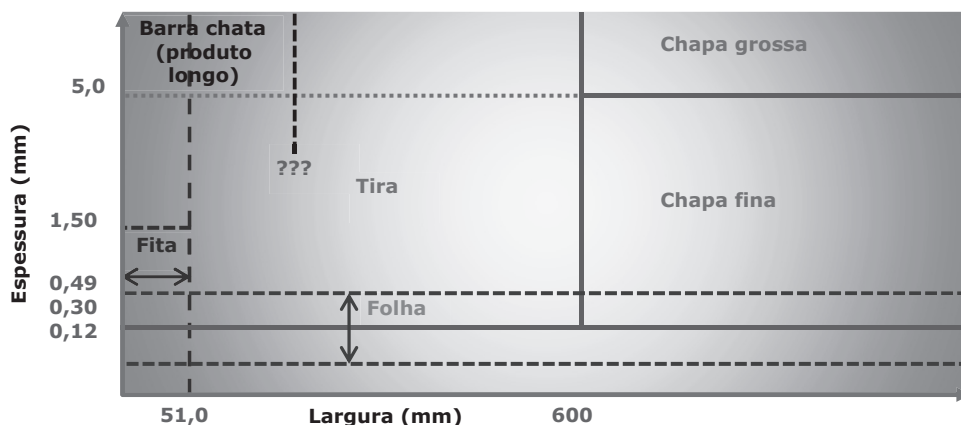


Figura 1.1 – Representação esquemática dos limites dimensionais entre produtos planos laminados (com algumas incoerências na norma).

Apesar de a ABNT e algumas normas internacionais, como a ASTM, definirem que produtos com espessuras acima de 5 mm são classificados como chapas grossas, algumas empresas consideram como chapa grossa um produto que é fabricado na linha de chapas grossas e que possui espessura $\geq 6,0$ mm e largura ≥ 900 mm.

A EN 10079/2007 menciona o termo *wide flat* para designar o produto plano com $150,0 < \text{largura} \leq 1.250$ mm, e espessura $> 4,0$ mm, com 4 faces laminadas na execução dos passes, de modo a se obterem as quinas retangulares, e sempre fornecido na forma linear, isto é, sem ser bobinado. Nessa norma, as chapas grossas e finas (*plates* e *sheets*) são produzidas com livre deslocamento das bordas. Estas podem ser fornecidas laminadas ou podem ser cortadas por tesouras, guilhotinas e maçaricos, ou serem chanfradas.

É importante reforçar ainda que, nessa norma, o termo *strip* se refere a um produto bobinado, que pode ser desbobinado e cortado para gerar peças de comprimento específico ou folhas. Em função da largura, tem-se: *wide strip* (largura ≥ 600 mm) e *narrow strip* (largura < 600 mm), quando laminada com a largura abaixo de 600 mm; ou *slit wide strip*, quando laminada com largura ≥ 600 mm e cortada para largura abaixo de 600 mm antes do despacho. Essa norma especifica que, para produtos com largura acima de 600 mm, estes só são classificados como laminados (*cold rolled flat product*) se forem submetidos a um grau de deformação da seção transversal acima de 25%. Para produtos com largura menor que 600 mm ou para determinados tipos de aços especiais, um grau de redução menor que 25% pode ser exigido.

Um produto laminado que também apresenta a seção transversal retangular é a *barra chata (barra plana/flat bar)*, barra de seção transversal retangular, de cantos vivos ou arredondados, com espessura superior a 2,50 mm e largura inferior⁴ a 300 mm. Esse produto, apesar de ser plano, é classificado como um produto laminado *longo*.

Observa-se que também podem ser produzidas *barras chatas* de aço laminadas a frio (*cold finished flat bars*) com espessura igual ou superior a 6,35 mm e largura de até 304,8 mm (12”), tomando-se como referência normas dos Estados Unidos (ASTM A108/2007 – Standard Specification for Steel Bar, Carbon and Alloy, Cold-Finished). Essas dimensões normalmente dificultam a obtenção da barra por processos de trefilação (*drawn bar*) a partir de produtos laminados a quente, razão pela qual é empregado o processo de laminação, para atender às exigências de propriedades mecânicas (maior resistência à deformação, limite de escoamento e dureza), acabamento superficial e precisão dimensional. Essas exigências podem explicar por que em alguns casos não são empregados processos que realizam a subdivisão longitudinal de chapas grossas laminadas a quente para atender às especificações dimensionais para as barras chatas, o que, a princípio, seria mais produtivo e econômico.

Em Rizzo (2007), que faz parte de uma série de publicações da ABM e cuja leitura é recomendada, são apresentadas as especificações dimensionais de produtos laminados semiacabados laminados e lingotados, além de exemplos típicos de aplicações de produtos planos acabados.

Outro aspecto a ser observado é o fato de o mercado disponibilizar *bitolas padronizadas* (séries de espessuras padronizadas), designadas por números ou por dimensões-padrão (expressas em milímetros ou polegadas) para os produtos planos laminados a quente e a frio, assim como o faz para diversos tipos de produtos longos. No caso da laminação de chapas, deve-se ficar atento ao fato de que um determinado número de bitola (em inglês, podem ser utilizados os termos *gage* ou *gauge*) pode indicar dimensões diferentes para aços e ligas não ferrosas (são especificados principalmente produtos de ligas de alumínio e cobre). As Tabelas também apresentam as tolerâncias dimensionais padronizadas, bem como as tolerâncias e a equivalência entre massa e espessura fixadas por normas técnicas, muitas vezes não devidamente mencionadas, para as diversas bitolas. A largura nominal pode ser definida por acordo prévio entre fornecedor e cliente. Para um aprofundamento deste tópico, recomenda-se a consulta das normas técnicas para produtos planos que apresentem em seu título os termos “padronização” ou “especificação”.

⁴ Na EN 10079/2007 e na ASTM A6/2012, tem-se a especificação para *flat bar*: espessura $\geq 5,0$ mm e largura ≤ 150 mm. A ASTM A6/2012 ainda aceita: espessura $\geq 6,0$ mm e largura ≤ 200 mm.

1.2 FLUXOGRAMAS PARA A FABRICAÇÃO DE PRODUTOS PLANOS LAMINADOS A FRIO

Um fluxograma geral do processo de laminação de produtos planos de aço é apresentado na Figura 1.2, na qual pode ser observado que os produtos planos laminados a quente de aço podem ser fabricados por um dos dois caminhos específicos descritos a seguir:

- produção de *chapas grossas*;
- produção de *bobinas* que podem ou não ser laminadas a frio e, depois, também de forma opcional, ser revestidas.

