

# Tecnologia dos Materiais

## Aula 2

Prof. Marcos Baroncini Proença

## Conversa Inicial

Olá, seja bem-vindo! Nesta segunda aula aprenderemos sobre as ligas metálicas não ferrosas, mais especificamente ligas de cobre, de alumínio, de chumbo, de zinco e de estanho.

## Contextualizando

As ligas metálicas não ferrosas são de extrema importância, devido a suas utilizações nas aplicações em que as ligas ferrosas não possuem atributos, permitindo-lhes serem usadas. As principais ligas não ferrosas são ligas de cobre, de alumínio, de zinco, de níquel e de titânio. Apresentaremos estas ligas dentro dos mesmos critérios abordados para as ligas metálicas ferrosas, portanto começaremos pelas ligas de cobre.



Figura 1 – Ligas não ferrosas.

## Pesquisa

### Ligas de Cobre

O metal cobre, por suas características, das quais se destacam a segunda melhor condutibilidade térmica e elétrica (ficando atrás apenas da prata), sua maleabilidade, resistência mecânica e a fadiga, usinabilidade e resistência a corrosão, é usado em várias aplicações de engenharia, principalmente na indústria elétrica e de construção civil. Este metal é classificado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) conforme seus processos de fabricação.

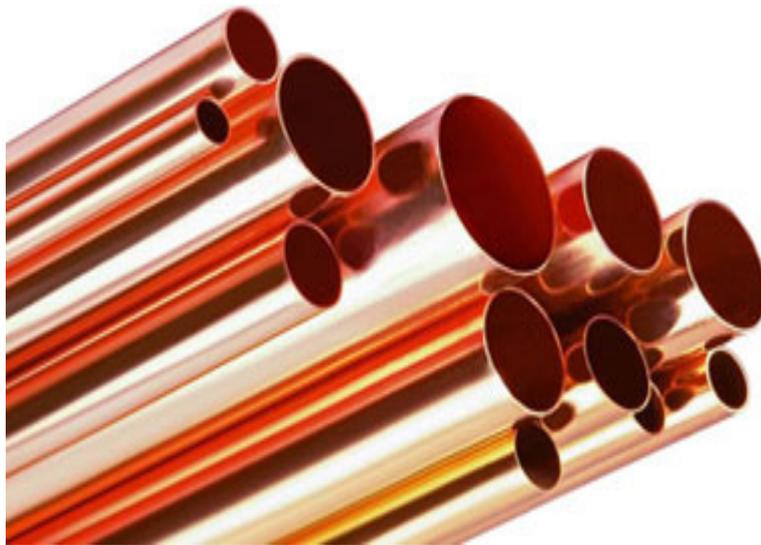


Figura 2 — Cobre e suas ligas.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 1a.

## Liga Cobre-Zinco-Latão

Latão é uma liga de cobre e zinco tendo teores de zinco que variam de 5% a 50%. Possui estrutura CFC, devido a matriz de cobre, com Zinco sendo introduzido como inclusão substitucional. O zinco interfere nas propriedades do cobre, diminuindo sua resistência a corrosão, sua condutibilidade térmica e elétrica, mas aumenta sua resistência mecânica.

A classificação ASTM e as propriedades em função da adição de zinco, bem como suas aplicações são tabeladas.

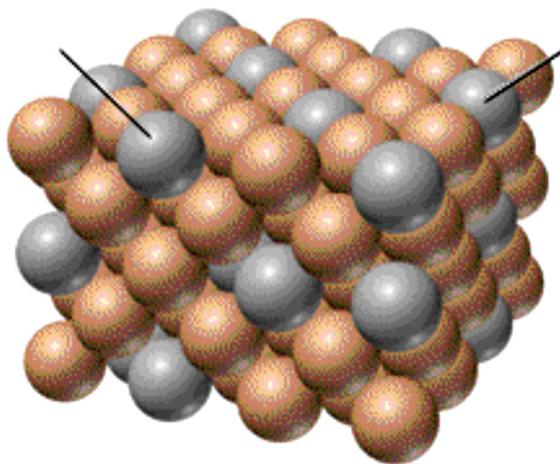


Figura 3 — Estrutura cristalina latão.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 1b.

O diagrama de fases da liga Cu-Zn apresenta regiões representativas das ligas citadas. Na região de 5%Zn até 40%Zn, presentes na região de fase  $\alpha$  e na região de composição de fases  $\alpha$  e  $\beta$ . A fase  $\alpha$  é uma fase CFC, com até 37% de Zn presente em solução sólida no cobre. A fase

$\beta$  é uma fase de estrutura ccc, contendo de 45,5% até 50,5% de Zn em solução sólida no cobre. A fase  $\alpha$ , portanto é mais rígida que a fase  $\beta$ .

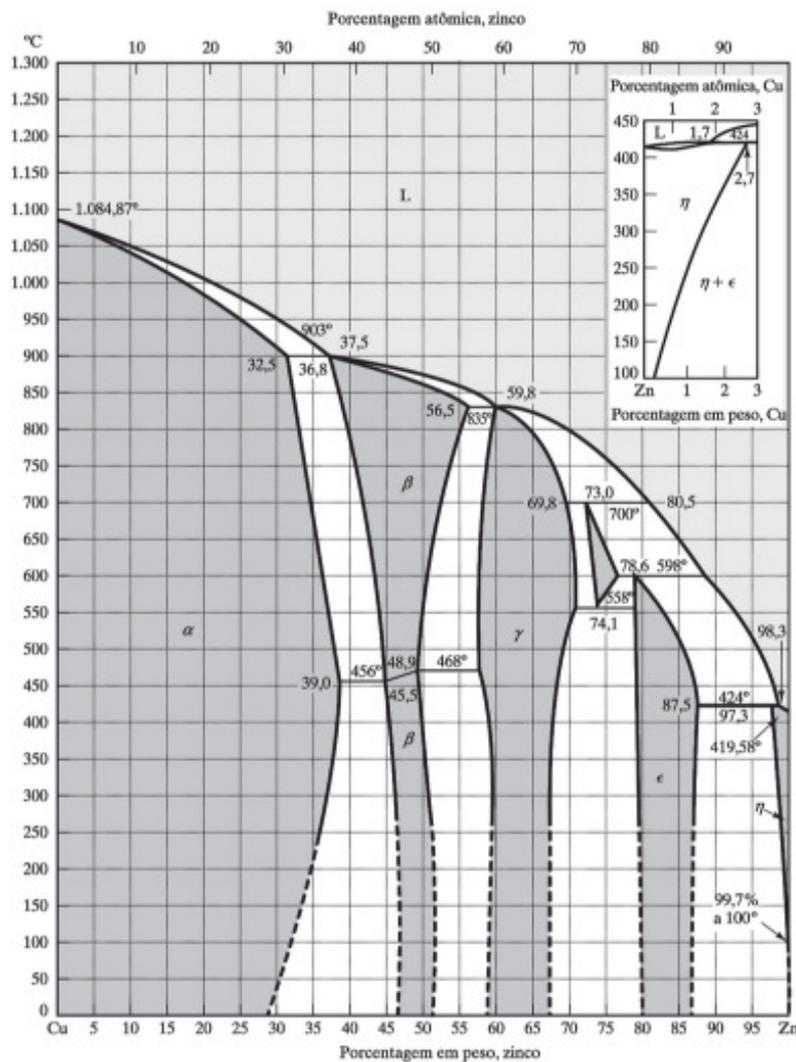


Figura 4 — Diagrama de Fases Cu-Zn.

Na região de composição de  $\alpha$  e  $\beta$ , podemos usar a regra da alavanca para determinar a porcentagem das fases.

$$\alpha = \frac{45,5 - \%Zn}{45,5 - 28,5} \qquad \beta = 1 - \alpha$$

Onde 45,5% e 28,5% são as porcentagens de zinco superior e inferior da região de composição  $\alpha$  e  $\beta$ .

O tratamento térmico de recozimento para latões com teores de Zn até 30% provoca um aumento na resistência a tração, mas também na ductilidade. Também se faz o tratamento mecânico de encruamento, que é o aumento da dureza gerado pela deformação plástica a frio.

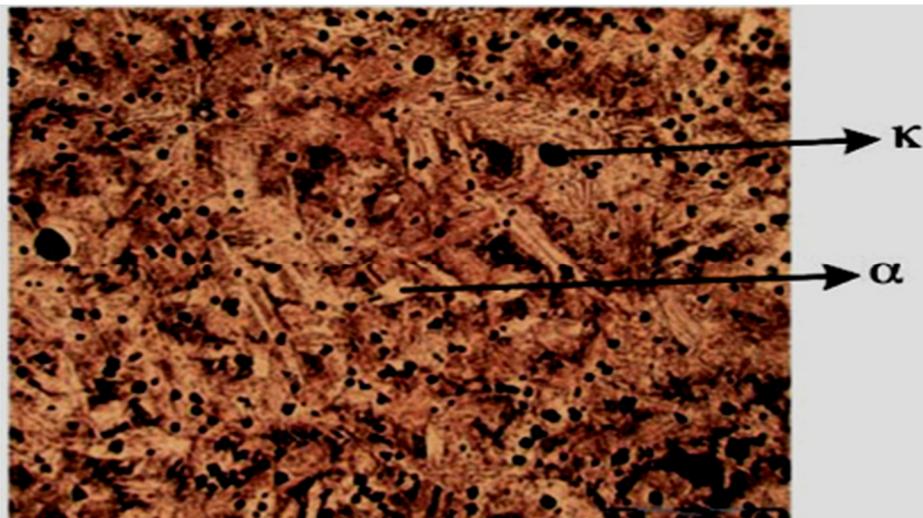


Figura 5 — Metalografia latão após recozimento.

