

Ligas Leves

O que são ligas Leves e quando são competitivas?

Aplicações que requerem controle do peso da estrutura.

Propriedades específicas:

Resistência/densidade - Resistência específica

Tenacidade/densidade - Tenacidade específica

Quais são as ligas Leves?

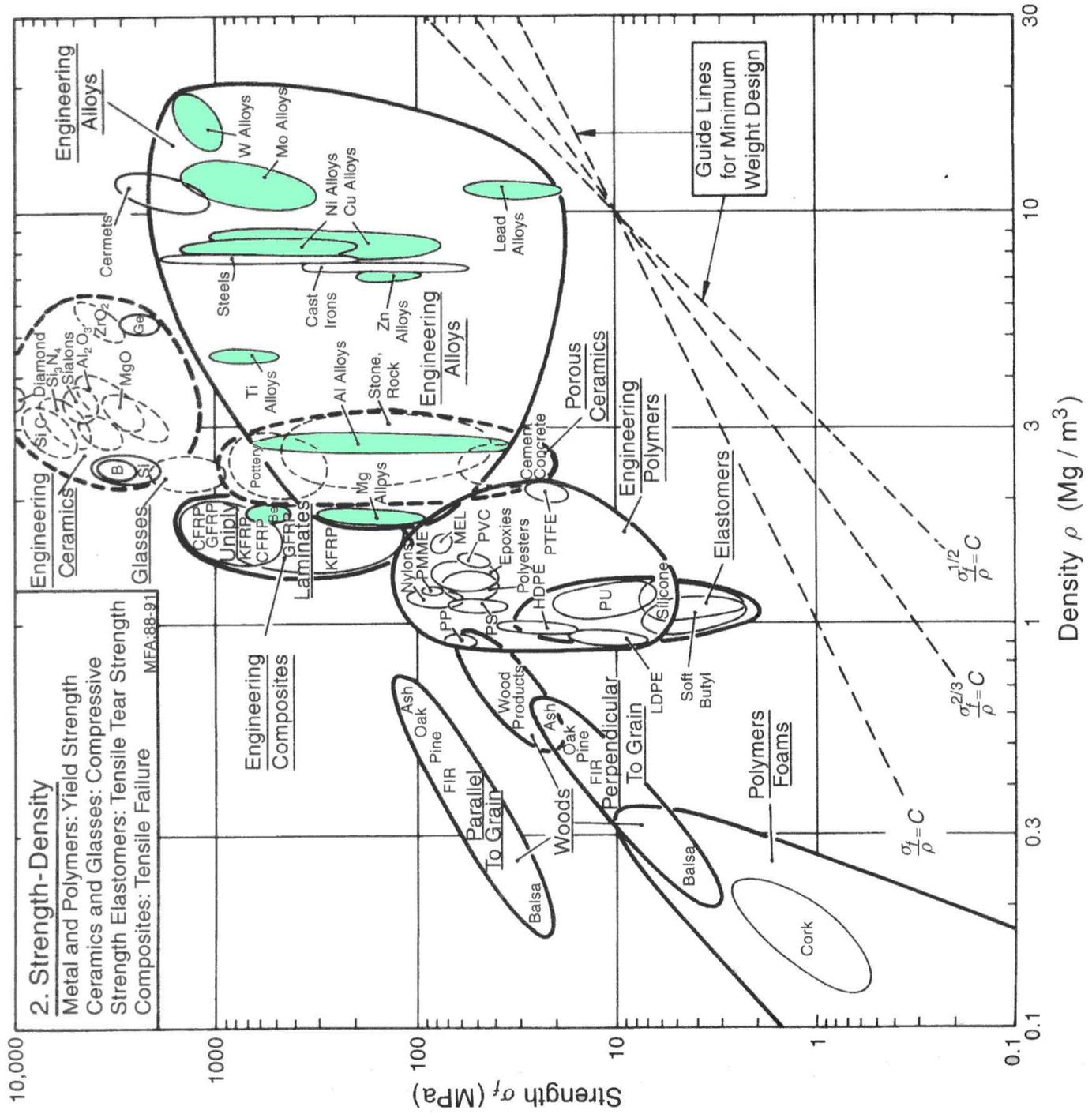
- Ligas de Ti
- Ligas de Al
- Ligas de Mg

- **Ligas de Ti** (4.5mg/m^3 ; HC->CCC-890C)
 - Propriedades específicas elevadas ($E=120\text{GPa}$; $T_{esc}=170-1280$)
 - Elevado custo
- **Ligas de Al** (2.7 g/cm^3 ; CFC)
 - Propriedades específicas moderadas $E= 71\text{GPa}$; $T_{esc}= 25-600\text{MPa}$
- **Ligas de Mg** (1.7 g/cm^3 ; HC)
 - Propriedades específicas moderadas $E=45\text{ GPa}$; $T_{esc}=70-270\text{ MPa}$
 - Dificuldade de processamento

Aços= 7.9g/cm^3

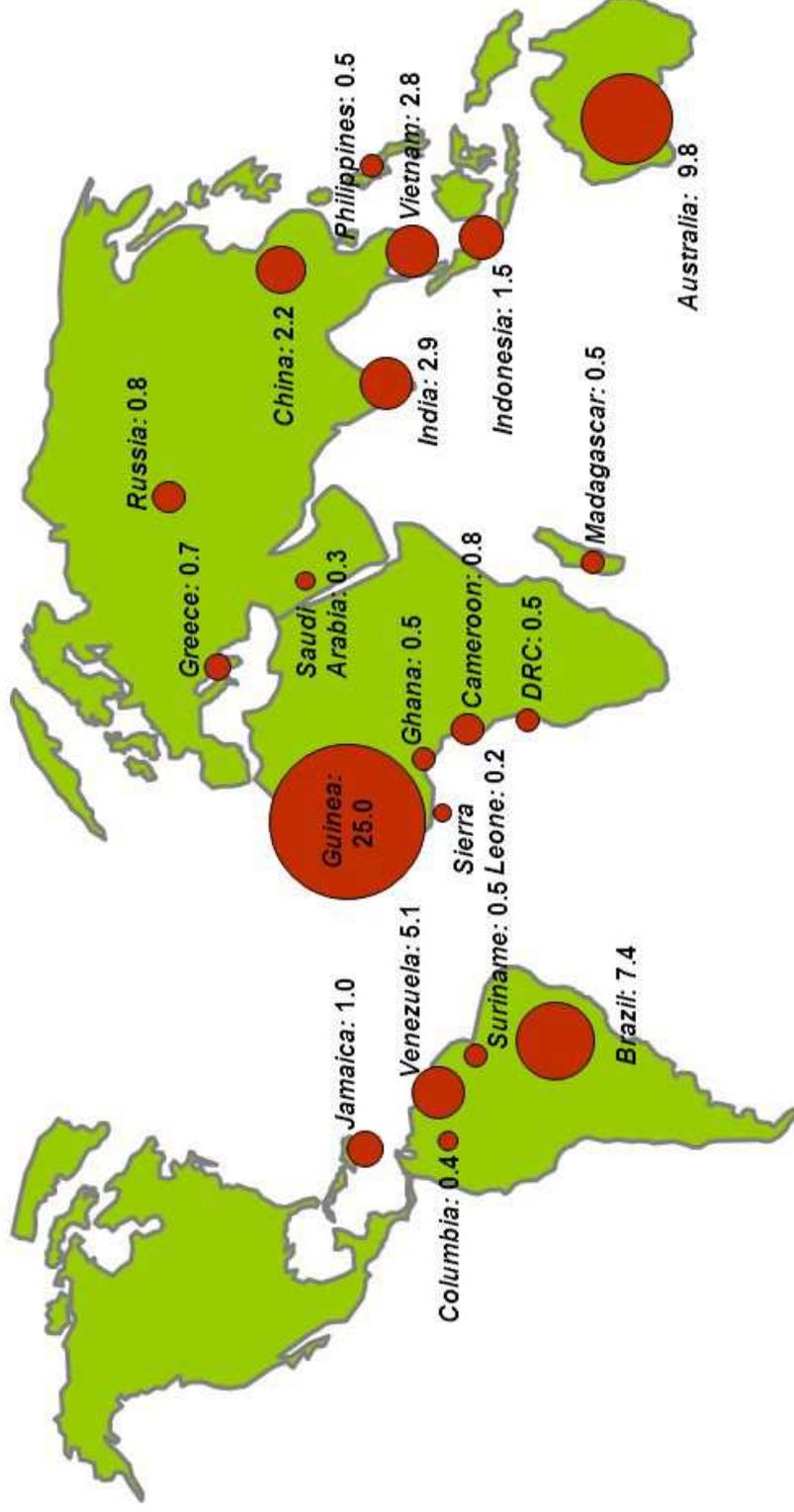
$E=210\text{ GPa}$

$T_{esc}=220-1600\text{MPa}$



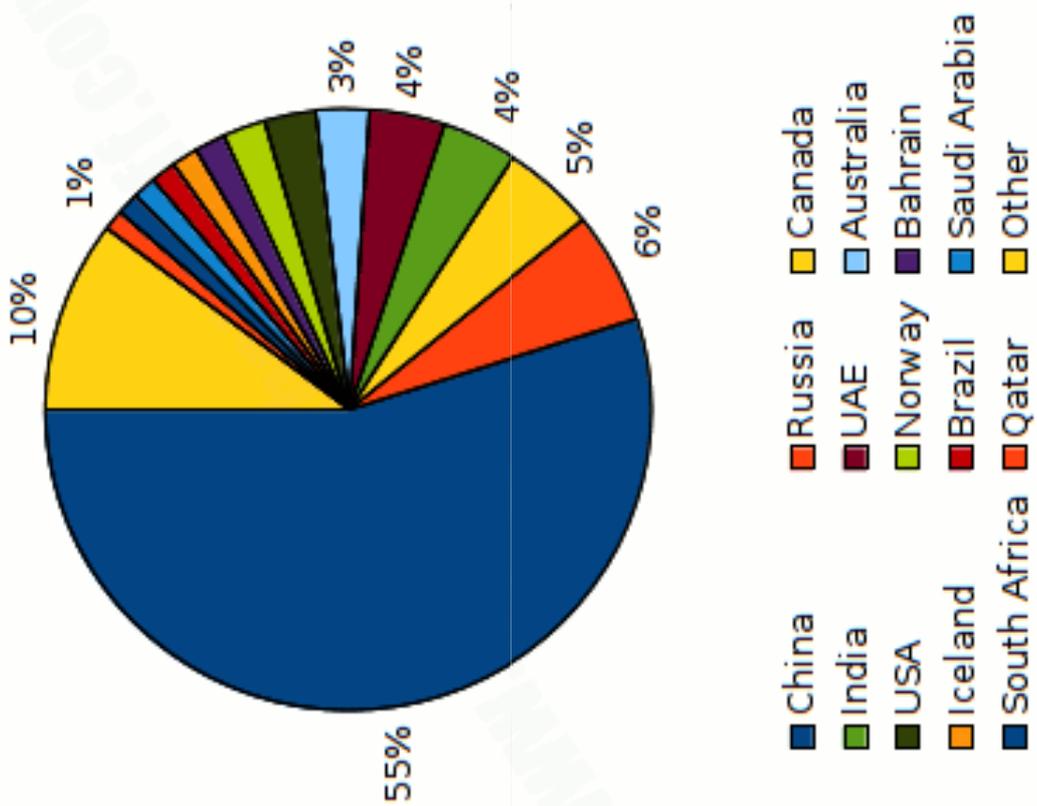
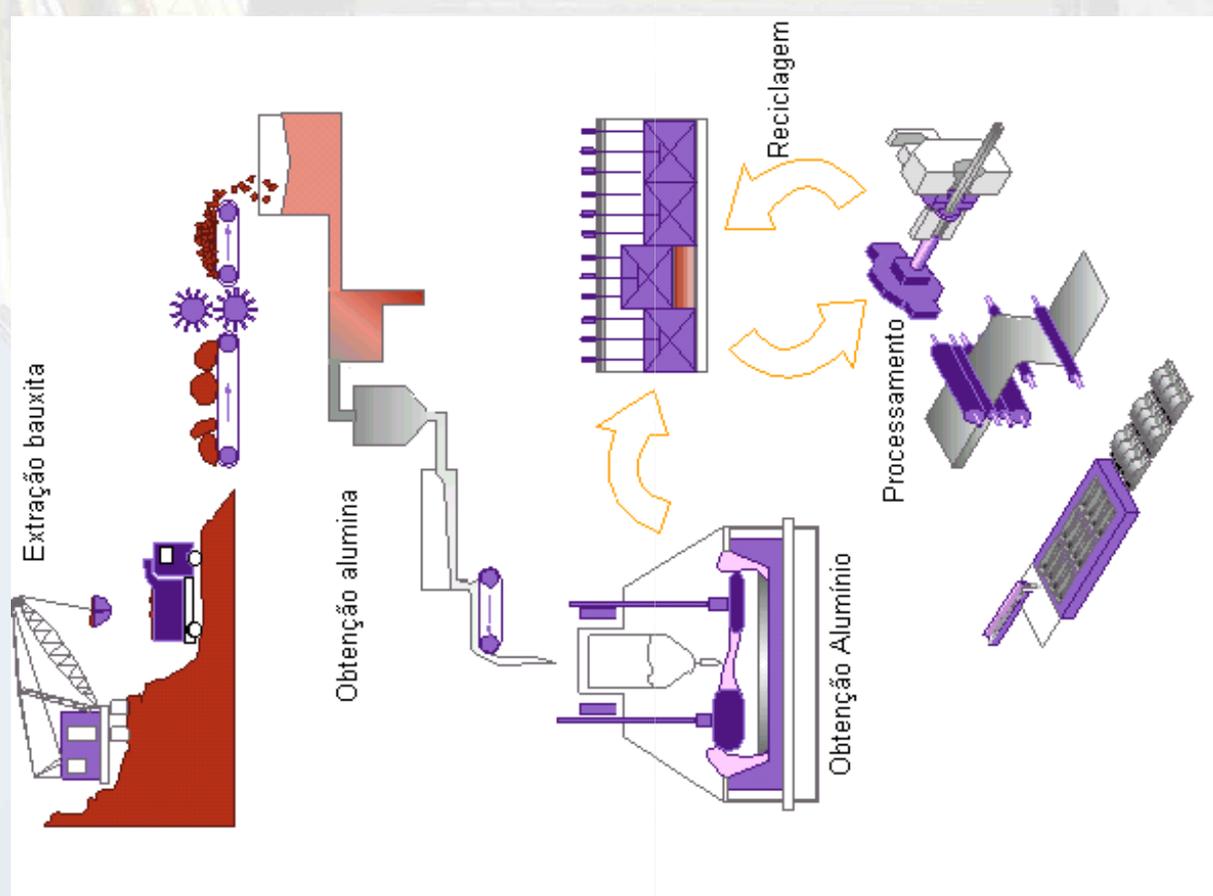
Alumínio e suas ligas

