

AÇOS ESTRUTURAIS

Fabio Domingos Pannoni, M.Sc., Ph.D.¹

INTRODUÇÃO

Dentre os materiais encontrados no nosso dia-a-dia, muitos são reconhecidos como sendo metais, embora, em quase sua totalidade, eles sejam, de fato, ligas metálicas.

O conceito de metal está relacionado a um certo número de propriedades facilmente reconhecíveis, como por exemplo, o brilho metálico, opacidade, boa condutibilidade elétrica e térmica, ductilidade, etc..

Uma liga consiste da união íntima de dois ou mais elementos químicos onde pelo menos um é um metal e onde todas as fases existentes tem propriedades metálicas. Como exemplos, temos o latão (liga de cobre e zinco), o aço carbono (liga de ferro e carbono), o bronze (liga de cobre e estanho) e muitas outras.

O grande uso do aço pode ser atribuído às notáveis propriedades desta liga, à abundância das matérias-primas necessárias à sua produção e o seu preço competitivo. O aço pode ser produzido em uma enorme variedade de características que podem ser bem controladas, de modo a atender um certo uso específico. O produto final pode ser algo como um bisturi cirúrgico, um arranha-céu, uma ponte gigantesca ou um petroleiro, um reator nuclear ou um fogão.

O aço é uma liga de natureza relativamente complexa e sua definição não é simples, visto que, a rigor, os aços comerciais não são ligas binárias. De fato, apesar dos seus principais elementos de liga serem o ferro e o carbono, eles contêm sempre outros elementos secundários, presentes devido aos processos de fabricação. Nestas condições, podemos definir o aço² como sendo uma liga Ferro-Carbono, contendo geralmente de 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos secundários (como Silício, Manganês, Fósforo e Enxofre), presentes devido aos processos de fabricação”.

¹ Especialista em Engenharia de Proteção Estrutural da Gerdau Açominas S.A.

² V. Chiaverini. “Aços e Ferros Fundidos – 7^o edição”, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, p. 22 (2002).

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

A definição de aço proposta acima permite uma distinção entre os aços carbono comuns e os aços ligados:

1. Aço-carbono são ligas de Ferro-Carbono contendo geralmente de 0,008% até 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes dos processos de fabricação;
2. Aço-liga são os aços carbono que contém outros elementos de liga, ou apresenta os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais.

Os primeiros podem ser subdivididos em:

1. Aços de baixo teor de carbono, com $[C] < 0,3\%$, são aços que possuem grande ductilidade, bons para o trabalho mecânico e soldagem (construção de pontes, edifícios, navios, caldeiras e peças de grandes dimensões em geral). Estes aços não são temperáveis;
2. Aços de médio carbono, com $0,3 < [C] < 0,7\%$, são aços utilizados em engrenagens, bielas, etc.. São aços que, temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência;
3. Aços de alto teor de carbono, com $[C] > 0,7\%$. São aços de elevada dureza e resistência após a tempera, e são comumente utilizados em molas, engrenagens, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste, pequenas ferramentas, etc..

