

L. A. FALCÃO BAUER

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

JOÃO FERNANDO DIAS
COORDENADOR



LTC

**SÉTIMA
EDIÇÃO**

L. A. FALCÃO BAUER

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

JOÃO FERNANDO DIAS

COORDENADOR



SÉTIMA
EDIÇÃO

32

PRODUTOS SIDERÚRGICOS

Prof. Dr. Luiz Antonio de O. B. de Araújo •

Prof. Dr. Eduvaldo Paulo Sichieri

32.1 Definição e Importância, 779

32.2 Obtenção, 779

32.3 Constituição, 786

32.4 Propriedades, 791

32.5 Produtos Siderúrgicos, 793

32.6 Algumas Normas Relativas aos Produtos Siderúrgicos, 806

32.1 DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA

A metalurgia do ferro recebeu o nome especial de siderurgia, do grego *sideros* (ferro) e *ergo* (trabalho), daí a designação de produtos siderúrgicos para aqueles feitos com ferro e suas ligas.

O ferro é, indiscutivelmente, o metal de maior aplicação na indústria da construção.

Em razão de seu elevado módulo de resistência, permite vencer grandes vãos com peças relativamente delgadas e leves. É usado puro ou em ligas na armação de abóbadas, vigas, pilares, trilhos, esquadrias, coberturas, painéis, condutores, grades etc.; ou por seus compostos, na indústria de tintas; ou para reforçar outros materiais, como é o caso do concreto armado. Por esta razão e para atender às exigências da demanda, seu estudo é muito intenso.

Bastante conhecido até mesmo pelos egípcios e pelos assírios e babilônios, tanto que caracterizou uma idade da Pré-História, foi precedido da mineração do ouro, prata, cobre e bronze. Os povos primitivos da América, por exemplo, já trabalhavam esses metais, mas ainda não tinham chegado ao ferro.

32.2 OBTEÇÃO

32.2.1 Minérios

Os minérios de ferro apresentam-se na forma de carbonatos (siderita), óxidos (magnetita, hematita, limonita) e sulfetos (piritas). A ganga normal é a sílica.

A siderita ou siderose (CO_3Fe) é a combinação de ácido carbônico com ferro. A proporção de ferro é de 30 a 42 %. Tem cor cinza, com matizes amarelos.

A magnetita ou ímã natural (Fe_3O_4) é o minério com propriedades magnéticas, com 45 a 70 % de ferro. Tem grande densidade e cor preta.

A hematita, oligisto ou oca vermelha (Fe_2O_3), no Brasil chamada itabirita (quando estratificada) ou jacutinga (quando pulverulenta), tem de 50 a 60 % de ferro puro e cor escura.

A limonita ou hematita parda ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) possui de 20 a 60 % de ferro, cor parda e com manchas. No Brasil, chama-se tapanhoacanga ou cangol quando aglomera pedaços de hematita.

A pirita (SFe) não é propriamente minério de ferro, mas sim de enxofre, onde o ferro é subproduto.

32.2.2 Produtores

O Brasil é considerado o terceiro maior produtor mundial de minério de ferro. O primeiro é a China, que também é o maior importador e consumidor, ostentando a

maior siderúrgica do mundo. O segundo é a Austrália. Do quarto ao décimo estão Canadá, Ucrânia, Índia, Irã, Cazaquistão, Rússia e África do Sul.¹

O Brasil possui 8,3 % das reservas, a quinta maior do mundo, equivalente a 17 bilhões de toneladas. As reservas do Brasil e da Austrália apresentam o maior teor de ferro contido, da ordem de 60 %. As maiores jazidas brasileiras estão em Minas Gerais, com 61,2 % das reservas nacionais, Mato Grosso do Sul, com 28,1 %, e Pará com 10,4 %.

Existem locais em que o minério cobre centenas de quilômetros quadrados, formando camadas de até 200 m de espessura. Já em 1590, existiam fornos catalães montados no Brasil.

32.2.3 Mineração do Ferro

A extração do minério é geralmente feita a céu aberto, visto que sua ocorrência se dá em grandes massas.

A concentração inicia-se com uma passagem por britadeira, seguida de classificação pelo tamanho. O mineral é lavado com jato de água, para eliminar a argila, terra etc. Como o minério deve entrar no alto-forno com granulometria entre 12 e 25 mm, os pedaços pequenos são submetidos à sintetização ou pelotização, para se aglutinarem em pedaços maiores.

Atualmente, costuma-se misturar, já nesta fase, parte do calcário necessário à formação da escória do alto-forno e, com isso, se obter maior eficiência.

32.2.4 Alto-Forno

O alto-forno (Fig. 32.1) comprehende, essencialmente, dois troncos de cone unidos pela base. O superior, ou cuba, é muito mais alto que o inferior, chamado rampa. A zona intermediária é denominada ventre. Abaixo de todos, situam-se a câmara e o cadinho.

A entrada do minério é feita pela parte superior, ou goela. A disposição da goela deve ser tal que não permita perda de gases no carregamento. Na goela, tubos recolhem os gases, que são levados aos regeneradores (três a cinco por alto-forno). Nos regeneradores (ou coopers), um terço dos gases é aproveitado para aquecer as câmaras, que depois serão abastecidas de ar frio. Com isso, o oxigênio já entra no alto-forno (pelos algaravizes) à temperatura elevada, o que representa economia de combustível.

As paredes da cuba são duplas: uma interna, de tijolos refratários, de alta resistência e outra, mais

¹ Disponível em: <https://top10mais.org/top-10-maiores-paises-produtores-de-ferro-do-mundo/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

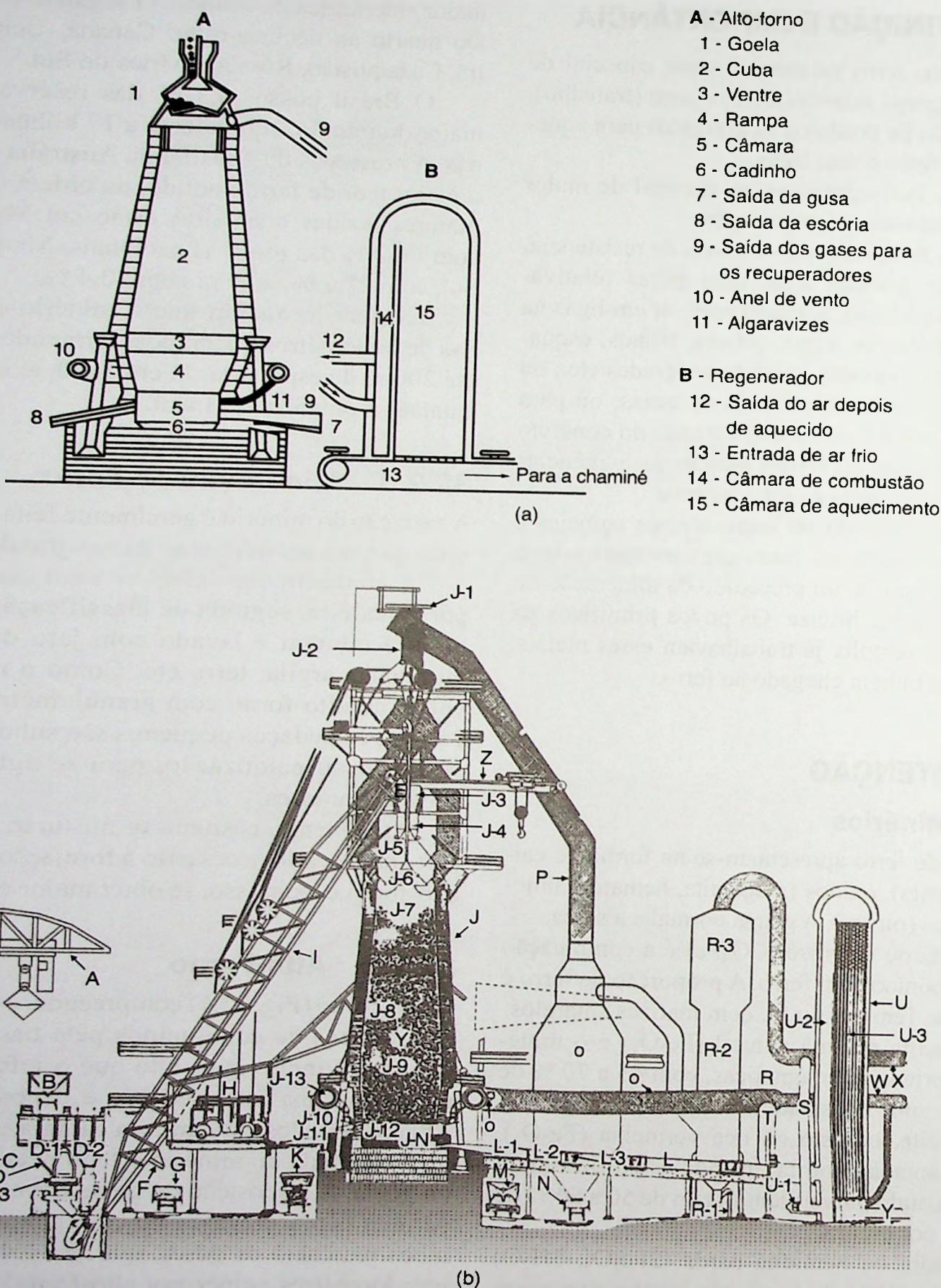


FIGURA 32.1 Alto-forno: (a) esquema simplificado; (b) seção típica de um alto-forno moderno.

externa, de tijolos aluminosos em contato com a carcaça de chapa metálica. As paredes da rampa são de grafite, mas, mesmo assim, no seu interior vão tubos nos quais circula água ou ar para reduzir a temperatura. A altura útil (da goela à soleira) varia entre 35 (fornos de coque) e 20 m (fornos a carvão vegetal).

A altitude útil (da goela à soleira) varia entre 35 (fornos de coque) e 20 m (fornos a carvão vegetal).

O diâmetro usual é de 9 a 13 m. A produção pode alcançar 11.000 t de gusa por dia. Por questões ambientais, os fornos a carvão vegetal não devem mais ser utilizados.

O forno é carregado pela goela e o produto é extraído no cadiño. A escória, sendo mais leve,

é retirada por uma abertura superior do cadinho, enquanto o ferro é retirado por uma abertura inferior.

Nos países em que a energia elétrica é mais barata, existem fornos de redução que utilizam eletricidade, mas o mais comum é o uso do coque e, eventualmente, do carvão vegetal, hoje praticamente em desuso. O coque é obtido pela destilação seca do carvão de pedra, ao passo que o carvão vegetal resulta da destilação seca da madeira.

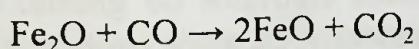
A carga é constituída do combustível, do mineral e dos fundentes, em proporções que devem ser bem calculadas. Os fundentes são substâncias que têm por finalidade tornar mais baixo o ponto de fusão da ganga do minério, permitindo a separação dos óxidos de alumínio, silício e fósforo.

32.2.5 Marcha da Operação

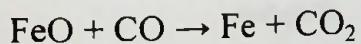
Para o funcionamento do forno, queima-se lenha no seu interior durante duas semanas, de modo a enxugar e aquecer as paredes. Depois, é iniciado o preaquecimento com ar quente, até atingir cerca de 1000 °C, quando, então, inicia-se o carregamento, em camadas de 1 a 1,5 m de altura, com maior proporção de coque que o normal.

Com a temperatura que chega a 1200 °C, há uma redução do minério, dentro da sequência a seguir descrita (Fig. 32.2).

Na goela, o minério perde umidade e, aproximadamente 4 a 5 m mais abaixo, tem início a calcinação dos carbonetos e a redução do Fe_2O_3 para FeO . Na cuba, que é a zona de redução, o óxido de carbono proveniente da combustão reduz o minério a metal:



No início da rampa, completa-se a reação:



Essa operação é motivada pelo ar quente proveniente dos algaravizes, reagindo com o coque, segundo a reação de Boudouard: $\text{C} + \text{O}_2 \sim 2\text{CO}$. O metal puro continua descendo, e parte carbura-se ao chegar gotejando pela escória até o cadinho na região das ventaneiras, de onde é extraída, periodicamente de quatro a cinco vezes por dia, bem como a sua escória. Essa escória serve para pavimentar estradas, fabricação de cimento e adubos.

32.2.6 Ferro-Gusa

O ferro obtido diretamente do alto-forno é o ferro-gusa, impuro, com teor de carbono entre 3,5 e 5 % em peso. Se deixado solidificar em moldes (ou, primitivamente,

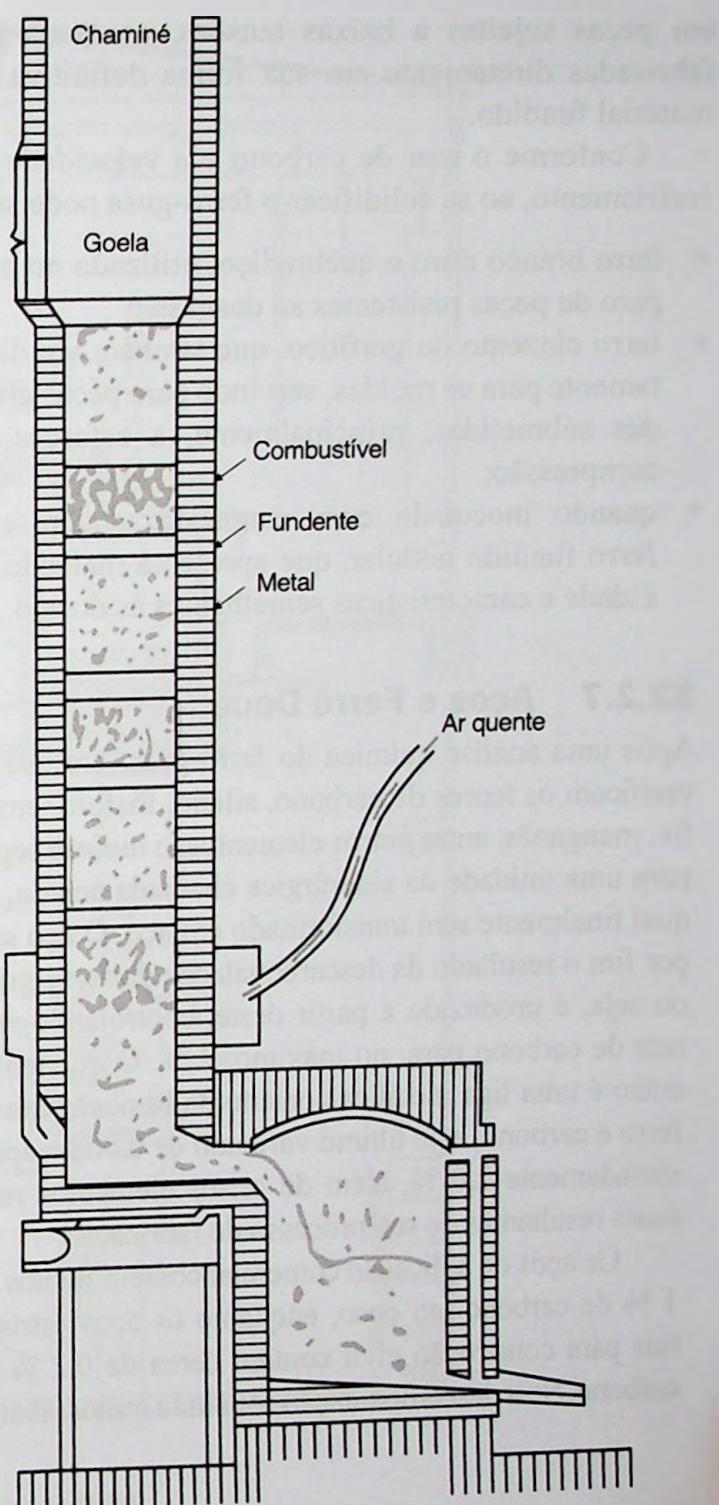


FIGURA 32.2 Esquema da marcha de operações no interior do alto-forno.

em leitos de areia), forma os pães de gusa, que são refundidos em fornos menores, chamados fornos Cubilot, com cerca de 6 m de altura, nos quais sofre nova fundição, refinando-se ainda mais. Após adições de elementos químicos e como resultado dessa segunda fusão, tem-se o ferro fundido, com teores de carbono que variam entre 2 e 6,7 %.