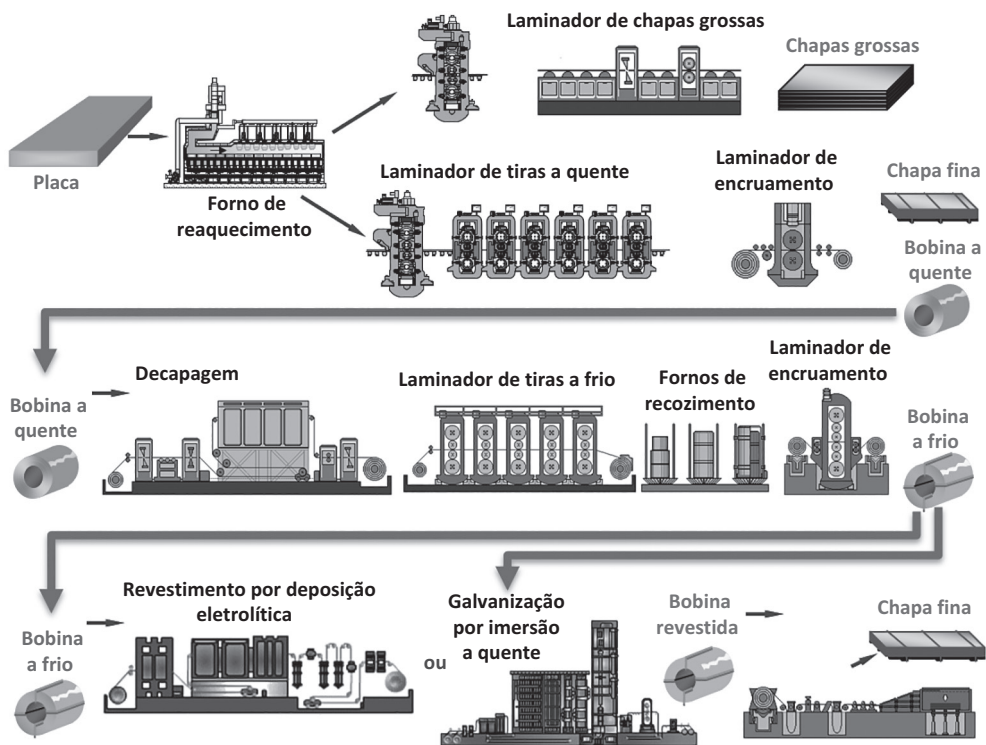


Figura 1.2 – Fluxograma de produção típico da área de laminação de produtos planos de indústrias siderúrgicas.

Como pode ser observado na Figura 1.2, as *placas* são reaquecidas nos fornos de reaquecimento das respectivas linhas e podem seguir por dois caminhos distintos: ou são encaminhadas a um *laminador de chapas grossas*, onde a espessura da placa será reduzida; ou são encaminhadas para o *laminador de tiras a quente*, onde serão obtidas as bobinas de chapas laminadas a quente. Apesar de haver faixas comuns em alguns valores dimensionais, os produtos apresentam características e aplicações bastante

distintas. Esses *produtos acabados* devem atender às especificações estabelecidas em termos de propriedades mecânicas, forma, dimensões, acabamento superficial, entre outros critérios. Outro ponto a ser observado é o fato de que, para alguns tipos de aços, ocorrem alterações na sequência de processos, fato que será discutido posteriormente neste texto.

As *bobinas de tiras (chapas) laminadas a quente* podem, por sua vez, seguir vários caminhos distintos:

- podem servir de matéria-prima para o *laminador de tiras (bobinas) a frio*, obtendo-se, assim, chapas e tiras laminadas a frio, com ou sem revestimentos superficiais. Essas bobinas podem ser subdivididas ao longo do comprimento e/ou da largura para se obterem *folhas* ou *fitas* laminadas. As bobinas com esse destino têm normalmente espessura entre 2,0 mm e 3,0 mm;
- podem ser utilizadas na *fabricação de tubos com costura*, por diversos processos;
- podem servir de matéria-prima para os *laminadores a frio tipo Sendzimir*, para o caso de aços especiais (inoxidáveis, ao silício etc.), dos quais são obtidas as folhas laminadas.

As tiras oriundas do laminador de tiras a quente podem também ser utilizadas para a fabricação de peças por dobramento, longarinas, rodas, vigas, vasos de pressão etc.

As *operações de acabamento* de produtos planos laminados podem envolver operações de tratamentos térmicos (esferoidização, têmpera, normalização, revenimento, recozimento etc.) ou tratamentos superficiais (galvanização, estanhagem para a fabricação de folhas de flandres utilizadas na produção de embalagens, pintura, têmpera superficial etc.). Devido ao fato de as operações de laminação serem, com frequência, as últimas operações que podem alterar a microestrutura do material, elas devem ser projetadas de modo a permitir que a microestrutura desejada seja obtida.

O fluxograma mostrado na Figura 1.3 é de uma usina siderúrgica integrada. Contudo, no caso de produtos planos laminados a frio, é comum a existência de empresas especializadas nas etapas de distribuição dos produtos planos siderúrgicos padronizados laminados a quente e/ou a frio, reprocessados apenas dimensionalmente, sem alteração significativa de espessura e de propriedades mecânicas, denominadas de *centros de serviço*; e a existência de empresas que realizam as etapas de decapagem, laminação a frio, tratamentos térmicos, revestimentos e diversas operações de cortes e acabamento de produtos planos. Tais empresas são comumente denominadas de *relaminadoras*, e parte de seus produtos são denominados de relaminados a frio. Essas empresas podem processar bobinas laminadas a quente e/ou a frio provenientes das usinas siderúrgicas.

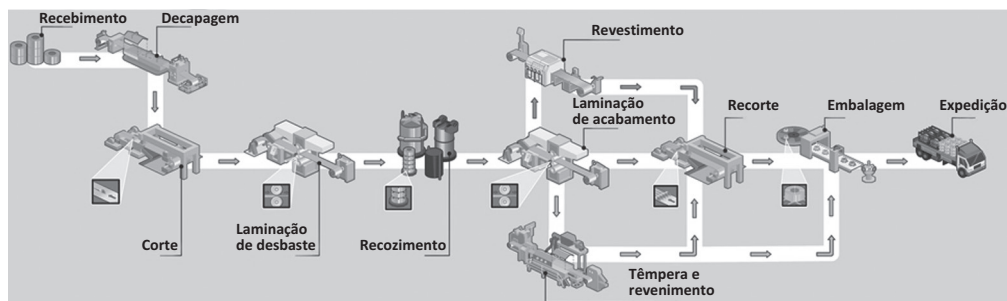


Figura 1.3 – Fluxograma típico de produção de uma empresa relaminadora de aços.

Ressalta-se que, nos fluxogramas apresentados neste Capítulo, são mostrados os principais equipamentos ou processos utilizados na laminação a frio de aços, mas, por limitação de espaço e para não prejudicar a clareza das imagens, alguns processos importantes não são representados; por exemplo, o processo de limpeza eletrolítica, os processos de regeneração de ácidos na decapagem, as linhas de inspeção de produtos laminados etc.

Em Rizzo (2011), que também faz parte desta série de publicações da ABM, são apresentados os processos de laminação a quente para a produção de chapas e bobinas finas e grossas de aço, bem como uma breve análise da classificação dos aços utilizados na fabricação de produtos planos laminados e a distribuição de aplicações desses produtos. Assim, a leitura desta publicação, junto com a do livro citado na página anterior, é de fundamental importância para a compreensão dos assuntos tratados no presente livro. Portanto, nele serão analisados os processos de laminação a frio e suas operações auxiliares de acabamento, tratamento térmico e revestimento e as características dos materiais laminados a frio que o distinguem dos produtos gerados em unidades de laminação a quente.

Ressalta-se ainda que as empresas fabricantes dos produtos planos de aço geralmente se especializam na produção de determinadas categorias de produtos, em função de particularidades de aplicações destes. Uma avaliação do mercado permite que certas categorias básicas de produtos planos de aço possam ser distinguidas, por exemplo:

- produtos de aços-carbono, de aços inoxidáveis e de aços magnético-elétricos;
- produtos planos laminados a quente ou laminados a frio;
- produtos planos revestidos ou não revestidos;
- produtos planos para embalagens (folha de flandres, por exemplo); e
- produtos planos compósitos (*clad*): chapas bimetálicas, chapas ou painéis sanduíches.

A sequência de operações para a obtenção de produtos planos de aço laminados a frio nas usinas não integradas obedece, em linhas gerais, ao fluxograma apresentado na Figura 1.3. Observa-se que, quando os aços do tipo carbono e baixa liga passam por um processo de redução de espessura de intensidade severa, como é típico na laminação a frio (até 90% ou mais em alguns casos), estes apresentam, no final do processo, um elevado grau de encruamento e dureza, o que implica a necessidade de um tratamento térmico que restitua as condições de propriedades mecânicas necessárias para a maior parte de sua utilização posterior. Entretanto, podem ocorrer alterações significativas em função do tipo de aço processado.

