

Siderurgia

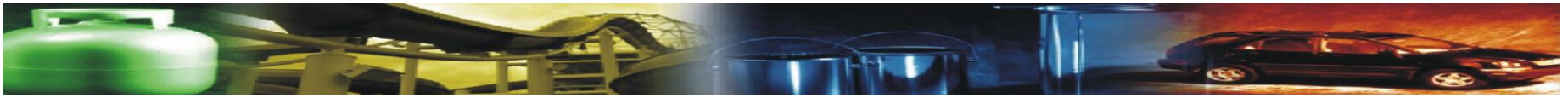
Classificação dos Aços

SAE-AISI-ASTM

**(SAE – Society of Automotive Engineers,
AISI – American Iron and Steel Institute,
ASTM – American Society for Testing and Materials)**

PGMEC – EME716

Prof Adriano Scheid



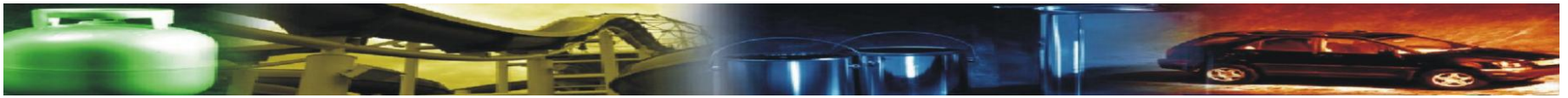
Seqüência :

I. Aços Carbono

II. Aços Liga ou para Construção Mecânica

III. Aços Inoxidáveis

IV. Aços Ferramenta



Aços Carbono (SAE J403 / Agosto 1995)

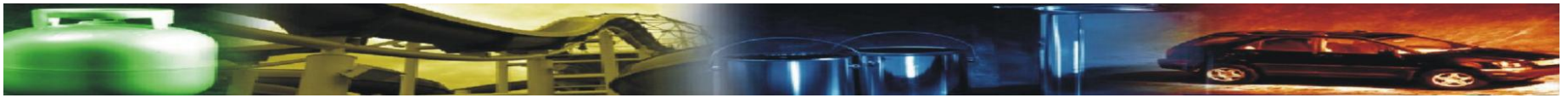
- Aços Simplesmente ao Carbono - SAE/AISI 10XX:

Os dois primeiros algarismos, ou seja, o 10 significa que os aços são simplesmente ao Carbono. A fração XX/100 indica o teor de Carbono em peso presente no aço. Por exemplo, um aço SAE/AISI 1045 é um aço simplesmente ao Carbono, contendo entre 0,43 e 0,50%C em peso e um aço SAE/AISI 1006 é um aço simplesmente ao Carbono, contendo 0,06%C em peso máximo. Estes aços apresentam teor de Manganês que varia entre 0,25 e 1,00%, além de Fósforo e Enxofre com teores máximos de 0,030 e 0,050 respectivamente.

UNS No.	SAE/AISI No.	Chemical Composition Limits, % ¹	Chemical Composition Limits, % ¹	Chemical Composition Limits, % ¹	Chemical Composition Limits, % ¹
		C	Mn	P, Max	S, Max
G10050	1005	0.06 Max	0.35 Max	0.030	0.050
G10060	1006	0.08 Max	0.25-0.40	0.030	0.050
G10080	1008	0.10 Max	0.30-0.50	0.030	0.050
G10100	1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.030	0.050
G10120	1012	0.10-0.15	0.30-0.60	0.030	0.050
G10150	1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.030	0.050
G10160	1016	0.13-0.18	0.60-0.90	0.030	0.050
G10170	1017	0.15-0.20	0.30-0.60	0.030	0.050
G10180	1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.030	0.050
G10200	1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.030	0.050
G10210	1021	0.18-0.23	0.60-0.90	0.030	0.050
G10220	1022	0.18-0.23	0.70-1.00	0.030	0.050
G10230	1023	0.20-0.25	0.30-0.60	0.030	0.050
G10250	1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.030	0.050
G10260	1026	0.22-0.28	0.60-0.90	0.030	0.050
G10290	1029	0.25-0.31	0.60-0.90	0.030	0.050
G10300	1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.030	0.050
G10350	1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.030	0.050
G10380	1038	0.35-0.42	0.60-0.90	0.030	0.050
G10390	1039	0.37-0.44	0.70-1.00	0.030	0.050
G10400	1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.030	0.050



UNS No.	SAE/AISI No.	Chemical Composition Limits, % ¹	Chemical Composition Limits, % ¹	Chemical Composition Limits, % ¹	Chemical Composition Limits, % ¹
		C	Mn	P, Max	S, Max
G10420	1042	0.40-0.47	0.60-0.90	0.030	0.050
G10430	1043	0.40-0.47	0.70-1.00	0.030	0.050
G10440	1044	0.43-0.50	0.30-0.60	0.030	0.050
G10450	1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.030	0.050
G10460	1046	0.43-0.50	0.70-1.00	0.030	0.050
G10490	1049	0.46-0.53	0.60-0.90	0.030	0.050
G10500	1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.030	0.050
G10530	1053	0.48-0.55	0.70-1.00	0.030	0.050
G10550	1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.030	0.050
G10600	1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.030	0.050
G10650	1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.030	0.050
G10700	1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.030	0.050
G10780	1078	0.72-0.85	0.30-0.60	0.030	0.050
G10800	1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.030	0.050
G10860	1086	0.80-0.93	0.30-0.50	0.030	0.050
G10900	1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.030	0.050
G10950	1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.030	0.050



Aços Carbono (SAE J403 / Agosto 1995)

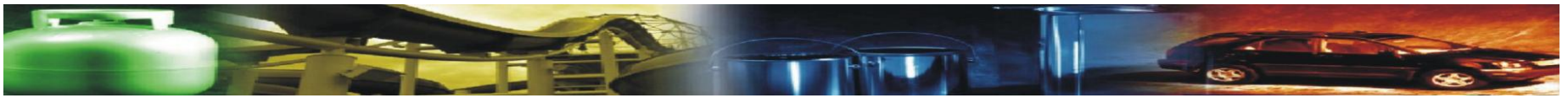
- Aços Carbono para Estruturas e Soldagem - SAE/AISI 10XX:

A designação anterior é utilizada para representar o teor de Carbono, entretanto, são aços que apresentam teor de Enxofre mais baixo a fim de gerar uma menor fração volumétrica de inclusões de sulfetos. Estes aços apresentam teor de Manganês que varia entre 0,30 e 1,00%, além de Fósforo e Enxofre com teores máximos de 0,030 e 0,035 respectivamente.



UNS No.	SAE/AISI No.	Cast or Heat Chemical Composition Limits, % C	Cast or Heat Chemical Composition Limits, % Mn	Cast or Heat Chemical Composition Limits, % P, Max ¹	Cast or Heat Chemical Composition Limits, % S, Max ¹
G10060	1006	0.08 Max	0.45 Max	0.030	0.035
G10080	1008	0.10 Max	0.50 Max	0.030	0.035
G10090	1009	0.15 Max	0.60 Max	0.030	0.035
G10100	1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.030	0.035
G10120	1012	0.10-0.15	0.30-0.60	0.030	0.035
G10150	1015	0.12-0.18	0.30-0.60	0.030	0.035
G10160	1016	0.12-0.18	0.60-0.90	0.030	0.035
G10170	1017	0.14-0.20	0.30-0.60	0.030	0.035
G10180	1018	0.14-0.20	0.60-0.90	0.030	0.035
G10190	1019	0.14-0.20	0.70-1.00	0.030	0.035
G10200	1020	0.17-0.23	0.30-0.60	0.030	0.035
G10210	1021	0.17-0.23	0.60-0.90	0.030	0.035
G10220	1022	0.17-0.23	0.70-1.00	0.030	0.035
G10230	1023	0.19-0.25	0.30-0.60	0.030	0.035
G10250	1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.030	0.035
G10260	1026	0.22-0.28	0.60-0.90	0.030	0.035
G10300	1030	0.27-0.34	0.60-0.90	0.030	0.035
G10330	1033	0.29-0.36	0.70-1.00	0.030	0.035
G10350	1035	0.31-0.38	0.60-0.90	0.030	0.035

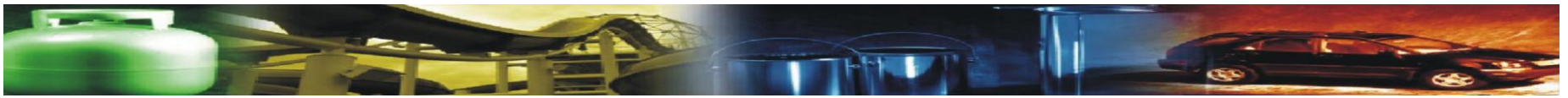
Reprodução parcial da tabela da norma.