Países com maiores depósitos



Potenciais – em bilhões de toneladas

Fonte: [From IR presentation]



www.explainthatstuff.com

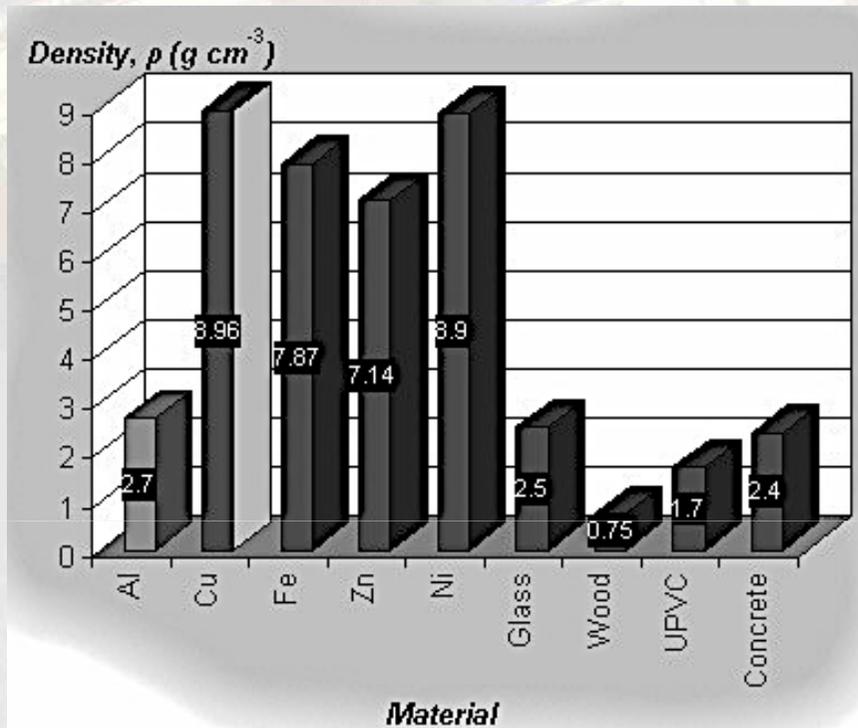


Welding of aluminum in automotive production with diode pumped solid state lasers (AUDI A8)



Características do Al:

- Cor prata
- baixa densidade
- Estrutura cristalina: CFC
- T_{fusão}- 660C
- maleável
- Resistência à corrosão/oxidação
- Boa condutividade térmica e elétrica
- Elevada refletividade ao calor e a luz

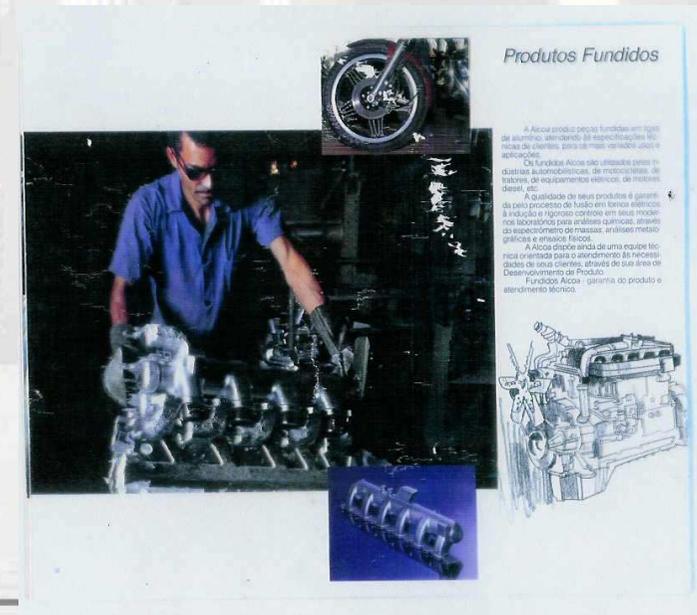


Al tem um elevado custo de extração a partir da bauxita; mesmo assim é o metal mais utilizado logo depois do aço. **Por quê?**

ALUMÍNIO E LIGAS

GENERALIDADES

- O alumínio é o metal mais abundante na crosta terrestre.
- O seu processamento é caro, tendo restringida a sua aplicação até meados do século XX, mas é um dos materiais mais usados atualmente
- Forma ligas com Mn, Cu, Mg, Si, Zn, Mn, Li, etc
- Algumas ligas possuem resistência mecânica superior aos aços estruturais.



PROPRIEDADES

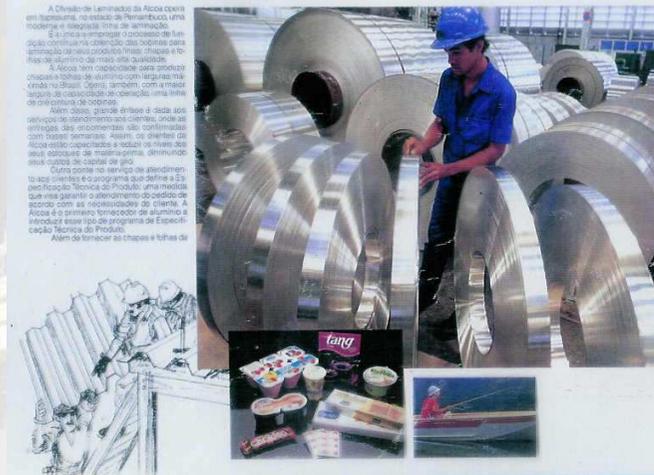
- Baixa densidade (1/3 do aço)
- Boa condut. térmica e elétrica
- Elevada resistência específica
- Grande ductilidade
- Fácil usinagem, fundição, soldagem e processamento em geral
- Boa resist. à corrosão
- Custo moderado

LaMaTS
DEMEC - UFPR

Engenharia de Superfícies

Produtos Laminados

melhor qualidade para o mercado interno, a Divisão de Laminados possui a grande esportadora para o mercado internacional de alumínio. Num estêreo contínuo, está o sistema de porta e suas produções, como também colábora para qualquer cliente exportar seus produtos onde foram empregadas folhas ou chapas de alumínio de sua produção.



Fabricados nas unidades de fabricação (FE), Pradama (Pangabo) (SP) e Sorocaba (SP) os extrudados Alcoa estão presentes nos mais diversos segmentos industriais. No campo de Arquitetura e Engenharia eles valorizam o trabalho e o investimento em forma de casilhos, portas, boxes para banheiros, divisórias, revestimentos de paredes,

Produtos Extrudados



tanos e persianas de alumínio. Mensalmente, a Alcoa produz mais de 1.500 toneladas de produtos de alumínio de formatos e bancos, lojas, residências, etc. Também como conjuntos elétricos, eles são peças importantes. Na esquadria da Linha Leste-Costa do Metal SP a Alcoa participa com boas condições a todos.

Na área de transportes, os extrudados Alcoa estão presentes em quase todas as comunidades fechadas. Em áreas de estocagem, eles são prova de fogo e sua resistência não oferece preocupação atmosférica.

No setor automobilístico, os extrudados Alcoa são indicados para a fabricação de radiadores, economizando energia e proporcionando maior eficiência de troca de calor. O atendimento às necessidades do cliente e a qualidade dos produtos primordiais que orientam a política da Alcoa.

Líder mundial em alumínio, a Alcoa Alumínio S.A. participa efetivamente dos mercados onde a exigência primordial é a elevada qualidade.

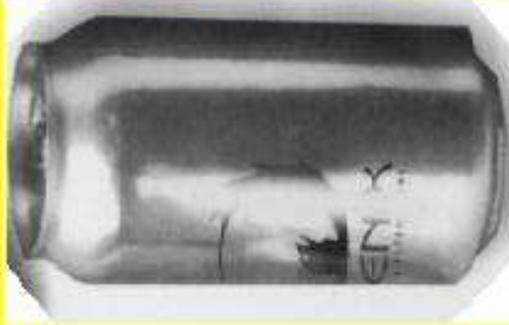


Aluminium Beverage Can

A



Can End (5XXXX Alloy – Mg rich)



Can Body (3XXXX Alloy – Mn rich)



Compare a resistência mecânica de:

- ① Al puro **vs** Fe puro
- ② Al puro **vs** Liga Al
- ③ Liga Al encruada **vs** liga de Al
- ④ Liga Al fundida **vs** liga Al fundida recozida

Como alterar as propriedades do Al puro?

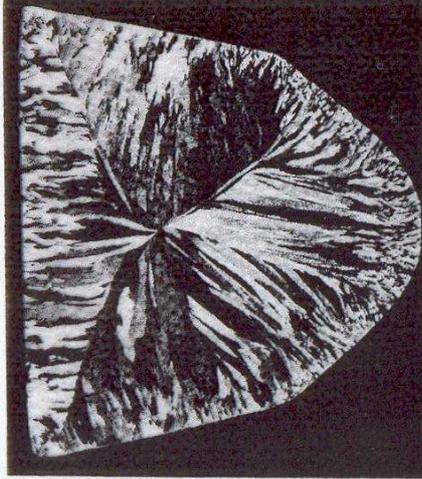
- Encruamento
- Refino de grão
- Solução sólida -> ligas de Al

Ligas de Al:

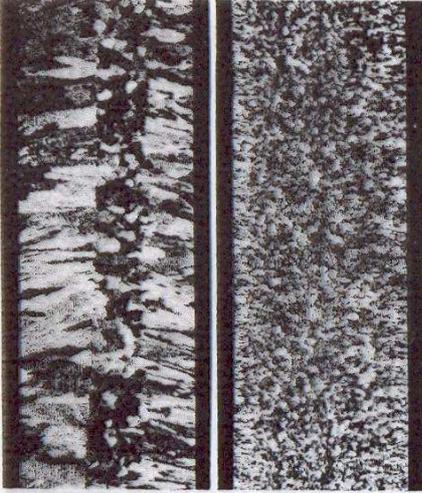
Fundidas

Trabalhadas:

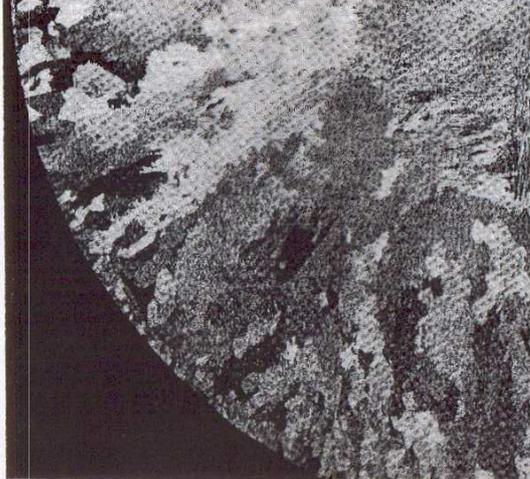
- tratáveis termicamente
- não tratáveis termicamente (1000, 3000 e 5000)



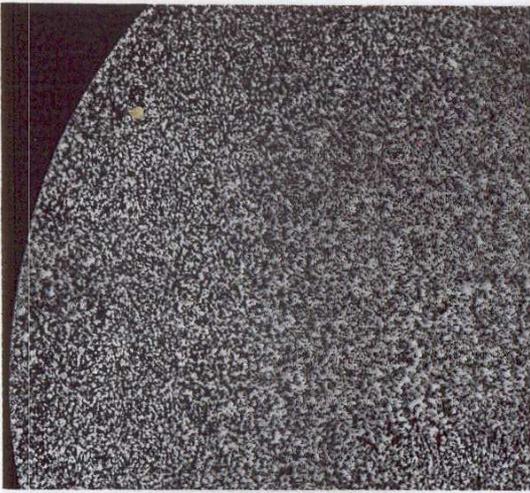
Tucker's reagent
3131 Transverse section through an ingot of alloy 1100 that was cast by the Properzi method (a wheel-and-belt method). Note the consistency with which columnar grains have grown perpendicularly to each face of the mold.



