

Cinética das transformações de fase

Curvas TTT e TRC

Diagramas de fase não incluem o fator tempo **mas** as transformações de fase são dependentes do tempo (Fenômenos de difusão estão envolvidos)

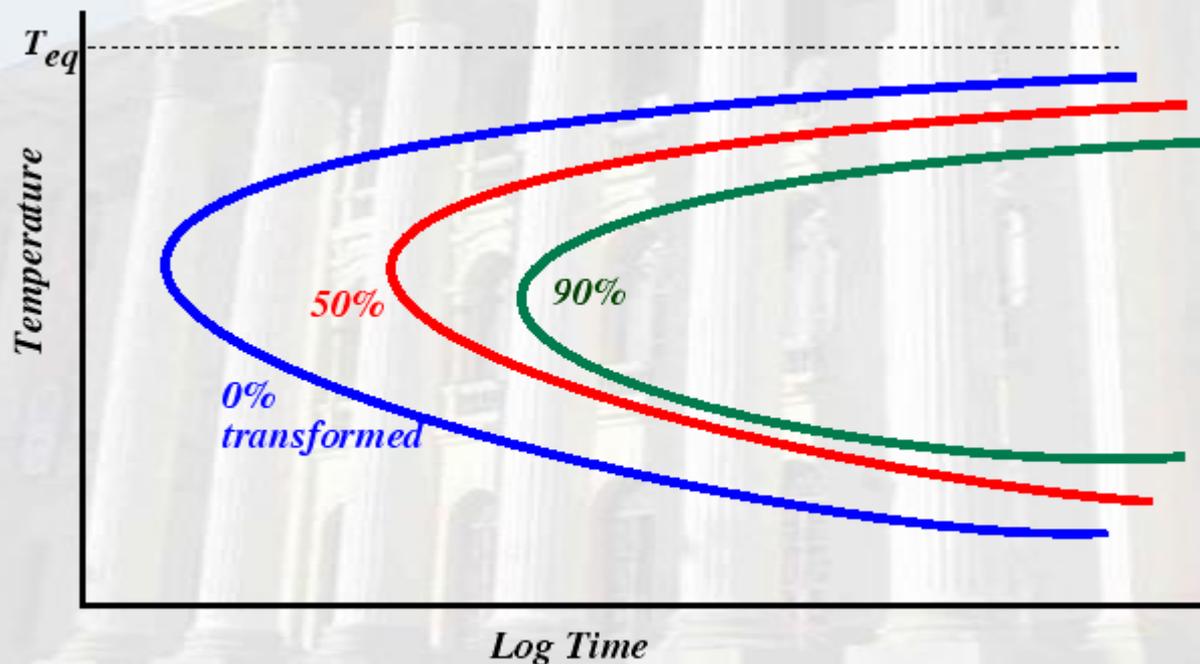
O **tempo necessário** para que ocorra determinada transformação de fase é fornecido pelos **diagramas TTT** ou **TRC**

Fora do equilíbrio:

- As transformações ocorrem a outras temperaturas
- Formação de fases metaestáveis, por vezes são as necessárias

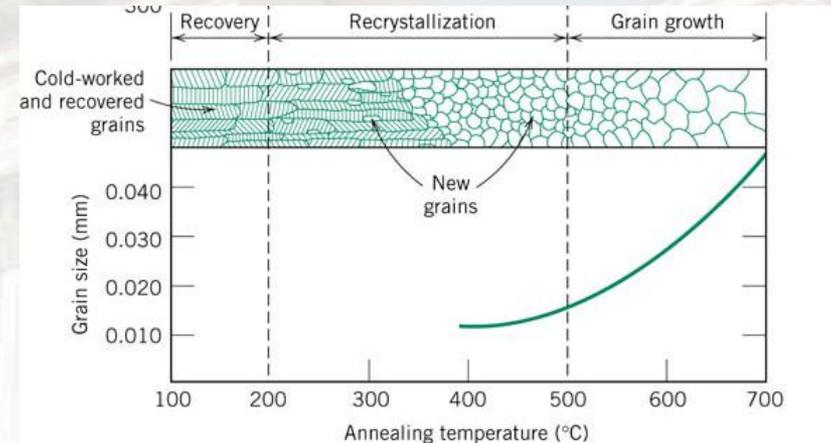
Diagramas TTT Tempo-Temperatura-Transformação

Transformações Isotérmicas (T constante)