Em razão de sua estrutura heterogênea pouco resistente ao choque e à tração, tanto o ferro-gusa como os ferros fundidos não são dúcteis e, portanto, inviáveis para trabalhos de deformação a frio ou a quente. Por isso, geralmente são empregados

em peças sujeitas a baixas tensões, as quais são fabricadas diretamente em sua forma definitiva de material fundido.

Conforme o teor de carbono e a velocidade de resfriamento, ao se solidificar o ferro-gusa pode ser:

- ferro branco duro e quebradiço, utilizado no preparo de peças resistentes ao desgaste;
- ferro cinzento ou grafítico, que também vai diretamente para os moldes, servindo para peças grandes submetidas, principalmente, a esforços de compressão;
- quando inoculado com magnésio, obtém-se o ferro fundido nodular, que apresenta maior tenacidade e características semelhantes às do aço.

32.2.7 Aços e Ferro Doce

Após uma análise química do ferro-gusa, em que se verificam os teores de carbono, silício, fósforo, enxofre, manganês, entre outros elementos, o mesmo segue para uma unidade da siderúrgica chamada aciaria, na qual finalmente será transformado em aço. O aço será por fim o resultado da descarbonatação do ferro-gusa, ou seja, é produzido a partir deste, controlando-se o teor de carbono para, no máximo, 2 %. O que temos então é uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, este último variando de 0,008 a aproximadamente 2,0 %, além de certos elementos residuais resultantes de seu processo de fabricação.

Os aços de aplicação comercial contêm menos de 1 % de carbono em peso, enquanto os aços estruturais para construção civil contêm cerca de 0,2 % de carbono. Se a descarbonatação for ainda maior, abaixo

de 0,1 %, ter-se-á o aço doce, também chamado ferro Armco.

32.2.8 Obtenção do Aço

O aço também pode ser obtido diretamente do minério, no estado sólido, pela redução direta, que produz o ferro-esponja ou, como já visto, descarbonetando-se o gusa líquido, a partir do sopro de oxigênio (processos LD, OBM etc.), ou, ainda, refundindo-se a sucata em conjunto com o gusa sólido em fornos elétricos a seco, nas chamadas fundições.

32.2.8.1 Fornos de indução

Hoje, é muito comum o emprego de energia elétrica para a obtenção dos aços.

Um tipo de forno de indução é mostrado na Figura 32.3. Consta essencialmente da caçamba de material refratário, ao redor da qual está uma serpentina de cobre de seção retangular. Faz-se passar por essa tubulação uma corrente de alta frequência, que gera correntes induzidas no metal que está na caçamba, fundindo-o. Aí, são adicionadas substâncias corretoras e desoxidantes. Concluída a operação, vaza-se o metal.

32.2.8.2 Fornos a arco

São fornos elétricos bastante difundidos e têm a vantagem de também serem utilizados para a recuperação da sucata (Fig. 32.4).

Constam de caçamba, em cuja tampa se podem encaixar grossos eletrodos de grafite, que podem ascender ou descer. A caçamba também é móvel, pois

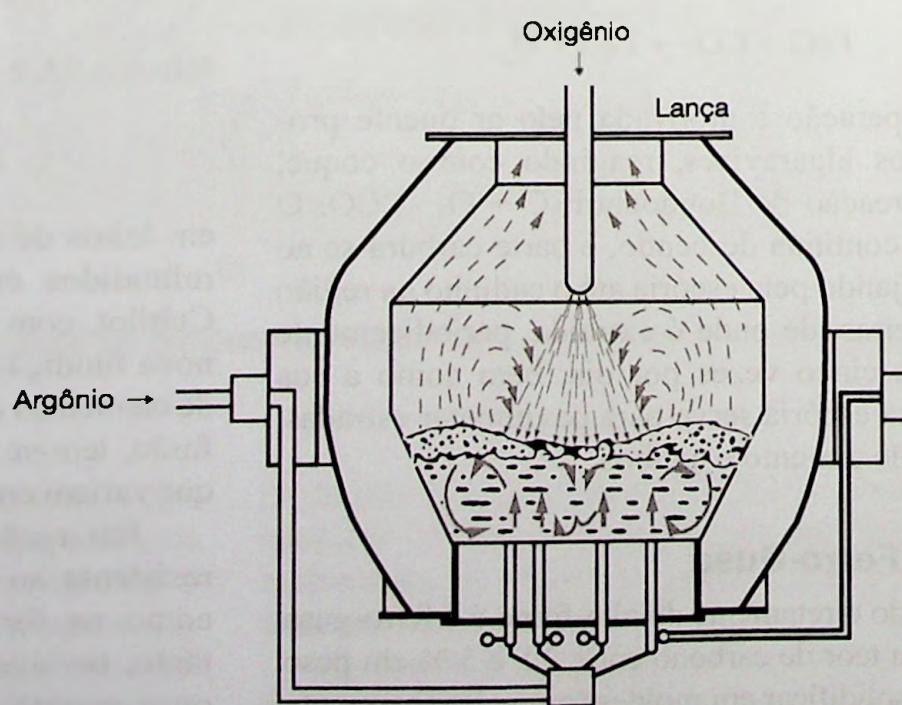


FIGURA 32.3 Diagrama do conversor a oxigênio com sopro combinado.

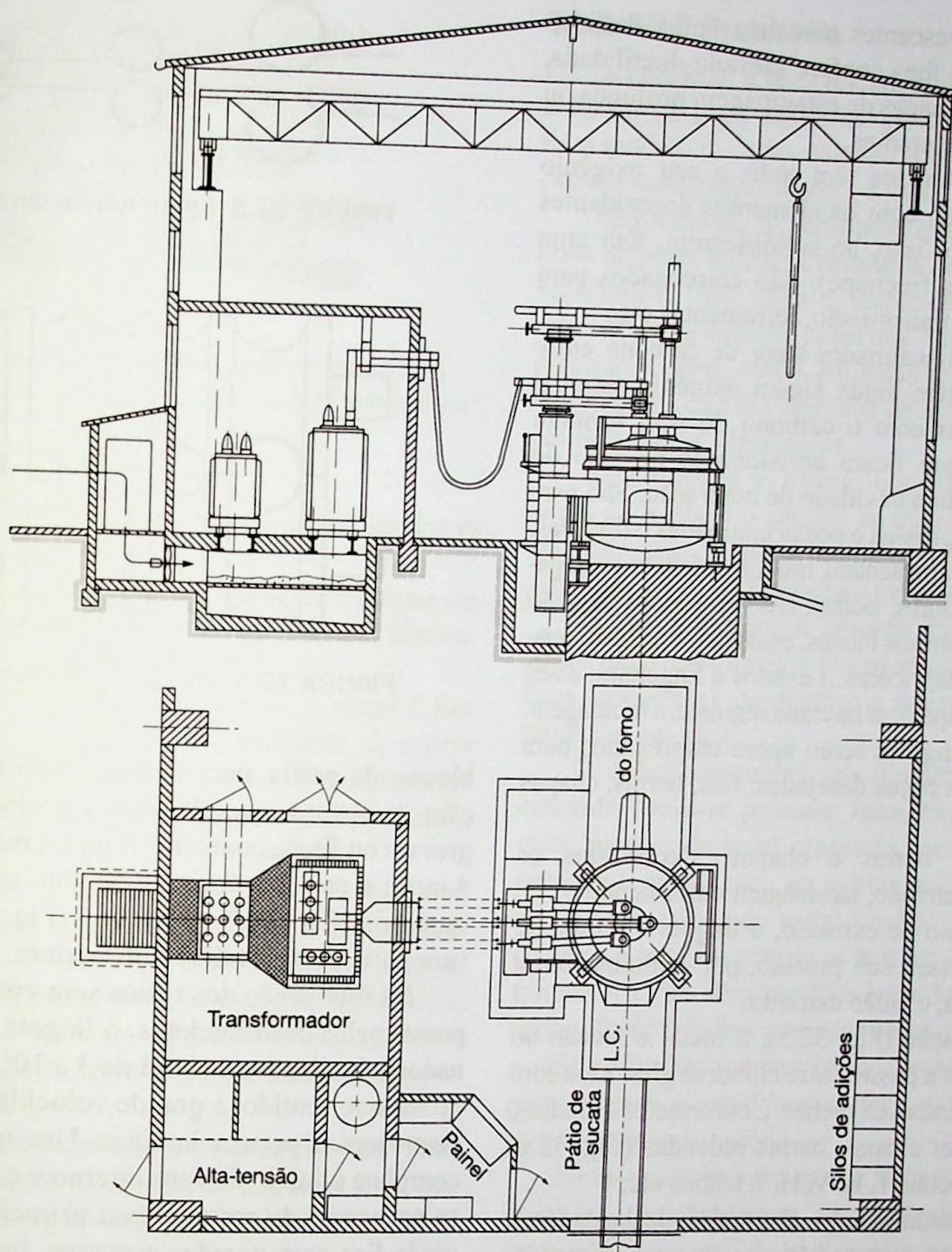


FIGURA 32.4 Forno elétrico.

um macaco hidráulico pode incliná-la para verter o metal fundido. Em geral, a mistura usada é sucata de ferro, ferro fundido, minério de ferro, fundentes, desoxidantes e substâncias para formar a liga. A matéria-prima é justamente a sucata. O ferro fundido serve para carburar, e o minério para desoxidar. Os fundentes são a cal, para o caso de escórias básicas, ou areia, para escórias ácidas. Os desoxidantes são o ferro-silício, o ferro-manganês, o alumínio etc. Conforme a escória do metal (ácida ou básica), o forno será revestido de refratário silicoso ou de magnesita.

A sucata, em conjunto com o fundente, é inserida no forno apagado. A seguir, coloca-se a tampa e ligam-se os eletrodos, os quais, formando o arco

voltaico, penetram na carga, que então se funde. Completada a fusão, são adicionados os demais elementos, segundo o resultado das análises das amostras colhidas durante a operação.

32.2.9 Moldagem

Saído do forno, qualquer que seja o tipo, o metal é levado, por caçambas transportadoras, às lingoteiras. A lingoteira é um molde (ferro fundido ou comum nodular) que dá forma de blocos prismáticos ao metal recém-saído do forno.

Conforme o grau de desoxidação na panela, os aços obtidos poderão ser efervescentes, semiacalmados e acalmados.

Os aços efervescentes têm uma bolha de ferro quase puro, o que lhes confere elevada ductilidade, sendo ideais para chapas de estampagem profunda ou para a produção de arames.

Os aços acalmados têm todo o seu oxigênio residual combinado com os elementos desoxidantes adicionados, e por isso, ao solidificarem, têm uma contração elevada (rechupe). São empregados para eixos, árvores de transmissão, ferramentas etc.

Os aços semiacalmados (teor de carbono entre 0,15 e 0,25 %) têm ainda algum oxigênio residual que, ao combinar com o carbono do aço, formam bolhas de CO que ficam aprisionadas no seio do metal, diminuindo a cavidade de contração. São usados para chapas grossas e peças laminadas e forjadas.

Os lingotes apresentam muitos defeitos: segregação, rechupe, fissuras, bolhas etc. Se o metal já fosse levado diretamente aos blocos, esses defeitos iriam aparecer nas peças fabricadas. Levados à lingoteira, esses defeitos vão desaparecer na etapa seguinte, a moldagem.

Logo, os lingotes serão agora empregados para a fabricação das peças desejadas: fios, barras, chapas ou blocos.

Para fios, barras e chapas, são usados os processos de extrusão, laminagem e trefilamento.

No processo de extrusão, o lingote é refundido e forçado a passar, sob pressão, por orifícios com a forma desejada, e então esfriado.

Na laminagem (Fig. 32.5), o metal é levado ao rubro e forçado a passar entre cilindros giratórios com espaçamento cada vez menor. Conforme os cilindros, podem-se obter chapas, barras redondas (Fig. 32.6) ou perfis especiais T, L, V, H, I, trilhos etc.

Os laminadores são chamados desbastadores, quando servem para reduzir os lingotes a grandes

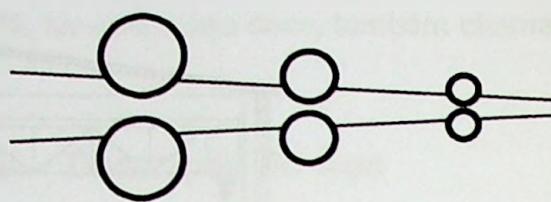


FIGURA 32.5 Esquema de laminagem.

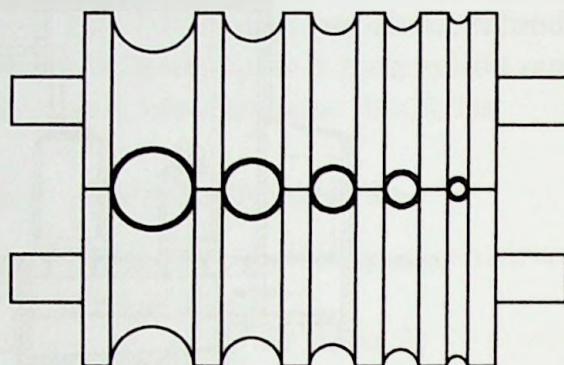


FIGURA 32.6 Cilindros para laminagem.

blocos; de perfis, para fabricar os perfis de construção; de chapas, quando lisos (as chapas podem ser grossas ou finas, conforme tenham mais ou menos de 4 mm); e para produzir tubos com costura ou perfis especiais (Fig. 32.7); oblíquos (Fig. 32.8), que servem para fabricar tubos sem costura.