Por exemplo, no caso de aços inoxidáveis ou aços siliciosos, geralmente são realizadas as etapas de recozimento e decapagem antes do processo de laminação a frio, ou mesmo para a comercialização de bobinas laminadas a quente, podendo ser ou não aplicado um processo de recozimento após a laminação a frio (Figura 1.4). Isso é necessário para a decomposição da martensita gerada pela deformação a quente em ferrita mais carbonetos, adequando as propriedades do material para a execução do processo de laminação a frio. Como é gerada uma camada de carepa durante a realização da etapa de recozimento, uma etapa de decapagem é necessária para remover essa carepa antes de submeter a bobina ao processo de laminação a frio. Outros tipos de aços podem ser submetidos a um tratamento térmico antes da laminação a frio, como é o caso de aços-mola, aços-ferramenta e aços revenidos. Novas alternativas estão sendo propostas para a laminação a frio de aços inoxidáveis sem a necessidade da aplicação do recozimento prévio.

Em aços elétricos, a laminação de encruamento é realizada antes de processos de recozimento, com o objetivo de se fornecer energia suficiente para o crescimento de grãos. Quando o material é semiprocessado (SP), ele é vendido para o cliente após uma laminação de encruamento, que garantirá um crescimento de grãos suficiente para boas propriedades eletromagnéticas, sendo o recozimento final realizado pelo comprador. Quando o material é vendido após o processamento completo, ele é denominado totalmente processado (FP).

Em linhas gerais, as vantagens do processo de laminação a frio de produtos planos de aço em relação aos processos de laminação a quente podem ser sintetizadas em:

- possibilidade de se obterem espessuras mais reduzidas;
- excelentes características de acabamento e controle de rugosidade superficial;
- obtenção de faixas mais estreitas de tolerâncias dimensionais, com variações de espessura nominal de até 1,5% ou menos em alguns casos;
- possibilidade de melhor controle de aplainamento com menor coroamento da chapa e melhor controle de forma;

- facilidade no controle das propriedades mecânicas e físicas, com menor variação de propriedades ao longo do comprimento da bobina e com faixas mais estreitas de variação de propriedades;
- lote mínimo de fornecimento normalmente acima de 30 t na laminação a quente, sem a necessidade de cobrança de um sobrepreço, enquanto na laminação a frio esse lote gira em torno de 0,5 t;
- facilidade de fornecimento de acabamentos de superfícies especiais, larguras especiais e uma ampla possibilidade de divisão das bobinas e rolos laminados;
- possibilidade de fornecimento de produtos laminados com um determinado tipo de acabamento superficial (rugosidade e/ou fosfatização) que facilite a lubrificação na interface matéria-prima/ferramenta de conformação nas etapas posteriores, por exemplo, na estampagem;
- possibilidade de fornecimento de produtos com cantos e bordas trabalhadas.

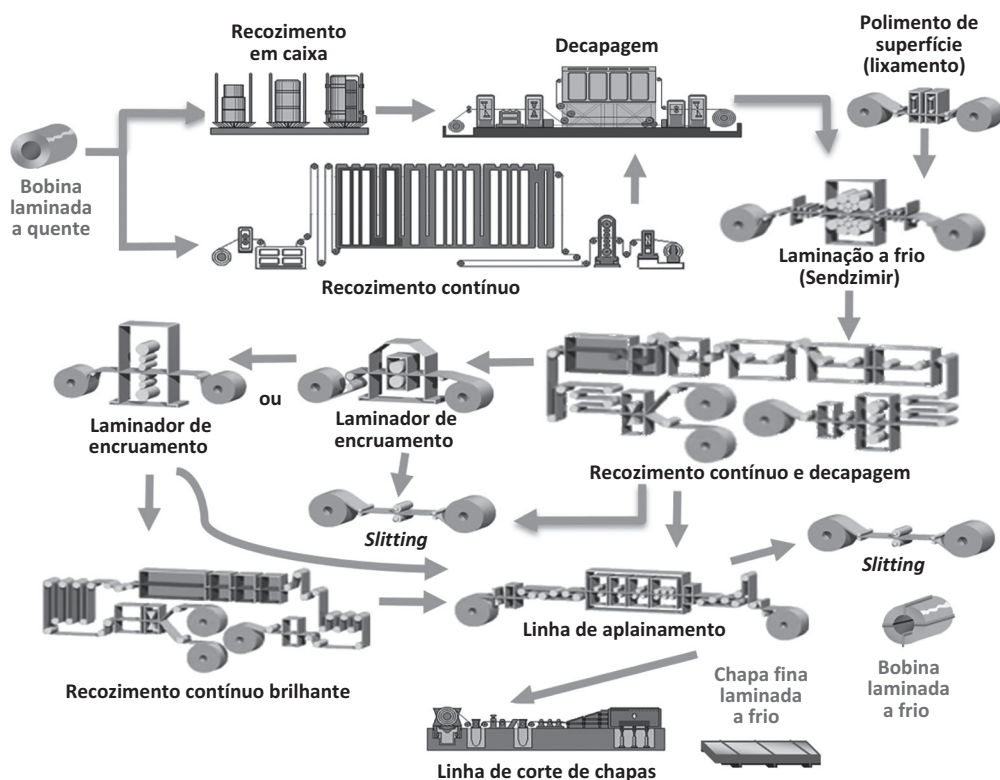


Figura 1.4 – Fluxograma de produção típico da área de laminação de produtos planos de indústrias siderúrgicas de produtos de aços inoxidáveis e elétricos. As bobinas podem ser retiradas como produtos em diversas etapas do processo, ou seja, não precisam passar por todas as etapas para serem comercializadas.

Pode-se concluir que o processo de laminação a frio é utilizado para produzir folhas e chapas finas com acabamento superficial e com tolerância dimensional superiores, comparadas com as chapas finas produzidas por laminação a quente. Além disso, o encruamento resultante da redução a frio pode ser aproveitado para dar maior resistência ao produto final. Uma porcentagem bem superior de produtos de metais não ferrosos é acabada por laminação a frio comparada com os produtos fabricados em aço.

Entretanto, por serem processos de conformação a frio, efetuados à temperatura ambiente, embora algum aquecimento possa ocorrer se a refrigeração não for adequada, as cargas de deformação aplicadas são altas e há limitações nas larguras que podem ser produzidas. Essa limitação de largura está relacionada à elevada carga por unidade de largura e à maior variação de espessura ao longo da largura associada com a laminação de chapas de maior largura, devido à maior flexão dos cilindros. O aquecimento citado pode ser gerado pelo atrito entre o cilindro e a chapa ou pela própria energia interna gerada no processo de deformação plástica do aço. A temperatura da chapa pode ser elevada até valores de 50 °C a 240 °C. Para evitar esse incremento de temperatura na chapa e nos cilindros de laminação, e ainda proporcionar um bom acabamento superficial, utilizam-se refrigerantes e lubrificantes na laminação a frio, ou materiais que exercem as duas funções simultaneamente. O recorde de largura laminada a frio em laminadores comerciais foi atingido em 2011, com uma dimensão de 2.950 mm, embora dimensões maiores possam ter sido obtidas depois desse marco (DANIELI WEAN UNITED, 2012).

Assim como no caso de produtos planos laminados a quente, existe uma série de dimensões padronizadas pelo mercado e ofertada pelos produtores de laminados a frio, respeitando basicamente uma faixa de espessuras. Caso o item final a ser produzido permita a utilização dos materiais como apresentados, nas espessuras nominais, conforme padrões ofertados pelos produtores, os custos de fabricação envolvidos serão menores.