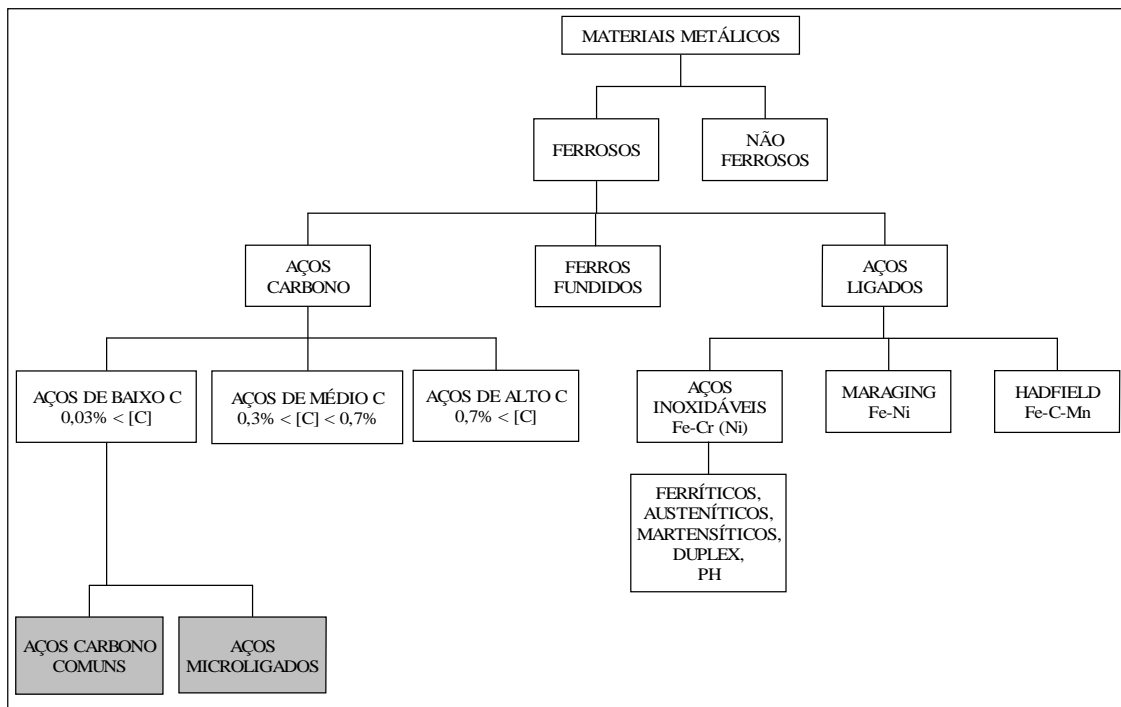
Os aços-liga, por sua vez, podem ser subdivididos em dois grupos:

1. Aços de baixo teor de ligas, contendo menos de 8% de elementos de liga;
2. Aços de alto teor de ligas, com elementos de liga acima de 8%.

Os aços produzidos pela Açominas que atendem o mercado da construção civil são o ASTM A-36 (um aço-carbono) , o ASTM A-572 Grau 50 (um aço-carbono microligado de alta resistência mecânica) e o ASTM A-588 Grau K (um aço-carbono microligado de alta resistência mecânica com elevada resistência à corrosão atmosférica).

Os aços microligados são especificados pela sua resistência mecânica, e não pela sua composição química. São desenvolvidos a partir dos aços de baixo carbono (como o ASTM A-36), com pequenas adições de Mn (até 2%) e outros elementos em níveis muito pequenos. Estes aços apresentam maior resistência mecânica que os aços de baixo carbono idênticos, mantendo a ductilidade e a soldabilidade, e são destinados às estruturas onde a soldagem é um requisito importante (Carbono baixo), assim como a resistência.

De modo geral, estes aços proporcionam uma grande economia de aço na estrutura, a um custo muito reduzido.



AÇOS MICROLIGADOS COMUMENTE OFERTADOS			
GRAUS	LIMITE DE ESCOAMENTO	PRINCIPAIS ELEMENTOS	FORMAS
ASTM	(MÍNIMO, MPa)	DE LIGA	TÍPICAS
A 242 (2 Graus)	290-345	Mn, Cu, Cr, Ni	Chapas grossas, perfis, laminados a quente
A 440	290-345	Mn, Cu, Si	Chapas grossas, perfis, laminados a quente
A 441	275-345	Mn, V, Cu, Si	Chapas grossas, perfis pesados, laminados a quente
A 572 (6 Graus)	290-450	Mn, Nb, V, N	Chapas grossas, perfis, laminados a quente
A 588 (10 Graus)	290-345	Mn, Nb, Cu, Cr, Si, Ti	Chapas grossas, perfis, laminados a quente
A 606 (4 Graus)	240-345	Mn	Tiras a quente e chapa fina
A 607 (6 Graus)	290-485	Mn, Nb, V, Ni, Cu	Tiras a quente e chapas finas
A 618 (3 Graus)	345	Mn, Nb, V, Si	Tubos estruturais
A 633 (5 Graus)	320-410	Mn, V, Cr, N, Cu	Perfis para serviço em baixas temperaturas
A 656 (2 Graus)	550	Mn, V, Al, N, Ti	Chapas grossas para veículos
A 715 (4 Graus)	345-550	Mn, V, Cr, Nb, N	Tiras a quente e chapas finas