Na fabricação dos **tubos sem costura**, depois de passar pelos desbastadores, o lingote passa por laminadores inclinados entre si de 3 a 10°, mas que giram no mesmo sentido, a grande velocidade, dando força centrífuga à peça a laminar. Um mandril especial completa o início do furo interno e a força centrífuga se encarrega do resto. Nessa primeira etapa, o tubo ainda fica com paredes espessas, brutas. Vai, então,

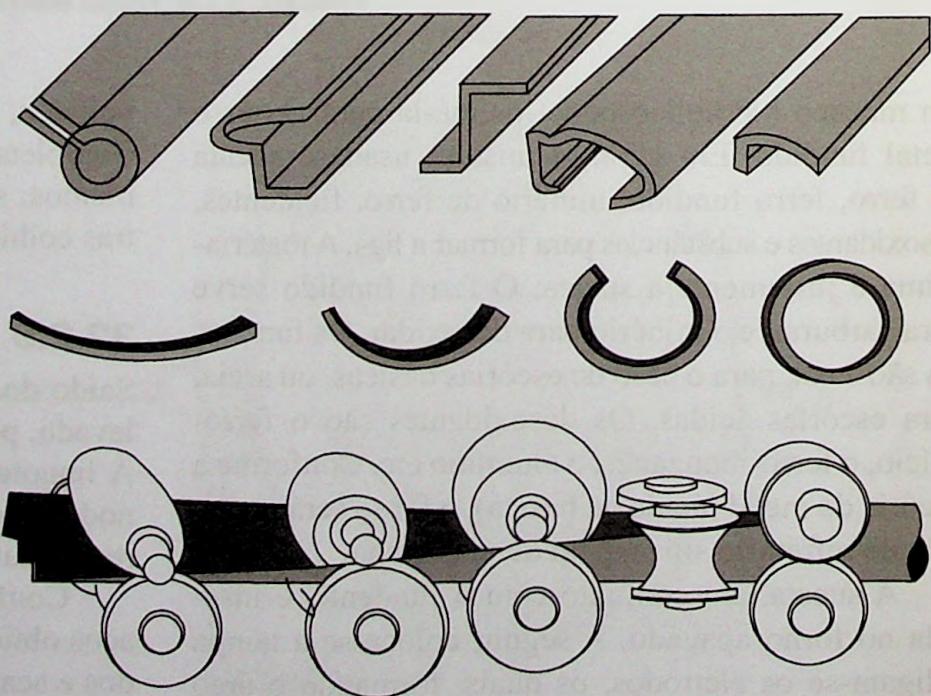


FIGURA 32.7 Esquema de laminadores para produção de perfis especiais e tubos com costura.

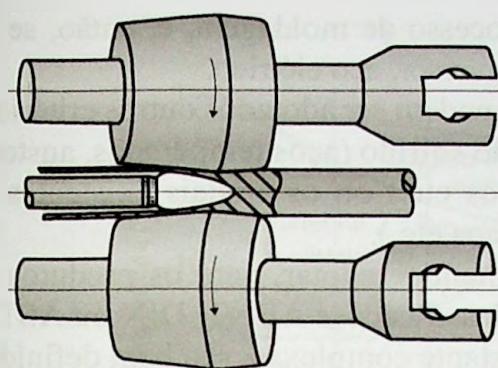


FIGURA 32.8 Laminador oblíquo Mannesmann é o mais utilizado para produzir tubos sem costura.

para uma segunda laminação, em que são obtidos as espessuras e os diâmetros definitivos.

Os tubos com costura são feitos com chapas em forma de tiras, que são depois encurvadas em laminadoras apropriadas e soldadas.

No trefilamento ou estiramento, o metal é forçado a passar por orifícios de moldagem. É o processo das fieiras (Fig. 32.9) de arames. O trefilamento tem a vantagem de ser uma deformação a frio, cujos efeitos serão vistos também neste capítulo.

No trefilamento de arames, os fios endurecem rapidamente e têm que ser recozidos a cada passagem. Com isso, o ferro oxida-se bastante, o que se corrige com a decapagem, ou seja, mergulhando-o em um banho com ácido diluído. O estiramento é usado para arames de até 6 mm de diâmetro, tubos de paredes finas etc.

Quando se trata de blocos, os processos são mais especiais. O lingote é levado a martelos-pilão ou prensas hidráulicas para sua conformação.

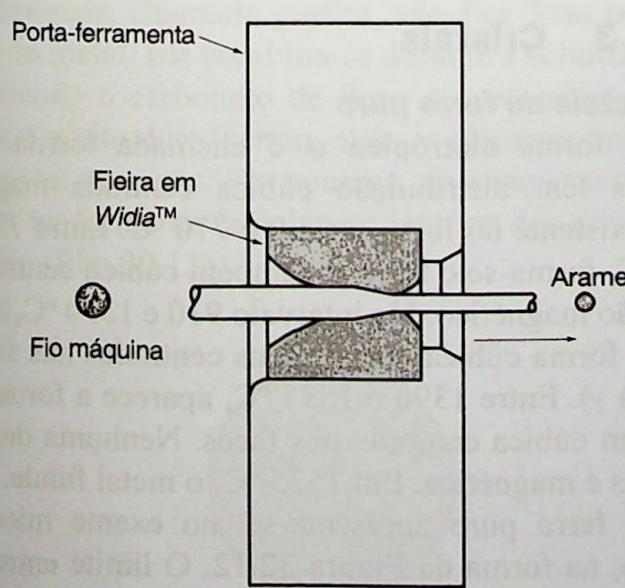


FIGURA 32.9 Esquema de trefiladora a frio.

32.2.10 Fundição

Para a fundição, é feito inicialmente um modelo com a forma da peça desejada, geralmente de madeira. Esse modelo é, então, calcado sobre a terra de fundição em uma caixa, dando o molde.

Verificou-se, a princípio, que a utilização da areia de praia molhada resultava em um molde mais econômico, mas tinha o inconveniente de secar e esboroar rapidamente, antes que o metal tivesse solidificado. Foram, então, adotadas as chamadas areias de fundição, que são misturas de areia, argila, carvão em pó e outras substâncias.

Essa mistura é barata, conserva a forma por causa da argila, e o carvão, ao queimar com o metal incandescente, torna o molde poroso, permitindo a saída dos gases da fundição e evitando deformações.

Além dos moldes de areia de fundição, usam-se, conforme o caso, moldes de refratários, moldes metálicos (coquilhas), de plástico e areia (cascas) para a produção em série.

O dimensionamento dos moldes deve ser bem estudado. Deve-se procurar fazer, tanto quanto possível, paredes de igual espessura, para evitar que as passagens mais finas, ao esfriar mais rapidamente, impeçam o acesso do metal fundido para o restante da peça, e também porque as tensões serão mais uniformes. A forma deve ser feita levando-se em conta a contração de volumes ao passar do estado líquido para o sólido. Também precisa ser um pouco maior que a peça desejada, e esta diferença deve ser proporcional à espessura de cada parede.

Deve-se cuidar para que as fôrmas sejam pouco resistentes, quebrando-se ou amolgando-se com a contração do metal, de preferência que o metal se quebre pelo mesmo efeito.

Em princípio, os defeitos serão menores quando as peças forem menos volumosas e o esfriamento mais lento.

Um método interessante de fundição é o centrífugo, usado para tubos de ferro fundido, conforme esquematizado na Figura 32.10. O metal fundido é vertido no interior de um molde, que gira a grande velocidade e recua pouco a pouco.

32.2.11 Forjamento

Além dos processos já descritos, as peças de ferro também podem ser obtidas por forjamento, ou seja, pela ação de martelos ou prensas sobre o metal quente, e por estampado a quente ou a frio. Este último procedimento se caracteriza pela alta exatidão e rendimento.

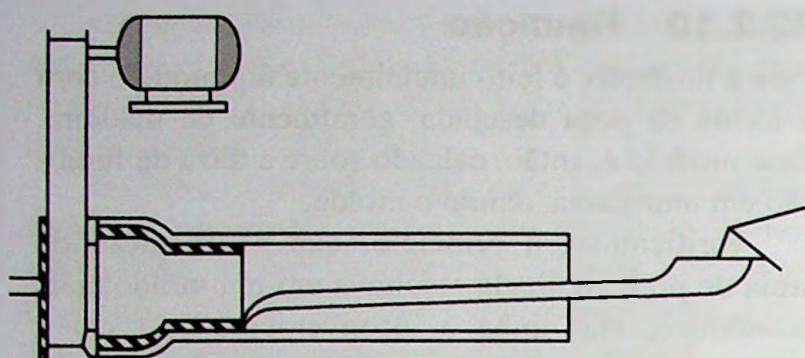


FIGURA 32.10 Esquema de fundição centrífuga.

32.3 CONSTITUIÇÃO

32.3.1 Classificação dos Produtos Siderúrgicos

A classificação tradicional do ferro e suas ligas tem sido pelo teor de carbono:

- aço doce, quando tem na sua composição menos de 0,2 % de carbono;
- aço ao carbono, quando esse teor fica entre 0,2 e 1,7 %;
- ferro fundido, quando esse teor se situa entre 1,7 e 6,7 %.

Posteriormente, se verá que esses limites não foram estabelecidos arbitrariamente, mas que correspondem a distintas propriedades.

Modernamente, porém, essa classificação está sendo abandonada, visto que não é só o teor de carbono que confere as propriedades especiais do ferro e do aço. Este último distingue-se do ferro por ser mais duro, admitir têmpera, ser mais fusível e quebradiço. E isso pode ser obtido tanto pelo teor de carbono como pela adição de outros elementos, como manganes, nióbio, silício etc. O ferro fundido distingue-se do aço doce por não ser forjável.

Assim, hoje, há necessidade de se especificar exatamente o que se deseja dos aços, visto que há muitos modos de classificá-los.

A classificação pode ser feita, por exemplo, em aços efervescentes e acalmados. O aço acalmado é aquele em que houve desoxidação total durante a fabricação; ao sair do forno, desprende poucos gases e não ferve. Entre os dois tipos extremos, há classificações intermediárias, como o semiacalmado e o capeado.

A classificação pode ser feita pela liga, e há o aço-carbono, o aço microligado, o aço de alta resistência e baixa liga, o aço patinável, o aço inoxidável etc. Pode também ser feita pelo processo de fabricação

ou pelo processo de moldagem, e, então, se terão os aços do conversor, aço elétrico.

Ainda podem ser adotados outros critérios, como o tratamento sofrido (aços temperados, austenizados, galvanizados etc.) ou os cristais existentes (perlíticos, grafíticos etc.).

Costumam-se adotar, para os produtos siderúrgicos, as classificações ABNT, DIN ou ASTM, que, embora bastante complexas, são bem definidas.

32.3.2 Elementos Constituintes das Ligas de Ferro-Carbono

Dificilmente se consegue ferro puro. Apenas pela eletrólise se obtém ferro com pureza, e mesmo assim, a 99,8 %, mas esse processo não é econômico nem usual.

O ferro sempre tem carbono junto e, conforme esse carbono é distribuído, variam as qualidades da liga. Aços com mesmo teor de carbono podem ter propriedades bastante diferentes em face de tratamentos térmicos e mecânicos.

Além do carbono, há outras substâncias incluídas nas ligas de ferro carbono na fabricação, ou que já constam do minério e não conseguem ser eliminadas. Essas substâncias lhe dão determinadas e variadas propriedades.

O diagrama de equilíbrio das ligas de ferro e carbono (Fig. 32.11) representa, no eixo horizontal, as diversas porcentagens de carbono e, no eixo vertical, as temperaturas de fusão. Ele mostra, consequentemente, as transformações que sofrem os cristais nas diversas temperaturas e dosagens.

Entre esses cristais, encontram-se os de ferro puro, nas formas alotrópicas α , β , γ e δ , grafita, cementita, perlita, austenita, esferoidita, martensita, ledeburita etc.

32.3.3 Cristais

a) Cristais de ferro puro

A forma alotrópica α é chamada ferrita. Os átomos têm distribuição cúbica centrada magnética, existente no ferro entre 0 e 770 °C. Entre 770 e 910 °C, forma-se o ferro β , também cúbico centrado, mas não magnético. No intervalo 910 e 1390 °C, aparece a forma cúbica com cristais centrados nas faces (forma γ). Entre 1390 e 1535 °C, aparece a forma δ , também cúbica centrada nas faces. Nenhuma destas últimas é magnética. Em 1535 °C, o metal funde.

O ferro puro apresenta-se, no exame microscópico, na forma da Figura 32.12. O limite entre os cristais aparece como uma linha mais escura. No conjunto, há uma estrutura homogênea, pouco resistente

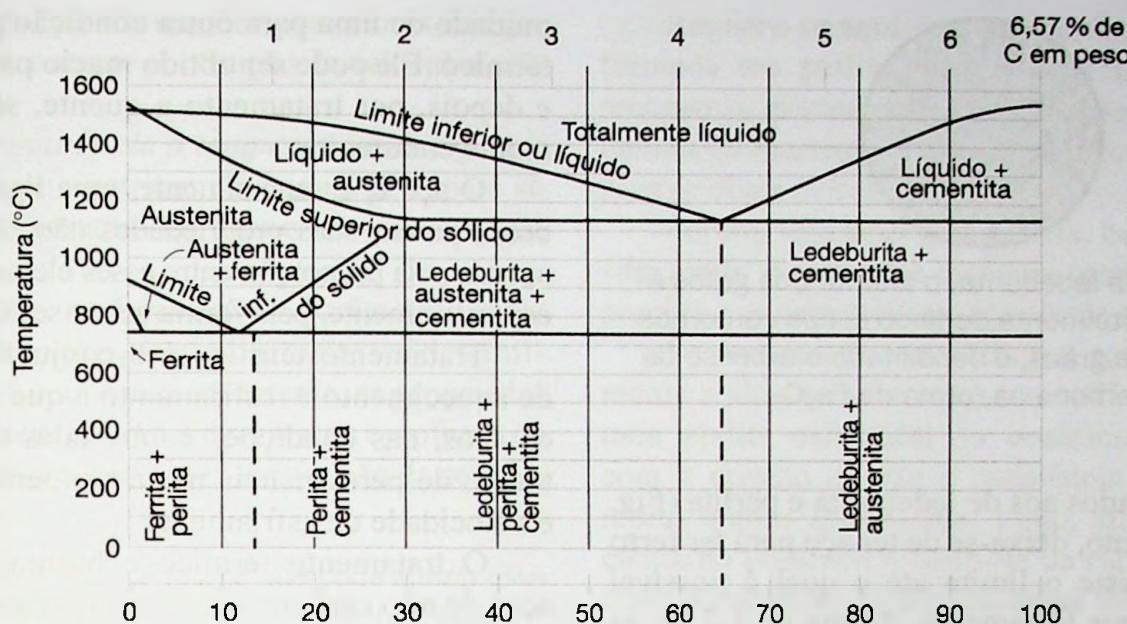


FIGURA 32.11 Diagrama ferro × carbono.

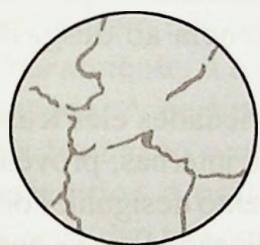


FIGURA 32.12 A microestrutura cristalina do ferro ao se observar no microscópio é granular.

à tração, pouco dura e de alta ductilidade (facilmente estirável). Quando atacada pelo iodo ou ácido pícrico, não apresenta reação.

b) Cementita

À medida que se vai adicionando carbono, o quadro se modifica. O carbono, na forma pura cristalizada, chamada grafita, não fica livre no interior do metal. Ele combina-se durante a solidificação, formando o carboneto de ferro ou cementita, Fe_3C . Esta é muito dura, sendo, aliás, o elemento que dá a natureza aos aços. Ela aparece, ao exame microscópico, na forma de lamelas no interior dos cristais de ferrita (Fig. 32.13).