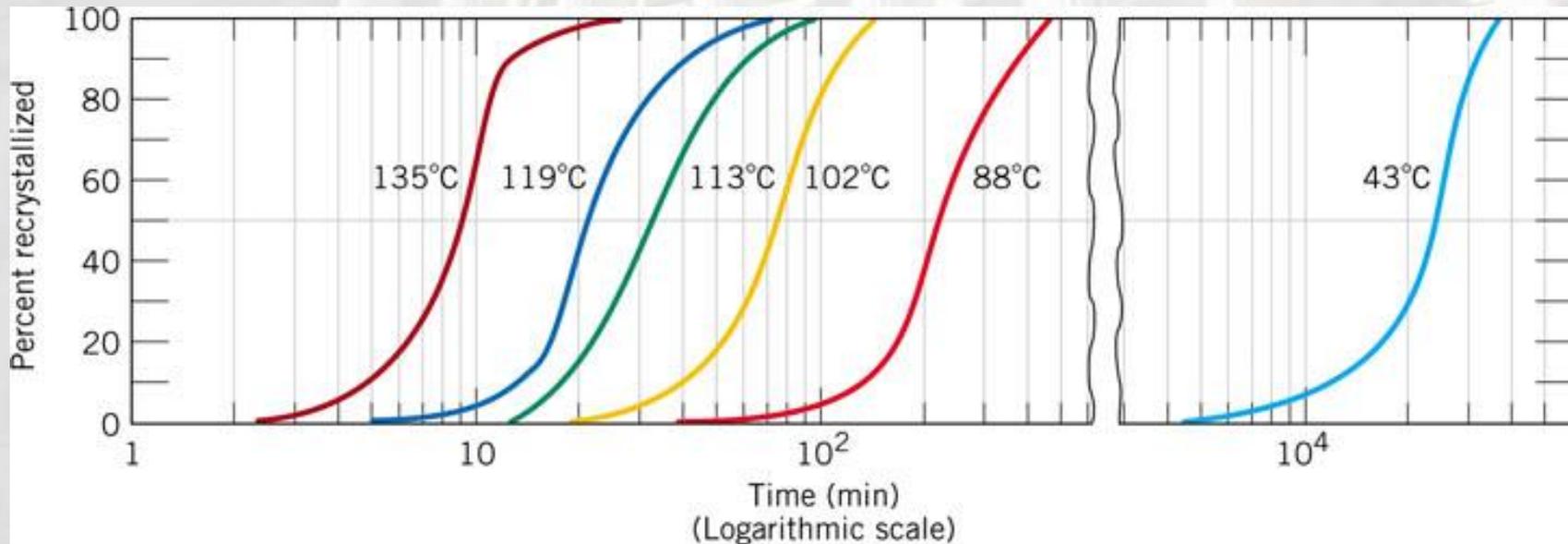


Exemplos vistos anteriormente

Recristalização



Influência da temperatura e no tempo na transformação



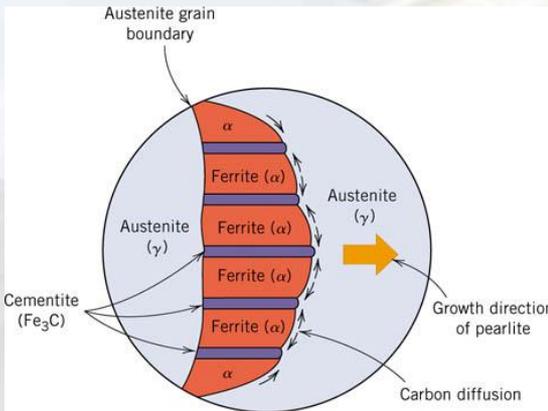
❖ Cinética das transformações de fase

Aços

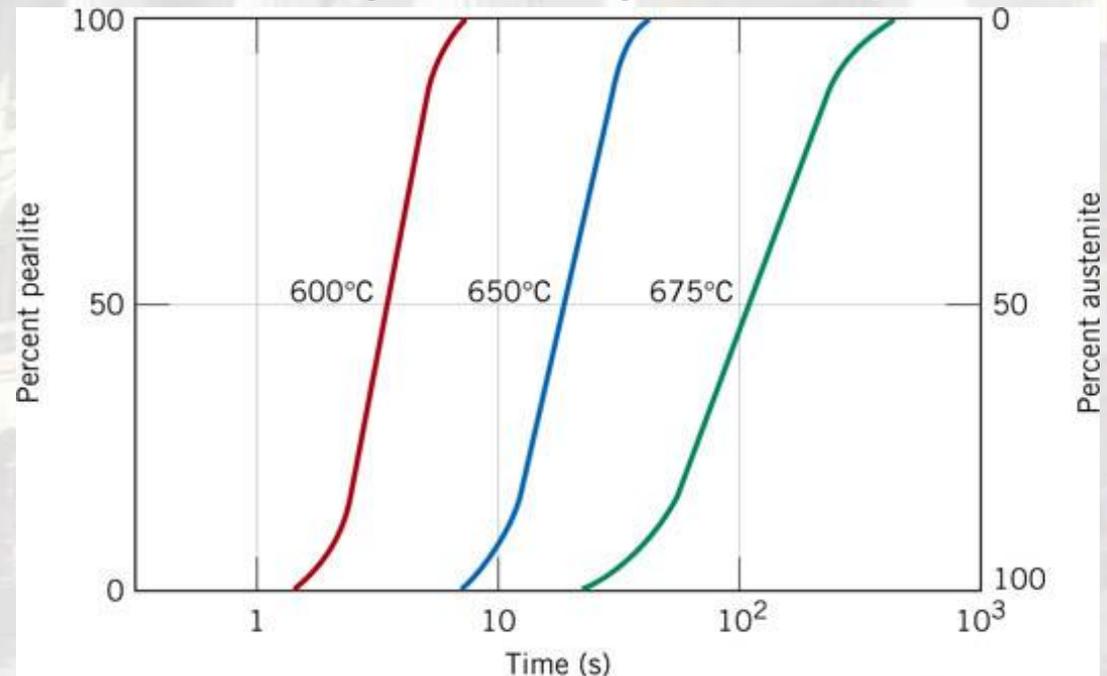