## Liga Cobre-Estanho-Bronze

Bronze é uma liga de cobre e estanho tendo teores de estanho que variam de 2% a 10%. Possui estrutura CFC, devido a matriz de cobre, com estanho sendo introduzido como inclusão substitucional. O estanho interfere nas propriedades do cobre, aumentando sua resistência a corrosão, sua resistência mecânica, dureza, sem alterar a ductilidade, permitindo que a liga seja trabalhada a frio. A classificação ASTM e as propriedades em função da adição de estanho, bem como suas aplicações são tabeladas.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 1c.

O diagrama de fases da liga Cu-Sn apresenta regiões representativas das ligas citadas. Na região de 2%Sn até 10%Sn, presentes na região de fase. A fase  $\alpha$  é uma fase CFC, com até 11% de Sn presente em solução sólida no cobre. Nesta fase pode ser adicionado o Pb para diminuir sua rugosidade superficial, diminuindo efeito de atrito, aumentando suas propriedades lubrificante.

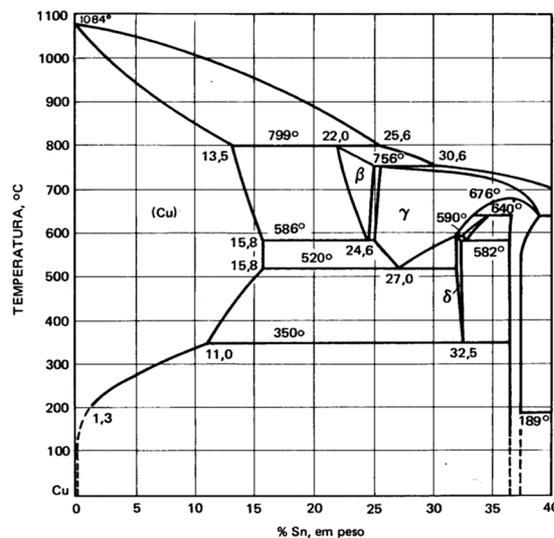


Figura 6 — Diagrama de Fases Cu-Sn.

O tratamento térmico de recozimento para ligas cobre estanho não são viáveis, pois mesmo o endurecimento por precipitação leva a um aumento não significativo em suas propriedades mecânicas. Também não necessita de tratamento de alívio de tensão pois é uma liga bastante maleável.

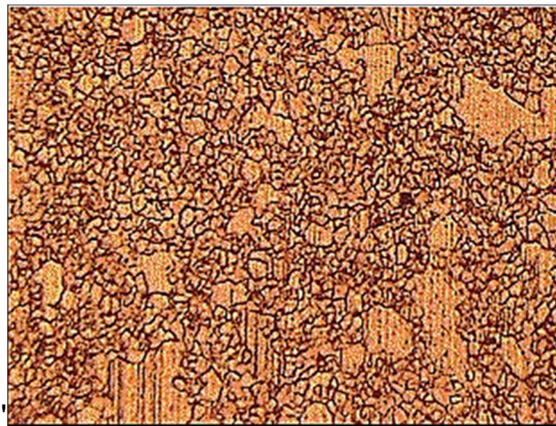


Figura 7 — Metalografia Bronze.

### Liga Cobre-Níquel

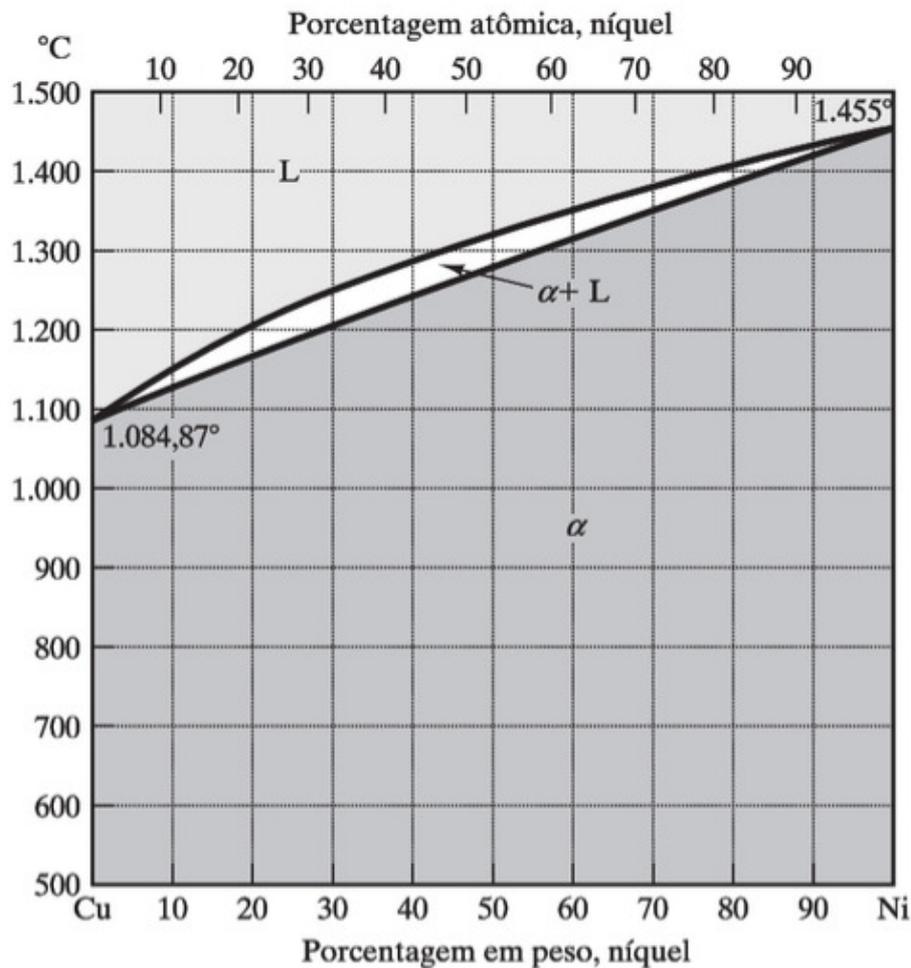
A liga cobre e níquel é uma liga contendo teores de níquel que variam de 5% a 45%. Possui estrutura CFC, devido a matriz de Cu, com Níquel sendo introduzido como inclusão substitucional. O níquel interfere nas propriedades do cobre, aumentando sua resistência a corrosão, principalmente a água do mar, mantendo sua resistividade elétrica mesmo aumentando a temperatura, aumentando sua resistência a tração e seu limite de escoamento, bem como dureza, sem interferir na ductilidade e aumentando o limite de fadiga.

A classificação ASTM e as propriedades em função da adição de níquel, bem como suas aplicações são mostradas em tabelas.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 1d.

O diagrama de fases da liga Cu-Ni apresenta regiões representativas das ligas citadas. Na região de 5%Zn até 45%Ni está presente apenas a fase  $\alpha$ . A fase  $\alpha$  é uma fase CFC, idêntica a da matriz de cobre. Porém terá uma dureza maior, em função da adição de Ni.



O tratamento térmico mais usado em ligas Cobre Níquel é o tratamento de Homogeneização, para dissolver segregação de elementos em determinados locais e promover, por difusão, sua distribuição de modo mais uniforme por todo o material.

Também é feito recozimento com o propósito de amolecer um material encruado como consequência do trabalho mecânico.

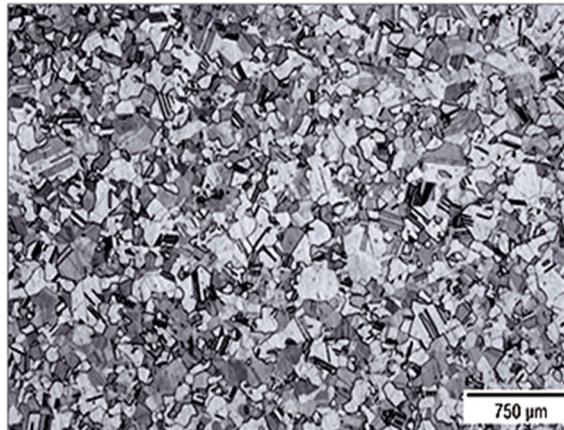


Figura 9 — Metalografia liga Cu-Ni.

Outras ligas de Cobre de uso industrial, suas características e aplicações são apresentadas na tabela em anexo:



Veja o detalhamento desse tema no anexo 1e.

## Ligas de Alumínio

O metal alumínio, pela abundância de seu minério, por apresentar boa condutividade térmica e elétrica, por ser não-magnético e por ter baixo peso específico, é o segundo mais importante metal, ficando apenas atrás do ferro. É usado em várias aplicações de engenharia, principalmente na indústria elétrica e veículos automotivos e de aeronaves. Conforme seus processos de fabricação são classificados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).



Figura 10 — Alumínio.