FIGURA 32.13 Aspecto escuro da cementita (Fe_3C).

c) Perlita

Continuando-se a carbonatação, mas sem ir ainda a altas temperaturas, verifica-se que cada grão de ferrita só aceita 0,9 % de carbono. O grão, nessas condições, apresenta propriedades particulares e é chamado perlita. Conclui-se daí que um aço cujo conjunto tenha 0,8 % de carbono associado é constituído exclusivamente de perlita (Fig. 32.14). É o chamado aço perlítico ou eutedoide. Abaixo desse teor ficam as ligas hipoeutetoides e, acima, as hipereutetoides.

d) Ledeburita

Ultrapassado o teor de 0,9 % de carbono total, a cementita não encontra mais cristais de ferro para se associar. Permanece livre e vai se depositar no contorno intercristalino (Fig. 32.15). Aos cristais com essa forma dá-se o nome de ledeburita.

e) Carbono puro

Até 1,7 % de carbono (atente-se para a classificação geral) forma-se somente cementita. No entanto, quando esse limite é ultrapassado, o carbono começa a aparecer puro, na forma de cristais

FIGURA 32.14 Ao conjunto branco (ferro α) e preto (Fe_3C) de aspecto zebrado dâ-se o nome de perlita.



FIGURA 32.15 Na ledeburita, o interior dos grãos é totalmente perlítico e, nos contornos de grãos, é depositado o excesso de carbono na forma de Fe_3C .

de grafita misturados aos de ledeburita e perlita (Fig. 32.16). Nesse ponto, deixa-se de ter aço para ter ferro fundido, sendo este o limite até o qual é possível esmagar o aço, por forjamento. Acima de 1,7 %, as propriedades só podem ser alteradas por processos químicos, ou seja, por alteração da constituição.

f) Austenita

Isso tudo ocorre enquanto a liga não é levada acima de 723 °C. Quando isso acontece, a cemenita se dissolve no ferro circunvizinho, formando um novo tipo de cristal, a austenita (Fig. 32.17). Posteriormente, vamos entender que este é um cristal importantíssimo (a temperatura de 723 °C é chamada crítica por isso).

32.3.4 Tratamento Térmico dos Metáis

O aço pode existir em uma larga variedade de condições, desde o bem macio ao bem duro, e pode ser



FIGURA 32.16 Nos ferros fundidos, o excesso de carbono se precipita na forma de cristais de grafita, misturados à ledeburita e à perlita.



FIGURA 32.17 Aspecto granular da austenita, que, nos aços hipoeutetoides, começa a se formar acima de 723 °C.

mudado de uma para outra condição pelo tratamento térmico. Ele pode ser obtido macio para ser moldado, e depois, por tratamento a quente, ser convenientemente endurecido.

O aço é, essencialmente, uma liga de ferro e carbono, porém suas propriedades não são determinadas apenas pela proporção entre esses elementos, mas, mais especificamente, pela forma como se combinaram.

Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, nas condições controladas de temperatura, tempo de permanência nesta temperatura, atmosfera e velocidade de esfriamento.

O tratamento térmico é bastante utilizado em aços de alto carbono ou com elementos de liga. Seus principais objetivos estão enumerados a seguir, evidenciando sua importância e necessidade:

- aumentar ou diminuir a dureza;
- aumentar a resistência mecânica;
- melhorar resistência ao desgaste, à corrosão, ao calor;
- modificar propriedades elétricas e magnéticas;
- remover tensões internas, provenientes, por exemplo, de resfriamento desigual. Foi visto que a última etapa para produção do aço acontece na aciaria. Nesse local, o metal (em estado líquido) é vazado em uma lingoteira e, no momento correto, já solidificado, é retirado e esfriado. Quando esse resfriamento é realizado de maneira incorreta, pode-se optar pelo uso de tratamentos térmicos para corrigir prováveis defeitos em sua estrutura, que podem vir a prejudicar seu desempenho;
- melhorar a ductilidade, a trabalhabilidade e as propriedades de corte; tais propriedades são bastante necessárias, por exemplo, dentro do conjunto de etapas que envolvem a fabricação dos produtos em aço.

Assim, depois dos lingotes prontos e cortados em medidas específicas, segue o transporte para outra unidade da siderúrgica denominada laminação, onde eles são reaquecidos para transformação mecânica. É por meio desta etapa de laminação que são produzidos, dentre outros: chapas, perfis, barras e trilhos, sendo interessante que o aço possua as propriedades em questão, as quais muitas vezes são obtidas por meio de tratamentos térmicos.

Os principais parâmetros de influência nos tratamentos térmicos são:

- **aquecimento:** geralmente realizado a temperaturas acima da crítica (723 °C), para uma completa “austenização” do aço. Essa austenização é o ponto de

- partida para as transformações posteriores desejadas, que vão acontecer em função da velocidade de resfriamento;
- **tempo de permanência à temperatura de aquecimento:** deve ser o estritamente necessário para se obter uma temperatura uniforme em toda a seção do aço;
 - **velocidade de resfriamento:** parâmetro mais importante, pois é o que efetivamente vai determinar a estrutura e, consequentemente, as propriedades finais desejadas. As siderúrgicas escolhem os meios de resfriamento ainda em função da seção e da forma da peça.

E é o tratamento dito a quente que pode alterar essa distribuição, como explicado resumidamente a seguir.

Veja-se um exemplo. Em um aço com 0,6 % de C, a 800 °C aparece a austenita. Os grãos de austenita crescem, uns à custa dos outros, dando granulação grosseira ou fina, conforme a temperatura alcançada e o tempo que permanecem nessas temperaturas. Se deixado esfriar naturalmente, a 648 °C, forma-se a perlita, que permanece. A perlita tem dureza Brinell 200, mas a sua formação requer algum tempo. Se aquele aço austenítico é passado rapidamente de 800 a 315 °C, sem dar tempo de formar a perlita, surge um novo cristal, a bainita (Fig. 32.18), de dureza Brinell 550. E, se a temperatura baixar rapidamente para 125 °C, sem dar tempo de formar perlita ou bainita, surge ainda outro tipo, a martensita, de dureza Brinell 650 (Fig. 32.19). Além disso, esses novos cristais vão ter dimensões e disposições que dependem daquelas que tinha a austenita.

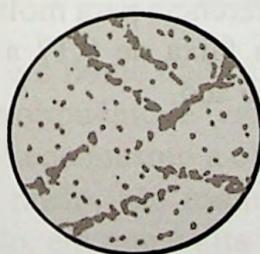


FIGURA 32.18 Aspecto da bainita.

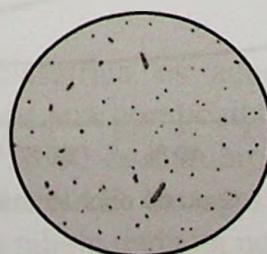


FIGURA 32.19 Aspecto da martensita.

Registre-se aqui que a austenita, uma vez transformada em perlita, bainita ou martensita, não se reconstrói, porque a perlita não se transforma em bainita ou martensita. Sempre é preciso ir à austenita para se obter outras estruturas.

Porém, seja austenita, perlita, bainita ou martensita, ainda se tem uma estrutura muito quebradiça. É preciso, em certos casos, aços mais maleáveis.

Se, entretanto, levarmos um aço perlítico novamente a altas temperaturas, no resfriamento forma-se uma perlita esferoidal ou coalescida (Fig. 32.20), com a mesma dureza e resistência da perlita, mas muito menos quebradiça. Logo, aqui se tem outro elemento possível: o controle da rigidez, que é diferente do controle da dureza, antes visto.

Seria exaustivo descrever todos os fenômenos que ocorrem quando se leva o ferro ou aço a altas temperaturas e estas são reduzidas com maior ou menor velocidade, mas o essencial é saber que as propriedades iniciais do metal podem ser alteradas fundamentalmente. A esses processos dá-se o nome geral de tratamento a quente dos aços, ou tratamento térmico dos aços.

Os principais tratamentos térmicos são a normalização, o recozimento, a têmpera e o revenido. Há ainda outros, como o tratamento isotérmico e o trabalho mecânico a quente.

32.3.4.1 Normalização

Serve para eliminar as tensões internas que aparecem naturalmente na laminagem ou outras formas de moldagem. Resulta em um aço mais macio, menos quebradiço. Leva-se o aço até a temperatura acima da crítica, espera-se a transformação total em austenita e deixa-se esfriar lentamente, ao ar livre.

32.3.4.2 Recozimento

O recozimento é o tratamento térmico mais usual nos produtos para construção. Consiste no reaquecimento do metal até determinada temperatura, na permanência nesta temperatura durante algum tempo e no subsequente resfriamento lento. Resulta na eliminação das tensões que se originaram na fundição e na elevação dos índices tecnológicos do metal.

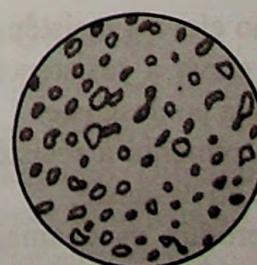


FIGURA 32.20 Perlita esferoidal ou coalescida.

As temperaturas adotadas ficam próximas à crítica, em uma faixa desde pouco acima até pouco abaixo (recozimento subcrítico).

32.3.4.3 Têmpera

A têmpera consiste no aquecimento do metal até a temperatura de formação da austenita, na permanência nesta temperatura durante algum tempo e no subsequente resfriamento brusco. Para resfriar rapidamente, usa-se, de preferência, óleo, água ou salmoura etc.

O resfriamento pode dar origem a diversos tipos de cristais já citados (martensita, bainita etc.). O tipo de cristal formado depende da velocidade de resfriamento. A têmpera aumenta a dureza, o limite de elasticidade, a resistência à tração, mas, em contrapartida, diminui o alongamento e a tenacidade.

32.3.4.4 Revenido

O revenido é semelhante ao recozimento, porém executado em temperaturas abaixo da linha crítica. Tem a finalidade de corrigir defeitos que surgiram durante uma têmpera, como excesso de dureza e tensões internas. O resultado depende da temperatura alcançada e da velocidade de resfriamento ulterior.

32.3.5 Tratamento Termoquímico dos Aços

O tratamento termoquímico tem por objetivo enriquecer a camada superficial do aço com uma capa protetora em que apareçam outros elementos. Estes são: carbono (cementação), nitrogênio (nitretação), carbono e nitrogênio (cianetação), alumínio (aluminização), cromo (cromagem), zincagem (galvanização) etc.

Conforme a substância empregada, ter-se-á aumento da resistência ao desgaste, à corrosão, à abrasão ou outras.

Nesses tratamentos, a substância, ao se ligar com o aço, se dissocia dos seus átomos, que imergem superficialmente no aço aquecido.

A cementação forma uma capa de grande dureza e resistência ao desgaste, enquanto o núcleo permanece mais brando e flexível.

A nitretação eleva a dureza, resistência ao desgaste e à corrosão.

A aluminização eleva a resistência ao calor.

A cromagem eleva a resistência à corrosão, a dureza e a resistência ao desgaste.

A silicitação aumenta a resistência à corrosão química, ao calor e ao desgaste.

A zincagem produz os chamados aços galvanizados, que aumentam a resistência à corrosão atmosférica.

32.3.6 Tratamento a Frio (Encruamento)

O metal é um sólido com cristais de tamanho uniforme. Quando submetido a esforços que tendem a deformá-lo a frio, os grãos tendem a se orientar no sentido da deformação: é o encruamento.

O encruamento altera as propriedades mecânicas. A resistência à tração e a dureza aumentam, mas a ductilidade e o alongamento diminuem, conforme se observa na Figura 32.21.

O encruamento pode ser superficial, como o que ocorre durante a laminação a frio, ou profundo, como o dos aços torcidos para concreto armado. Durante a laminação de chapas ou fios, forma-se uma camada encruada, que facilmente se oxida, e que, em certos casos, deve ser eliminada.

É preciso observar que, se o aço encruado for aquecido (bastam 40 % da temperatura de fusão), os cristais tenderão a se reagrupar e o encruamento, a desaparecer. O encruamento é bastante usado nos aços para a indústria de construção, sendo os aços torcidos para concreto armado sua aplicação mais importante.

32.3.7 Ligas de Ferro

Além do carbono, o ferro pode ser associado com muitas outras substâncias, com alterações pronunciadas nas propriedades. Essas ligas podem ser superficiais ou profundas.

A seguir, citam-se os elementos que podem ser usados para produzir liga com os ferros e aços, seja propositadamente, seja por impurezas no minério.

- O silício (aço-silício) torna o aço mais macio, com grande elasticidade e quase sem perda da resistência, daí sua preferência para molas. Sua proporção deve figurar na faixa de 0,17 a 0,37 %, quando então desoxida o aço.

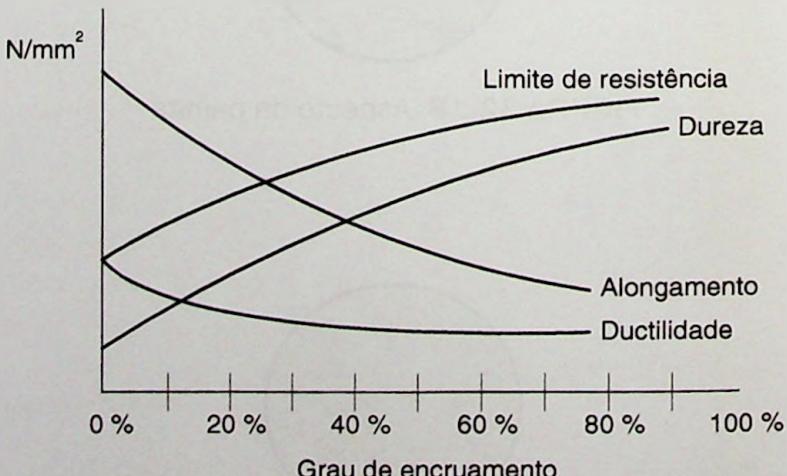


FIGURA 32.21 Variação das propriedades mecânicas em função do grau de encruamento.

- O oxigênio torna o aço mais frágil e, por isso, difícil de trabalhar.
- O nitrogênio torna-o mais duro, porém ainda muito frágil.
- O enxofre é danoso. Forma um eutéctico de baixo ponto de fusão, que se deposita no contorno dos grãos e torna-os frágeis na laminação a quente.
- O fósforo também é danoso. Rebaixa o ponto de fusão. Embora aumente a dureza, diminui tanto a resistência ao choque quanto a plasticidade.
- O enxofre e o fósforo, embora ruins para os aços, os tornam mais fáceis de usinar, diminuindo o desgaste das ferramentas empregadas e tornando mais polidas as superfícies.
- O manganês, na proporção de 0,25 a 1 %, aumenta a resistência aos esforços e ao desgaste e a capacidade de soldagem. Acima de 13 %, no entanto, aumenta tanto a dureza que o aço não pode ser mais trabalhado a frio.
- O cromo, na proporção de 2 a 3 %, confere grande dureza, resistência à ruptura e à oxidação.
- O níquel, em proporção abaixo de 7 %, confere grande elasticidade e resistência ao choque e à flexão. Entre 7 e 15 %, torna o aço muito friável, não sendo recomendado. Acima de 15 %, torna o aço inoxidável.
- O nióbio aumenta a resistência mecânica sem perdas da plasticidade.
- O cobre aumenta a resistência mecânica e, em associação com o cromo, formam os aços patináveis, resistentes à corrosão atmosférica.
- O aço Invar, com 64 % de aço e 36 % de níquel, é uma liga praticamente sem dilatação térmica, sendo, por isso, usado para instrumentos de precisão.
- Aços rápidos é o nome dado às ligas de aço com tungstênio, molibdênio e vanádio, porque sua dureza permanece mesmo a elevadas temperaturas. Por essa razão, são usados em ferramentas de corte rápido, em que a alta velocidade produz calor.
- Relativamente aos aços inoxidáveis, convém estudá-los em separado, após o exame da oxidação, em virtude de sua importância na indústria de construção.

