

combustão dá-se pelo ar, que é succionado de cima para baixo, por um sistema de exaustão.

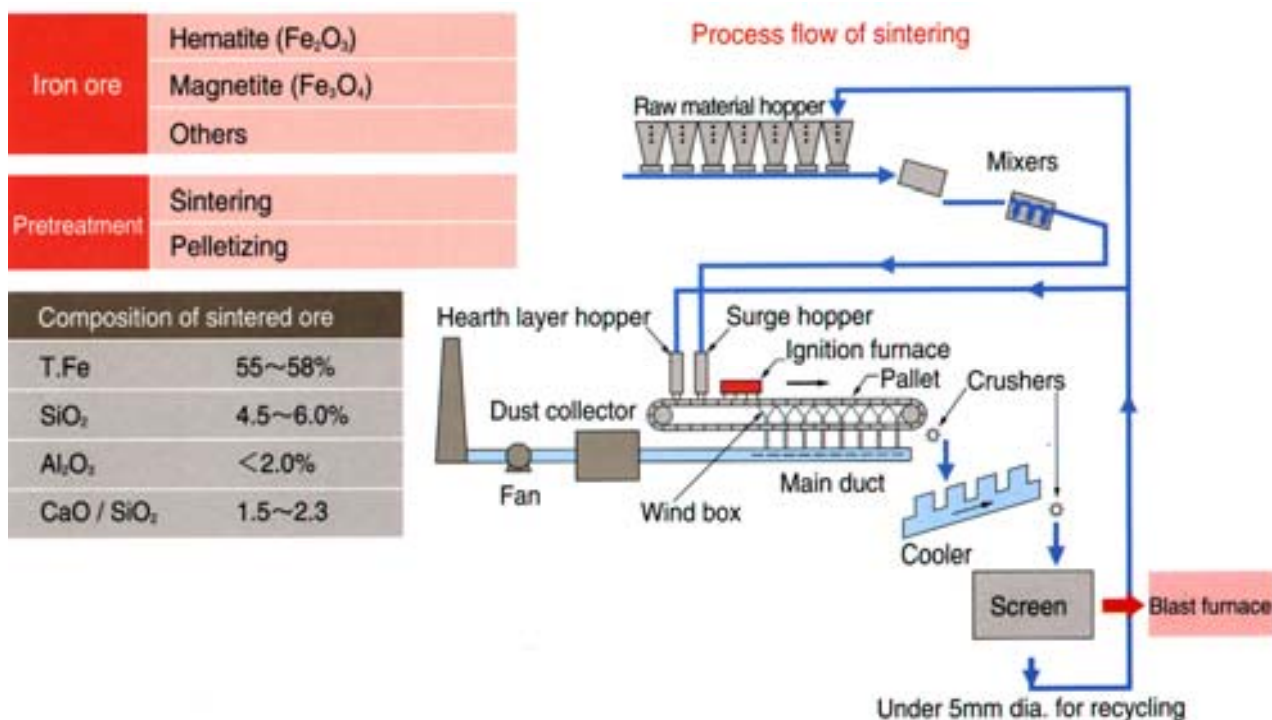


Figura 4.13 – Fluxos de produção para a obtenção de sinter para alimentação de altos fornos (bast furnace), 21st Century Foundation / Kawasaki Steel.

As partículas finas, que ficam suspensas no ar, são succionadas para um precipitador eletrostático e reaproveitadas como finos de retorno. Após o resfriamento, o "bolo" de sinter passa por uma quebra mecânica e peneiramento. O material fino (tipicamente <5mm) classificado na peneira é reaproveitado como finos de retorno e o restante é o sinter. O sinter, possuindo uma granulometria adequada para a redução (tipicamente entre 5 a 50mm), seguirá para os silos da redução.

4.3.2.2 – Pelotização

A pelota é um aglomerado de forma esférica obtido pelo rolamento em tambores, cones ou discos de misturas ricas em ferro, moídas e umedecidas adequadamente para formar as pelotas. A pelotas formadas são imediatamente submetidas à queima a temperaturas superiores a 1250°C , quando então a pelota é consolidada (endurecida). Assim sendo, são três as etapas da pelotização: a obtenção da granulometria adequada, a formação da pelota verde ("crua") e o endurecimento da pelota.

4.3.2.3 – Coqueria

É a unidade que transforma o carvão em coque. Para isso, o carvão é depositado em câmaras fechadas, onde é aquecido a uma temperatura de 1300°C , durante 16 horas, sem contato com o ar. Este aquecimento faz os componentes

voláteis, presentes no carvão, evaporarem, até restar apenas o carbono e as cinzas (substâncias não inflamáveis), conforme ilustrado na figura 4.14.

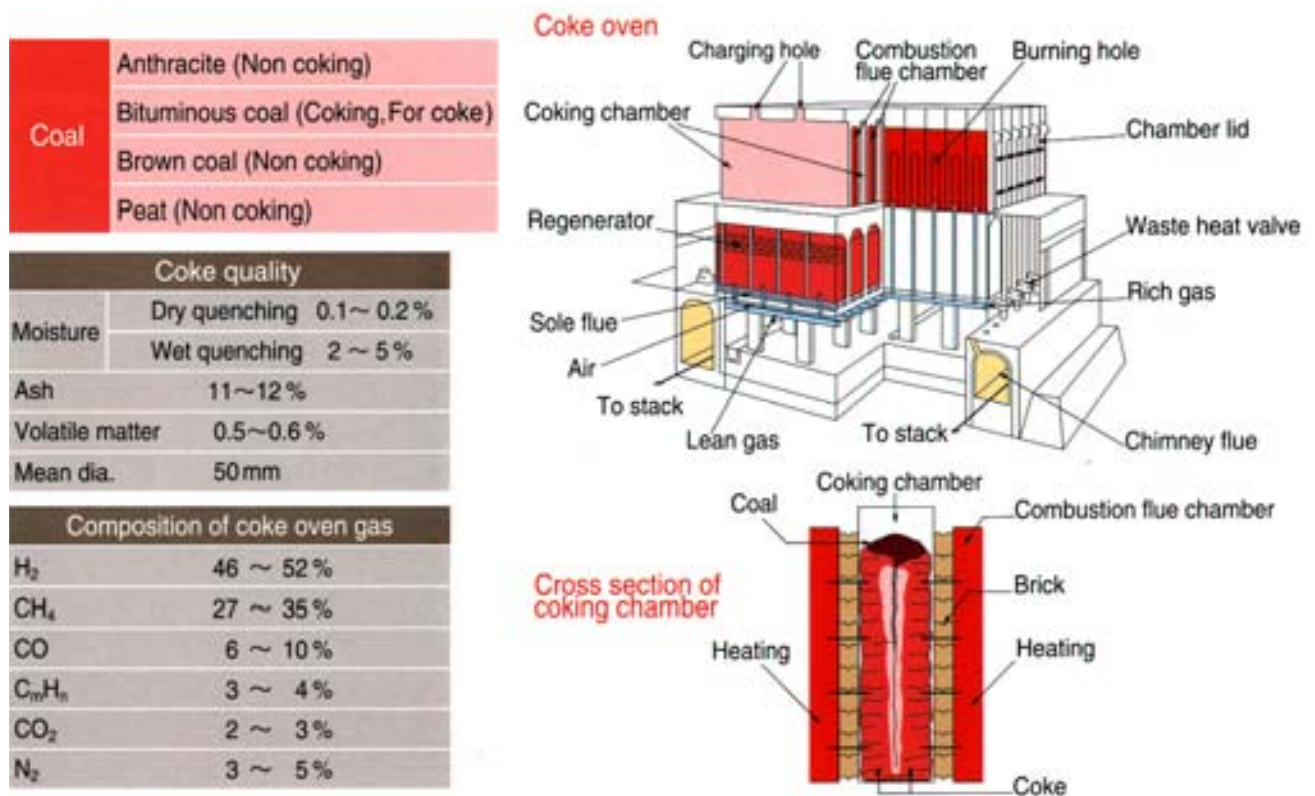


Figura 4.14 – Esquemas de produção de coque em uma coqueria, 21st Century Foundation / Kawasaki Steel.

Após o ciclo de aquecimento, o coque é desenformado a 1150°C, diretamente no carro de apagamento. Esse carro transporta o material até a estação de apagamento, no final da linha, onde é rapidamente resfriado com água ou gás inerte, para que não se queime em contato com o ar.

O coque frio é então peneirado e estocado, para ser utilizado nos altos-fornos. Os gases emanados pelo carvão durante seu aquecimento, são coletados, purificados e armazenados para serem utilizados como gás combustível e como fonte de carboquímicos (indústria química).

4.3.3 – Redução e pré-processamento: extraindo o ferro metálico

O ferro gusa é produzido no alto forno através da redução do minério de ferro, que é composto, basicamente, por ferro e oxigênio combinados. A retirada do oxigênio associado com o ferro, pela reação com o monóxido de carbono (CO), oriundo da queima do coque, é a chamada redução.

Conforme ilustrado na figura 4.15, no alto forno, a carga metálica (minério de ferro, sinter e/ou pelotas), fundentes (como o calcário e dolomita) e carvão ficam dispostos em silos, até serem carregados na parte de cima do alto-forno, em camadas alternadas. O gás de redução é criado com a reação do coque com a

injeção de ar quente, aquecido pelos regeneradores e injetado pelas ventaneiras na parte inferior do forno. A combustão do carvão gera, não só os gases para a redução do minério de ferro, mas também o calor necessário para dissolver os minérios reduzidos.