As ligas de alumínio também podem ser divididas em dois tipos:

- Trabalhadas mecanicamente
- Fundidas

As ligas trabalhadas mecanicamente podem ou não sofrer tratamento térmico. Aquelas que não podem sofrer tratamento térmico são ligas endurecíveis por deformação plástica a frio, ou seja, por encruamento. As ligas tratáveis termicamente normalmente são solubilizadas e endurecidas por precipitação.

## Ligas trabalhadas mecanicamente e que podem sofrer tratamentos térmicos

As ligas de alumínio trabalhadas mecanicamente e que podem sofrer tratamentos térmicos são muito usadas na indústria aeronáutica, principalmente por terem excelente conformabilidade com resistência mecânica semelhante ao dos aços de baixo carbono, porém com um terço de seu peso específico.

As tabelas em anexo mostram as principais ligas ASTM e a influência dos elementos de liga em suas propriedades mecânicas.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 2a.

O melhor exemplo de tratamento térmico de solubilização seguida pelo endurecimento por precipitação, pode ser dado analisando o diagrama de fases da liga 2024, basicamente uma liga Al-Cu. Se aquecer uma liga contendo, por exemplo, 4,5%Cu a uma temperatura de 550°C, irá formar a fase k' que é uma solução sólida de Cu em Al. Resfriando bruscamente em água ou a uma velocidade maior, ao ar, o cobre não consegue precipitar, formando um complexo de  $\text{CuAl}_2$ , que precipitará aumentando a resistência mecânica da liga, mas mantendo sua conformabilidade.

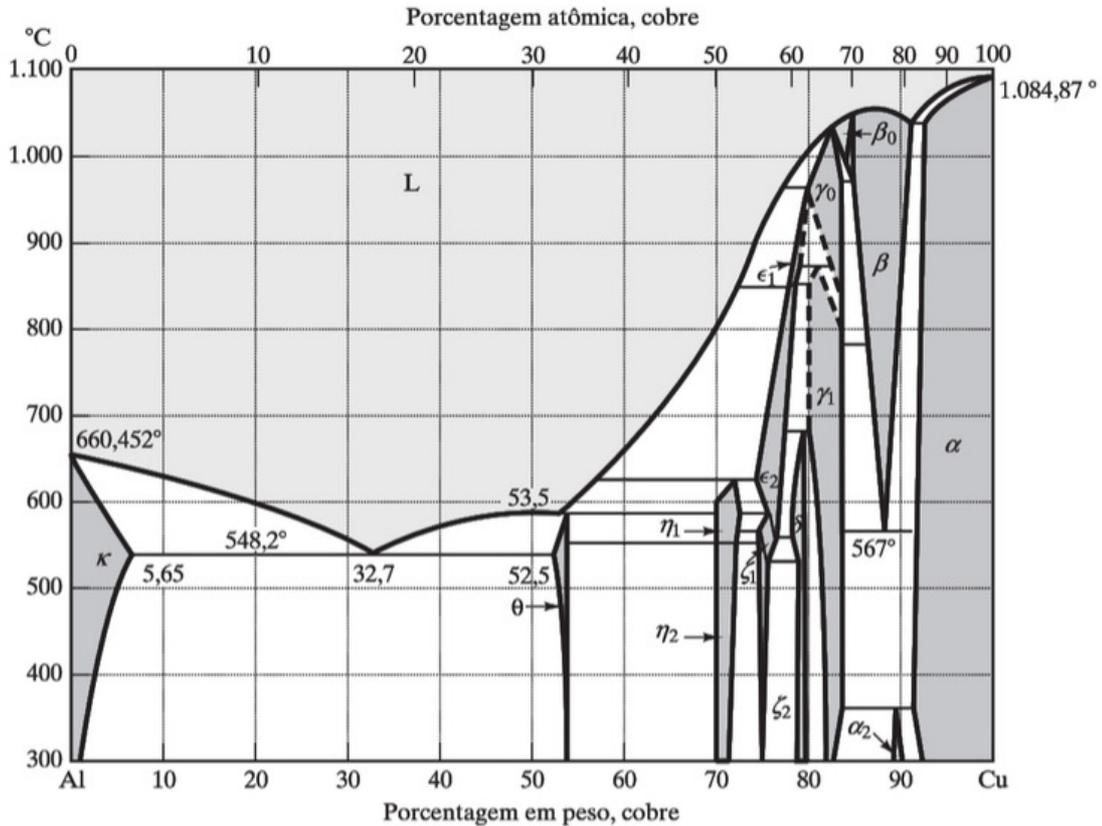


Figura 11 — Diagrama de fases Al-Cu.

### Ligas trabalhadas mecanicamente e que não sofrem tratamento térmico

Estas ligas são endurecíveis por encruamento apresentam fácil conformabilidade e alta ductilidade, o que faz com que não gerem tensões críticas pela deformação dos grãos. Apenas, pela deformação do grão, haverá o endurecimento.

A tabela em anexo apresenta a composição química de ligas de alumínio encruável, e denominação segundo a ABNT.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 2b.

O gráfico ao lado apresenta uma relação entre o encruamento e a variação das propriedades mecânicas. Observe que o encruamento atua diretamente o limite de resistência a tração e inversamente no alongamento.

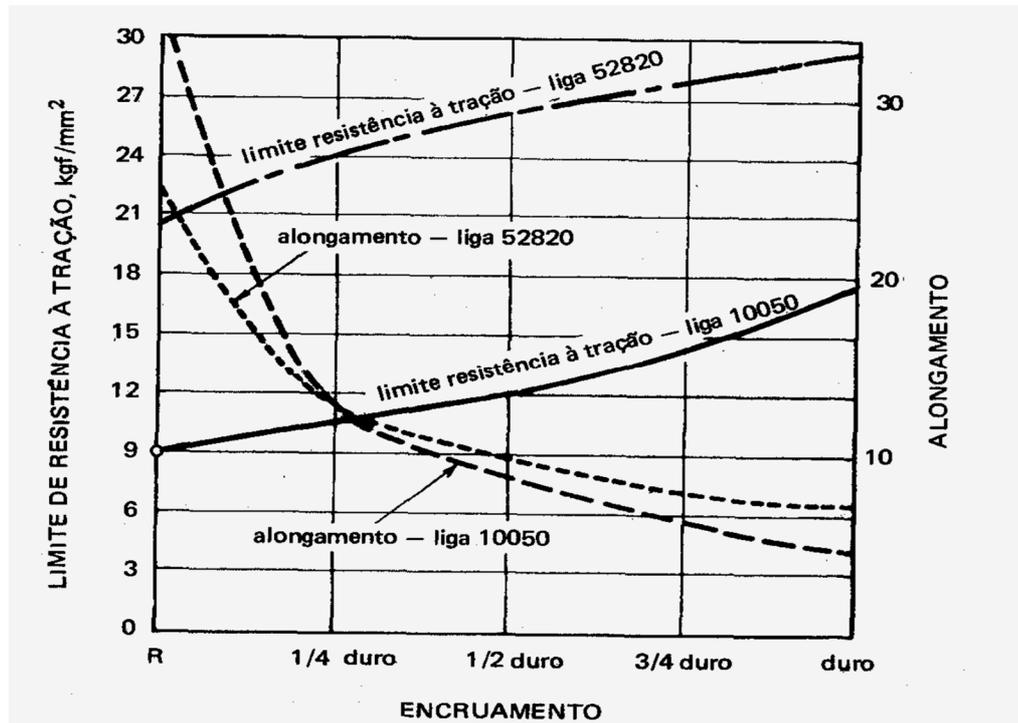


Figura 12 — Gráfico relacionando encruamento com alongamento e limite de resistência a tração.

### Ligas para fundição

A maioria das peças de alumínio são produzidas por fundição em moldes. Os processos de fundição mais comum são em moldes de areia, sob pressão e fundição de precisão.

As ligas de alumínio para fundição são apresentadas na tabela em anexo. Destas ligas, as mais usadas são a Al-Cu, Al-Si, Al-Mg e Al-Sn.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 2c.

A liga alumínio cobre é a mais usada, apresentando boa resistência mecânica e usinabilidade, mas baixa resistência a corrosão, sofrendo corrosão intergranular.

A liga alumínio silício possui elevada dureza e resistência a corrosão, mas é frágil, devido a presença do silício.

A liga alumínio magnésio apresenta a melhor composição de características de resistência mecânica, usinabilidade, resistência a corrosão e tenacidade. Normalmente sofrem o tratamento de anodização, que é um processo eletroquímico de produção de uma camada passivante de óxido na superfície do metal que atua como proteção contra a corrosão.

A liga de alumínio e estanho possui elevado limite de fadiga, sendo empregada principalmente para fabricação de buchas e mancais de veículos automotivos.

## Ligas de Chumbo

O chumbo é um dos metais mais conhecidos e antigos que se tem conhecimento. É dúctil, maleável, de baixo ponto de fusão, sendo cerca de 340°C e de excelente resistência a corrosão e a radioatividade.

Assim, o chumbo e suas ligas tem sido aplicados de diversas formas, como revestimento de cabos de tensão para controle de corrosão, em coletes e placas protetores de radiação por Raios X e Raios  $\gamma$ , mas também como aditivo de petróleo, pigmento de tintas, na indústria do vidro e principalmente para fabricação de mancais.