Actual size
3132 Longitudinal sections through 1-in.-thick slabs of alloy 1100 cast by the Hazlett method (a two-belt method). Upper slab was cast without the addition of a grain refiner; lower slab was cast with the addition of a grain refiner.



Tucker's reagent
3134, 3135 Portions of transverse sections through two 6-in.-diam ingots of alloy 6063 that were direct-chill semicontinuous cast. Ingot at left (3134) was cast without addition of a grain refiner; note columnar grains, and colonies of featherlike crystals near the center of the section. Ingot at right (3135), which shows a fine, equiaxed grain structure, was cast with the addition of a grain refiner.



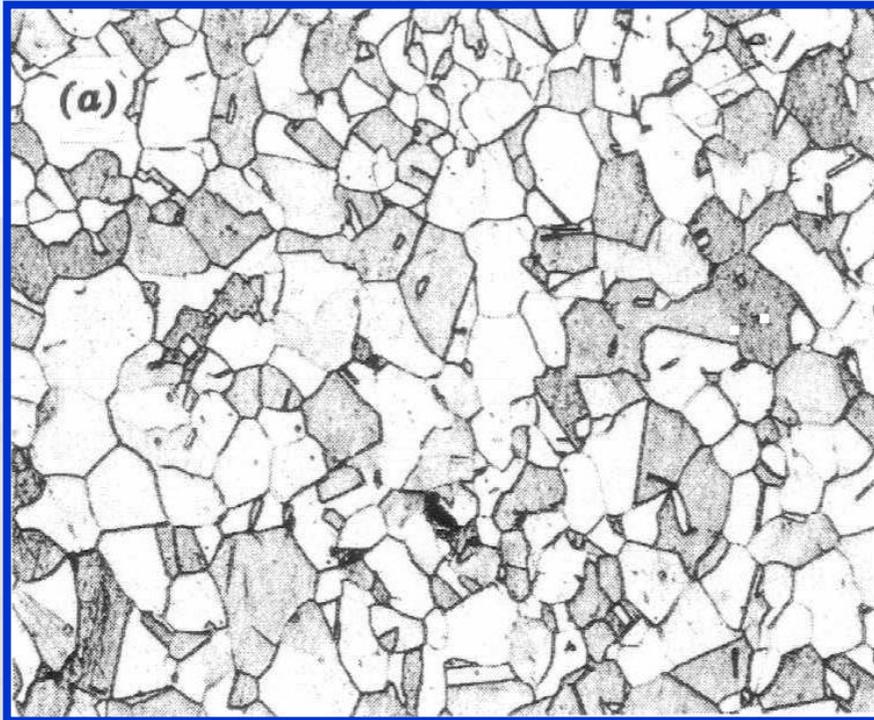
Actual size

Table 4 Solid-solution effects on strength of principal solute elements in super-purity aluminum

Element	Difference in atomic radii, $r_x - r_{Al}$, % (a)	Strength/addition values (b)			Tensile strength/% addition (d)				
		MPa/at %	Yield strength/% addition (c) ksi/at %	MPa/at %	ksi/at %	MPa/wt %	ksi/wt %		
Si	-3.8	9.3	1.35	9.2	1.33	40.0	5.8	39.6	5.75
Zn	-6.0	6.6	0.95	2.9	0.42	20.7	3.0	15.2	2.2
Cu	-10.7	16.2	2.35	13.8	2.0	88.3	12.8	43.1	6.25
Mn	-11.3	(e)	(e)	30.3	4.4	(e)	(e)	53.8	7.8
Mg	+11.8	17.2	2.5	18.6	2.7	51.0	7.4	50.3	7.3

(a) Listed in order of increasing percent difference in atomic radii. (b) Some property-percent addition relationships are nonlinear. Generally, the unit effects of smaller additions are greater. (c) Increase in yield strength (0.2% offset) for 1% (atomic or weight basis) alloy addition. (d) Increase in ultimate tensile strength for 1% (atomic or weight basis) alloy addition. (e) 1 at% of manganese is insoluble.

Estrutura trabalhada (estrutura de grãos)



➤ Melhor controle da microestrutura e das propriedades

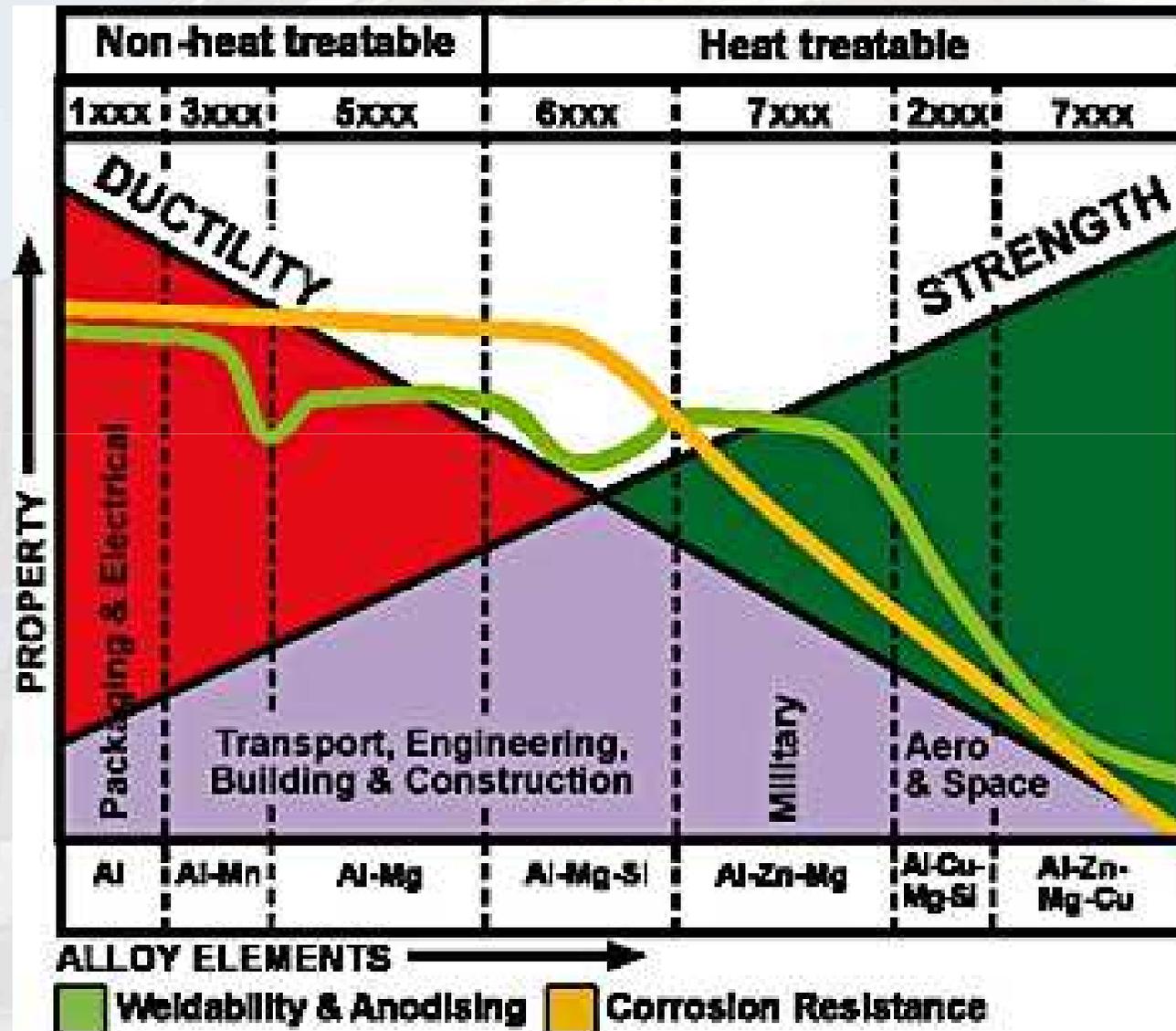
Estrutura fundida (estrutura dendrítica)



❖ Estrutura menos homogênea

Classificação Al e suas ligas

Aplicações



Classificação Al e suas ligas

Principal elemento de liga	Trabalhadas	Fundidas
Puro (99%Al)	1XXX	1XX,X
Cobre	2XXX	2XX,X
Manganês	3XXX	3XX,X Si, Cu e/ou Mg
Silício	4XXX	4XX,X
Magnésio	5XXX	5XX,X
Magnésio+Silício	6XXX	
Zinco	7XXX	7XX,X
Lítio	8XXX	8XX,X Sn
Outros elementos.		9XX,X

NOMENCLATURA E SIMBOLOGIA DAS TRANSFORMAÇÕES ESTRUTURAIS - **LIGAS TRABALHADAS-**

“**F**” como fabricado, não sofreu tratamento nenhum

“**O**” Sofreu recozimento para recristalização para eliminar encruamento

“**H**” Ligas que sofreram tratamento mecânico para encruamento

“**T**” Ligas que sofreram tratamento térmicos

LIGAS QUE SOFRERAM TRATAMENTO MECÂNICO PARA ENCRUAMENTO

HXX

$X_1 = 1, 2, 3$ refere-se as operações sofridas

$X_2 = 2, 4, 6, 8$ dá o grau de encruamento

NOMENCLATURA E SIMBOLOGIA DAS TRANSFORMAÇÕES ESTRUTURAIS - LIGAS TRABALHÁVEIS-

2 - 1/4 duro

6 - 3/4 duro

4 - 1/2 duro

8 - duro

“H12” 1/4 duro (somente encruamento)

“H14” 1/2 duro (somente encruamento)

“H16” 3/4 duro (somente encruamento)

“H18” duro (somente encruamento)

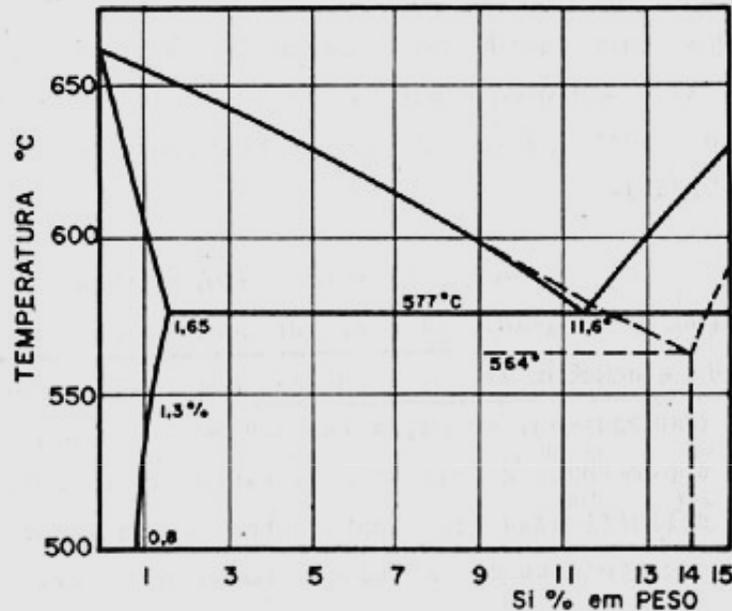
“H19” extra-duro (somente encruamento)

