

Uma substituição de um elemento de liga pode alterar a composição da liga de aço causando problemas inesperados. A **TESTMAT** recebe inúmeros contatos por ano pedindo para analisar os elementos de liga num aço por este motivo.

Nós fornecemos abaixo uma tabela com os elementos de liga dos aços, as suas principais funções e tendências de formação de carbonetos.

Se você trabalha com qualquer um destes materiais e tem problemas, ligue para falar com um dos nossos funcionários experientes. Nós somos capazes de ajudar a fornecer uma resposta.

Elemento de Liga	Tendência na Formação de Carboneto	Principais Funções
Alumínio	Menos do que o Ferro. Promove a grafitização.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Com nitrogênio ou oxigênio, o alumínio forma uma dispersão fina que limita o crescimento do grão.</li><li>• Um desoxidante que resulta em resistência excelente por causa do tamanho de grão fino resultante.</li><li>• Forma uma camada de superfície endurecida por difusão do nitrogênio em baixa temperatura (nitretação).</li></ul>
Boro	Moderado.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Um aumento significativo de capacidade endurecer com adições na faixa de 0,0005-0,003 %, sem sacrificar a ductilidade ou usinabilidade.</li></ul>
Cálcio	Nenhum.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Quando usado como um desoxidante, proporciona melhor usinabilidade quando comparado como o alumínio ou silício.</li><li>• Controla o formato da inclusão em aços HSLA, melhorando a resistência.</li></ul>
Carbono	Nenhum.	<ul style="list-style-type: none"><li>• O elemento de liga mais importante no aço formando perlita, bainita, grafite e martensita.</li><li>• O aumento de carbono aumenta a dureza, resistência e a temperatura de transição dútil - frágil.</li><li>• Aumento de carbono diminui a tenacidade e ductilidade.</li></ul>
Chumbo	Nenhum.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Não se dissolve no aço e melhora a usinabilidade.</li><li>• Pode causar fragilização do aço em temperaturas próximas ao ponto de fusão do Chumbo.</li></ul>
Cobalto	Similar ao Ferro.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Resiste ao amolecimento em altas temperaturas.</li></ul>

<http://www.testmat.com.br>

(19) 4141 7541

(11) 5181 9872

## Tabela Elementos de Liga - Aços

Elemento de Liga	Tendência na Formação de Carboneto	Principais Funções
Cobre	Nenhum.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhora a resistência à corrosão atmosférica em adições de 0,20 - 0,50%.</li> <li>• Diminui a capacidade do trabalho à quente de aços, devido à migração do cobre para os contornos de grãos.</li> </ul>
Cromo	Mais do que Manganês e menos do que Tungstênio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornece uma contribuição moderada à capacidade de endurecimento até cerca de 1%.</li> <li>• Ligeiramente resiste amolecimento durante a têmpera.</li> <li>• Fornece resistência à temperatura elevada e resistência à oxidação .</li> <li>• Com alto teor de carbono, proporciona resistência à abrasão.</li> </ul>
Enxofre	Nenhum.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalmente presente como inclusões de sulfeto de manganês</li> <li>• Diminui resistência e ductilidade transversal, mas tem pouco aumento sobre propriedades longitudinais.</li> <li>• Diminui soldabilidade.</li> <li>• Melhora a usinabilidade.</li> </ul>
Fósforo	Nenhum.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornece uma elevada contribuição para a temperabilidade.</li> <li>• Promove a austenita retida.</li> <li>• Reduz severamente tenacidade e ductilidade.</li> <li>• Melhora a resistência à corrosão.</li> <li>• Melhora a usinabilidade de aços de alto teor de enxofre</li> <li>• Diminui ductilidade em aços de médio e alto teor de carbono</li> <li>• Contribui para a fragilização ao revenido.</li> </ul>
Manganês	Mais do que o Ferro e menos do que o Cromo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornece uma contribuição moderada à capacidade de endurecimento (temperabilidade) até cerca de 2%.</li> <li>• Promove a austenita retida na têmpera.</li> <li>• Forma sulfetos de manganês que melhoram a usinabilidade.</li> <li>• Produz um aço austenítico de alto carbono.</li> <li>• Produz um aço austenítico Cr- Ni- Mn (200 série inoxidável) que compete com os aços inoxidáveis da série 300.</li> <li>• Aumenta a resistência e reduz a ductilidade em aços ferríticos.</li> <li>• É um desoxidante e promove a trabalhabilidade à quente.</li> </ul>

