

# **LIGAS DE ALUMÍNIO**

**MATERIAIS PARA ENGENHARIA**

**UFPR/2010**

**PROF. SCHEID**

# ALUMÍNIO

## - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

→ Número Atômico: 13

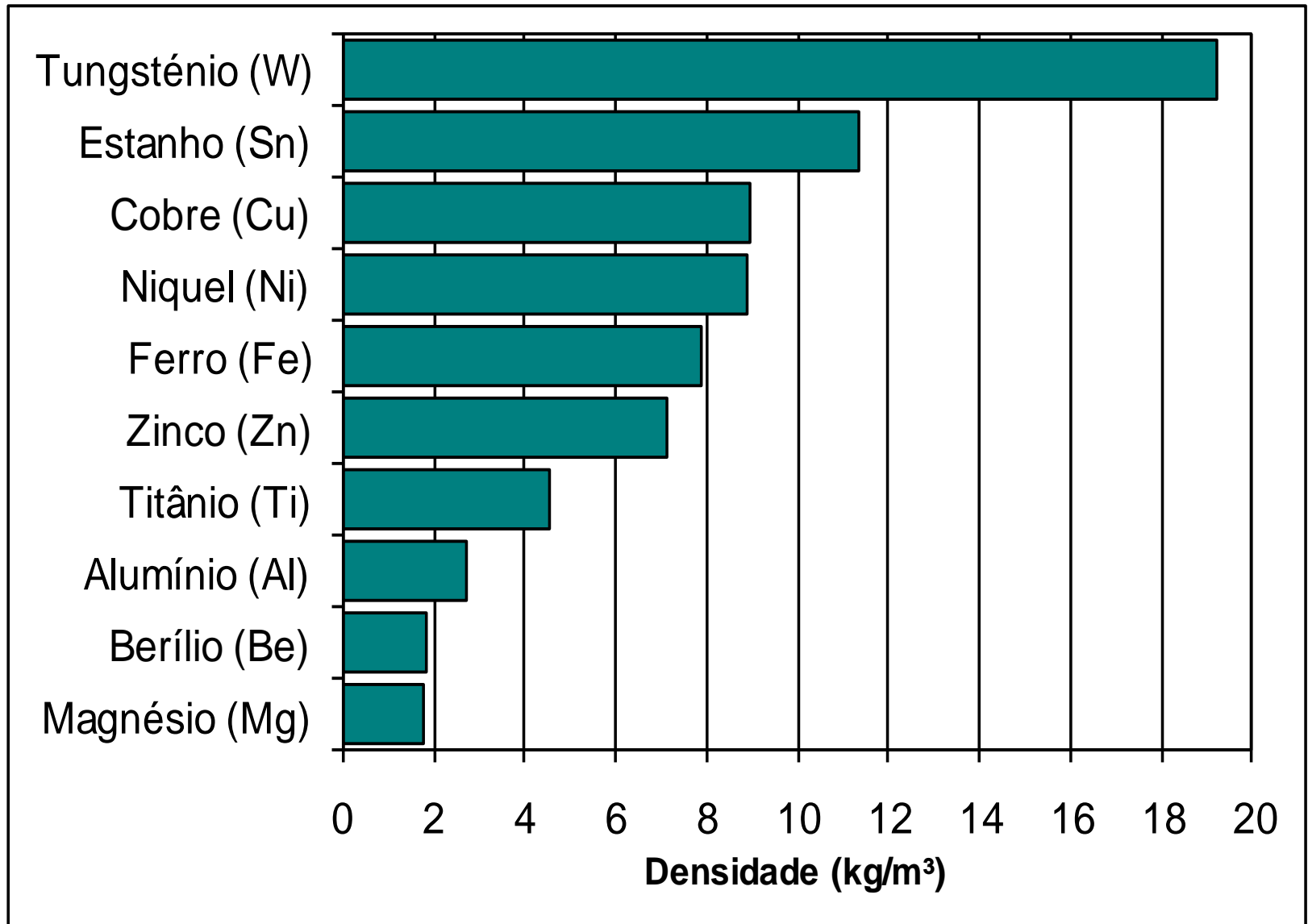
→ Massa Atômica: 26,98

→ Ponto de Fusão: 660 °C

→ Sistema cristalino: CFC (a: 4,044 Ângstrons)

→ Densidade: 2,7 g/cm<sup>3</sup>

# Gráfico comparativo da densidade de alguns metais



# PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

A GRANDE VANTAGEM DO ALUMÍNIO É O BAIXO PESO ESPECÍFICO E ELEVADA RESISTÊNCIA À CORROSÃO ATMOSFÉRICA (película  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com espessura entre 50 a 100 Ângstrons).

## → RESISTÊNCIA MECÂNICA

O Al puro (99,99%) tem baixa resistência mecânica

Resistência à tração:

- Al puro: 60 MPa
- Al comercial= 90 - 140 MPa
- *ELEMENTOS DE LIGA, TRABALHO A FRIO E TRATAMENTO TÉRMICO, AUMENTAM A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (600 MPa).*

# PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

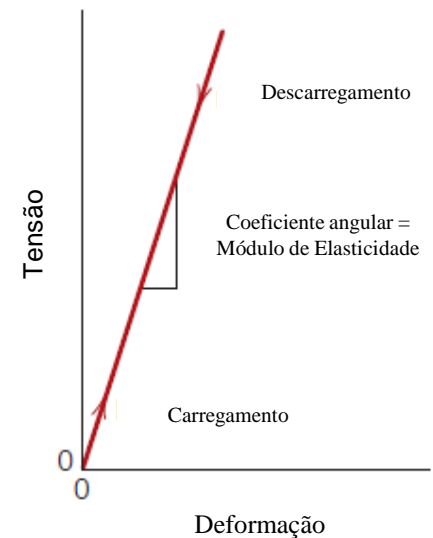
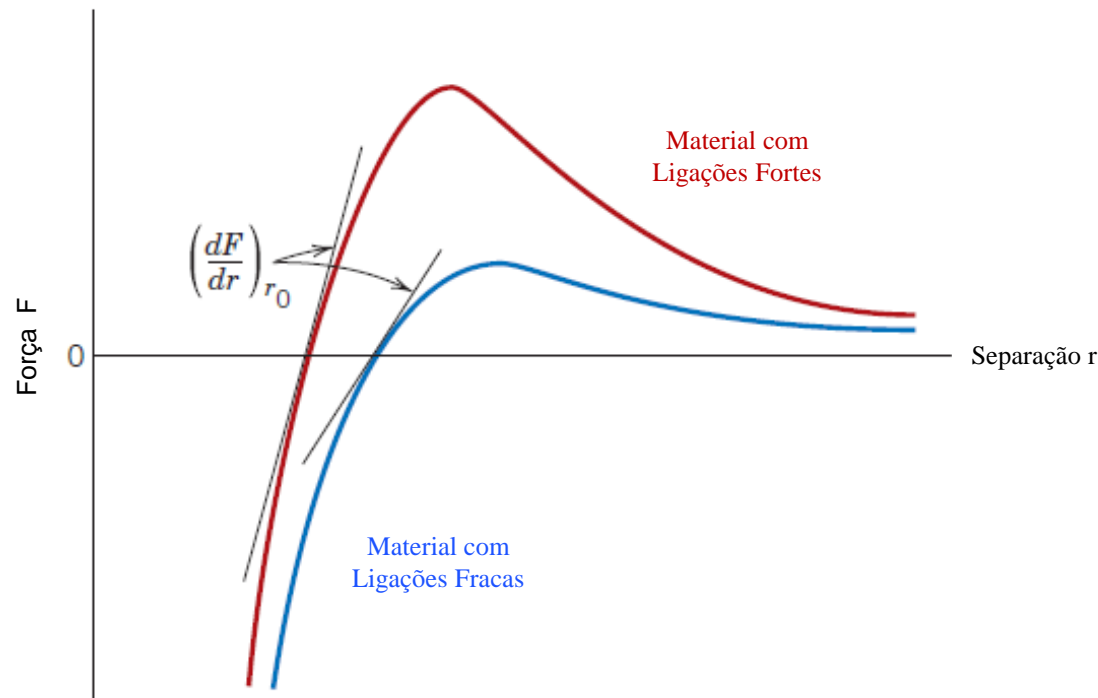
## → DUCTILIDADE

Alongamento pode ser superior a 40%.

## → MÓDULO DE ELASTICIDADE

Possui módulo de elasticidade baixo

Al: 7000 Kg/mm<sup>2</sup> Cu: 11.500 Kg/mm<sup>2</sup> Aço: 21.000 Kg/mm<sup>2</sup>



# **PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

## **→ CONDUCTIVIDADE ELÉTRICA**

A condutividade elétrica do Alumínio é de  $35 \times 10^4 (\Omega \cdot m)^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ , correspondendo entre 61- 65% da condutividade do Cobre.