### Chumbo Refinado

O Chumbo refinado possui pureza de 99,5% a 99,99%, ponto de fusão 327°C, densidade 11,34 g/cm<sup>3</sup> segue a especificação ASTM B 29-55, contendo de 0,01% a 0,05% de impurezas em sua composição, entre elas: Bismuto, Cobre, Ferro, Prata e Antimônio.

É muito utilizado na fabricação de solda branca, para revestimento de cabos de tensão e mais regularmente como contrapeso.



Figura 13 — Lingotes de chumbo refinado.

## Chumbo-Estanho

A liga chumbo-estanho é uma liga contendo de 18% a 50% de estanho, com ponto de fusão em torno de 300°C. As ligas com menor teor de Sn são empregadas em soldas de lâmpadas. As de maior teor são empregadas em soldas para tubos.

No diagrama de fases ao lado se observa a presença das fases  $\alpha$  e  $\beta$ , sendo a fase alfa uma solução sólida de Sn em Pb de estrutura CFC e a fase beta uma solução sólida de Pb em Sn de estrutura tetragonal, com FE menor.

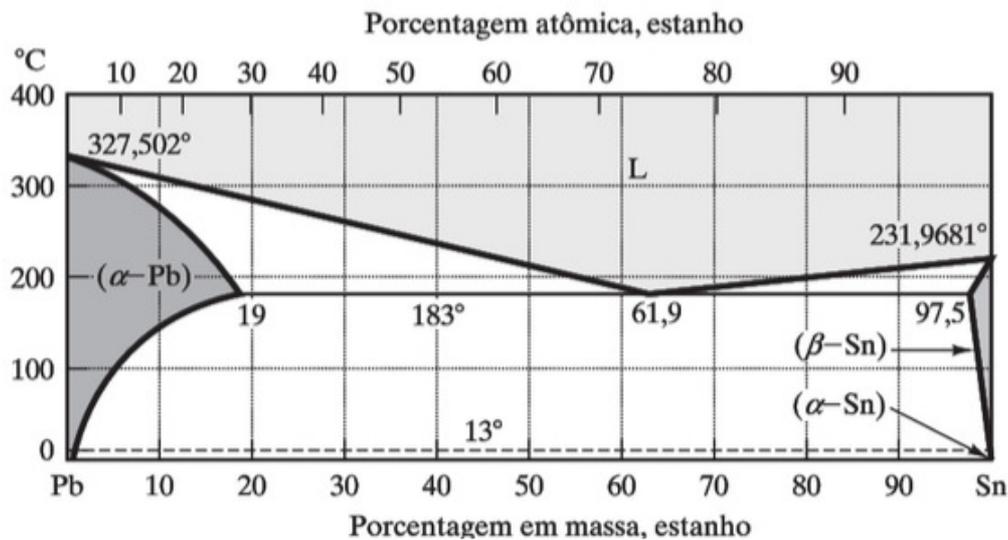


Figura 14 — Diagrama de fases Pb-Sn.

### **Chumbo-Telúrio**

A liga chumbo telúrio é a única liga de chumbo que pode ser encruada, sendo usada para chapas e tubulações. Contém de 0,05%Te a 0,10%Te, podendo conter também cobre. O encruamento permite um aumento na resistência mecânica, e nos limites de resistência a tração e a fadiga.

### **Chumbo-Prata-Cobre**

A liga Pb-Ag-Cu é bastante usada para confecção de tubulações com água pressurizada. A adição mesmo que em quantidades muito pequenas de Ag e de Cu é responsável por um aumento na resistência mecânica que permite este uso. Contém de 0,003%Ag a 0,005%Ag e também de 0,003%Cu a 0,005%Cu.

### **Chumbo-Antimônio**

A liga Pb-Sb é empregada para revestimento de cubas galvânicas, sendo também usada para tubulações e vasos de produtos químicos, por sua alta resistência à corrosão. Contém de 6%Sb a 12,5%Sb.

### **Chumbo para fabricação de mancais (Metais Babbitt)**

Os Metais Babbitt são chamados assim como referência a Isaac Babbitt (inventor norte-americano), que inventou a primeira liga deste tipo em 1839, visando sua aplicação em mancais de eixos de máquinas a vapor. São ligas de chumbo contendo antimônio, estanho, cobre e arsênio, que permitem ter boas propriedades mecânicas mesmo em temperaturas mais elevadas. A tabela em anexo mostra as nomenclaturas SAE destas ligas, sendo que a mais usada para a indústria automotiva é a SAE 15.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 3.

## Ligas de Estanho

O estanho é um metal de estrutura tetragonal. O estanho (Sn) também possui duas formas alotrópicas. No estanho branco ou estanho beta a ligação de formação é mista contendo metálica e covalente e a estrutura cristalina é tetragonal de corpo centrado, com dois átomos por ponto da rede. A outra forma é o estanho cinza ou estanho alfa.

O estanho alfa possui estrutura cristalina cúbica e é um semicondutor. É bastante dúctil e maleável, com ponto de fusão abaixo de 240°C, excelente resistência a corrosão e boa soldabilidade. Porém, apresenta baixa resistência mecânica. É usado na forma de folhas, chapas e fios, constituindo também a base de muitas ligas, desde o bronze até ligas para soldas e mancais.

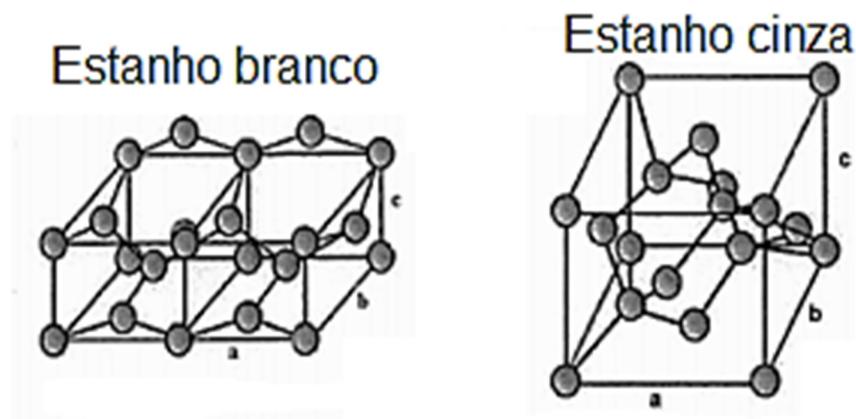


Figura 15 — Estruturas cristalinas do Sn.

## Estanho Refinado

Conforme especificação da ABNT EB-173, pode ter pureza de 99%Sn a 99,95%Sn, sendo este último chamado estanho eletrolítico. Sua principal aplicação está na estanhação, por eletrodeposição, em lâminas de aço, gerando as folhas de flandres, usadas em latas de bebidas ou de alimentos, devido à alta resistência a corrosão principalmente microbiológica. Também é usado em dispositivos de segurança contra incêndio, pelo seu baixo ponto de fusão.



Figura 16 — Aplicação folha de flandres.

## Estanho-Chumbo

A liga estanho-chumbo, contém de 35%Pb a 40%Pb. É usada para soldas de componentes que necessitam de solda viscosa e fluida, como componentes de equipamentos elétricos e eletrônicos. Nessa faixa contém as mesmas fases já comentadas na liga Pb-Sn. Só que neste caso prevalecerá a fase beta, mais maleável que a fase alfa.

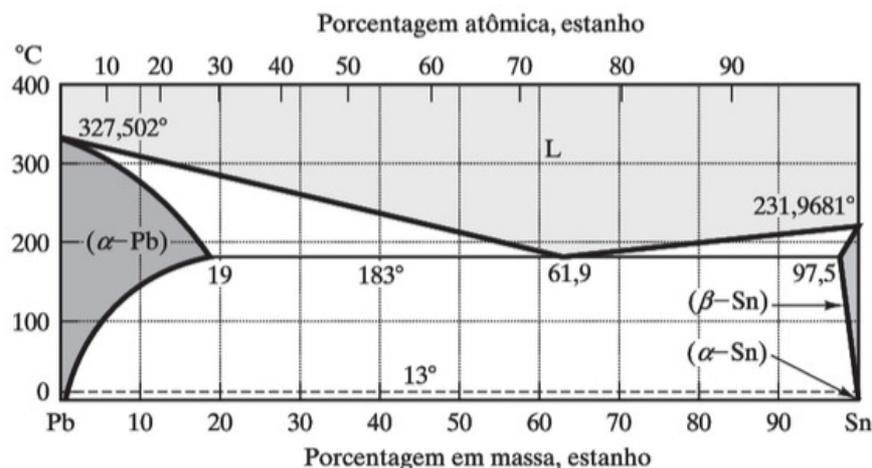


Figura 17 — Diagrama de fases Sn-Pb.

## **Estanho para fabricação de mancais (Metais Babbitt)**

São ligas de estanho usadas para a fabricação de mancais, contendo cobre, estanho, antimônio e chumbo, que permitem ter boas propriedades mecânicas mesmo em temperaturas mais elevadas. A tabela em anexo mostra as nomenclaturas ASTM e SAE destas ligas, sendo que as mais usadas na indústria automotiva são a SAE 12 e a ASTM 2.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 4.