Os aços microligados, de alta resistência mecânica, são de grande utilidade toda vez que se deseja:

1. Aumentar a resistência mecânica, permitindo um acréscimo da carga unitária da estrutura ou tornando possível uma diminuição proporcional da seção, ou seja, o emprego de seções mais leves;
2. Melhorar a resistência à corrosão atmosférica. Este é um fator importante a considerar, porque a utilização de seções mais finas pode significar vida mais curta

da estrutura, a não ser que a redução da seção seja acompanhada por um aumento correspondente da resistência à corrosão do material;

3. Melhorar a resistência ao choque e o limite de fadiga;
4. Elevar a relação do limite de escoamento para o limite de resistência à tração, sem perda apreciável da ductilidade.

FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO

Os principais fatores que afetam os valores medidos das propriedades mecânicas são a composição química, o histórico termomecânico do material, a geometria, temperatura, estado de tensões e velocidade de deformação da estrutura.

O fator mais importante na determinação das propriedades de um certo tipo de aço é a composição química. Nos aços carbono comuns, os elementos Carbono e Manganês tem influência no controle da resistência, ductilidade e soldabilidade. A maior parte dos aços carbono estruturais tem mais de 98% de Ferro, de 0,2 a 1% de Carbono e aproximadamente 1% de Manganês (em peso). O Carbono aumenta a dureza e a resistência, mas, por outro lado, afeta a ductilidade e a soldabilidade. Assim, pequenas quantidades de outros elementos de liga são utilizados na melhoria das propriedades do aço, obtendo o máximo em propriedades de uma liga contendo um baixo teor de Carbono.

A influência de alguns dos elementos químicos comumente encontrados pode ser visto na figura abaixo:

ELEMENTO	SOLUÇÃO SÓLIDA	FORMANDO CARBONETOS	TAMANHO DE GRÃO	TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO A ₁	TENACIDADE	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	RESISTÊNCIA À CORROSÃO	SOLDABILIDADE
Si	SIM	NÃO	↗	↗	↗	↗	↗	↘
Mn	SIM	NÃO	↗	↘	↗	↗	---	↘
Cr	PARTE	PARTE	↗	↗	↗	↗	↗	↘
Ni	SIM	NÃO	REFINA	↘	↗	↗	↗	↘
Cu	SIM	NÃO	REFINA	↘	↘	↗	↗	↘
V	NÃO	SIM	REFINA	↗	↗	---	---	---
W	NÃO	SIM	REFINA	↗	↗	---	---	---
Co	SIM	NÃO	IMPEDE AUMENTO	---	---	---	---	---
Mo	NÃO	SIM	IMPEDE AUMENTO	↗	↘	↗	↗	↗

De modo geral, alguma ductilidade deve ser sacrificada para que se obtenha um acréscimo de resistência mecânica. Isto é tolerável, pois o material normalmente exibe um “extra” de

ductilidade. O fundamental é que a ductilidade adequada seja exibida na estrutura final, fabricada. Isto é função do material, do projeto, dos procedimentos utilizados na fabricação e das condições de serviço.

HISTÓRICO TERMOMECÂNICO

O histórico termomecânico do aço inclui a carga de deformação no laminador (que leva à redução da seção), velocidade de resfriamento e da temperatura de acabamento do processo de laminação a quente. Estas variáveis influenciam profundamente as propriedades mecânicas do aço.