Aços Carbono (SAE J403 / Agosto 1995)

- Aços Carbono Ressulfurados ou de Usinagem Fácil - SAE/AISI 11XX:

Os dois primeiros algarismos, ou seja, o 11 significa que os aços em questão são ao Carbono e apresentam teor de Enxofre mais elevado em relação às subclasses anteriores. A fração XX/100 indica o teor de Carbono em peso presente no aço. Por exemplo, um aço SAE/AISI 1137 é um aço Carbono ressulfurado, contendo 0,32 à 0,39%C e um aço SAE/AISI 1117 é um aço ressulfurado ao Carbono, contendo 0,14 à 0,20%C em peso. Estes aços apresentam teor de Manganês que varia entre 0,70 e 1,65%, além de Fósforo com teor máximo de 0,030% e Enxofre que varia desde 0,08 até 0,33%. São aços de usinagem fácil, uma vez que o mais elevado teor de Enxofre promove maior fração volumétrica de inclusões de sulfetos, que facilitam a quebra do cavaco.



Aços Carbono (SAE J403 / Agosto 1995)

- Aços Carbono Ressulfurados e Refosforados - SAE/AISI 12XX:

Os dois primeiros algarismos, ou seja, o 12 significa que os aços em questão são ao Carbono e apresentam teor de Enxofre e Fósforo mais elevado. A fração XX/100 indica o teor de Carbono em peso presente no aço. Por exemplo, um aço SAE/AISI 1212 é um aço Carbono ressulfurado e refosforado, contendo 0,12%C e um teor mais elevado de Enxofre e Fósforo apresentando, respectivamente, faixas de 0,07 a 0,12% e 0,16 a 0,23%. O aço SAE/AISI 1215 é um aço ressulfurado e refosforado ao Carbono, contendo 0,15%C em peso e um teor mais elevado de Enxofre e Fósforo apresentando, respectivamente, faixas de 0,04 a 0,09% e 0,26 a 0,35%. Estes aços são também referidos na literatura como aços de usinagem fácil, uma vez que o mais elevado teor de Enxofre e Fósforo promovem maior fração volumétrica de inclusões de sulfetos e fosfetos, que facilitam a quebra do cavaco.

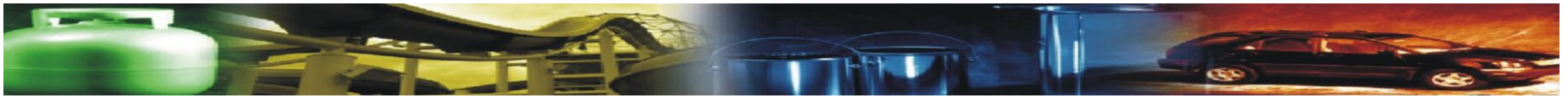


UNS No.	SAE/AISI No.	Chemical Composition Limits, % C	Chemical Composition Limits, % Mn	Chemical Composition Limits, % P, Max	Chemical Composition Limits, % S, Max
G11170	1117	0.14-0.20	1.00-1.30	0.030	0.08-0.13
G11180	1118	0.14-0.20	1.30-1.60	0.030	0.08-0.13
G11370	1137	0.32-0.39	1.35-1.65	0.030	0.08-0.13
G11400	1140	0.37-0.44	0.70-1.00	0.030	0.08-0.13
G11410	1141	0.37-0.45	1.35-1.65	0.030	0.08-0.13
G11440	1144	0.40-0.48	1.35-1.65	0.030	0.24-0.33
G11460	1146	0.42-0.49	0.70-1.00	0.030	0.08-0.13

Ressulfurados

UNS No.	SAE/AISI No.	Chemical Composition Limits, % C, Max	Chemical Composition Limits, % Mn	Chemical Composition Limits, % P	Chemical Composition Limits, % S	Chemical Composition Limits, % Pb
G12120	1212	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23	—
G12130	1213	0.13	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	—
G12150	1215	0.09	0.75-1.05	0.04-0.09	0.26-0.35	—
G12144	12L14	0.15	0.85-1.15	0.04-0.09	0.26-0.35	0.15-0.35

Ressulfurados e Refosforados



Aços Carbono (SAE J403 / Agosto 1995)

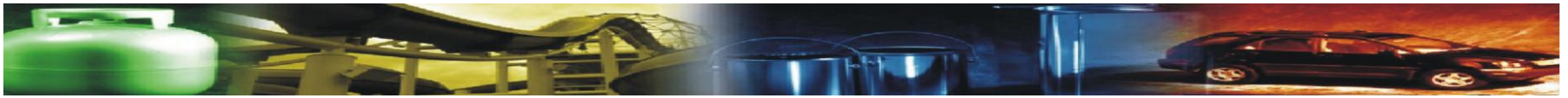
- Aços Carbono Alto Manganês - SAE/AISI 15XX:

Os dois primeiros algarismos, ou seja, o 15 significa que os aços são simplesmente ao Carbono com alto Manganês. A fração XX/100 indica o teor de Carbono em peso presente no aço. Por exemplo, um aço SAE/AISI 1541 é um aço simplesmente ao Carbono, contendo entre 0,36 e 0,44%C em peso e teor de Manganês de 1,35 até 1,65% e um aço SAE/AISI 1522 é um aço simplesmente ao Carbono, contendo entre 0,18 e 0,24%C em peso e teor de Manganês 1,10 a 1,40%. Estes aços apresentam teor de Manganês que varia entre 0,85 e 1,65%, além de Fósforo e Enxofre com teores máximos de 0,030 e 0,050 respectivamente. O maior teor de Manganês confere a esta subclasse maior resistência mecânica e limite de escoamento.



UNS No.	SAE/AISI No.	Cast or Heat Chemical Composition Limits, % C	Cast or Heat Chemical Composition Limits, % Mn	Cast or Heat Chemical Composition Limits, % P, Max ¹	Cast or Heat Chemical Composition Limits, % S, Max ¹	Former SAE No.
G15240	1524	0.18-0.25	1.30-1.65	0.030	0.035	1024
G15270	1527	0.22-0.29	1.20-1.55	0.030	0.035	1027
G15360	1536	0.30-0.38	1.20-1.55	0.030	0.035	1036
G15410	1541	0.36-0.45	1.30-1.65	0.030	0.035	1041
G15480	1548	0.43-0.52	1.05-1.40	0.030	0.035	1048
G15520	1552	0.46-0.55	1.20-1.55	0.030	0.035	1052

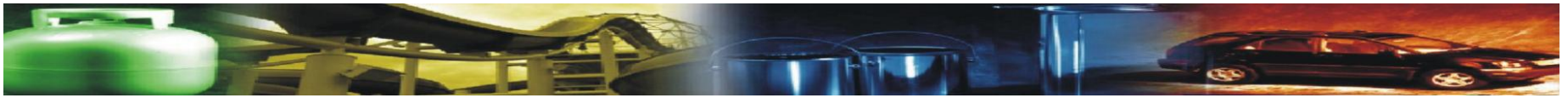
Aços Alto Manganês



Aços Liga ou para Construção Mecânica (SAE J404 / Abril 1994)

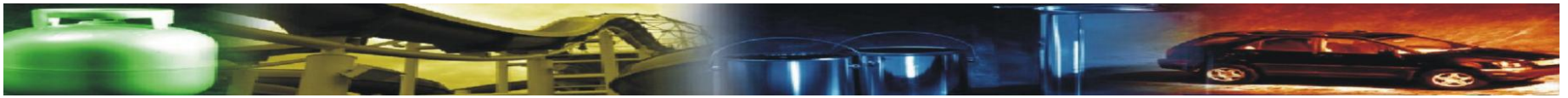
- Aços Liga ou para Construção Mecânica - SAE/AISI:

Os aços liga são designados por diversas séries representadas numericamente com quatro dígitos, onde os dois primeiros algarismos indicam os principais elementos de liga adicionados e a fração dos dois últimos dígitos “XX/100” indica o teor de Carbono em peso presente no aço. Os principais elementos de liga presentes nestes aços são: Cromo, Níquel, Molibdênio, Vanádio.



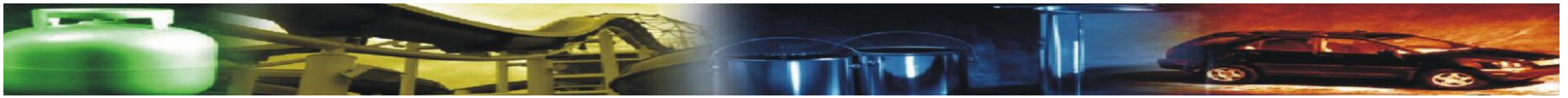
Aços Liga ou para Construção Mecânica (SAE J404 / Abril 1994)

- **Aços Liga ou para Construção Mecânica - SAE/AISI:**
 - **Série 51XX:** Aços desta série apresentam o **Cromo** como elemento de liga principal, em teores desde 0,70 até 1,10%. Por exemplo, um aço SAE/AISI 5140 é um aço liga ao Cromo, contendo 0,38 a 0,43%C e 0,7 a 0,90%Cr em peso e um aço SAE/AISI 5120 é um aço liga ao Cromo, contendo 0,17 a 0,22%C e 0,7 a 0,90%Cr em peso.
 - **Série 41XX:** Os aços desta série apresentam o **Cromo e o Molibdênio** como elementos de liga principais, em teores desde 0,40 até 0,80% do primeiro e 0,08 a 0,25% do segundo. Por exemplo, um aço SAE/AISI 4140 é um aço liga ao Cromo e Molibdênio, contendo 0,38 a 0,43%C, 0,80 à 1,10%Cr e 0,15 à 0,25% Mo em peso e um aço SAE/AISI 4120 é um aço liga ao Cromo e Molibdênio, contendo 0,18 à 0,23%C, 0,40 à 0,60%Cr e 0,13 à 0,20% Mo em peso.