A condutividade elétrica é afetada pela presença de impurezas

## **→ CONDUCTIVIDADE TÉRMICA**

Tem elevada condutividade térmica  $0,57 \text{ cal/cm.s}$  a  $0^\circ\text{C}$

## **→ CALOR LATENTE DE FUSÃO**

Tem elevado calor latente de fusão

## **→ COMPORTAMENTO NÃO-FERROMAGNÉTICO**

## **→ ANTIFAISCANTE E NÃO-TÓXICO**

## **→ REFLETIVIDADE TÉRMICA E ASPECTO BRILHANTE**

# ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

## PRINCIPAIS ELEMENTOS DE LIGA

**São Divididos em três grupos:**

1<sup>o</sup>- **Cobre, Magnésio e Zinco** formam soluções sólidas em variados percentuais, em temperaturas relativamente elevadas. A solubilidade é quase nula em temperatura ambiente.

O Cobre e o Magnésio originam as fases intermediárias  $\text{CuAl}_2$  -  $\theta$  e  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  -  $\beta$

# ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

## PRINCIPAIS ELEMENTOS DE LIGA

**São Divididos em três grupos:**

2º- **Silício e Estanho** são formadores de eutéticos. O Silício forma eutético com 12,6% deste elemento e a fase rica em Alumínio apresenta baixo teor de Silício.

Silício e Estanho são igualmente insolúveis em temperatura ambiente.



# ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

## PRINCIPAIS ELEMENTOS DE LIGA

**São Divididos em três grupos:**

3º- Ferro, Manganês, Níquel, Titânio e Cromo são pouco solúveis no Alumínio, formando determinadas fases ou compostos intermediários, tais como:  $\text{Fe}_3\text{Al}$ ,  $\beta\text{-Al}_6\text{Mn}$ ,  $\text{Al}_3\text{Ni}$ ,  $\text{Al}_7\text{Cr}$ ,  $\text{Al}_3\text{Ti}$ , promovendo alterações significativas nas propriedades mesmo em pequenas quantidades.

# ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

## - PRINCIPAIS APLICAÇÕES-

**Elevada Plasticidade** → laminados de baixa espessura (chapas, folhas, resguardos de bombons...)

**Elevada condutividade elétrica** (65% do Cu) → emprego no setor elétrico (cabos, fios). A vantagem do Al é a leveza.

**Elevada resistência à corrosão** → artigos domésticos, embalagens, esquadrias, telhas, perfis, luminárias.

**Baixa densidade** → material para construção mecânica (carros, aeronaves)

# ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

## CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO

- LIGAS TRABALHADAS
- LIGAS FUNDIDAS

# **LIGAS TRABALHADAS**

Passam por processos de laminação, extrusão, forjamento, estiramento.

# LIGAS TRABALHADAS

## Sub-divisão:

### A- LIGAS TRABALHADAS TRATÁVEIS TERMICAMENTE

- Ótimas propriedades mecânicas são obtidas por tratamento térmico

### B- LIGAS TRABALHADAS NÃO-TRATÁVEIS OU LIGAS ENCRUÁVEIS

- Não respondem ao tratamento térmico.
- As propriedades mecânicas são determinadas pelo grau de trabalho a frio / encruamento.

# NOMENCLATURA ALUMINUM ASSOCIATION (AA) e ASTM PARA LIGAS TRABALHADAS

**XXXX**

**1º X** → classifica a liga pela **série** segundo o elemento majoritário da liga

**2º X** → se for zero a liga é normal e se for 1, 2 e 3 indica uma variante específica da liga normal (como teor mínimo e máximo de um determinado elemento)

**3º X e 4º X** → são para diferenciar as várias ligas do grupo.

# NOMENCLATURA ALUMINUM ASSOCIATION (AA) e ASTM PARA LIGAS TRABALHADAS

<b>Alumínio &gt; 99% de pureza</b>	<b>→ 1XXX</b>
<b>Cobre</b>	<b>→ 2XXX</b>
<b>Manganês</b>	<b>→ 3XXX</b>
<b>Silício</b>	<b>→ 4XXX</b>
<b>Magnésio</b>	<b>→ 5XXX</b>
<b>Magnésio e Silício</b>	<b>→ 6XXX</b>
<b>Zinco</b>	<b>→ 7XXX</b>
<b>Outros elementos</b>	<b>→ 8XXX</b>

# NOMENCLATURA ALUMINUM ASSOCIATION (AA) e ASTM PARA LIGAS TRABALHADAS

## Alumínio não ligado: **Série 1000**

- O segundo algarismo indica modificações nos limites de impurezas
- Os dois últimos algarismos representam o teor de Alumínio
- Ex: 1065 → Al com 65% de pureza



# NOMENCLATURA ALUMINUM ASSOCIATION (AA) e ASTM PARA LIGAS FUNDIDAS

**XXX.X**

**1° X** → indica a série segundo o principal elemento da liga

**2° X e 3° X** → caracterizam ligas de composição específica

**4° X** → zero (0) indica peças fundidas

Um (1) indica lingotes

# NOMENCLATURA ALLUMINUM ASSOCIATION (AA) e ASTM PARA LIGAS FUNDIDAS

<b>Alumínio &gt; 99% de pureza</b>	<b>→ 1XX.X</b>
<b>Cobre</b>	<b>→ 2XX.X</b>
<b>Silício e Cobre e/ou Magnésio</b>	<b>→ 3XX.X</b>
<b>Silício</b>	<b>→ 4XX.X</b>
<b>Magnésio</b>	<b>→ 5XX.X</b>
<b>Zinco</b>	<b>→ 7XX.X</b>
<b>Estanho</b>	<b>→ 8XX.X</b>
<b>Outros Elementos</b>	<b>→ 9XX.X</b>

# LIGAS DE ALUMÍNIO

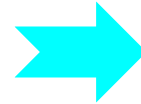
(Ligas Trabalhadas / Fundidas)

Sistemas de Liga com potencial para  
endurecimento por solubilização e  
Envelhecimento: Endurecíveis por  
tratamento térmico

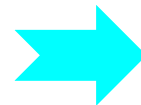


Ligas comerciais tratáveis por solubilização e  
Envelhecimento são:

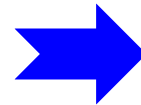
Ligas comerciais ao Lítio Tratáveis:



Al-Cu ( $\text{CuAl}_2$ )  
Al-Cu-Mg ( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ )  
Al-Mg-Si ( $\text{Mg}_2\text{Si}$ )  
Al-Zn-Mg ( $\text{MgZn}_2$ )  
Al-Zn-Mg-Cu



2XXX, 6XXX, 7XXX  
2XX.X, 3XX.X, 7XX.X



Al-Li ( $\delta'$  -  $\text{Al}_3\text{Li}$ )  
8XXX, 9XX.X

# NOMENCLATURA E SIMBOLOGIA DAS TRANSFORMAÇÕES ESTRUTURAIS

Tabela 11.8 Sistemas de designação de têmpera para ligas de alumínio<sup>a</sup>

Têmpera	Definição
F	Conforme fabricado
O	Recozido
H1	Apenas endurecido por encruamento
H2	Endurecido por encruamento e parcialmente recozido
H3	Endurecido por encruamento e estabilizado (propriedades mecânicas estabilizadas por tratamento térmico de baixa temperatura)
T1	Resfriado a partir de um processo de moldagem em temperatura elevada e naturalmente envelhecido para uma condição substancialmente estável
T2	Resfriado a partir de um processo de moldagem em temperatura elevada, trabalhado a frio e naturalmente envelhecido para uma condição substancialmente estável
T3	Tratamento térmico para solubilização, trabalhado a frio e naturalmente envelhecido para uma condição substancialmente estável
T4	Tratamento térmico para solubilização e naturalmente envelhecido para uma condição substancialmente estável
T5	Resfriado a partir de um processo de moldagem em temperatura elevada e envelhecido artificialmente
T6	Tratamento térmico para solubilização e envelhecido artificialmente
T7	Tratamento térmico para solubilização e estabilizado
T8	Tratamento térmico para solubilização, trabalhado a frio e envelhecido artificialmente
T9	Tratamento térmico para solubilização, envelhecido artificialmente e trabalhado a frio
T10	Resfriado a partir de um processo de moldagem em temperatura elevada, trabalhado a frio e envelhecido artificialmente

Nota: Uma listagem mais completa e descrições mais detalhadas podem ser encontradas nas páginas 24-27 de *Metals Handbook*, 9. ed., Ohio: American Society for Metals, vol. 2, 1979.