A ABNT classifica os aços para construção mecânica segundo sua composição química a partir da NBR NM 87:2000 de outubro de 2000, segundo critérios da AISI e SAE. Os aços são numerados de acordo com uma tabela dada na norma. Por exemplo, o aço ABNT 5120 deve ter teor de C entre 0,17 e

0,22; de Mn entre 0,70 e 0,90; de Si entre 0,20 e 0,35; de Cr entre 0,70 e 0,90; um máximo de 0,035 de P e um máximo de 0,040 de S.

Para a construção civil, utilizam-se, além da ABNT, os sistemas ASTM e DIN.

32.4 PROPRIEDADES

32.4.1 Considerações Gerais sobre as Propriedades

Até aqui, foi possível perceber a variedade de ligas e constituição, de modos de fabricar, de cristais, de tratamentos etc. Nesse contexto, é lógico afirmar que as propriedades também variam muito. A seguir, apresenta-se um estudo geral, com algum destaque para a oxidação, resistência à fadiga e à tração.

32.4.2 Descrição Geral

Os produtos de ferro-carbono costumam ser metais duros, de cor que variam desde o prateado até o preto, de alto peso e grande resistência mecânica. Normalmente, têm certo brilho e boa condutibilidade térmica.

32.4.3 Ferro Fundido Branco

O ferro-gusa branco é duro e quebradiço. Não se deixa limar, furar, forjar ou laminar. Só pode ser moldado por processos eletrolíticos. Em geral, é impuro, não uniforme. Funde a 1100 °C, mas fica pastoso e impróprio para moldagem. Sua massa específica situa-se entre 7400 e 7840 kg/m³. Tem coeficiente de ruptura entre 10 e 16 kgf/mm² para a tração e entre 60 e 80 kgf/mm² para a compressão.

32.4.4 Ferro Fundido Cinzento

O gusa cinzento já é menos duro e quebradiço que o anterior. Deixa-se usinar e serve para ser moldado, embora ainda com dificuldade. Também é impuro e desuniforme, e seus coeficientes pouco diferem do ferro-gusa branco. Funde a 1200 °C e tem massa específica entre 6800 e 7150 kg/m³.

32.4.5 Aço Comum

É menos dúctil que o ferro fundido, mais maleável, mais duro e mais flexível. Apresenta um aspecto granulado característico. Dificilmente magnetiza-se, mas conserva esse magnetismo adquirido. Ótimo para receber tratamento térmico. Funde na faixa de 1500 a 1600 °C. Sua massa específica oscila em torno

de 7650 kg/m^3 . Seu limite de resistência é bastante variável: 40 a 65 kgf/mm^2 à tração e 60 a 80 kgf/mm^2 à compressão.

32.4.6 Ferro Doce

É tenaz, dúctil e maleável. Durante a fabricação, a fusão confere uma textura granulosa, que a laminação transforma em fibrosa e o martelamento em cristalina; por esse motivo, torna-se quebradiço. Embora seja facilmente atraído pelo ímã, e também adquira facilmente o magnetismo sob o efeito da corrente elétrica, não conserva a imantação. Como os aços, pode receber tratamento térmico. Oxida-se mais facilmente que o gusa e o aço. Tem massa específica de $7,84 \text{ kgf/dm}^3$ e funde entre 1500 e 1600°C . Seus limites de resistência situam-se entre 30 e 40 kgf/mm^2 para a tração e entre 28 e 40 kgf/mm^2 para a compressão.

32.4.7 Resistência à Tração

A resistência à tração, nos aços, varia muito, conforme o tratamento e a composição.

Convém salientar, nos aços doces com baixo teor de carbono, o diagrama tensão × deformação que apresenta o patamar indicativo do escoamento. Nos outros tipos, esse intervalo não é apreciável (Fig. 32.22).

32.4.8 Resistência à Compressão

Normalmente, é da mesma ordem que a da resistência à tração, mas apresenta alta flambagem, o que torna os aços contraindicados para resistir a esse esforço no caso de peças esbeltas, como barras ou perfis.

O problema da flambagem é importante, pois, quando se toma uma barra de ferro ou aço e a mesma é comprimida pelas extremidades, ela verga com uma carga muito menor, por centímetro quadrado, do que resistiria um bloco de mesmo material. Em suma, embora a resistência à compressão seja elevada, a flambagem não permite a sua utilização total

em barras. Para diminuir esse efeito, as barras devem estar presas entre si e em meio que resista à flexão, como no concreto armado.

32.4.9 Resistência ao Desgaste

Ligas especiais produzem aços de alta resistência à abrasão que aumentam muito a vida útil de equipamentos. São utilizados em maquinário industrial, de construção, de mineração, de pavimentação, de pedreiras, de açúcar e álcool, de cimento etc. Esses equipamentos são os misturadores, moinhos, trituradores, escavadeiras, carregadeiras, entre outros.

32.4.10 Resistência ao Impacto (Flexão Dinâmica)

Também depende muito do tipo de aço. Em geral, é alta, mas depende da temperatura. O projetista deve conhecer a temperatura na qual ocorre a mudança de fratura dúctil para frágil. O ensaio Sharpy é o ensaio padronizado. Nele, o corpo de prova padronizado é provido de um entalhe para localizar a sua ruptura e produzir um estado triaxial de tensões, quando ele é submetido a uma flexão por impacto, produzida por um martelo pendular. A energia absorvida pelo corpo de prova é então determinada. Quanto maior for a energia absorvida, mais dúctil é o aço, e, ao contrário, quanto menor for a energia absorvida, mais frágil é o aço. Isso significa que se um aço estiver trabalhando abaixo de sua temperatura de transição dúctil-frágil, irá se romper catastroficamente sem se deformar. Todos os aços apresentam fragilidade em baixas temperaturas e ductilidade em temperaturas mais altas. A determinação da temperatura na qual essa mudança ocorre irá indicar o seu uso. O aumento do teor de carbono e a presença de impurezas, como o enxofre e o silício, contribuem para o aumento da temperatura de transição dúctil-frágil.

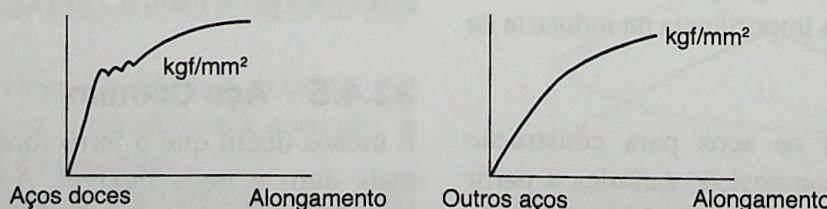


FIGURA 32.22 Exemplos de diagramas tensão × deformação de um aço de baixo teor de carbono (doce) e de aços com alto teor de carbono.

32.4.11 Corrosão

O ferro e o aço podem ser muito atacados pela corrosão. Os principais agentes corrosivos naturais são: o gás sulfídrico, a água, os cloreto e os nitratos.

No caso particular de aço para concreto armado, a armadura não é atacada quando o pH do concreto estiver acima de 11,5.

Deve-se ter cuidado com a impermeabilização do concreto para evitar a eflorescência, que causa a diminuição do pH.

Também deve-se ter precaução com o uso de certos aditivos, porque eles podem conter/produtiz cloro ou SO₂. O cloreto de cálcio, que já foi muito usado como acelerador de pega, é muito perigoso no concreto armado comum e desastroso no caso de protensão. Sempre que há protensão, a ação corrosiva é mais rápida e acentuada, porque encontra menor força coesiva a vencer.

Por exemplo, na Ponte do Guaíba, localizada nas proximidades de Porto Alegre (RS), 247 dos 252 cabos de aço empregados nos nichos das juntas de protensão romperam-se 10 dias depois de aplicados. Embora tais arames fossem de comprovada qualidade e resistência, o exame mostrou que a causa do acidente foi a corrosão originada por uma substância sulfurosa usada para facilitar o alisamento do concreto. Hoje, existem aditivos para concreto que não atacam a armadura.

Também não se deve utilizar água de amassamento para concretos que contenham cloro.

Devem-se evitar óleos e graxas que desprendem SO₂. Muitas vezes, são usados equivocadamente para evitar a ferrugem, mas fazem exatamente o contrário, acelerando-a.

32.4.12 Fadiga

A fadiga é de particular importância no caso dos aços, visto que pode levar facilmente a acidentes graves. Ela deve ser levada em consideração, principalmente no caso de pontes e peças que recebem vibração transmitida por máquinas, vento ou água.

Sempre que o aço for submetido à fadiga, deve ser adotada uma tensão menor, dada pela resistência dos materiais (fórmulas de Goodman, Gough, Weyrauch, Gerger, entre outras).

32.5 PRODUTOS SIDERÚRGICOS

Existem diversos tipos de produtos siderúrgicos no Brasil.

A seguir é apresentada uma classificação de acordo com o Instituto Brasileiro de Siderurgia (atualmente Instituto Aço Brasil),² com base na forma geométrica do produto. Ela fornece também dados com relação às suas medidas-padrão (altura, espessura), métodos de fabricação e tipos de aços no qual são produzidos.

São, portanto, divididos em três grupos:

A) Produtos semiacabados: são produtos obtidos a partir do lingotamento contínuo, que serão processados posteriormente por laminação ou forjamento a quente, formando perfis laminados, placas, blocos e tarugos.

B) Produtos planos: são obtidos após processo de laminação a quente ou a frio. Caracterizam-se por possuírem a largura extremamente superior à espessura, sendo comercializados na forma de chapas e bobinas em aço-carbono ou especiais. Na sequência, é apresentada uma subdivisão mais específica dos produtos conforme o aço em que são produzidos. As letras entre parênteses são abreviaturas.

B1) em aço-carbono não revestido:

- bobinas grossas (BG) e chapas grossas (CG), com espessuras superiores a 5 mm;
- bobinas laminadas a quente (BQ) e chapas finas laminadas a quente (CFQ);
- bobinas laminadas a frio (BF) e chapas finas laminadas a frio (CFF);

B2) em aço-carbono revestido:

- folhas metálicas (com revestimento em estanho, cromo);
- bobinas e chapas zincadas;

B3) em aços "especiais":

- bobinas e chapas em aço ao silício (chapas elétricas);
- bobinas e chapas em aços inoxidáveis;
- bobinas e chapas em aço ao alto carbono e outros tipos de aços-liga.

C) Produtos longos: são também resultantes de processo de laminação, cujas seções transversais têm formato poligonal e seu comprimento é extremamente superior à maior dimensão da seção, sendo produzidos em aço-carbono e especiais.

C1) em aço-carbono:

- perfis leves ($h < 75$ mm);

²Em 2009 esse Instituto foi substituído pelo Instituto Aço Brasil. Disponível em: acobrasil.org.br. Acesso em: 25 out. 2024.

- perfis médios ($75 \text{ mm} < h \leq 150 \text{ mm}$);
- perfis pesados ($h > 150 \text{ mm}$);
- trilhos e acessórios ferroviários;
- vergalhões;
- fios-máquina, principalmente para arames;
- barras para construção civil.

C2) em aços ligados especiais:

- fios-máquina para parafusos e outros fins;
- barras de aço para construção mecânica;
- barras em aço ferramenta;
- barras em aços inoxidáveis e para válvulas;
- tubos sem costura.

32.5.1 Aços-Carbono Estruturais

Como já vimos, os aços-carbono são classificados em baixo, médio e alto carbono. Os aços estruturais para a construção civil mais utilizados são:

- a) ASTM-A36 – aço muito utilizado na fabricação de perfis soldados.
- b) ABNT NBR 6648:2014 – bobinas e chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural – Especificação. Também utilizadas na fabricação de perfis soldados.
- c) ASTM A572/Gr50 – aço utilizado na fabricação de perfis laminados.
- d) ABNT NBR 7007:2016 – aço-carbono e aço micro-ligado para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural – Requisitos. Aço semelhante ao A-36, mas para fabricação de perfis laminados.
- e) ASTM-A570 – aço utilizado na fabricação de perfis formados a frio.
- f) ABNT NBR 6650:2014 – bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural – Especificação. Semelhante ao A-36, mas para fabricação de perfis laminados.

32.5.2 Aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL)

A alta resistência mecânica deste tipo de aço é obtida pela adição de pequenas quantidades de elementos de liga (geralmente abaixo de 0,5 % para qualquer adição), em vez de apenas a aplicação de tratamentos térmicos. Os principais elementos de liga utilizados para aumentar a resistência mecânica dos aços são o nióbio (Nb) e o vanádio (V), em teores abaixo de 0,2 %. Tensões de escoamento da ordem de 550 MPa podem ser obtidas em processos de laminação controlada.

A alta resistência permite também a redução da espessura das peças estruturais, entretanto, sua

fabricação é mais complexa, e seu preço unitário se torna superior ao aço-carbono comum.

Com relação ao aço-carbono, possui ainda melhor soldabilidade e resistência à corrosão atmosférica. Por serem mais resistentes que os aços-carbono, os aços ARBL podem produzir perfis mais esbeltos e mais leves, proporcionando apreciável redução do peso da estrutura. Como o aço tem seu preço relacionado com o seu peso, um bom projeto poderá compensar o preço mais elevado deste aço-liga, comparativamente ao aço-carbono.

São muito utilizados também na fabricação de barras de aço para protensão e parafusos de alta-tensão (especificação ASTM-A490).

Adições em baixos teores de Cromo (Cr) e Cobre (Cu) proporcionam aos aços ARBL resistência à corrosão atmosférica, além de incremento na tensão de escoamento. Esses aços são chamados de “patináveis”, pois desenvolvem um óxido aderente na cor marrom-avermelhada, parecida com uma pátina de pintura. Esse óxido aderente cresce na superfície do aço, conferindo a este um aumento na resistência à corrosão.

Todos esses aços exemplificados são oferecidos pelos fabricantes e tratados termicamente com o tratamento térmico de recozimento. Laminação controlada e tratamentos térmicos podem aumentar a resistência ao escoamento acima de 700 MPa para alguns desses aços, que deve ser conferida nos catálogos dos fabricantes.

32.5.3 Aços Inoxidáveis

Há diversos modos de se obter maior resistência à corrosão, conforme abordado no Capítulo 22 – Metais.

Existe uma grande variedade de aços inoxidáveis produzidos. Cada um apresentando propriedades específicas em função de sua composição química. É a partir dessa composição química, bem como de características metalúrgicas, que estão agrupadas as três famílias dos aços inoxidáveis: austeníticos, ferríticos e martensíticos.

Existem diversos sistemas de classificação pelo mundo. Aqui, será mostrado o padrão reconhecido pela ABNT, que se baseia no sistema de classificação da AISI.