## Ligas de Zinco

O zinco é um metal de estrutura hexagonal compacta. Possui ponto de fusão próximo a 420°C e boa resistência a corrosão. É muito maleável, podendo ser laminado em chapas ou estirado em fios por extrusão. É usado principalmente como proteção anticorrosiva, seja pela deposição eletroquímica em chapas e componentes de máquinas, seja como primer em pintura protetiva contra a corrosão e em cataforese de veículos automotivos. Também é usado como elemento de liga nos latões, ligas para fundição sob pressão e como pigmento na indústria de tintas.



Figura 18 — Cataforese.

## Zinco Refinado

Conforme especificação da ABNT P-EB-302, deve possuir pureza de 98%Zn a 99,95%Zn, tendo como impurezas o chumbo, o cádmio e o ferro. Sua principal aplicação está como elemento de proteção contra a corrosão de instalações industriais, torres de transmissão e navios pela técnica de proteção catódica por ânodo de sacrifício, onde placas deste zinco são colocadas em contato com superfícies que se quer proteger, pois ele sofrerá oxidação preferencial, preservando as superfícies. Também pode ser eletrodepositado na superfície de chapas, pelo que se chama de processo de zincagem.

A liga zinco-cobre contém duas fases intermediárias,  $\gamma$  e  $\epsilon$ , sendo que a fase  $\gamma$  é uma fase de estrutura cúbica de face centrada de  $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ , que é a fase mais dura e mais frágil da liga. A fase  $\epsilon$  é uma fase de estrutura CCC mais maleável. Estas fases ficam entre 59,8%Zn a 87,5%Zn no diagrama de fases ZnCu.

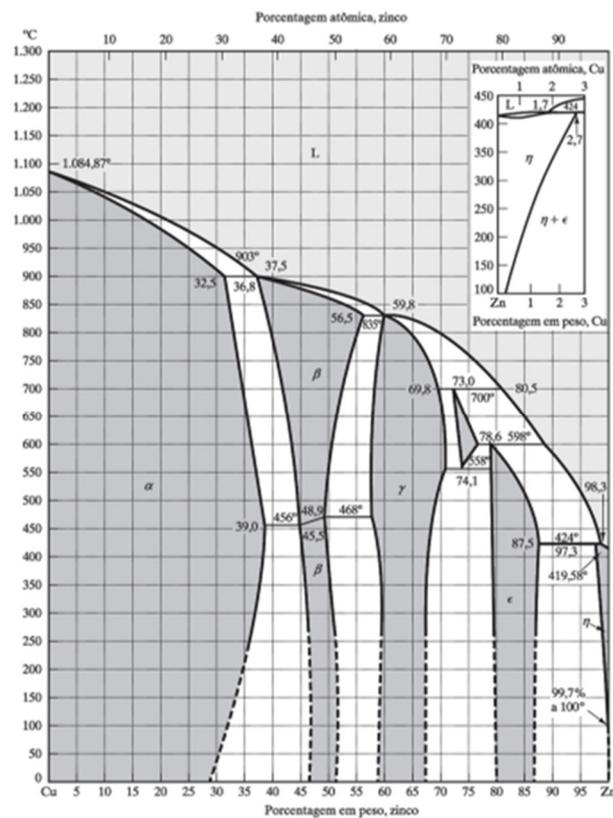


Figura 19 — Diagrama de Fases Cu-Zn.

## Zinco-Alumínio-Cobre

Ligas de zinco, alumínio e cobre, são conhecidas como ZAMAC, e são ligas para fundição sob pressão. Podem conter também magnésio. Estas ligas possuem ponto de fusão em torno de 385°C, boas propriedades mecânicas, boa usinabilidade. Podem ser niquelados e cromados, bem como permitem boa aderência de pinturas e vernizes em sua superfície.

As tabelas em anexo apresentam as principais ligas ZAMAC segundo a norma ABNT P-CB-10, das quais as mais usadas são ZAMAC 3 e ZAMAC 5. Estas ligas são usadas para fundir sob pressão componentes de automóveis, como grades de radiadores, maçanetas, fechaduras, bombas de combustível, tampas dos tanques de abastecimento e componentes internos. Também são usadas nas linhas brancas, em liquidificadores, ventiladores, refrigeradores, aspiradores e televisores. Além disso são usados em coberturas de motores, componentes de equipamentos elétricos e caixas terminais. São também usados em ferragens para construção civil.



Veja o detalhamento desse tema no anexo 5.

## Na Prática

Veja a seguir algumas aplicações práticas do que foi visto nessa aula de hoje:

- 1) Determinação da composição de fases para a liga Cu-Zn (Latão).

Por exemplo, uma liga de latão com 35%Zn terá:

$$\alpha = \frac{45,5-35}{45,5-28,5} \quad \alpha = 0,62 \quad \beta=0,38$$

- 2) Pela regra da alavanca podemos ainda verificar quanto fica como solução sólida cobre em alumínio e quanto fica como  $\text{CuAl}_2$ , para uma liga contendo 4,5%Cu:

$$k' = \frac{53,5-4,5}{53,5-0,10} = 0,92 \quad \theta=1-0,92=0,08$$

Assim, terá 92% de  $k'$  e 8% de  $\theta$ .

- 3) Aplicando a regra da alavanca, podemos observar as seguintes composições de fases, para 18% de Sn e para 50%Sn em Pb:

18%Sn:

$$\alpha = \frac{97,5-18}{97,5-0,5} = 0,82 \quad \beta = 1 - \alpha = 0,18$$

50%Sn:

$$\alpha = \frac{97,5-50}{97,5-0,5} = 0,49 \quad \beta = 1 - \alpha = 0,52$$

- 4) Aplicando a regra da alavanca, podemos observar as seguintes composições de fases, para 60% de Sn e para 65%Sn:

60%Sn:

$$\alpha = \frac{97,5-60}{97,5-0,5} = 0,38 \quad \beta = 1 - \alpha = 0,62$$

50%Sn:

$$\alpha = \frac{97,5-65}{97,5-0,5} = 0,33 \quad \beta = 1 - \alpha = 0,67$$

- 5) Aplicando a regra da alavanca para a região entre 69,8%Zn e 78,6%Zn, podemos definir a composição destas fases na liga, como segue:

Para 70%Zn:

$$\gamma = \frac{78,6-70}{78,6-69,8} = 0,98 \quad \epsilon = 1 - \gamma = 0,02$$

Para 77%Zn:

$$\gamma = \frac{78,6-77}{78,6-69,8} = 0,18 \quad \epsilon = 1 - \gamma = 0,82$$

## Síntese

Após esta aula você já conhece assuntos relacionados às ligas não ferrosas, tanto estruturais quanto relacionadas às suas propriedades, aplicações e tratamentos superficiais para uso profissional. Agora aproveite para expandir seus conhecimentos lendo detalhadamente a rota de aprendizagem 2 e pesquisando na internet assuntos relacionados ao tema.

## ANEXO 1a

<b>Classificação</b>	<b>Processo de Obtenção</b>	<b>Composição Química</b>
Cu OF (Cobre isento de oxigênio)	Obtido eletroliticamente de modo a não ter nem óxido cuproso e nem resíduos desoxidantes	99,95 a 99,99%Cu e restante de Ag
Cu ETP (Cobre eletrolítico tenaz)	Fundido a partir de cobre eletrolítico	99,9%Cu e máx 0,1%Ag
Cu FRHC (Cobre refinado ao fogo de alta condutibilidade)	Refinado ao fogo	99,9%Cu e máx 0,1%Ag
Cu FRTP (Cobre refinado ao fogo tenaz)	Fundido a partir do FRHC	99,8 a 99,85%Cu e máx 0,1%Ag
Cu DLP (Cobre desoxidado de baixo teor de fósforo)	Obtido por vazamento em molde com adição de fósforo, evitando a presença de óxido cuproso pela desoxidação com fósforo	99,9% Cu, 0,004 a 0,012%P e restante de Ag
Cu DHP (Cobre desoxidado com elevado teor de fósforo)	Obtido como o DLP, porém com maior adição de fósforo	99,8 a 99,9%Cu, 0,015 a 0,040%P e restante de Ag
Cu CAST (Cobre refundido, usado para fabricação de ligas)	Fundido a partir de cobre usado	GRAU A – 99,75%Cu, máx 0,1%Ag GRAU B – 99,5%Cu, máx 0,1%Ag

Tabela 1 — Classificação ABNT do Cobre.

Suas ligas são classificadas pela ASTM em função de suas composições químicas.

No caso podemos fazer uma divisão entre ligas para trabalho mecânico e ligas para fundição.

Ao lado temos a classificação ASTM para ligas de cobre usadas para trabalhos mecânicos.