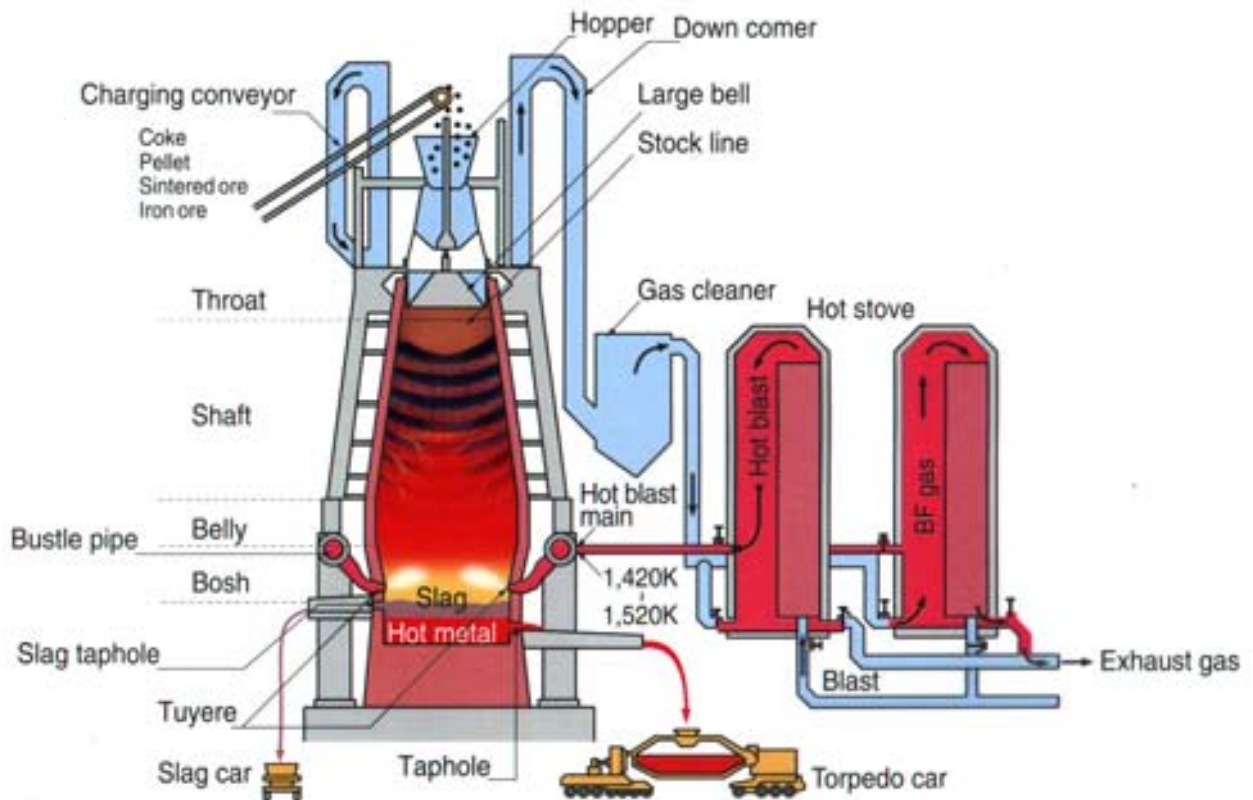


Figura 4.15 – Esquemas de extração de ferro impuro (ferro-gusa) a partir de um alto-forno, 21st Century Fundation / Kawasaki Steel.

O ar injetado pelas ventaneiras irá reagir com o coque, gerando gás redutor em alta temperatura que irá trocar calor com a carga. Na região inferior do alto forno, os gases com temperaturas em torno de 2000°C irão fundir o ferro gusa já reduzido, bem como aquecê-lo até a temperatura de vazamento de aproximadamente 1500°C . As impurezas presentes nos minérios não serão reduzidas, sendo apenas fundidas, desta forma compondo a escória.

As sucessivas reações químicas entre os sólidos que descem e os gases que sobem produzem ferro gusa e escória. O material reduzido e fundido é retirado através de uma abertura no forno, conhecido como "furo de gusa". Esta abertura é aberta e o ferro gusa líquido é vazado para fora do forno sendo conduzido até os carros torpedo, pelos canais de corrida. A escória, menos densa que o gusa, fica na parte superior do cadinho e dos canais de corrida, sendo posteriormente retirada do forno também.

O gusa será transformado em aço e a escória passa por um processo de granulação e servirá, principalmente, como matéria-prima para a fabricação de cimento. A figura 4.16 ilustra os fluxos de entrada e saída de materiais típicos em um alto-forno.

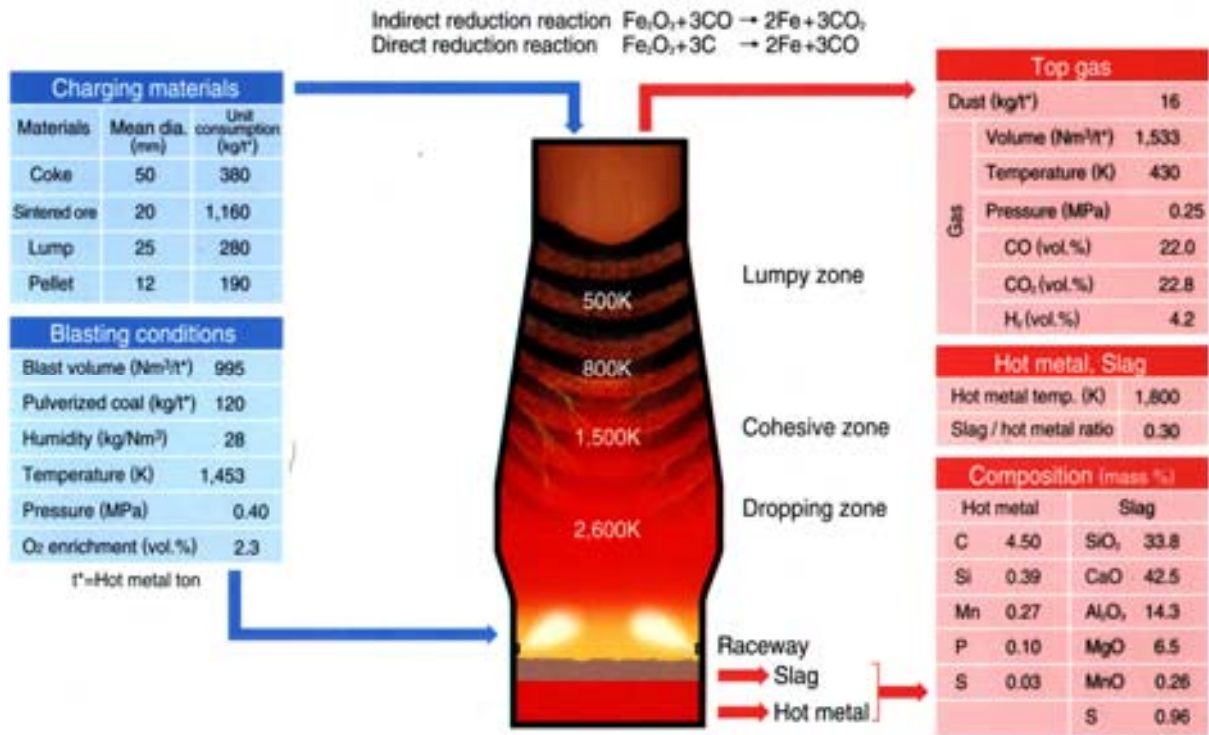


Figura 4.16 – Fluxos de entrada e saída típicos em um alto-forno, 21st Century Foundation / Kawasaki Steel.

O gusa líquido deve ser transportado para a aciaria com o mínimo de perdas de calor, este transporte é realizado pelos carros-torpedo, que possibilitam, também, a dessulfuração em instalação própria. A dessulfuração é feita através da injeção de aditivos e gás inerte por uma lança submersa. Este processo prepara o gusa para a próxima etapa de transformação, conforme mostrado na figura 4.17.

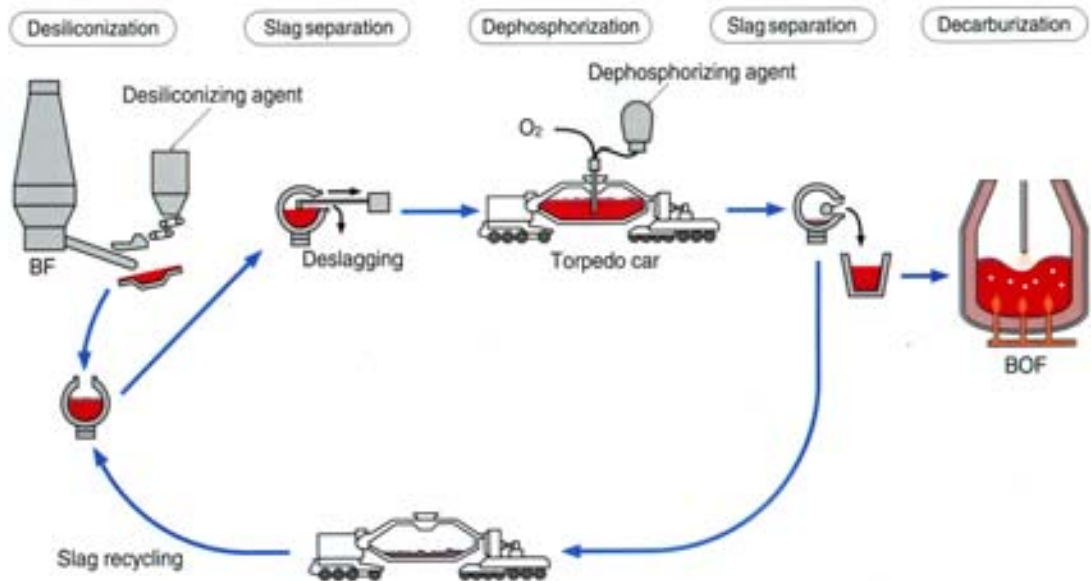


Figura 4.17 – Caminho do gusa ente o Alto-Forno e a aciaria, 21st Century Foundation / Kawasaki Steel.

4.3.4 – Obtenção do aço: Aciaria

4.3.4.1 – Conversão do gusa em aço

A transformação do gusa líquido em aço é realizada na aciaria através do convertedor (ou conversor), onde ocorre a retirada do carbono do gusa através do sopro com oxigênio. O convertedor é basculado primeiramente para receber a carga sólida: sucata, através de recipientes adequados. Em seguida recebe o gusa líquido com o auxílio de panelas. A figura 4.18 ilustra o processo.

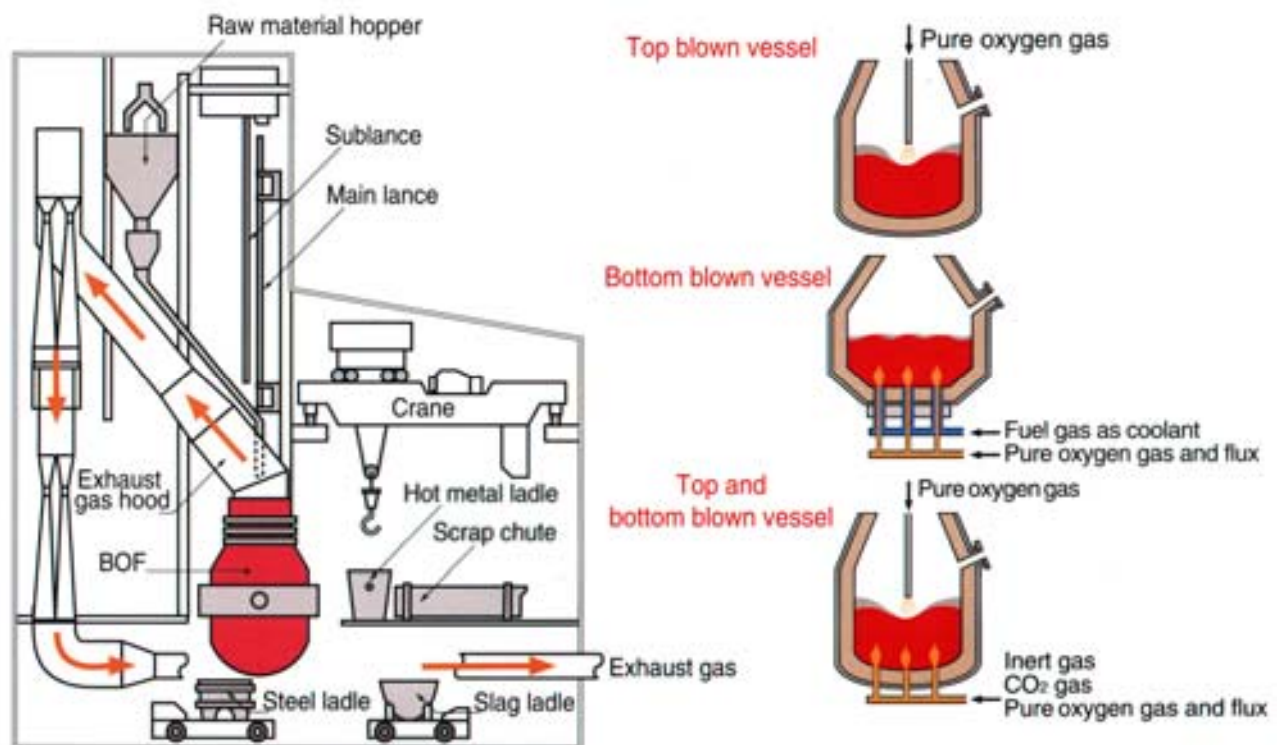


Figura 4.18 – Visão geral de um equipamento para conversão de ferro gusa líquido em aço, 21st Century Fundation / Kawasaki Steel.