A matéria-prima para a laminação a frio de produtos planos são as bobinas laminadas a quente e decapadas. Observa-se que, no caso, a laminação a frio de metais não ferrosos pode ser realizada a partir de bobinas a quente ou, como no caso de certas ligas de cobre, diretamente de peças fundidas. No caso dos aços, as bobinas laminadas a quente utilizadas como matéria-prima apresentam uma faixa de espessura de 1,5 mm a 5,0 mm, gerando produtos laminados a frio com espessura na faixa de 0,02 mm a 4 mm, ou mesmo uma espessura mínima de 0,01 mm no caso de aços inoxidáveis. Essas faixas de espessuras de matérias-primas e produtos dependem do tipo de aço das aplicações almejadas para os produtos. Valores inferiores aos citados também podem ser produzidos, embora em uma escala muito menor, ou seja, sob encomenda ou para atender determinados nichos de mercado. Uma discussão sobre os limites de espessura mínima que pode ser obtida no processo de laminação a quente e a frio é apresentada no Capítulo 3.

Normalmente, os produtos planos laminados a frio são fornecidos na forma de bobinas ou chapas, com bordas naturais de laminação ou aparadas, acabamento superficial brilhante, espelhado, fosco ou áspero, usualmente oleadas para proteção contra oxidação, no caso de aços-carbono. Observa-se que, na laminação a quente, o acabamento é geralmente do tipo comercial. É possível se obter um acabamento uniforme e controlado com variação de rugosidade de 0,02 μm até 3,0 μm . Além do retardamento da oxidação, também podem ser aplicados revestimentos para evitar a contaminação do produto em contato, como ocorre em envasamentos de produtos químicos/alimentares. Para aços inoxidáveis e para alguns aços revestidos, existem especificações particulares de acabamento de superfície e de embalagem que são apresentados posteriormente neste livro.

1.2.1 LAMINAÇÃO A FRIO DE PRODUTOS LONGOS

Nos últimos anos, foram apresentados equipamentos para laminação a frio de arames⁵ que passam a concorrer com o processo de trefilação. Esses equipamentos são empregados na laminação de produtos como arames com seção circular, retangular abaulada ou trapezoidal, com superfície lisa ou nervurada, com bitola de até 10,0 mm. O processo é denominado de *microlaminação a frio* (*cold rolling wire*) e emprega equipamentos similares às máquinas de trefilação, porém, substituindo as fieiras por conjunto de roletes (dois ou três roletes por seção).

As primeiras tentativas para substituir fieiras por roletes foram realizadas no Japão, em 1960, mas o processo conjunto funcional foi apresentado pelos japoneses Gokyu e Saito em 1964. A partir do final da década de 1990, foram comercializadas na Itália linhas de produção com essa tecnologia, que passa a ser utilizada também no Brasil em 1999. Observa-se que a microlaminação permite a introdução de nervuras, como é apresentado na Figura 1.5.

⁵ Embora o processo de laminação a frio de arames já fosse utilizado desde o século XIX, conforme citado, por exemplo, pela empresa alemã Wälzholz GmbH & Co. KG, que montou um laminador a frio com cilindros de ferro fundido e tanques de têmpera, adequados para fabricação de fios de crinolina laminados a frio. Crinolinas eram armações usadas sob as saias para lhes conferir volume.

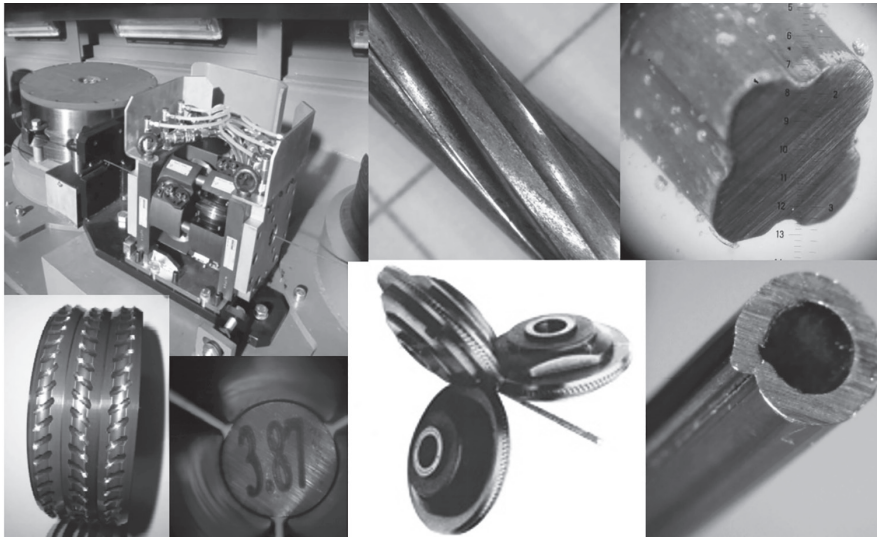


Figura 1.5 – Exemplos de ferramental e peças produzidos por microlaminação a frio de produtos longos.

Fonte: Eurorolls Group.

1.3 APRESENTAÇÃO DAS NORMAS TÉCNICAS RELATIVAS A PRODUTOS PLANOS LAMINADOS A FRIO

Em Rizzo (2011) são apresentados conceitos e dados fundamentais para a compreensão dos processos discutidos no presente texto. Além dos equipamentos, operações e caracterização dos produtos planos laminados a quente, matéria-prima para laminação a frio, também é apresentada uma classificação e caracterização dos aços empregados na fabricação de produtos planos laminados, a distribuição em volume dos diversos tipos de aplicações e exemplos de aplicações para os produtos planos laminados no Brasil e no mundo. Nessas avaliações, não é feita uma distinção entre produtos planos laminados a quente e laminados a frio. Também é feita uma apresentação das principais normas técnicas da ABNT relativas à classificação, à especificação e à aplicação dos aços.

A apresentação de *normas técnicas* é justificada pelo fato de que elas são elaboradas por organizações que reúnem consumidores, produtores e órgãos regulamentadores da fabricação e utilização de produtos, criando critérios para regulamentar a produção, o aceite e a utilização desses produtos. Isso se traduz em uma excelente ferramenta para garantir a segurança na aplicação, na produção e na redução de impactos ambientais nessas fases, e, atualmente, avançando para a reciclagem dos produtos (ciclo de vida). As normas são usualmente elaboradas para aqueles produtos ou tipos de aplicações considerados relevantes, em termos de volume de produção, ou estratégicos, em função de aspectos relacionados com a segurança (pessoas, meio ambiente ou equipamentos) ou sofisticação na aplicação dos produtos (valor agregado ou estratégico).

Portanto, a relação de normas permite ao leitor conceber um razoável panorama do mercado de produtos planos laminados. A compreensão e a utilização dessas normas facilitam muito a seleção e a especificação correta, econômica e segura dos aços. Essa afirmação pode parecer óbvia, mas essas atividades ainda carecem de pessoas qualificadas no mercado brasileiro.