Coppers (99.3% Cu min.)		Chemical composition (%)						
UNS No.	Description	Cu min.	Others					
C11000	Electrolytic tough pitch (ETP)	99.9						
C12200	Phosphorus deoxidized (DHP)	99.9	0.015–0.04 P					
C15000	Zirconium copper	99.8	0.10–0.2 Zr					
High-copper alloys (96% Cu min.)		Cu	Others					
C16200	Cadmium copper	Rem.	0.5–1.2 Cd					
C17000	Beryllium copper	Rem.	0.2 Si, 1.6–1.79 Be, 0.2 Al					
C17200	Beryllium copper	Rem.	0.2 Si, 1.8–2 Be, 0.2 Al					
C17500	Beryllium copper	Rem.	0.1 Fe, 2.4–2.7 Co, 0.2 Si, 0.4–0.7 Be, 0.2 Al					
C18000	High-strength copper	96.4	2.5 Ni, 0.7 Si, 0.4 Cr					
C18200	Chromium copper	99.8 Min.	0.6–1.0 Cr, 0.1 Fe, 0.1 Si, 0.05 Pb					
Copper–zinc alloys (brasses)		Cu	Pb	Fe	Zn	P	Others	
C23000	Red brass (85%)	84–86	0.05	0.05	Rem.			
C26000	Cartridge brass 70%	68.5–71.5	0.07	0.05	Rem.	0.02–0.05		
C27000	Yellow brass 65%	63–68.5	0.1	0.07	Rem.			
C28000	Muntz betal	59–63	0.3	0.07	Rem.			
C32000	Leaded red brass	83.5–86.5	1.5–2.2	0.1	Rem.		0.25 Ni	
C36000	Free cutting brass	60–63	2.5–3.7	0.35	Rem.			
C37000	Free cutting muntz metal	59–62	0.8–1.5	0.15	Rem.			
C38500	Architectural bronze	55–59	2.5–3.5	0.35	Rem.			
C44300	Admiralty, arsenical	70–73	0.07	0.06	Rem.		0.8–1.2 Sn, 0.02–0.06 As	
C46500	Naval brass, arsenical	59–62	0.2	0.1	Rem.		0.5–1.0 Sn, 0.02–0.06 As	
C48500	Naval brass, leaded	59–62	1.3–2.2	0.1	Rem.		0.5–1 Sn	
C66700	Manganese brass	68.5–71.5	0.07	0.1	Rem.		0.5–1.5 Mn	
C69400	Silicon red brass	80–83	0.3	0.2	Rem.		3.5–4.5 Si	
Bronzes		Cu	Pb	Fe	Sn	Zn	P	Others
C50500	Phosphor bronze 1.25%	Rem.	0.05	0.05	1–1.7	0.3	0.03–0.35	
C51000	Phosphor bronze 5%	Rem.	0.05	0.10	4.2–5.8	0.3	0.03–0.35	
C52400	Phosphor bronze 10%	Rem.	0.05	0.10	9–11	0.2	0.03–0.35	
C54400	Leaded phosphor bronze	Rem.	3.5–4.5	0.10	3.5–4.5	1.5–4.5	0.01–0.50	
C60800	Aluminum bronze 5%	Rem.	0.1	0.10				5–6.5 Al, 0.02–0.35 As
C61400	Aluminum bronze D	Rem.	0.01	1.5–3.5		0.2	0.015	6–8 Al, 1 Mn
C65100	Low-Silicon bronze B	Rem.	0.05	0.1	1.2–1.6	0.2		0.1 Al, 0.8/2.0 Si
C65500	High-Silicon bronze A	Rem.	0.05	0.8		1.5		0.5/1.3 Mn, 2.8/3.8 Si
Copper–nickel alloys		Cu	Pb	Fe	Zn	Ni	Mn	Others
C70600	Copper nickel 10%	Rem.	0.05	1–1.8	1.0	9–11	1.0	
C71000	Copper nickel 20%	Rem.	0.05	1.0	1.0	19–23	1.0	
C71600	Copper nickel 30%	Rem.	0.05	0.5	0.05	29–33	1.0	
Copper–nickel–zinc alloys		Cu	Pb	Fe	Zn	Ni	Mn	Others
C74500	Nickel silver 65-10	63.5–66.5	0.1	0.25	Rem.	9–11	0.5	
C75200	Nickel silver 65-18	63.5–66.5	0.05	0.25	Rem.	16.5–19.5	0.5	
C77000	Nickel silver 55-18	53.5–56.5	0.05	0.25	Rem.	16.5–19.5	0.05–0.35	

Tabela 2 — Classificação ASTM de Ligas de Cobre para Trabalho Mecânico.

Ao lado temos a classificação ASTM para ligas de cobre para fundição.

A seguir abordaremos as ligas de cobre de maior importância.

Coppers (99.3% Cu min.)		Chemical composition (%)											
UNS no.	Description	Cu Min.	Others										
C80100	Pure copper	99.95											
High-copper alloys (94% Cu min)		Cu min.	Ag	Be	Co	Si	Ni	Fe	Al	Sn	Pb	Zn	Cr
C81500	Beryllium copper	95		0.45–0.8	2.4–2.7	0.15	0.2	0.1	0.1	0.1	0.02	0.1	0.1
C82000	Chromium copper	98				0.15		0.1	0.1	0.1	0.02	0.1	0.4/1.5
C82500	Beryllium copper	95.5		1.9–2.15	0.35–.7	0.2/0.35	0.2	0.25	0.15	0.1	0.02	0.1	0.1
Copper–zinc alloys (brasses)		Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Ni	P	Al	Si	Other		
C83300	Low-zinc brass	92–94	1–2	1–2	2–6								
C83600	Red brass 5-5-5	84–86	4–6	4–6	4–6	0.3	1	0.05	0.005	0.005	0.25	Sb, 0.08	S
C84500	Semi-red brass	77–79	2–4	6–7.5	10–14	0.4	1	0.02	0.005	0.005	0.25	Sb, 0.08	S
C85200	Leaded yellow brass	70–74	0.7–2	1.5–3.8	20–27	0.6	1	0.02	0.005	0.05	0.2	Sb, 0.05	S
C85500	Yellow brass	59–63	0.2	0.2	Rem.	0.2	0.2			0.05	0.2	Mm	
C85700	Leaded yellow brass	58–64	0.5–1.5	0.8–1.5	32–40	0.7	1		0.8				
C86300	Manganese brass	60–66	0.2	0.2	22–28	2–4	1		5–7.5		2.5–5	Mn	
C87500	Silicon brass	79 min.		0.5	12–16				0.5	3–5			
Bronzes		Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Sb	Ni	S	P	Al	Si	Mn
C86100	Manganese bronze	66–68	0.2	0.2	Rem.	2–4					4.5–5.5		1.5–5
C86700	Leaded manganese bronze	55–60	1.5	0.5–1.5	30–38	1–3		1			1–3		1–3.5
C87300	Silicon bronze	94 min.		0.2	0.25	0.2						3.5–4.5	0.8–1.5
C90200	Tin bronze	91–94	6–8	0.3	0.5	0.2	0.2	0.5	0.05	0.05	0.005	0.005	
C90300	Tin/zinc bronze	86–89	7.5–9	0.3	3–5	0.2	0.2	1.0	0.05	0.05	0.005	0.005	
C92410	Leaded tin bronze	Rem.	6–8	2.5–3.5	1.5–3	0.2	0.25	2.0			0.005	0.005	
C94300	High-lead tin bronze	68.5–73.5	4.5–6	22–25	0.8	0.15	0.8	1.0	1.0	0.08	0.005	0.005	
C94800	Nickel–tin bronze	84–89	4.5–6	0.3–1	1–2.5	0.25	0.15	4.5–6	0.05	0.05	0.005		0.2
C95200	Aluminum bronze	86 min.				2.5–4					8.5–9.5		
C95500	Nickel–aluminum bronze	78 min.				3–5		3–5.5			10–11.5		3.5
Copper–nickel alloys		Cu	Pb	Fe	Ni	Mn	Si	Nb	C				
C96200	Cupronickel 10%	84.5–87	0.03	1–1.8	9–11	1.5	3	1	0.1				
C96300	Cupronickel 20%	Rem.	0.03	0.4–1	18–22	1.0	0.7	1					
C96400	Cupronickel 30%	65–69	0.03	2.5–1.5	28–32	1.5	0.5	0.5–1.5	0.15				
Leaded coppers		Cu	Sn	Pb	Fe	Ag							
C98200	Leaded copper	73–79	0.5	21–27	0.35								
C98600	Leaded copper	60–70	0.5	30–40	0.35	1.5							
Copper–nickel–zinc alloys		Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Sb	Ni	S	P	Al	Mn	Si
C97300	Nickel silver (high lead)	53–58	1.5–3	8–11	17–25	1.5	0.35	11–14	0.08	0.05	0.005	0.5	0.15
C97400	Nickel silver	58–61	2.5–3.5	4.5–5.5	Rem.	1.5		15.5–17				0.5	
C97800	Nickel silver (low lead)	64–67	4.5–5.5	1–2.5	1–4	1.5	0.2	24–27	0.08	0.05	0.005	1	0.15

Tabela 3 — Classificação ASTM de Ligas de Cobre para Fundição.

# ANEXO 1b

## LATÕES ESPECIAIS

N. ASTM	Designação	Sigla	Composição %	Propriedades mecânicas			
				Limite de resistência à tração kgf/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento kgf/mm <sup>2</sup>	Alongamento %	Dureza Brinell
210	Cobre-zinco 95-5	CuZn5	Cu-94,0-96,0 Zn-restante	27-55	10-38	45-3	65-120
220	Cobre-zinco 90-10	CuZn10	Cu-89,0/91,0 Zn-restante	27-57	9-42	50-4	55-125
230	Cobre-zinco 85-15	CuZn15	Cu-84,0/86,0 Zn-restante	31-60	10-42	50-4	60-135
240	Cobre-zinco 80-20	CuZn20	Cu-78,5/81,5 Zn-restante	31-64	12-48	52-3	65-155
260	Cobre-zinco 70-30	CuZn30	Cu-68,5/71,5 Zn-restante	33-85	12-54	62-3	65-160
268 270 e	Cobre-zinco 67-33	CuZn33	Cu-65,5/68,5 Zn-restante	34-86	13-55	60-3	65-165
272 274 e	Cobre-zinco 63-37	CuZn37	Cu-62,0/65,5 Zn-restante	34-86	13-55	56-5	65-165
280	Cobre-zinco 60-40	CuZn40	Cu-59,0/62,0 Zn-restante	38-60	16-45	40-4	85-145

Tabela 1 — Classificação ASTM de Ligas de Cobre em função do teor de zinco.