Voltando para a posição vertical, o convertedor recebe a lança de oxigênio que será introduzida, no interior do convertedor, até a uma altura pré-determinada do metal líquido, esta lança irá soprar oxigênio sob pressão no banho. Após o início do sopro, faz a adição de alguns aditivos formando-se a escória.

O sopro de oxigênio proporciona rapidez na transformação do ferro gusa em aço, além de possibilitar o reaproveitamento de sucata gerada na própria usina. O oxigênio deve ter, no mínimo, 99,5% de pureza. O sopro de oxigênio pode ser por cima, por baixo ou combinado.

Completado o sopro, a lança é retirada e o convertedor é basculado para a medição de temperatura do banho e coleta de amostras para análise química. Estando a composição química e a temperatura dentro das faixas previstas, báscula-se o convertedor para o vazamento do aço em uma panela. Após a retirada do aço, o convertedor é novamente basculado, para a retirada da escória. A figura 4.19 ilustra os fluxos de materiais nesta operação.

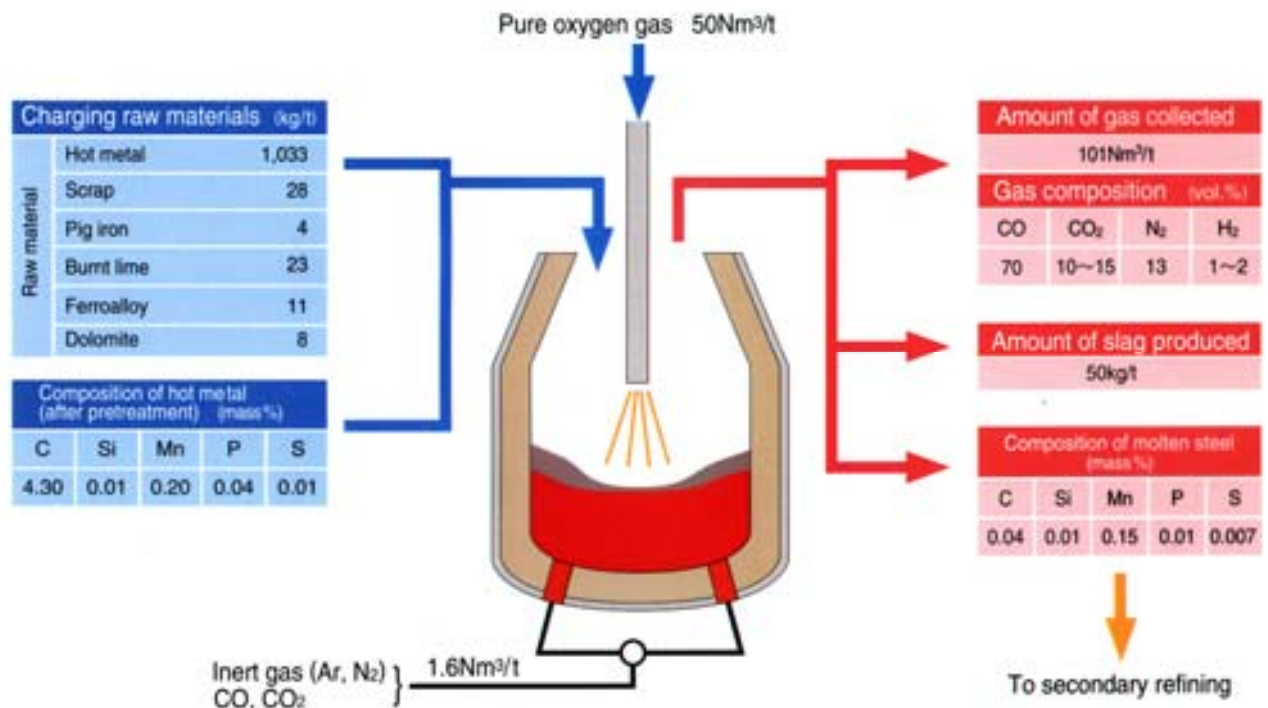


Figura 4.19 – Fluxos de entrada e saída típicos em um convertidor a oxigênio, 21st Century Foundation / Kawasaki Steel.

4.3.4.2 – Refino Secundário

Fundamentalmente os aços são ligas de ferro e carbono, outros elementos, como o cromo e o níquel, por exemplo, são empregados para aços-liga. Os elementos de liga são adicionados ao aço para: melhorar suas propriedades mecânicas, controlar sua temperabilidade e aumentar sua resistência à corrosão química e à oxidação, por exemplo.

Após o aço ser vazado do convertidor, este poderá ser tratado no forno panela, onde o material receberá outros elementos, dando novas propriedades ao aço, de acordo com o produto final pretendido. Através da adição de elementos de liga, aquecimento elétrico do aço e agitação por gás inerte, a composição do material será ajustada através de inúmeras reações químicas que ocorrem dentro do forno.

O aço também pode passar por uma etapa de desgaseificação á vácuo que visa retirar os gases, por exemplo o hidrogênio, que se dissolvem no aço e que poderiam ser prejudiciais ao desempenho de suas propriedades finais.

4.3.4.3 – Lingotamento

A figura 4.20 ilustra um esquema do lingotamento contínuo de placas de aço. O aço líquido é transferido da panela para a máquina de lingotamento contínuo, sendo vazado para o distribuidor, que permite que se alimente de forma suave e constante o(s) molde(s) posicionado(s) abaixo. Os moldes refrigerados a água são mantidos num movimento oscilatório que não permite a aderência do aço às paredes.

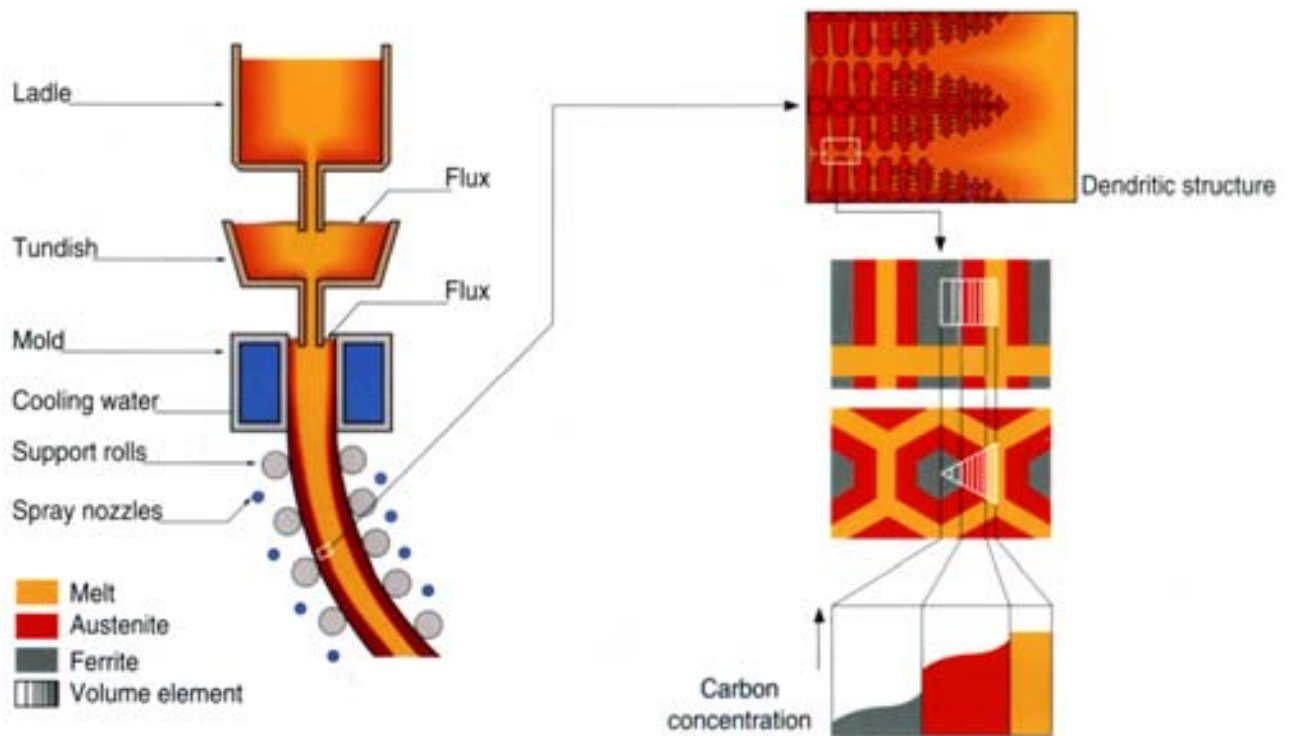


Figura 4.20 – Esquema de solidificação de aço em uma máquina de lingotamento contínuo de aço, 21st Century Foundation / Kawasaki Steel.

No seu interior, em contato com as paredes frias do molde, o aço líquido começa a se solidificar, formando uma casca. O material será resfriado por sprays de água e continua a descer pela máquina até a sua solidificação total. Após a completa solidificação, por meio de um dispositivo de corte oxiacetilênico, o material é cortado em comprimentos adequados. Os semi-produtos são, ao final, transferidos para a área de estocagem. A figura 4.21 ilustra uma máquina e todos as facilidades a ela associada.