❖ Cinética das transformações de fase

Diagramas TTT Tempo-Temperatura-Transformação

Transformações Isotérmicas



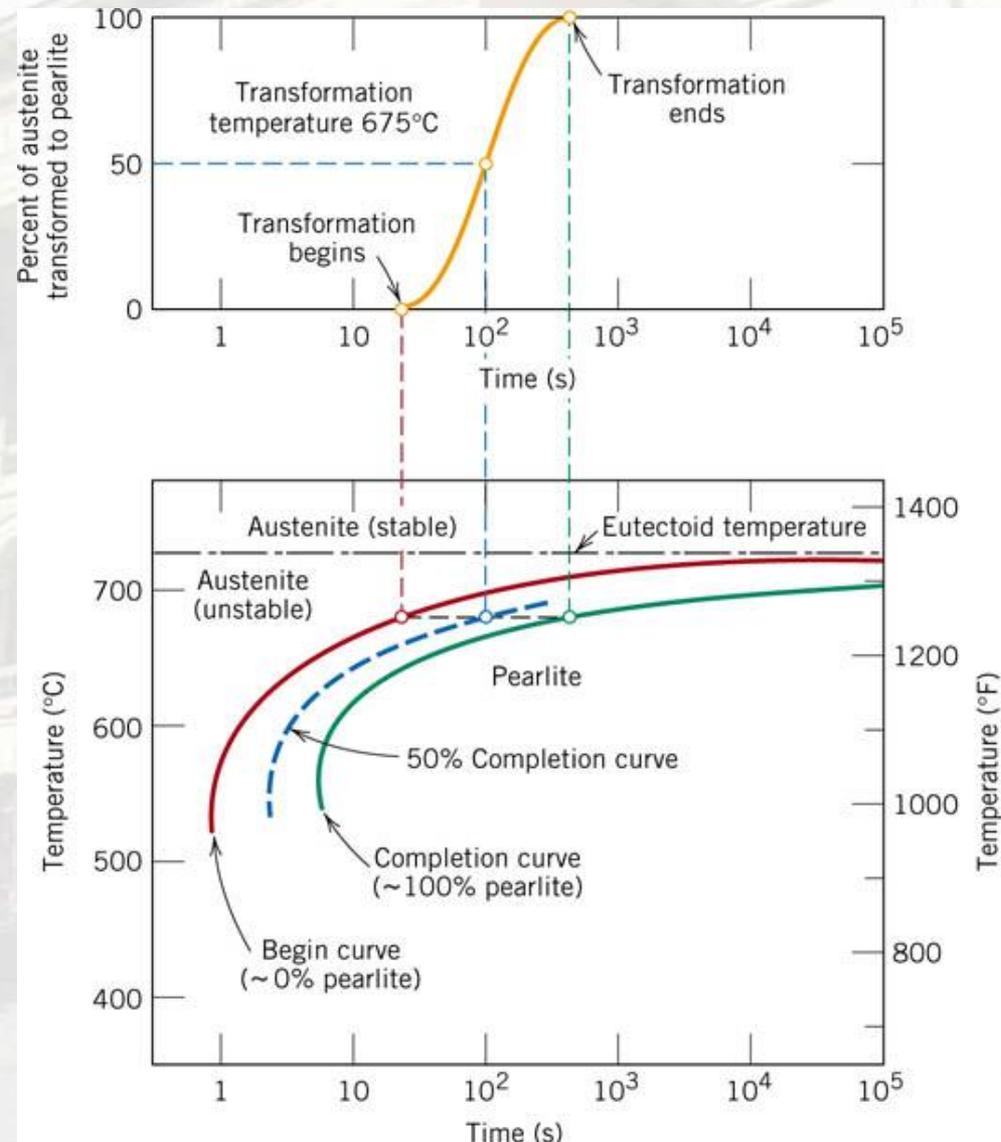
Transformação em função do tempo



Se a T aumenta a difusão porque a transformação ocorre mais rápido nas T menores?