AÇOS ESTRUTURAIS AÇOMINAS

Os aços carbono estruturais são os mais amplamente utilizados dentre todos os aços estruturais. Eles dependem do teor de Carbono para desenvolver sua resistência, e tem limite de escoamento entre 170 e 275 MPa. O ASTM A36 é um aço típico deste grupo.

ELEMENTO QUÍMICO	ASTM A 36	ASTM A 572 Grau 50	ASTM A 588 Grau K
% C	0,26 máx.	0,23 máx	0,17 máx.
% Mn	...	1,35 máx.	0,50-1,20
% P	0,04 máx.	0,04 máx.	0,04 máx.
% S	0,05 máx.	0,05 máx.	0,05 máx.
% Si	0,40 máx.	0,40 máx.	0,25-0,50
% Ni	0,40 máx.
% Cr	0,40-0,70
% Mo	0,10 máx.
% Cu	0,20*	...	0,30-0,50
% V
% Nb	...	0,005-0,05**	0,005 - 0,05**
PROPRIEDADES MECÂNICAS			
Limite de Resistência, MPa	400 - 550	450 mín.	485 mín.
Limite de Escoamento, MPa	250 mín.	345 mín.	345 mín.

* Caso solicitado
 ** (%Nb + %V) ≥ 0,010%

Os aços microligados (aços de alta resistência mecânica e baixa liga) utilizam vários elementos de liga em adição ao carbono para que possam atingir resistências mecânicas superiores; o limite de escoamento para estes aços está situado entre 290 e 450 MPa. Como exemplos temos o ASTM A572 Grau 50 e o A588 Grau K, produzidos pela Açominas. O aço ASTM A588 possui elevada resistência à corrosão atmosférica (é um aço “patinável”), superior a dos aços carbono comuns.

Os requisitos fundamentais a que devem obedecer os aços microligados estruturais são os seguintes:

1. Ductilidade e homogeneidade;
2. Valor elevado da relação entre limite de resistência e limite de escoamento;
3. Soldabilidade;
4. Susceptibilidade de corte por chama, sem endurecimento;
5. Resistência razoável à corrosão.

Com exceção da resistência à corrosão, todos os outros requisitos são satisfeitos em maior ou menor grau pelos aços-carbono, de baixo a médio carbono, obtidos por laminação, cujos limites de resistência à tração variam de 390 a 490 MPa, e cujo alongamento gira em torno de 20%.

De fato, o teor de carbono relativamente baixo e o trabalho a quente proporcionado pela laminação dos perfis estruturais garantem a ductilidade necessária, além de produzir uma homogeneidade muito boa em toda a extensão das peças, com pequenas variações de resistência à tração e à compressão, variações essas que, entretanto, não prejudicam as propriedades. A ductilidade que esses aços apresentam, por outro lado, garante excelente trabalhabilidade em operações tais como corte, furação, dobramento, etc., sem que se originem fissuras ou outros defeitos.

O limite de escoamento, assim como o módulo de elasticidade, característicos de grande importância no projeto e cálculo de estruturas, são nos aços referidos perfeitamente satisfatórios, sobretudo considerando-se que sua resistência não deve ser necessariamente muito elevada.

A soldabilidade é outra característica muito importante para este tipo de material de construção, visto que a soldagem de peças estruturais é comum. Os aços-carbono comuns também satisfazem plenamente este requisito, pois podem ser soldados sem alteração da estrutura. Da mesma maneira, o corte por chama, muito empregado em peças estruturais, pouco afeta os aços em estudo, sob o ponto-de-vista de alterações estruturais, nas vizinhanças da zona de corte.

A soldabilidade de um aço pode ser estimada através da utilização de uma das expressões desenvolvidas para essa finalidade. Uma das mais conhecidas é:

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

Assim, quanto maior for o carbono equivalente, menor será a soldabilidade do aço, e mais lentamente deverá ser feito o resfriamento do conjunto. As temperaturas de pré-aquecimento e interpasses deverão ser maiores e o controle do hidrogênio também deverá ser maior.