“H22, H24” encruado e depois recozido parcialmente

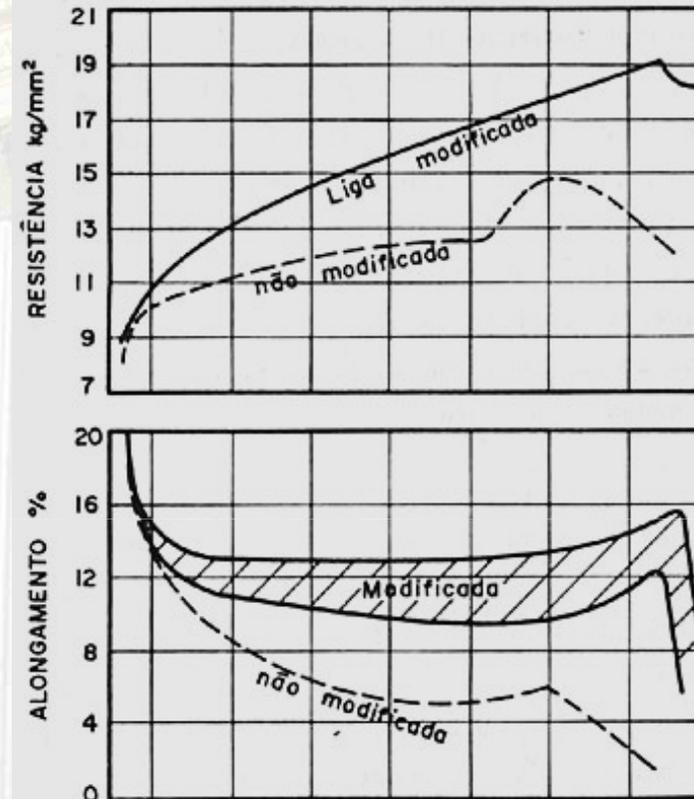
“H32, H34” encruado e estabilizado

Ligas Fundidas

Liga Al-Si (bloco de motor)

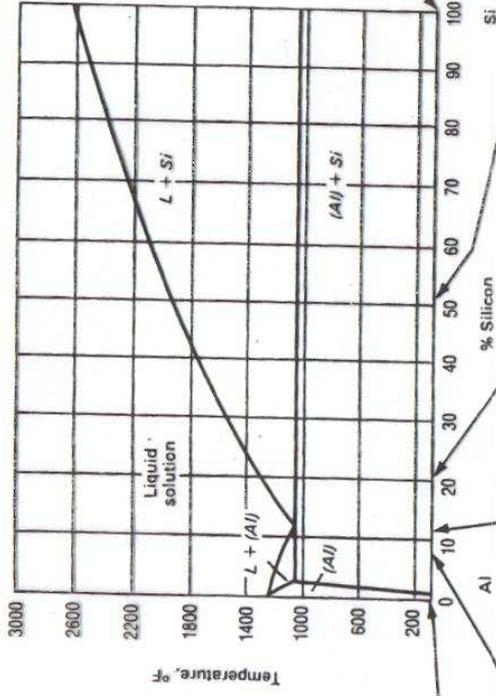


Qual a estrutura da liga Al-7%Si?
E da liga Al-13%Si?

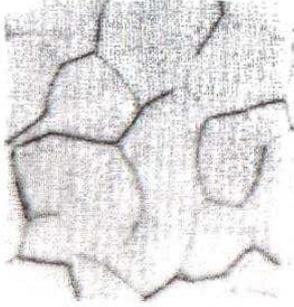


Liga modificada com Na - Em ligas sem a adição de sódio, o silício apresenta-se na forma de plaquetas. Adição de Na ao invés de se formarem plaquetas formam-se glóbulos de silício.

O Ponto eutético é deslocado para T menores e maiores concentrações



99.95% Al



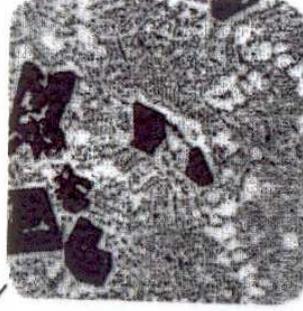
100% Si



8% Si



12% Si



20% Si



50% Si

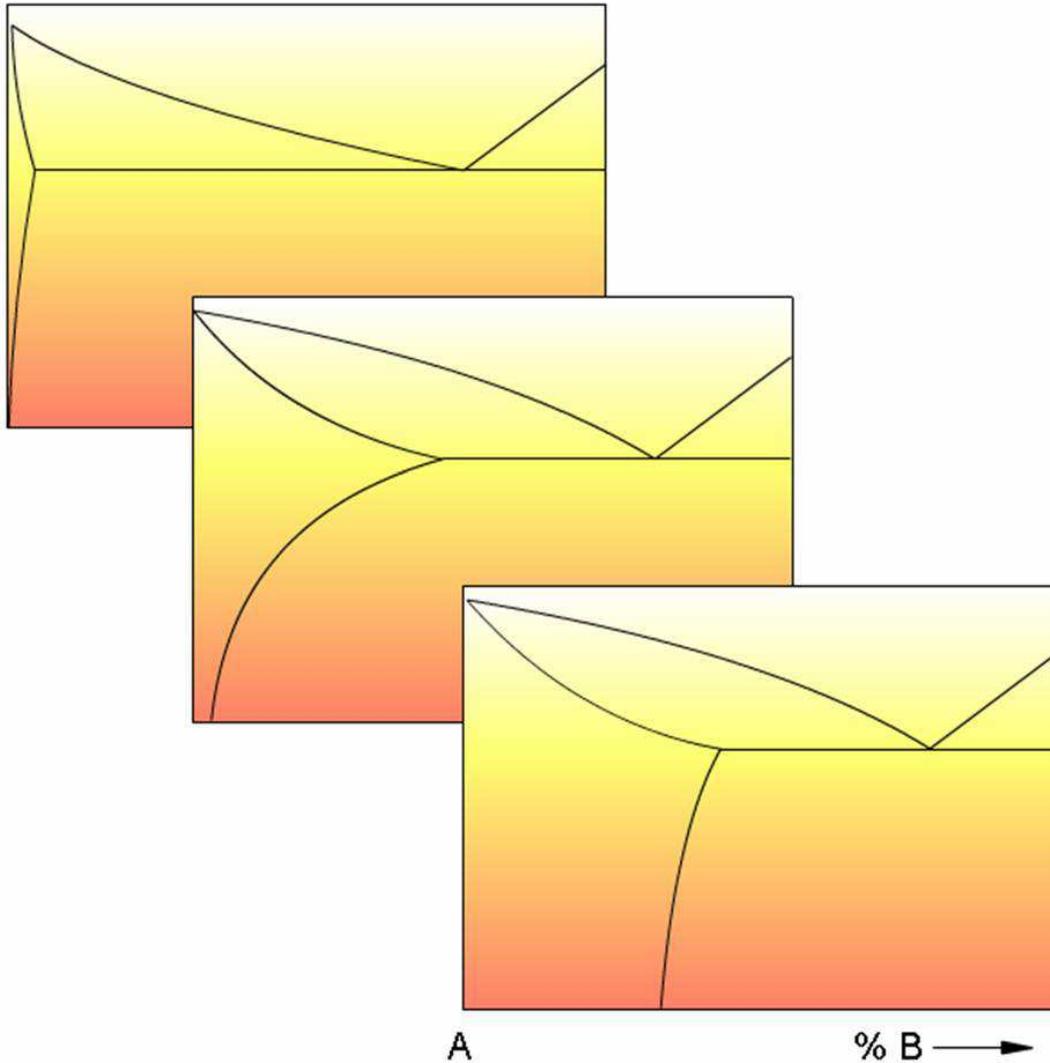
1 Aluminum-silicon phase diagram and cast microstructures of pure components and of alloys of various compositions. Alloys with less than 12% Si are referred to as hypoeutectic, those with close to 12% Si as eutectic, and those with over 12% Si as hypereutectic.





❖ Ligas Al e seus TT

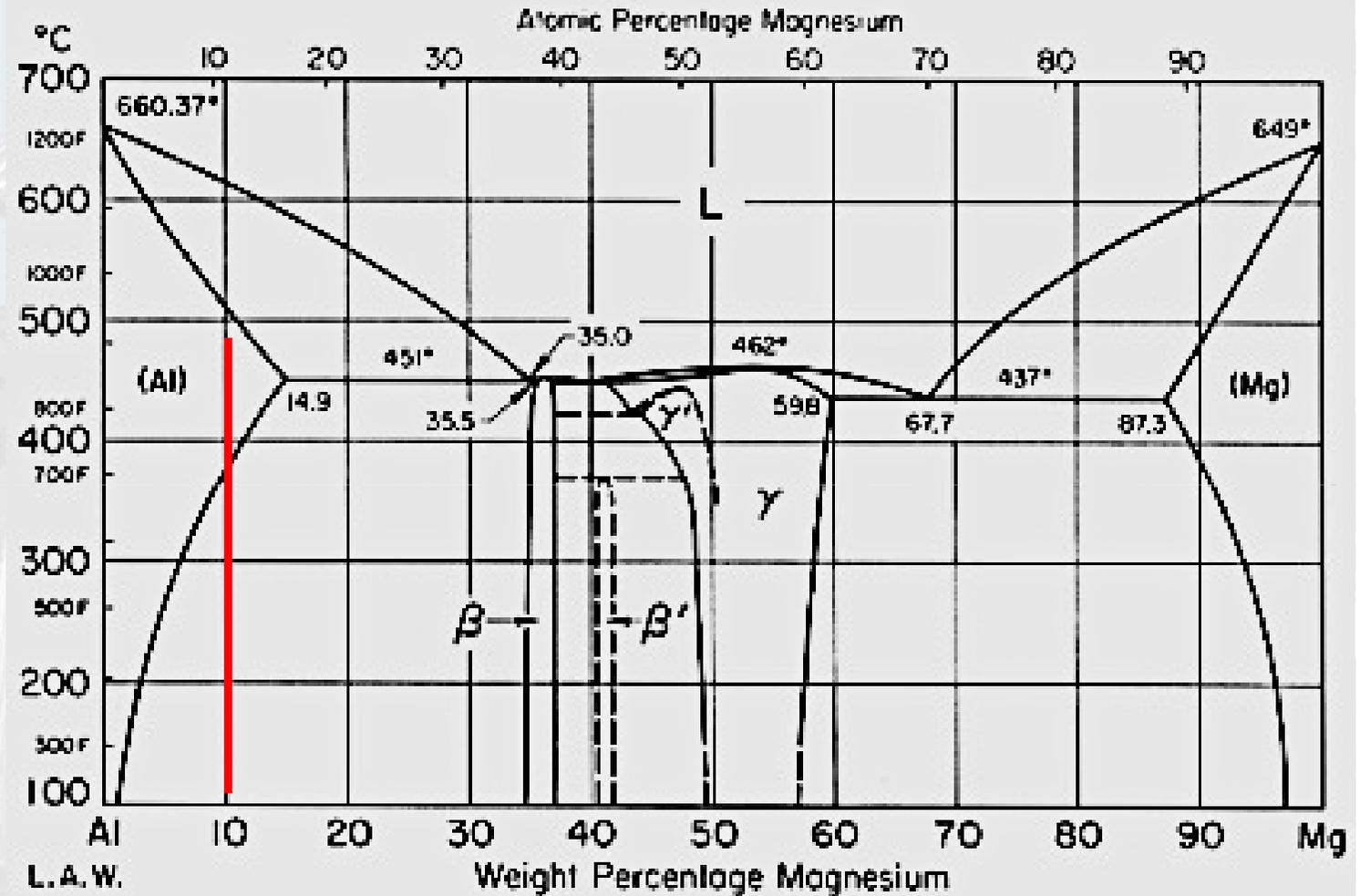
Temperature / T



Qual dos sistemas é mais adequado a tratamentos de solubilização e envelhecimento?