❖ Cinética das transformações de fase

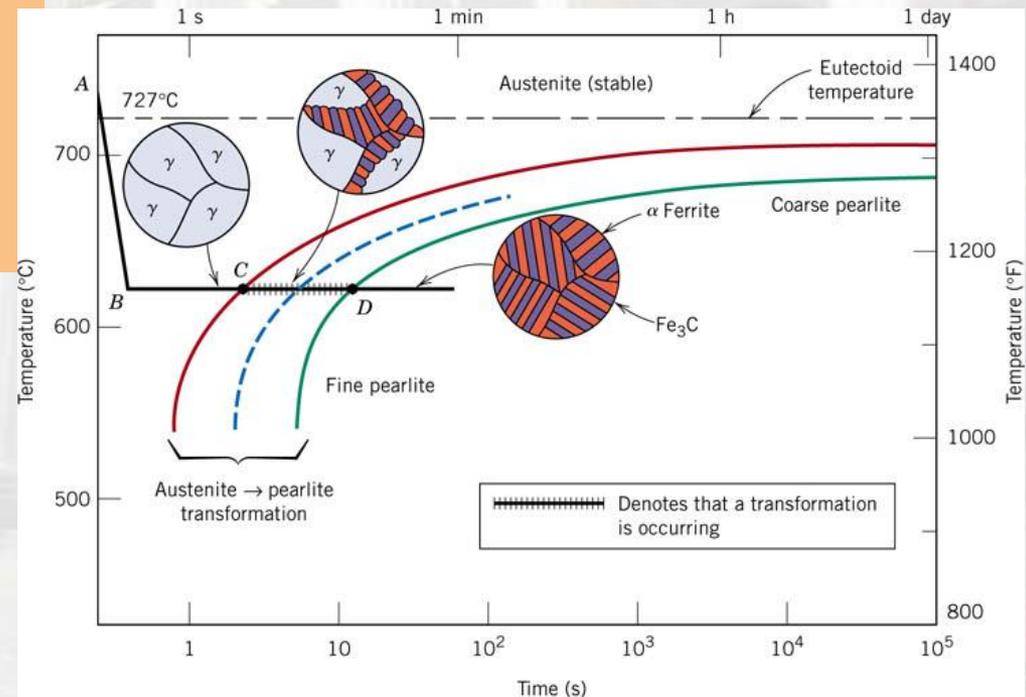
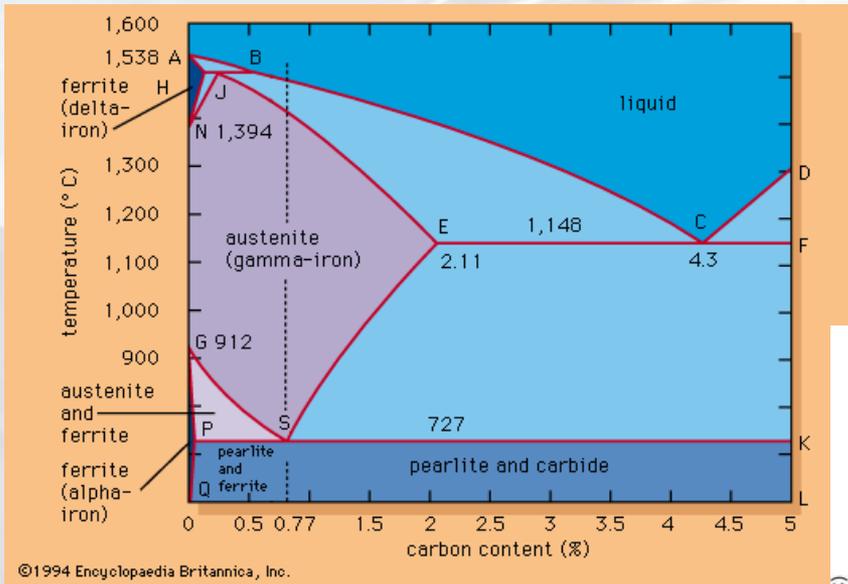
Construção das curvas TTT