Em Rizzo (2011) são apresentadas as normas de seleção e especificação de aços para produtos planos laminados a quente (chapas ou bobinas finas e grossas). Essa relação será complementada no presente texto com as normas de seleção e especificação de aços para produtos planos laminados a frio (chapas, tiras, bobinas, fitas, rolos etc.). A seguir, é apresentada uma relação complementar com normas da ABNT e ABNT NM (Mercosul) que dizem respeito aos produtos planos laminados a frio revestidos ou não (normas que se referem a chapas e tiras laminadas a quente e/ou a frio são mencionada no citado livro):

- NBR 10734/2015 – Folhas laminadas de aço-carbono revestidas eletroliticamente com estanho ou cromo ou não revestidas – Defeitos de superfície, forma e dimensões – Terminologia;
- NBR 11888/2018 – Bobinas e chapas finas a frio e a quente de aço-carbono e de aço de alta resistência e baixa liga – Requisitos gerais;
- NBR 14513/2022 – Telhas de aço de seção ondulada e trapezoidal – Requisitos;
- NBR 14762/2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- NBR 14964/2018 – Produtos planos de aço zincados pelo processo contínuo de eletrodeposição – Requisitos gerais;
- NBR 14965/2017 – Tiras de aço relaminado microligado de alta resistência mecânica – Requisitos;
- NBR 15253/2014 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações – Requisitos gerais;
- NBR 15490/2007 – Ensaio de efeito mola (springback) em folhas laminadas de aço-carbono duplamente reduzidas, revestidas eletroliticamente com estanho ou cromo, ou não revestidas – Método de ensaio;
- NBR 15578/2008 – Bobinas e chapas de aço revestidas com liga 55% alumínio – Zinco pelo processo contínuo de imersão a quente – Especificação;
- NBR 16158/2013 – Produtos planos de aço para fins elétricos, de grão não orientado, semiprocessados – Especificação;
- NBR 16284/2018 – Bobinas e chapas de aço bifásico revestidas com zinco ou liga de zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Especificação;
- NBR 16539/2016 – Chapas e bobinas de aço revestidas com liga de alumínio-silício pelo processo contínuo de imersão a quente – Requisitos;

- NBR 16580/2017 – Bobinas e chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica para uso estrutural – Requisitos;
- NBR 16875/2020 – Chapas e bobinas de aço laminadas, revestidas ou não, para peças estampadas a quente – Requisitos;
- NBR 5007/2020 – Tiras relaminadas de aço de baixo teor de carbono para estampagem – Requisitos;
- NBR 5599-1/2012 – Tubo de aço-carbono de precisão – Parte 1: Tubos trefilados a frio sem solda longitudinal;
- NBR 5599-2/2012 – Tubo de aço-carbono de precisão – Parte 2: Tubos trefilados a frio com solda longitudinal;
- NBR 5599-3/2014 – Tubo de aço-carbono de precisão – Parte 3: Tubos calibrados a frio, com solda longitudinal;
- NBR 5903/2015 – Produtos planos laminados de aço – Terminologia;
- NBR 5915-1/2013 – Chapas e bobinas de aço laminadas a frio – Parte 1: Requisitos;
- NBR 5915-2/2013 – Chapas e bobinas de aço laminadas a frio – Parte 2: Aços para estampagem;
- NBR 5915-3/2013 – Chapas e bobinas de aço laminadas a frio – Parte 3: Aços isotrópicos e aços estruturais de extrabaixo carbono;
- NBR 5915-4/2013 – Chapas e bobinas de aço laminadas a frio – Parte 4: Aços endurecíveis em estufa;
- NBR 5915-5/2013 – Chapas e bobinas de aço laminadas a frio – Parte 5: Aços refosforados;
- NBR 5915-6/2013 – Chapas e bobinas de aço laminadas a frio – Parte 6: Aços microligados;
- NBR 5920/2015 – Bobinas e chapas finas laminadas a frio, de aços de baixa liga e alta resistência, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – Requisitos e ensaios;
- NBR 5921/2015 – Bobinas e chapas finas laminadas a quente, de aços de baixa liga e alta resistência, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – Requisitos e ensaios;
- NBR 6353/2014 – Tiras de aço-carbono relaminadas – Requisitos gerais;
- NBR 6355/2012 – Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização;
- NBR 6591/2008 – Tubos de aço-carbono com solda longitudinal de seção circular, quadrada, retangular e especial para fins industriais – Especificação;

- NBR 6649/2014 – Bobinas e chapas finas a frio de aço-carbono para uso estrutural – Especificação;
- NBR 6651/2013 – Bobinas e chapas finas de aço-carbono, laminadas a frio, para esmaltação vítrea – Especificação;
- NBR 6653/1991 – Fitas de aço para embalagem;
- NBR 6658/2020 – Bobinas e chapas finas de aço-carbono para uso geral – Especificação;
- NBR 6661/2012 – Tiras relaminadas a frio, temperadas e revenidas de aço de alto teor de carbono ou de aço ligado, destinadas à fabricação de serras de fita para madeira (SFM) – Especificação;
- NBR 6662/2008 – Tiras relaminadas de aços-carbono e aços ligados – Especificação;
- NBR 6665/2014 – Folhas laminadas de aço-carbono revestidas eletroliticamente com estanho ou cromo ou não revestidas – Especificação;
- NBR 6839/2012 – Tiras relaminadas a frio, de aço de alto teor de carbono, destinadas à fabricação de serras de fita para metais – Especificação;
- NBR 7008-1/2012 – Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 1: Requisitos;
- NBR 7008-2/2012 – Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 2: Aços de qualidade comercial e para estampagem;
- NBR 7008-3/2012 – Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 3: Aços estruturais;
- NBR 7008-4/2013 – Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 4: Aços endurecíveis em estufa;
- NBR 7008-5/2012 – Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 5: Aços refosforados;
- NBR 7008-6/2012 – Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Parte 6: Aços microligados;
- NBR 7013/2013 – Chapas e bobinas de aço revestidas pelo processo contínuo de imersão a quente – Requisitos gerais;
- NBR 7407/2009 – Folhas de aço – Determinação da dureza Rockwell superficial;
- NBR 8267/2008 – Bobinas e chapas de aço-carbono e aço de baixa liga e alta resistência, para fabricação de aros e discos de rodas de veículos automotores e derivados – Especificação;

- NBR 8268/1983 – Produto plano laminado de aço-carbono e de aço baixa liga e alta resistência – Embalagem – Padronização;
- NBR 8269/2014 – Produtos planos laminados de aço-carbono e aço baixa liga e alta resistência, processados por centros de serviço – Requisitos gerais;
- NBR 8640/2016 – Chapa fina a frio de aço-carbono em bobina – Tratamento térmico de recozimento branco – Requisitos;
- NBR NM 71/2000 – Produtos planos de aço para uso elétrico, de grão não orientado, totalmente processados;
- NM 100/1996 – Chapas de aço-carbono, laminadas a frio, aluminizadas por imersão a quente, tipo 1, para uso geral e estampagem;
- NM 141/1998 – Tiras de aço com teor de carbono maior que 0,25% e ligados, laminadas à quente;
- NM 144-1/1998 – Requisitos gerais para produtos laminados planos de aço-carbono e aço de baixa liga e alta resistência. Parte 1: Laminados a frio;
- NM 144-2/1998 – Requisitos gerais para produtos laminados planos de aço-carbono e aço de baixa liga e alta resistência. Parte 2: Produzidos em laminadores de tiras a quente;
- NM 144-3/1998 – Requisitos gerais para produtos laminados planos de aço-carbono e aço de baixa liga e alta resistência. Parte 3: Chapas grossas produzidas em laminador reversível;
- NM 145/1998 – Chapas de aço-carbono, laminadas a frio, chumbadas por imersão a quente, para uso geral e estampagem;
- NM 233/2000 – Chapas finas de aço laminadas a frio, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural;
- NM 262/2001 – Bobinas e chapas finas de aço, laminadas a frio, com alto limite de escoamento, revestidas ou não revestidas, com característica de endurecimento após deformação por cura da pintura em estufa;
- NM 72/1996 – Tiras de aço-carbono, relaminadas a frio, com um teor máximo de carbono de 0,25%;
- NM 73/1996 – Embalagem para produtos planos laminados;
- NM 94/1996 – Chapas de aço-carbono, laminadas a frio, qualidade comercial para uso geral;
- NM 96/1996 – Chapas de aço-carbono, laminadas a frio, aluminizadas por imersão a quente, tipo 2, para uso geral;
- NM 98/1996 – Tiras de aço para embalagem;
- NM-COPANT 1550/1993 – Bobinas de chapas de aço de baixo carbono laminadas a quente destinadas a laminação a frio.

Outras normas para decapagem, produtos revestidos, tratamentos térmicos e acabamento de produtos planos de aço laminados a frio são apresentadas nos Capítulos que tratam especificamente desses temas.

