

ECM1

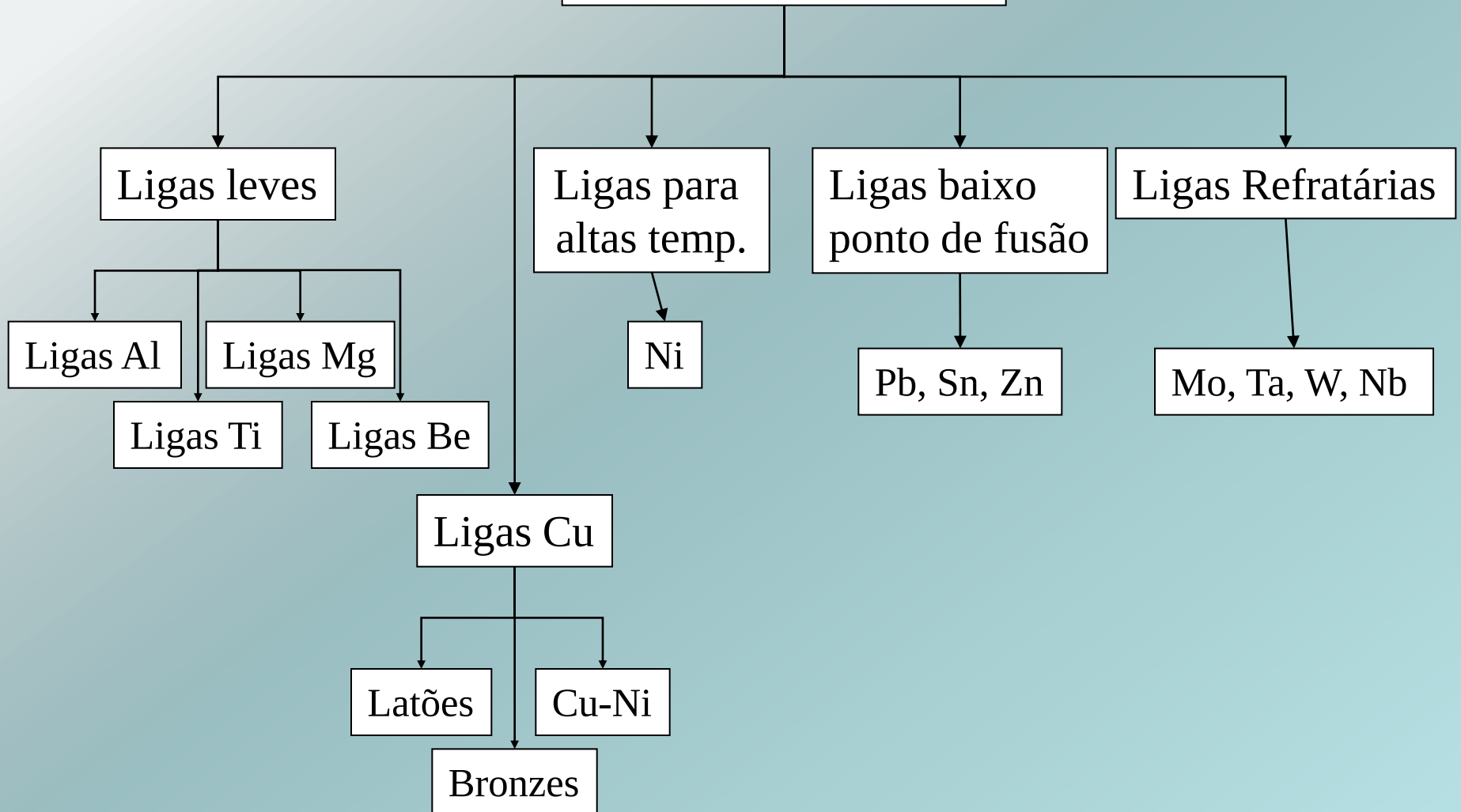
Ligas de Alumínio

2015

Profa. Dra. Lauralice Canale

LIGAS METÁLICAS NÃO FERROSAS

NÃO FERROSOS



LIGAS METÁLICAS NÃO FERROSAS

Os diferentes grupos apresentam enormes diferenças.

Temperaturas de fusão podem variar de próximas a temperatura ambiente (galium) até 3000 graus C para o W.

Resistências variam de 1000 psi até 200.000 psi

LIGAS METÁLICAS NÃO FERROSAS

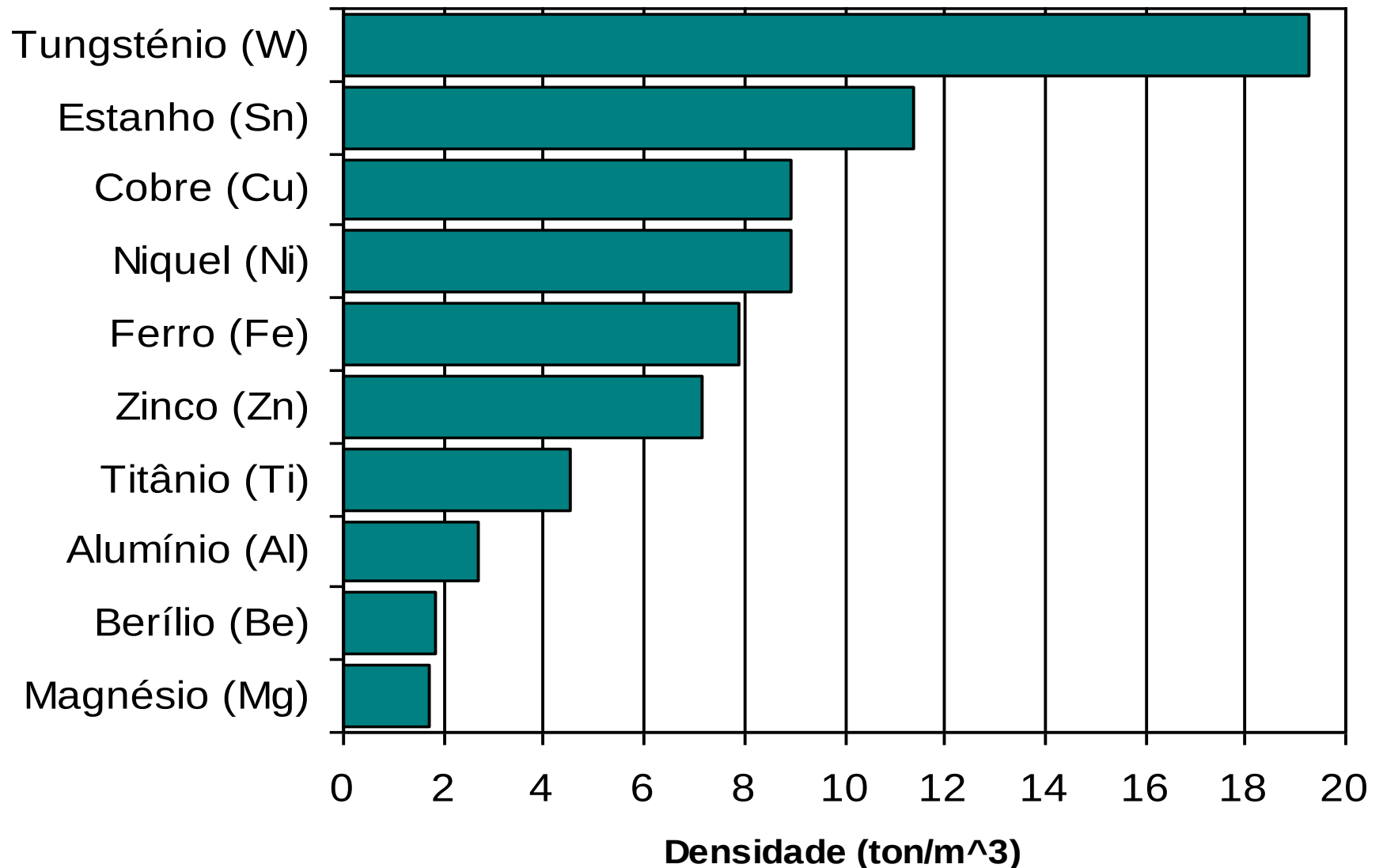
Al, Mg e Be (metais leves) tem baixa densidade.