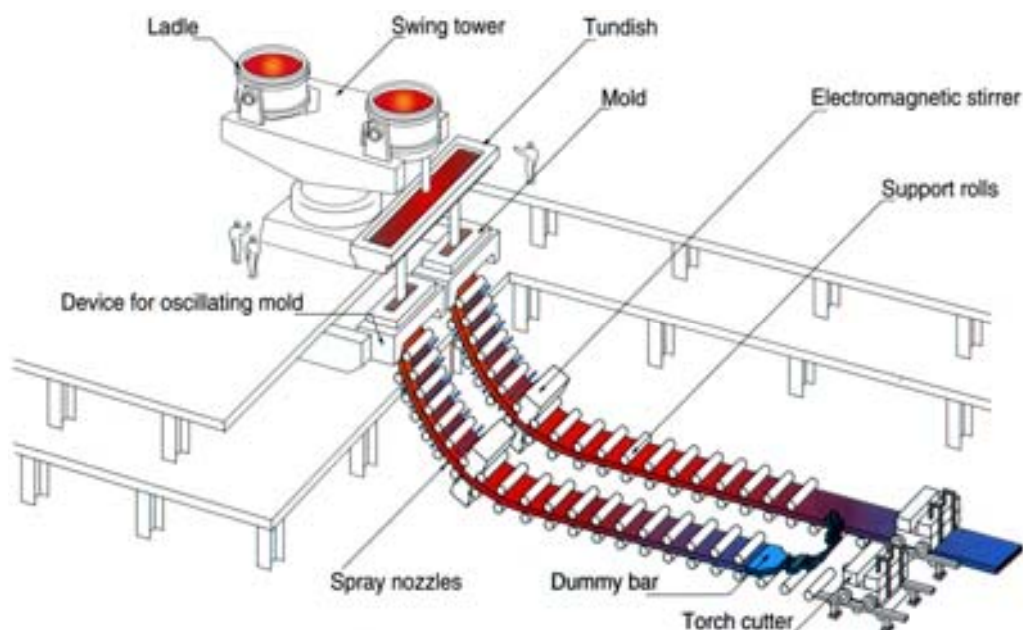


Figura 4.21 – Visão geral de um equipamento de lingotamento contínuo de aço, 21st Century Foundation / Kawasaki Steel.

4.3.5 – Conformação mecânica: obtendo o produto final

A figura 4.22 ilustra uma seqüência genérica de produção de bobinas de aço como ilustração da explicação a seguir. Os semi-produtos (por exemplo, tarugos ou placas), vindos do pátio de estocagem do lingotamento, são transportados para a mesa de alimentação e empurrados para o forno de reaquecimento. Neste forno, o material é reaquecido a uma temperatura ideal para a fase de laminação.

Após o reaquecimento, o material é extraído do forno até a mesa de rolos e inicia-se o processo de laminação através da condução dos tarugos ou placas pelo(s) laminador(es) formado(s) basicamente de cilindro girantes, reduzindo a área e conformando a peça ao perfil desejado.

Os laminadores diferenciam-se em pelo produto acabado que se deseja produzir ou pelos semi-produtos que sairá da siderúrgica para as indústrias de transformação de produtos acabados.

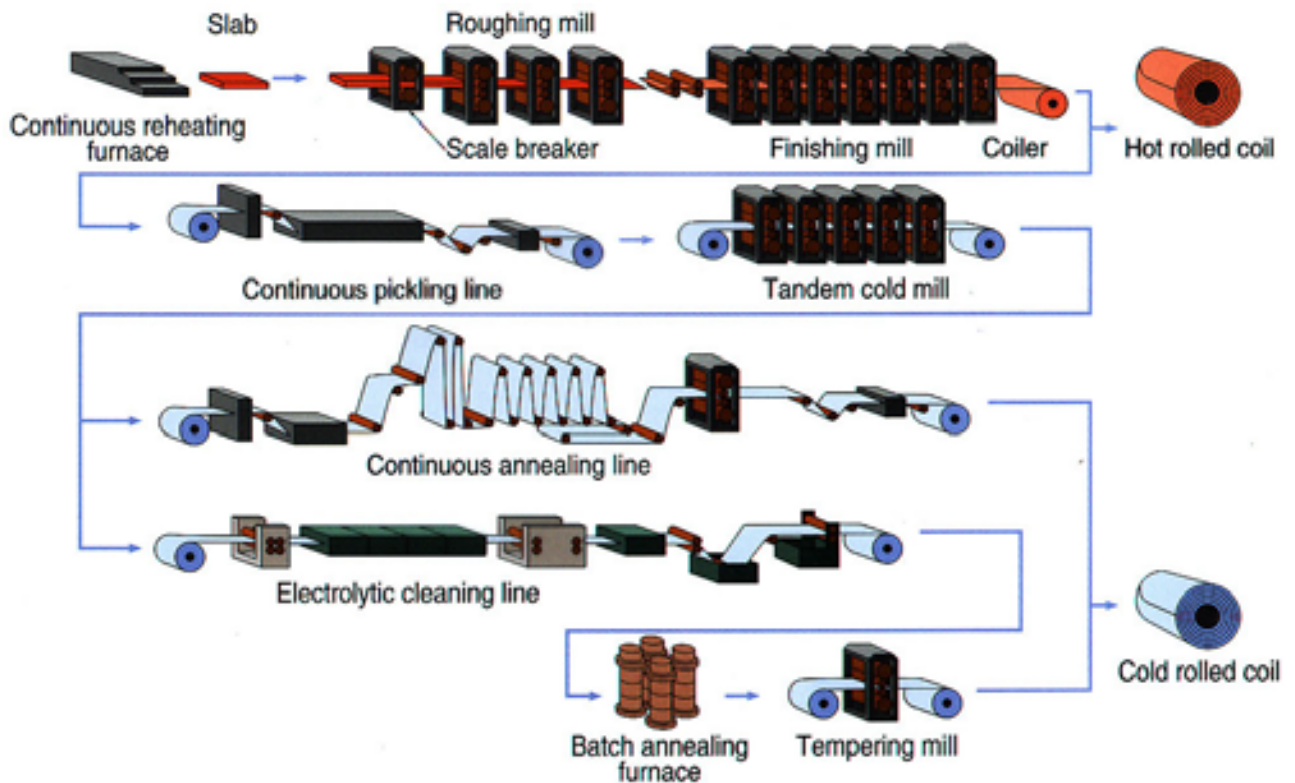


Figura 4.22 – Esquema ilustrando a produção de tiras de aço a partir de placas (21st Century Foundation / Kawasaki Steel).

Após a laminação, os produtos ou semi-produtos serão amarrados, embalados, identificados e acondicionados, na expedição, aguardando o embarque para os mercados interno e externo. O anexo II contém um esquema da seqüência para a produção de tiras laminadas a quente e a frio a partir de placas de aço.

4.4 – Diferenças Básicas entre os Aços

O que difere um aço de outro, além da composição química e do tipo de processamento, são as propriedades mecânicas e físicas que se objetivam para atender uma determinada aplicação como, por exemplo, resistência mecânica, resistência à corrosão, soldabilidade, dentre outros.

Dessa forma, aços empregados em estruturas metálicas, como por exemplo, ASTM A36 e ASTM A588 poderão ter composição química similar, porém esse último apresenta resistência à corrosão atmosférica, podendo ser utilizado sem pintura; enquanto que o primeiro não apresenta essa propriedade e requer um acabamento protetivo, como por exemplo, pintura. Por outro lado, a norma ASTM A570 grau 36 é muito semelhante à norma ASTM A36, a principal diferença reside no fato de que a primeira destina-se a materiais até 5,84mm enquanto que a última é aplicável a materiais acima de 4,57mm.

Assim sendo, duas normas de aço sob análise, podem diferenciar-se no que diz respeito a:

- composição química;
- propriedades mecânicas - dureza;
- propriedades mecânicas - tração;
- propriedades mecânicas - impacto;
- condição de processamento termomecânico;
- tolerâncias dimensionais e/ou geométricas;
- faixas de dimensões disponíveis;
- tipo de linha de produção;
- conseqüentemente no preço e/ou prazo de entrega;

A análise da compatibilidade de duas normas deve ser feita com critério, pois muitos detalhes podem passar despercebidos durante a análise. Mesmo assim, dependendo do resultado desta análise, uma das seguintes situações pode ocorrer:

- completa incompatibilidade entre as normas;
- semelhança entre as normas, porém com uma ou mais incompatibilidade que inviabiliza tecnicamente a substituição;
- as normas são tecnicamente semelhantes ou compatíveis, porém o produto e/ou processo não permite a troca de normas;
- as normas são tecnicamente equivalentes e não existem entraves para substituição;
- a norma em análise atende exatamente aos requisitos da norma a ser substituída, de modo a poder ser empregada perfeitamente como opção.

Obviamente o caso mais interessante para o usuário é exatamente o último, por isso existem alguns casos da chamada “dupla certificação”, onde um aço pode atender a duas ou mais normas. Mas estes são casos que geralmente estão

associados a maiores custos devido ao maior risco de “desvio” de material ou a um controle mais refinado do processo de fabricação do aço.

A principal diferenciação prática entre os aços ocorre com relação às propriedades mecânicas, sendo a mais comum a dureza e em seguida àquelas propriedades obtidas a partir de ensaios de tração: limite de escoamento (LE ou σ_{ys}), limite de resistência (LR ou σ_{UTS}), alongamento ($\Delta L\%$).

4.4.1 – Obtenção das Propriedades Mecânicas e Físicas dos Aços

Aços são fabricados para atender a determinadas normas de qualidade, que possuem um maior ou menor grau de exigência de composição química, propriedades mecânicas, físicas (por exemplo: aços para fins elétricos), químicas (por exemplo: aços resistentes à corrosão) e de sanidade interna.

De acordo com o grau da exigência da norma a que se objetiva o produto, podem ser aplicados os seguintes mecanismos de controle de propriedades:

- Composição química e sanidade interna:
 - conversão de ferro-gusa em aço em conversor com sopro combinado;
 - borbulhamento de argônio;
 - alteração da morfologia das inclusões;
 - refino secundário em forno panela;
 - desgaseificação a vácuo em RH;
 - lingotamento em máquina de veio vertical;
- Propriedades mecânicas:
 - utilização de elementos microligantes (Ti, Nb, V);
 - utilização de elementos de liga;
 - utilização de corretas quantidades dos demais elementos químicos (C, Mn, S, P, Si, etc.);
 - aquecimento nos fornos de reaquecimento em temperaturas e tempos adequados;
 - laminação em temperaturas e graus de redução adequados (laminação controlada e semi-controlada);
 - utilização de um adequado perfil de resfriamento das tiras a quente;
 - utilização de temperaturas de acabamento/bobinamento adequadas;
 - correto tipo de laminação de acabamento (grau de redução e acabamento superficial);
 - ciclo de recozimento adequado (para material a frio);
 - grau de redução adequado na laminação de encruamento (para material a frio);
 - inspeção criteriosa nas linhas de inspeção;
 - utilização da desempenadeira sob tensão (para material a frio fino);
 - embalagem, acondicionamento e transporte adequados;

- emprego de tratamentos termoquímicos (carbonetação, nitretação, etc.)
- Propriedades físicas (principalmente textura¹⁸):
 - utilização de uma correta composição química (Si e Al adequados, por exemplo);
 - utilização de temperaturas de acabamento/bobinamento adequadas;
 - laminação a frio em graus de redução adequados;
 - ciclo(s) de recozimento adequado(s);
- Propriedades químicas:
 - utilização de uma correta composição química;
 - utilização de elementos de liga (por exemplo: Cr, Ni e Cu);
 - utilização de recobrimentos protetivos (zinco, zinco-ferro, alumínio, estanho, etc.);

Utilizando estes métodos corretamente, pode-se garantir que os materiais produzidos atenderão perfeitamente os requisitos de normas a que se destinam os produtos.