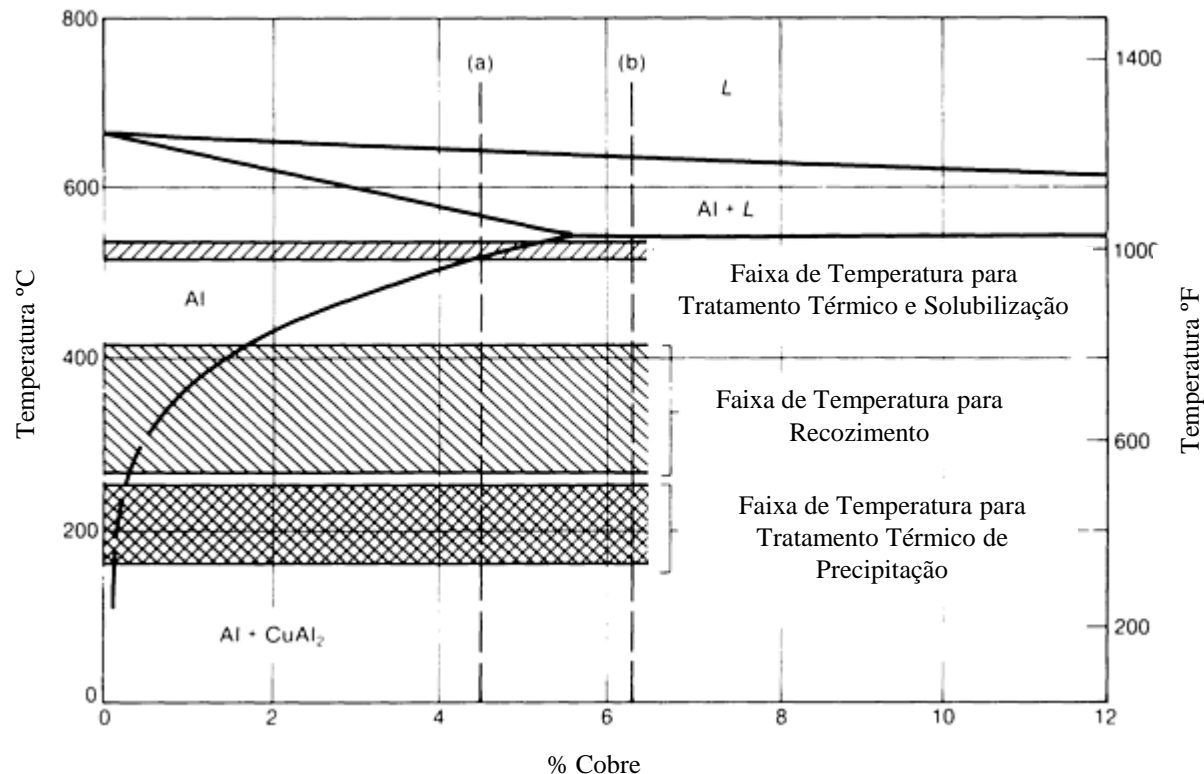
<sup>a</sup> Designação geral da liga: têmpera XXXX, onde XXXX é o número da liga da Tabela 11.7 (por exemplo, 6061-T6).

W – Solubilizada.

Leia-se Moldagem em temperatura elevada como trabalho a quente.

# TRATAMENTOS TÉRMICOS

- Alívio de tensões
- Recozimento para recristalização e homogeneização
- Solubilização
- Precipitação ou envelhecimento



# TRATAMENTOS TÉRMICOS

## **Alívio de tensões**

As tensões internas do Alumínio puro trabalhado ou fundido ou ainda em peças soldadas são removidas pelo aquecimento na faixa de 130 a 150 °C, por tempo determinado conforme a espessura ou diâmetro da peça sendo, no mínimo, de 1 min/mm.

O alívio de tensões envolve apenas a recuperação ou ainda uma recristalização apenas parcial da estrutura.

# TRATAMENTOS TÉRMICOS

## Recozimento para recristalização e homogeneização

A **Recristalização** de ligas laminadas, extrudadas e trefiladas ou a **homogeneização** de peças fundidas são efetuados normalmente pelo aquecimento na faixa de 300 – 400°C\*, havendo uma recristalização quase instantânea, evitando-se atingir 460°C na maior parte das ligas.

O resfriamento posterior è feito ao forno em taxa de 30°C/h até 250°C e depois resfriando ao ar, resultando em excelente ductilidade.

A **homogeneização** visa a dissolução de microconstituintes, resultando em uniformidade química e distribuição uniforme de fases.

Usar como referência cerca de 50 a 100°C abaixo da temperatura eutética.

# TRATAMENTOS TÉRMICOS

## **Solubilização**

Consiste no aquecimento, encharque e resfriamento brusco. Visa a dissolução de elementos de liga, visando formar uma solução sólida homogênea (campo monofásico).

Temperatura: depende da liga (400 – 650°C). Liga Al-Cu (2XXX) a máxima solubilidade está a 548°C e é de 5,6% de Cobre em solução sólida.

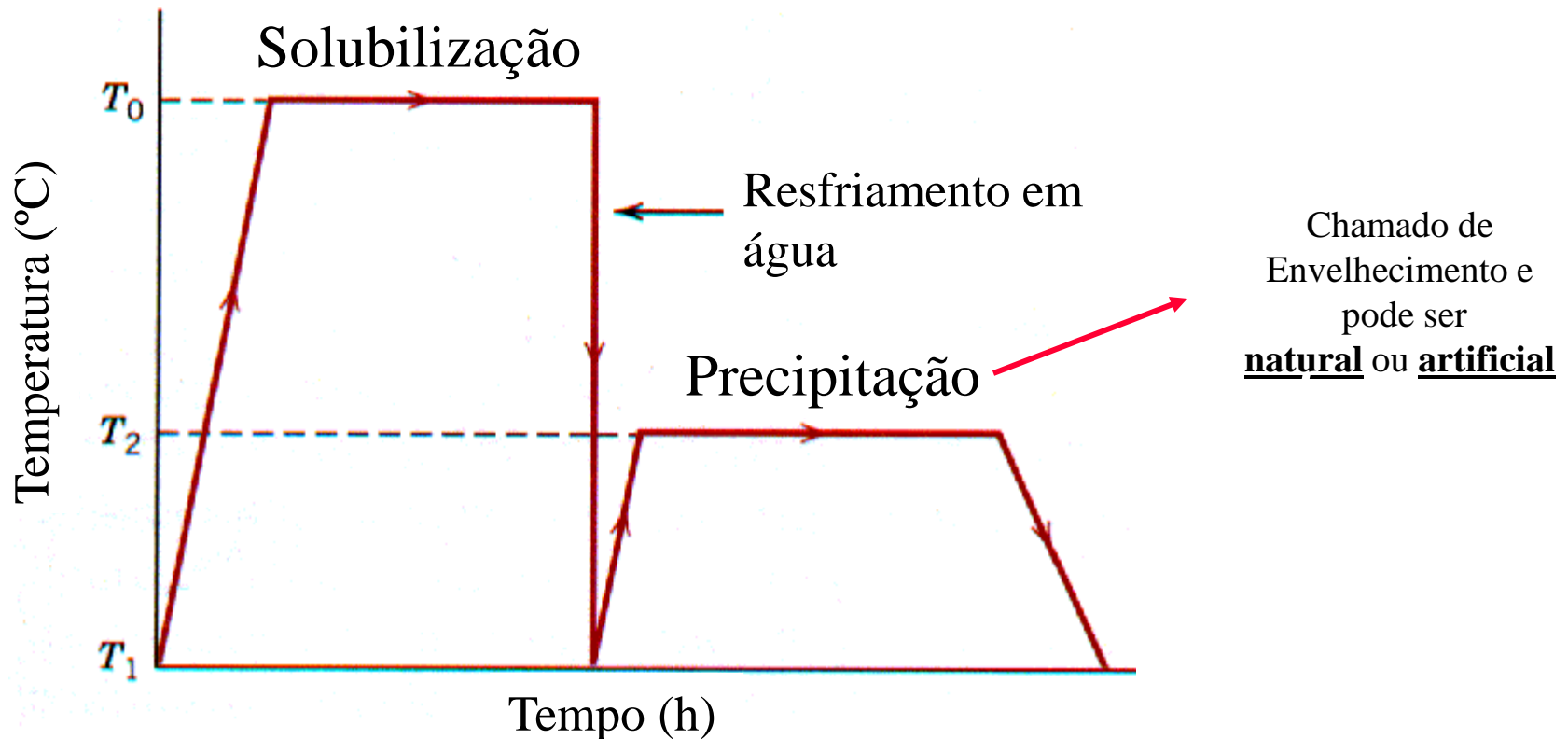
## **Precipitação ou Envelhecimento Artificial (100 – 250°C)**

Consiste no reaquecimento a fim de promover a precipitação da segunda fase e conferir a máxima dureza e resistência mecânica.