Pb, W tem altas densidades

Em muitas aplicações, peso é um fator crítico.
Para relacionar peso e resistência tem-se a

Resistência específica=resistência/densidade

LIGAS NÃO FERROSAS (GENERALIDADES)



- Em geral mais caras que as ligas ferrosas
- Usadas para aplicações específicas:
 - Resist. à corrosão (Cu, Ni)
 - Alta condutividade (Cu, Al)
 - Baixo peso (Al, Mg, Ti)
 - Resistência a altas temperaturas (Ni)
- Utilização desde utensílios domésticos até aplicações aeroespaciais

TABLE 13-1 ■ Specific strength and cost of nonferrous alloys, steels

Metal	Density		Tensile Strength (psi)	Specific Strength (in.)	Cost per lb (\$) ^c
	g/cm ³	(lb/in. ³)			
Aluminum	2.70	(0.097)	83,000	8.6×10^5	0.60
Beryllium	1.85	(0.067)	55,000	8.2×10^5	350.00
Copper	8.93	(0.322)	150,000	4.7×10^5	0.71
Lead	11.36	(0.410)	10,000	0.2×10^5	0.45
Magnesium	1.74	(0.063)	55,000	8.7×10^5	1.50
Nickel	8.90	(0.321)	180,000	5.6×10^5	4.10
Titanium	4.51	(0.163)	160,000	9.8×10^5	4.00
Tungsten	19.25	(0.695)	150,000	2.2×10^5	4.00
Zinc	7.13	(0.257)	75,000	2.9×10^5	0.40
Steels	~7.87	(0.284)	200,000	7.0×10^5	0.10

LIGAS METÁLICAS NÃO FERROSAS

➤ Usadas em geral para:

- Resistência à corrosão
- Resistência ao desgaste
- Cond. elétrica
- Peso reduzido (algumas)
- Resistência a altas temperaturas (outras)
- Boas resistência e rigidez específicas

LIGAS DE ALUMÍNIO

GENERALIDADES

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

LIGAS DE ALUMÍNIO

PROPRIEDADES

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

LIGAS DE ALUMÍNIO

APLICAÇÕES

- Construção civil e arquitetura
- Embalagens
- Aeronáutica e aeroespacial
- Indústrias automóvel, ferroviária e naval
- Condutores elétricos alta voltagem
- Utensílios de cozinha
- Ferramentas portáteis

TABLE 13-2 ■ *The effect of strengthening mechanisms in aluminum and aluminum alloys*

Material	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Ratio of Alloy-to-Metal Yield Strengths
Pure Al	6,500	2,500	60	1
Solid-solution-strengthened Al alloy	16,000	6,000	35	2.4
Cold-worked Al	24,000	22,000	15	8.8
Age-hardened Al alloy	83,000	73,000	11	29.2

Componentes da Crosta Terrestre:

Oxigênio (O)	46,60%
Silício (Si)	27,72%
Alumínio (Al)	8,13%
Ferro (Fe)	5,00%
Cálcio (Ca)	3,69%
Sódio (Na)	2,83%
Potássio (K)	2,59%
Magnésio (Mg)	2,00%

ALUMÍNIO : METAL MAIS ABUNDANTE DA TERRA.

Forma combinada: argila, safira, rubi, ametista, esmeralda, topázio, jade, turquesa e mica.

MINERAÇÃO:

Fonte mais praticável: bauxita

(Al + O + H₂O + Sílica + Óxido de Ferro + Titânia + Misturas de Sílica, Impurezas)

Este minério pode ser encontrado próximo à superfície com uma espessura média de 4,5 metros.



Encontrada em todos os continentes exceto na Antártida

Depósitos mais ricos: zonas tropicais e sub tropicais

Situa-se em camadas ou depósitos relativamente rasos:

EUA, Jamaica, República Dominicana, Haiti, Guiana, Brasil, França, Itália, Hungria, África Equatorial

A bauxita é dissolvida em soda cáustica e, posteriormente, filtrada para separar todo o material sólido, concentrando-se o filtrado para a cristalização da alumina.

FABRICAÇÃO DO ALUMÍNIO:

Composta de 2 Fases Distintas:

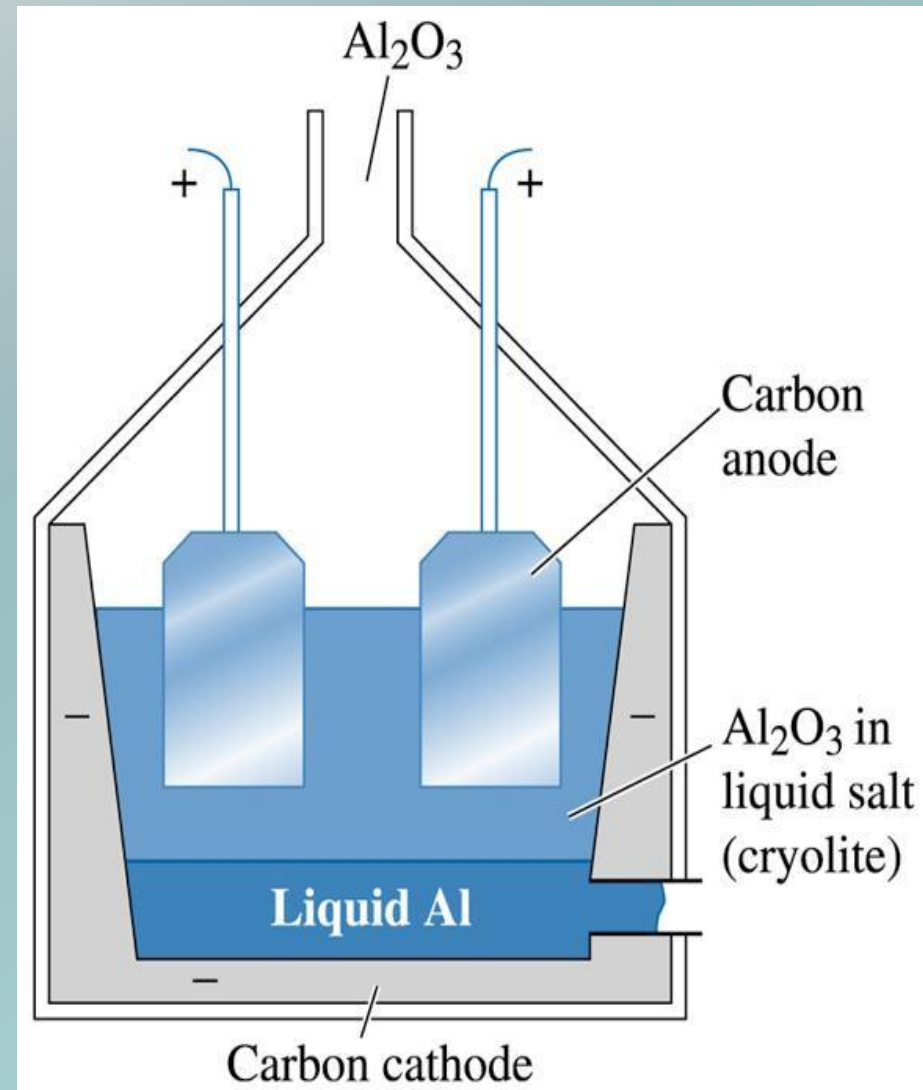
- Tratamento químico do minério para extrair a alumina

BAUXITA $\Rightarrow$ ALUMINA (Al_2O_3)

- Redução eletrolítica da alumina (eletrólise: 1000 °C)

ALUMINA $\Rightarrow$ ALUMÍNIO

Redução Eletrolítica



Na produção do alumínio, a redução é o processo que separa o metal do oxigênio, que formam a alumina (Al_2O_3).

A operação ocorre a uma temperatura próxima a 960°C , nas cubas eletrolíticas – fornos especiais revestidos com carbono pelos quais circulam uma corrente elétrica.

Dentro da cuba, a alumina dissolve-se em uma solução química chamada eletrólito, formada por sais de fluoreto de sódio e fluoreto de alumínio.

A passagem da corrente elétrica proveniente do anodo (pólo positivo) pelo eletrólito promove a separação do metal do oxigênio

Como resultado da eletrolise , o oxigênio liberado da alumina reage com o carbono do anodo formando dióxido de carbono e o alumínio deposita-se no fundo da cuba em estado líquido, de onde é retirado e encaminhado para a produção de lingotes, placas e tarugos (alumínio primário).

Principal Limitação:

Baixo ponto de fusão.

Incêndios onde temperatura pode chegar a 1000 °C: completa fusão das esquadrias e componentes estruturais.

World Trade center

Utilização da Alumina (Al_2O_3)

- ☐ Pasta de dente
- ☐ Borracha
- ☐ Refratários
- ☐ Abrasivos
- ☐ Antitranspirantes
- ☐ Catalizadores na refinação do petróleo
- ☐ Detergentes

USOS DO ALUMÍNIO

- Sinais e faixas divisórias de rodovias (não se deterioram)
- Pisos leves de pontes
- Transporte terrestre: Carrocerias de caminhão e ônibus, carros ferroviários e metroviários
- Construção de edifícios: leve/resistente à corrosão/não necessita pintura

USOS DO ALUMÍNIO

- Transporte aquático: transatlânticos e cargueiros, motores de popa, embarcações de recreio.
- Submarinos pequenos para 1 ou 2 homens e esferas pressurizadas para exploração das profundezas.
- Navios hidrofólios (movem-se sobre colchões de ar)

USOS DO ALUMÍNIO

Transporte aeroespacial: corresponde a 80% do peso de um avião descarregado. Estrutura, capa e componentes de foguetes e até como combustível sólido. Refletores solares.

- Os satélites na forma de balão dependem de folhas ultrafinas de alumínio para a sua superfície altamente refletora.
- Tintas, pigmentos, combustíveis para mísseis, produtos químicos, explosivos, fogos de sinalização e de artifício.

Classificação: Tratada Termicamente:

4 dígitos : X X X X

Controle
de
impurezas
(0 a 9)

Tipo da liga
(Série)

Identifica a liga no
grupo

LIGAS DE ALUMÍNIO

TRATAMENTOS

- Recozimentos
- Endurecimento por precipitação e envelhecimento, apenas em algumas ligas
- Endurecimento por deformação plástica a frio (encruamento)

Tabela 1 – Classificação das ligas forjadas e fundidas.