<b>Classificação</b>	<b>Aplicações</b>
ASTM 210 CuZn5	Devido à alta conformabilidade a frio e cor dourada, é usado para cunhar medalhas, placas e moedas, podendo ser usado para cunhar cartuchos de balas.
ASTM 220 CuZn10	É o bronze comercial, com características bastante semelhantes ao CuZn5, sendo usado para condutos, peças e objetos ornamentais.
ASTM230 CuZn15	É o latão vermelho, sendo usado para cunhar moedas, mas também condutos e cartuchos de balas.
ASTM 240 CuZn20	É o latão comum, tendo os mesmos usos do CuZn15.
ASTM 260 CuZn30	Possui excelentes características para estampagem, sendo o mais usado para cartuchos, com uso também para tubos e suportes para radiadores de carros, pinos, rebites, tubos de trocadores de calor e roscas para lâmpadas.

<b>Classificação</b>	<b>Aplicações</b>
ASTM 268 e 270 CuZn33	Possuem as mesmas aplicações do CuZn30, embora com menos ductilidade
ASTM272 e 274 CuZn37	Permite estampagem leve, sendo usado como componente de lâmpadas e chaves elétricas, rebites, pinos, parafusos e componentes de radiadores.
ASTM 280 CuZn40	É o metal Muntz, sendo usado como placas, barras e perfis, também como componentes forjados para indústria mecânica, naval e química, sendo também usado para tubos de condensadores e trocadores de calor.

Tabela 2 — Classificação ASTM de Ligas de Cobre em função do teor de zinco.

# ANEXO 1c

## PRINCIPAIS TIPOS DE BRONZE

N. ASTM	Designação	Sigla	Composição %	Propriedades mecânicas			
				Limite de resistência à tração kgf/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento kgf/mm <sup>2</sup>	Alongamento %	Dureza Brinell
505	Cobre-estanho 98-2	CuSn2	Sn-1,0/2,5 P-0,02/0,30 Cu-restante	28-65	11-50	45-2	60-150
511	Cobre-estanho 96-4	CuSn4	Sn-3,0/4,5 P-0,02/0,40 Cu-restante	33-90	13-58	50-2	70-195
510	Cobre-estanho 95-5	CuSn5	Sn-4,4/5,5 P-0,02/0,40 Cu-restante	35-95	13-62	55-2	75-205
519	Cobre-estanho 94-6	CuSn6	Sn-5,5/7,5 P-0,02/0,40 Cu-restante	37-100	15-76	60-2	80-225
521	Cobre-estanho 92-8	CuSn8	Sn-7,5/9,0 P-0,02/0,40 Cu-restante	42-105	17-82	65-2	85-240
524	Cobre-estanho 90-10	CuSn10	Sn-9,0/11,0 P-0,02/0,04 Cu-restante	44-100	19-85	65-3	95-245

Tabela 1 — Classificação ASTM de Ligas de Cobre em função do teor de estanho.

<b>Classificação</b>	<b>Aplicações</b>
ASTM 505 CuSn2	Devido a boa condutibilidade elétrica e maior resistência mecânica que o cobre, é empregado em contatos e componentes de telecomunicações. Também, devido a sua condutibilidade térmica, é usado em varetas para soldagem. Suas propriedades mecânicas permitem que seja usado na fabricação de rebites.
ASTM 511 CuSn4	É usado em componentes de interruptores, tomadas, contatos, podendo também ser usado para fabricação de rebites e porcas.
ASTM 510 CuSn5	É usado para tubos, equipamentos e conexões usados na indústria de papel, indústria têxtil e indústria química. Também é usado em varetas e eletrodos de soldagem.

<b>Classificação</b>	<b>Aplicações</b>
ASTM 519 CuSn6	É usado para tubos, equipamentos e conexões usados na indústria de papel, indústria têxtil e indústria química, porém em condições que exijam maior resistência ao desgaste e a fadiga.
ASTM 521 CuSn8	É usado na fabricação de chapas, tubos e fios que sejam usados em condições que exijam maior resistência ao desgaste e a fadiga, além de maior resistência a corrosão.
ASTM 524 CuSn10	É o bronze mais usado pelo homem, por possuir excelentes propriedades mecânicas e de resistência a corrosão, sendo, por exemplo, usado em buchas e molas para carretas.

Tabela 2 — Aplicação de Ligas de Cobre e estanho.

## ANEXO 1d

ASTM	Composição	Propriedades Mecânicas			
		Limite de Resistência a Tração (kgf/mm <sup>2</sup> )	Limite de fadiga (kgf/mm <sup>2</sup> )	Alongamento (%)	Dureza (HB)
704	94%Cu, 5%Ni, 1,25%Fe, 0,5%Mn	28 a 32	9,5 a 19	10 a 45	60 a 100
706	84%Cu, 10%Ni, 1,25%Fe, 0,5%Mn	32 a 42	9,5 a 15	12 a 38	65 a 120
710	78,3%Cu, 20%Ni, 0,7%Fe, 1%Mn	34 a 47	12 a 23,5	14 a 40	80 a 130
715	68,7%Cu, 30%Ni, 0,3%Fe, 1%Mn.	36 a 52	14 a 24,5	16 a 42	85 a 145
720	54,7%Cu, 45%Ni, 0,3%Fe, 1%Mn.	48 a 70	29	5 a 45	95 a 165

Tabela 1 — Classificação ASTM e Propriedades Mecânicas de Ligas de Cobre e Níquel em função do teor de níquel.

Classificação	Aplicações
ASTM 704	Devido a alta resistência a corrosão pela água do mar, é muito usado na indústria naval, principalmente para tubulações e conexões de instalações sanitárias e circuitos de refrigeração de navios.
ASTM 706	Aplicado em tubos e placas de condensadores, evaporadores e aquecedores, sendo também usados para cabos e tubulações em linhas hidráulicas e pneumáticas.
ASTM 710	Aplicado na construção de resistores, de aquecedores de água doméstica, para cunhar moedas e medalhas e para recipientes que sofram estampagem profunda e sejam resistentes a corrosão.
ASTM 715	Usado na indústria naval e química, em placas e tubos para condensadores, evaporadores e aquecedores de água industriais.
ASTM 720	Recebe o nome de constantan e é usado em sistemas controle de temperatura e de aquecimento.

Tabela 2 — Uso de Ligas de Cobre e Níquel.

## ANEXO 1e

Ligas	Características	Propriedades	Aplicações
Cu-Ni-Zn	Conhecidas como alpacas, possuem de 45 a 70%Cu, 10% a 30%Ni e 20% a 25%Zn, possuem cor esbranquiçada, tendem a serem mais brilhantes com a adição de Ni. São extremamente resistentes a corrosão.	Limite de escoamento entre 18 e 63kgf/mm <sup>2</sup> ; Limite de resistência a tração entre 41 e 73 kgf/mm <sup>2</sup> ; Alongamento de 15% a 20%; Dureza HB de 40 a 78.	Objetos de cutelaria, componentes elétricos e telefônicos e equipamentos óticos e fotográficos.
Cu-Al	Possuem de 5% a 10%Al, podendo conter Ni, Fe e Mn. É a liga de cobre de maior resistência mecânica, podendo ser temperada e revenida.	Limite de escoamento entre 42 e 50kgf/mm <sup>2</sup> ; Limite de resistência a tração entre 75 e 80kgf/mm <sup>2</sup> ; Alongamento de 12% a 15%; Dureza HB de 180 a 215.	São usados na produção de autoclaves, instalações criogênicas, indústria de papel, componentes de torres de resfriamento, tubos para usar no mar, ferramentas para conformação de plásticos.

<b>Ligas</b>	<b>Características</b>	<b>Propriedades</b>	<b>Aplicações</b>
Cu-Be	São ligas contendo de 1,7% a 1,9% Be, podendo conter Ni, Fe e Co. Podem ser tratadas termicamente por endurecimento por precipitação. Podem ser conformadas a frio depois de solubilizadas. A mais usada é a ASTM 172.	Limite de escoamento entre 109 e 137kgf/mm <sup>2</sup> ; Limite de resistência a tração entre 123 e 149kgf/mm <sup>2</sup> ; Alongamento de 1% a 6%; Dureza HB de 38 a 41.	São usados em componentes de máquinas de soldagem por arco elétrico, componentes eletrônicos, diafragmas, cabos flexíveis, chaves elétricas, relés e componentes de bombas.
Cu-Si	São ligas contendo de 3% a 5% Si, podendo conter Zn, Fe e Mn. Possuem elevada dureza, resistência mecânica e térmica. Podem ser conformadas a frio. Aceitam usinagem após conformadas.	Limite de escoamento entre 27 e 39kgf/mm <sup>2</sup> Limite de resistência a tração máximo de 100kgf/mm <sup>2</sup> ; Alongamento de 6% a 45%; Dureza HB máx. 40	São usados em tanques de decapagem, eletrodos de soldagem, parafusos, porcas, rebites e ganchos, eixos de hélices de navios e linhas hidráulicas de pressão.