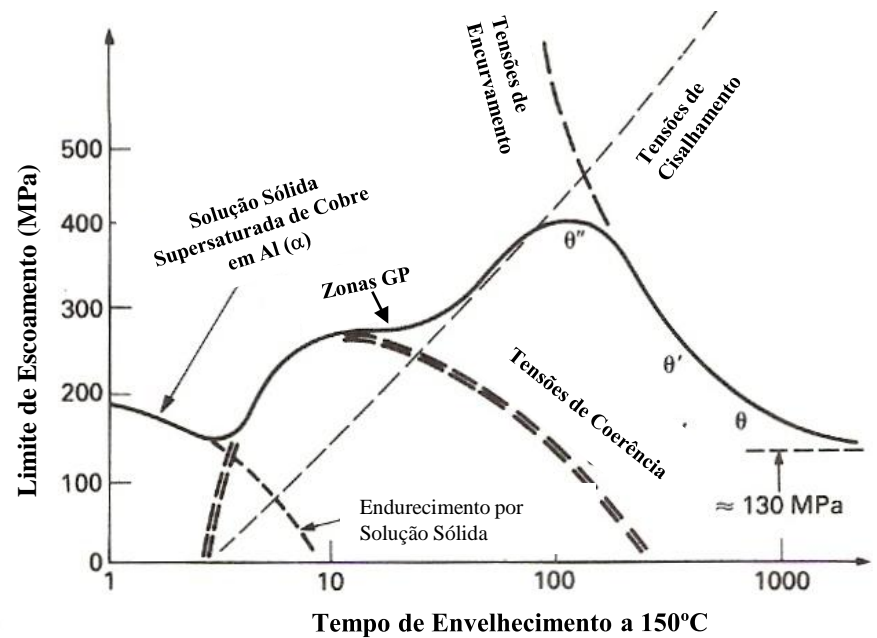
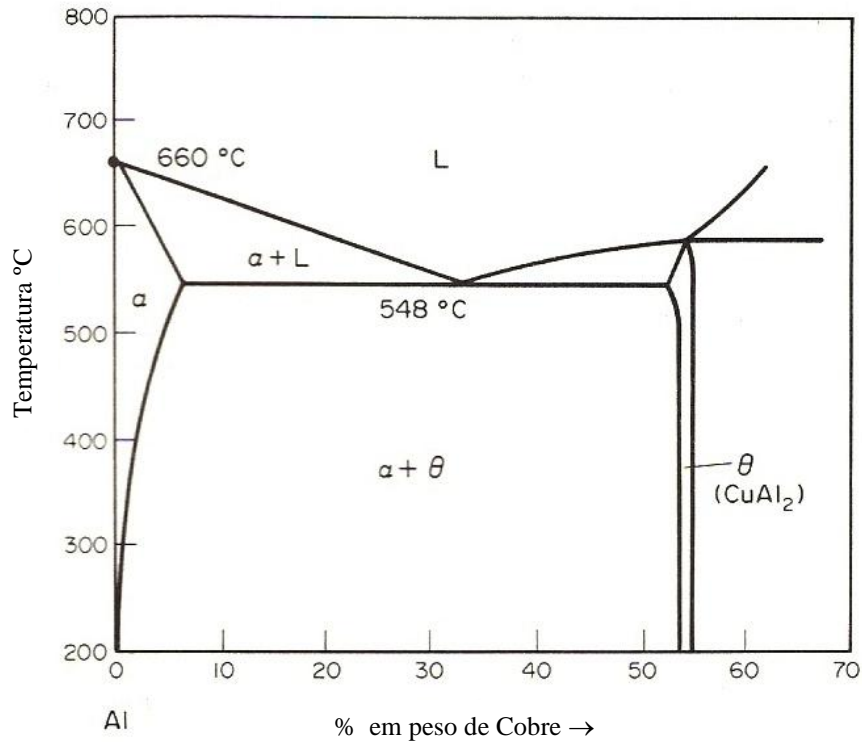