Ligas Trabalhadas e TT

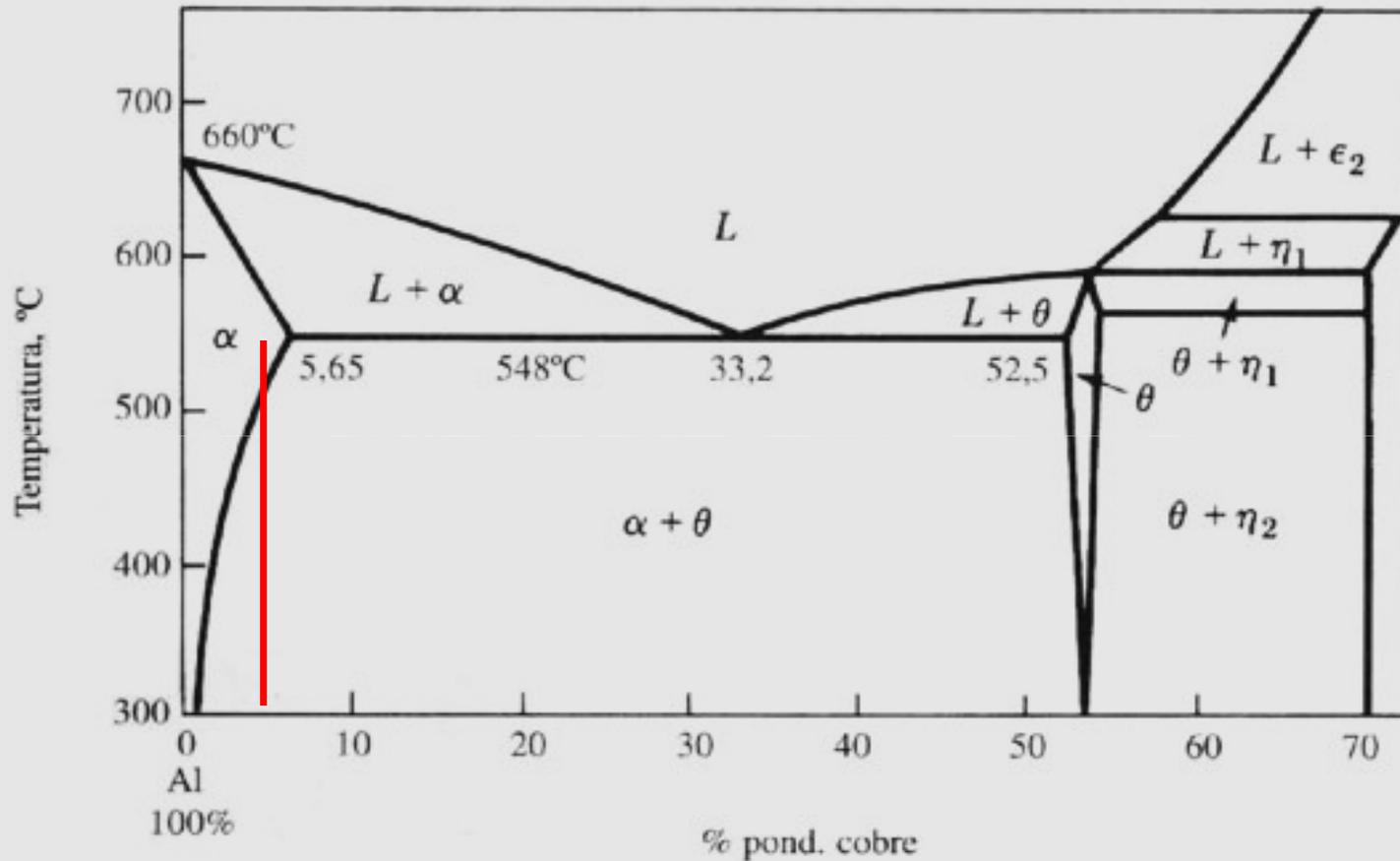
Liga Al-Mg



Qual a microestrutura esperada para a liga Al-10wt%Mg em condições de equilíbrio?

Ligas Trabalhadas e TT

Liga Al-Cu

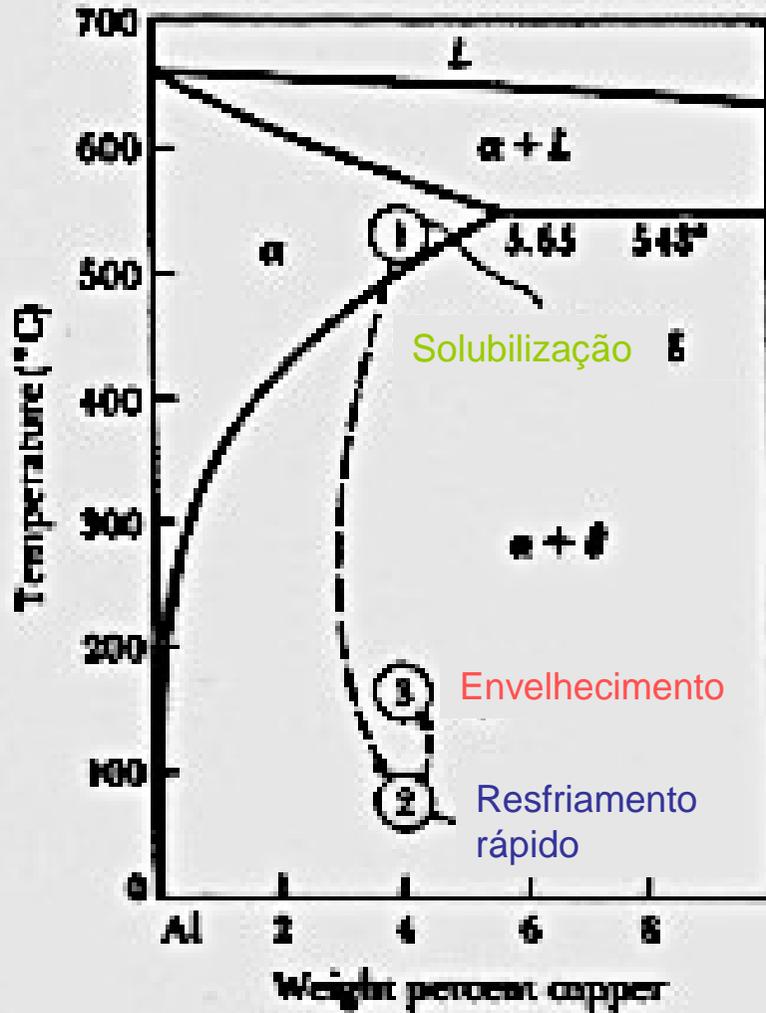


Qual a microestrutura esperada para a liga Al-4wt%Cu em condições de equilíbrio?

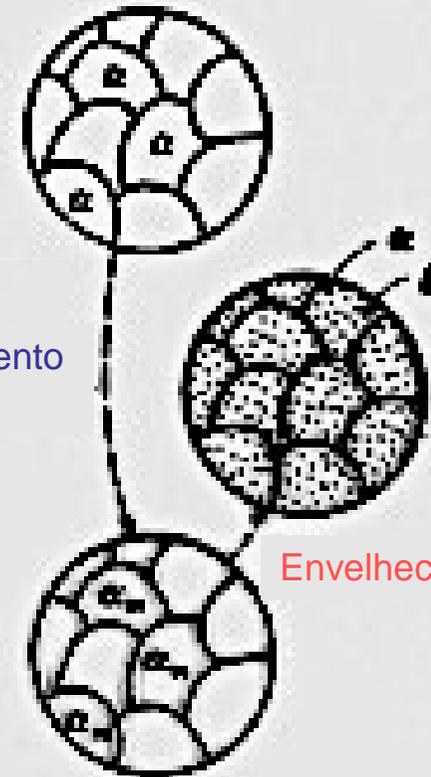
E fora do equilíbrio?

Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Solubilização e envelhecimento/precipitação

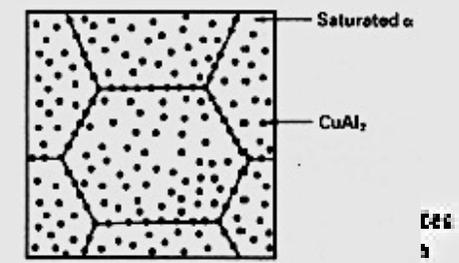
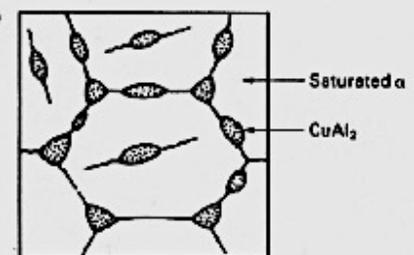
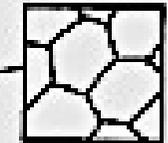
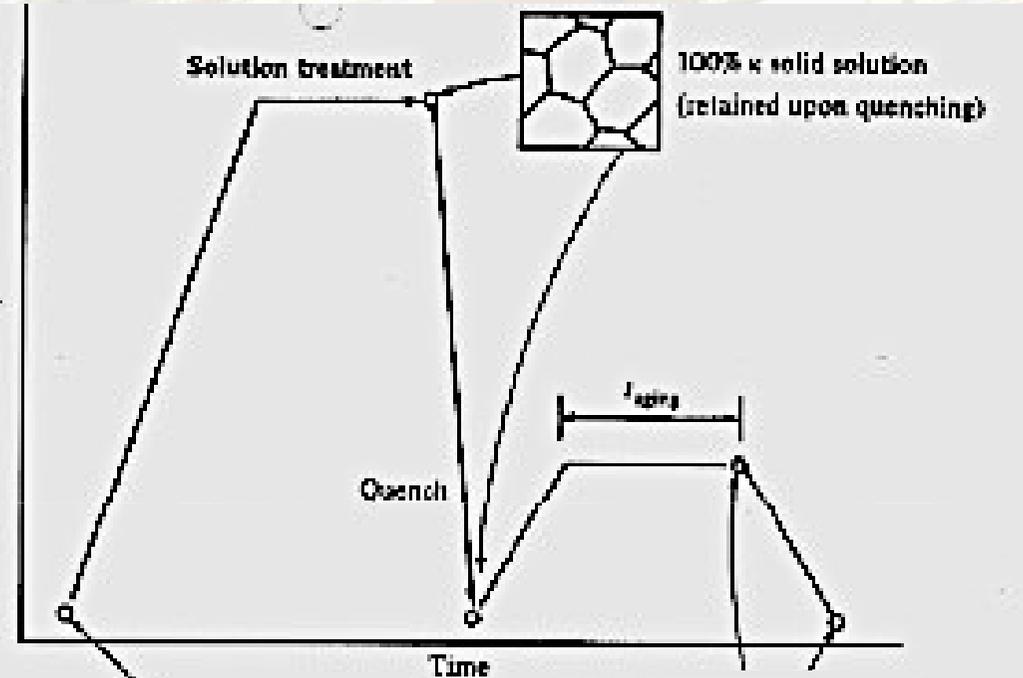
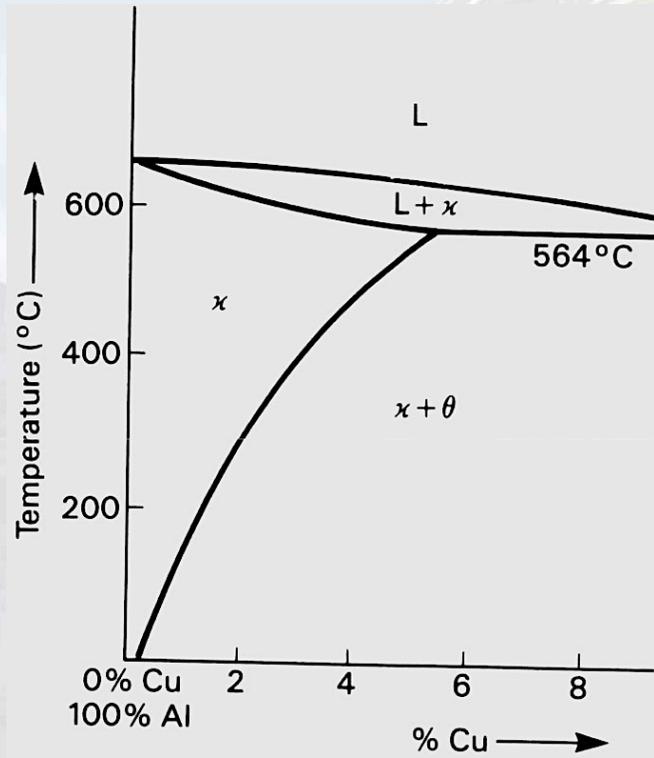


Resfriamento rápido



Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Solubilização e envelhecimento/precipitação