Aços Liga ou para Construção Mecânica (SAE J404 / Abril 1994)

- **Aços Liga ou para Construção Mecânica - SAE/AISI:**
- **Série 86XX:** Os aços desta série apresentam o **Cromo, Níquel e o Molibdênio** como elementos de liga principais, em teores desde 0,40 até 0,60%Cr, 0,15 a 0,25%Mo e 0,40 a 0,70%Ni. Por exemplo, um aço SAE/AISI 8640 é um aço liga ao Cromo e Molibdênio, contendo 0,38 a 0,43%C, 0,40 até 0,60%Cr, 0,15 a 0,25%Mo e 0,40 a 0,70%Ni em peso e um aço SAE/AISI 8620 é um aço liga ao Cromo, Níquel e Molibdênio, contendo 0,18 à 0,23%C, 0,40 até 0,60%Cr, 0,15 a 0,25%Mo e 0,40 a 0,70%Ni em peso.



Aços Liga ou para Construção Mecânica (SAE J404 / Abril 1994)

- **Aços Liga ou para Construção Mecânica - SAE/AISI:**
 - **Série 43XX:** Os aços desta série apresentam **Cromo, Níquel e o Molibdênio** como elementos de liga principais, em teores desde 0,40 até 0,90%Cr, 0,20 a 0,30%Mo e 1,65 a 2,00%Ni. Por exemplo, um aço SAE/AISI 4340 é um aço liga ao Cromo, Níquel e Molibdênio, contendo 0,38 a 0,43%C, 0,70 até 0,90%Cr, 0,20 a 0,30%Mo e 1,65 a 2,00%Ni em peso e um aço SAE/AISI 4320 é um aço liga ao Cromo, Níquel e Molibdênio, contendo 0,17 à 0,22%C, 0,40 até 0,60%Cr, 0,20 a 0,30%Mo e 1,65 a 2,00%Ni em peso.
 - **Série 93XX:** Os aços desta série apresentam **Níquel, o Cromo e o Molibdênio** como elementos de liga principais, em teores nominais de 3,25%Ni, 1,20%Cr e 0,12%Mo.

SAE No.	Limits, % C	Limits, % Mn	Limits, % P	Limits, % S	Limits, % Si	Limits, % Ni	Limits, % Cr	Limits, % Mo	Limits, % V
1335	0.33-0.38	1.60-1.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	—	—	—
1340	0.38-0.43	1.60-1.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	—	—	—
4023	0.20-0.25	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	—	0.20-0.30	—
4027	0.25-0.30	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	—	0.20-0.30	—
4037	0.35-0.40	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	—	0.20-0.30	—
4047	0.45-0.50	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	—	0.20-0.30	—
4118	0.18-0.23	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.40-0.60	0.08-0.15	—
4120*	0.18-0.23	0.90-1.20	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.40-0.60	0.13-0.20	—
4130	0.28-0.33	0.40-0.60	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	—
4137	0.35-0.40	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	—
4140	0.38-0.43	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	—
4142	0.40-0.45	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	—
4145	0.43-0.48	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	—
4150	0.48-0.53	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	—
4320	0.17-0.22	0.45-0.65	0.030	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	—
4340	0.38-0.43	0.60-0.80	0.030	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	—
E4340 ²	0.38-0.43	0.65-0.85	0.025	0.025	0.15-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	—
4620	0.17-0.22	0.45-0.65	0.030	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	—
4820	0.18-0.23	0.50-0.70	0.030	0.040	0.15-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	—
50B46 ³	0.44-0.49	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.20-0.35	—	—
5120	0.17-0.22	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—	—
5130	0.28-0.33	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	—	—
5132	0.30-0.35	0.60-0.80	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.75-1.00	—	—
5140	0.38-0.43	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—	—
5150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—	—
5160	0.56-0.64	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—	—



SAE No.	Limits, % C	Limits, % Mn	Limits, % P	Limits, % S	Limits, % Si	Limits, % Ni	Limits, % Cr	Limits, % Mo	Limits, % V
6150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	—	0.15 min
8615	0.17-0.18	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	—
8617	0.15-0.20	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	—
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	—
8622	0.20-0.25	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	—
8630	0.28-0.33	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	—
8640	0.38-0.43	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	—
8645	0.43-0.48	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	—
8720	0.18-0.23	0.70-0.90	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	—
8822	0.20-0.25	0.75-1.00	0.030	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.30-0.40	—
9259	0.56-0.64	0.75-1.00	0.030	0.040	0.70-1.10	—	0.45-0.65	—	—
9260	0.56-0.64	0.75-1.00	0.030	0.040	1.80-2.20	—	—	—	—



Aços Inoxidáveis (SAE J405 / Junho 1998)

Aços Inoxidáveis – SAE J405

Os aços Inoxidáveis são designados, genericamente, a partir de quatro séries com nomes oriundos da microestrutura principal presente no aço. Conceitualmente, os aços são designados de Inoxidáveis quando apresentarem teor de Cromo superior a **11,5%**. O Cromo presente promove a formação de uma película de óxidos de Cromo uniforme e estável na superfície do aço, promovendo o retardamento do avanço da corrosão, pelo efeito de barreira física entre o Oxigênio do ambiente o Ferro do aço.

De forma geral, existem as seguintes séries de aços Inoxidáveis:

- Série 300 (Aços Inoxidáveis Austeníticos)**
- Série 400 (Aços Inoxidáveis Ferríticos)**
- Série 400 (Aços Inoxidáveis Martensíticos)**
- Série de Aços Endurecíveis por Precipitação**



- Série 300 (Aços Inoxidáveis Austeníticos)

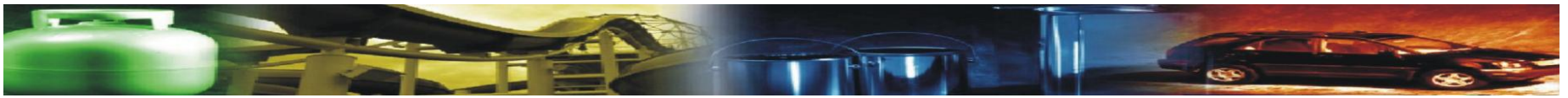
A série 300, denominada Aços Inoxidáveis Austeníticos, apresenta estrutura austenítica em temperatura ambiente, uma vez que os elementos de liga, especialmente o Níquel, promovem a estabilização da austenita. A série 300 apresenta teor de Carbono baixo, especialmente pela propriedade principal desta classe de aços que é a disponibilização do Cromo para a formação de uma película óxidos que promovem a redução da corrosão. Quando o teor de Carbono é elevado, a formação de carbonetos de Cromo pode levar à redução do desempenho quanto à corrosão além de causar, muitas vezes, outros fenômenos que degradam o material, como a conhecida “Sensitização”. O teor de Níquel está na faixa de 3,5 a 37%, enquanto o teor de Cromo está na faixa de 15 a 26%. O Manganês normalmente é de 2,00% e os teores de Fósforo e Enxofre encontram-se desde 0,04 a 0,20 e 0,03 a 0,15 respectivamente. Esta série pode apresentar ainda outros elementos como Molibdênio, Cobre, titânio, Nióbio, tântalo e Nitrogênio. Esta série de aços inoxidáveis é especialmente utilizada em aplicações onde a resistência à corrosão e a conformabilidade sejam requisitos importantes de projeto.



- Série 400 (Aços Inoxidáveis Ferríticos e Martensíticos)

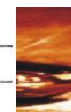
A série 400 Ferrítica apresenta microestrutura de Ferro alfa. O elemento de liga principal da série ferrítica é o Cromo com teor na faixa de 11,5 a 27%. O Manganês normalmente é de 1,00% e os teores de Fósforo e Enxofre encontram-se torno 0,04 e 0,03 respectivamente. Esta série pode apresentar ainda outros elementos como Molibdênio, titânio, Nióbio, selênio e Nitrogênio. O Carbono é mantido baixo pelos mesmos motivos apresentados anteriormente, ou seja, a formação de carbonetos de Cromo pode levar à redução do desempenho quanto à corrosão.

A série 400 Martensítica, recebe esta designação devido à microestrutura presente ser resultante do processo de têmpera e revenido. O elemento de liga principal da série é o Cromo com teor na faixa de 11,5 a 18,00%. O Manganês normalmente é de 1,00% e os teores de Fósforo e Enxofre encontram-se torno 0,04 e 0,03, respectivamente. Esta série pode apresentar ainda outros elementos como Molibdênio Vanádio e Tungstênio. O Carbono mínimo está ao redor de 0,15 se houver necessidade de têmpera e resistência à corrosão, podendo atingir 1,20 quando a resistência ao desgaste é importante.