# Tratamento Térmico

## Solubilização e Envelhecimento

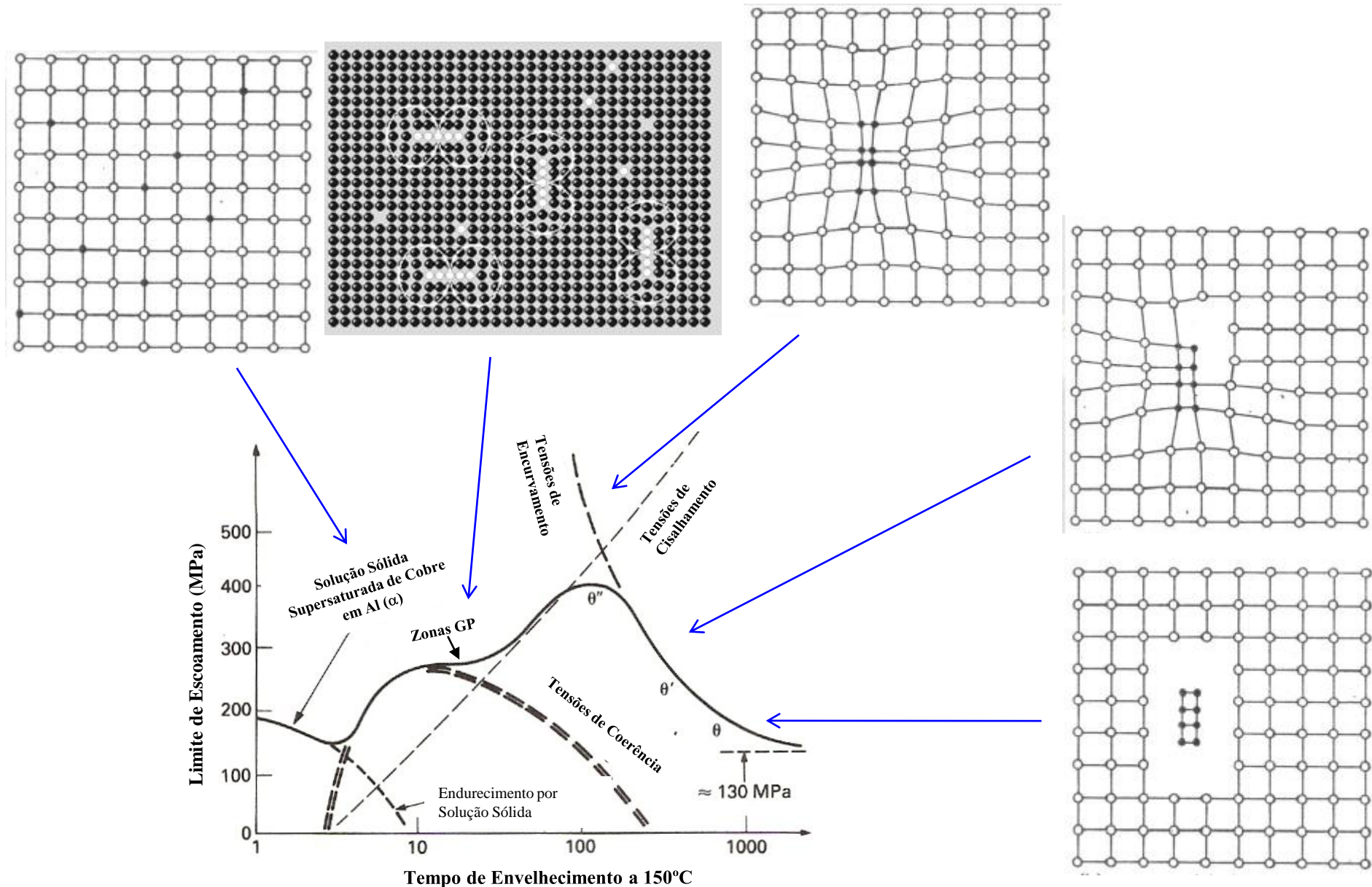


# Sistema Al-Cu

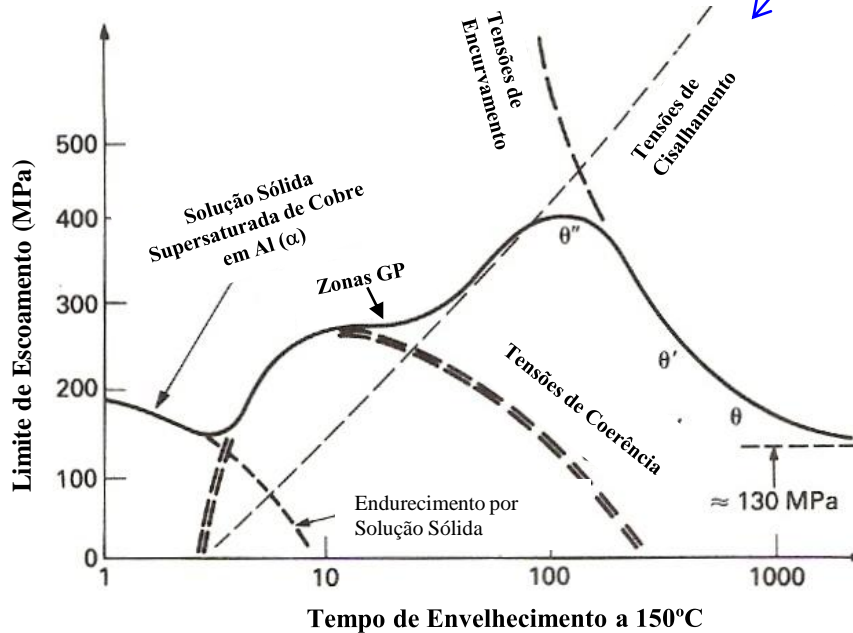
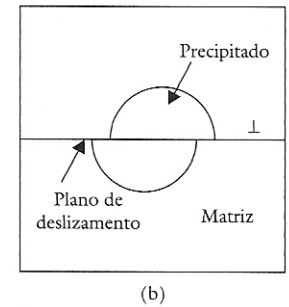
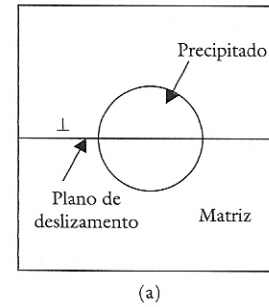
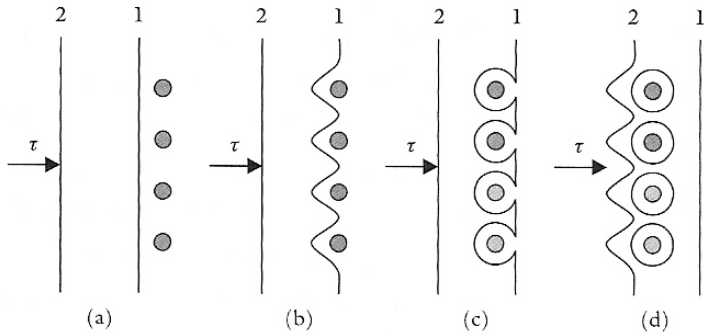


**A fase endurecedora das ligas Al-Cu é CuAl<sub>2</sub> (θ)**

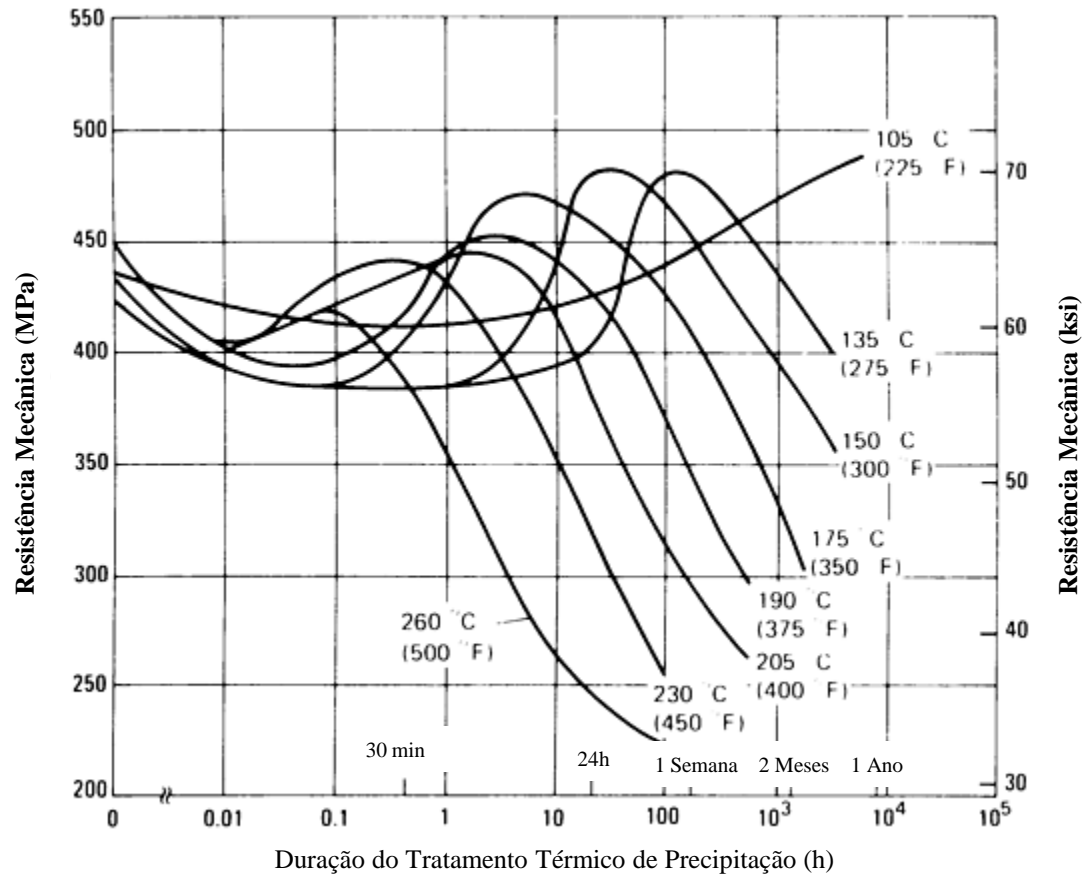
# Ligas binárias Al-Cu



# Ligas binárias Al-Cu



# Ligas binárias Al-Cu



# As zonas GP

Zonas **Guinier-Preston** (GP): homenagem aos cientistas que revelaram a estrutura dessas zonas através de estudos de difração de raios-x

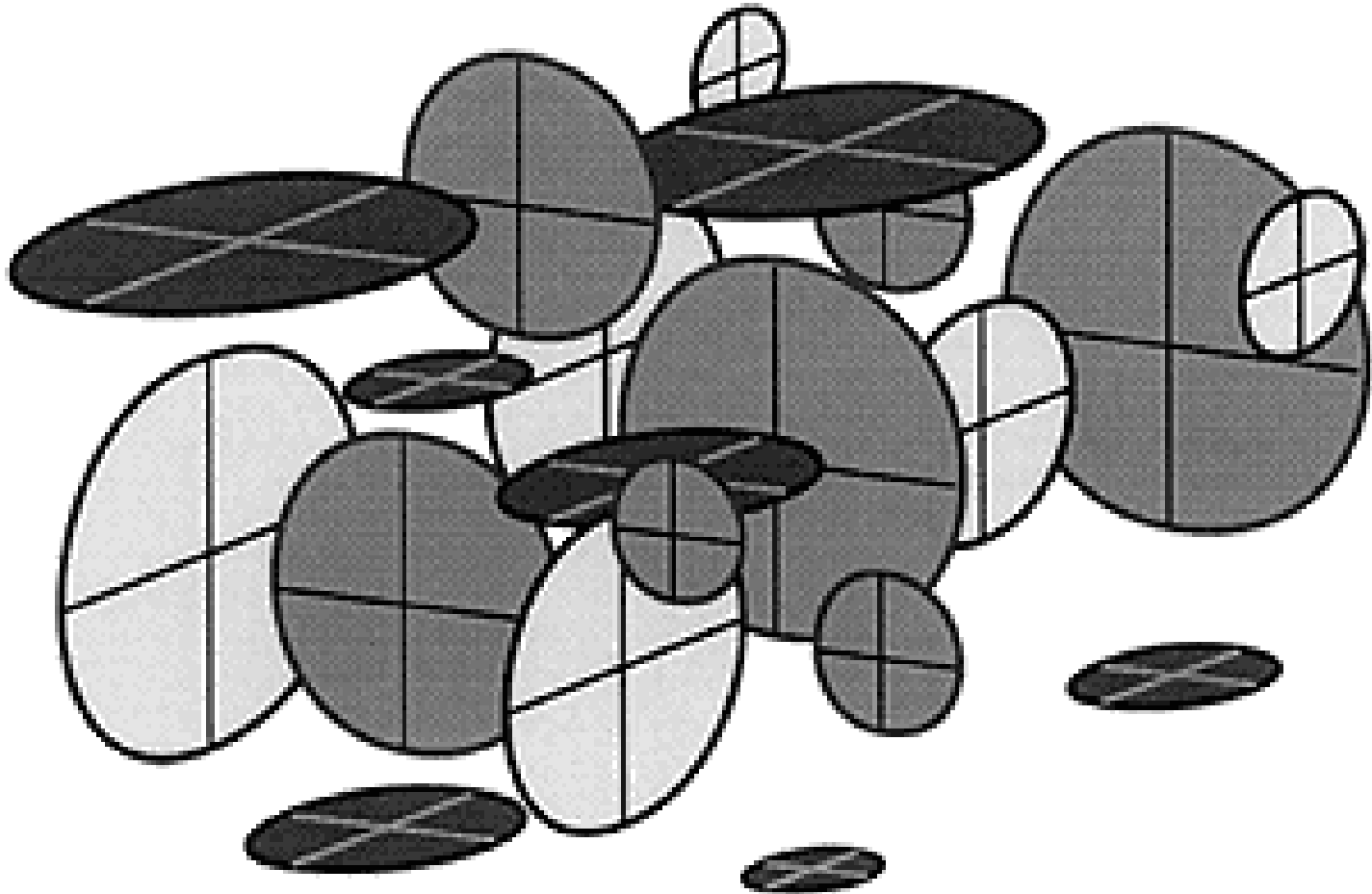
Guinier A: *Nature*, **142**, 569 (1938)

Preston G P: *Nature*, **142**, 570 (1938).