## Tabela Elementos de Liga - Aços

Elemento de Liga	Tendência na Formação de Carboneto	Principais Funções
Molibidênio	Forte formador de carbonetos. Mais do que Cromo e Tungstênio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribui muito para o endurecimento até cerca de 1%.</li> <li>• Contribui para a temperabilidade.</li> <li>• Aumenta a resistência em elevada temperatura e a resistência à fluência.</li> <li>• Melhora a resistência à corrosão em aços inoxidáveis, particularmente em ambientes com cloretos.</li> <li>• Minimiza a tendência da fragilidade no revenido em aços ligados na faixa de 0,15-0,30%.</li> </ul>
Nióbio	Forte.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produz tamanho de grão fino.</li> <li>• Aumenta a resistência em temperatura elevada.</li> <li>• Por ser um forte formador de carboneto pode diminuir o endurecimento do aço por remoção do carbono da matriz.</li> </ul>
Níquel	Menos do que o Ferro. Promove a grafitação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornece uma contribuição moderada a Temperabilidade.</li> <li>• Tende a promover austenita retida com médio e alto carbono.</li> <li>• Endurece aços não temperados por solução sólida.</li> <li>• Torna aços de alto cromo austeníticos.</li> <li>• Fornece tenacidade em aços ferríticos - perlíticos.</li> </ul>
Silício	Promove a grafitação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornece um aumento moderado da temperabilidade.</li> <li>• Endurece a ferrita, mais do que o manganês, mas menos do que o fósforo, até cerca de 1%.</li> <li>• Aumenta a resistência de aços temperados e revenidos.</li> <li>• Fornece alguma resistência à oxidação em temperaturas elevadas.</li> <li>• É um desoxidante geral.</li> </ul>
Titânio	Mais do que qualquer outro metal exceto Nióbio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produz partículas de carboneto que restringem o crescimento de grãos.</li> <li>• Reduz a dureza da martensita através da remoção do carbono em solução</li> <li>• Remove carbono em solução em aços inoxidáveis prevenindo a degradação do contorno de grão por carboneto de cromo.</li> <li>• Inibe a formação de austenita em aços de alta cromo.</li> <li>• Atua como um desoxidante pela combinação com oxigênio e nitrogênio.</li> </ul>

<<http://www.testmat.com.br>>

(19) 4141 7541

(11) 5181 9872

Elemento de Liga	Tendência na Formação de Carboneto	Principais Funções
Tungstênio	Mais forte do que o Molibidênio.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diminui amolecimento durante a têmpera.</li><li>• Forma carbonetos resistentes à abrasão.</li><li>• Promove a dureza em elevada temperatura.</li><li>• Fornece alguma resistência à fluência.</li></ul>
Vanádio	Forte, porém inferior ao Titânio e Nióbio.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fornece um aumento significativo na capacidade de endurecimento até cerca de 0,05%.</li><li>• Promove tamanho de grão fino austenítico.</li><li>• Resiste ao amolecimento durante a têmpera.</li></ul>

### Cálculo de Temperabilidade

Um número de elementos químicos tem a capacidade de aumentar a temperabilidade. Em 1938 (ASM Trans.1938) foi publicado um artigo com o fator químico de cálculo para quantificar o efeito de adições de liga. Este cálculo é muito preciso e ainda é utilizado hoje em dia nos processos de tratamento térmico. O fator químico calculado abaixo tem uma relação direta com o perfil de dureza Rockwell (HRC) de uma peça temperada.

$$\text{Fator químico} = 1000 (\% \text{ C}) + 500 (\% \text{ Mn}) + 400 (\% \text{ Cr}) + 100 (\% \text{ Ni}) + 25 (\% \text{ de Cu}) + 1,000 (\% \text{ Mo})$$

Uma fórmula mais recente e mais comumente utilizada para previsão de temperabilidade é o Carbono Equivalente. A equação seguinte prevê o efeito dos elementos de liga como se fossem uma somatória de adições equivalentes de carbono:

$$\text{Carbono Equivalente (CE)} = \% \text{ C} + (\% \text{ Mn}) / 6 + (\% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + \% \text{ V}) / 5 + (\% \text{ Cu} + \% \text{ Ni}) / 15$$

Outras informações sobre o cálculo de temperabilidade podem ser obtidos em <[https://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent\\_carbon\\_content](https://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent_carbon_content)>