- Série de Aços Inoxidáveis Endurecíveis por Precipitação

A última série é a dos aços Inoxidáveis Endurecíveis por Precipitação, a qual recebe esta nomenclatura devido ao mecanismo de endurecimento que envolve o processo de solubilização e envelhecimento ou endurecimento por precipitação. Também são conhecidos como aços PH, do inglês “Precipitation Hardening”. Os elementos de liga principais da série são o Cromo com teor na faixa de 12,25 a 18,00%, o Manganês normalmente é de 1,00% (ou menor) e os teores de Fósforo e Enxofre encontram-se, normalmente, em torno 0,04 e 0,03 respectivamente. Esta série apresenta ainda Níquel entre 3,00 e 8,50% além de outros elementos como Molibdênio, Cobre, Alumínio, Nióbio e Nitrogênio. O Carbono nesta série pode ser limitado a 0,09 devido à necessidade de resistência à corrosão.



Type ⁽³⁾	Carbon ⁽⁴⁾	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Silicon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	Copper	Other Elements ⁽⁵⁾
Austenitic (Chromium-Nickel) (Chromium-Manganese-Nickel)											
—	0.030	2.00	0.040	0.030	1.00	20.00–22.00	23.50–25.50	6.00–7.00	0.18–0.25	0.75	—
—	0.10	1.50	0.045	0.015	1.00	19.0–23.0	30.0–35.0	—	—	0.75	Al 0.15–0.60 Ti 0.15–0.60
—	0.05–0.10	1.50	0.045	0.015	1.00	19.0–23.0	30.0–35.0	—	—	0.75	Al 0.15–0.60 Ti 0.15–0.60
904L ⁽⁶⁾	0.020	2.00	0.045	0.035	1.00	19.00–23.00	23.00–28.00	4.0–5.0	0.10	1.0–2.0	—
—	0.020	2.00	0.030	0.010	0.50	19.00–21.00	24.00–28.00	6.0–7.0	0.15–0.25	0.5–1.5	—
201	0.15	5.50–7.50	0.060	0.030	1.00	16.00–18.00	3.50–5.50	—	0.25	—	—
—	0.03	5.50–7.50	0.045	0.030	0.75	16.00–18.00	3.50–5.50	—	0.25	—	—
—	0.03	6.40–7.50	0.045	0.015	0.75	16.00–17.50	4.00–5.00	—	0.10–0.25	1.00	—
—	0.15	4.00–6.00	0.040	0.040	3.00–4.00	15.00–18.00	4.00–6.00	—	0.08–0.20	—	—
202	0.15	7.50–10.0	0.060	0.030	1.00	17.00–19.00	4.00–6.00	—	0.25	—	—
—	0.030	7.00–9.00	0.040	0.030	1.00	15.00–17.00	1.50–3.00	—	0.15–0.30	—	—
XM-19 ⁽⁷⁾	0.06	4.00–6.00	0.040	0.030	0.75	20.50–23.50	11.50–13.50	1.50–3.00	0.20–0.40	—	Cb 0.10–0.30 V 0.10–0.30
XM-31 ⁽⁷⁾	0.12	14.00–16.00	0.045	0.030	0.30–1.00	17.00–18.50	1.00	—	0.35 min	—	—
XM-17 ⁽⁷⁾	0.08	7.50–9.00	0.045	0.030	0.75	17.50–22.00	5.00–7.00	2.00–3.00	0.25–0.50	—	—
XM-18 ⁽⁷⁾	0.03	7.50–9.00	0.045	0.030	0.75	17.50–22.00	5.00–7.00	2.00–3.00	0.25–0.50	—	—
—	0.10	7.00–9.00	0.060	0.030	3.50–4.50	16.00–18.00	8.00–9.00	—	0.08–0.18	—	—
XM-29 ⁽⁷⁾	0.08	11.50–14.50	0.060	0.030	0.75	17.00–19.00	2.25–3.75	—	0.20–0.40	—	—
301	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00–18.00	6.00–8.00	—	0.10	—	—
302	0.15	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00–19.00	8.00–10.00	—	0.10	—	—
304	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00–20.00	8.00–10.50	—	0.10	—	—
304L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00–20.00	8.00–12.00	—	0.10	—	—
304H	0.04–0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00–20.00	8.00–10.50	—	—	—	—
—	0.04–0.06	0.80	0.045	0.030	1.00–2.00	18.00–19.00	9.00–10.00	—	0.12–0.18	—	Ce 0.03–0.08
304N	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00–20.00	8.00–10.50	—	0.10–0.16	—	—
XM-21	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00–20.00	8.00–10.50	—	0.18–0.30	—	—
304LN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00–20.00	8.00–12.00	—	0.10–0.16	—	—
305	0.12	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00–19.00	10.50–13.00	—	—	—	—
—	0.018	2.00	0.20	0.020	3.7–4.3	17.0–18.5	14.0–15.5	0.20	—	0.50	—
—	0.015	0.50–0.80	0.030	0.013	5.00–5.60	17.00–18.00	17.00–18.00	0.20	0.050	0.35	—
—	0.16–0.24	2.00	0.030	0.030	3.2–4.0	17.0–19.5	13.5–16.0	—	—	—	Al 0.6–1.5
—	0.05–0.10	0.80	0.040	0.030	1.40–2.00	20.00–22.00	10.00–12.00	—	0.14–0.20	—	Ce 0.03–0.08
309S	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	22.00–24.00	12.00–15.00	—	—	—	—
309H ⁽⁸⁾	0.04–0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	22.00–24.00	12.00–15.00	—	—	—	—
309Cb ⁽⁸⁾	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	22.00–24.00	12.00–16.00	—	—	—	Cb 10 x C min, 1.10 max



Type ⁽³⁾	Carbon ⁽⁴⁾	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Silicon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	Copper	Other Elements ⁽⁵⁾
309HCB ⁽⁶⁾	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	22.00-24.00	12.00-16.00	—	—	—	Cb 10 x C min, 1.10 max
310S	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00	—	—	—	—
310H ⁽⁶⁾	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	24.00-26.00	19.00-22.00	—	—	—	—
310Cb ⁽⁶⁾	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00-26.00	19.00-22.00	—	—	—	Cb 10 x C min, 1.10 max
310HCB ⁽⁶⁾	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	24.00-26.00	19.00-22.00	—	—	—	Cb 10 x C min, 1.10 max
310 MoLN ⁽⁶⁾	0.030	2.00	0.030	0.010	0.50	24.00-26.00	21.00-23.00	2.00-3.00	0.10-0.16	—	—
—	0.020	1.00	0.030	0.010	0.80	19.50-20.50	17.50-18.50	6.00-6.50	0.18-0.22	0.50-1.00	—
—	0.030	2.00-4.00	0.035	0.020	1.00	23.00-25.00	21.00-24.00	5.00-7.00	0.35-0.60	0.50-3.00	W 1.00-3.00
316	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	0.10	—	—
316L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	0.10	—	—
316H	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	—	—	—
316Ti ⁽⁶⁾	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00-18.00	10.00-14.00	2.0-3.0	0.10	—	Ti 5 x (C + N) min, 0.70 max
316Cb ⁽⁶⁾	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00-18.00	10.00-14.00	2.0-3.0	0.10	—	Cb 10 x C min, 1.10 max
316N	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	0.10-0.16	—	—
316LN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	0.10-0.16	—	—
317	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00	0.10	—	—
317L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00	0.10	—	—
—	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00-20.00	13.50-17.50	4.0-5.0	0.20	—	—
—	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00-20.00	13.50-17.50	4.0-5.0	0.10-0.20	—	—
317LN ⁽⁶⁾	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00-20.00	11.00-15.00	3.00-4.00	0.10-0.22	—	—
321	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00-19.00	9.00-12.00	—	0.10	—	Ti 5 x (C + N) min, 0.70 max
321H	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00-19.00	9.00-12.00	—	—	—	Ti 4 x (C + N) min, 0.70 max
—	0.07	2.00	0.045	0.030	4.8-6.0	18.5-19.5	19.0-22.0	0.30-1.5	—	1.5-2.5	—
—	0.020	2.00-4.00	0.030	0.005	0.50	24.00-25.00	21.00-23.00	7.00-8.00	0.45-0.55	0.30-0.60	—
—	0.04-0.08	1.00	0.020	0.015	0.030	28.0-28.0	31.0-33.0	—	—	—	Cb 0.05-0.10 Cb 0.6-1.0 Al 0.025
—	0.030	5.00-7.00	0.030	0.010	1.00	23.00-25.00	16.00-18.00	4.00-5.00	0.40-0.60	—	Cb 0.10
347	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00-19.00	9.00-13.00	—	—	—	Cb 10 x C min, 1.00 max
347H	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00-19.00	9.00-13.00	—	—	—	Cb 8 x C min, 1.00 max
348	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00-19.00	9.00-13.00	—	—	—	Cb + Ta 10 x C min, 1.00 max Ta 0.10 max Co 0.20
348H	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00-19.00	9.00-13.00	—	—	—	Cb + Ta 8 x C min, 1.00 max Ta 0.10 max Co 0.20