As fases precipitadas são altamente coerentes com a matriz, ou seja, é muito difícil determinar a sua estrutura mesmo com microscopia eletrônica de alta resolução (HRTEM).

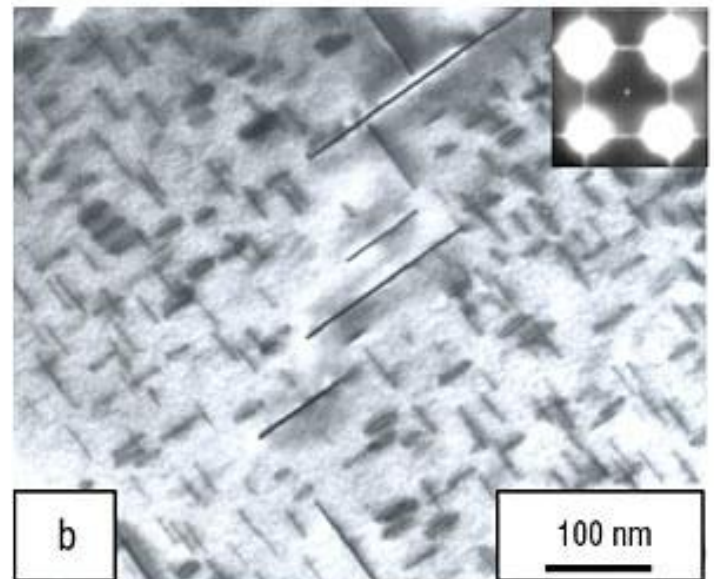
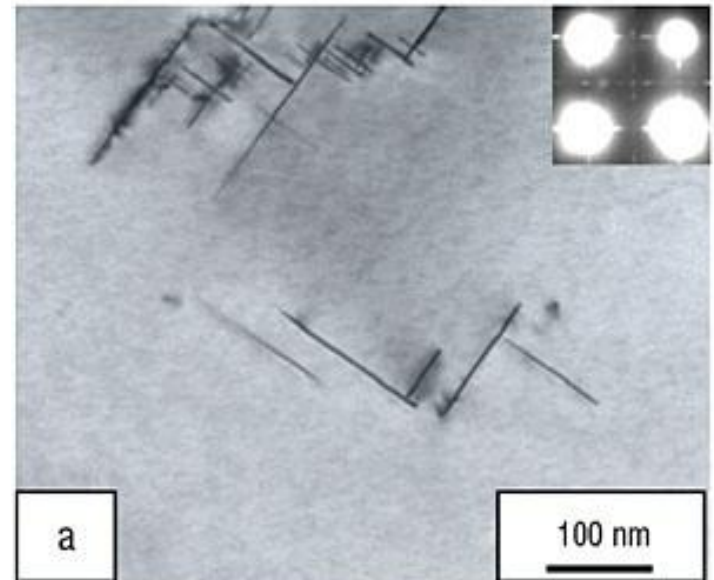
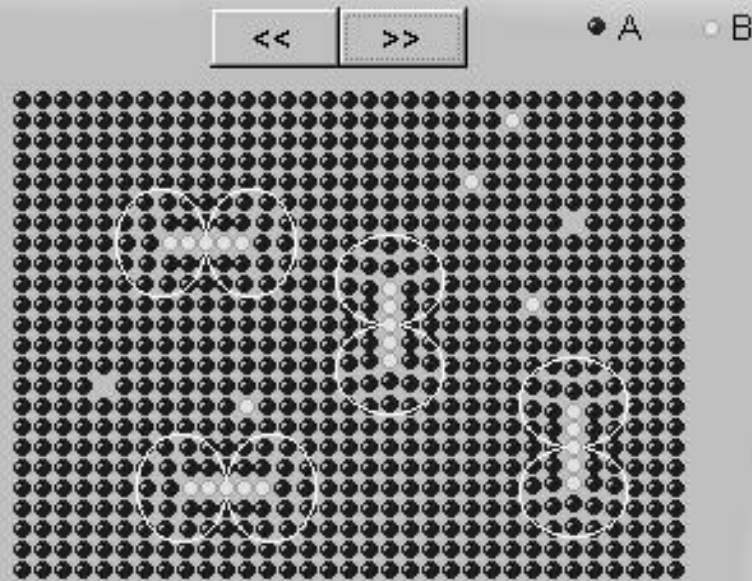
**Por exemplo:** no sistema Al-Cu, os átomos de Cu precipitam paralelos aos planos  $\{100\}$  da matriz de Alumínio, então o contraste entre as fases depende muito da espessura da amostra

# Modelo para Zonas GP



# Modelo para Zonas GP

Modelo atómico da zonas GP



## GP zones

Diffusion during ageing results in localised concentrations of B atoms on specific planes of the A lattice. These are known as **GP (Guinier-Preston) zones**. In some systems GP zones are disk-shaped, whilst in others they can be rod-shaped.



# LIGAS TRABALHADAS

## - GRUPO DO ALUMÍNIO PURO (1XXX)-

- Fácil de conformar
- Dúctil
- Resistência Mecânica relativamente baixa
- Boa condutividade elétrica
- Bom acabamento
- Fácil de soldar

AA	Resist. corrosão	Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
							Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	
<b>LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO - NÃO TRATÁVEIS</b>										
1100	A	C-D	A	A91100	0.12Cu	Recozido(O)	90	35	35-45	Alimentos, produtos químicos, permutadores de calor, reflectores de luz

# LIGAS TRABALHADAS

## - GRUPO ALUMÍNIO - MANGANÊS (3XXX)-

- Apresenta melhores propriedades mecânicas que o Al puro
- A ductilidade é ligeiramente diminuída pelo Mn
- Boa resistência à corrosão

AA	Resist. corrosão	Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
							Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	
3003	A	C-D	A	A93003	0.12Cu, 1.2Mn,0.1Zn	Recozido(O)	110	40	30-40	Utensílios culinários, reservatórios de pressão e tubagens, latas de bebidas

# LIGAS TRABALHADAS

## - GRUPO ALUMÍNIO - SILÍCIO (4XXX)-

- Apresenta baixo ponto de fusão
- Boa fluidez
- Tonalidade cinza agradável quando anodizada
- aplicações arquitetônicas

# LIGAS TRABALHADAS

## - GRUPO ALUMÍNIO - MAGNÉSIO (5XXX)-

Apresenta a mais favorável combinação de:

- Resistência Mecânica
- Resistência à Corrosão
- Ductilidade

AA	Resist. corrosão Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características	
						Rm (MPa)	Re (MPa)	A%		
5052	A	C-D	A	A95052	2.5Mg, 0.25Cr	Def. Frio (H32)	230	195	12-18	Tubagens de óleo e combustível em aeronaves, tanques de combustível, rebites, arame

# LIGAS TRATÁVEIS TERMICAMENTE

## - GRUPO ALUMÍNIO - COBRE (2XXX)-

- Com quantidades de Mg, Mn ou Si
- Apresentam alta resistência mecânica
- Apresentam resistência à corrosão limitada
- Conformabilidade limitada, exceto no estado recozido
- Soldagem por resistência

# LIGAS TRATÁVEIS TERMICAMENTE

## - DURALUMÍNIO (2017)-

4% Cu, 0,5% Mg e 0,7% Mn

- Aplicações na indústria aeronáutica
- Resistência à tração no estado recozido: 180 MPa
- Resistência à tração depois de envelhecida: 430 MPa