Designação de Ligas Forjadas		Designação de Ligas Fundidas	
Série da Liga	Elementos Majoritários na Liga	Série da Liga	Elementos Majoritários na Liga
1xxx	Mais de 99% de Alumínio	1xx.x	Mais de 99% de Alumínio
2xxx	Cobre	2xx.x	Cobre
3xxx	Manganês	3xx.x	Silício mais Cobre e/ou Magnésio
4xxx	Silício	4xx.x	Silício
5xxx	Magnésio	5xx.x	Magnésio
6xxx	Magnésio e Silício	6xx.x	Série não Utilizada
7xxx	Zinco	7xx.x	Zinco
8xxx	Outros Elementos	8xx.x	Estanho
9xxx	Série não Utilizada	9xx.x	Outros Elementos

Tabela 2 – Classe das ligas que são tratáveis termicamente e suas principais aplicações.

Número da Associação do Alumínio	Número UNS (unified numbering system)	Composição (%p)*	Condição	Aplicações / Características Típicas
Ligas Forjadas, Tratáveis Termicamente				
2024 (Série 2000)	A92024	4,4 Cu; 1,5 Mg; 0,6 Mn	Tratada Termicamente (T4)	Estruturas de aeronaves, rebites, rodas de caminhão, produtos de máquinas de fazer parafuso.
6061 (Série 6000)	A96061	1,0 Mg; 0,6 Si; 0,3 Cu; 0,2 Cr	Tratada Termicamente (T4)	Caminhões, canoas, vagões de trem, mobílias, tubulações.
7075 (Série 7000)	A97075	5,6 Zn; 2,5 Mg; 1,6 Cu; 0,23 Cr	Tratada Termicamente (T6)	Peças estruturais de aeronaves e outras aplicações submetidas a tensões elevadas.

Tabela 3 – Designação básica das ligas de alumínio.

“F”	Como Fabricado: aplicado a produtos para os quais não há um controle especial após o aquecimento nem condições de endurecimento a frio são aplicados.
“O”	Recozida: aplicado a produtos forjados que foram aquecidos para gerar o efeito de recristalização, produzindo uma condição de baixa resistência mecânica; os produtos fundidos são recozidos para melhorar a ductilidade e estabilidade dimensional.
“H”	Encruada: aplicado a produtos forjados nos quais a resistência mecânica é aumentada através do encruamento por trabalho a frio. Este processo pode ser seguido de um tratamento térmico, o qual produz certa redução na resistência.
“W”	Solubilizada: uma têmpera instável aplicável somente às ligas que envelhecem espontaneamente na temperatura ambiente (envelhecimento natural) após solubilização. Esta designação é especificamente usada quando o período de envelhecimento natural é indicado.
“T”	Tratada Termicamente: aplicado a produtos que são tratados a quente, algumas vezes com encruamento posterior, para produzir têmperas mais estáveis e diferentes de F, O ou H.

Ligas de Alumínio

Wilm (alemão)

começo século XX

Ligas leves para estruturas de Zepelins

Liga Al 4% Cu

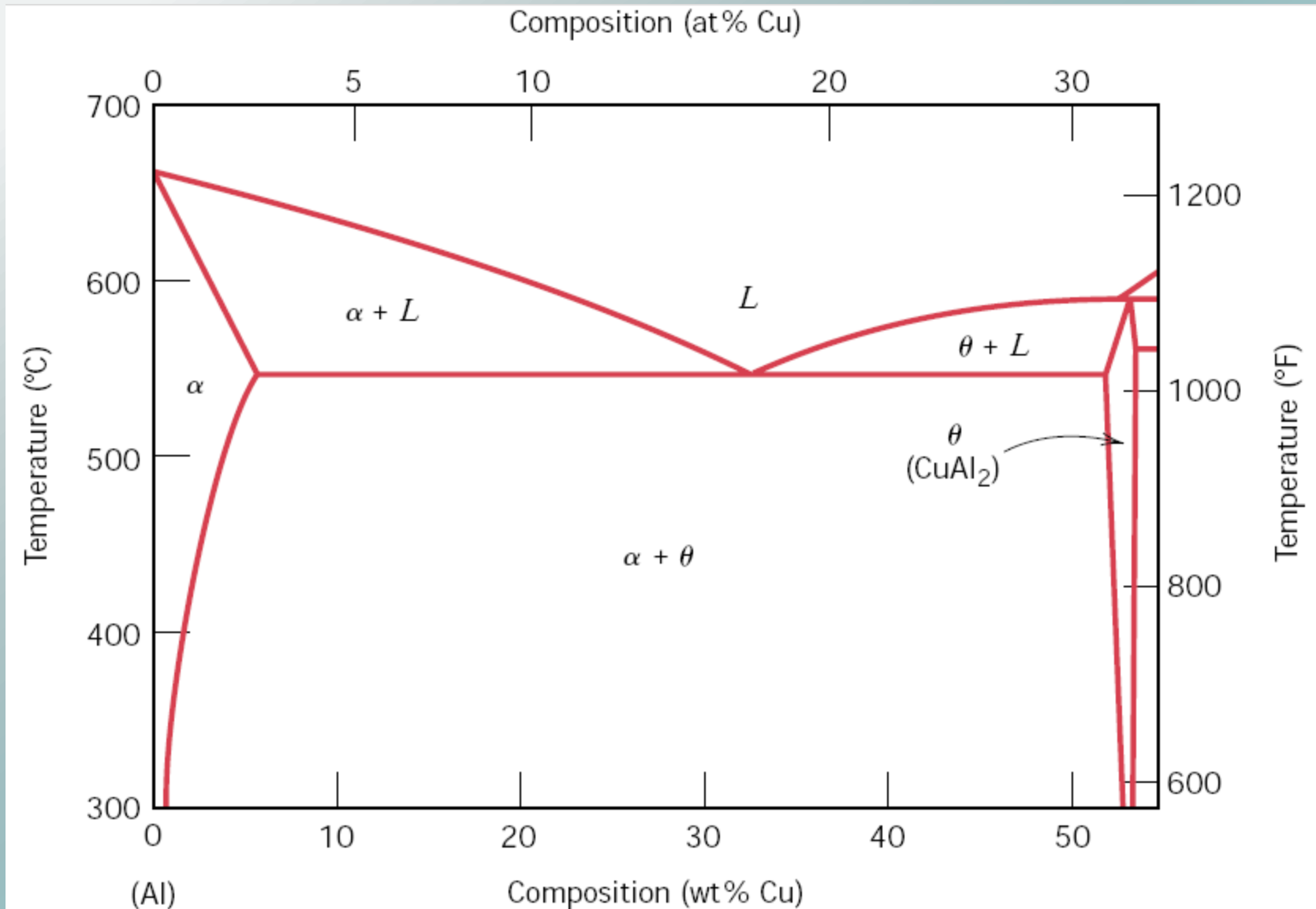
60 HB

280MPa

110HB

380Mpa

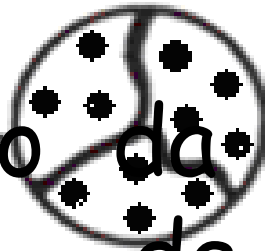
Diagrama de Fase do Alumínio-Cobre



Recozido (formação de grandes precipitados)

O endurecimento da liga se dá pela precipitação de partículas microscópicas da ordem de 5×10^{-5} mm que se formam na última fase do tratamento de envelhecimento e aparecem incrustadas na matriz, atuando como cunhas que fixam os cristais, e são necessárias cargas muito altas para produzir o escorregamento dos planos atômicos principais.

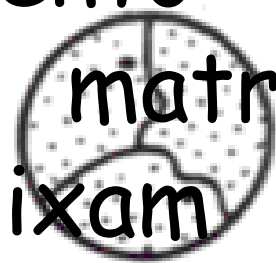
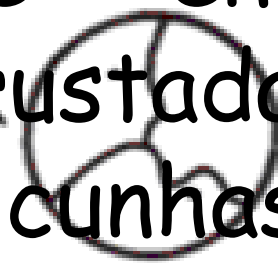
Resfriamento lento até a temperatura ambiente



Resfriamento lento até a temperatura ambiente

(formação de partículas submicroscópicas)