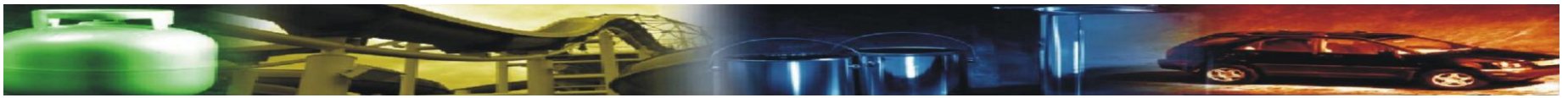


Type ⁽³⁾	Carbon ⁽⁴⁾	Manganese	Phos- phorus	Sulfur	Silicon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	Copper	Other Elements ⁽⁵⁾
—	0.04-0.08	2.00	0.040	0.030	1.20-2.00	24.00-26.00	34.00-36.00	—	0.12-0.18	—	Cu 0.03-0.08
XM-15 ⁽⁷⁾	0.08	2.00	0.030	0.030	1.50-2.50	17.00-19.00	17.50-18.50	—	—	—	—
Duplex (Austenitic-Ferritic)											
—	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	24.0-26.0	5.5-6.5	1.2-2.0	0.14-0.20	—	—
—	0.03	1.00	0.030	0.030	0.75	24.0-26.0	5.50-7.50	2.50-3.50	0.10-0.30	0.20-0.80	W 0.10-0.50
—	0.030	2.00	0.030	0.020	1.00	21.0-23.0	4.50-6.50	2.50-3.50	0.08-0.20	—	—
—	0.030	2.00	0.030	0.020	1.00	22.0-23.0	4.50-6.50	3.00-3.50	0.14-0.20	—	—
—	0.030	2.50	0.040	0.030	1.00	21.5-24.5	3.00-5.00	0.05-0.60	0.05-0.20	0.05-3.00	—
—	0.030	1.50	0.035	0.020	0.80	24.00-26.00	5.50-8.00	3.00-5.00	0.20-0.35	0.50-3.00	—
—	0.04	1.5	0.040	0.030	1.0	24.0-27.0	4.5-6.5	2.9-3.9	0.10-0.25	1.5-2.5	—
—	0.030	1.20	0.035	0.020	0.80	24.0-26.0	6.00-8.00	3.00-5.00	0.24-0.32	0.50	—
—	0.030	1.00	0.030	0.010	1.00	24.00-26.00	6.00-8.00	3.00-4.00	0.20-0.30	0.50-1.00	W 0.50-1.00 Cr + 3.3 Mo + 16 N = 40 min
329	0.08	1.00	0.040	0.030	0.75	23.00-26.00	2.50-5.00	1.0-2.0	—	—	—
—	0.03	2.00	0.035	0.010	0.60	26.00-29.00	3.50-5.20	1.00-2.50	0.15-0.35	—	—
Ferritic or Martensitic (Chromium)											
—	0.015	0.50	0.020	0.0035	0.55	28.00-29.00	3.0-4.0	1.8-2.5	0.020 (C + N) 0.030 max	—	Cb 0.15-0.50 12 (C + N) min
405	0.08	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50-14.50	0.60	—	—	—	Al 0.10-0.30
409	0.08	1.00	0.045	0.030	1.00	10.50-11.75	0.50	—	—	—	Ti 6 x C min; 0.75 max
—	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	10.50-11.75	0.50	—	0.030	—	Cb 0.18-0.40 Ti 0.05-0.20
—	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	10.50-11.75	0.50-1.00	—	0.030	—	Ti 6 (C + N) min and 0.75 max
410	0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50-13.50	0.75	—	—	—	—
—	0.03	1.50	0.040	0.030	1.00	10.50-12.50	1.50	—	—	—	N 0.030 max
410S	0.08	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50-13.50	0.60	—	—	—	—
—	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	12.00-13.00	0.50	—	0.030	—	Cb 9 (C + N) min, 0.60 max
—	0.040	1.00	0.045	0.030	1.00	10.50-12.50	0.60-1.10	—	0.10	—	—
—	0.05	0.5-1.0	0.030	0.030	0.60	11.5-14.0	3.5-5.5	0.5-1.0	—	—	—
429 ⁽⁶⁾	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	14.00-16.00	—	—	—	—	—
430	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00-18.00	0.75	—	—	—	—
439	0.07	1.00	0.040	0.030	1.00	17.00-19.00	0.50	—	0.04	—	Ti 0.20 + 4 (C + N) min; 1.10 max Al 0.15 max
—	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00-18.00	—	0.75-1.25	—	—	—
—	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00-18.00	—	0.75-1.25	—	—	Cb 5 x C min; 0.80 max
—	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	17.0-19.0	0.50	—	0.030	—	Ti + Cb 0.20 + 4 (C + N) min; 0.75 max Al 0.15 max



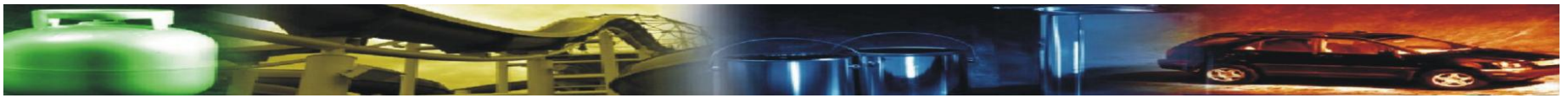


Type ⁽³⁾	Carbon ⁽⁴⁾	Manganese	Phos- phorus	Sulfur	Silicon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	Copper	Other Elements ⁽⁵⁾
444	0.025	1.00	0.040	0.030	1.00	17.5–19.5	1.00	1.75–2.50	0.035	—	Ti + Cb 0.20 + 4 (C + N) min; 0.80 max
—	0.020	1.00	0.040	0.012	1.00	19.00–21.00	0.60	—	0.03	0.30–0.60	Cb 10 (C + N) –0.80
XM-33 ⁽⁷⁾	0.08	0.75	0.040	0.020	0.75	25.00–27.00	0.50	0.75–1.50	0.04	0.20	Ti 0.20–1.00 7 (C + N) min
SM-27 ⁽⁷⁾	0.010 ⁽⁶⁾	0.40	0.020	0.020	0.40	25.00–27.50	0.50	0.75–1.50	0.015 ⁽⁵⁾	0.20	Cb 0.05–0.20 Ni + Cu 0.50 max
—	0.025	1.00	0.040	0.030	0.75	24.5–26.0	3.5–4.5	3.5–4.5	0.035	—	Ti + Cb 0.20 + 4 (C + N) min; 0.80 max
—	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	25.0–28.0	1.0–3.50	3.00–4.00	0.040	—	Ti + Cb = 0.20 –1.00 and 6 (C + N) min
—	0.010	0.30	0.025	0.020	0.20	28.0–30.0	0.15	3.5–4.2	0.020	0.15	(C + N) 0.025 max
—	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	28.00–30.00	1.00	3.60–4.20	0.045	—	Ti + Cb = 0.20–1.00 and 6 (C + N) min
—	0.010	0.30	0.025	0.020	0.20	28.0–30.0	2.0–2.5	3.5–4.2	0.020	0.15	(C + N) 0.025 max
—	0.030	1.00	0.040	0.030	1.00	18.00–20.00	0.50	—	—	—	Ti 0.07–0.30 Cb 0.10–0.60 N 0.030 max Ti + Cb = 0.20 + 4 (C + N) min; 0.80 max



Aços Ferramenta (SAE / AISI)

Genericamente referidos aos aços para ferramenta e matrizes, ou simplesmente aços Ferramenta, designamos os materiais Ferrosos utilizados na confecção do ferramental de que se serve a indústria, para a fabricação manual ou em máquinas ferramentas, de toda a variedade de utilidades. A cada família de aços ferramenta, é adotada uma letra maiúscula designativa e a diferenciação entre os aços da mesma família é realizada pela adoção de números escritos logo após a letra que representa a família. Deve-se observar que, em uma mesma família, não encontramos todos os números da série de algarismos. Em uma determinada série, por exemplo, a O, podemos encontrar a classificação O1, O2, O6 e O7, que significa que as séries (composições) com numeração faltante caíram em desuso e foram suprimidas da classificação, não mais figurando nas publicações das instituições normativas (SAE, ASTM, outras). Serão apresentadas a seguir as principais características das famílias de aços ferramenta, segundo SAE / AISI.



Aços Ferramenta (SAE / ASTM / AISI)

Série W (Aços para Têmpera em Água):

A sua nomenclatura provém da palavra “Water”, em inglês, pois são aços de têmpera em água ou salmoura. O teor de Carbono desta série pode ser especialmente especificado (pelo comprador) na faixa desde 0,60 até 1,40%. O teor de elementos de liga desta série ou é nula ou limita-se a pequenos teores de Cromo e Vanádio, sendo o primeiro limitado a 0,50% (eleva a temperabilidade) e o segundo a 0,25% (confere granulação refinada ao aço = tenacidade).

São aços conhecidos como aços ferramenta ao Carbono. A SAE recomenda uma divisão em quatro grupos:

- a) Aços W de qualidade 1, apresenta qualidade especial quanto à composição química com controle rígido dos teores de elementos de liga e temperabilidade.
- b) Aços W de qualidade 2, apresenta qualidade especial, entretanto, sem controle rígido de composição química, mas com controle acurado de temperabilidade.