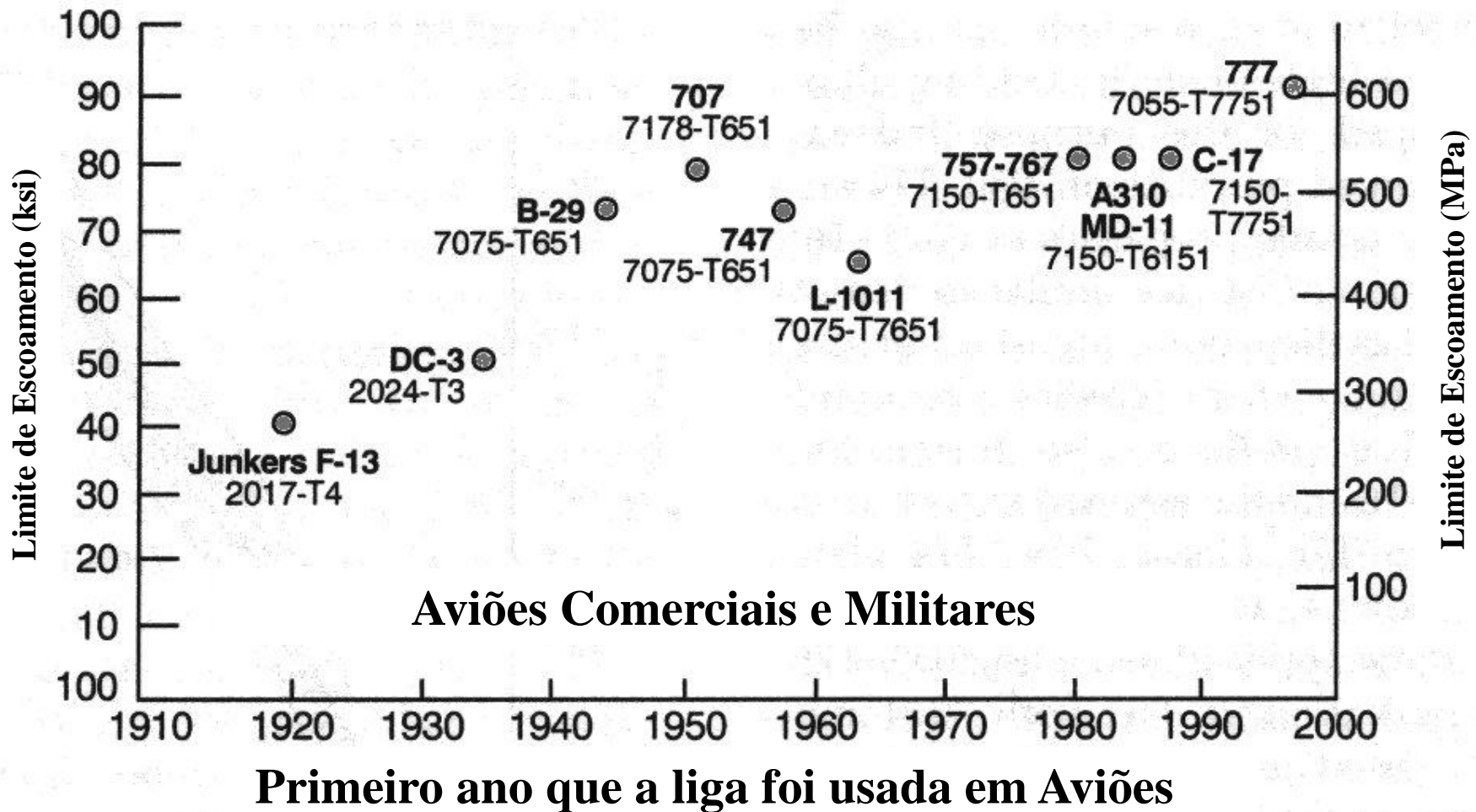
## - DURALUMÍNIO (2024)-

4,4% Cu e 1,5% Mg

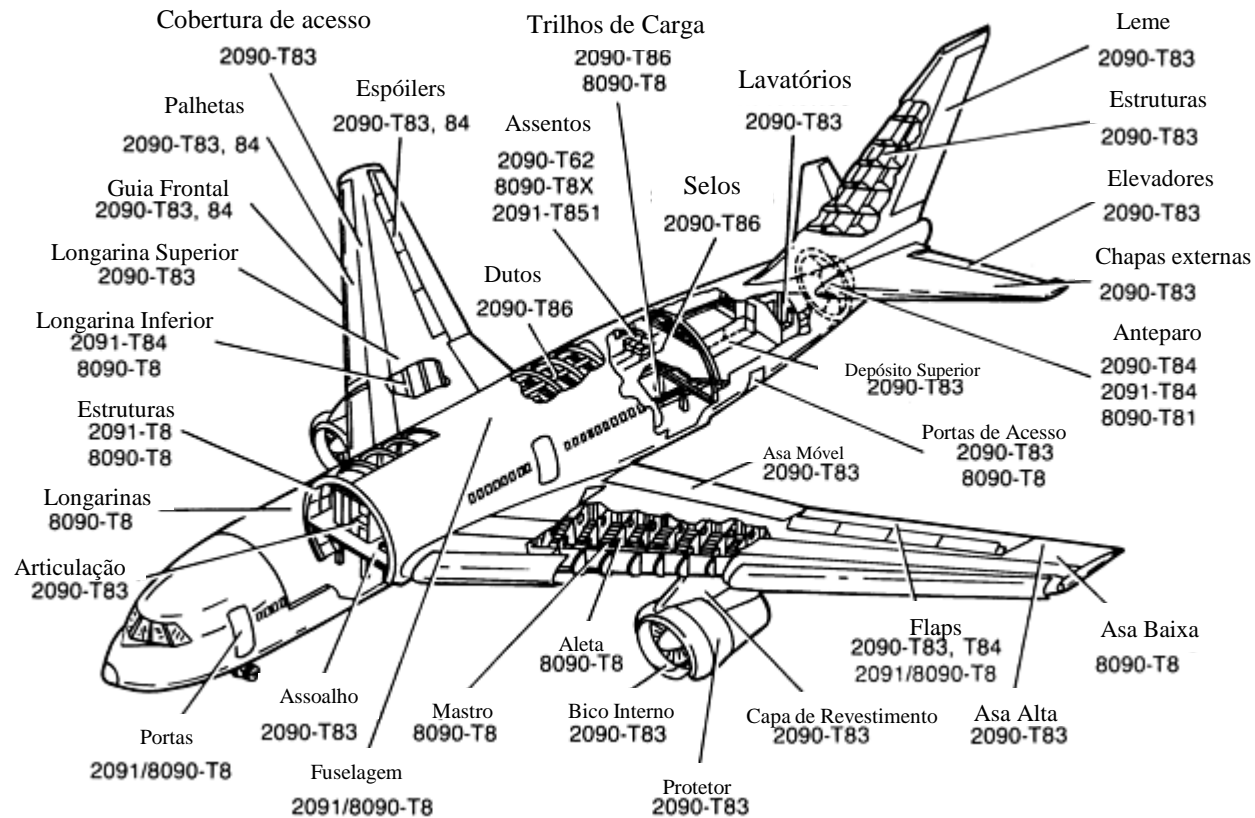
- Aplicações na indústria aeronáutica (substituiu a 2017)
- Resistência à tração no estado recozido: 200MPa

AA	Resist. corrosão	Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
							Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	
2024	C	B-C	B-C	A92024	4,4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Tratado termic. (T4)	470	325	20	Estruturas aeronauticas, rebites, jantes de camião, parafusos

# EVOLUÇÃO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO NA AERONÁUTICA



# LIGAS DE ALUMÍNIO NA AERONÁUTICA



AA	Resist. corrosão	Maquin.	Soldabil.	Propriedades mecânicas						
				UNS	Composição	Condição	Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	Aplicações/Características
2090				--	2.7Cu,0.25Mg 2.25Li,0.12Zr	Trat. termic. e def. frio (T83)	455	455	5	Estruturas aeronauticas e de tanques criogênicos
8090				--	1.3Cu,0.95Mg 2.0Li,0.1Zr	Trat. termic. e def. frio (T651)	465	360	---	Estruturas aeronauticas e outras de elevado carregamento



# LIGAS TRATÁVEIS TERMICAMENTE

## - GRUPO ALUMÍNIO - SILÍCIO - MAGNÉSIO (6XXX)-

- Facilidade de fabricação
- Boa combinação de resistência mecânica e à corrosão
- Facilidade de estampagem
- Bom acabamento
- Aplicações na Automotiva

AA	Resist. corrosão	Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
							Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	
6061	B	C-D	A	A96061	1.0Mg, 0.6Si, 0.3Cu	Tratado termic. (T4)	240	145	22-25	Camiões, canoas, automóveis, mobiliário, tubagens

# LIGAS TRATÁVEIS TERMICAMENTE

## - GRUPO ALUMÍNIO - ZINCO - MAGNÉSIO (7XXX) -

- Com ou sem Cobre
- São as mais tenazes de todas as ligas de Al
- Relação resistência / peso ( $\sigma/\rho$ ) superior a de muitos aços de alta resistência.
- São de difícil fabricação

AA	Resist. corrosão	Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
							Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	
7075	C	B-D	D	A97075	5.6Zn,2.5Mg, 1.6Cu,0.23Cr	Tratado termic. (T6)	570	505	11	Estruturas aeronauticas e outras de elevado carregamento

# LIGAS DE Al-Li

- Atrativo para indústria aeroespacial

Propriedades comparadas às ligas de Al usuais, porém com:

- Entre 6-10% inferior em densidade
- 15-20% mais rígido
- Boa resistência à fadiga e à propagação de trincas