❖ Cinética das transformações de fase

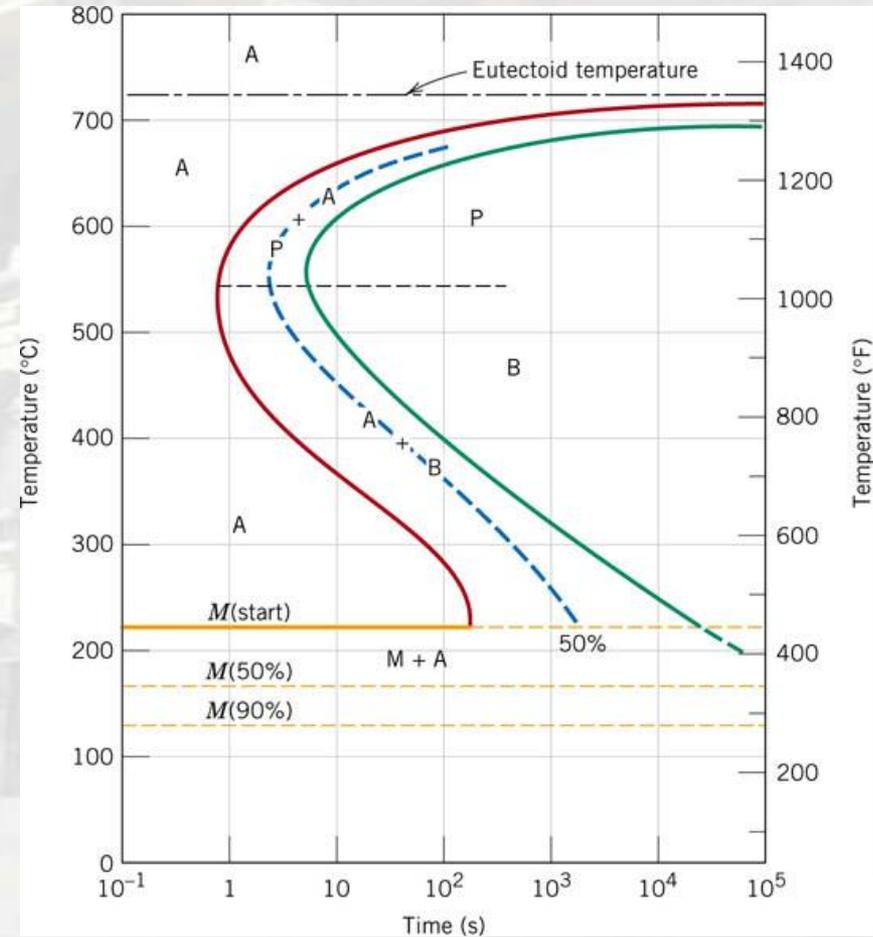
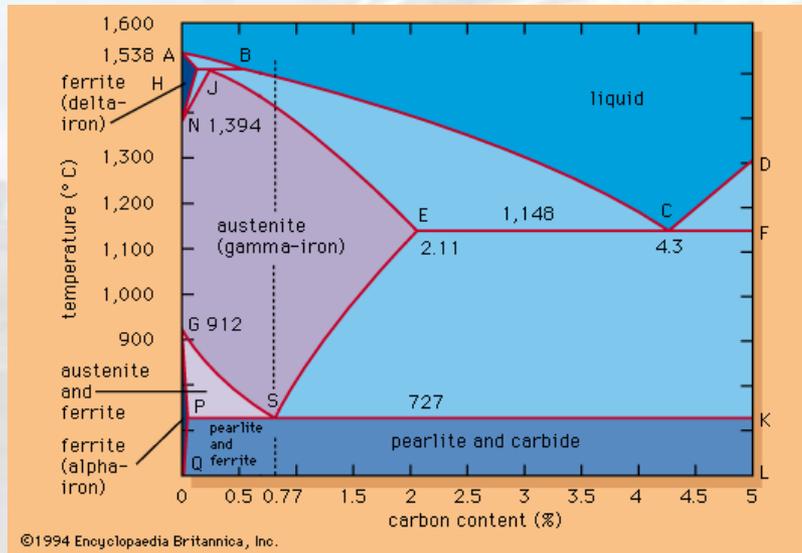
Diagramas TTT Tempo-Temperatura-Transformação

Transformações Isotérmicas (diagrama Fe-Fe₃C)



Diagramas TTT Tempo-Temperatura-Transformação

Aço Eutetoide

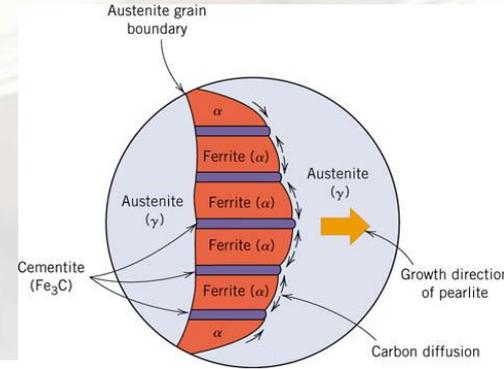
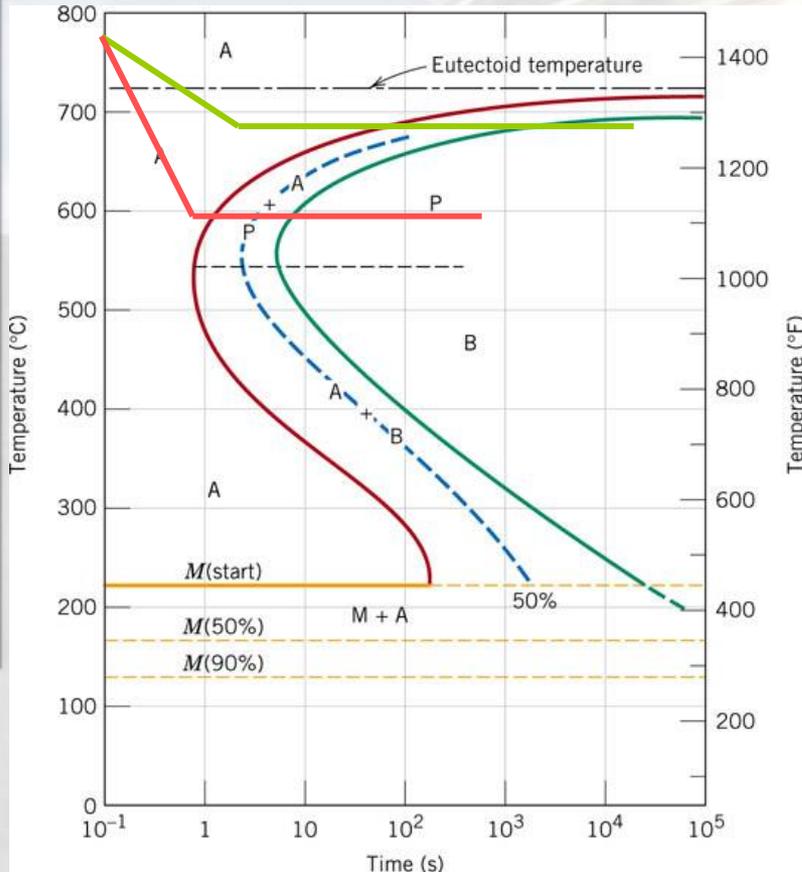