Aços Ferramenta (SAE / ASTM / AISI)

Série W (Aços para Têmpera em Água):

c) Aços W de qualidade 3, apresenta qualidade “standard” ou padrão, entretanto, sem certificado de controle da temperabilidade.

d) Aços W de qualidade 4, apresenta qualidade comercial, entretanto não são submetidos a testes especiais de qualidade nem garantia da profundidade de têmpera.

UNS Designation	Type	Grade	Carbon		Manganese		Silicon		Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium		Vanadium		Tungsten, max	Molybdenum, max	Copper, max	Nickel, max
			min	max	min	max	min	max			min	max	min	max				
T72301	W1	A	0.10	0.15	0.10	0.40	0.10	0.40	0.030	0.030	...	0.15	...	0.10	0.15	0.10	0.20	0.20
T72301	W1	C	0.10	0.15	0.10	0.40	0.10	0.40	0.030	0.030	...	0.30	...	0.10	0.15	0.10	0.20	0.20
T72302	W2	A	0.10	0.15	0.10	0.40	0.10	0.40	0.030	0.030	...	0.15	0.15	0.35	0.15	0.10	0.20	0.20
T72302	W2	C	0.10	0.15	0.10	0.40	0.10	0.40	0.030	0.030	...	0.30	0.15	0.35	0.15	0.10	0.20	0.20
T72305	W5	...	1.05	1.15	0.10	0.40	0.10	0.40	0.030	0.030	0.40	0.60	...	0.10	0.15	0.10	0.20	0.20

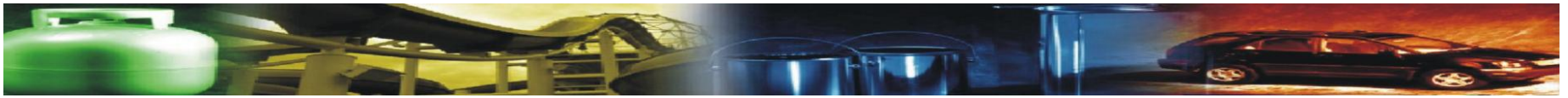


Aços Ferramenta (SAE / ASTM / AISI)

Série S (Aços Resistentes ao Choque):

É uma série inicialmente desenvolvida para aplicação em molas e, por esta razão, tem alta resistência à fadiga e a choques mecânicos provenientes de esforços súbitos. A tenacidade é garantida pelo teor de Carbono que é mantido em máximo de 0,65% o que, por outro lado, reduz a dureza de têmpera. Para compensar este teor de Carbono, são adicionados, normalmente, elementos formadores de carbonetos, como o Cromo (0,50 – 3,5%), Molibdênio (0,20 – 1,80%) e Tungstênio (1,5 – 3,0%), podendo conter Vanádio e/ou Níquel. A temperabilidade dos aços da série S é maior do que a encontrada na série W. Atenção especial em tratamento térmico deve ser adotada para que não ocorra a decarbonetação, sob pena de comprometer a resistência à fadiga.

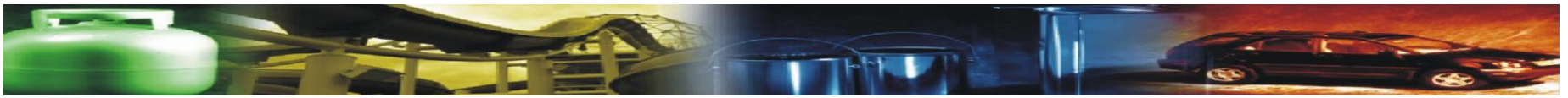
Type	Carbon		Manganese ^a		Phosphorus, max	Sulfur, ^c max	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Other Elements	
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max		
S1	0.40	0.55	0.10	0.40	0.030	0.030	0.15	1.20	1.00	1.80	0.15	0.30	1.50	3.00	...	0.50	...	...
S2	0.40	0.55	0.30	0.50	0.030	0.030	0.90	1.20	...	...	...	0.50	...	...	0.30	0.60	...	...
S4	0.50	0.65	0.60	0.95	0.030	0.030	1.75	2.25	0.10	0.50	0.15	0.35	...	...	...	...	...	...
S5	0.50	0.65	0.60	1.00	0.030	0.030	1.75	2.25	0.10	0.50	0.15	0.35	...	...	0.20	1.35	...	...
S6	0.40	0.50	1.20	1.50	0.030	0.030	2.00	2.50	1.20	1.50	0.20	0.40	...	...	0.30	0.50	...	...
S7	0.45	0.55	0.20	0.90	0.030	0.030	0.20	1.00	3.00	3.50	...	0.35	...	...	1.30	1.80	...	...



Aços Ferramenta (ASTM A 681)

Aços para Trabalho a Frio, Séries O, A e D:

Os aços para trabalho à frio distribuem-se em três grupos distintos, dependendo do aço selecionado para a fabricação. São eles, os aços de têmpera em óleo (série O), os aços de médio teor de elementos de liga (série A) e os aços de alto teor de liga e alto Carbono (série D). Uma das características destes aços é a necessidade de baixas taxas de resfriamento requeridas para a têmpera, que induzem menores distorções após tratamento térmico, sendo também referidos como “indeformáveis”.

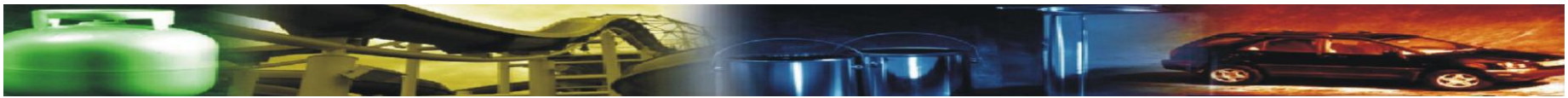


Aços Ferramenta (ASTM A 681)

Série O (Aços para Trabalho a Frio para a Têmpera em Óleo):

Os aços da série O apresentam maior temperabilidade que os da série W, devido ao maior teor de elementos de liga e deles se aproximam quanto à resistência ao desgaste pelo teor elevado de Carbono. A têmpera em óleo resulta em menor risco de trincamento e modificações dimensionais, importante para ferramentas. A série O contém, em geral, entre 0,85 e 1,55% Carbono, Cromo até 0,85%, Níquel até 0,30%, podendo conter Tungstênio, Molibdênio e Vanádio. São utilizados em matrizes para conformação à frio de metais, matrizes de corte, calibres, entre outros.

Type	Carbon		Manganese ^a		Phos- phorus, max	Sulfur, c max	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Other Elements
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
O1	0.85	1.00	1.00	1.40	0.030	0.030	0.10	0.50	0.40	0.70	...	0.30	0.40	0.60	...	...	
O2	0.85	0.95	1.40	1.80	0.030	0.030	...	0.50	...	0.50	†...	0.30	...	...	...	0.30	
O6	1.25	1.55	0.30	1.10	0.030	0.030	0.55	1.50	...	0.30	...	...	...	...	0.20	0.30	
O7	1.10	1.30	0.20	1.00	0.030	0.030	0.10	0.60	0.35	0.85	0.15	0.40	1.00	2.00	...	0.30	



Aços Ferramenta (ASTM A 681)

Série A (Aços para Trabalho a Frio para a Têmpera ao Ar):

Esta série caracteriza-se pelos mais altos teores de Cromo (0,90 – 5,50%), Manganês (0,40 – 2,10%), Molibdênio (0,70 – 1,20) e, em alguns casos, Vanádio entre 0,15 e 5,15%. Ainda podem apresentar Tungstênio e Níquel. O teor de Carbono varia entre 0,45 e 2,00%, que eleva o teor de carbonetos, conferindo resistência à abrasão. Comparativamente aos aços da série D, são aços que apresentam o mesmo índice de deformação na têmpera, maior resistência a choques e menores temperaturas de tratamento térmico.

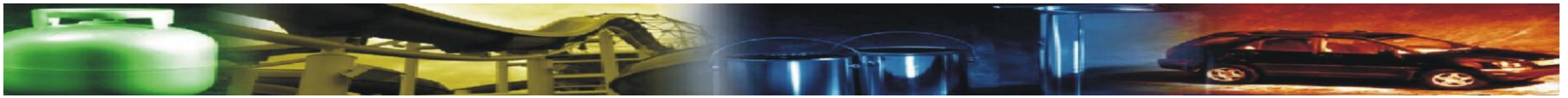
Type	Carbon		Manganese ^a		Phosphorus, max	Sulfur, c max	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Other Elements
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
A2	0.95	1.05	0.40	1.00	0.030	0.030	0.10	0.50	4.75	5.50	0.15	0.50	...	...	0.90	1.40	
A3	1.20	1.30	0.40	0.60	0.030	0.030	0.10	0.70	4.75	5.50	0.80	1.40	...	...	0.90	1.40	
A4	0.95	1.05	1.80	2.20	0.030	0.030	0.10	0.70	0.90	2.20	...	...	...	...	0.90	1.40	
A5	0.95	1.05	2.80	3.20	0.030	0.030	0.10	0.70	0.90	1.40	...	...	...	...	0.90	1.40	
A6	0.65	0.75	1.80	2.50	0.030	0.030	0.10	0.70	0.90	1.40	...	...	...	...	0.90	1.40	
A7	2.00	2.85	0.20	0.80	0.030	0.030	0.10	0.70	5.00	5.75	3.90	5.15	0.50	1.50	0.90	1.40	
A8	0.50	0.60	0.20	0.50	0.030	0.030	0.75	1.10	4.75	5.50	...	...	1.00	1.50	1.15	1.85	
A9	0.45	0.55	0.20	0.50	0.030	0.030	0.95	1.15	4.75	5.50	0.80	1.40	...	...	1.30	1.80	Ni 1.25–1.75
A10	1.25	1.50	1.60	2.10	0.030	0.030	1.00	1.50	...	...	...	...	...	...	1.25	1.75	Ni 1.55–2.05