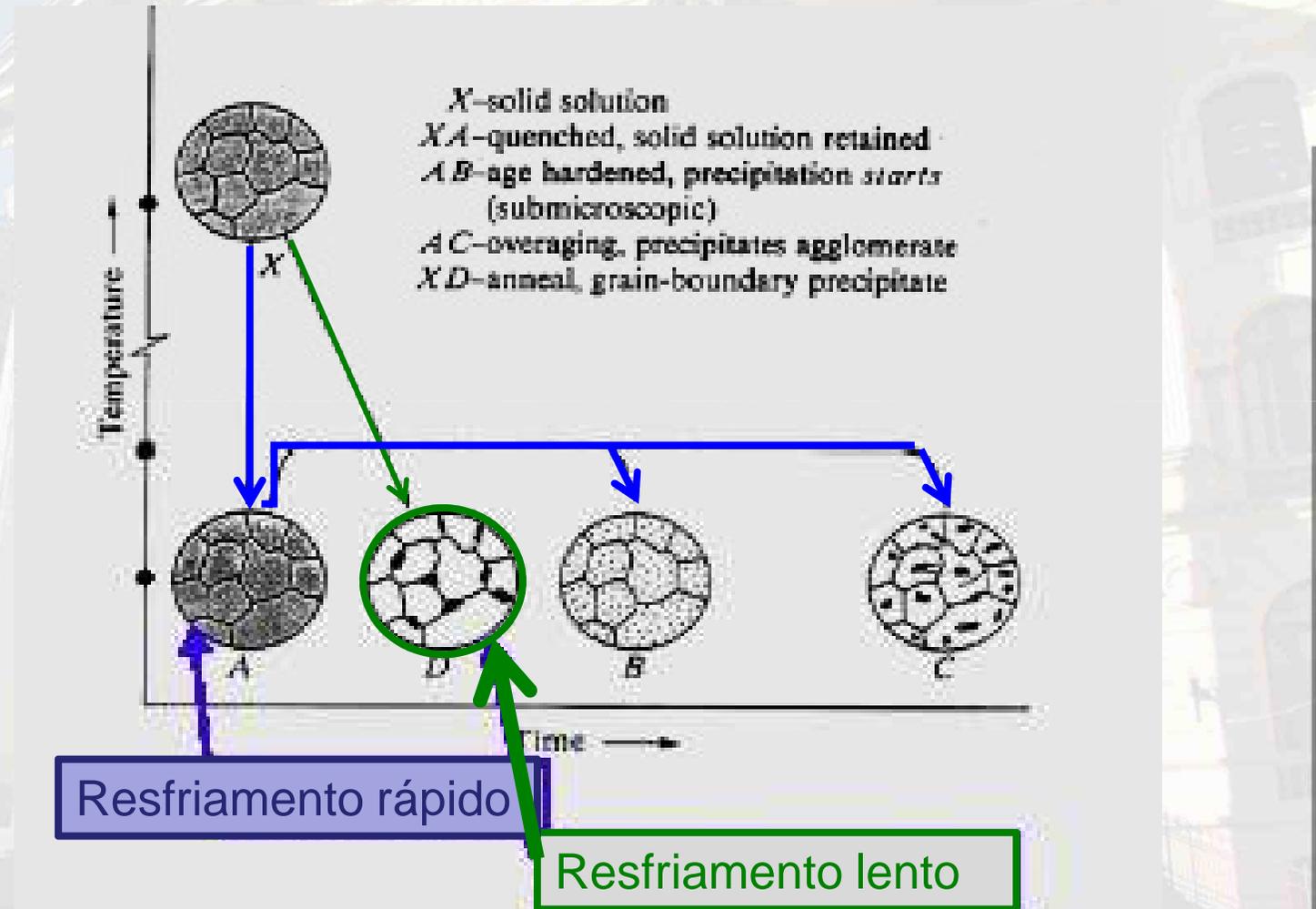
Microestrutura de equilíbrio com o precipitado grosseiro θ nos contornos de grão

Fina dispersão de precipitados no interior dos grãos

E se encruar a SSS e depois envelhecer, vai mudar alguma coisa?

Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Solubilização e envelhecimento/precipitação



Nomenclatura de ligas Al tratáveis termicamente

T1” Esfriada de uma temperatura elevada de um processo de conformação mecânica, encruada e envelhecida naturalmente.

T2” Esfriada de uma temperatura elevada de um processo de conformação mecânica, encruada e envelhecida naturalmente

T3” Tratada termicamente para solubilização, trabalhada a frio e envelhecimento natural.

T4” Tratada termicamente para solubilização e envelhecimento natural.

T5” Esfriada de uma temperatura elevada de um processo de conformação mecânica e envelhecida artificialmente .

T6” Tratado por solubilização e envelhecido artificialmente

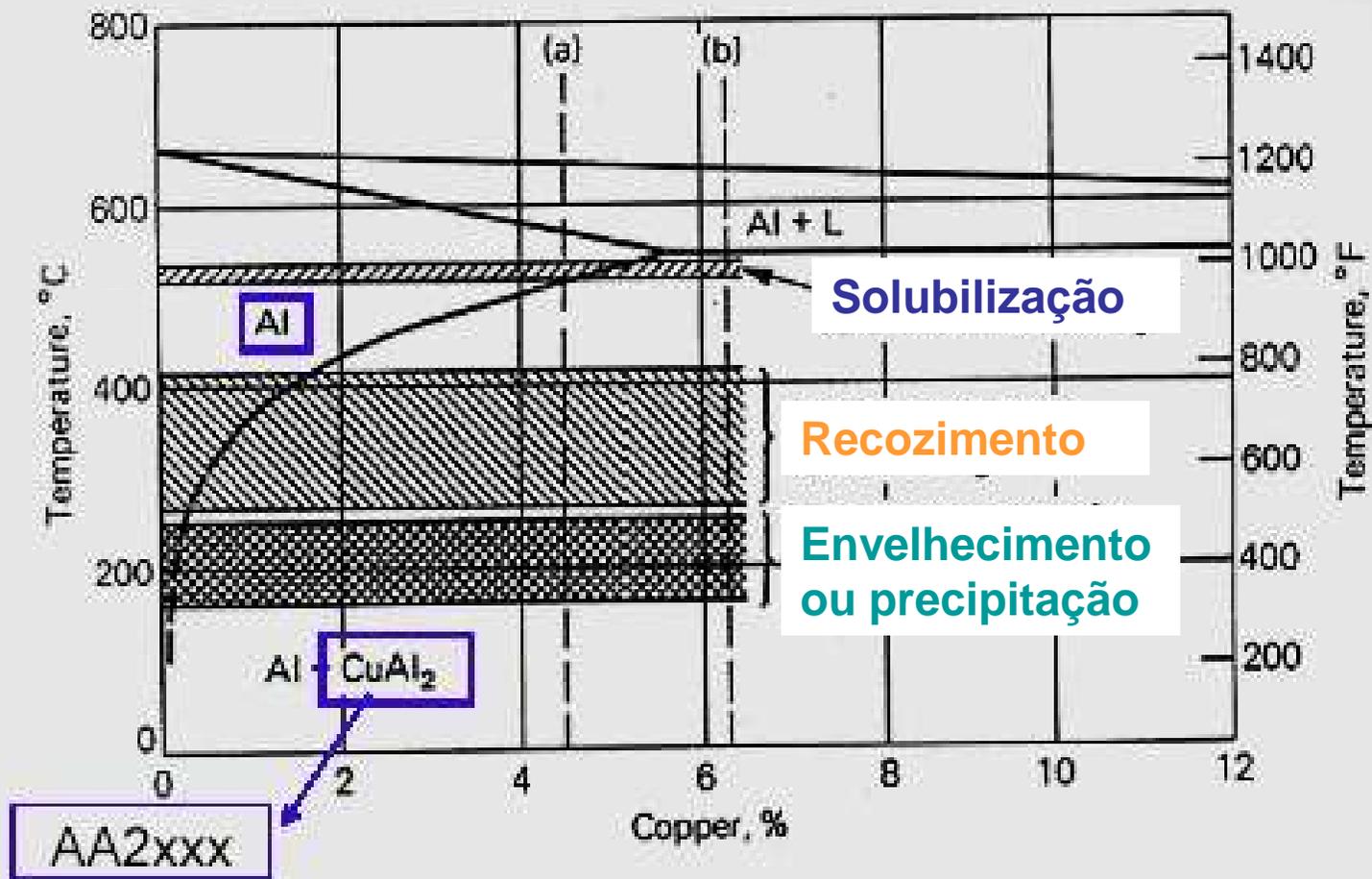
T7” Tratado por solubilização e superenvelhecido/ estabilizado.

T8” Tratado por solubilização, trabalhado a frio e envelhecido artificialmente

Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Solubilização e envelhecimento/precipitação

Temperaturas de tratamento



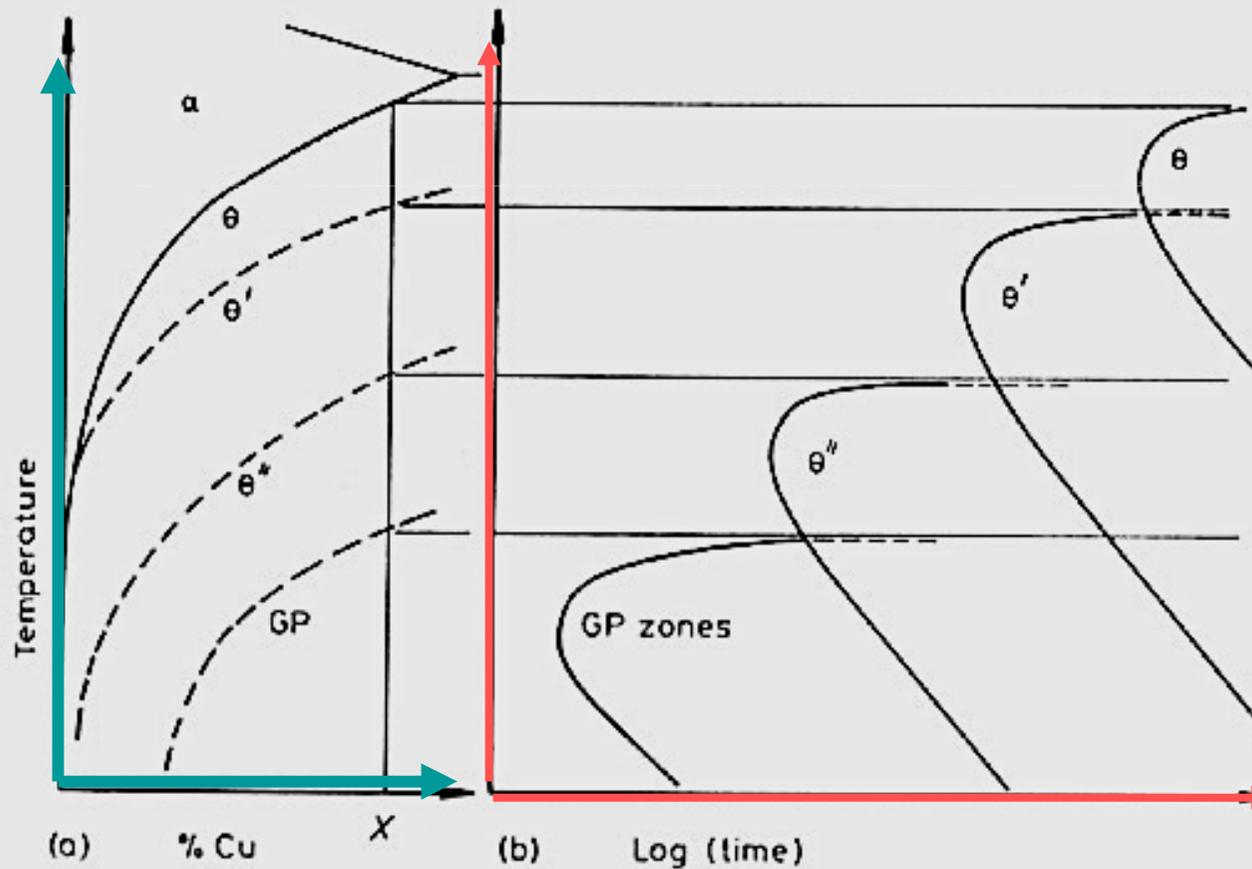
Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Solubilização e envelhecimento/precipitação

Fases de transição – sequência de precipitação



No Envelhecimento:



Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Envelhecimento/precipitação

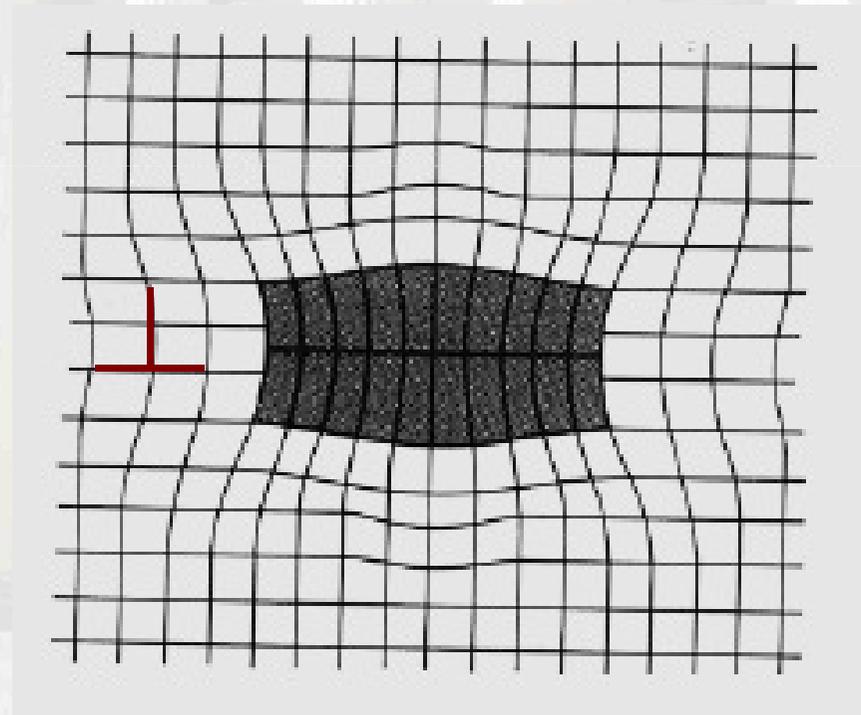
Fases de transição – sequência de precipitação