4.4.2 – Efeitos gerais de alguns elementos químicos nos aços

Alguns elementos químicos são adicionados propositalmente aos aços ou então ocorrem como elementos residuais, presentes até onde os processos de refino conseguem garantir uma mínima quantidade destes elementos. Os efeitos gerais dos principais elementos presentes e ou adicionados ao aço estão descritos a seguir.

- **Carbono** - É o elemento de liga mais comum nos aços. Com a adição de carbono, aumentam a resistência mecânica e a dureza, mas diminuem a elasticidade e propriedades de solda e corte. O conteúdo de carbono não oferece nenhuma influência substancial sobre a resistência à corrosão em ácidos, gases quentes e água.
- **Manganês** - Pode ser usado como desoxidante dos aços. Atenua o efeito nocivo do enxofre (diminui a fragilidade a quente). Reduz as deformações causadas pela têmpera e aumenta a dureza dos aços.
- **Silício** - Usado como desoxidante. Aumenta ligeiramente a resistência mecânica e dureza, sem afetar apreciavelmente a ductilidade do aço. Melhora as propriedades elétricas nos aços magnéticos (aços ao silício).
- **Fósforo** - É uma impureza normal existente nos aços, de natureza nociva devido à fragilidade a frio que confere aos aços, propiciando

¹⁸ Orientação microestrutural do material, da qual dependerá grandemente o desempenho deste, por exemplo, para a estampagem e utilização como aço para fins elétricos (material magnetizável).

baixa resistência ao choque e tenacidade. Melhora a usinabilidade dos aços de corte fácil.

- **Enxofre** - É um elemento prejudicial aos aços, tornando-os duros e quebradiços ao rubro, causando o fenômeno da fragilidade a quente. Melhora a usinabilidade dos aços de corte fácil.
- **Cromo** - Aumenta a endurecibilidade, a resistência à corrosão, a resistência à oxidação, a resistência a altas temperaturas, a resistência à abrasão e ao desgaste.
- **Níquel** - Aumenta a tenacidade e endurecibilidade. Torna os aços alto cromo austeníticos (aços inoxidáveis ao cromo e níquel).
- **Molibdênio** - Aumenta a endurecibilidade, a resistência a altas temperaturas, a resistência à fluência, a resistência à corrosão nos aços inoxidáveis e reduz a fragilidade de têmpera.
- **Alumínio** - Atua como desoxidante do aço e controlador do tamanho de grão. É muito utilizado como elemento de liga nos aços para nitretação.
- **Boro** - O boro, quando adicionado em pequenas quantidades, aumenta a temperabilidade do aço, diminui a tendência a trincas de têmpera e melhora as propriedades de conformação mecânica.
- **Chumbo** - Melhora a usinabilidade dos aços de corte fácil.
- **Vanádio** - Atua como controlador do tamanho de grão e melhora as características de forjamento e usinagem.
- **Tungstênio** - Melhora a resistência à abrasão e dá ao aço maior capacidade de corte devido ao aumento da dureza e resistência à temperaturas elevadas.
- **Titânio** - Atua como refinador de grão e como agente desoxidante. Aumenta a resistência à fluência nos aços resistentes ao calor. Melhora as condições de soldagem em aços inoxidáveis.
- **Cobalto** - Aumenta a dureza a quente e diminui a temperabilidade dos aços. É empregado aos aços destinados à confecção de ferramentas de corte de altas velocidades.
- **Cobre** - Seu principal efeito é aumentar a resistência à corrosão atmosférica do aço. Em aços ao carbono fragiliza o material.

4.4.3 – Tratamento termomecânico

Na metalurgia "tratamento termomecânico" refere-se a todas as operações que combinam conformação mecânica (deformação plástica dos metais) com aquecimento/resfriamento controlados destes materiais (tratamento térmico).

Tanto a conformação mecânica quanto o tratamento térmico visam produzir uma microestrutura, no material em tratamento, que corresponda as propriedades específicas e objetivadas.

Em um tratamento termomecânico a quantidade de deformação, a temperatura na qual se processa esta deformação e o intervalo de tempo entre uma deformação e outra são calculados e controlados de modo a obter a condição estrutural mais adequada no material. Como exemplo mais comum, gostaria de citar a **laminação controlada** de chapas de aço, quando pode ser produzido chapas de aço com níveis de resistência mecânica e tenacidade suficientemente adequados para aplicações especiais, tais como: tubos e vasos de pressão, estruturas "offshore", estruturas navais (de navios), estruturas de construção civil.

A **normalização** é um tratamento térmico, como não envolve conformação mecânica, portanto não seria um tratamento termomecânico no seu sentido mais amplo. Este tratamento, que é um dos mais simples, consiste em se aquecer (no caso o aço) até formação de austenita (aprox. 600°C acima da temperatura de austenitização do aço ou T_{Ar3}), seguido pela sua remoção do forno para que se resfrie ao ar. A velocidade de resfriamento depende do tamanho da peça de aço que está sendo tratada. Este processo é usado para oferecer um alívio de tensões eventualmente existentes e homogeneizar a estrutura/propriedades do aço.

No caso, existem fórmulas para se definir a temperatura de austenitização dos aços, de acordo com a sua composição química. Um dos exemplos é a de Ouchi et al.¹⁹:

$$T_{Ar3} = 910 - 310\%C - 80\%Mn - 20\%Cu - 15\%Cr - 80\%Mo + 0.35(t-8),$$

onde t é a espessura da chapa (mm).

O tratamento de **têmpera**, ao contrário do tratamento de normalização, tem objetivos bem distintos. Neste tratamento térmico o aço também é aquecido em uma temperatura suficientemente alta e resfriado bruscamente de modo a produzir o componente martensita na estrutura do aço. Este componente oferece ao aço uma maior resistência mecânica e dureza.

O nível de aumento destas propriedades é tão elevado que, muitas vezes, torna-se necessário fazer um tratamento de **revenimento** para diminuição da resistência mecânica e alívio das tensões que surgem. A taxa de resfriamento depende do tipo de material a ser tratado, quanto maior o teor de carbono (ou do carbono equivalente, que é calculado com base em uma fórmula) do aço, mais sensível é o material a este tratamento térmico.

Fórmula mais difundida para cálculo do carbono equivalente:

$$C_{eq} = \%C + (\%Mn/6) + (\%Mo + \%Cr + \%V)/5 + (\%Ni + \%Cu)/15$$

¹⁹ C. Ouchi; T. Sampei e I. Kozasu, Trans. ISIJ, v.22, p.214, 1982.

No revenimento o aço é aquecido até uma determinada temperatura, durante um determinado tempo e depois resfriado lentamente. A temperatura e o tempo de manutenção a esta temperatura são inferiores à normalização. Este tratamento visa alterar a martensita produzida no aço para martensita revenida que não possui o mesmo nível de resistência/dureza mas apresenta uma tenacidade (resistência à fratura) muito superior. Este tratamento é quase obrigatório em aços temperados para reduzir as tensões residuais impostas pelo tratamento de têmpera e adequar o nível de resistência mecânica ou dureza com a tenacidade.

Os tratamentos termomecânicos podem ser explícitos em uma norma de qualidade de aço, como por exemplo, nas normas abaixo citadas.

- aços navais: ABS Graus D e E, ASTM A131 Grau DH36 e EH36.
- aços para vasos de pressão: ASTM A537 MT classe1 (normalizado) ou classe2 (temperado e revenido); BS 1501 P1 224 490B LT50.
- aço HSLA ou ARBL²⁰: ASTM A633.
- aço estrutural: CSP RA400 (temperado); JIS G3106.

Existem algumas normas de aço em que o tratamento termomecânico não é requerido, mas pode estar indiretamente implícito devido ao requisitos de norma, tais como limite de escoamento ou dureza. Existem alguns graus de aço em que é necessário um limite de escoamento relativamente elevado ao mesmo tempo em que o teor de elementos de liga é limitado. Como exemplo, existem aços para tubulações API, onde os graus mais elevados para tubos sem costura só podem ser obtidos com tratamento de têmpera e revenimento e no caso de tubos com costura (obtidos de chapas de aço), estes tubos são obtidos de material de laminação controlada.

²⁰ Aços de alta resistência e baixa liga – ARBL ou High Strength low alloy-HSLA

4.5 – Classificação de Aços

Devido à infinidade de composições químicas que se pode obter na fabricação de aços, foram criadas normas específicas para limitar a composição química na forma de faixas determinando o tipo do aço e a sua aplicação posterior. Estas normas visam garantir as propriedades físicas e mecânicas dos aços na sua aplicação, além de servir de referência nas negociações entre fabricantes e clientes.

Portanto cada país, segmento do mercado usuário e empresas possuem uma norma própria ou se baseiam em alguma mais conhecida internacionalmente. Os países possuem organismos que elaboram normas técnicas específicas, que podem servir para normalizar diversos itens e não apenas os tipos de aços. Alguns exemplos são citados a seguir:

- AISI, SAE, ASTM, API - EUA
- JIS - Japão
- ABNT - Brasil
- AFNOR - França
- DIN - Alemanha

Geralmente o acordo entre o fabricante e o cliente é feito com relação a uma norma mais conhecida internacionalmente ou a norma técnica oficial do país em que se encontram. As empresas siderúrgicas criam normas internas determinadas por diversos fatores, entre eles: limitação do processo de fabricação, determinação do custo para negociação de preço com clientes, necessidade do cliente em que o aço deve atender propriedades mecânicas (composição química) não previstas pela norma internacional, etc.

A norma técnica determina então a faixa de composição química do aço prevendo propriedades mecânicas e o tipo de aplicação. Para diferenciar os diversos tipos de aços e facilitar o entendimento entre os fabricantes e clientes cada norma cria uma nomenclatura específica, dando o nome a certo tipo de aço. Se por exemplo for citado o aço SAE 1020 no Brasil, Japão, China, etc., todos saberão que tipo de aço é este, sua composição química, suas propriedades e aplicações. Isto porque a norma SAE é uma norma conhecida internacionalmente e aceita pela grande maioria dos países.

4.5.1 – Norma SAE

Um exemplo de segmento de mercado é a norma SAE, conhecida e aplicada internacionalmente, determinada pelo segmento automobilístico norte-americano. A identificação do aço pela norma SAE é feita por 4 algarismos, podendo ainda aparecer algumas letras, que individualizam a composição química, de acordo com o apresentado na tabela abaixo.

SAE	Y	Y	X	X
	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o

- 1º algarismo - Indica a classe do aço de acordo com a tabela abaixo:
- 2º algarismo - Indica variação nos teores dos elementos de liga.
- 3º e 4º algarismos - Indica o teor médio de carbono multiplicado por 100.

Podem aparecer algumas letras compondo o nome do aço na Norma SAE. São eles:

- Letra “B” - aparece no meio do nome entre o 2º e o 3º algarismo e indica a presença de boro (*boron*) ao aço. Exemplo: SAE 15B35, SAE 51B60, etc.
- Letra “L” - aparece no meio do nome entre o 2º e o 3º algarismo e indica a presença de chumbo (*lead*) ao aço. Exemplo: SAE 12L14, SAE 86L20, etc.
- Letra “H” - aparece no final do nome após o 4º algarismo e indica os aços de faixa “H” que têm uma variação especial da faixa normal do aço.