1. Austeníticos: contêm de 18 a 25 % de cromo e 8 a 20 % de níquel e 0,1 % de carbono. O aço inoxidável austenítico mais comum contém 18 % de cromo e 8 % de níquel. Atualmente, essa família de aços inoxidáveis responde por cerca de 70 % do total de aços inoxidáveis produzidos no mundo, principalmente por suas características, como: excelente resistência à

corrosão, alta resistência mecânica, boa soldabilidade, boa conformabilidade, facilidade de limpeza, durabilidade e baixa condutividade térmica. São recomendados para a construção civil em geral. Fazem parte desse grupo os aços das séries 200 e 300 (classificação AISI), sendo o tipo 304 e os tipos 316 e 316L os mais usados. O aço 304 é mais utilizado para revestimentos externos de edifícios.

2. Ferríticos: são ligas de ferro-cromo pertencentes à série AISI 400, contendo geralmente de 15 a 30 % de cromo e nenhum níquel. Apresentam boa resistência à corrosão em meios menos agressivos, boa ductilidade e razoável soldabilidade. O tipo 430, com tensão de escoamento de, no mínimo, 450 MPa, é geralmente o mais utilizado nesse grupo de ferríticos; apresenta boa resistência à fadiga térmica, podendo ser submetido a ciclos de variação de temperatura. Também é muito utilizado na construção civil e na arquitetura.
3. Martensíticos: são ligas de ferro-cromo, também pertencentes à série 400. Contêm de 12 a 17 % de cromo e 0,1 a 1,0 % de carbono. Uma característica dessa família é a de poder atingir altas dureza e resistência mecânica (1379 MPa) mediante tratamento térmico, entretanto, não são especificados para uso arquitetônico.

32.5.4 Folha de Flandres

A folha de flandres, vulgarmente chamada lata, é uma chapa fina de aço com as faces cobertas por leve camada de estanho, para não oxidar. É de grande aplicação, visto apresentar ótima resistência aos agentes químicos, ótima soldabilidade e boa aparência.

É obtida por imersão ou por deposição eletrolítica. A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) a fabrica em várias espessuras. Parte das folhas de flandres usadas no Brasil é importada. Uma nova fábrica está se erguendo no Rio Grande do Sul. São comercializadas conforme a ABNT NBR 6665:2014.

32.5.5 Chapas Galvanizadas

A chapa galvanizada é uma chapa fina de aço revestida com zinco. É mais resistente que a folha de flandres. A galvanização é feita imergindo-se a chapa em um banho de zinco fundido ou eletroliticamente.

As chapas galvanizadas podem ser obtidas lisas ou onduladas. São padronizadas pela bitola GSG (*galvanized sheet gauge*), desde o número 10 (3,515 mm de espessura) até o número 30 (0,399 mm de espessura). Quanto maior o número, menos espessa a chapa.

A título de ilustração, as Tabelas 32.1 e 32.2 apresentam as espessuras de algumas bitolas.

32.5.6 Chapas Lisas Pretas

As chapas de aço de baixo carbono lisas, denominadas chapas pretas, podem ser laminadas a quente e a frio.

As chapas laminadas a quente são chamadas *grossas* (espessuras de 5,16 a 75,20 mm), com larguras de 0,61 a 1,22 m e comprimentos de 2,00 a 10,67 m (a chapa xadrez, própria para piso industrial, é deste tipo, com espessuras entre 3,18 e 9,53 mm) e *finas*.

A espessura das chapas finas, bitoladas pela *Manufacturer's Standard Gauge* (MSG), diminui à medida que aumenta o número. São fabricadas nas espessuras entre 4,76 e 1,52 mm (chapa 16).

Apenas as chapas finas são laminadas a frio, nas espessuras de 1,90 (chapa 14 MSG) a 0,31 mm (chapa 30 MSG). São vendidas nos comprimentos de 0,91 a 4,57 m e larguras de 0,61 a 1,600 m, com grande variedade de tipos, conforme as propriedades desejadas. As espessuras-padrão são normalizadas pela ABNT NBR 6665:2014.

32.5.7 Perfis

Os perfis laminados estruturais são obtidos dentro de padrões de laminação, segundo a norma ASTM A6/A6M, mais comumente produzidos no Brasil. Suas alturas variam de 150 a 610 mm e são do tipo I, H, L, T, U (Fig. 32.23).

TABELA 32.1 Dimensões-limite das chapas zincadas (mm)

Dimensões	Zincagem contínua	Zincagem semicontínua	
		0,35-0,43	0,50 a 3,40
Espessura	0,30-1,95		
Comprimento	915-4780	1830-3000	1830 a 4000
Largura	600-1220	600-1220	600 a 1220

TABELA 32.2 Dimensões-padrão, larguras (mín. e máx.) e massa unitária das chapas zincadas

Espessura-padrão (mm)	Massa (kg/m ²)	Largura (mm)			Comprimento (mm)
		Mínima	Máxima	Padrão	
0,30	2,40	600	1000	100	2000
0,35	2,80		1070	1000	
0,43	3,44		1117	e	
0,50	4,00		1220	1200	
0,65	5,20			1000	
0,80	6,40			100	
0,95	7,60			e	
1,11	8,88			1200	
1,25	10,00				
1,55	12,40				
1,95	15,60				
2,30	18,40				
2,70	21,60				
3,40	27,20				

Notas:

- a) As espessuras acima constam da norma ABNT NBR 7013:2024 – Chapas e bobinas de aço revestidas pelo processo contínuo de imersão a quente – Requisitos gerais ou EN 10143. Espessuras mais finas do que 0,30 mm poderão ser produzidas, mediante entendimento prévio, no caso de BZC e CZC.
- b) As espessuras das chapas zincadas incluem o revestimento de zinco, que tem, aproximadamente, as seguintes espessuras, conforme o tipo:

Tipo de revestimento	Espessura média de Zn (soma das duas faces)
A	0,03 mm
B e C	0,05 mm
D, E e F	0,08 mm
G	0,10 mm

São produzidos de aços ao carbono, aços de alta resistência e baixa liga, aços patináveis etc. São normalmente classificados em finos (até duas polegadas) e grossos. Os perfilados são designados por sua altura em centímetros, mas só esse detalhe não é suficiente para sua caracterização. Os perfis L, por exemplo, podem ser de mesas estreitas ou de mesas largas.

Os perfis laminados estruturais são normalmente fabricados pelas indústrias com uma vasta gama de resistência mecânica e tamanhos. Os comprimentos-padrão são de 6,9 e 12 m.

Os perfis extrudados, muito utilizados em contraventamentos, são aqueles com seções mais complicadas. A extrusão conforma o produto bastante próximo de sua forma final. Isto é obtido por meio de moldes, os quais são pressionados sobre a peça de aço. Podem ser produzidos a frio ou a quente, que é a maioria das peças produzidas. Também são

fabricados produtos extrudados na forma de tubos, quadrados e retangulares.

Muitos perfis são produzidos a partir do dobramento a frio de chapas em prensa dobradeira, ou obtidos por perfilagem, em mesa de roletes, a partir de bobinas laminadas a frio ou a quente. São muito utilizados em obras de pequeno porte.

Os perfis estruturais soldados, muito comuns no Brasil, são obtidos a partir de chapas laminadas a quente. Podem ter as mais diversas seções, sendo as mais utilizadas as do tipo I (VS – Viga Soldada; CVS – Coluna/Viga Soldada; CS – Coluna Soldada). Têm limitações na altura dos edifícios produzidos com esse tipo de perfil.

32.5.8 Trilhos e Acessórios

Os tipos de trilhos, cujo perfil está esquematizado na Figura 32.24, são apresentados nas Tabelas 32.3 e 32.4.

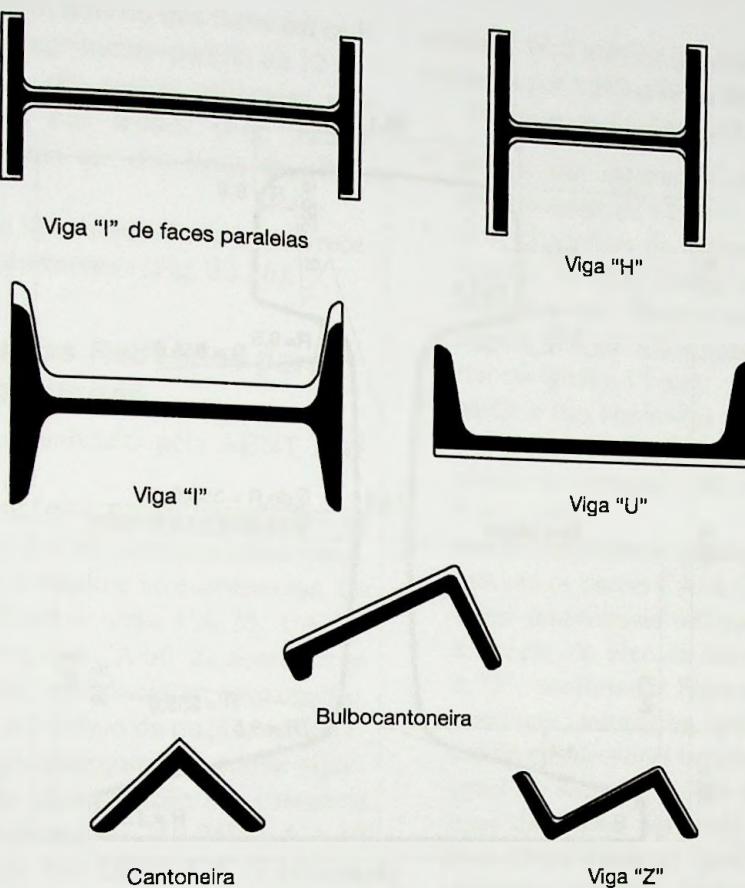


FIGURA 32.23 Tipos de perfis laminados estruturais.

TABELA 32.3 Tipos e massas dos trilhos

Tipo	Massa		Tipo da seção americana equivalente
	(kg)	lb/jd	
TR 37	37,10	74,8	ASCE 7540
TR 45	44,64	90,0	90 RA-A
TR 50	50,35	101,5	100 RE
TR 57	56,90	114,7	115 RE
TR 68	67,56	136,2	136 RE

TABELA 32.4 Composição química dos trilhos de aço-carbono

Tipo de trilho	Qualidade	Composição química (%)					Características mecânicas	
		C	Mn	Si	P Máx.	S Máx.	LR mínimo (N/mm ²)	Alongamento mín. (%)
TR 37	1 A	0,50/0,70	0,60/1,00	0,70/0,35	0,50	0,50	680	10
TR 45	2 A	0,62/0,82	0,60/1,10	0,10/0,35	0,50	0,50	780	9
TR 50								
TR 57								
TR 68	3 A	0,60/0,80	0,80/1,30	0,10/0,50	0,05	0,05	880	8

Notas:

- a) Esta composição é válida para análise de panela.
- b) Quando o comparador não especificar a qualidade, devem-se aplicar as indicações desta tabela ao tipo de trilho encomendado. Entretanto, mediante entendimento prévio, as qualidades 1A, 2A e 3A poderão ser especificadas para qualquer tipo de trilho.

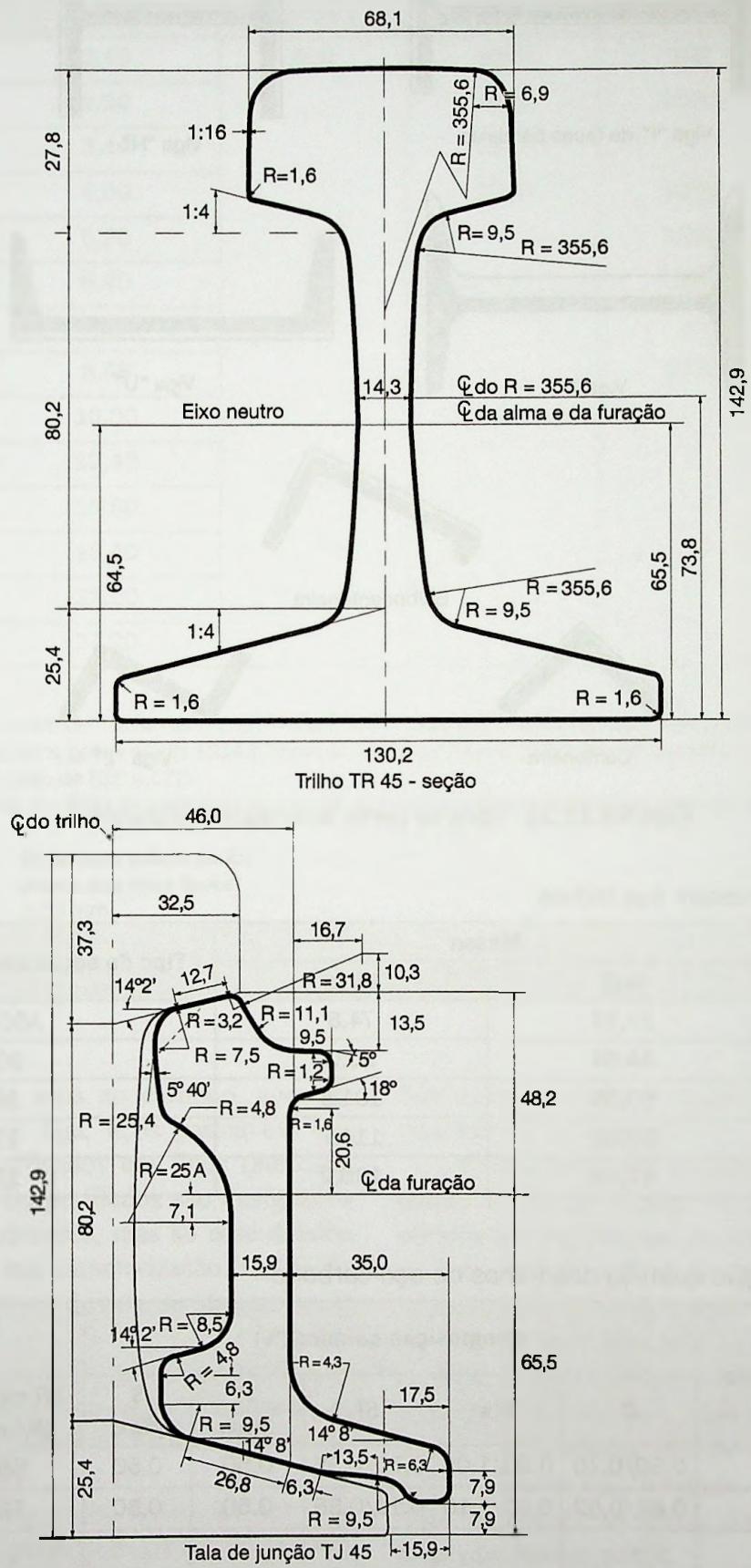


FIGURA 32.24 Esquema do trilho TR 45 e da Junção TJ 45.

São fornecidos já com dois ou três furos em cada extremidade e com o comprimento-padrão de 12 m.

As talas de junção são placas utilizadas para juntar as extremidades dos trilhos (Fig. 32.25). São apropriadas para cada um dos tipos de trilhos mencionados.

As placas de apoio são chapas destinadas a receber os trilhos sobre os dormentes (Fig. 32.26).

32.5.9 Fios e Barras Redondos para Concreto Armado

Este tipo especial é normalizado pela ABNT NBR 7480:2024.