Série D (Aços para Trabalho a Frio de Alto Cromo e Carbono):

Os aços desta série D são conhecidos pela capacidade de têmpera, sendo o D originado na palavra “Deep”, do inglês, profundidade de têmpera. São temperados ao ar ou ar soprado, apresentando baixa distorção dimensional, sendo frequentemente chamados de “indeformáveis”. São aços que apresentam excepcional resistência ao desgaste, conferido pela elevada fração de carbonetos de Cromo presentes na sua microestrutura. Os aços desta série apresentam baixa resistência a choques, com aplicação limitada desta série para as ferramentas sujeitas a este tipo de esforço. O teor de Carbono desta série está entre 1,40 e 2,50%, o teor de Cromo entre 11,00 e 13,50%, o que confere a fração volumétrica de carbonetos mencionada. Podem conter ainda teores de Molibdênio, Vanádio, Tungstênio e Cobalto.

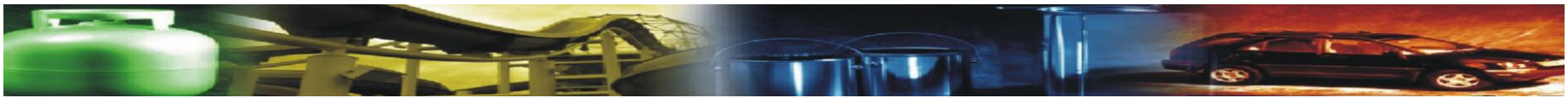
Type	Carbon		Manganese ^a		Phos- phorus, max	Sulfur, c max	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Other Elements
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
D2	1.40	1.60	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.00	13.00	0.50	1.10	...	...	0.70	1.20	...
D3	2.00	2.35	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.00	13.50	...	1.00	...	1.00	...	...	
D4	2.05	2.40	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.00	13.00	0.15	1.00	...	...	0.70	1.20	
D5	1.40	1.60	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.00	13.00	...	1.00	...	...	0.70	1.20	Co 2.50–3.50
D7	2.15	2.50	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.50	13.50	3.80	4.40	...	...	0.70	1.20	



Aços Ferramenta (ASTM A 681)

Aços para Trabalho a Quente, Série H:

Os aços para trabalho a quente destinam-se ao uso em ferramental que trabalhe em contato com material aquecido a temperaturas que podem chegar a 1100°C, o que corresponde a aquecimento do ferramental entre 550 e 600°C. Para que resistam a tais condições de trabalho e ainda mantenham a elevada dureza e resistência ao desgaste, eles apresentam na composição, teores de elementos como Cromo, Tungstênio, Molibdênio e Vanádio. Apresentam alta temperabilidade, pelo seu elevado teor de elementos de liga, que permitem resfriamento em ar soprado. A resistência a choques térmicos e mecânicos é imprescindível ao seu comportamento. Devem resistir ainda a carregamento cíclicos mecânicos e térmicos, ou seja, devem apresentar resistência à fadiga e fadiga térmica. Estas propriedades são conferidas pelo teor relativamente baixo de Carbono, na faixa de 0,22 a 0,55%.



Aços Ferramenta (ASTM A 681)

Aços para Trabalho a Quente, Série H:

A série H pode ser ao Cromo, em que apresenta cerca de 5% de Cromo médio na composição, podendo conter ainda elementos como Tungstênio, Molibdênio e Vanádio. O teor de Carbono está na faixa de 0,30 a 0,45%. Exemplos desta série são os aços H11, H12 e H13. Estes aços foram inicialmente desenvolvidos para matrizes de injeção de Alumínio. Algumas das suas propriedades principais são a alta temperabilidade (endurecimento ao ar), baixa distorção na têmpera, mínima oxidação em trabalho em temperatura e resistência ao desgaste pela reatividade com o Alumínio, além do relativo baixo custo (baixos teores de elementos de liga).

Type	Carbon		Manganese ^a		Phos- phorus, max	Sulfur, ^c max	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Other Elements
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
H10	0.35	0.45	0.20	0.70	0.030	0.030	0.80	1.25	3.00	3.75	0.25	0.75	...	...	2.00	3.00	
H11	0.33	0.43	0.20	0.60	0.030	0.030	0.80	1.25	4.75	5.50	0.30	0.60	...	...	1.10	1.60	
H12	0.30	0.40	0.20	0.60	0.030	0.030	0.80	1.25	4.75	5.50	0.20	0.50	1.00	1.70	1.25	1.75	
H13	0.32	0.45	0.20	0.60	0.030	0.030	0.80	1.25	4.75	5.50	0.80	1.20	...	...	1.10	1.75	
H14	0.35	0.45	0.20	0.60	0.030	0.030	0.80	1.25	4.75	5.50	...	...	4.00	5.25	...	...	
H19	0.32	0.45	0.20	0.50	0.030	0.030	0.15	0.50	4.00	4.75	1.75	2.20	3.75	4.50	0.30	0.55	Co 4.00–4.50



Aços para Trabalho a Quente, Série H:

A série H pode ser ao Tungstênio, em que apresenta de 1,4 a 19,00% de Tungstênio na composição, além de Cromo entre 1,75 e 12,75% podendo ainda conter Vanádio. O teor de Carbono está na faixa de 0,22 a 0,55%. Exemplos desta série são os aços H21, H24 e H25. O elevado teor de Tungstênio confere elevada resistência a quente (dureza a quente ou resistência ao revenimento) o que, por outro lado, reduz a resistência a choques térmicos, sendo limitado o uso de refrigeração dos moldes com água. A série H apresenta ainda uma subsérie ao Molibdênio, contendo teores de Molibdênio na faixa de 4,50 a 9,20%, Tungstênio entre 1,40 e 6,75%, Cromo entre 3,75 e 4,50% além de Vanádio. O Carbono é mantido entre 0,15 e 0,45%.

Type	Carbon		Manganese ^a		Phosphorus, max	Sulfur, ^c max	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Other Elements
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
H21	0.28	0.36	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.50	3.00	3.75	0.30	0.60	8.50	10.00	...	...	
H22	0.30	0.40	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.40	1.75	3.75	0.25	0.50	10.00	11.75	...	...	
H23	0.25	0.35	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.60	11.00	12.75	0.75	1.25	11.00	12.75	...	...	
H24	0.42	0.53	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.40	2.50	3.50	0.40	0.60	14.00	16.00	...	...	
H25	0.22	0.32	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.40	3.75	4.50	0.40	0.60	14.00	16.00	...	...	
H26	0.45	0.55 ^E	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.40	3.75	4.50	0.75	1.25	17.25	19.00	...	...	
H41	0.60	0.75 ^E	0.15	0.40	0.030	0.030	0.20	0.45	3.50	4.00	1.00	1.30	1.40	2.10	8.20	9.20	
H42	0.55	0.70 ^E	0.15	0.40	0.030	0.030	0.20	0.45	3.75	4.50	1.75	2.20	5.50	6.75	4.50	5.50	
H43	0.50	0.65 ^E	0.15	0.40	0.030	0.030	0.20	0.45	3.75	4.50	1.80	2.20	...	...	7.75	8.50	



Aços Ferramenta de Baixa Liga para Propósitos Especiais:

Série L:

A inicial “L” provém de “Low”, do inglês, que se refere à baixa liga, apresenta na composição química teores baixos de Cromo e Manganês, podendo conter ainda, em alguns casos, pequenos teores de Vanádio, Molibdênio, Tungstênio ou Níquel. Apresentam teor de Carbono entre 0,45 e 1,00%, Cromo entre 0,60 e 1,20% e Manganês entre 0,10 e 0,80%. O Cromo contribui para a resistência ao desgaste, e juntamente com Molibdênio e Manganês, aumentam a temperabilidade, permitindo a têmpera em óleo. Estes aços apresentam apenas razoável estabilidade dimensional. São normalmente temperados em água.