A tabela 4.6 ilustra os códigos de classificação de aços SAE, para cada caso em particular.

Tabela 4.6 – O sistema de classificação SAE-AISI (Guide to Engineered Materials 2002, Advanced Materials & Process, ASM, v. 159, n.12, Dec. 2001).

Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content, %	Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content, %	Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content, %
Carbon steels		Nickel-chromium-molybdenum steels		Chromium (bearing) steels	
10xx(a)	Plain carbon (Min 1.00 max)	43xx	Ni 1.82; Cr 0.50 and 0.80; Mo 0.25	50xx	Cr 0.50, C 1.00 min
11xx	Resulfurized	43BVxx	Ni 1.82; Cr 0.50; Mo 0.12 and 0.25; V 0.03 min	51xx	Cr 1.02, C 1.00 min
12xx	Resulfurized and rephosphorized	47xx	Ni 1.05; Cr 0.45; Mo 0.20 and 0.35	52xx	Cr 1.45, C 1.00 min
15xx	Plain carbon (max Min 1.00-1.65)	81xx	Ni 0.30; Cr 0.40; Mo 0.12	Chromium-vanadium steels	
Manganese steels		86xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.20	61xx	Cr 0.60, 0.80, 0.95; V 0.10 and 0.15 min
13xx	Min 1.75	87xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.25	Tungsten-chromium steel	
Nickel steels		88xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.35	72xx	W 1.75; Cr 0.75
23xx	Ni 3.50	93xx	Ni 3.25; Cr 1.20; Mo 0.12	Silicon-manganese steels	
25xx	Ni 5.00	94xx	Ni 0.45; Cr 0.40; Mo 0.12	92xx	Si 1.40 and 2.00; Mn 0.65, 0.82, and 0.85; Cr 0 and 0.65
Nickel-chromium steels		97xx	Ni 0.55; Cr 0.20; Mo 0.20	High-strength low-alloy steels	
31xx	Ni 1.25; Cr 0.65 and 0.80	98xx	Ni 1.00; Cr 0.80; Mo 0.25	9xx	Various SAE grades
32xx	Ni 1.75; Cr 1.07	Nickel-molybdenum steels		Boron steels	
33xx	Ni 3.50; Cr 1.50 and 1.57	46xx	Ni 0.85 and 1.82; Mo 0.20 and 0.25	xx Bxx	B denotes boron steel
34xx	Ni 3.00; Cr 0.77	48xx	Ni 3.50; Mo 0.25	Leaded steels	
Molybdenum steels		Chromium steels		xxLxx	L denotes leaded steel
40xx	Mo 0.20 and 0.25	50xx	Cr 0.27, 0.40, 0.50, and 0.65		
44xx	Mo 0.40 and 0.52	51xx	Cr 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00, and 1.05		
Chromium-molybdenum steels					
41xx	Cr 0.50, 0.80, and 0.95; Mo 0.12, 0.20, 0.25, and 0.30				

Na tabela 4.7 são apresentadas as faixas de composições químicas de vários aços da norma SAE.

Tabela 4.7 – Faixas de composição química da norma SAE (SAE J403, maio de 1984).

Norma		%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	Observações
10XX	Mín	--	--	---	---	---	---	---	---
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	---	---	---	---
11XX	Mín	0,30	---	---	0,080	---	---	---	---
	Máx	1,65	0,35	0,050	0,330	---	---	---	---
12XX	Mín	0,60	---	0,040	0,100	---	---	---	---
	Máx	1,15	0,10	0,120	0,350	---	---	---	---
13XX	Mín	1,60	0,15	---	---	---	---	---	---
	Máx	2,10	0,35	0,050	0,040	---	---	---	---
14XX	Mín	0,70	---	0,050	0,250	---	---	---	---
	Máx	1,30	0,10	0,120	0,500	---	---	---	---
15XX	Mín.	0,75	0,15	---	---	---	---	---	---
	Máx	1,75	0,35	0,050	0,050	---	---	---	---
23XX	Mín	0,40	0,20	---	---	---	3,25	---	---
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	---	3,75	---	---
25XX	Mín	0,40	0,25	---	---	---	4,75	---	---
	Máx	0,70	0,35	0,050	0,050	---	5,25	---	---
31XX	Mín	0,40	0,20	---	---	0,50	1,10	---	---
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	0,90	1,40	---	---
32XX	Mín	0,30	0,15	---	---	0,90	1,50	---	---
	Máx	0,60	0,35	0,050	0,050	1,25	2,00	---	---
33XX	Mín	0,30	0,15	---	---	1,25	3,25	---	---
	Máx	0,70	0,35	0,050	0,050	1,75	3,75	---	---
34XX	Mín	0,30	0,15	---	---	0,60	2,75	---	---
	Máx	0,60	0,35	0,050	0,050	0,95	3,25	---	---
40XX	Mín	0,70	0,15	---	---	---	---	0,15	---
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	---	---	0,30	---
41XX	Mín	0,70	0,15	---	---	0,40	---	0,08	Baixo Carbono
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	0,60	---	0,30	
41XX	Mín	0,70	0,15	---	---	0,70	---	0,15	Médio e Alto Carbono
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	1,10	---	0,35	
43XX	Mín	0,40	0,15	---	---	0,40	1,65	0,20	---
	Máx	0,80	0,35	0,050	0,050	0,90	---	0,30	
44XX	Mín	0,45	0,15	---	---	---	---	0,35	---
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	---	---	0,60	
46XX	Mín	0,25	0,15	---	---	---	0,70	0,15	---
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	---	2,00	0,30	
47XX	Mín	0,50	0,15	---	---	0,35	0,90	0,15	---
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	0,65	1,20	0,40	
48XX	Mín	0,40	0,15	---	---	3,25	---	0,20	---
	Máx	0,70	0,35	0,050	0,050	3,75	---	0,30	

Tabela 4.7 (continuação) – Faixas de composição química da norma SAE (SAE J403, maio de 1984).

Norma		%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	Observações
50XX	Mín	0,20	0,15	---	---	0,20	---	---	---
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	0,75	---	---	
51XX	Mín	0,60	0,15	---	---	0,70	---	---	Baixo Carbono
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	0,90	---	---	
51XX	Mín	0,20	0,15	---	---	0,70	---	---	Médio e Alto Carbono
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	1,20	---	---	
52XX	Mín	0,25	0,15	---	---	1,30	---	---	--
	Máx	0,45	0,35	0,050	0,050	1,60	---	---	
61XX	Mín	0,20	0,15	---	---	0,50	---	---	V = 0,10 a 0,30
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	1,10	---	---	
81XX	Mín	0,70	0,15	---	---	0,30	0,20	0,08	---
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	0,55	0,40	0,15	
86XX	Mín	0,70	0,15	---	---	0,40	0,40	0,15	---
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	0,60	0,70	0,25	
87XX	Mín	0,60	0,15	---	---	0,40	0,40	0,20	
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	0,60	0,70	0,30	
88XX	Mín	0,70	0,15	---	---	0,40	0,40	0,30	
	Máx	1,00	0,35	0,050	0,050	0,60	0,70	0,40	
92XX	Mín	0,60	1,20	---	---	---	---	---	---
	Máx	1,00	2,20	0,050	0,050	0,80	---	---	
93XX	Mín	0,45	0,15	---	---	1,00	3,00	0,08	
	Máx	0,65	0,35	0,050	0,050	1,40	3,50	0,15	
94XX	Mín	0,70	0,15	---	---	0,30	0,30	0,08	
	Máx	1,20	0,35	0,050	0,050	0,50	0,60	0,15	
97XX	Mín	0,50	0,15	---	---	0,10	0,40	0,15	
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	0,25	0,70	0,35	
98XX	Mín	0,70	0,20	---	---	0,30	0,80	0,20	
	Máx	0,90	0,35	0,050	0,050	1,00	1,15	0,30	

4.5.2 – Norma DIN

Na Norma DIN aparecem no nome do aço os elementos de ligas e os respectivos teores. Exemplos: DIN 20 MnCr 5, DIN X 7 Cr 13, DIN 9 SMnPb 20, etc.

Para a confecção do nome do aço na Norma DIN deve-se observar as seguintes etapas:

- 1ª etapa - O número que aparece à frente dos símbolos dos elementos de liga indica o teor médio de carbono multiplicado por 100, a exemplo do que ocorre na Norma SAE. Entretanto, geralmente o arredondamento para valores fracionários iguais a 0,5 se dá para 1.

Exemplo: % C mínimo = 0,18 %

% C máximo = 0,23 %

% C médio = 0,205 %

1º número = $0,205 \times 100 = 20,5$

arredondando o 1º número = 21

-
- 2ª etapa - Deve-se indicar os elementos de liga presentes no aço através de seus símbolos químicos e colocá-los na ordem de maior teor médio presente no aço. Para isto deve-se observar os seguintes casos:
 - Os elementos manganês e silício só são considerados elementos de liga para valores médios acima de 1,00 %.
 - O elemento enxofre quando estiver em valores acima de 0,10 % tem preferência sobre os demais elementos em aços baixa liga.
 - Quando houver empate no teor médio dos elementos, colocar na ordem sequencial de aparecimento na tabela de faixas químicas.
-
- 3ª etapa - Na Norma DIN aparece um ou mais números após os símbolos dos elementos químicos. Estes números indicam os teores médios dos elementos de liga que compõem o nome do aço e são sempre algarismos inteiros. Se ocorrer números fracionários, estes devem ser arredondados. Em aços que possuem mais de um elemento de liga, pode-se separar estes números por vírgulas ou pontos.

Exemplo: DIN 20 MnCr 5,4 - Neste caso o número 5 indica o teor médio do elemento manganês, enquanto o número 4 indica o teor médio do elemento cromo.

Entretanto geralmente se encontra o nome do aço na Norma DIN com apenas um número ao final do nome que indica o teor médio do elemento de liga de maior importância. Exemplo: DIN 20 MnCr 5, DIN 25 CrMo 4, etc.

A definição destes números se dá através do multiplicador respectivo a cada elemento de liga de acordo com a tabela I.3:

Tabela 4.8 – Fatores multiplicativos para elementos de liga da norma DIN.

ELEMENTOS DE LIGA	MULTIPLICADOR
Cr, Mn, Ni, Si, Co, W	4
Al, Be, Pb, B, Cu, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr	10
C, P, S, N, Ce	100

Obs.: Esta tabela é válida somente para AÇOS BAIXA LIGA (soma dos elementos de liga é menor que 5 %).

- Exemplo: No caso do aço DIN 20MnCr5,4 os teores médios de manganês e cromo são: $\%Mn_{\text{médio}} = \frac{5}{4} = 1,25 \%$ e $\%Cr_{\text{médio}} = \frac{4}{4} = 1,00 \%$

Para aços média e alta liga (em que a soma dos elementos de liga é superior a 5%) é colocado a letra “X” à frente do nome do aço, e os números que aparecem após os elementos de liga são os teores médios respectivos destes elementos de liga.