O que determina a classe de um vergalhão e de fios para concreto armado é sua característica mecânica, como resistência à tração e ao escoamento. Os vergalhões são classificados entre CA 25, CA 50, CA 70, e os fios na categoria CA 60 de acordo com o valor característico da resistência ao escoamento, ponto a partir do qual, no ensaio de tração, as deformações plásticas do aço começam a se tornar significativas. Os limites de classificação são categoria CA 25 (escoamento mínimo de 250 MPa), CA 50 (escoamento mínimo de 500 MPa), CA 70 (escoamento mínimo de 700 MPa) e para os fios CA 60 (escoamento mínimo de 600 MPa).

A ABNT NBR 7480:2024 classifica as barras como "os produtos de diâmetro nominal 6,3 mm ou superior, obtidos exclusivamente por laminação a quente sem processo posterior de deformação mecânica. Classificam-se como fios aqueles de diâmetro

nominal 10,0 mm ou inferior, obtidos a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a frio".

Pode-se então dizer que:

- barras: são segmentos retos, com comprimento normalmente de 12 m;
- fios: elementos de diâmetro nominal inferior ou igual a 12 mm, fornecidos em rolos de grande comprimento. Observe-se aqui que a norma só admite fios em rolos quando o diâmetro for inferior ou igual a 12 mm;
- barras e fios laminados a quente, com escoamento definido, caracterizado por patamar no diagrama tensão-deformação – são as barras lisas CA25 e os fios CA60;
- barras laminadas a quente com nervuras transversais são as barras CA50, CA70. Os eixos das nervuras transversais oblíquas devem formar, com a direção do eixo da barra, um ângulo entre 45° e 75°, conforme a Figura 32.27. Para diâmetros nominais maiores ou iguais a 10,0 mm, a altura média das nervuras transversais oblíquas deve ser igual ou superior a 4 % do diâmetro nominal, e para diâmetros nominais inferiores a 10,0 mm, essa altura deve ser igual ou superior a 2 % do diâmetro nominal. Todas as barras nervuradas devem apresentar marcas de laminação em relevo indicando o fabricante, a categoria do material e o respectivo diâmetro nominal.

A seguir, são apresentadas as Tabelas B1, B2, B3 e B4 da NBR 7480:2024 (Tabs. 32.5 a 32.8) com os requisitos para barras e fios.

Na Tabela B.1 da ABNT NBR 7480:2024 são apresentadas as características das barras, conforme mostrado na Tabela 32.5.

Na Tabela B.2 da ABNT NBR 7480:2024 são apresentadas as características dos fios, conforme mostrado na Tabela 32.6.

Na Tabela B.3 da ABNT NBR 7480:2024 são apresentados os requisitos mecânicos das barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado, conforme mostrado na Tabela 32.7.

E na Tabela B.4 da ABNT NBR 7480:2024 são apresentadas as massas máximas dos lotes (t) para inspeção, para lotes não identificados (Tab. 32.8).

O Responsável pelo recebimento e aprovação dos lotes adquiridos de barras e fios, de acordo com a NBR 7480:2024, é o comprador. Logo, todos os ensaios previstos por essa norma, como ensaios visuais, dimensionais, pesagem, ensaios de dobramento, tração, aderência, soldabilidade etc., devem ser realizados em laboratórios idôneos e por equipe treinada.

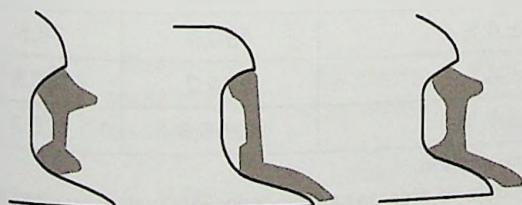


FIGURA 32.25 Esquema da montagem do trilho com as talas de junção.

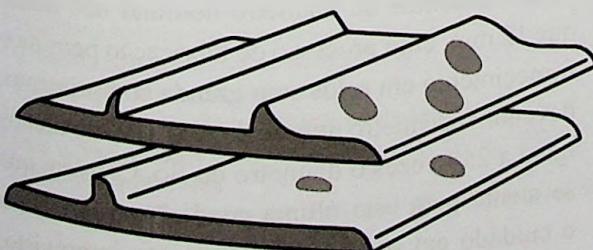


FIGURA 32.26 Esquema das placas de apoio para receber trilhos sobre os dormentes.

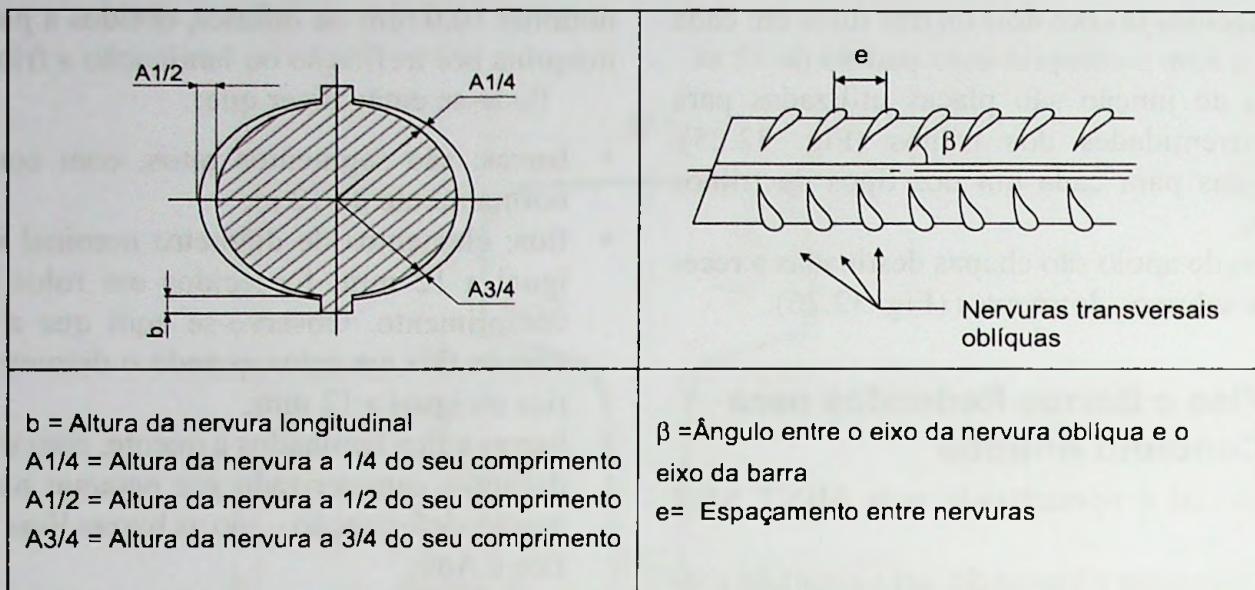


FIGURA 32.27 Exemplo de configuração geométrica com nervuras transversais oblíquas em dois lados da barra e nervuras longitudinais.

TABELA 32.5 Características das barras

Diâmetro nominal mm		Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais	
Série *	Barras	Massa nominal ^b kg/m	Máxima variação permitida para massa nominal	Área da seção mm ²	Perímetro mm
Fina	6,3	0,245	± 6 %	31,2	19,8
	8,0	0,395	± 6 %	50,3	25,1
Média	10,0	0,617	± 6 %	78,5	31,4
	12,5	0,963	± 6 %	122,7	39,3
Grossa	16,0	1,578	± 5 %	201,1	50,3
	20,0	2,466	± 5 %	314,2	62,8
Extra grossa	22,0	2,984	± 4 %	380,1	69,1
	25,0	3,853	± 4 %	490,9	78,5
	32,0	6,313	± 4 %	804,2	100,5
	40,0	9,865	± 4 %	1256,6	125,7

* Faixa de diâmetros de barras de aço destinados a armaduras para concreto armado.

^b A densidade linear de massa (em quilogramas por metro) é obtida pelo produto da área da seção nominal em metros quadrados por 7850 kg/m³.

32.5.10 Aços para Armaduras de Protensão

A ABNT NBR 7483:2021 – Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido estabelece inicialmente as classificações que se seguem.

a) De acordo com a apresentação

- Barras: elementos fornecidos em segmentos retos, com comprimento normalmente compreendido entre 10 e 12 m;

- Fios: elementos de diâmetro nominal não maior que 12 mm, cujo processo de fabricação permita o fornecimento em rolos com grande comprimento, devendo o diâmetro interno do rolo ser pelo menos igual a 250 vezes o diâmetro do fio. Convém que se atente para esta última condição, que mostra o cuidado em se evitar encruamento imprevisto, o que não consta na sua correspondente ABNT NBR 7480:2024;

TABELA 32.6 Características dos fios

Diâmetro nominal ^a mm		Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais	
Série ^b	Fios	Massa nominal kg/m	Máxima variação permitida para massa nominal	Área da seção mm ²	Perímetro mm
Fina	3,4	0,071	± 6 %	9,1	10,7
	3,8	0,089	± 6 %	11,3	11,9
	4,2	0,109	± 6 %	13,9	13,2
Média	4,6	0,130	± 6 %	16,6	14,5
	5,0	0,154	± 6 %	19,6	15,7
	5,5	0,187	± 6 %	23,8	17,3
	6,0	0,222	± 6 %	28,3	18,8
Grossa	6,4	0,253	± 6 %	32,2	20,1
	7,0	0,302	± 6 %	38,5	22,0
	8,0	0,395	± 6 %	50,3	25,1
	9,5	0,558	± 6 %	70,9	29,8
	10,0	0,617	± 6 %	78,5	31,4

^a Faixa de diâmetros de fios de aço destinados a armaduras para concreto armado.^b A densidade linear de massa (em quilogramas por metro) é obtida pelo produto da área da seção nominal em metros quadrados por 7850 kg/m³.

TABELA 32.7 Requisitos mecânicos de barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado

Categoria do aço	Valores mínimos de tração				Ensalo de dobramento ^g	Ensalo de aderência	
	Resistência característica de escoamento ^a f_{yk} MPa ^e	Límite de resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração (LR ou δ_t) da ABNT NBR ISO 6892-1. ^b f_{st} MPa ^e	Alongamento após ruptura em 10 ϕ ^c A %	Alongamento total na força máxima ^d A_{gt} %		Diâmetro do pino ou cutelo mm	Coeficiente de conformação superficial mínimo η
CA-25	250	1,20 f_y	18	-	2 ϕ	4 ϕ	1,0
CA-50	500	1,10 f_y	8	5	3 ϕ	6 ϕ	1,0
CA-60	600	1,05 f_y ^f	5	-	5 ϕ	-	1,0
CA-70	700	1,10 f_y	8	5	3 ϕ	6 ϕ	1,0

^a Valor característico do limite superior de escoamento f_{yk} obtido a partir do LE ou δ_s da ABNT NBR ISO 6892-1.^b O mesmo que resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração (LR ou δ_t) da ABNT NBR ISO 6892-1.^c ϕ é o diâmetro nominal, conforme 3.5.^d O alongamento deve ser verificado por meio do critério de alongamento após ruptura (A) ou alongamento total na força máxima (A_{gt}).^e Para efeitos práticos de aplicação desta Norma, pode-se admitir 1 MPa = 0,1 kgf/mm².^f f_{st} mínimo de 660 MPa.^g O ensaio de dobramento deve ser feito a 180° conforme a ABNT NBR 17005.

TABELA 32.8 Massa máxima dos lotes (t) para inspeção, para lotes não identificados

Diâmetro nominal mm		Categoria do aço	
Fios	Barras	CA-25	CA-50; CA-60; CA-70
3,4	-	-	4
3,8	-	-	4
4,2	-	-	4
4,6	-	-	4
5,0	-	-	4
5,5	-	-	5
6,0	-	-	5
-	6,3	8	5
6,4	-	-	5
7,0	-	-	6
8,0	8,0	10	6
9,5	-	-	6
10,0	10,0	13	8
-	12,5	16	10
-	16,0	20	13
-	20,0	25	16
-	22,0	25	20
-	25,0	25	20
-	32,0	25	25
-	40,0	25	25

- cordões: agrupamentos de dois ou três fios enrolados em hélice, com eixo longitudinal comum;
- cordas: agrupamentos de, pelo menos, seis fios enrolados em uma ou mais camadas, em torno de um fio cujo eixo coincide com o eixo longitudinal do conjunto.

b) De acordo com o processo de fabricação e configuração do diagrama tensão x deformação

- Classe A: laminados a quente, com escoamento definido, caracterizado pelo patamar no diagrama tensão x deformação;

- Classe B: encruados por deformação a frio, com tensão de escoamento convencionada em uma deformação permanente de 0,2 %;
- Classe C: temperados, com tensão de escoamento convencionada em uma deformação permanente de 0,2 %.

c) De acordo com as características mecânicas

As barras e fios de aço destinados para armadura de concreto armado devem seguir os requisitos apresentados na Tabela 32.7.

Para identificação, cada barra deverá ter uma das extremidades na extensão aproximada de 10 cm, pintada com as cores distintivas da categoria. No caso de fios, cordões ou cordas fornecidos em rolo, a identificação será feita por etiquetas.

A norma recomenda o seguinte bitolamento para barras e fios:

- barras: 5 – 6 – 8 – 10 – 12 – 16 – 20 – 22 – 25 – 32 e 40 mm;
- fios: 3 – 3,2 – 3,5 – 4 – 4,5 – 5 – 5,5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 e 12 mm.

32.5.11 Arames e Telas

Os arames são finos fios de ferro laminado, galvanizados ou não. São vendidos em rolos, nas bitolas de 0,2 até 10 mm, normalmente de acordo com as bitolas BWG (*Birmingham Wire Gauge*) e, eventualmente, com as SWG (*Standard Wire Gauge*). Nessas bitolas, bastante semelhantes, à medida que aumenta o número indicativo, diminui o diâmetro. Também é adotada a bitola da fieira de Paris, usada para os pregos. Nessa bitola, à medida que aumenta o número, aumenta o diâmetro.

O arame recozido, ou queimado, é um arame destemperado usado para amarrar as barras de armaduras de concreto armado. É apresentado geralmente nas bitolas 16 BWG (1,65 mm) e 18 BWG (1,24 mm). A segunda é mais fraca, porém mais fácil de trabalhar.

As telas são malhas fortes de arame. São caracterizadas pela bitola do arame usado e pela abertura da malha. Costuma-se chamar tela Otis a tela em que o arame, antes de formar a malha, é ondulado.

32.5.12 Pregos

Os pregos são de diversos tipos. Há os pregos de aço forjado, atualmente pouco usados, e os de arame galvanizado, mais comuns. Há os de cabeça vedante, de chumbo (chamados telheiros) ou galvanizada, que

servem para pregar telhas metálicas. Há também os pregos quadrados, torcidos (ou aspirais), com farpas e até os de duas cabeças, que permitem retirada mais fácil, posteriormente.

Os pregos são ditos de carpinteiro ou de marceneiro, conforme tenham cabeça apropriada para embutir ou não (Fig. 32.28).

Os pregos são bitolados por dois números. O primeiro corresponde à bitola do arame na fieira de Paris e o segundo, a uma antiga medida francesa de comprimento (a unidade é 2,255 mm). Esta unidade é a linha, 1/12 de polegada francesa (27,07 mm). Para efeito de orçamento, podem-se tomar, para as bitolas mais comuns, as medidas constantes na Tabela 32.9.