Type	Carbon		Manganese ^a		Phos- phorus, max	Sulfur, ^c max	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Other Elements	
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max		
L2	0.45	1.00 ^e	0.10	0.90	0.030	0.030	0.10	0.50	0.70	1.20	0.10	0.30	...	...	...	0.25	...	...
L3	0.95	1.10	0.25	0.80	0.030	0.030	0.10	0.50	1.30	1.70	0.10	0.30	...	...	...	...	...	...
L6	0.65	0.75	0.25	0.80	0.030	0.030	0.10	0.50	0.60	1.20	...	...	...	...	...	0.50	1.25	2.00

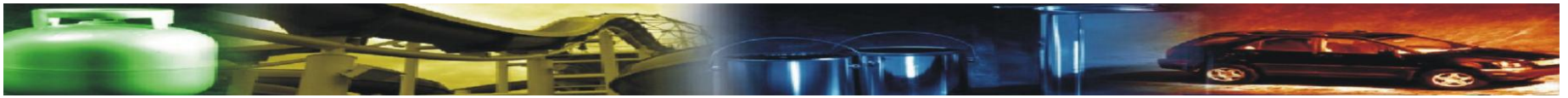


Aços Ferramenta de Baixa Liga para Propósitos Especiais:

Série P (Aços para Moldes Plásticos):

O Cromo e o Níquel são os principais elementos de liga destes aços para moldes de injeção de plásticos. Apresentam teores baixíssimos de Carbono (normalmente entre 0,05 e 0,10%), caracterizam-se pela dureza excepcionalmente baixa na condição de recozidos permitindo a usinagem e a prensagem na forma desejada. Em seguida, são normalmente cementados, temperados e revenidos. Os teores de Cromo variam desde 0,40 até 2,00% e Níquel entre 0,10 e 4,25%.

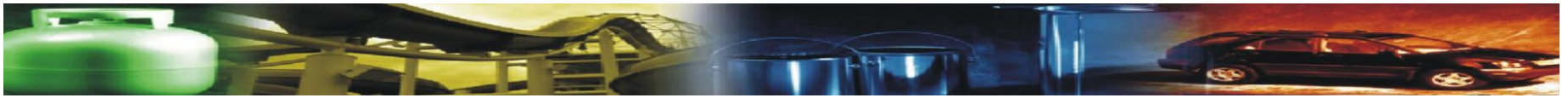
Type	Carbon		Manganese ^a		Phosphorus, max	Sulfur, ^c max	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Other Elements	
	min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max		
P2	...	0.10	0.10	0.40	0.030	0.030	0.10	0.40	0.75	1.25	...	...	...	...	0.15	0.40	0.10	0.50
P3	...	0.10	0.20	0.60	0.030	0.030	...	0.40	0.40	0.75	...	...	...	...	...	...	1.00	1.50
P4	...	0.12	0.20	0.60	0.030	0.030	0.10	0.40	4.00	5.25	...	...	...	...	0.40	1.00	...	...
P5	0.06	0.10	0.20	0.60	0.030	0.030	0.10	0.40	2.00	2.50	...	...	...	...	...	...	...	0.35
P6	0.05	0.15	0.35	0.70	0.030	0.030	0.10	0.40	1.25	1.75	...	...	...	...	...	...	3.25	3.75
P20	0.28	0.40	0.60	1.00	0.030	0.030	0.20	0.80	1.40	2.00	...	...	...	...	0.30	0.55	...	...
P21 ^f	0.18	0.22	0.20	0.40	0.030	0.030	0.20	0.40	0.20	0.30	0.15	0.25	...	...	...	...	3.90	4.25



Aços Rápidos

Série T (Aço Rápido ao Tungstênio)

Os aços rápidos recebem esse nome pela propriedade de resistência à perda da dureza frente ao calor especialmente produzido em operação, pelo atrito nos processos de usinagem a grandes velocidades de corte e pesados avanços. Esta propriedade de dureza a quente subsiste até temperaturas superiores a 500°C. A série T corresponde à série ao Tungstênio e o teor de Carbono fica em torno de 0,65 a 1,60%, suficiente para gerar elevada fração de carbonetos ao Tungstênio e demais elementos de liga, que conferem resistência à abrasão. O teor de Tungstênio está entre 11,75 e 21,00%. O Cromo está entre 3,75 e 5,00%, podendo conter ainda elementos como Molibdênio e Vanádio. Os aços desta série apresentam alta temperabilidade, e são temperados a partir do resfriamento ao ar. O Vanádio em teor entre 0,80 a 5,25% proporciona elevação na fração de carbonetos, entretanto, pode levar ao aparecimento de austenita retida após a têmpera.



Aços Rápidos

Série M (Aço Rápido ao Molibdênio)

São aços ferramenta que contém entre 3,25 e 11,00% de Molibdênio, além de Cromo entre 3,50 e 4,75%, Tungstênio desde 1,15 até 10,50% e 0,95 a 3,75% Vanádio. O Cobalto pode ser introduzido à composição do aço. O teor de Carbono varia entre 0,78 a 1,52%. Comparativamente aos aços rápidos da série T, os aços da série M apresentam resistência à abrasão similar, entretanto, melhor tenacidade. Um inconveniente desta série é que são mais susceptíveis à descarbonetação durante tratamento térmico.

Type	Carbon		Manganese		Phos- phorus	Sulfur ^c	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum		Cobalt	
	min	max	min	max	max	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max

Tungsten-Type High-Speed Steels

T1	0.85	0.80	0.10	0.40	0.03	0.03	0.20	0.40	3.75	4.50	0.90	1.30	17.25	18.75	...	...	...	...
T2	0.80	0.90	0.20	0.40	0.03	0.03	0.20	0.40	3.75	4.50	1.80	2.40	17.50	19.00	...	1.00	...	...
T4	0.70	0.80	0.10	0.40	0.03	0.03	0.20	0.40	3.75	4.50	0.80	1.20	17.50	19.00	0.40	1.00	4.25	5.75
T5	0.75	0.85	0.20	0.40	0.03	0.03	0.20	0.40	3.75	5.00	1.80	2.40	17.50	19.00	0.50	1.25	7.00	9.50
T6	0.75	0.85	0.20	0.40	0.03	0.03	0.20	0.40	4.00	4.75	1.50	2.10	18.50	21.00	0.40	1.00	11.00	13.00
T8	0.75	0.85	0.20	0.40	0.03	0.03	0.20	0.40	3.75	4.50	1.80	2.40	13.25	14.75	0.40	1.00	4.25	5.75
T15	1.50	1.50	0.15	0.40	0.03	0.03	0.15	0.40	3.75	5.00	4.50	5.25	11.75	13.00	...	1.00	4.75	5.25

Molybdenum-Type High-Speed Steels

M1		0.78	0.88	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.50	3.50	4.00	1.00	1.35	1.40	2.10	8.20	9.20	...	...
M2	regular C	0.78	0.88	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.50	1.75	2.20	5.50	6.75	4.50	5.50	...	...
	high C	0.95	1.05	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.50	1.75	2.20	5.50	6.75	4.50	5.50	...	...
M3	Class 1	1.00	1.10	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.50	2.25	2.75	5.00	6.75	4.75	6.50	...	...
	Class 2	1.15	1.25	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.50	2.75	3.25	5.00	6.75	4.75	6.50	...	...
M4		1.25	1.40	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.75	3.75	4.50	5.25	6.50	4.25	5.50	...	...
M6		0.75	0.85	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.50	1.30	1.70	3.75	4.75	4.50	5.50	11.00	13.00
M7		0.97	1.05	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.55	3.50	4.00	1.75	2.25	1.40	2.10	8.20	9.20	...	...
M10	regular C	0.84	0.94	0.10	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.50	1.80	2.20	...	...	7.75	8.50	...	...
	high C	0.95	1.05	0.10	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.50	1.80	2.20	...	...	7.75	8.50	...	...
M30		0.75	0.85	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.50	4.25	1.00	1.40	1.30	2.30	7.75	9.00	4.50	5.50
M33		0.85	0.92	0.15	0.40	0.03	0.03	0.15	0.50	3.50	4.00	1.00	1.35	1.30	2.10	9.00	10.00	7.75	8.75
M34		0.85	0.92	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.50	4.00	1.90	2.30	1.40	2.10	7.75	9.20	7.75	8.75
M36		0.80	0.90	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.75	4.50	1.75	2.25	5.50	6.50	4.50	5.50	7.75	8.75
M41		1.05	1.15	0.20	0.60	0.03	0.03	0.15	0.50	3.75	4.50	1.75	2.25	6.25	7.00	3.25	4.25	4.75	5.75
M42		1.05	1.15	0.15	0.40	0.03	0.03	0.15	0.65	3.50	4.25	0.95	1.35	1.15	1.85	9.00	10.00	7.75	8.75
M43		1.15	1.25	0.20	0.40	0.03	0.03	0.15	0.65	3.50	4.25	1.50	1.75	2.25	3.00	7.50	8.50	7.75	8.75
M44		1.10	1.20	0.20	0.40	0.03	0.03	0.30	0.55	4.00	4.75	1.85	2.20	5.00	5.75	6.00	7.00	11.00	12.25
M46		1.22	1.30	0.20	0.40	0.03	0.03	0.40	0.65	3.70	4.20	3.00	3.30	1.90	2.20	8.00	8.50	7.80	8.80
M47		1.05	1.15	0.15	0.40	0.03	0.03	0.20	0.45	3.50	4.00	1.15	1.35	1.30	1.80	9.25	10.00	4.75	5.25
M48		1.42	1.52	0.15	0.40	0.03	0.07	0.15	0.40	3.50	4.00	2.75	3.25	9.50	10.50	4.75	5.50	8.00	10.00
M62		1.25	1.35	0.15	0.40	0.03	0.07	0.15	0.40	3.50	4.00	1.80	2.10	5.75	6.50	10.00	11.00	...	...