1.4 APLICAÇÕES TÍPICAS DE PRODUTOS PLANOS LAMINADOS A FRIO

De forma mais simplificada, sem avaliar toda a gama de normas técnicas nacionais e internacionais disponíveis, pode-se considerar que os aços-carbono e de baixa liga mais utilizados na fabricação de chapas finas laminadas a frio podem ser agrupados, em termos de qualidade e aplicação, nas seguintes categorias:

- qualidade usos gerais – este agrupamento refere-se aos aços ao carbono sem adição de elementos de liga, dos quais apenas se garante a composição química;
- qualidade estrutural – aplicação: peças e partes externas de veículos, máquinas, vagões, móveis de aço e recipientes em geral. Neste grupo, enquadram-se os aços estruturais de resistência média e boa soldabilidade, além de melhor resistência a corrosão que os aços ao carbono comum (teor de cobre mínimo de 0,20%). São utilizados em operações de simples dobramento ou estampagem leve;
- qualidade estrutural soldável de alta resistência, resistente à corrosão atmosférica – aplicação: transformadores, polo de geradores, pré-aquecedores de ar, revestimento de tanques, radiadores, incineradores, calhas etc. São aços de baixa liga, caracterizando-se pela alta resistência à corrosão atmosférica, além de boa soldabilidade, o que os indica para emprego em equipamentos sujeitos a ação do desgaste, corrosão e intempéries. Sua utilização, quando comparada à dos aços comuns, proporciona economia, fruto da redução da espessura;
- qualidade estampagem – aplicação: peças conformadas, expostas ou não. Neste agrupamento, enquadram-se as chapas de aço que sofrem conformações por meio de estampagem, estiramento e repuxamento. Podem ser fornecidas com graus de estampagem apropriados segundo a sua aplicação:
 - ▷ estampagem extraprofunda (EEP) – peças de difícil estampagem e/ou expostas;
 - ▷ estampagem profunda (EP) – peças de estampagem profunda não expostas;
 - ▷ estampagem média (EM) – peças não expostas de estampagem média.
- qualidade esmaltagem vítrea – aplicação: peças esmaltadas aplicadas em fogões, fornos, aquecedores de água, lavadoras, secadoras, refrigeradores, utensílios domésticos e equipamentos para a indústria química e hospitalar etc. Este agrupamento refere-se aos laminados a frio adequados à esmaltagem vítrea, especificações da NBR-6651, podendo ser fornecidos em dois graus distintos:

- ▷ QCV – qualidade comum para esmaltagem vítrea;
- ▷ EEV – estampagem extraprofunda resistente ao envelhecimento, para esmaltagem vítrea.

Quanto às propriedades, as chapas do grau QCV suportam estampagem média e as do grau EEV, além da resistência ao envelhecimento, suportam estampagem extraprofunda (altura do embutimento).

Nos processos de laminação a frio, outra parte das chapas finas laminadas a quente é destinada à laminação a frio, para a produção de chapas finas (espessura na faixa de 0,38 mm a 1,0 mm) e folhas (espessura igual ou inferior a 0,38 mm), que são aplicadas após a aplicação ou não de revestimentos protetores (zincagem, estanhagem, cromação etc.), em usos como estampagem de carrocerias de automóveis, embalagens de alimentos, telhas, tubos de pequeno diâmetro, autopeças, fitas e componentes eletroeletrônicos.

Para avaliarmos as principais aplicações dos produtos planos de aço, são apresentados nas Tabelas 1.1 e 1.2 alguns dados do ano de 2012 relativos à distribuição das aplicações dos produtos laminados de aço (chapas grossas, chapas finas, laminados a quente, laminados a frio, revestidos ou não). Apesar de esses dados levarem em conta os produtos planos e longos, eles apresentam uma razoável ideia da distribuição do consumo de aço por diversos tipos de aplicações. Observa-se que, em algumas fontes de dados estatísticos, são apresentados os dados relativos ao mercado de produtos siderúrgicos, que é atendido por meio de distribuidores e revendedores. Entretanto, ao se avaliar a redistribuição setorial das vendas destes, é possível calcular o consumo aparente dos setores consumidores finais.

Tabela 1.1 – Dados da distribuição das aplicações por setor dos produtos laminados de aço no mundo em 2012

Setor	Produtos planos (Mt)	Produtos longos (Mt)	Tubos (Mt)	Total (Mt)	Total (%)
Construção civil (incluindo estruturas)	126	390	22	538	38,1%
Máquinas e equipamentos (engenharia mecânica)	121	148	16	285	20,2%
Setor automotivo	64	16	0	80	5,7%
Outros meios de transporte (incluindo construção naval e ferroviária)	48	11	0	59	4,2%

(continua)

Tabela 1.1 – Dados da distribuição das aplicações por setor dos produtos laminados de aço no mundo em 2012 (*continuação*)

Setor	Produtos planos (Mt)	Produtos longos (Mt)	Tubos (Mt)	Total (Mt)	Total (%)
Utilidades domésticas (incluindo a área de engenharia elétrica)	44	0	0	44	3,1%
Mercadorias de metal (utilidades comerciais e processos de fabricação)	204	66	5	275	19,5%
Óleo e gás (exploração e transporte)	1	0	65	66	4,7%
Outros	36	28	0	64	4,5%
Total	644	660	109	1.413	100%

Fonte: Metals Consulting International.

Tabela 1.2 – Dados da distribuição das aplicações por setor dos produtos laminados de aço no Brasil em 2012

Setor	Subsetor	Brasil (%)
Bens de consumo	Automotivo	22,1%
	Utilidades domésticas e comerciais (linha branca)	6,4%
	Embalagens	2,9%
Bens de capital	Máquinas e equipamentos	19,7%
Construção civil	–	37,7%
Tubos (pequeno diâmetro)	–	6,0%
Outros	–	5,2%
Total	–	100,0%

Fonte: IABr.

Em relação aos dados de aplicações, é pertinente que sejam feitas algumas considerações a respeito da categorização dos dados levantados. Na categoria *bens de consumo*, são agrupadas as aplicações dos aços planos e longos no setor automotivo, na produção de utilidades domésticas e comerciais e na fabricação de embalagens para acondicionamento de produtos. A classe de aplicação denominada *bens de capital* se refere àquelas aplicações do aço destinadas à fabricação de máquinas que servirão para fazer produtos necessários ao bem-estar da população.

O setor automotivo é um importante setor consumidor de aços laminados planos, tanto em volume como em valor agregado, devido às elevadas exigências de qualidades desse segmento. O tipo mais comum de aço utilizado na indústria automobilística é o aço de baixo carbono, devido à sua capacidade de deformação para assumir as diferentes formas exigidas nas diversas peças dos automóveis (Figura 1.6). Contudo, em função da necessidade atual de se reduzir o peso dos automóveis para, consequentemente, reduzir a emissão de gases poluentes e aumentar a segurança dos passageiros, novos tipos de aço foram desenvolvidos com o objetivo de se obterem resistências mecânicas cada vez mais altas. Outro aspecto que tem assumido um lugar importante nos aços automotivos é o revestimento aplicado aos aços para proteger os automóveis contra a corrosão.