- Exemplo: DIN X 7 Cr 13 - é um aço alta liga com $\% Cr$ médio = 13 %
DIN X 10 CrNi 18,8 - é um aço alta liga com $\% Cr$ médio = 18 %
e Ni médio = 8 %.

Caso especial - No caso de aços carbono comuns o nome do aço deve conter apenas o símbolo do elemento carbono seguido do seu teor médio multiplicado por 100. Exemplo: DIN C 20, DIN C 45, etc.

4.6 – Propriedades mecânicas de alguns aços

As tabelas mostradas a seguir (4.9 a 4. apresentam valores de referência para propriedades mecânicas de algumas classes de aço. Independentemente, para a obtenção dos requisitos de normas, podem ser consultadas as páginas das siderúrgicas na internet.

Observação importante: as propriedades mecânicas informadas na tabela 4.9 são apenas orientativas, portanto não devem ser consideradas exatas para qualquer tipo de aço SAE, pois esta norma requer apenas características de composição química e não de propriedades mecânicas.

Tabela 4.9 – Propriedades mecânicas aproximadas de aços SAE (Guide to Engineered Materials 2002, Advanced Materials & Process, ASM, v. 159, n.12, Dec. 2001).

AISI grade(a)	Condition or treatment	Tensile strength		Yield strength		Elongation % (b)	Reduction in area, %	Hardness, HB	Izod impact strength	
		MPa	ksi	MPa	ksi				J	ft-lbf
1015	As-rolled	420	61	315	46	39.0	61	126	111	82
	Normalized at 925°C (1700°F)	425	62	325	47	37.0	70	121	115	85
1020	As-rolled	450	65	330	48	36.0	59	143	87	64
	Normalized at 870°C (1600°F)	440	64	345	50	35.8	68	131	118	87
1022	As-rolled	395	57	295	43	36.5	66	111	123	91
	Normalized at 925°C (1700°F)	505	73	360	52	35.0	67	149	81	60
1030	As-rolled	485	70	360	52	34.0	68	143	117	87
	Normalized at 870°C (1600°F)	450	65	315	46	35.0	64	137	121	89
1040	As-rolled	550	80	345	50	32.0	57	179	75	55
	Normalized at 925°C (1700°F)	525	76	345	50	32.0	61	149	94	69
1050	As-rolled	460	67	345	50	31.2	58	126	69	51
	Normalized at 900°C (1650°F)	620	90	415	60	25.0	50	201	49	36
1060	As-rolled	595	86	370	54	28.0	55	170	65	48
	Normalized at 900°C (1650°F)	520	75	350	51	30.2	57	149	45	33
1080	As-rolled	725	105	415	60	20.0	40	229	31	23
	Normalized at 900°C (1650°F)	750	109	430	62	20.0	39	217	27	20
1095	As-rolled	635	92	365	53	23.7	40	187	18	13
	Normalized at 900°C (1650°F)	815	118	485	70	17.0	34	241	18	13
1117	As-rolled	775	113	420	61	18.0	37	229	14	10
	Normalized at 900°C (1650°F)	625	91	370	54	22.5	38	179	11	8
1118	As-rolled	965	140	585	85	12.0	17	293	7	5
	Normalized at 900°C (1650°F)	1015	147	525	76	11.0	21	293	7	5
1137	As-rolled	615	89	380	55	24.7	45	174	7	5
	Normalized at 900°C (1650°F)	965	140	570	83	9.0	18	293	4	3
1141	As-rolled	1015	147	505	73	9.5	14	293	5	4
	Normalized at 900°C (1650°F)	655	95	380	55	13.0	21	192	3	2
1144	As-rolled	490	71	305	44	33.0	63	143	81	60
	Normalized at 900°C (1650°F)	470	68	305	44	33.5	54	137	85	63
1188	As-rolled	430	62	285	41	32.8	58	121	94	69
	Normalized at 860°C (1575°F)	525	76	315	46	32.0	70	149	109	80
1137	As-rolled	475	69	315	46	33.5	66	143	103	76
	Normalized at 925°C (1700°F)	450	65	285	41	34.5	67	131	107	79
1141	As-rolled	625	91	380	55	28.0	61	192	83	61
	Normalized at 900°C (1650°F)	670	97	400	58	22.5	49	197	64	47
1144	As-rolled	585	85	345	50	26.8	54	174	50	37
	Normalized at 900°C (1650°F)	675	98	360	52	22.0	38	192	11	8
1340	As-rolled	710	103	405	59	22.7	56	201	53	39
	Normalized at 815°C (1500°F)	600	87	355	51	25.5	49	163	34	25
3140	As-rolled	705	102	420	61	21.0	41	212	53	39
	Normalized at 900°C (1650°F)	670	97	400	58	21.0	40	197	43	32
4130	As-rolled	585	85	345	50	24.8	41	167	65	48
	Normalized at 870°C (1600°F)	835	121	560	81	22.0	63	248	92	68
4140	As-rolled	705	102	435	63	25.5	57	207	71	52
	Normalized at 800°C (1475°F)	890	129	600	87	19.7	57	262	54	40
4150	As-rolled	690	100	420	61	24.5	51	197	46	34
	Normalized at 870°C (1600°F)	670	97	435	63	25.5	60	197	87	64
4320	As-rolled	560	81	360	52	28.2	56	156	62	46
	Normalized at 870°C (1600°F)	1020	148	655	95	17.7	47	302	23	17
4340	As-rolled	655	95	420	61	25.7	57	197	54	40
	Normalized at 870°C (1600°F)	1160	168	740	107	11.7	31	321	12	9
4620	As-rolled	730	106	380	55	20.2	40	197	24	18
	Normalized at 895°C (1640°F)	795	115	460	67	20.8	51	235	73	54
4820	As-rolled	580	84	430	62	29.0	58	163	110	81
	Normalized at 870°C (1600°F)	1280	186	860	125	12.2	36	363	16	12
5140	As-rolled	745	108	475	69	22.0	50	217	52	38
	Normalized at 900°C (1650°F)	570	83	365	53	29.0	67	174	135	98
5150	As-rolled	510	74	370	54	31.3	60	149	94	69
	Normalized at 860°C (1580°F)	760	110	485	70	24.0	59	229	110	81
5160	As-rolled	685	99	460	67	22.3	59	197	94	69
	Normalized at 870°C (1600°F)	795	115	475	69	22.7	59	229	38	28
6150	As-rolled	570	83	295	43	28.6	57	167	41	30
	Normalized at 830°C (1525°F)	870	126	530	77	20.7	59	255	31	23
620	As-rolled	675	98	360	52	22.0	44	197	26	19
	Normalized at 870°C (1600°F)	960	139	530	77	17.5	45	269	11	8
620	As-rolled	725	105	275	40	17.2	31	197	10	7
	Normalized at 815°C (1500°F)	940	136	615	89	21.8	61	269	35	26
630	As-rolled	665	97	415	60	23.0	48	197	27	20
	Normalized at 910°C (1675°F)	635	92	360	52	26.3	60	183	100	74
630	As-rolled	540	78	385	56	31.3	62	149	115	83
	Normalized at 870°C (1600°F)	650	94	430	62	23.5	54	187	95	70
630	As-rolled	565	82	370	54	29.0	59	156	95	70
	Normalized at 845°C (1550°F)	1025	149	690	100	14.0	45	302	14	10
630	As-rolled	715	104	385	56	22.5	46	212	30	22
	Normalized at 870°C (1600°F)	930	135	605	88	16.0	48	269	18	13
630	As-rolled	695	101	415	60	22.2	46	201	41	30
	Normalized at 815°C (1500°F)	930	135	580	84	19.7	43	269	14	10
630	As-rolled	775	112	490	71	21.7	41	229	10	7
	Normalized at 845°C (1550°F)	910	132	570	83	18.8	58	269	119	88
630	As-rolled	820	119	440	64	17.3	42	241	79	58
	Normalized at 845°C (1550°F)									

(a) All grades are fine grained except for those in the 1100 series, which are coarse grained (b) In 30 mm or 2 in.

Tabela 4.10 – Especificação ASTM das propriedades mecânicas para aços estruturais
(Guide to Engineered Materials 2002, Advanced Materials & Process, ASM, v. 159,
n.12, Dec. 2001).

ASTM specification	Material grade or type	Tensile strength(a)		Yield strength(a)		Minimum elongation in 200 mm (8 in.), % (b)	Minimum elongation in 50 mm (2 in.), % (b)
		MPa	ksi	MPa	ksi		
Carbon steels							
A 36	—	400-500	58-80	220-250(b)	32-36(b)	20	23
A 131	A, B, D, E, CS, DS	400-490	58-71	220(b)	32(b)	21(b)	24
A 283	A	310-415	45-60	165	24	27	30
	B	345-405	50-65	185	27	25	28
	C	380-485	55-70	205	30	22	25
	D	415-515(b)	60-75(b)	230	33	20	23
A 284	C	415	60	205	30	21	25
	D	415	60	230	33	21	24
A 529	—	415-585	60-85	290	42	19	—
A 573	58	400-490	58-71	220	32	21	—
	65	450-530	65-77	240	35	20	—
	70	485-620	70-90	290	42	18	—
A 678	A	485-620	70-90	345	50	—	22
	B	550-690	80-100	415	60	—	22
	C	585-793(b)	85-115(b)	450(b)	65(b)	—	19
A 709	36	400-550	58-80	250	36	20	23
Low-alloy steels							
A 514	All	690-895(b)	100-130(b)	620(b)	90(b)	—	16
A 709	100, 100W	700-915	100-130	635(b)	90(b)	—	15(c)
A 710	A (class 1)	585(b)	85(b)	515(b)	75(b)	—	20
	A (class 2)	485(b)	70(b)	415(b)	60(b)	—	20
	A (class 3)	485(b)	70(b)	415(b)	60(b)	—	20
	B	605(b)	88(b)	515(b)	75(b)	—	18
	C (class 1)	690	100	620	90	—	20
	C (class 3)	620(b)	90(b)	550(b)	80(b)	—	20
HSLA steels							
A 131	AH32, DH32, EH32	470-585	65-85	315	46	19	22
	AH36, DH36, EH36	490-620	71-90	—	51	19	22
A 242	—	435(b)	63(b)	290(b)	42(b)	18	21
A 572	42	415	60	290	42	20	24
	50	450	65	345	50	18	21
	60	520	75	415	60	16	18
	65	550	80	450	65	15	17
A 588	All	435(b)	63(b)	290(b)	42(b)	18	21
A 633	A	430-570	63-83	290	42	18	23
	C, D	450-590(b)	65-85(b)	315(b)	46(b)	18	23
	E	515-655(b)	75-95(b)	380(b)	55(b)	18	23
A 656	50	415	60	345	50	20	—
	60	485	70	415	60	17	—
	70	550	80	485	70	14	—
	80	620	90	550	80	12	—
A 678	D	620-760	90-110	515	75	—	18
A 709	50	450	65	345	50	18	21
	50W	485	70	345	50	18	21
A 808	—	415(b)	60(b)	290(b)	42(b)	18	22
A 852	—	620-760	90-110	485	70	—	19
A 871	60	520	75	415	60	16	18
	65	550	80	450	65	15	17

(a) Where a single value is shown, it is a minimum. (b) Minimum and/or maximum values depend on plate width and/or thickness. (c) Specification does not specify mechanical properties. (d) Includes several AISI/SAE grades.