32.5.13 Parafusos

Têm a função de resistir a esforços de tração e/ou cisalhamento.

Geralmente, as ligações feitas em campo utilizam parafusos porque são mais rápidas, simples e econômicas que uma ligação equivalente soldada, além de não necessitar de proteção contra intempéries.

Visando à redução de custos, recomenda-se ainda limitar o número de bitolas. O ideal é empregar somente um diâmetro, embora seja praticamente impossível, principalmente em se tratando de obras grandes. Existem parafusos de aço-carbono comum (como o ASTM A-307) geralmente usado em ligações não estruturais ou secundárias e os de alta resistência (ASTM A-325, ASTM A-490). Esses últimos exigem maiores cuidados com relação às arruelas e ao acabamento das superfícies em contato com as partes ligadas, sendo, portanto, usados em ligações de maior responsabilidade.

Há grande variedade de parafusos para diversos fins (Fig. 32.29). Eles podem ser de aço ao carbono preto ou galvanizados. Podem ser com porca (parafusos franceses) ou de fenda, com cabeça chata ou redonda. Os parafusos de fenda para madeira têm a

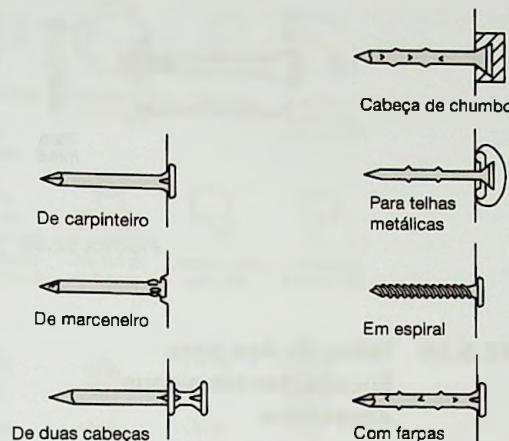


FIGURA 32.28 Tipos de pregos.

ponta cônica; para metal, têm o mesmo diâmetro em toda a extensão. Existem parafusos e ganchos galvanizados apropriados para as telhas e painéis de fibrocimento, que são fabricados com 10, 11 e 20 mm de comprimento, sendo estes últimos para as cumeeiras e espigões. Os ganchos são fabricados em diversos tamanhos e formas.

32.5.14 Rebites

Os rebites também são apresentados em diversas formas e tamanhos e normatizados pela ABNT NBR 9580:2015. Devem ser produzidos com o aço apropriado para os fins a que se destinam.

32.5.15 Tela Deployé

A tela para estuque, também chamada tela preta ou tela *deployé*, é vendida nas larguras de 60 cm ou 1 m. É feita de chapa preta, cortada longitudinalmente e estirada, de modo a proporcionar grande aderência às argamassas. É esmaltada para diminuir a oxidação.

TABELA 32.9 Bitolas comuns de pregos

Bitola	Quantidade de pregos por kg	Diâmetro (mm)	Comprimento (cm)
12 × 12	1750	4,8	2,75
13 × 15	1150	2,0	3,44
16 × 24	400	2,7	5,50
17 × 27	266	3,0	6,20
18 × 30	205	3,4	6,90
19 × 39	420	3,9	8,95

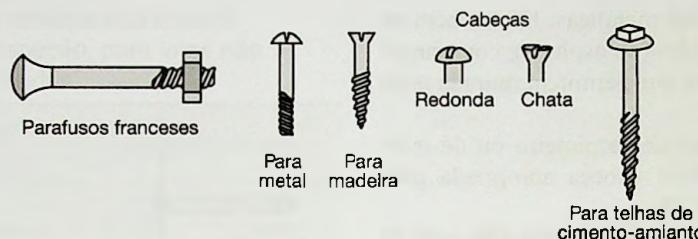


FIGURA 32.29 Tipos de parafusos.

32.5.16 Tubos de Aço para Encanamentos e seus Acessórios

Existem tubos pretos e galvanizados, com e sem costura.

Os tubos pretos sem costura, laminados a quente, são chamados do tipo Mannesmann. Já os tubos de ferro fundido, centrifugado ou não, são usados para encanamentos de esgotos quando de ponta e bolsa, ou de gás, quando de duas pontas lisas.

A Figura 32.30 mostra o desenho das peças mais comuns, com a respectiva denominação.

Os tubos de aço galvanizado são vendidos desde a bitola de $1/8"$ a $8"$. Vêm em varas de comprimento variável. Na Figura 32.31 estão algumas peças de conexão, com a sua nomenclatura. Os tubos são produzidos em três classes: normal, reforçada e duplamente reforçada, variando a pressão de trabalho conforme as bitolas. Hoje, quase já não são utilizados.

Chamamos atenção para os *sprinklers*, que são chuveiros alimentados pela rede de água, com um

dispositivo que asperge nuvem de água sempre que a temperatura aumenta. Servem para apagar incêndios logo que o calor apareça. O elemento fusível pode ser solda ou uma ampola de líquido altamente expansível sob o efeito da temperatura.

32.5.17 Eletrodutos

Os eletrodutos são canos de aço esmaltados, fabricados em bitolas normatizadas que vão desde $3/8"$ a $6"$. São chamados pesados quando têm paredes grossas, e leves, quando suas paredes são finas.

32.5.18 Andaiques Metálicos

Há diversos tipos e marcas de fabricação. Em princípio, constam de tubos de aço que se articulam para permitir os diferentes formatos e comprimentos. Servem também para o cimbramento do concreto, onde, conjugados com compensados à prova d'água, reduzem em muito o consumo de madeira.



FIGURA 32.30 Tipos de conexão ponta e bolsa.

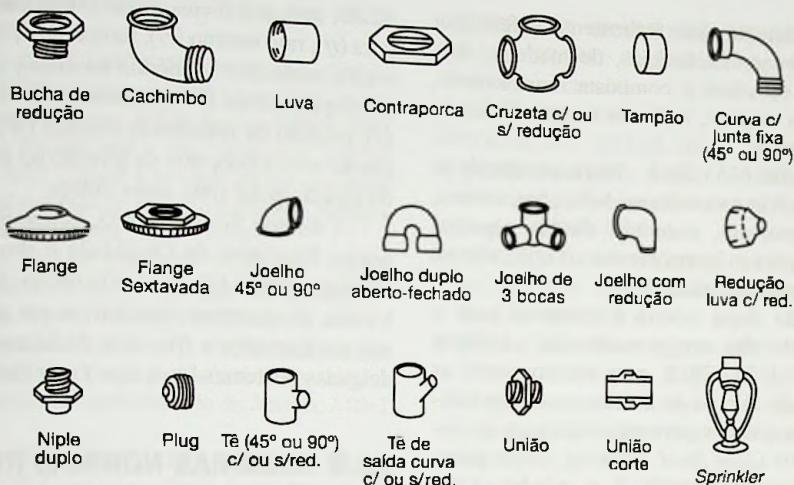


FIGURA 32.31 Peças para conexões rosqueadas.

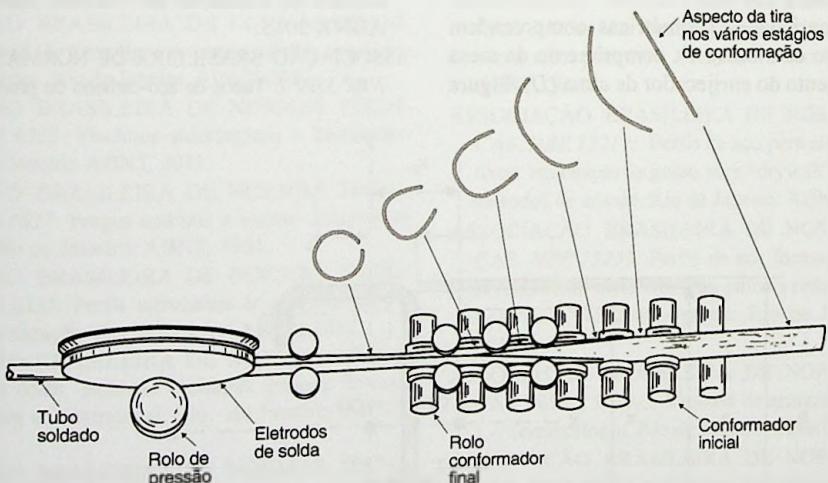


FIGURA 32.32 Esquema de conformação de tubos com costura.

32.5.19 Porta-Paletes Seletivos

A ABNT NBR 15524-1:2007 (parte 1) é a norma brasileira para estruturas ou sistemas de armazenagem tipo porta-paletes seletivos. Ela trata das terminologias dos componentes e acessórios utilizados nas estruturas para armazenamento.

A NBR 15524-2:2007 (parte 2) determina as diretrizes para projeto, cálculo e dimensionamento, materiais utilizados, acabamento e pintura, fixação e ancoragem, determinação de folgas e de corredores operacionais, itens de segurança, amarrações superiores, tolerâncias

planimétricas e de deformações nos perfis, dentre outros itens pertinentes. Também determina a frequência de inspeções periódicas a serem realizadas nas estruturas porta-paletes.

32.5.20 Steel Frame

O *Light Steel Framing* é um sistema construtivo industrializado, formado por estruturas de perfis de aço galvanizado, e com potencial para ser altamente racionalizado quando o projeto, a mão de obra e a oferta dos produtos envolvidos são bem

resolvidos localmente. Seu fechamento é feito por placas, podendo ser cimentícias, de madeira, *drywall* etc. Sua estrutura é composta, basicamente, por fechamento externo, isolantes termoacústicos e fechamento interno.

A ABNT NBR 6355:2012 – Perfis estruturais de aço formados a frio apresenta as definições, termos, requisitos do processo, materiais, chapas, aspectos estruturais etc. para as barras estruturais utilizadas na construção de painéis reticulados.

A utilização desta norma é essencial para o dimensionamento das cargas resistentes conforme a ABNT NBR 14762:2010, pois ela apresenta as determinações de cálculo de acordo com propriedades geométricas dos componentes utilizados no sistema construtivo *Light Steel Framing*, como guias, montantes, cantoneiras, perfis Z e cartolas. Além das prescrições, a norma também apresenta diversas tabelas com os valores das propriedades geométricas já determinadas para os perfis padronizados com larguras de 90, 140 e 200 mm.

Essas propriedades geométricas compreendem o comprimento da alma (b_w), comprimento da mesa (b_f), comprimento do enrijecedor de alma (D), Figura

32.33, peso por metro linear (kg/m), área (A), espessura (t_f), raio interno (r_i), momento de inércia no eixo x (I_x), momento de inércia no eixo y (I_y), constante de empenamento (C_w), momento de inércia à torção (J), módulo de resistência elástico (W), raio de giração no eixo x (r_x), raio de giração no eixo y (r_y), raio de giração polar (r_O), entre outros.

A diretriz SINAT nº 003, determinada pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), é a orientação para avaliação técnica de sistemas construtivos em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamento em chapas delgadas (sistemas leves tipo *Light Steel Framing*).

32.6 ALGUMAS NORMAS RELATIVAS AOS PRODUTOS SIDERÚRGICOS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5580*: Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5599-2*: Tubos de aço-carbono de precisão – Parte 2:

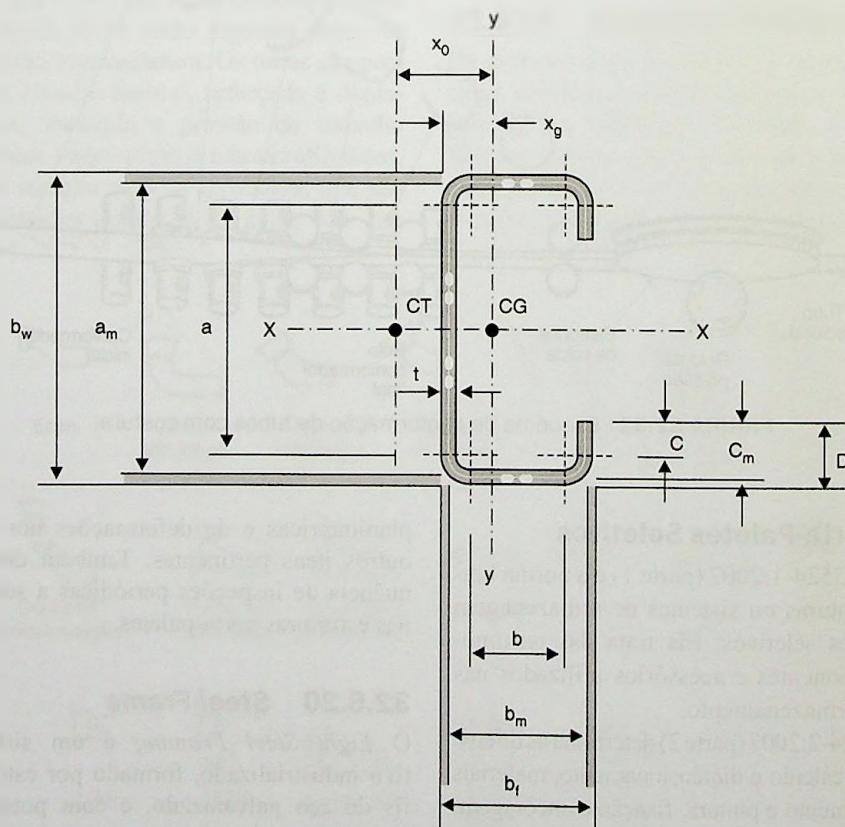


FIGURA 32.33 Esquema das propriedades geométricas de um perfil para *steel-frame*.

- Tubos trefilados a frio com solda longitudinal. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5884:** Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7013:** Chapas e bobinas de aço revestidas pelo processo contínuo de imersão a quente – Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681:** Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15980:** Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:** Carga para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123:** Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6213:** Ferroligas e outras adições metálicas – Codificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6215:** Produtos siderúrgicos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6627:** Pregos comuns e arestas de aço para madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1981.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6355:** Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6648:** Bobinas e chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6650:** Bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6665:** Folhas laminadas de aço-carbono revestidas eletroliticamente com estanho ou cromo ou não revestidas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7007:** Aço-carbono e aço microligado para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480:** Aço destinado a armaduras para estruturas de concretoarmado – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7483:** Cordalhas de aço para estruturas de concreto pretendido – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2021 (emenda).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9580:** Rebites – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432:** Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762:** Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15217:** Perfis de aço para sistemas construtivos em chapas de gesso para “drywall” – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15253:** Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações – Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15524-1:** Sistema de armazenagem – Parte 1 – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15524-2:** Sistema de armazenagem – Parte 2 – Diretrizes para o uso de estruturas tipo porta-paletes seletivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15980:** Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 87:** Aço-carbono e ligados para construção mecânica – Designação e composição química. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5599-1:** Tubos de aço, de precisão, sem costura. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E23-18 – Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. West Conshohocken: ASTM, 2016. 26 p.
- DIETER JR., G. E. *Mechanical metallurgy*. Tokio, Japan: McGraw-Hill, 1976.
- HUME-ROTHERY, W. *Estrutura das ligas de ferro*. São Paulo: Edgard Blücher, 1968.
- REED-HILL, R. E. *Princípios de metalurgia física*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A., 1982.
- SOUZA, S. A. *Ensaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos*. São Paulo: Edgard Blücher, 17. impressão, 2019.