Novas fases fora do equilíbrio:

- Martensita
- Bainita

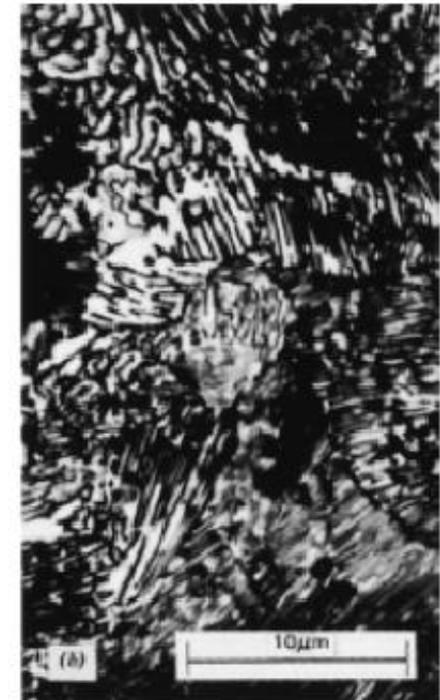
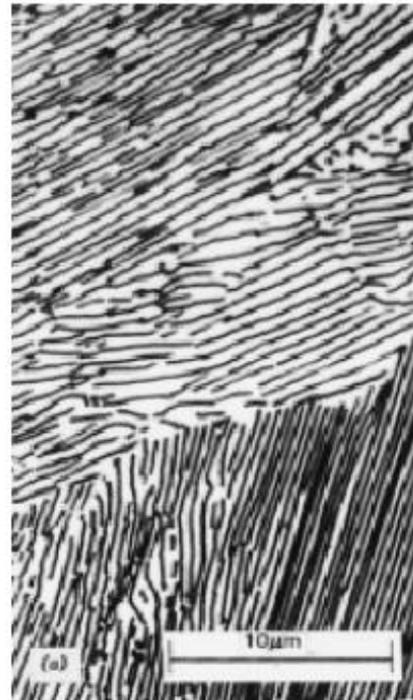
❖ Cinética das transformações de fase

Resfriamento lento Aço Eutetoide



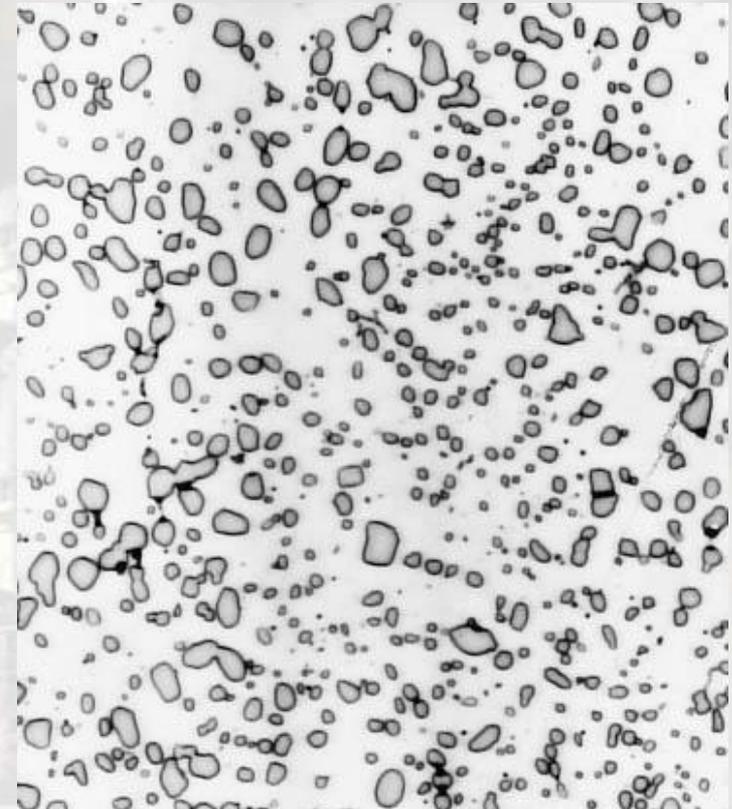
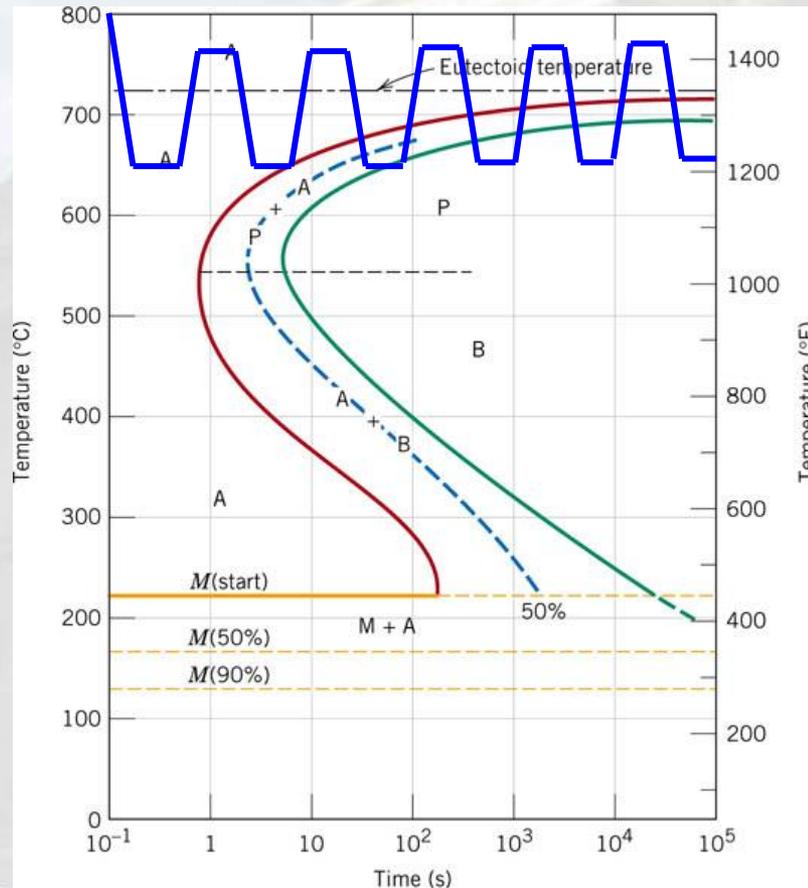
coarse