Tabela 1 — Outras ligas de cobre.

## ANEXO 2a

As ligas mais usadas na indústria aeronáutica são a AA 2024, AA6053, AA6061 e AA7075.

### LIGAS DE ALUMÍNIO TRABALHADAS ENDURECÍVEIS POR PRECIPITAÇÃO

Designação		Elemento de liga, %							
AA*	ABNT	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
2011	26820	0,40	0,70	5,0/6,0	–	–	–	–	–
2017	24320	0,80	0,70	3,5/4,5	0,4/1,0	0,2/0,8	0,10	0,25	–
2024	24520	0,50	0,50	3,8/4,9	0,3/0,9	1,2/1,8	0,10	0,25	–
6053	69840	0,55/0,70	0,35	0,10	–	1,1/1,4	0,15/0,35	0,10	–
6061	69260	0,40/0,80	0,70	0,15/0,4	0,15	0,8/1,2	0,04/0,35	0,25	0,15
7075	76520	0,40	0,50	1,2/2,9	0,30	2,1/2,9	0,18/0,35	5,1/6,1	0,2

\* Sistema ASTM – American Society for Testing Materials.

Observe que, comparando as ligas 2024, 6053, 6061 e 7075, observamos que a presença maior de Mg, Cr, Zn e Ti faz com que a liga 7075 tenha maior limite de resistência a tração, limite de escoamento, maior dureza e maior limite de fadiga. Por isso é também conhecida como Duralumínio.

Liga e estado* Designação AA	Limite de resistência à tração kgf/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento kgf/mm <sup>2</sup>	Alongamento em 2" %	Dureza Brinell (carga 500 kg esfera 10 mm)	Limite de fadiga kgf/mm <sup>2</sup>
2011-T3	38,5	30,0	15	95	12,5
2011-T8	41,5	31,5	12	100	12,5
2017-O	18,0	7,0	22	45	9,0
2017-T4	43,5	28,0	22	105	12,5
2024-O	19,0	8,0	20/22	47	9,0
2024-T3	49,0	35,0	18	120	14,0
6053-O	11,0	5,0	25	26	5,0
6053-T6	26,0	22,5	13	80	9,0
6061-O	12,5	5,5	25/30	30	6,5
6061-T6	31,5	28,0	12/17	95	10,0
7075-O	23,0	10,5	17	60	—
7075-T6	58,5	51,5	11	150	16,5

Tabela 1 — Propriedades Mecânicas das Ligas de Alumínio endurecíveis por precipitação.

## ANEXO 2b

### LIGAS DE ALUMÍNIO TRABALHADAS

Designação ABNT	Elementos de liga, %							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
15040	—	—	—	—	—	—	—	—
10050	1,0	c/ o Si	0,05/0,2	0,05	—	—	—	—
16020	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	0,03	—	0,03
31220	0,60	0,70	0,5/0,2	1/1,5	—	—	—	—
51020	0,40	0,70	0,20	0,20	0,5/1,1	0,10	—	—
51030	0,40	0,70	0,20	0,10	1,1/1,8	0,10	0,10	—
52820	0,45	c/ o Si	0,10	0,10	2,2/2,8	0,15/0,35	0,10	—
58840	0,45	c/ o Si	0,10	0,10	3,1/3,9	0,15/0,35	0,20	0,20
54330	0,40	0,40	0,10	0,3/1	4,0/4,9	0,05/0,25	0,25	0,15

Tabela 1 — Classificação ABNT Ligas de Alumínio endurecíveis por encruamento.

## ANEXO 2c

### PRINCIPAIS TIPOS DE LIGAS DE ALUMÍNIO PARA FUNDIÇÃO

Designação		Processo de fundição*	Elemento de liga, %								
AA	ABNT		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn	Ti
1050	15070	A	0,15	0,2/0,4	—	—	—	—	—	—	—
295.2	24460	A – T	0,7/1,2	0,8	4,0/5,0	0,3	0,03	—	0,3	—	0,2
222.2	29560	T	2,0	1,2	9,2/10,7	0,5	0,2/0,35	0,5	0,5	—	0,2
242.2	24860	A – T	0,6	0,6	3,5/4,5	0,10	1,3/1,8	1,7/2,3	0,1	—	0,2
443.2	43020	A, M, P	4,5/6,0	0,6	0,10	0,10	0,05	—	0,1	—	0,2
355.2	42230	A, M – T	4,5/5,5	0,15/0,25	1,0/1,5	0,05	0,5/0,6	—	0,05	—	0,2
A413.2	46030	P	11,5/12,5	0,5	0,10	0,05	—	—	0,05	—	—
360.2	45520	P	9,0/10,0	0,7/1,1	0,10	0,10	0,45/0,60	0,1	0,1	—	0,2
384.2	46220	P	10,5/12,0	0,6/1,0	3,0/4,5	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	—
518.2	59.060	P	0,25	0,70	0,10	0,10	7,6/9,5	0,05	—	0,05	—
A850.2	82660	A, M – T	2,0/3,0	0,50	0,7/1,3	0,10	0,10	0,3/0,7	—	5,5/7,0	0,2

\*A = fundição em areia  
M = fundição em coquilha, por gravidade  
P = fundição sob pressão  
T = liga suscetível de tratamento térmico

Tabela 1 — Classificação ABNT Ligas de Alumínio para fundição.

## ANEXO 3

### TIPOS DE LIGAS DE CHUMBO PARA MANCAIS

Designação	Pb %	Sb %	Sn %	Cu %	As máx. %	Outros
	<b>Tipos SAE--ASTM</b>					
SAE 13,	rest.	10	6	0,50 máx.	0,25	—
SAE 14, ASTM 7	rest.	15	10	0,50 máx.	0,60	—
SAE 15, ASTM 15	rest.	15	1	0,50 máx.	1	—
	<b>Tipos particulares</b>					
A	95,65	—	3,35	0,08	—	0,67 Ca
B	83,30	12,54	0,84	0,10	3,05	—
C	82,16	15,12	0,96	0,50	1,08	—
D	73,74	9,87	11,63	1,91	1,14	1,48 Cd
E	71,78	14,82	10,32	1,58	0,73	0,52 Cd

Tabela 1 — Classificação SAE Ligas Babbitt. Vicente Chiaverini.

Para descontrair e saber mais sobre metais, assista ao vídeo do link abaixo:

<https://www.youtube.com/watch?v=IVWs8bKa6cg>

## ANEXO 4

### TIPOS DE LIGAS DE ESTANHO PARA MANCAIS

Designação pela ASTM B23	Cu %	Sn %	Sb %	Pb máx. %
1	4,50	91,00	4,50	0,35
2	3,50	89,00	7,50	0,35
3	8,00	84,00	8,00	0,35
4	3,00	75,00	12,00	10,00
5	2,00	65,00	15,00	18,00
Designação SAE				
11	5,0/6,5	86,00	6,0/7,5	0,50
12	3,0/4,5	88,25	7,0/8,0	0,50

Tabela 1 — Classificação SAE Ligas Babbitt.

## ANEXO 5

### PRINCIPAIS TIPOS DE LIGAS DE ZINCO PARA FUNDIÇÃO

Designação	Composição, %				Identificação comercial usual
	Al	Cu	Mg	Zn	
ZnAl4	3,5 a 4,5	—	0,03 a 0,06	rest.	Zamac 3
ZnAl4Cu	3,5 a 4,3	0,75 a 1,25	0,03 a 0,06	rest.	Zamac 5
ZnAl4Cu3	3,5 a 4,3	2,5 a 3,0	0,03 a 0,06	rest.	Zamac 2
ZnAl6Cu	5,6 a 6,0	1,2 a 1,6	—	—	Zamac 610

Tabela 1 — Classificação ABNT Ligas ZAMC.

## CARACTERÍSTICOS FÍSICOS E MECÂNICOS DE DOIS TIPOS DE ZAMAC

Característicos	Zamac 3	Zamac 5
Densidade, g/cm <sup>3</sup>	6,6	6,7
Intervalo de solidificação, °C	380–386	380–386
Retração, %	4–5	4–5
Coefficiente de dilatação, cm/cm/°C	$27 \times 10^{-6}$	$27 \times 10^{-6}$
Limite de resistência à tração, khf/mm <sup>2</sup>	26–30	30–34
Limite de escoamento, kgf/mm <sup>2</sup>	25–29	29–33
Módulo de elasticidade, kgf/mm <sup>2</sup>	8.500	9.600
Alongamento, %	5–8	3–6
Resistência ao choque Charpy, kgf.m/cm <sup>2</sup>	10–12	10,5–12,5
Limite de fadiga (10 <sup>8</sup> ciclos), kgf/mm <sup>2</sup>	4–8	5–7
Dureza Brinell (10 mm/500 kgf)	(80–90)	(85–95)

Tabela 2 — Propriedades Mecânicas Ligas ZAMC.

Para ampliar seus conhecimentos, assista aos vídeos dos *links* abaixo:

<https://www.youtube.com/watch?v=P8PQ8-pMmRs>

<https://www.youtube.com/watch?v=65GekuTIMyQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=F0V1qI9JKrM>