$\alpha_{ss} \rightarrow \alpha_1 + \text{zonas GP} \rightarrow \alpha_2 + \theta'' \rightarrow \alpha_3 + \theta' \rightarrow \alpha_4 + \theta$

Zonas GP

Interfaces coerentes com a matriz

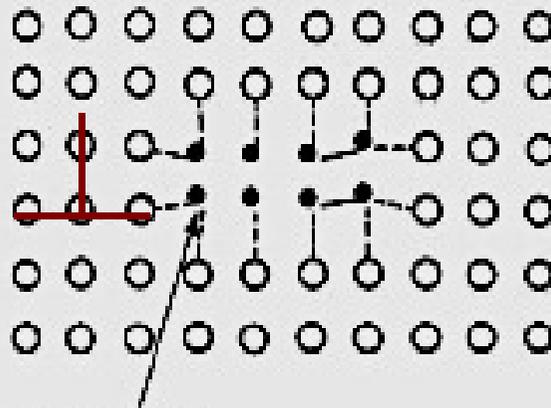
Aproximadamente duas camadas de átomos



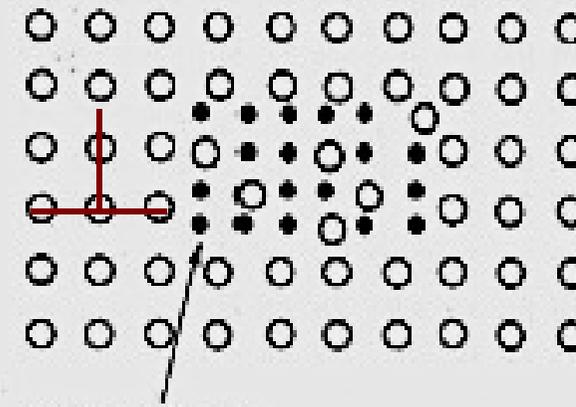
Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Envelhecimento/precipitação

Fases de transição – sequência de precipitação



Precipitado coerente



Precipitado incoerente

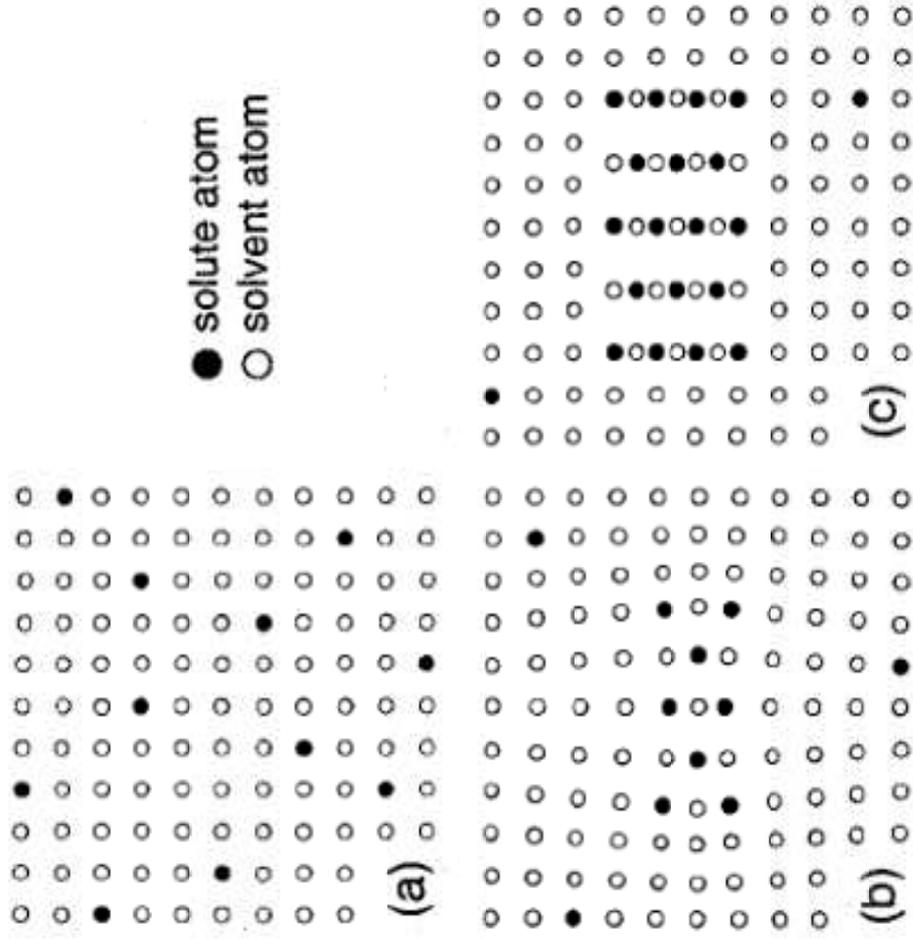


Figure 15.5 Three types of structure in Al-Cu precipitation hardening: (a) supersaturated solid solution; (b) coherent metastable phase; (c) incoherent equilibrium phase. From Guy (7).

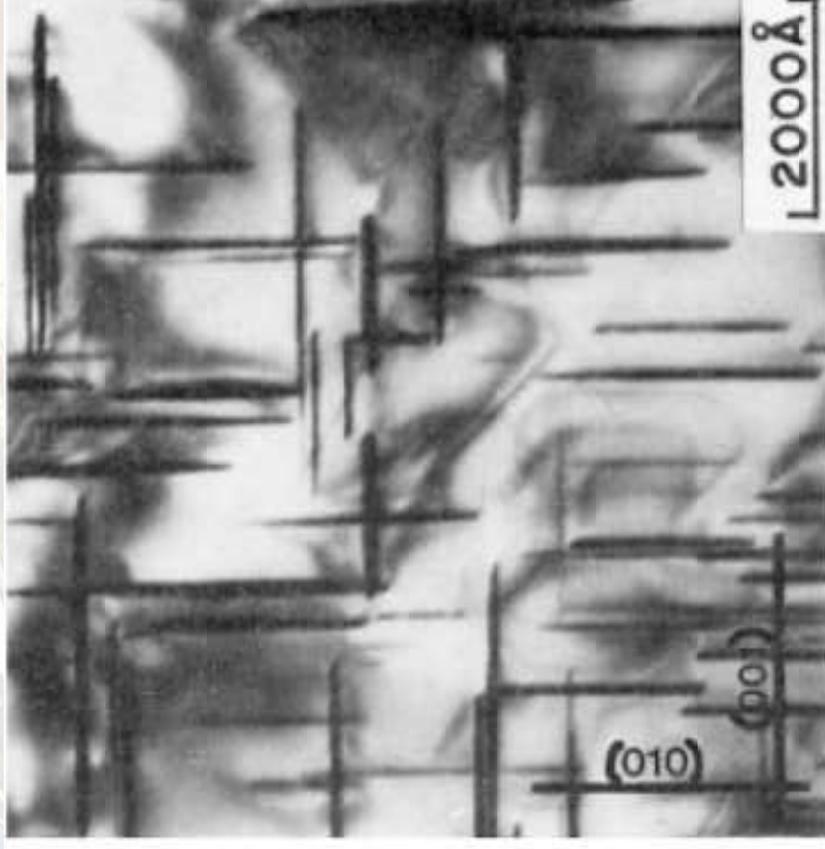


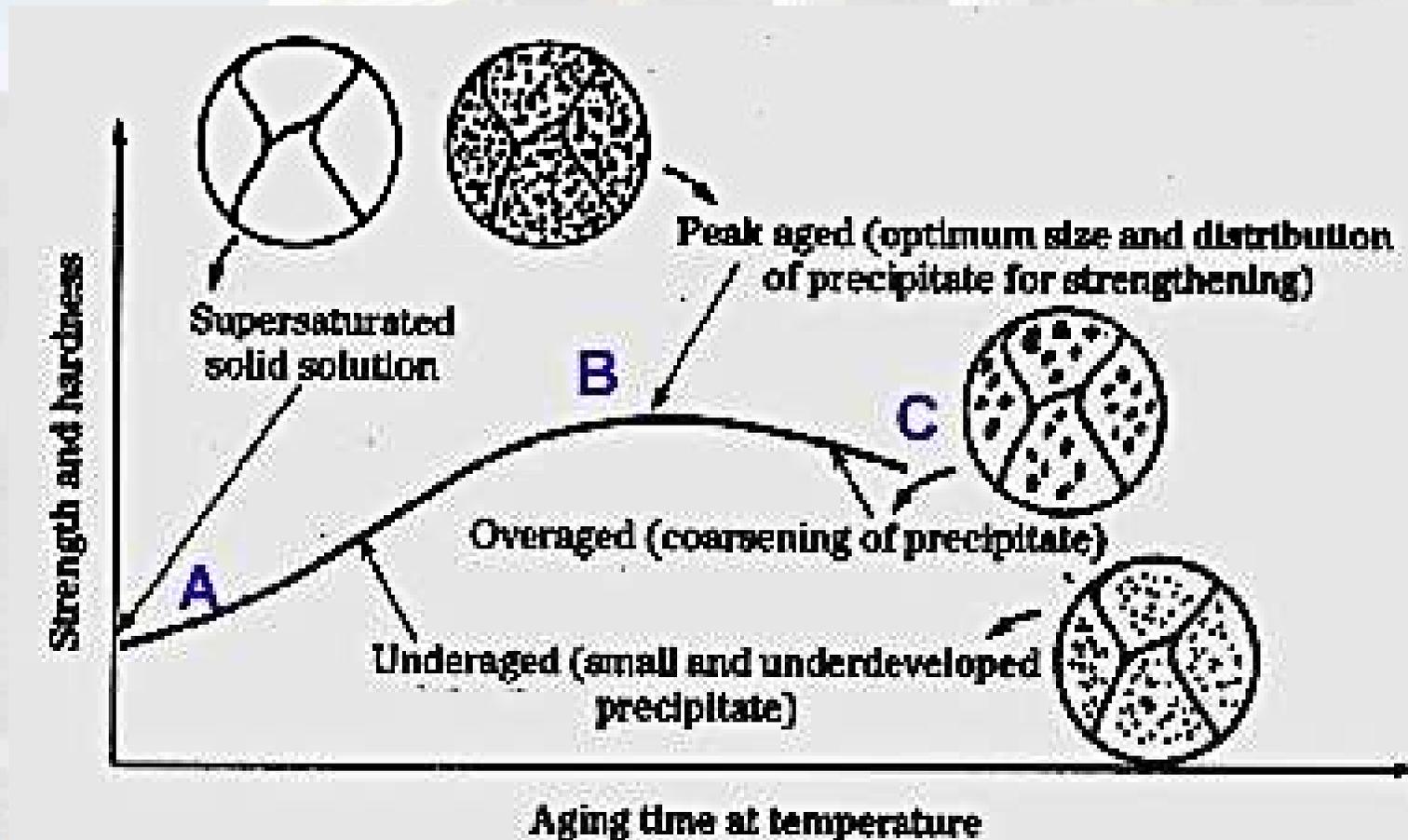
Figure 15.3 Transmission electron micrograph of a 2219 aluminum heat treated to contain θ' phase. From Dumolt et al. (5).

Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Envelhecimento/precipitação

Efeito sobre as propriedades mecânicas

- tempo de envelhecimento

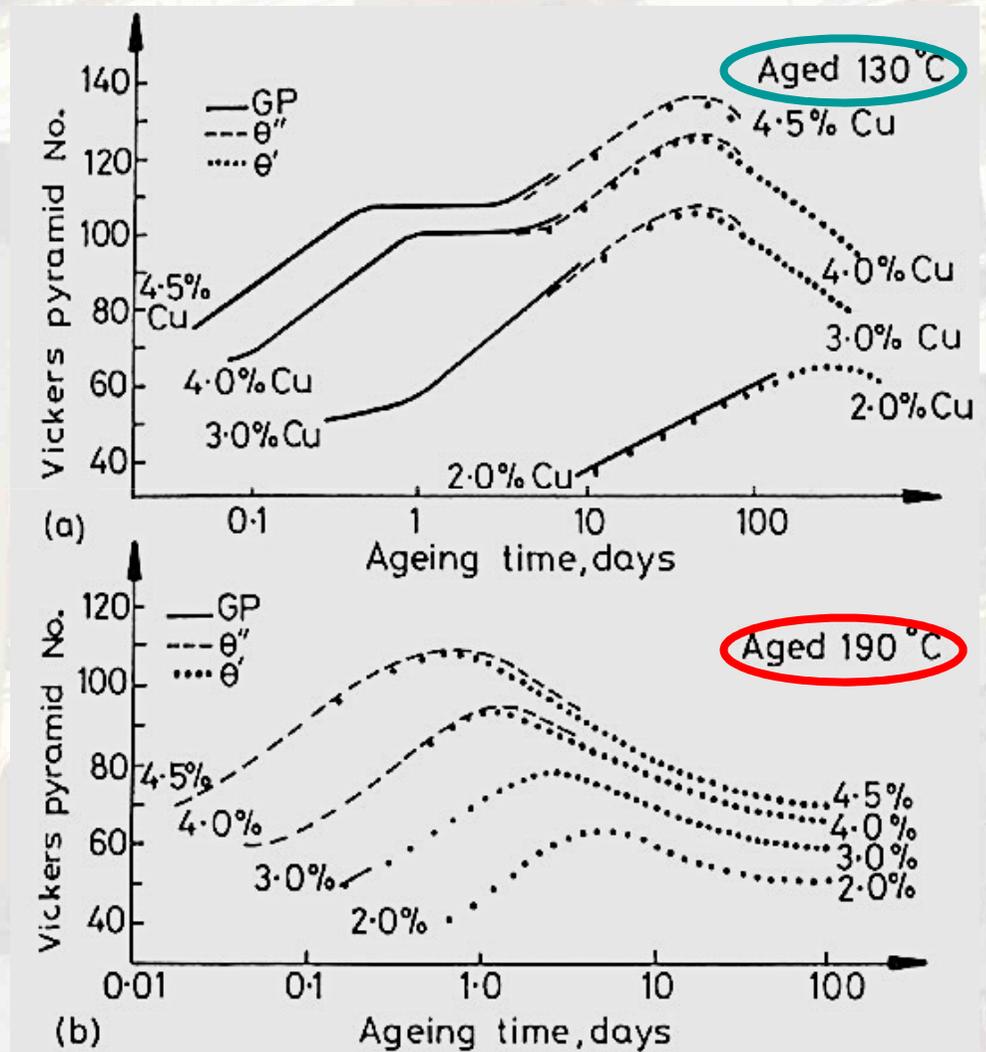
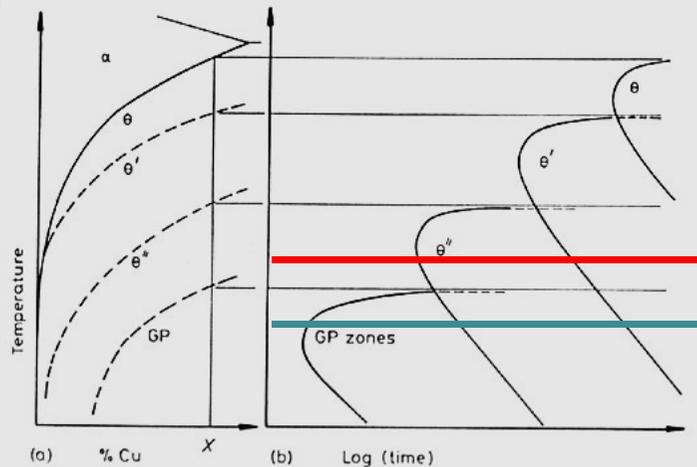


Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Envelhecimento/precipitação

Efeito sobre as propriedades mecânicas

- papel do tempo e da temperatura de envelhecimento

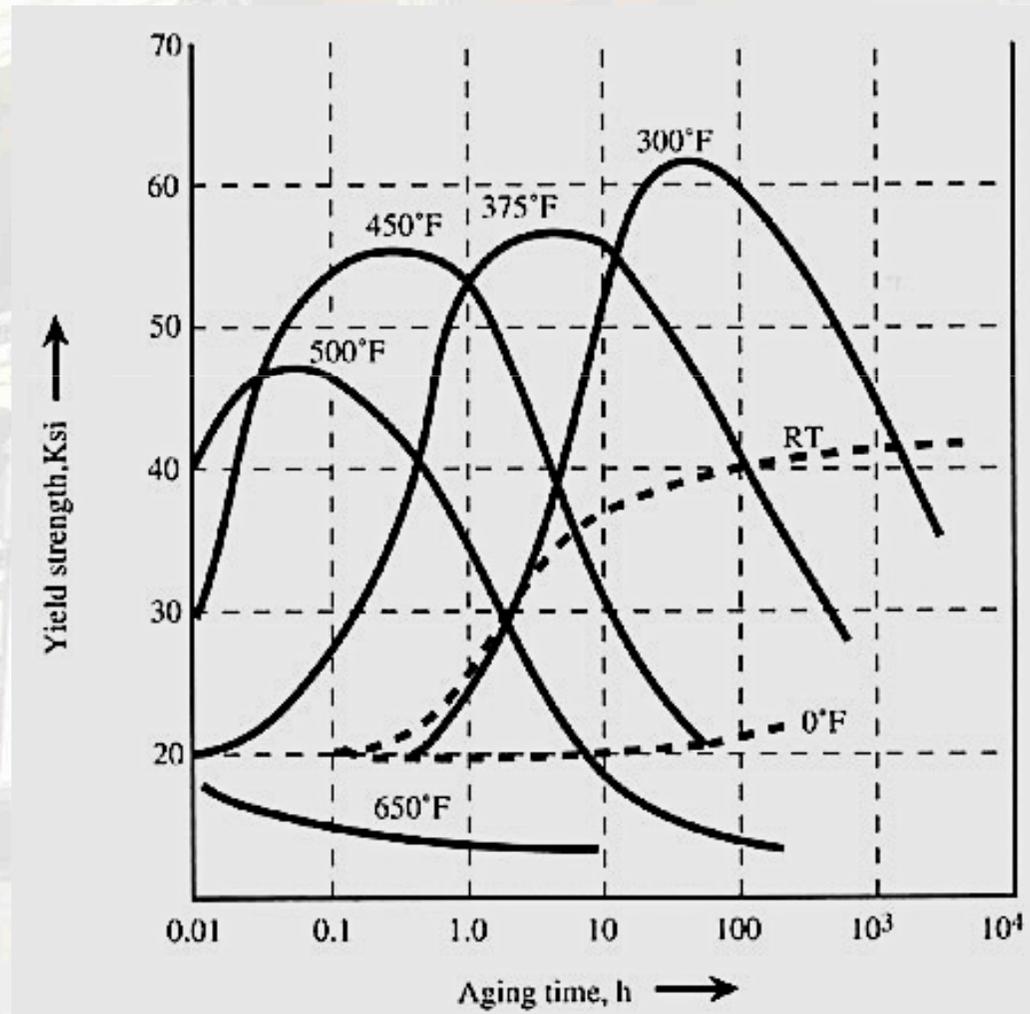


Ligas Trabalhadas

Liga 2014 (Al-Cu) – Envelhecimento/precipitação

Efeito sobre as propriedades mecânicas

- papel do **tempo** e da **temperatura**



Ligas Trabalhadas

Liga Al-Cu – Envelhecimento/precipitação

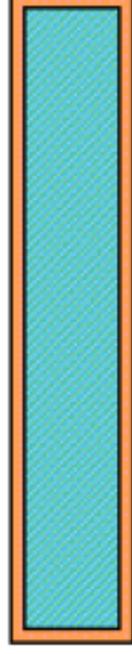
Outras ligas que apresentam fases de transição:

Al-Ag	GPZ (spheres) \rightarrow γ' (plates) \rightarrow γ (Ag_2Al)
Al-Cu	GPZ (discs) \rightarrow θ'' (discs) \rightarrow θ' (plates) \rightarrow θ (CuAl_2)
Al-Cu-Mg	GPZ (rods) \rightarrow S' (laths) \rightarrow S (CuMgAl_2) (laths)
Al-Zn-Mg	GPZ (spheres) \rightarrow η' (plates) \rightarrow η (MgZn_2) (plates or rods)
Al-Mg-Si	GPZ (rods) \rightarrow β' (rods) \rightarrow β (Mg_2Si) (plates)
Cu-Be	GPZ (discs) \rightarrow γ' \rightarrow γ (CuBe)
Cu-Co	GPZ (spheres) \rightarrow β (Co) (plates)

PROPRIEDADES QUÍMICAS DO Al

- CORROSÃO -

- O Alumínio é resistente à corrosão quando exposto ao ar, devido à formação espontânea de Al_2O_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 Al_2O_3 .

PROPRIEDADES DA ALUMINA (Al_2O_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, HNO₃, H₂SO₄)
- Soluções aquosas que contém Hg e Cu
- NaOH

CORROSÃO EM LIGAS DE ALUMÍNIO

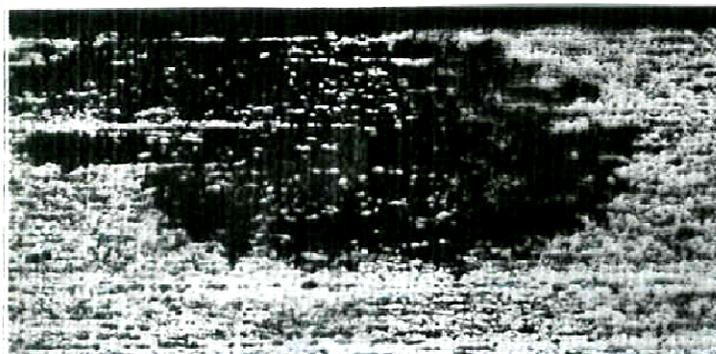


Parte de flange deteriorado por esfoliação

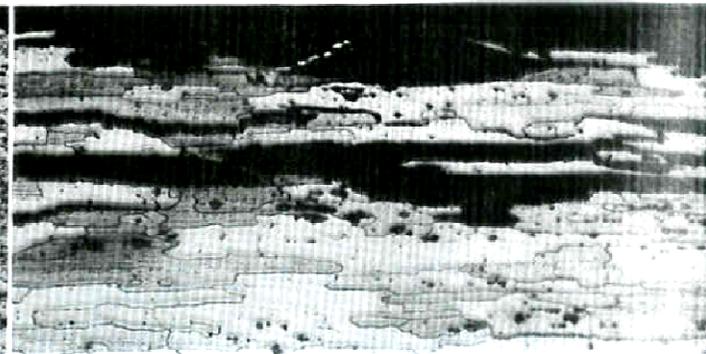
Corrosão – Vicente Genti

4a. Edição - LTC

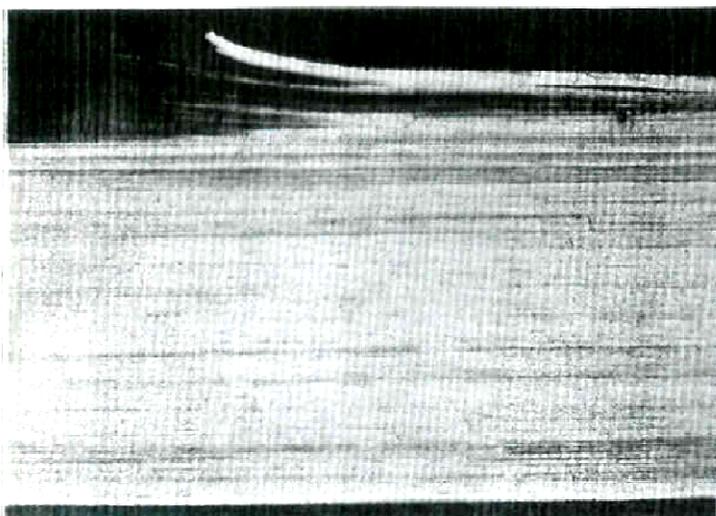
CORROSÃO EM LIGAS DE ALUMÍNIO



Keller's reagent 200x
2092 Pitting-type corrosion (dark area) in the surface of an aircraft-wing plank machined from an alloy 7075-T6 extrusion.



Keller's reagent 200x
2093 Intergranular corrosion in alloy 7075-T6 plate. Grain boundaries were attacked, causing the grains to separate.



Keller's reagent 20x
2094 Exfoliation-type corrosion in an alloy 7075-T6 extrusion. Rapid attack was parallel to the surface of the extrusion and along the grain boundaries or along striations within elongated grains. See 2093.



Keller's reagent 200x
2095 Higher-magnification view of 2094 (rotated 90°), showing how the corrosion product caused the uncorroded recrystallized top of the extrusion to split away, resulting in a leafing action.

FALHA EM CONECTORES ELÉTRICOS - CORROSÃO