Envelhecimento



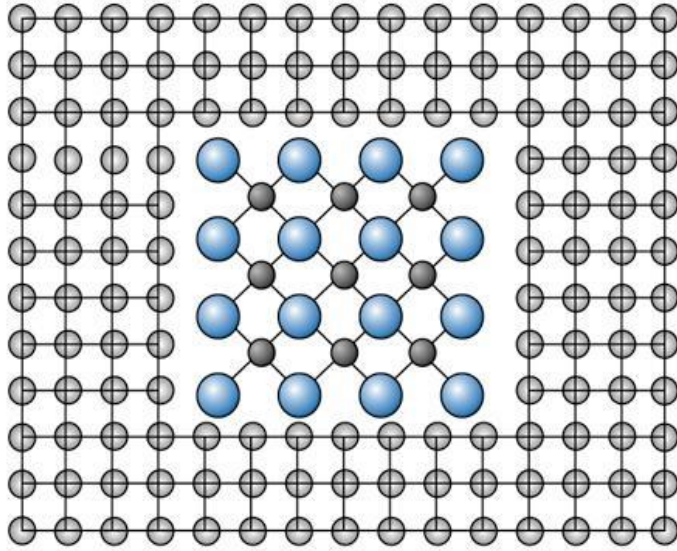
Solubilizado

Após o envelhecimento

Envelhecimento Artificial

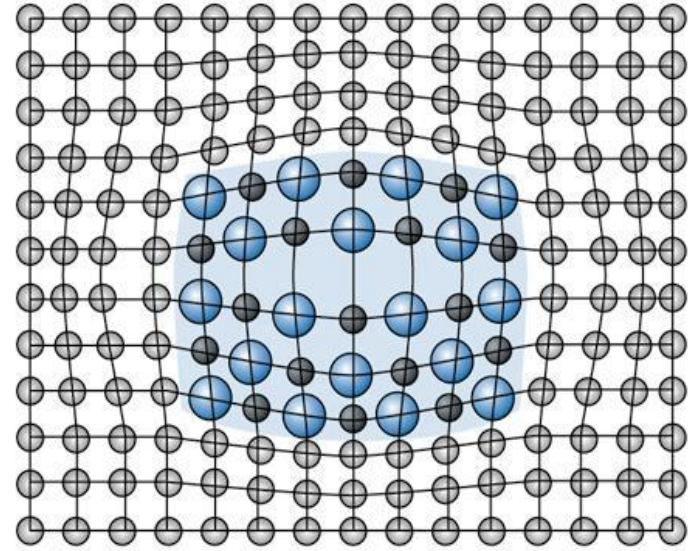
- É um tratamento térmico de endurecimento por dispersão especial.
- Se dá pela solubilização, têmpera, e envelhecimento: há a formação de um precipitado coerente de forma a produzir um grande efeito de fortalecimento. ZONAS DE GUINIER-PRESTON (ZONAS GP)
- Também conhecido como endurecimento por precipitação, é uma forma de fortalecimento por dispersão.

Incoerente (θ)

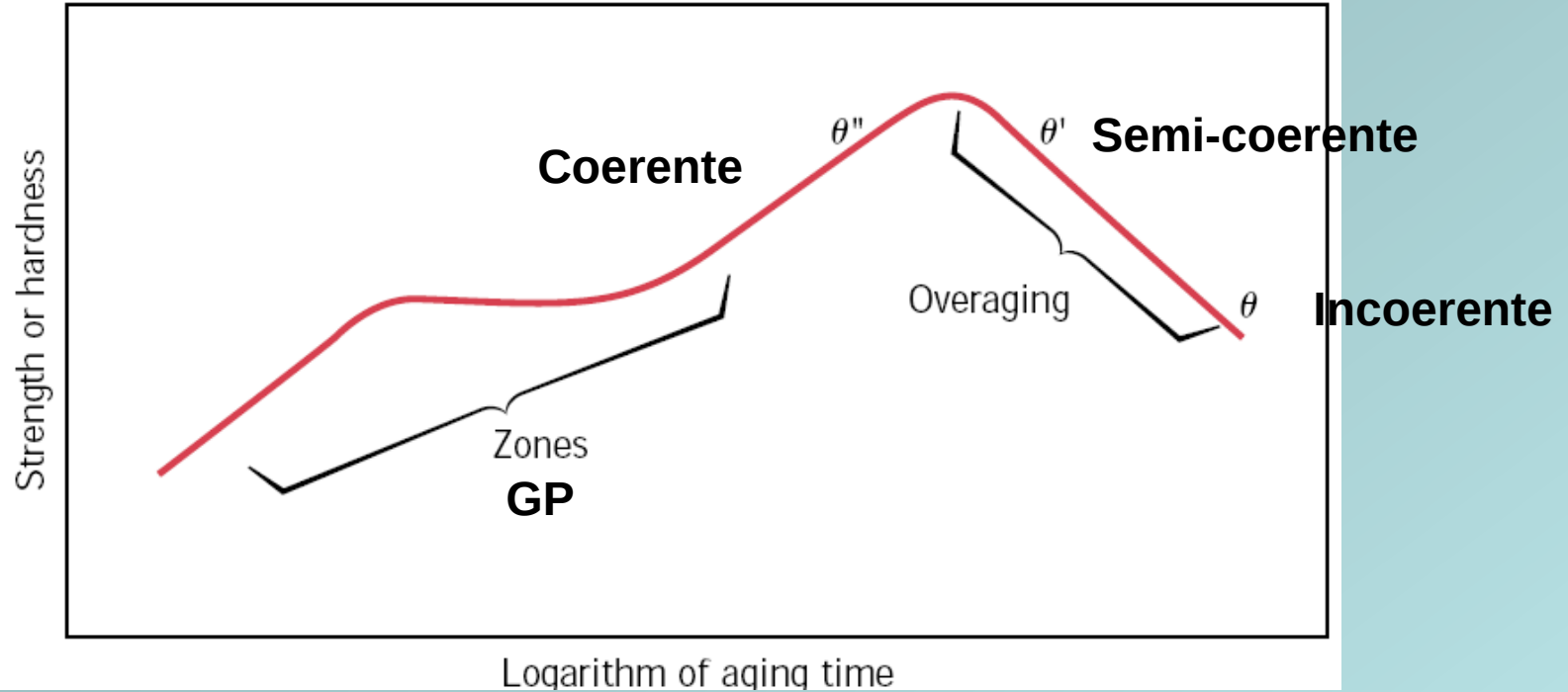


(a)

Coerente



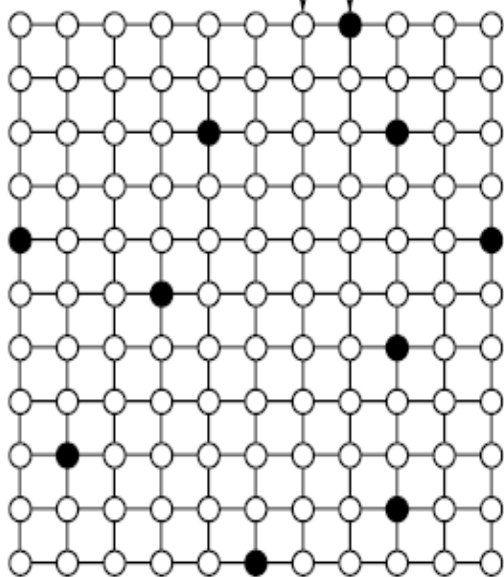
(b)



Zonas Guinier-Preston (GP): agrupamento de átomos muito pequeno que se precipita nos primeiros estágios do processo de endurecimento por envelhecimento. Superenvelhecido (dureza baixa)

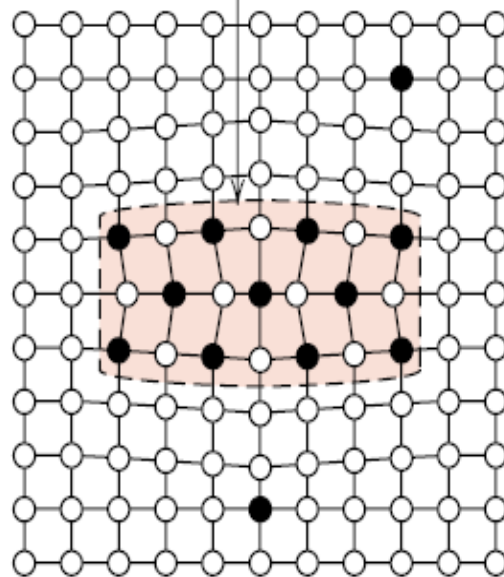
↓
(dureza máxima)

Solvent (Al) atom Solute (Cu) atom



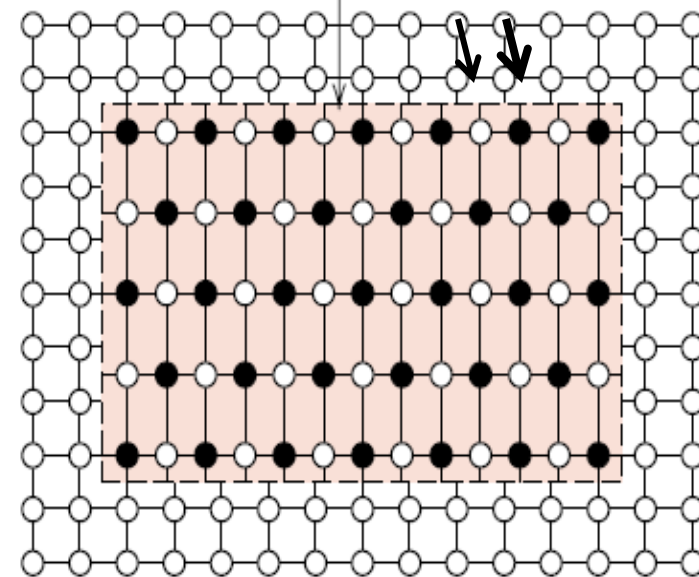
(a)

θ'' Phase particle



(b)

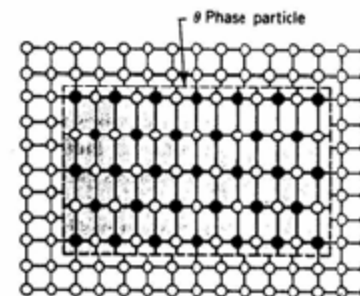
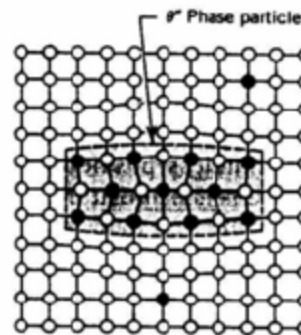
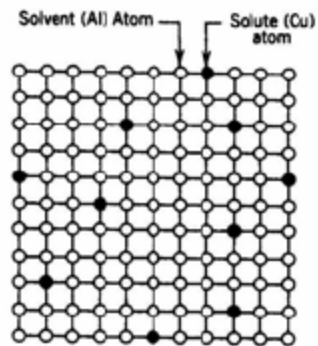
θ Phase particle



(c)

Coerente

Incoerente

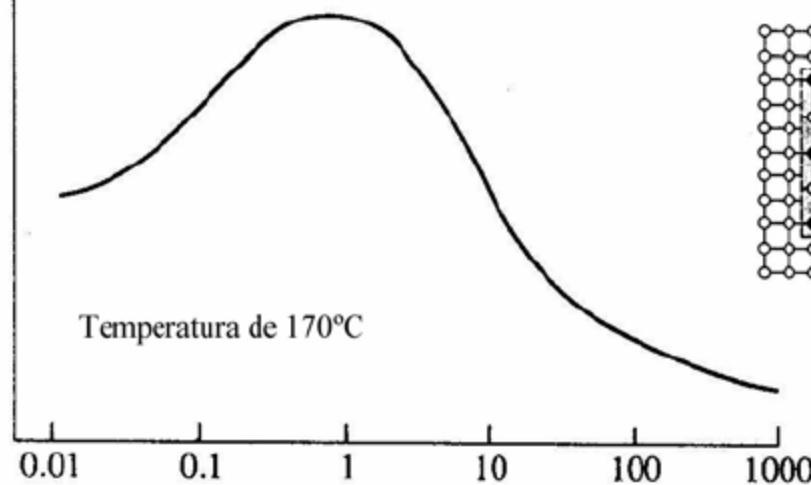


Limite de escoamento [MPa]

Temperatura de 170°C

0.01 0.1 1 10 100 1000

Tempo de envelhecimento para uma dada temperatura



GP1: São pré –precipitados e se formam em temperaturas de envelhecimento baixas. Podem ser consideradas como um agrupamento de átomos de Cu que se separaram da solução sólida reunindo-se em um único plano, formando placas ou discos.

Interface coerente. CFC. Se formam em incontáveis posições da fase α .

2 camadas de át com espessura $< 10 \text{ Ang}$

Diâmetro $< 100 \text{ Ang}$

Transcorrer do tempo e subsequente difusão dos átomos de Cu

GP2: São formadas por 5 camadas de átomos. Caracterizada por notável aumento da dureza. ***Interface coerente***. Máxima dureza. CFC

Espessura: $< 50 \text{ \AA}$

Diâmetro $< 500 \text{ \AA}$.

Aumento de tamanho das partículas

Superenvelhecimento (continuação do crescimento das partículas)

θ' : Tem esse nome em função da estrutura ser bastante semelhante à θ (CuAl_2). São ***semi-coerentes*** e podem ser considerados verdadeiros compostos. Rede menos deformada provocando queda da dureza.

Superenvelhecimento (continuação do crescimento das partículas)

θ : Podem formar-se pela decomposição da fase alfa ao ser aquecido a temperatura elevada ou pela decomposição da fase θ' pela ação do tempo ou da temperatura. A disposição dos átomos é independente do sistema cristalino. ***Interface incoerente***. Não provoca deformação da matriz. Dureza baixa.

Dimensões: de 0.01 a 1 mm

Condições necessárias para realizar o endurecimento por envelhecimento

- O sistema da liga deve apresentar solubilidade sólida decrescente com a diminuição da temperatura.
- O sistema deverá formar uma única fase em uma ampla faixa de temperatura.

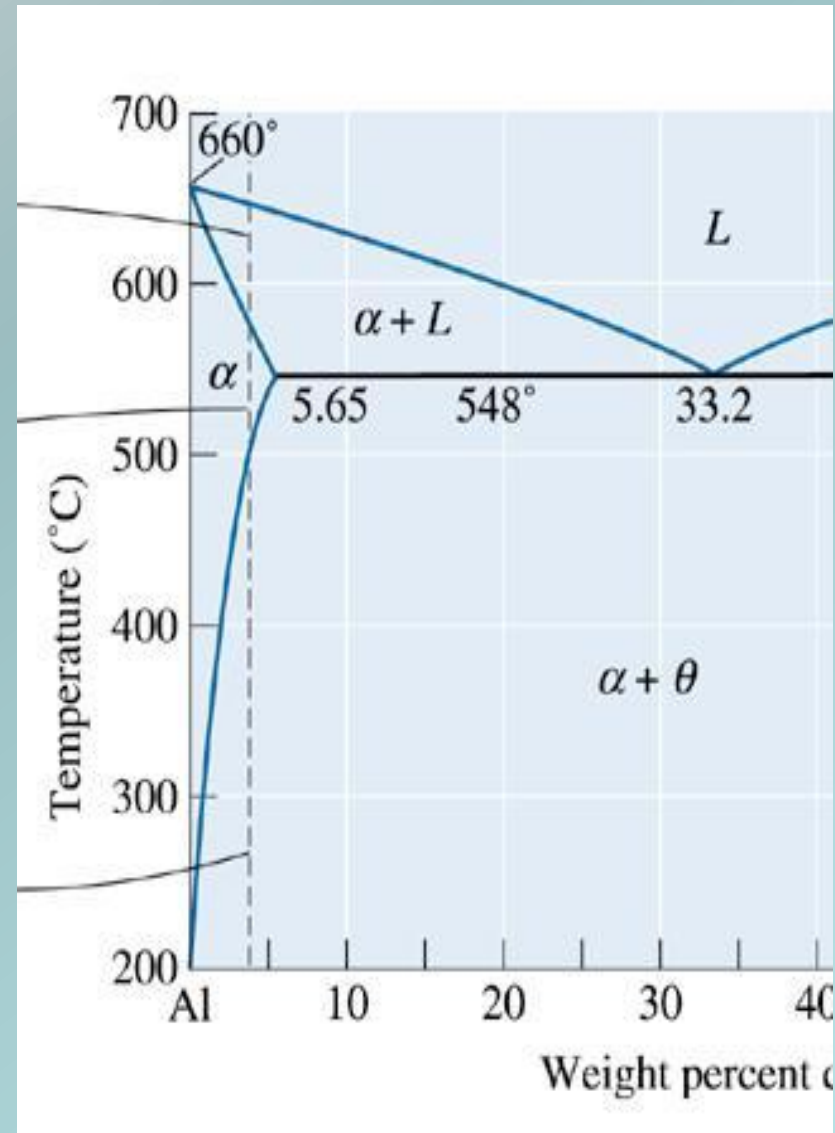
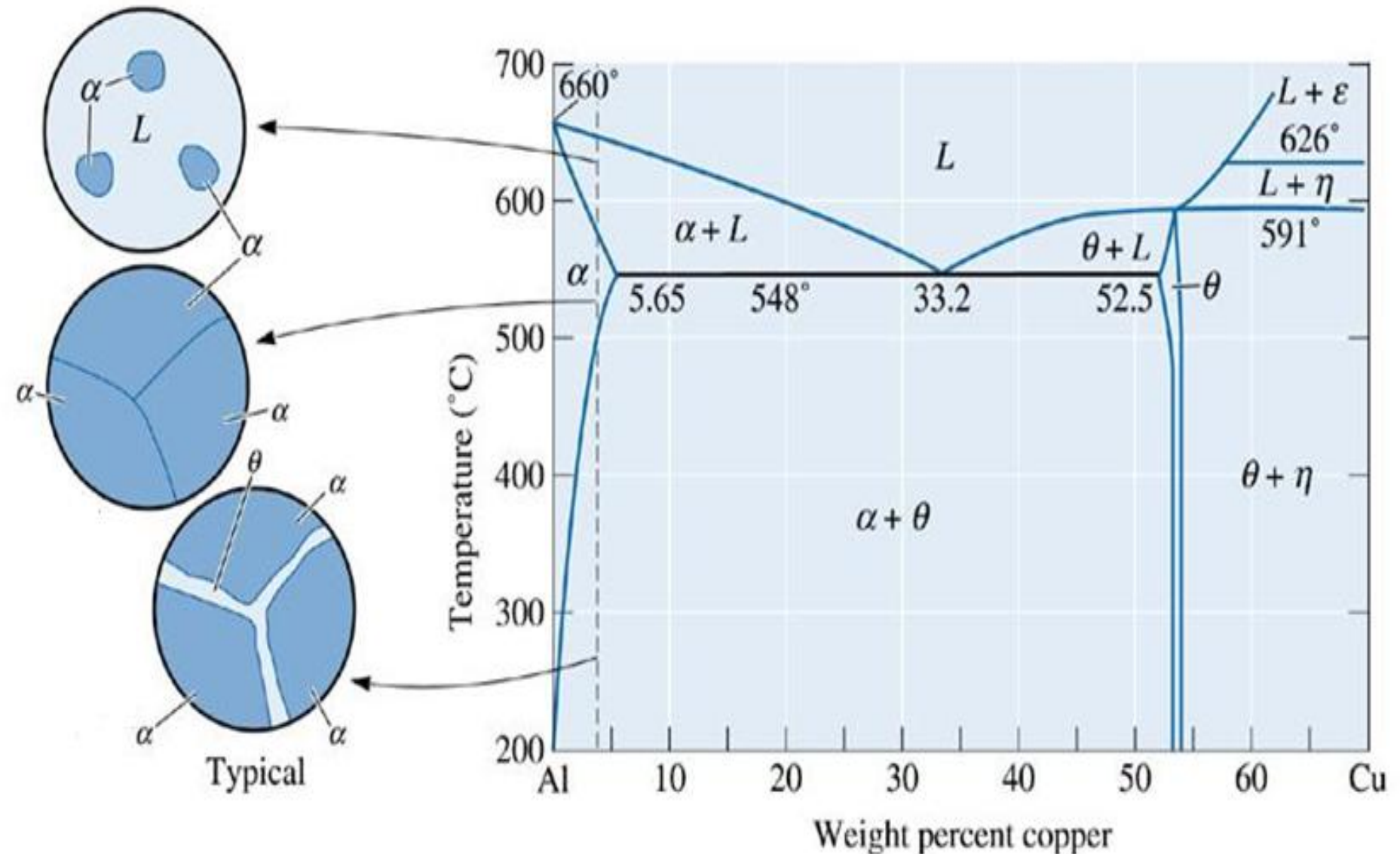
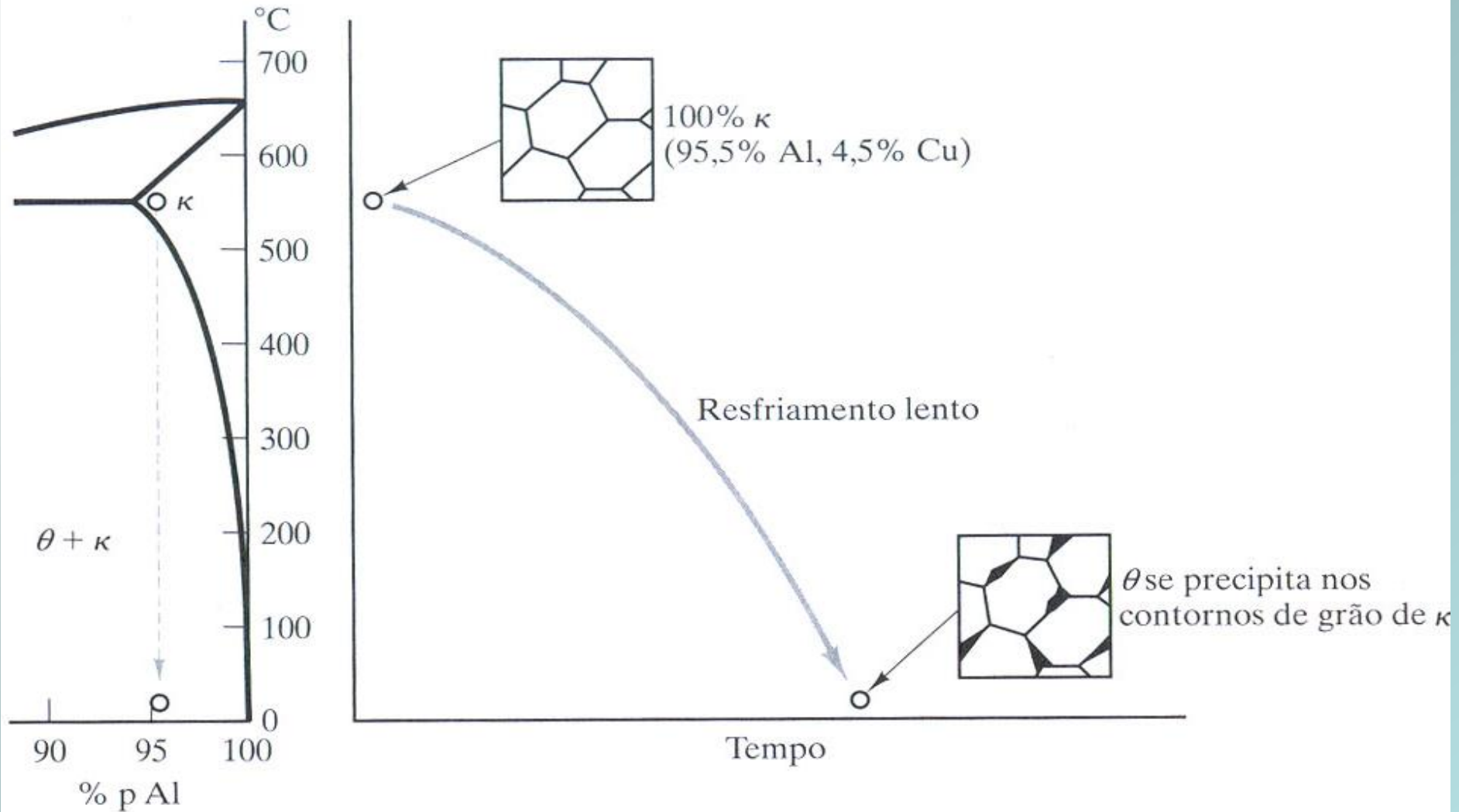


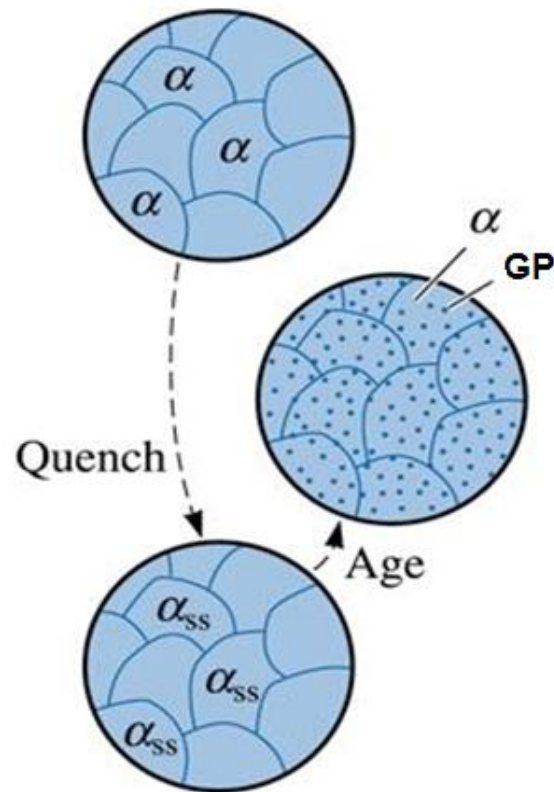
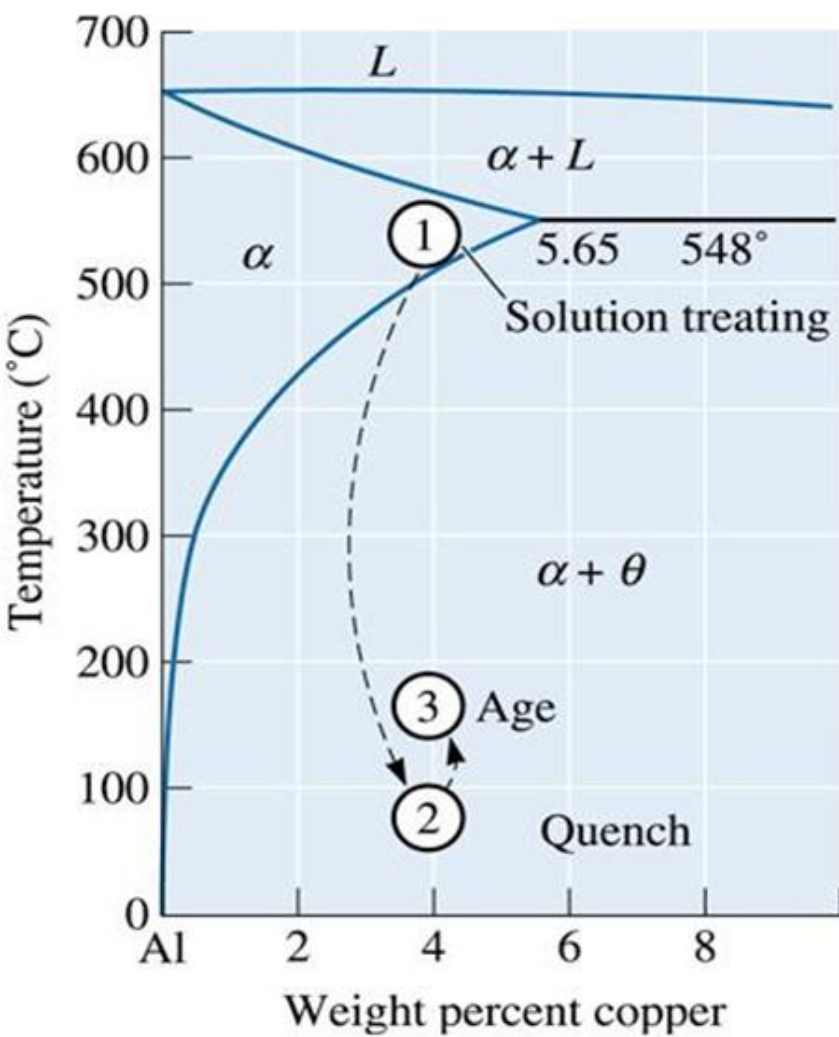
Diagrama de Fase e Microestrutura do Al-4%-Cu



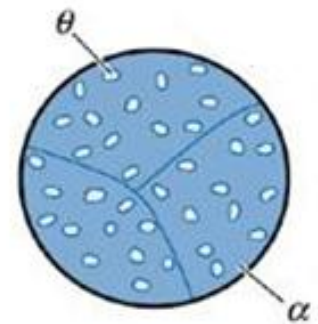
Resfriamento Lento da Liga de Al (Têmpera)



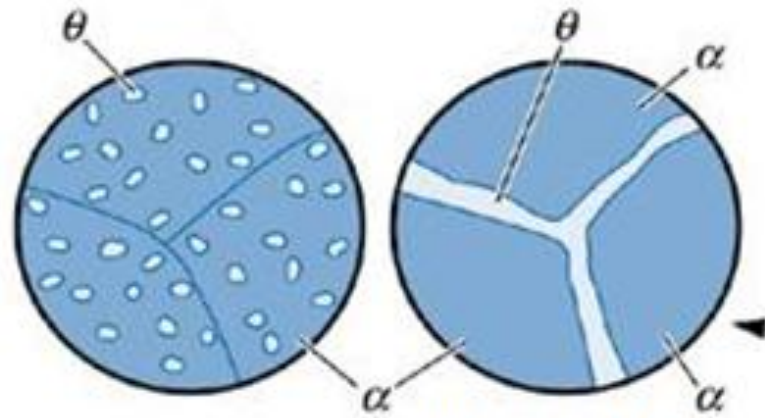
Precipitados grosseiros se formam em contornos de grão em uma liga Al-Cu (4,5% p) quando resfriados lentamente da região monofásica (κ) do diagrama de fases para a região de duas fases ($\theta + \kappa$). Esses precipitados isolados afetam muito pouco a dureza da liga.



Superenvelhecido

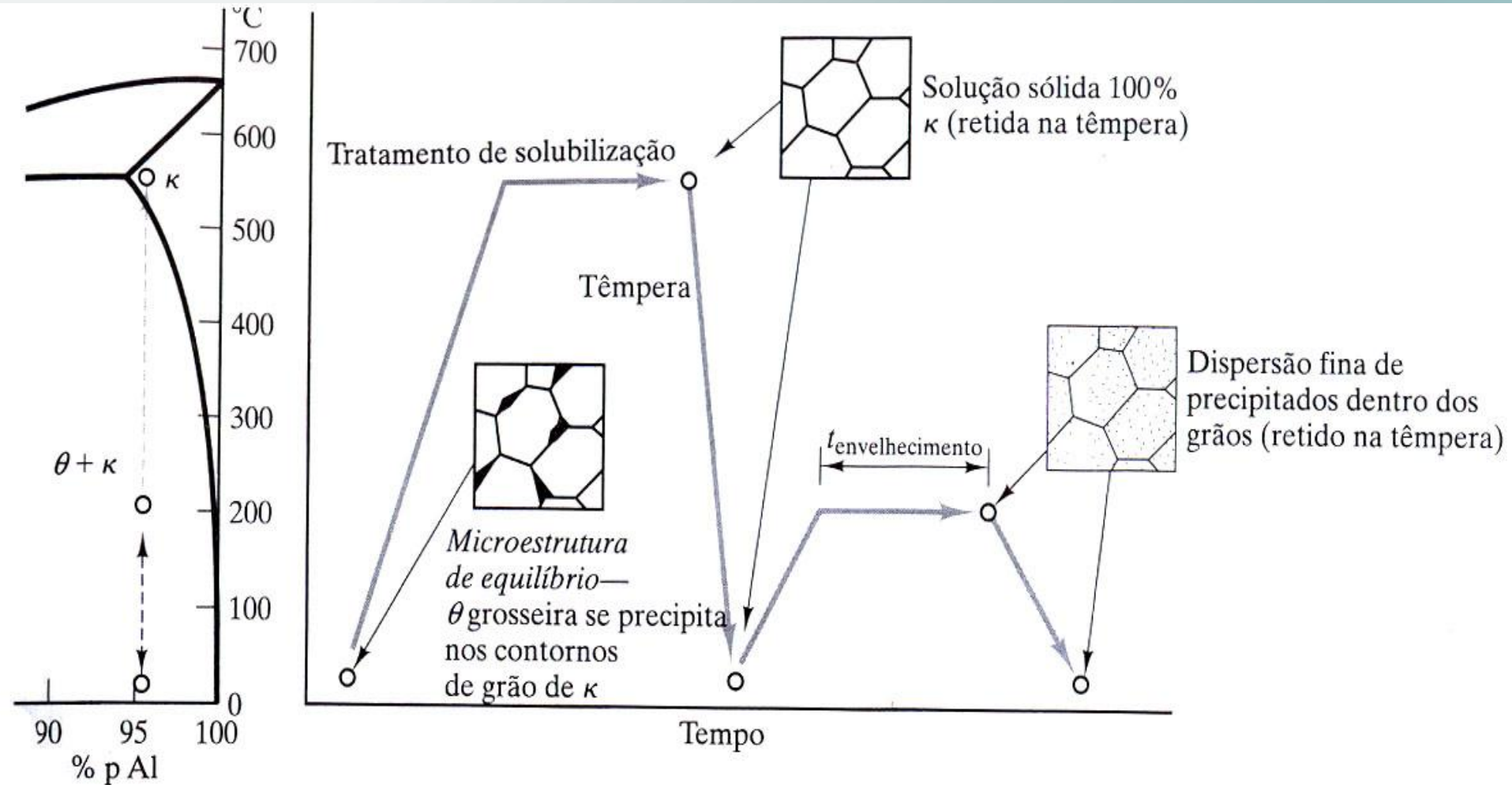


Superenvelhecido



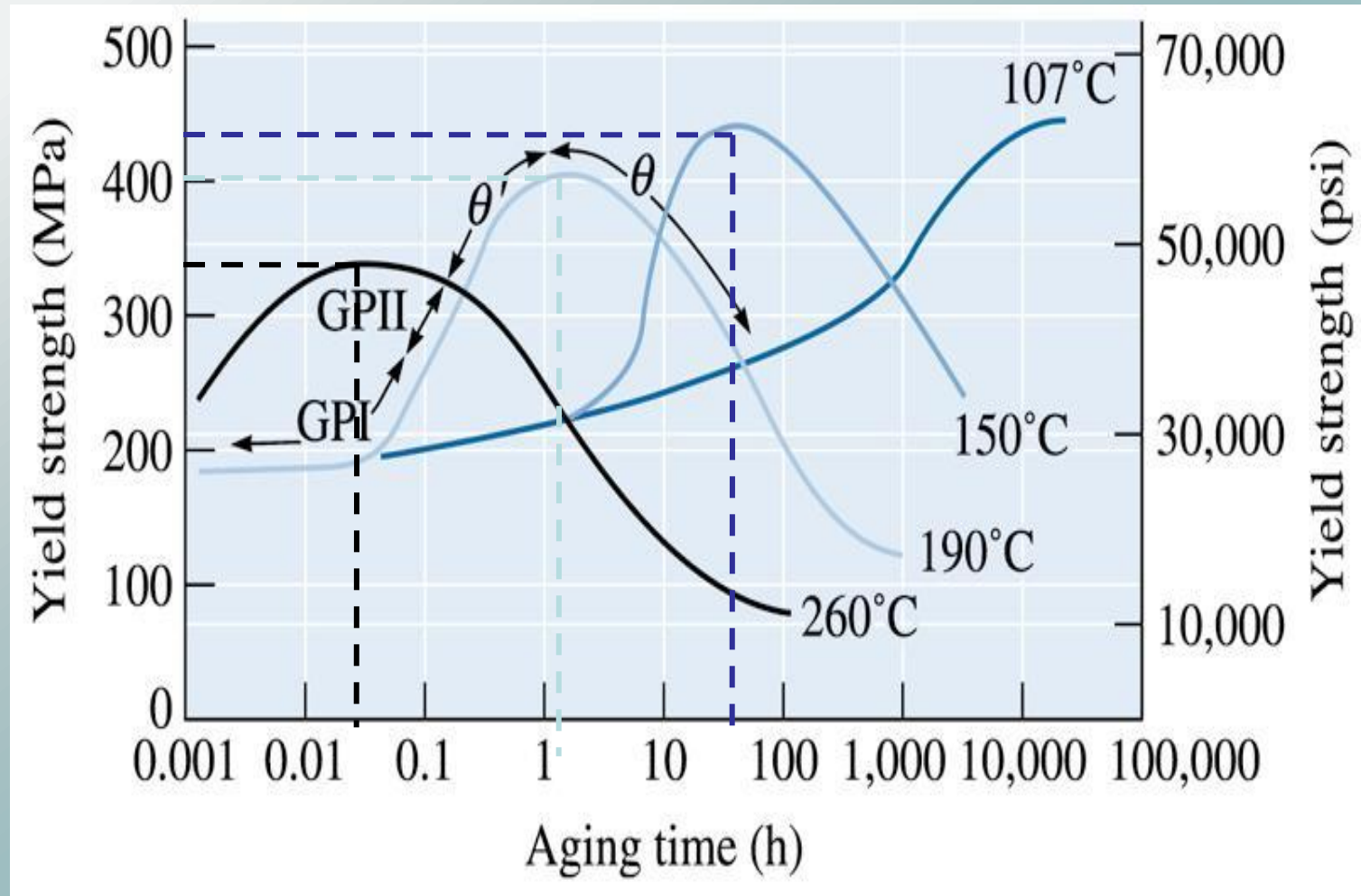
Recozido

Resfriamento Rápido da Liga de Al (Têmpera)



Resfriando rapidamente (temperando) e depois reaquecendo uma liga Al–Cu (4,5% p), uma dispersão fina de precipitados se forma dentro dos grãos de κ . Esses precipitados são eficazes em bloquear o movimento de discordâncias e, conseqüentemente, aumentar a dureza (e resistência) da liga. Esse processo é conhecido como endurecimento por precipitação, ou endurecimento por envelhecimento.

Efeito da temperatura e tempo de envelhecimento no limite de elasticidade da liga Al-4%Cu.



Quanto maior a Temperatura de envelhecimento menor a resistência mecânica (dureza) e menor o tempo para atingir tal dureza.

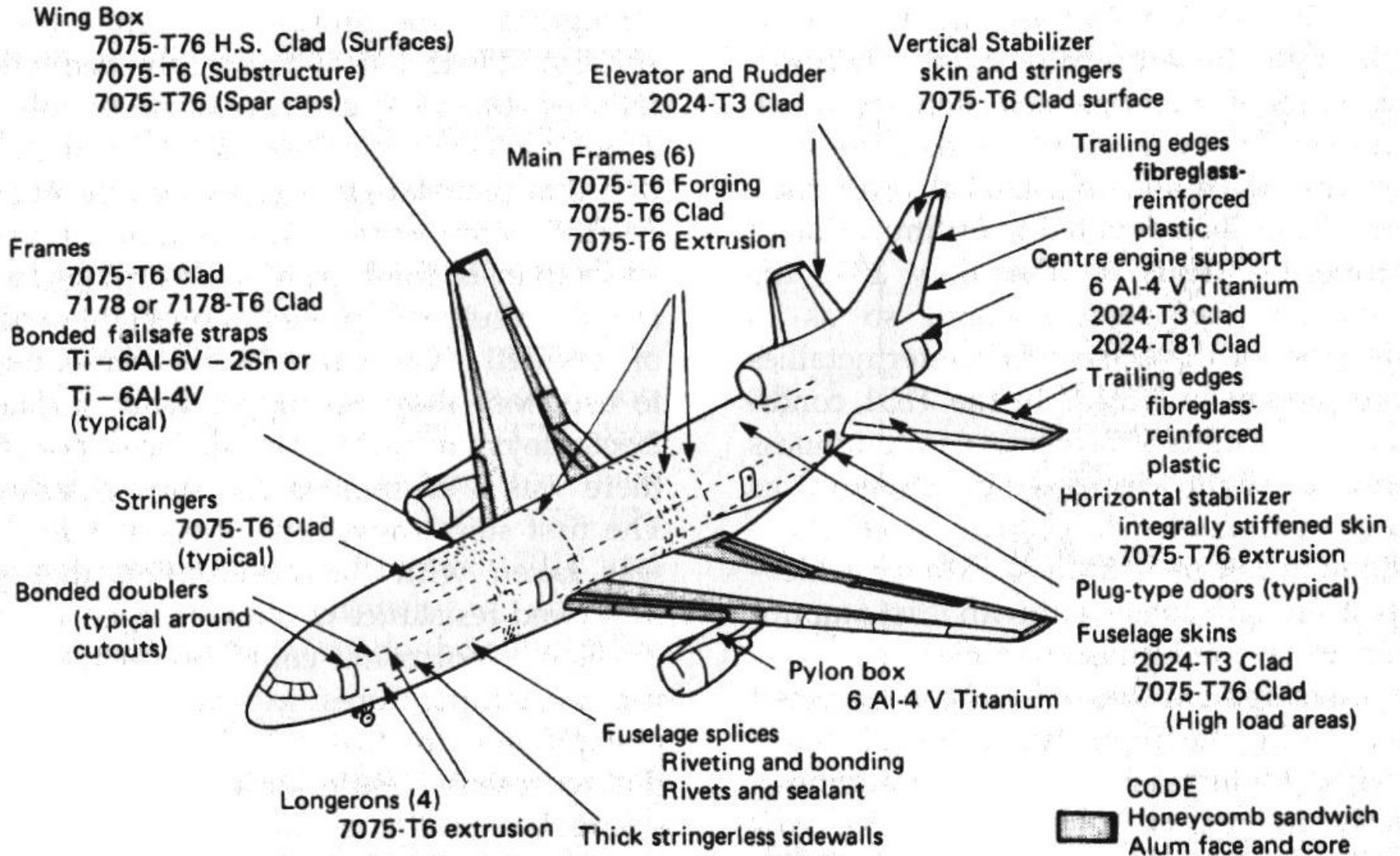
Envelhecimento Natural

As ligas que apresentam um endurecimento por precipitação apreciável à temperatura ambiente e após intervalos de tempo relativamente curtos devem ser temperadas e armazenadas sob condições refrigeradas.

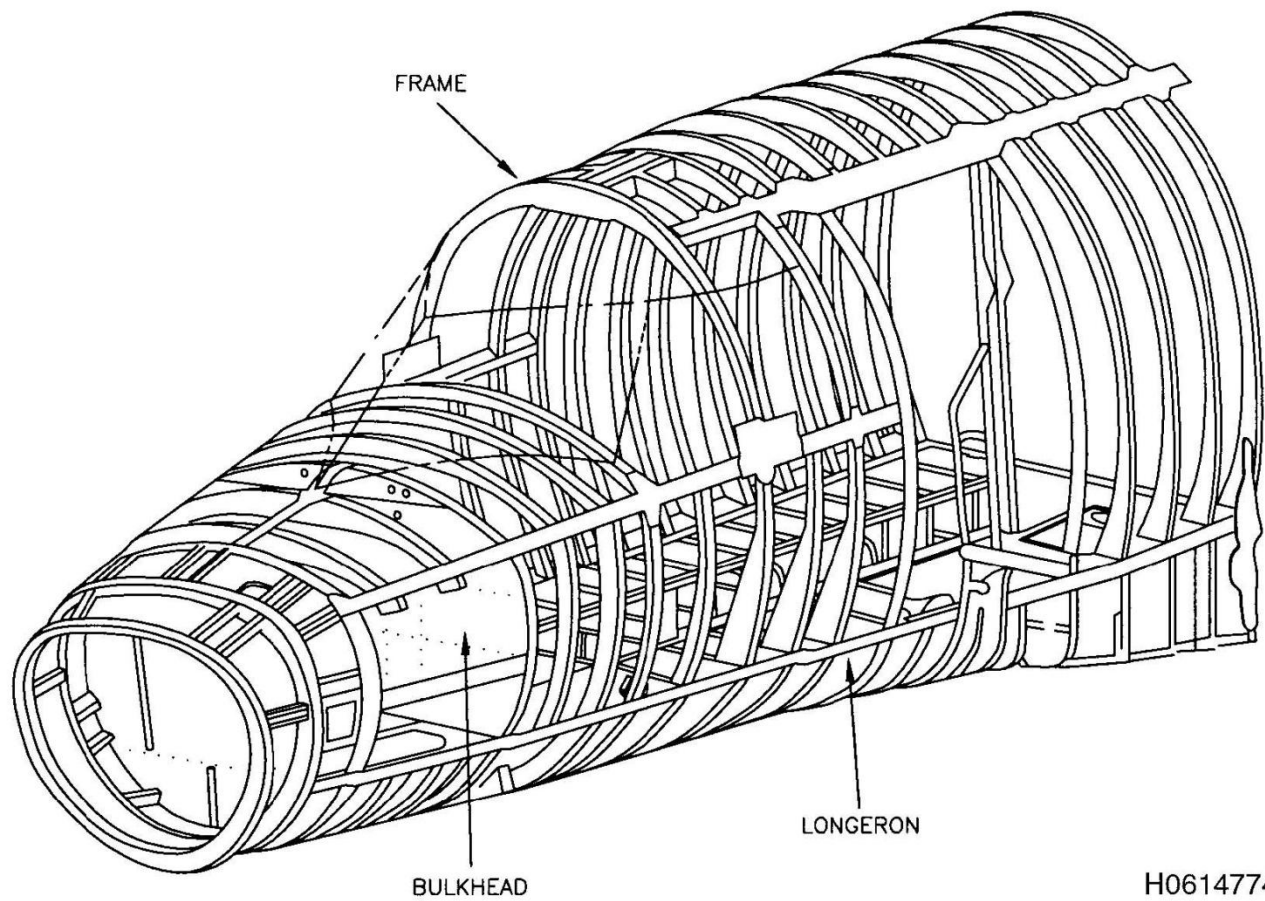
Exemplo: Várias ligas de alumínio utilizadas na confecção de rebites onde são aplicados enquanto dúcteis e são deixados envelhecer naturalmente na temperatura ambiente.



Materiais Utilizados na Aeronave L1011



L1011 basic materials and design features.



H0614774