fine



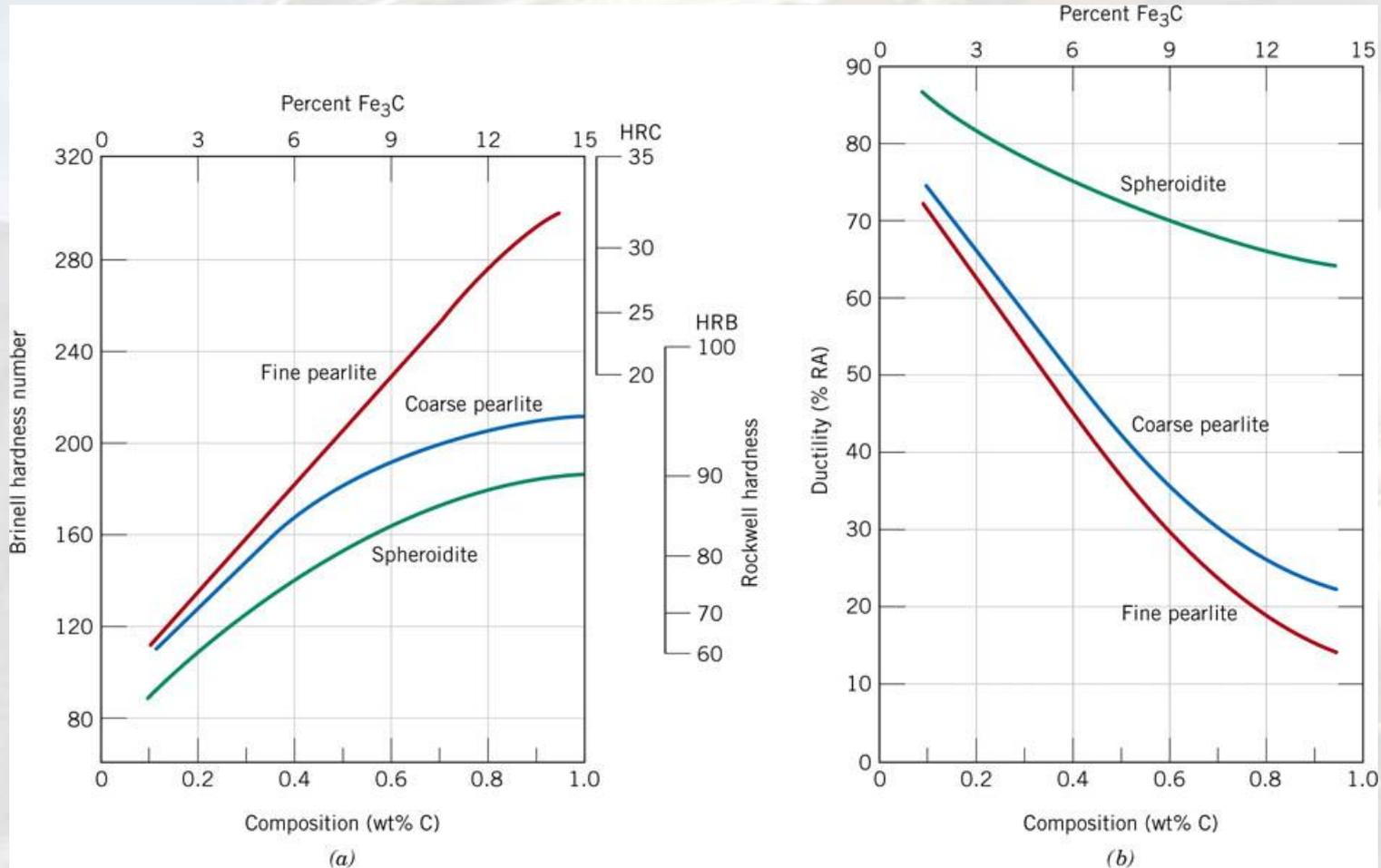
Resfriamento lento Aço Eutetoide

Esferoidização



❖ Cinética das transformações de fase

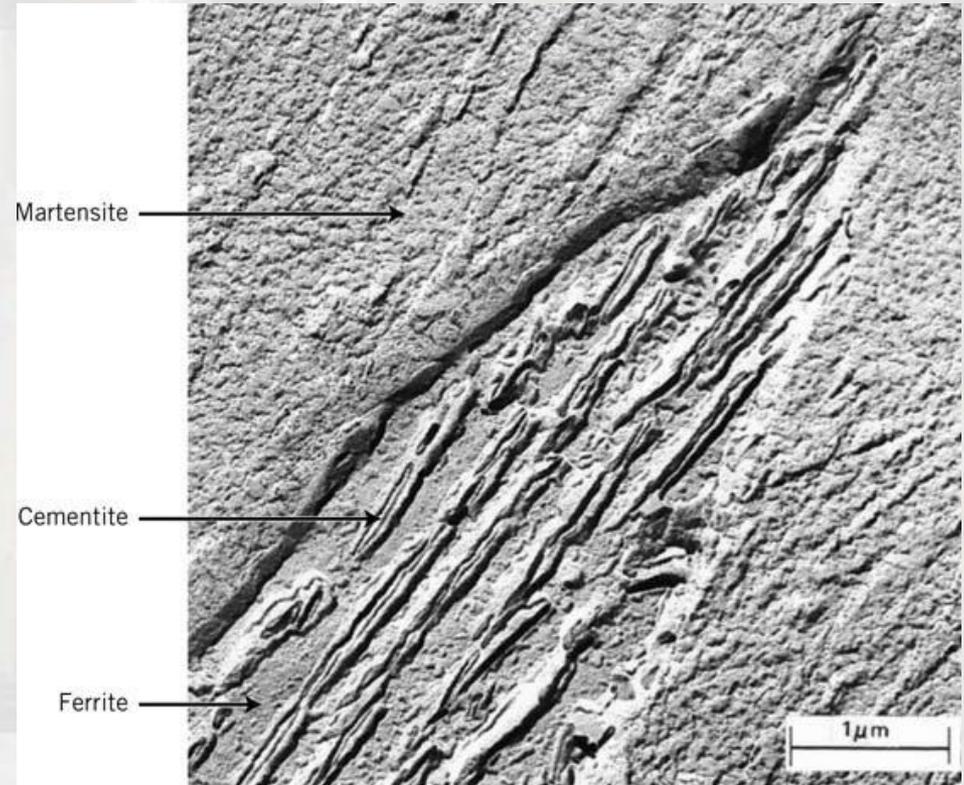