AA	Resist. corrosão Maquin. Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
					Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	
2090		--	2.7Cu,0.25Mg 2.25Li,0.12Zr	Trat. termic. e def. frio (T83)	455	455	5	Estruturas aeronauticas e de tanques criogênicos
8090		--	1.3Cu,0.95Mg 2.0Li,0.1Zr	Trat. termic. e def. frio (T651)	465	360	---	Estruturas aeronauticas e outras de elevado carregamento

# LIGAS FUNDIDAS

- Ligas binárias
- Ligas ternárias ou com mais elementos

## PROCESSOS DE FABRICAÇÃO CONVENCIONAIS

- Fundição em areia
- Fundição sob pressão
- Fundição em molde permanente

# LIGAS FUNDIDAS

## - GRUPO ALUMÍNIO - COBRE (2XX.X)-

- O Cobre é o principal constituinte endurecedor
- Aumenta a resistência à tração
- Até 5,65% de Cobre é tratável termicamente
- Cobre diminui a contração e melhora a usinabilidade
- Essas ligas tem baixa resistência à corrosão
- A introdução de Si melhora a fundibilidade

AA	Resist. corrosão Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
						Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	
295.0			A02950	4.5Cu, 1.1Si	Tratado termic. (T4)	221	110	8,5	Volantes, jantes de caminhões e aviões, carters

# LIGAS FUNDIDAS

## - GRUPO ALUMÍNIO - SILÍCIO (3XX.X e 4XXX.X)-

São largamente utilizadas

O Si aumenta a fluidez, reduz a contração e melhora a Soldabilidade dificultando, entretanto, a usinagem.

<i>AA</i>	Resist. corrosão Maquin. Soldabil.	<i>UNS</i>	<i>Composição</i>	<i>Condição</i>	<u>Propriedades mecânicas</u>			<i>Aplicações/Características</i>
					Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	
356.0		A03560	7.0Si, 0.3Mg	Tratado termic. (T6)	228	164	3,5	Caixas de transmissão, blocos de motor

# LIGAS FUNDIDAS

## - GRUPO ALUMÍNIO - MAGNÉSIO (5XX.X)-

Boas propriedades mecânicas

Apresentam a maior resistência à tração de todas as ligas fundidas e são as mais leves.

Apresentam boa Usinabilidade e Resistência à Corrosão

A soldabilidade não é boa

Tem alta tendência a se oxidar durante a fusão

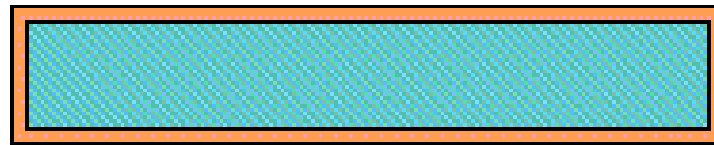
## - GRUPO ALUMÍNIO - ESTANHO (8XX.X)-

Usada na fabricação de buchas e mancais

Apresenta grande resistência à fadiga e à corrosão

# PROPRIEDADES QUÍMICAS DO Al - CORROSÃO -

- O Alumínio é resistente à corrosão quando exposto ao ar, devido à formação espontânea de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na superfície.
- A adição de elementos de liga geralmente retarda a formação do óxido, não melhorando a resistência à corrosão.



**Alumínio com uma camada de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .**



# PROPRIEDADES DA ALUMINA ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

- é estável
- transparente
- inerte
- protege o Al dos meios agressivos

→ A proteção do Al pode ser melhorada por anodização.

# PRODUTOS DA CORROSÃO

## São incolores e não-tóxicos

- Pela alta resistência à corrosão torna-se largamente usado na indústria química e alimentícia (embalagens)
- Geralmente, o Al puro tem maior resistência à corrosão que suas ligas.

## SOLVENTES DO ÓXIDO E DO METAL

- Compostos com Mercúrio
- Ácidos fortes - HCl, HF (menos HAC, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Soluções aquosas que contém Hg e Cu
- NaOH

# **COMPORTAMENTO DO ALUMÍNIO E SUAS LIGAS COM OUTROS METAIS**

## **- CORROSÃO GALVÂNICA-**

? QUE ACONTECE QUANDO COLOCADOS 2 METAIS JUNTOS NUM EQUIPAMENTO QUÍMICO OU AMBIENTE AGRESSIVO QUE CONSTITUA UM ELETRÓLITO (EX: ÁGUA E SAL)?

- **Deve-se analisar a série Galvânica**
- **Quanto mais separados na série, maior a ação eletroquímica quando em contato.**

# SERIE GALVÂNICA

Série Galvânica de Ligas Comuns\*

Anódica	Magnésio
	Ligas de magnésio
	Zinco
	Alumínio, 2S
	Cádmio
	Liga de alumínio 17S-T
	Aço carbono
	Aço ao cobre
	Ferro fundido
	Aço com 4 a 6% Cr
	Aço com 12 a 14% Cr
	Aço com 16 a 18% Cr
	Aço com 23 a 30% Cr
	Aço níquel
	Aço 7% Ni, 17% Cr
	Aço 8% Ni, 18% Cr
	Aço 14% Ni, 23% Cr
	Aço 20% Ni, 25% Cr
	Aço 12% Ni, 18% Cr, 3% Mo
	Liga para solda estanho-chumbo
	Chumbo
	Estanho
	Níquel
	60% Ni, 15% Cr
	Inconel
	80% Ni, 20% Cr
	Latões
	Cobre
	Bronzes
	Níquel-prata
	Cobre-níquel
	Metal monel
	Níquel
	60% Ni, 15% Cr
	Inconel
	80% Ni, 20% Cr
	Aço 12 a 14% Cr
	Aço 16 a 18% Cr
	Aço 7% Ni, 17% Cr
	Aço 8% Ni, 18% Cr
	Aço 14% Ni, 23% Cr
	Aço 23 a 30% Cr
	Aço 20% Ni, 25% Cr
	Aço 12% Ni, 18% Cr, 3% Mo
	Prata
Catódica	Grafita

# PREVENÇÃO DA CORROSÃO GALVÂNICA

**Evitar contato metal-metal** → coloca-se entre os mesmos um material não-condutor (isolante)

**Usar Inibidores** → Usa-se principalmente quando o Al é usado em equipamentos químicos em contato com líquidos agressivos.



# ANODIZAÇÃO

**Consiste em reforçar a camada de oxidação por processo eletrolítico (4-100  $\mu\text{m}$ ).**

**A peça de Alumínio tratada é o ânodo (onde ocorre a oxidação).**

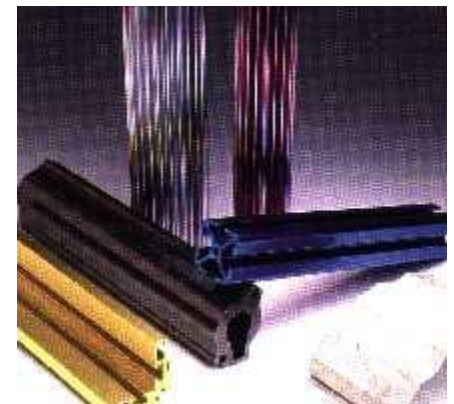
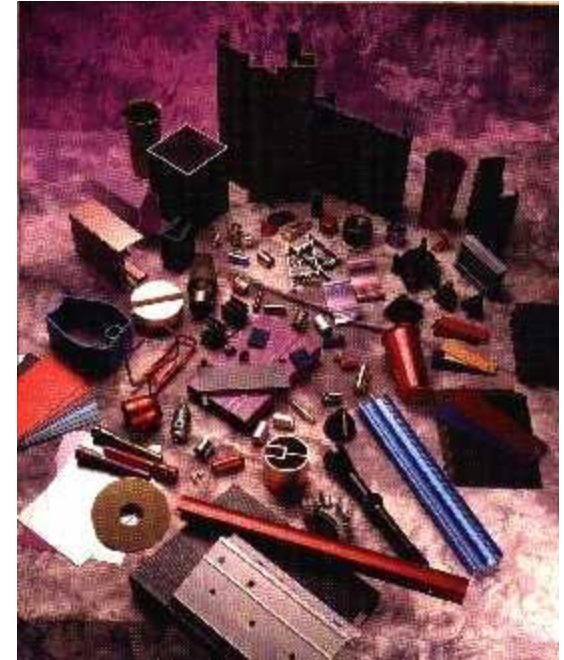
**O íon oxidante que se libera sobre a peça pode ser impregnado através de corantes.**

# PRÉ-TRATAMENTO PARA ANODIZAÇÃO

Desengraxe

Fosqueamento

Neutralização



## SELAGEM - ANODIZAÇÃO-

Fechamento dos poros da camada anódica através da hidratação do óxido de Alumínio.

## PRINCIPAIS BANHOS PARA ANODIZAÇÃO

- Alumilite ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Bengough ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ )
- Eloxal ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )