

ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS I

Aula 8

Conteúdo: Outras Ligas Metálicas

Aços Liga

- Os **aços liga** são classificados de acordo com o principal ou principais elementos de liga presentes (geralmente $< 10\%$).
- Estas quantidades são determinadas com o objetivo de promover mudanças nas propriedades físicas e mecânicas que permitam ao material desempenhar funções específicas.

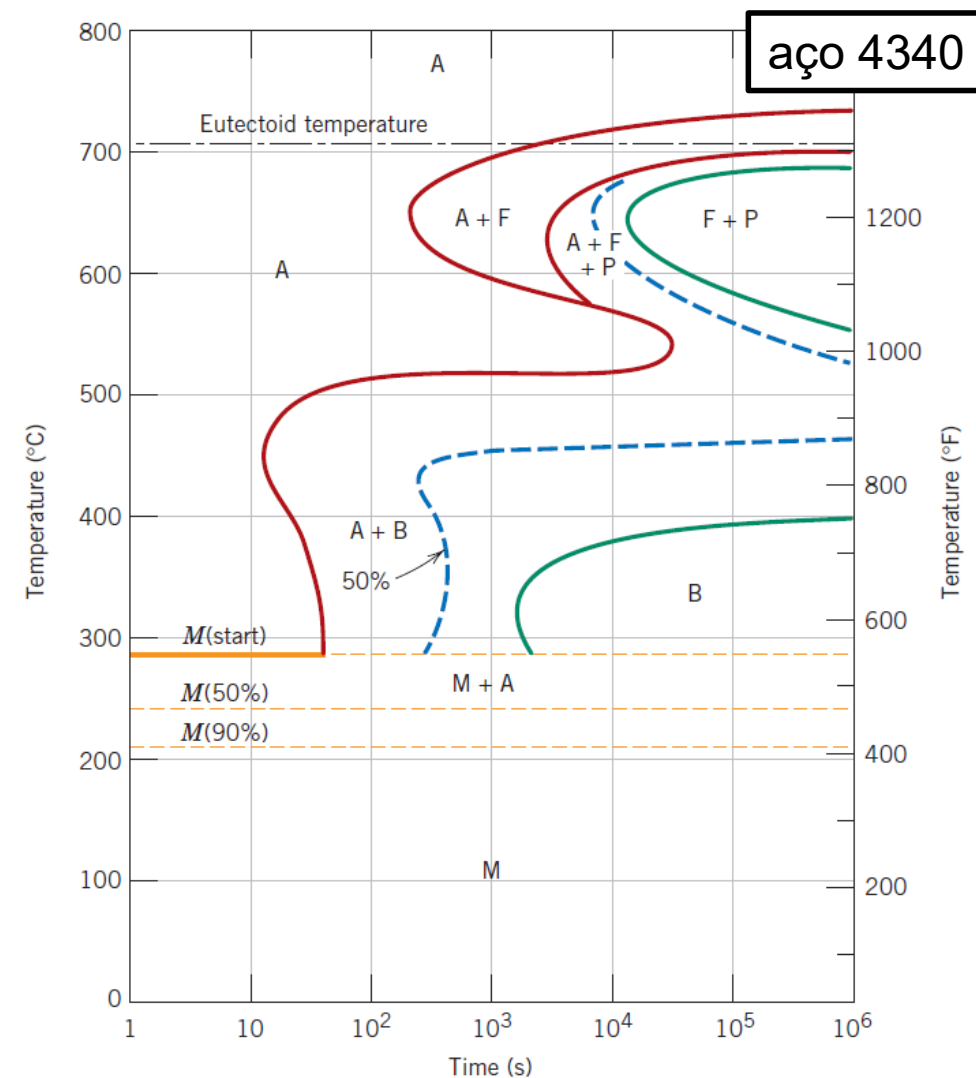
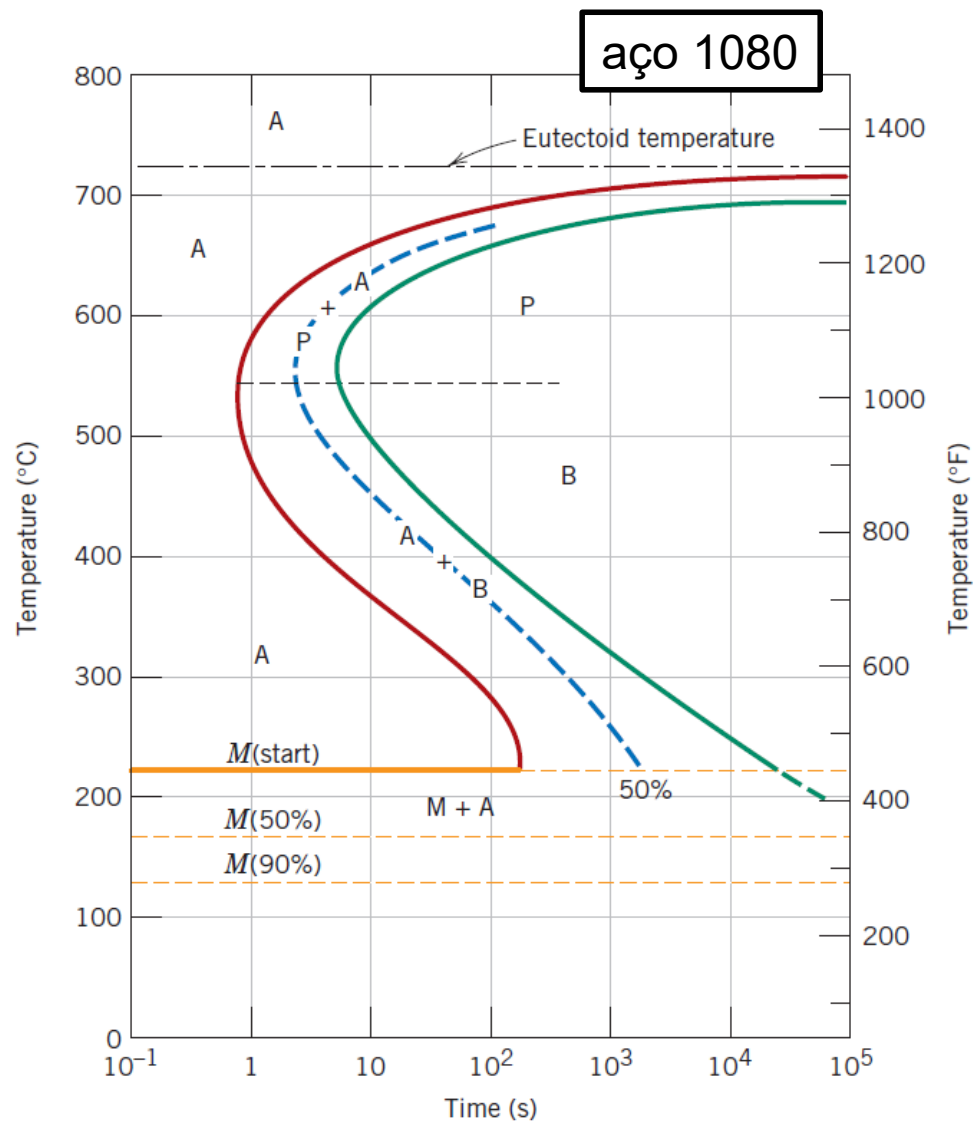
AISI/SAE	TIPOS DE AÇO
10XX	Aços C comum ($Mn < 1\%$)
11XX	Aços C de usinagem fácil (com alto %S)
12XX	Aços C de usinagem fácil (com alto %S e %P)
15XX	Aços C comum ($1 < \%Mn < 1,65$)
13XX	Aços Mn ($Mn \sim 1,75\%$)
23XX	Aços Ni ($Ni \sim 3,50\%$)
31XX	Aços Cr-Ni ($Ni \sim 1,25\%$; $Cr \sim 0,70\%$)
40XX	Aços Mo ($Mo \sim 0.25\%$)
41XX	Aços Cr-Mo ($0,4 < \%Cr < 1,1$; $0,08 < \%Mo < 0,35$)
72XX	Aços Cr-W ($W \sim 1,75\%$; $Cr \sim 0,75\%$)
98XX	Aços Ni-Cr-Mo ($Ni \sim 1\%$; $Cr \sim 0,8\%$; $Mo \sim 0.25$)

Influência dos elementos de liga

Elementos	Principais efeitos
C	Elemento base para formar liga e fases. Eleva dureza, resistência e temperabilidade. Diminui a ductilidade.
Mn	Desoxida e dessulfuriza a liga, aumentando a trabalhabilidade.
Si	Desoxidante importante. Eleva a resistência a oxidação, e aumenta resistência de aços com baixo teor de liga.
Cr	Eleva substancialmente a resistência a corrosão, a oxidação, a abrasão (com ↑% C) e mecânica em altas temperaturas.
Ni	Eleva a temperabilidade e tenacidade em baixas temperaturas. Eleva resistência a corrosão.
Mo	Eleva e controla a temperabilidade, eleva resistência a abrasão, dureza e resistência a quente.
V	Promove refino de grão, aumento da dureza e aumenta a endurecibilidade.
Nb	Eleva a resistência de aços baixo carbono.
Co	Contribui à dureza a quente pelo endurecimento da ferrita.
W	Forma partículas duras e resistentes ao desgaste, e aumenta dureza e resistência em altas temperaturas

- Melhoria de propriedades mecânicas
- Todos melhoram a temperabilidade.
- Além disso, cada elemento pode possuir um efeito único
- Não se preocupar em decorar...

Influência de elementos de liga nos diagramas TTT



Exemplo - Aços Hadfield (C-Mn)



- Aços de alta liga com %C entre 1 e 1,4 e %Mn entre 12 a 14.
- Apresentam grande resistência e elevada tenacidade (impacto!)
- Fáceis de soldar => aplicação em peças sujeitas ao desgaste.
- Resistência à corrosão idêntica aos aços ao carbono.
- O Mn traz a austenita até à temp. ambiente. A austenita transforma-se em martensita por deformação plástica.
- Aplicados em ferramentas pneumáticas, dentes de escavadoras, mandíbulas de máquinas de britar, agulhas de caminho de ferro, etc

Exemplo - Aços Maraging (Fe-Ni-Co-Mo)



- Ultra-alta resistência.
- 18-20%Ni, 8-10%Co, 3-5%Mo, presença de Ti, 0,05%C máx. Caros!
- Obtêm a resistência pela **precipitação de compostos intermetálicos** após tratamento térmico.
- Antes do tratamento pode ser facilmente trabalhado.
- Resistência mecânica e tenacidade superiores aços temperados.
- Excelente soldabilidade e razoável ductilidade
- Tensão de escoamento entre 1000 e 2100MPa
- Aplicação quase exclusiva na indústria aeroespacial

Aços inoxidáveis

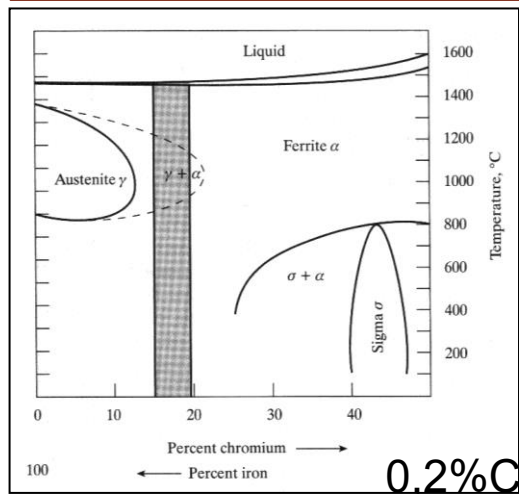
- Ligas à base de Fe, com um mínimo de 11%Cr **em solução** para prevenirem a corrosão. Materiais mais caros.
- O carbono está presente em teores reduzidos (0,03% ferríticos até 1% martensíticos).
- Grande resistência à corrosão e boa resistência mecânica
- A resistência a corrosão pode ser melhorada através da adição de outros elementos de liga como, por exemplo, Ni e Mo.
- Podem apresentar estrutura ferrítica, austenítica, martensítica, ou mista, consoante aos teores de elementos de liga e/ou aos tratamentos térmicos a qual são submetidos.

Aços Inoxidáveis

Tipos de aços inoxidáveis

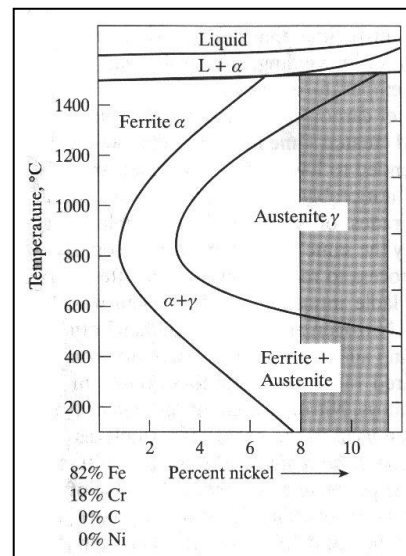
Ferrítico.

- $11 \leq \%p.Cr \leq 20$, $\%C \leq 0,3$
- Não podem ser tratados termicamente
- Menor custo dentre os inox



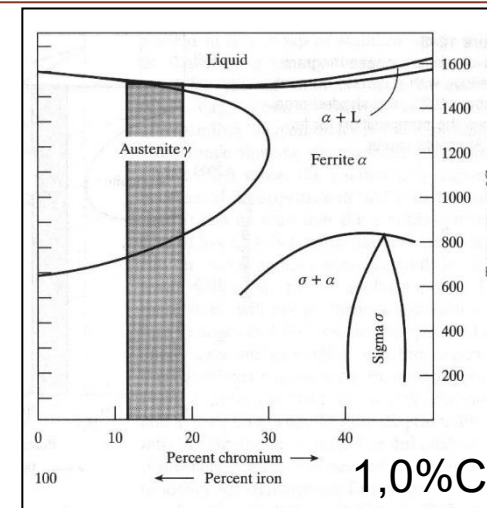
Austeníticos

- $17 \leq \%p.Cr \leq 25$; $6\% \leq \%p.Ni \leq 20$.
- Estrutura austenítica à T ambiente.
- Alta tenacidade à fratura!



Martensíticos

- $12 \leq \%p.Cr \leq 18$, $0,1 \leq \%p.C \leq 0,3$
- Quando temperados atingem elevados níveis de dureza e resistência mecânica.
- Resistência a corrosão menor que dos outros

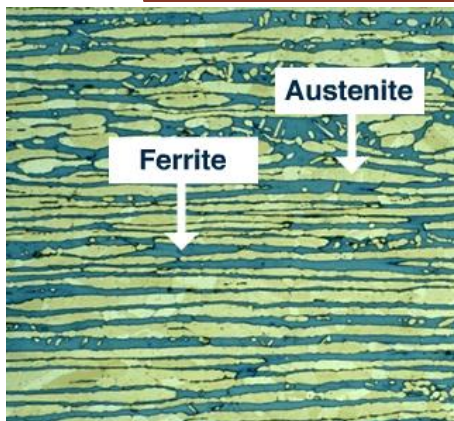


Aços Inoxidáveis

Tipos de aços inoxidáveis

Duplex

- Ligas do sistema **Fe-Cr-Ni-Mo-N**
- Microestrutura bifásica austenita+ferrita
- Melhor resistência corrosão que os austeníticos.
- Tensão de escoamento superiores aos do aços austeníticos

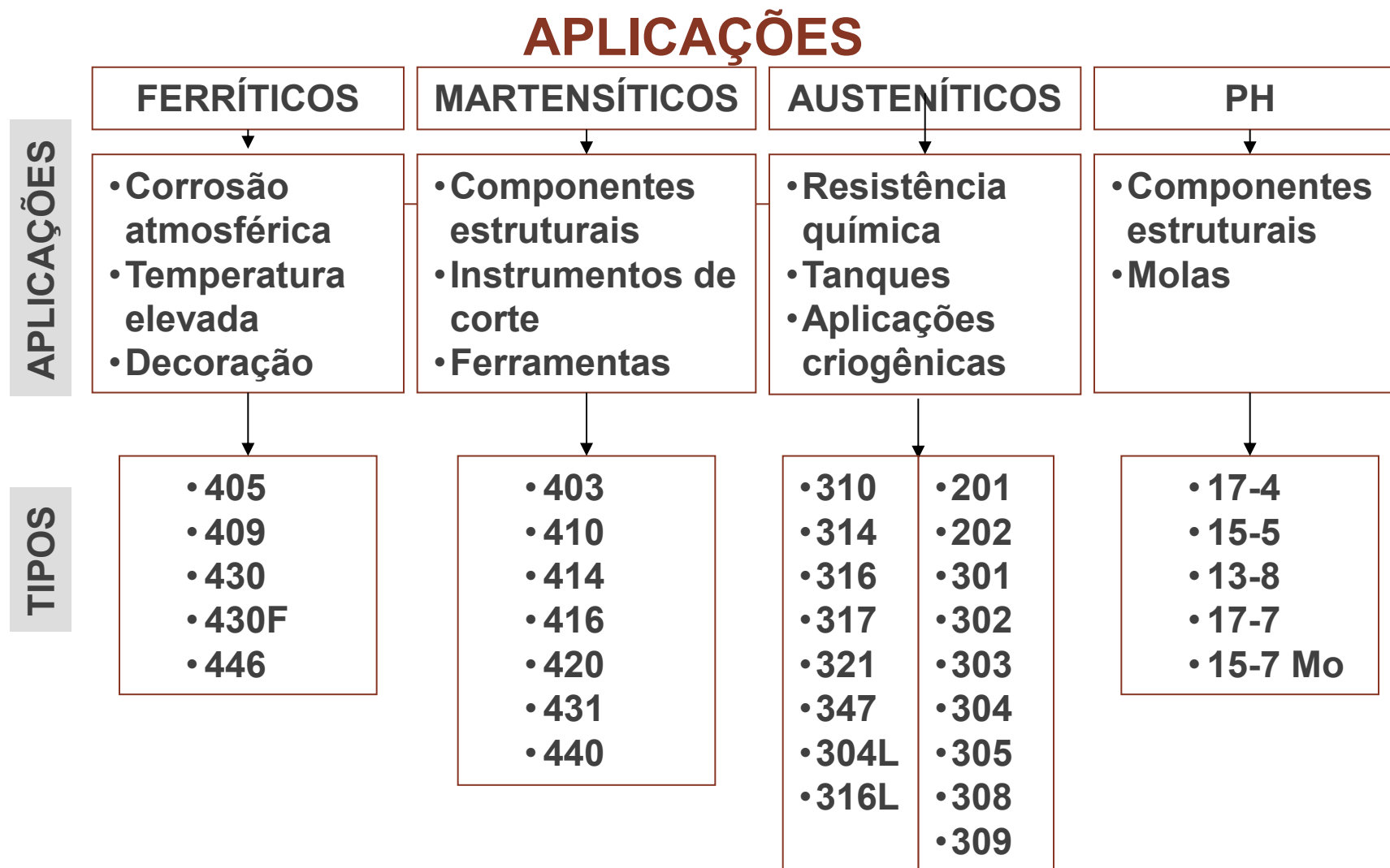


PH – Precipitation Hardening

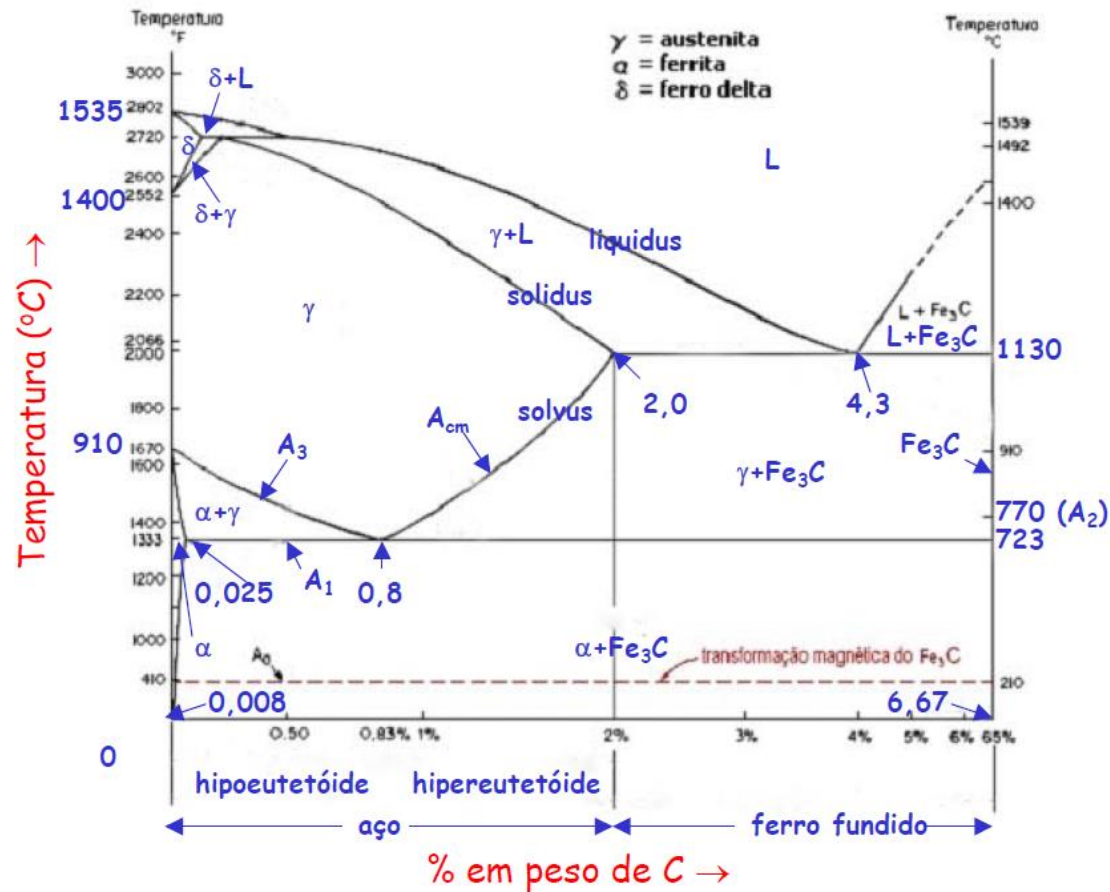
- Endurecimento por precipitação
- Teores variáveis de Ni e Mo
- Precipitados de Cu, Al, Ti e Nb
- Elevadas resistência mecânica e tenacidade, mantidas a altas temperaturas.



Aços Inoxidáveis



Ferros Fundidos



- Ferros fundidos ou **fofos**, são ligas ferrosas com diversidade de propriedades e como o próprio nome indica **devem ser fundidos** na forma desejável, pois por ser tipicamente frágil esta é a melhor forma de processamento.
- Possuem usualmente **de 2 à 3,5 %C** e de **1 à 3 %Si** (liga ternária Fe-C-Si).
- Outros elementos de liga são adicionados para propiciar variação nas propriedades mecânicas

Ferros Fundidos

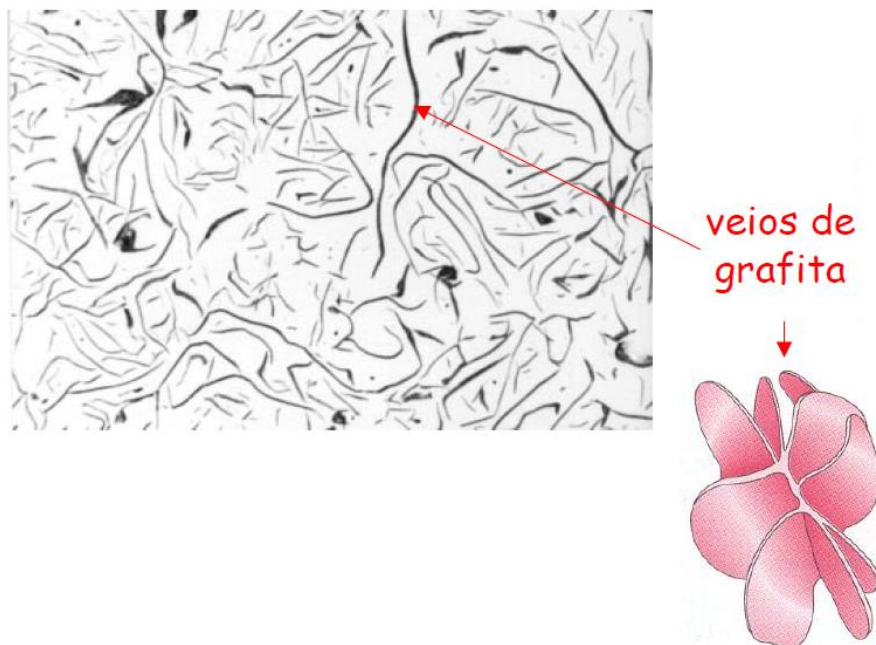
Vantagens:

- Ponto de fusão inferior ao dos aços
- Elevada dureza e resistência ao desgaste
- Boa resistência à corrosão
- Versatilidade de propriedades e aplicações
- Baixo custo

Limitações:

- Grande fragilidade
- Baixa ductilidade
- Difícil de usinar
- Soldagem difícil

Ferro Fundido Cinzento

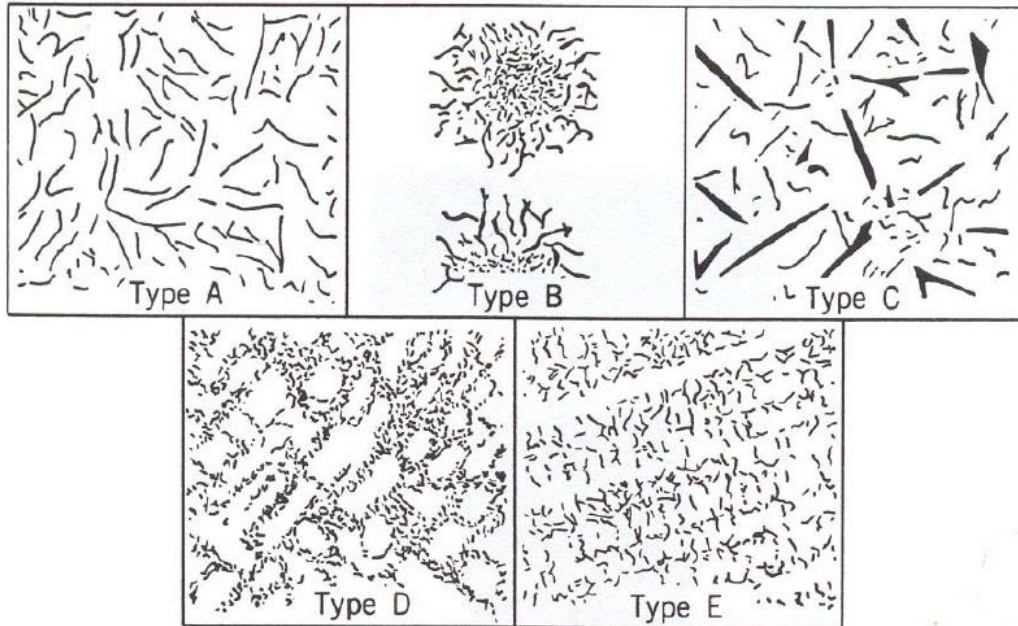


São ligas Fe-C (2,5-4,0%)-Si (1,0-3,0%) que apresentam a **grafita** em forma de veios ou flocos geralmente em matriz ferrítica (resfriamento lento) ou perlítica (resfriamento moderado).

- Os veios apresentam uma aparência acinzentada na superfície fraturada.
- As condições de fundição podem alterar a forma da grafita precipitada, e sua morfologia tem notável influência nas propriedades mecânicas.
- A adição de elementos de liga pode permitir a obtenção de microestrutura martensítica após tratamento térmico posterior na peça.

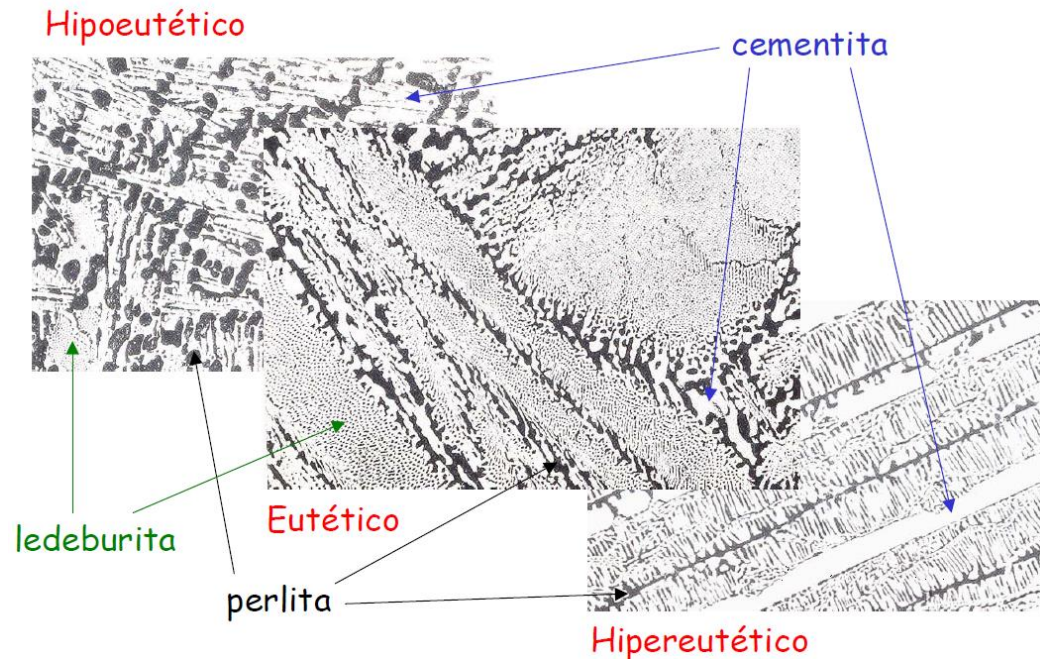
Ferro Fundido Cinzento

Tipos de veio de grafite



- **As características dos fofos cinzentos são:**
 - Baixa ductilidade
 - Boa resistência ao desgaste
 - Boa resistência à compressão
 - Boa absorção de energia vibracional
 - É o material metálico mais barato de todos
- **Aplicações:**
 - Componente estrutural de máquinas e equipamentos pesados sujeitos à vibração,
 - Peças fundidas de vários tipos que não necessitam de elevada resistência mecânica, pequenos blocos cilíndricos, pistões, cilindros, discos de embreagem e peças fundidas de motores a diesel.

Ferro Fundido Branco



Ledeburita – eutético de Fe-Fe₃C

- São ligas Fe-C (1,8-3,6%)-Si (0,5-1,9%) obtidas com altas taxas de resfriamento para favorecer a formação da **cementita Fe₃C**.
- Geralmente os carbonetos estão sobre uma matriz perlítica.
- Apresenta uma superfície fraturada de cor branca devido a cementita.

Ferros Fundidos Brancos

Características:

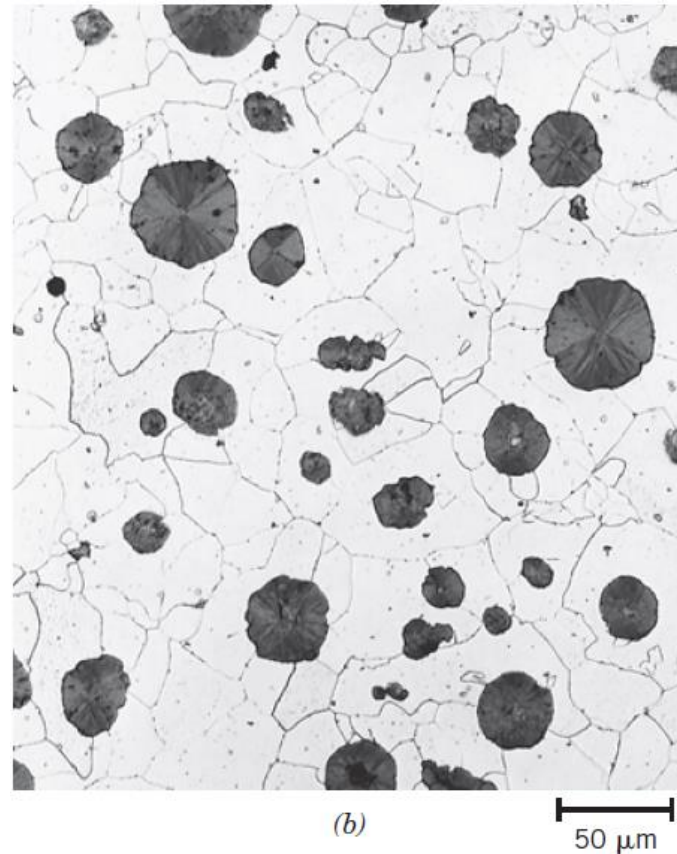
- Duros
- Frágeis
- Elevada resistência ao desgaste
- Difícil usinabilidade
- Elevada resistência à compressão

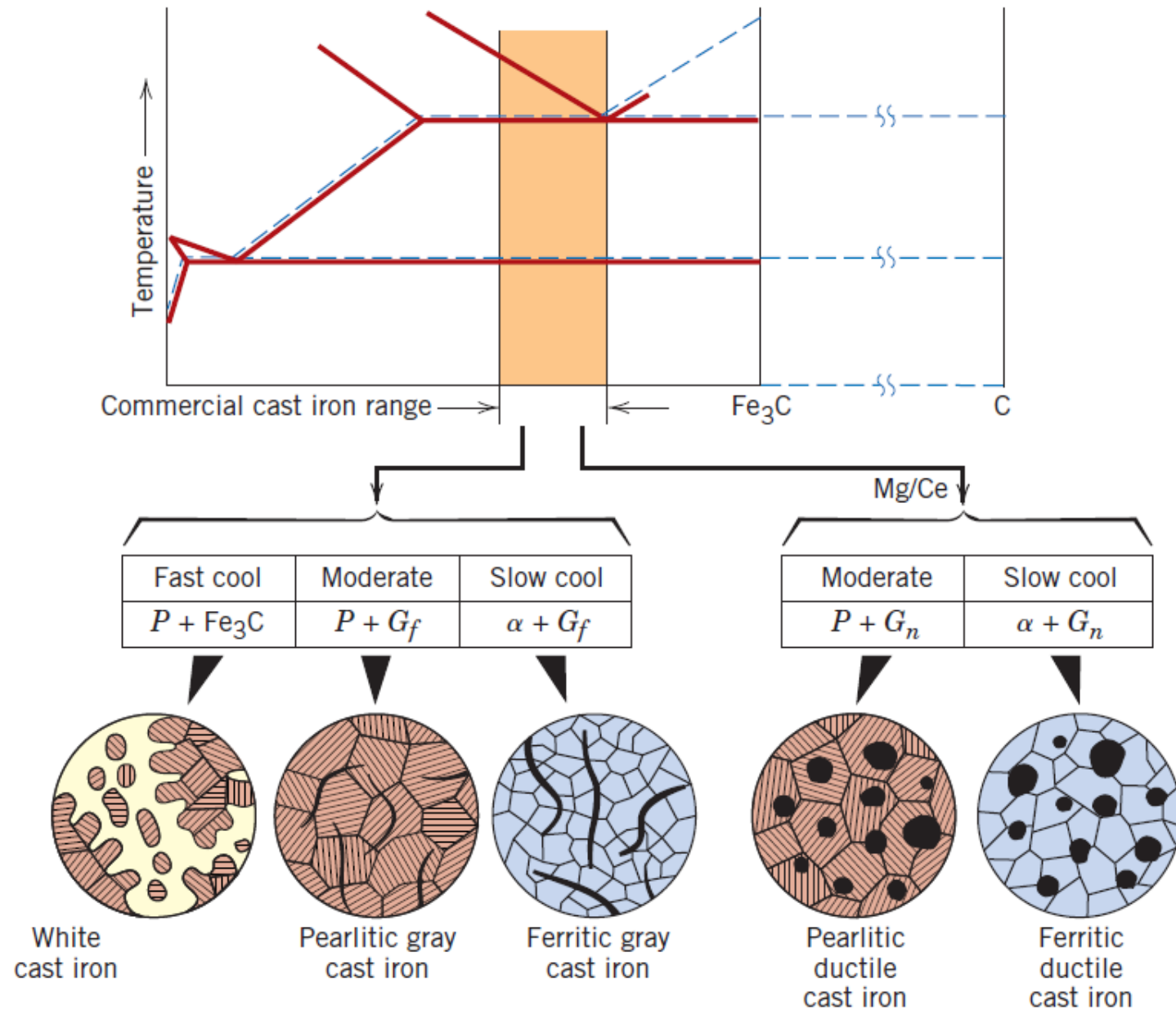
Aplicações:

- Rodas de vagões
- Mineração, moagem
- Revestimentos de moinhos
- Bolas de moinhos de bola

Ferros fundidos Nodulares

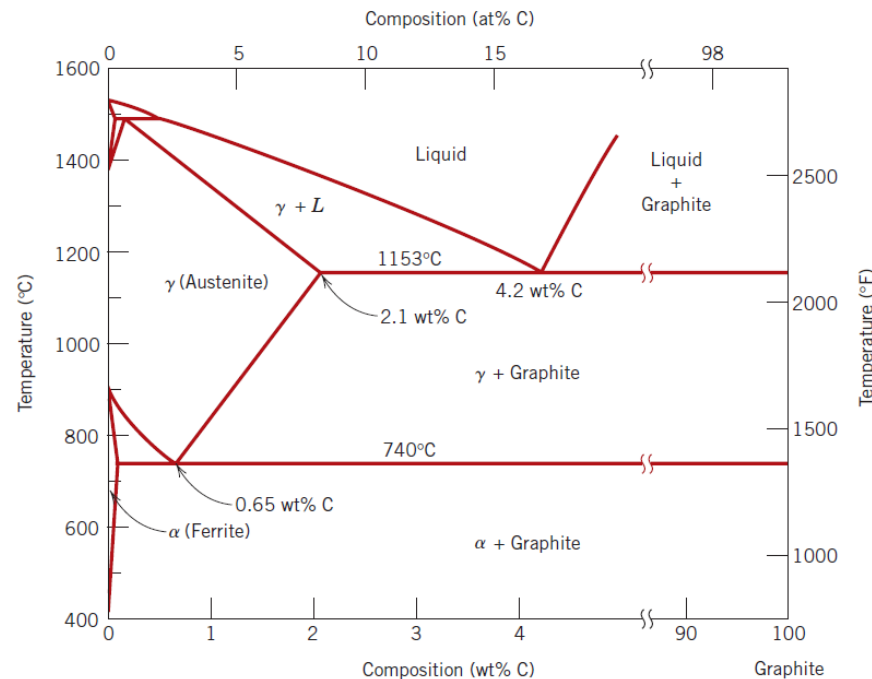
- Ferro fundido nodular (ou dúctil). Pequenas adições de Ce ou Mg levam a formação de grafita com morfologia nodular. A matriz pode ser ferrítica ou perlítica (dependendo da taxa de resfriamento).





Ferro Fundido Maleável

- Ferro fundido maleável. Produzido a partir de um tratamento térmico do Fofu branco entre 800 e 900 °C por tempo prolongado.

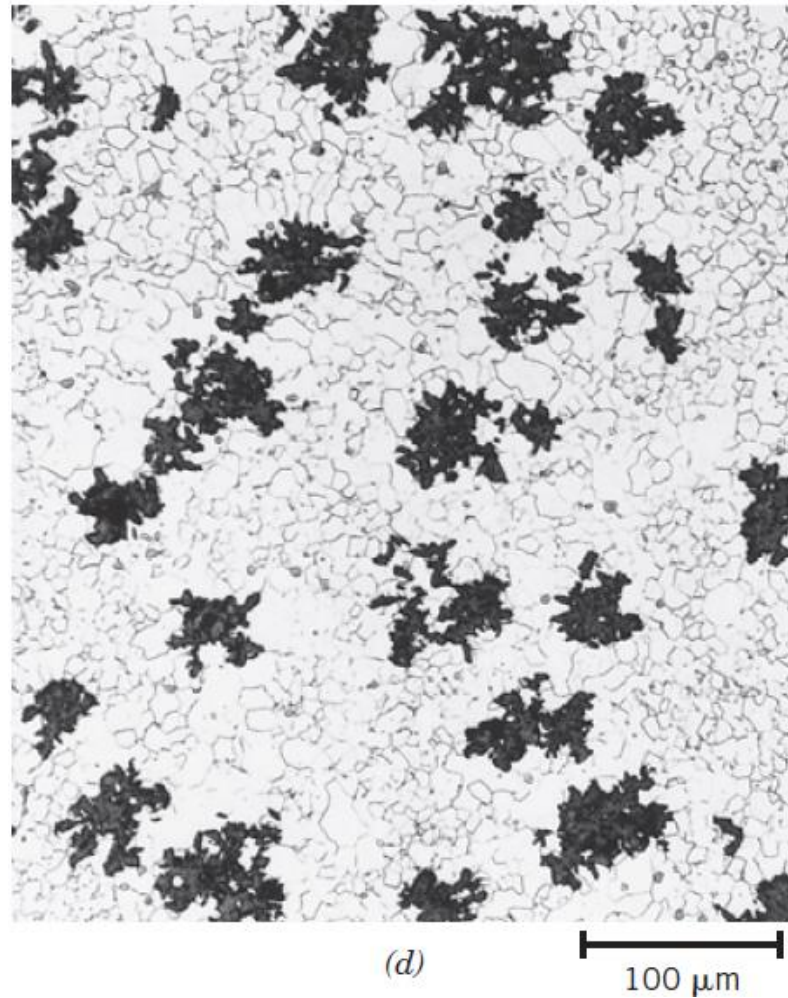


Durante o aquecimento, acima da temperatura eutetóide, o carbono se difunde, formando núcleos de grafita, em forma de rosetas.

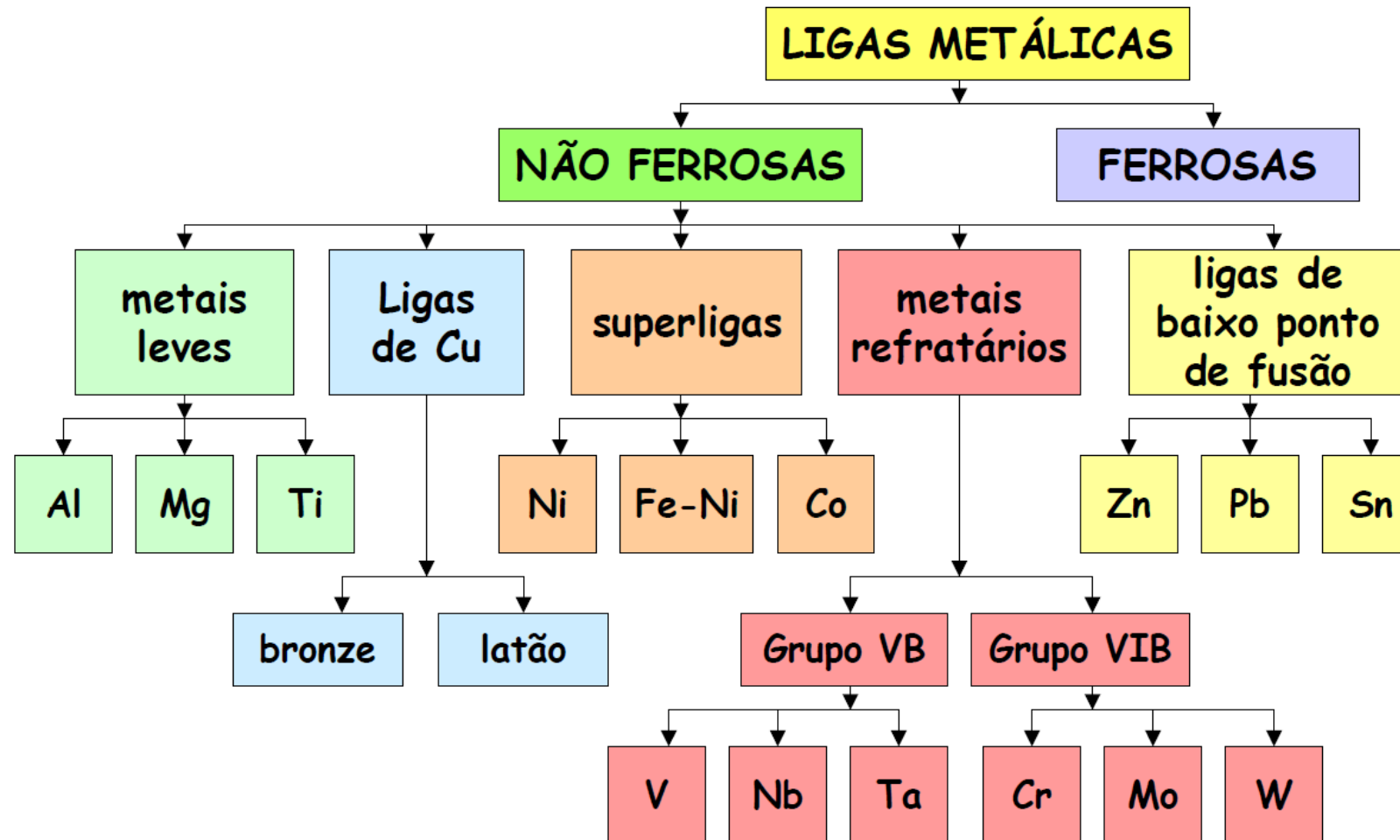
O resfriamento subsequente vai ditar qual a microestrutura da matriz. Resfriamento rápido leva a uma matriz perlítica. Resfriamento lento, ferrítica.

Ferros fundidos

- Ferro fundido maleável. Ex: fofo maleável com matriz ferrítica.



Metais não-ferrosos



Ligas de Alumínio



Características:

- Leveza: densidade = $2,7 \text{ g/cm}^3$.
- Alta condutividade térmica e elétrica.
- Alta relação resistência/peso.
- Resistência à corrosão.
- Conformabilidade devido à alta maleabilidade – baixo custo de processamento
- Reciclabilidade.

Ligas de Alumínio

Classificação – Trabalhadas mecanicamente:

Série	Composição Química	Aplicações principais
1XXX	Al comercialmente puro	Contatos elétricos
2XXX	Al-Cu e Al-Cu-Mg	Indústria aeronáutica
3XXX	Al-Mn e Al-Mn-Mg	Latas de bebidas, painéis
4XXX	Al-Si	Soldas e pistões forjados
5XXX	Al-Mg	Aplicações náuticas
6XXX	Al-Mg-Si	Perfis arquitetônicos Componentes automotivos
7XXX	Al-Zn e Al-Zn-Mg	Indústria aeronáutica
8XXX	Outras ligas (Al-Li, Al-Fe...)	Várias

Ligas de Alumínio

Classificação – Trabalhadas mecanicamente:

Endurecíveis por Deformação à Frio

1XXX (Al)

3XXX (Al/Mn)

5XXX (Al/Mg)

8XXX (Al/outros)

Endurecíveis por Precipitação

2XXX (Al/Cu)

4XXX (Al/Si)

6XXX (Al/Mg/Si)

7XXX (Al/Zn/Mg)

8XXX (Al/outros)

Ligas de Alumínio

Classificação – Ligas de fundição

Série	Composição Química	Aplicações principais
1XX.X	Al comercialmente puro	Contatos elétricos
2XX.X	Al-Cu e Al-Cu-Mg	Indústria aeronáutica
3XX.X	Al-Si-Mg e Al-Si-Cu	Várias
4XX.X	Al-Si	Pistões fundidos de motores
5XX.X	Al-Mg	Aplicações náuticas
6XX.X	Não existe este sistema	Não especificado
7XX.X	Al-Zn e Al-Zn-Mg	Indústria aeronáutica
8XX.X	Al-Sn	Várias, para ligas com baixo ponto de fusão

Ligas de Magnésio



Características:

- Densidade $1,7 \text{ g/cm}^3$ (A mais baixa entre todos os metais).
- Alta relação resistência/densidade.
- Baixo módulo de elasticidade -45 GPa.
- Difícil de ser deformado (baixa ductilidade).
- Processado por fundição ou deformação a quente ($200\text{-}350^\circ\text{C}$).
- Baixa temperatura de fusão - 651°C .
- Boas condutibilidades elétrica e térmica.
- Suscetível a corrosão em ambientes marinhos.

Ligas de Magnésio



Aplicações:

- Na indústria aeronáutica em componentes de motores, na fuselagem e em trens de aterrisagem
- Na indústria automobilística em volantes, caixas de transmissão, rodas, estruturas dos assentos e colunas de direção
- Em componentes eletro-eletrônicos como em computadores portáteis, câmaras de vídeo e telefones celulares
- Na indústria bélica em mísseis.

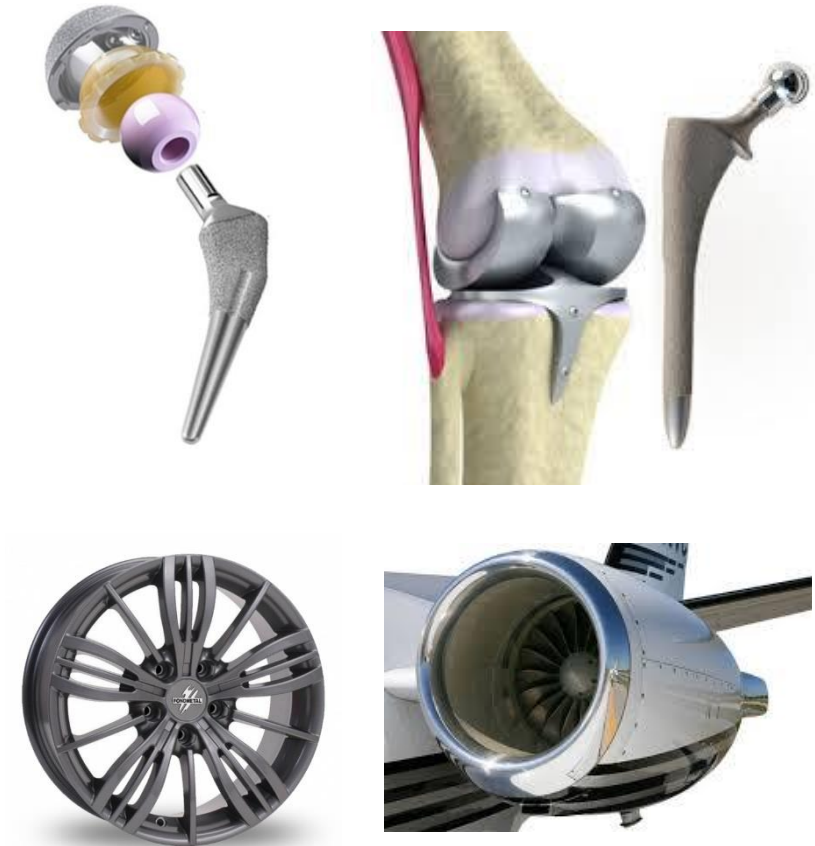
Ligas de Titânio



Características:

- Densidade relativamente baixa -4,5 g/cm³.
- Excelente relação resistência / peso.
- Alto ponto de fusão : 1668°C.
- Não magnético.
- Baixo módulo de elasticidade 70-107 GPa.
- Excelente resistência mecânica –comparável aos aços.
- Elevada reatividade química com outros elementos em altas temperaturas.
- Alta resistência a corrosão ao ar, à água salgada, à transpiração, aos ácidos e ao ambiente industrial.
- Pode ser soldado, forjado, usinado e laminado com o mesmo equipamento que trabalha o aço.
- Alta eficiência na transferência de calor.
- Biocompatível.

Ligas de Titânio



Aplicações:

- Na indústria aeronáutica em estruturas, fuselagem, hélices, turbinas e motores.
- Na indústrias automobilística em estruturas e bielas
- Na indústria petroquímica em turbinas à gás e tubos para trocadores de calor
- Implantes e próteses
- Carcaças de submarinos
- Contêiner de lixo nuclear
- Estruturas de suporte para sistemas óticos sujeitos a grandes variações de temperatura