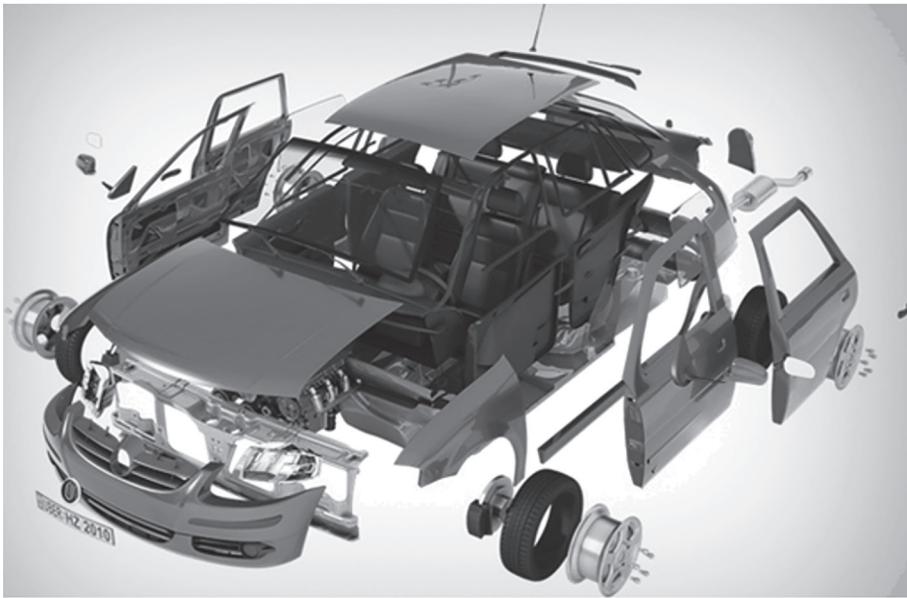


Figura 1.6 – Exemplo de uma “vista explodida”, mostrando os diversos componentes de um automóvel de passeio. Nessa categoria de veículo, em torno de 50% a 60% da massa é confeccionada com aços (planos e não planos, laminados a quente ou a frio).

O sistema construtivo em aço, quando utilizado na *construção civil*, permite liberdade no projeto de arquitetura, maior área útil, flexibilidade, compatibilidade com outros materiais, menor prazo de execução, racionalização de materiais e mão de obra, alívio de carga nas fundações, garantia de qualidade, maior organização nos canteiros de obras e precisão construtiva.

O aço na forma de vergalhões (produto longo) é aplicado em estruturas de concreto armado e/ou alvenaria. Já as *estruturas metálicas* podem ser confeccionadas com *produtos longos* (perfis laminados e tubos sem costura) ou *produtos planos* (perfis

formados a frio, perfis soldados, perfis tubulares com costura e *steel framing*). Os produtos planos laminados são utilizados na fabricação de fachadas, telhas para coberturas e fechamentos, portas e janelas, sistema *drywall* e mobiliário urbano e interiores. O consumo de aço na construção civil teve um razoável crescimento nos últimos anos, mas ainda está muito aquém dos países de primeiro mundo, e mesmo daqueles com renda *per capita* semelhante à nossa. Na Figura 1.7, são apresentados alguns exemplos.

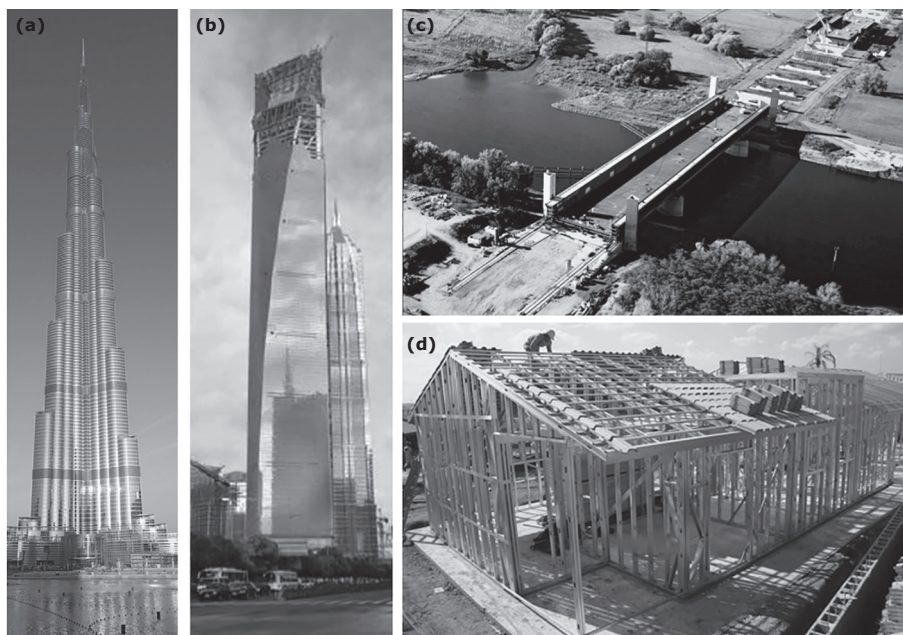


Figura 1.7 – Exemplos do uso do aço na construção civil, com destaque para produtos planos: a) Burj Khalifa, em Dubai, com 828 m e 160 andares; b) edifício SWFC, em Xangai, China, com 492 m e 102 andares; c) tabuleiro e estrutura de pontes em aço; d) utilização do método construtivo denominado de *steel frame*, que emprega perfis conformados com chapas finas de aço.

As *embalagens* de aço são usadas pela indústria em geral, sendo importantes na conservação e no transporte de alimentos, produtos químicos, agrícolas, tintas, gases de cozinha e industriais (Figura 1.8).

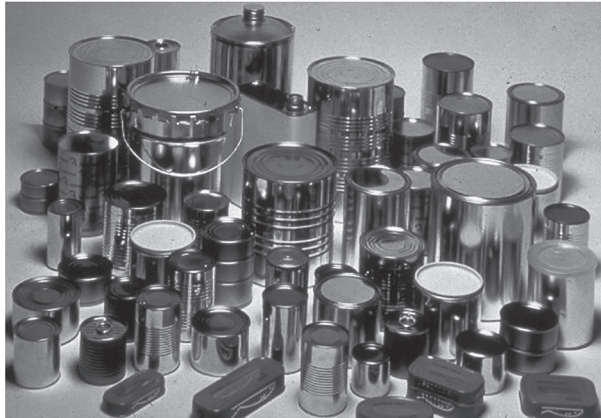


Figura 1.8 – Exemplos de aplicações de produtos laminados planos para fabricação de embalagens para acondicionamento de alimentos (após passarem pela etapa de laminação a frio e revestimento).

Outra importante categoria de aplicação dos aços é denominada de *utilidades domésticas e comerciais*. Nesse caso, o aço é empregado em restaurantes, na cutelaria e artefatos estampados (talheres, baixelas e panelas), cozinhas industriais, móveis, hospitais, laboratórios, empresas em geral e nas casas, por ter a resistência necessária para os mais variados usos em forma de utensílios domésticos e comerciais (Figura 1.9).



Figura 1.9 – Exemplos de aplicações dos aços na produção de utilidades domésticas e comerciais (incluindo hospitalares).

Na Figura 1.10, são apresentados exemplos de aplicações da categoria *bens de capital*, ou seja, aços utilizados na fabricação de máquinas e equipamentos (incluindo agrícolas) que servirão para fazer produtos necessários ao bem-estar da população.

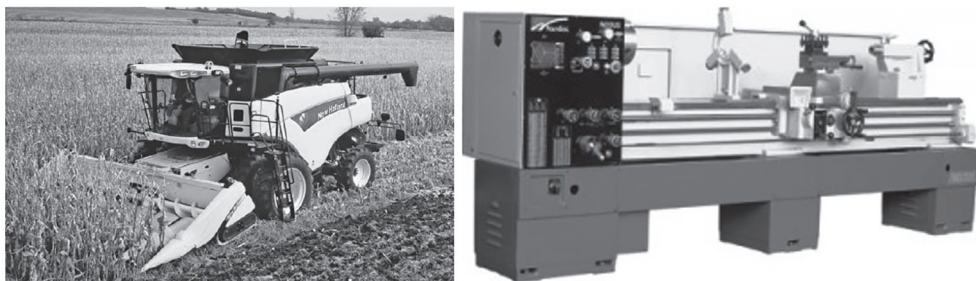


Figura 1.10 – Exemplos de aplicações de produtos laminados para a produção de bens de capital, ou seja, fabricação de máquinas e equipamentos (incluindo agrícolas) que servirão para fazer produtos necessários ao bem-estar da população.