Tabela 4.11 – Composição química e propriedades mecânicas típicas de aços estruturais (Guide to Engineered Materials 2002, Advanced Materials & Process, ASM, v. 159, n.12, Dec. 2001).

Specification and grade or class	Product form	Product thickness(a)		Heat analysis composition, % (b)				Yield strength		Tensile strength		Elongation in 200 mm (8 in.), %
		mm	in.	Carbon	Manganese	Silicon	Copper	MPa	ksi	MPa	ksi	
As-hot-rolled carbon-manganese steels												
ASTM A 529	Bar, plate, and shapes	13	½	0.27	1.20	—	0.20(c)	290	42	415-585	60-85	19
ASTM A 612	Plate	13	½	0.25	1.00-1.35	0.15-0.40	0.35	345	50	570-725	83-165	16
		20	¾	0.25	1.00-1.35	0.15-0.40	0.35	345	50	560-695	81-101	16
		20-25	¾-1	0.25	1.00-1.50	0.15-0.50	0.35	345	50	560-695	81-101	16
ASTM A 570 grades 45, 50, 55	Sheet	6	0.229	0.25	1.35	—	0.20(c)	310-380	45-55	415-480	60-70	14-10
ASTM A 662, grade B	Plate	40	1½	0.19	0.85-1.50	0.15-0.40	—	275	40	450-585	65-85	20
ASTM A 662, grade C	Plate	40	1½	0.20	1.00-1.60	0.15-0.50	—	295	43	485-620	70-90	18
SAE J410, grade 945C	Sheet and strip	—	—	0.23	1.40	—	—	310	45	415	60	—
	Plate, bar, and shapes	13	—	0.23	1.40	—	—	310	45	450	65	18
	Plate, bar, and shapes	13-40	½-1 ½	0.23	1.40	—	—	290	42	427	62	19
	Plate, bar, and shapes	40-75	1 ½-3	0.23	1.40	—	—	275	40	427	62	19
SAE J410, grade 950C	Sheet and strip	—	—	0.25	1.60	—	—	345	50	483	70	—
	Plate, bar, and shapes	13	½	0.25	1.60	—	—	345	50	483	70	18
	Plate, bar, and shapes	13-40	½-1 ½	0.25	1.60	—	—	310	45	462	67	19
	Plate, bar, and shapes	40-75	1 ½-3	0.25	1.60	—	—	290	42	434	63	19
Normalized structural carbon-manganese steels												
ASTM A 537, class 1	Plate	40	1 ½	0.24	0.70-1.35	0.15-0.50	0.35	345	50	485-620	70-90	18
	Plate	40-65	1 ½-2 ½	0.24	1.00-1.60	0.15-0.50	0.35	345	50	485-620	70-90	18
	Plate	65-100	2 ½-4	0.24	1.0-1.60	0.15-0.50	0.35	310	45	450-585	65-85	18
ASTM A 612	Plate	Same as ASTM A 612 in the as-rolled condition, but can be normalized for improved impact toughness										
ASTM A 633, grade A	Plate	100	4	0.18	1.00-1.35	0.15-0.50	—	290	42	430-570	63-83	18
ASTM A 662, grade A	Plate	40-50	1 ½-2	0.14	0.90-1.35	0.15-0.40	—	275	40	400-540	58-78	20
ASTM A 662, grade B	Plate	40-50	1 ½-2	0.19	0.85-1.50	0.15-0.40	—	275	40	450-585	65-85	20
ASTM A 662, grade C	Plate	40-50	1 ½-2	0.20	1.00-1.60	0.15-0.50	—	295	43	485-620	70-90	18
ASTM A 738, grade A	Plate	65(d)	2.5(d)	0.24	1.50(d)	0.15-0.50	0.35	310	45	515-655	75-95	20(e)
ASTM A 737, grade B	Plate	100	4	0.20	1.15-1.50	0.15-0.50	—	345	50	485-620	70-90	18
Quenched and tempered structural carbon-manganese steels												
SAE J 368, grade Q980	Plate	20	¾	0.20	1.35	—	—	550	80	655-795	95-115	18(e)
ASTM A 537, class 2	Plate	40	1 ½	0.24	0.70-1.35	0.15-0.50	0.35	415	60	550-690	80-100	22(e)
		40-65	1 ½-2 ½	0.24	1.00-1.60	0.15-0.50	0.35	415	60	550-690	80-100	22(e)
		65-100	2 ½-4	0.24	1.00-1.60	0.15-0.50	0.35	380	55	515-655	75-95	22(e)
		100-150	4-6	0.24	1.00-1.60	0.15-0.50	0.35	315	46	485-620	70-90	22(e)
ASTM A 678, grade A	Plate	40	1 ½	0.16	0.90-1.50	0.15-0.50	0.20(c)	345	50	485-620	70-90	22(e)
ASTM A 678, grade B	Plate	40	1 ½	0.20	0.70-1.35	0.15-0.50	0.20(c)	415	60	550-690	80-100	22(e)
		40-65	1 ½-2 ½	0.20	1.00-1.60	0.15-0.50	0.20(c)	415	60	550-690	80-100	22(e)
ASTM A 678, grade C	Plate	20	¾	0.22	1.00-1.60	0.20-0.50	0.20(c)	515	75	655-790	95-115	19(e)
		20-40	¾-1 ½	0.22	1.00-1.60	0.20-0.50	0.20(c)	485	70	620-760	90-110	19(e)
		40-50	1 ½-2	0.22	1.00-1.60	0.20-0.50	0.20(c)	450	65	585-720	85-105	19(e)
ASTM A 738, grade B	Plate	65	2.5	0.20	0.90-1.50	0.15-0.50	0.35	415	60	585-705	85-102	20(e)
ASTM A 738, grade C	Plate	65	2.5	0.20	1.50	0.15-0.50	0.35	415	60	550-690	80-100	22(e)
		65-100	2.5-4	0.20	1.62	0.15-0.50	0.35	380	55	515-655	75-95	22(e)
		100-150	4-6	0.20	1.62	0.15-0.50	0.35	315	46	485-620	70-90	20(e)

(a) Product thicknesses are a maximum unless a range is given.

(b) Compositions are a maximum unless a range is given or otherwise specified in footnotes. Residual amounts of sulfur and phosphorus are limited in all grades and have specified maximums of 0.035 to 0.04% P (max) and 0.04 to 0.05% S (max), depending on the specifications.

(c) Minimum amount of copper if specified.

(d) Over 63 mm (2.5 in.), ASTM A 738 grade A requires quenching and tempering and 1.62% Mn (max) to achieve the specified strength levels.

(e) Elongation in 50 mm (2 in.).

4.7 – Bibliografia

- ASHBY, M.F., *Materials Selection in Mechanical Design*, Pergamon Press, 2nd reprinting, Oxford, 1993.
- A871/A871M; *Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel Plate With Atmospheric Corrosion Resistance*. **American Society for Testing and Materials**. Book of Standards Volume 01.04, 2003.
- ARAÚJO, L.A., *Manual de Siderurgia*. Vols. 1 (Produção). **Arte e Ciência**, São Paulo, 1997.
- ASTM A242/A242M; *Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel*. American Society for Testing and Materials. Book of Standards Volume 01.04, 2003.
- ASTM A588/A588M; *Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel with 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point to 4-in. [100-mm] Thick*. **American Society for Testing and Materials**. Book of Standards Volume 01.04, 2003.
- ASTM A606; *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, High-Strength, Low-Alloy, Hot-Rolled and Cold-Rolled, with Improved Atmospheric Corrosion Resistance*. **American Society for Testing and Materials**. Book of Standards Volume 01.03, 2001.
- ASTM G101; *Standard Guide for Estimating the Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels*, **American Society for Testing and Materials**. Book of Standards Volume 03.02, 2001.
- CALLISTER, W.D.; *Materials Science and Engineering – an introduction*. **John Wiley and Sons**, Inc. New York, 4th Edition, 1997.
- Catálogo Aços Planos Inoxidáveis, **ACESITA**, 2003.
- Catálogo Automóvel, **ARCELOR**, 2003.
- Catálogo Construção Metálica – *Uso do aço na construção civil COS AR COR*, **COSIPA**, 2000.
- Catálogo COS AR COR – *Aços resistentes à corrosão atmosférica*, **COSIPA**, 2000.
- Catálogo de Produtos– *Laminados a quente*, **CST**, 2002.
- CHAWLA, K.K.; MEYERS, M.A.; *Mechanical behavior of materials*. **Prentice-Hall Inc.**, 1999.
- CHIAVERINI, V.; Aços e Ferros Fundidos. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 6^a edição/4^a reimpressão, São Paulo, 1994.
- DIETER, G. E.; *Mechanical Metallurgy. SI Metric edition*. **McGraw Hill**, Singapore, 1988.
- GARCIA, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C.A.; *Ensaio dos Materiais*. Livros Técnicos e Científicos Editora, São Paulo, 2000.
- GODEFROID, L.B.; CANDIDO, L.C.; MORAIS, W.A.; *Curso: “Análise de Falhas”*. **Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais**, Belo Horizonte, setembro de 2003.
- HARVEY, P.D.; *Engineering properties of steel*. **American Society for Materials**, 6th printing, Materials Park (EUA), 1999.
- LESLIE, W.L.; *The physical metallurgy of steels*. **McGraw-Hill**, 1983.

- LLEWELLYN, D.T.; *Steels: metallurgy and applications*. **Butterworth-Heinemann**, 2nd edition, Trowbridge (UK), 1992.
- MORAIS, W.A. et. al. Desenvolvimento na cosipa do aço api 5ct j55 para tubos de pequeno e grande diâmetros. 41^o Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21, 22 e 23 de outubro de 2003 em Joinville - SC
- MORAIS, W.A. et. al.; *Desenvolvimento de aços laminados a quente na COSIPA destinados à produção de tubos API pelo processo ERW*, 40^o **Seminário de Laminação da ABM**, Vitória, outubro, 2003.
- MORAIS, W.A.; *Desempenho de material NBR 6656 LNE 38 da Cosipa na fabricação de botijões de grande capacidade*. Relatório de avaliação de aplicação, **COSIPA**, fevereiro, 2004.
- NBR 5008; *Chapas grossas e bobinas grossas, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural - Requisitos*. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1997.
- NBR 5921; *Chapas finas a quente e bobinas finas a quente, de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para uso estrutural – Requisitos*. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1997.
- Página específica da universidade de Liverpool sobre materiais, especialmente aços: <http://www.matter.org.uk/steelmaker.htm>.
- Páginas de busca e pesquisa na internet, tais como: <http://www.buscaescolar.hpg.ig.com.br/crosta.html>.
- PICKERING, F.B.; *Physical Metallurgy and the Desing of Steels*. **Applied Science Publishers**, 1st edition reprinted, 1983.