Algumas fontes de dados estatísticos ou estudos setoriais de grande importância nas análises de mercado para investimentos ou para definição de políticas industriais de governos podem utilizar outros critérios para a agregação setorial, ou mesmo uma subdivisão das aplicações.

Por exemplo, é comum considerar-se uma subdivisão do setor de *bens de capital* em: setor de energia, setor de transportes (ferroviário e naval, excluindo-se, portanto, a indústria automobilística) e indústria leve. Outros critérios subdividem ainda o setor de *energia* em áreas: petróleo e gás (extração e transporte, o que inclui tubos de maior diâmetro), energia elétrica (geração e distribuição) e outras fontes de energia (eólica, nuclear etc.).

Os critérios utilizados geralmente não são idênticos entre os países. Na verdade, a distribuição setorial do consumo siderúrgico varia conforme o nível de desenvolvimento econômico dos países e sua vocação regional para determinados tipos de indústrias.

Nas nações mais industrializadas, em função da menor necessidade de investimentos em infraestrutura, a participação relativa da construção tende a ser menor. Por outro lado, países menos industrializados tendem a contabilizar uma maior participação relativa da construção civil.

O perfil do desenvolvimento, o consumo setorial e o grau de urbanização de uma determinada economia, naturalmente, influenciam os tipos de aços a serem demandados e fabricados.

Por exemplo, é digno de nota que na indústria naval e de petróleo e gás existe uma demanda por chapas grossas e aços de requisitos mais elevados em termos de resistência mecânica (tenacidade), resistência à corrosão e soldabilidade, o que exige maiores desenvolvimentos em termos de processos e equipamentos das indústrias siderúrgicas.

Na Tabela 1.3, é apresentada uma distribuição dos diversos tipos de aços produzidos e laminados por uma usina siderúrgica integrada e por uma usina relaminadora, com destaque para o tipo de exigência predominante (rigor) para cada aplicação.

Nesse caso, são apresentadas aplicações de aços do tipo carbono, microligado e baixa liga, não sendo consideradas as aplicações de aço de alta liga e de aços inoxidáveis. Em alguns dos casos mostrados, os produtos laminados a frio são aplicados revestidos.

Tabela 1.3 – Principais aplicações dos produtos laminados a frio de aços do tipo carbono, microligado e baixa liga, destacando-se os principais tipos de aços e critérios (rigor) de qualidade

	<p>Autopeças e peças endurecidas por tratamento térmico ou termo-químico após conformação: Aços de alta resistência: RW, DP, LN e HSLA. Aços de médio e alto teor de carbono temperáveis após conformação. Rigor: dimensão, forma, aspecto, resistência à fadiga, conformabilidade, tenacidade, soldabilidade e limpidez.</p>
	<p>Automobilística: Aços para estampagem extraprofunda e crítica. Aços revestidos e/ou não revestidos. Aços IF, BH, DP, HSLA, ZSTE e isotrópicos. Aços de alta resistência refosforados ou não. Rigor: dimensões, forma, aspecto, controle de dureza, estampabilidade e estiramento.</p>
	<p>Construção civil: Aços soldáveis de alta resistência. Aços resistentes à corrosão – SAC; aço estrutural resistente à corrosão atmosférica; aços revestidos: EG, HDG com pós-tratamento. Rigor: composição química, soldabilidade e boa planicidade. Indicado para produção de telhas, silos, tapamentos laterais da construção civil, forros e peças estruturais.</p>
	<p>Eletrodomésticos (linha branca) e utilidades domésticas: Aço-carbono comum, EG e HDG; aços para pós-tratamento; aços para estampagem; aços para esmaltação vítrea; aços resistentes à corrosão atmosférica (pequenas adições de Cu, Cr e Ni). Rigor: superfície, forma, limpeza, controle de dureza, manuseio, estocagem e transporte.</p>

(continua)

Tabela 1.3 – Principais aplicações dos produtos laminados a frio de aço do tipo carbono, microligado e baixa liga, destacando-se os principais tipos de aço e critérios (rigor) de qualidade (*continuação*)

	<p>Elétrica/eletrônica: Aços de alta eficiência elétrica, GNO-SP. Aços com características de puncionalidade. Rigor: limpeza, dimensão e planicidade. As propriedades magnéticas são adequadas por meio de tratamentos térmicos realizados pelo cliente da usina siderúrgica. Utilizados em pequenos motores e transformadores e em compressores herméticos de geladeiras e aparelhos de ar-condicionado.</p>
	<p>Estrutural comum ou qualidade comercial: Aços do tipo C-Mn com ou sem adição de elementos de liga. Rigor: garantia de composição química e com boas características de corte, dobramento e soldabilidade. Aplicado em peças estruturais com baixa exigência de conformação, nos setores de construção civil, tubos, linha branca e uso geral. Diversos tipos de estruturas e peças que recebem dobramento ou soldagem.</p>
	<p>Embalagens: Produção de embalagens de duas categorias: a) três peças, para armazenamento de óleos comestíveis, ceras, graxas, produtos desidratados, como leite em pó e farinhas; e b) duas peças, para armazenamento de bebidas carbonatadas (cervejas, refrigerantes e sucos). Nesse caso, é geralmente empregado o aço IF. Rigor: conformabilidade, soldabilidade, planicidade e sanidade interna.</p>
	<p>Móveis: Aços do tipo C-Mn com ou sem adição de elementos de liga. Rigor: garantia de composição química e com boas características de corte, dobramento e soldabilidade.</p>

(*continua*)

Tabela 1.3 – Principais aplicações dos produtos laminados a frio de aços do tipo carbono, microligado e baixa liga, destacando-se os principais tipos de aços e critérios (rigor) de qualidade (*continuação*)

	<p>Tubos de pequeno diâmetro: Aços para tubos de pequeno diâmetro utilizados na indústria de móveis e automobilística. Rigor: soldabilidade, limpidez e sanidade interna.</p>
	<p>Aços temperados: São aços para aplicações em peças planas ou sujeitas a um baixo grau de conformação, em que se exige alta resistência mecânica aliada a boa tenacidade, assegurando-se, assim, a estabilidade dimensional e a redução do ciclo de produção do componente. Apresentam um teor de carbono de 0,35% a 1,0%. Exemplos de aplicações: serra, espátulas, molas etc.</p>

Na Figura 1.11 é apresentada uma representação esquemática das diversas aplicações dos produtos laminados a quente, a frio e revestidos produzidos por uma usina siderúrgica integrada (grupo Usiminas), na forma de *segmentos de comercialização*, ou seja, grupos de clientes que adquirem os aços da empresa por mercado de atuação.



Figura 1.11 – Representação esquemática das diversas aplicações dos produtos laminados a quente, a frio e revestidos, produzidos pelo grupo Usiminas.

Processos de decapagem, laminação a frio e recozimento de produtos planos de aço é um relevante referencial teórico para os interessados na fabricação de produtos laminados.

Este livro apresenta e discute os fundamentos que norteiam os fluxos de processos para obtenção de produtos laminados a frio, as suas variáveis, os parâmetros de controle desses itens, os tipos de equipamentos básicos utilizados, bem como as principais normas técnicas adotadas por profissionais dessa área.

Essas informações e dados são fundamentais para o aperfeiçoamento dos processos produtivos, desenvolvimento de novos produtos e estabilidade das linhas operacionais.



www.blucher.com.br

**COLEÇÃO
DE LIVROS
abm**

Blucher



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

Processos de decapagem, laminação a frio e recozimento de produtos planos de aço

Ernandes Marcos da Silveira Rizzo

ISBN: 9786555064544

Páginas: 370

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2022