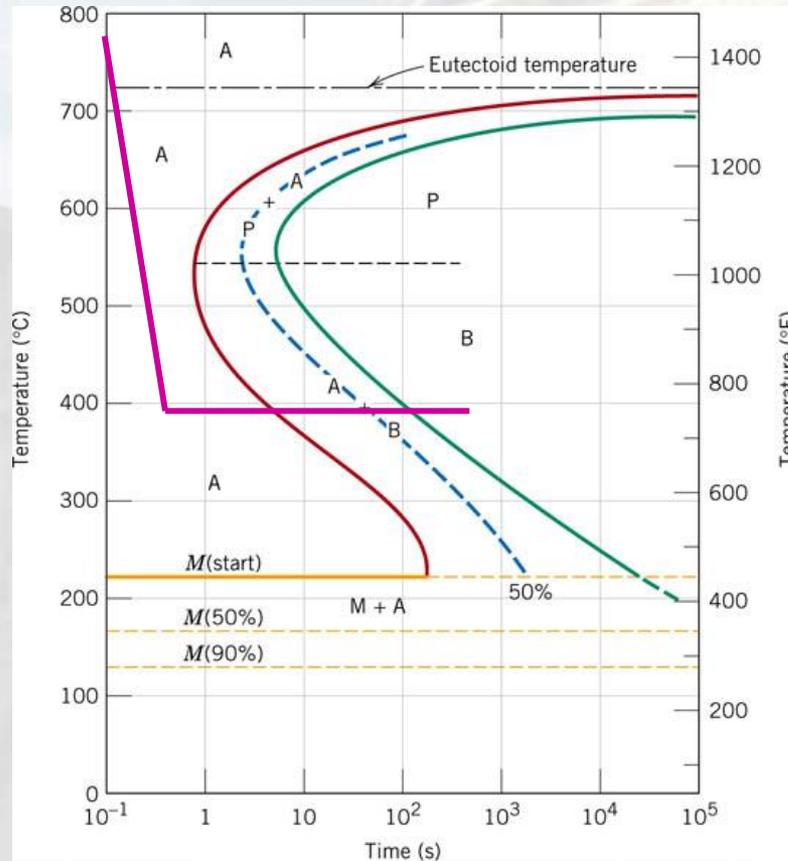
Relação microestrutura-propriedades



❖ Cinética das transformações de fase

Resfriamento rápido Aço Eutetoide

Bainita

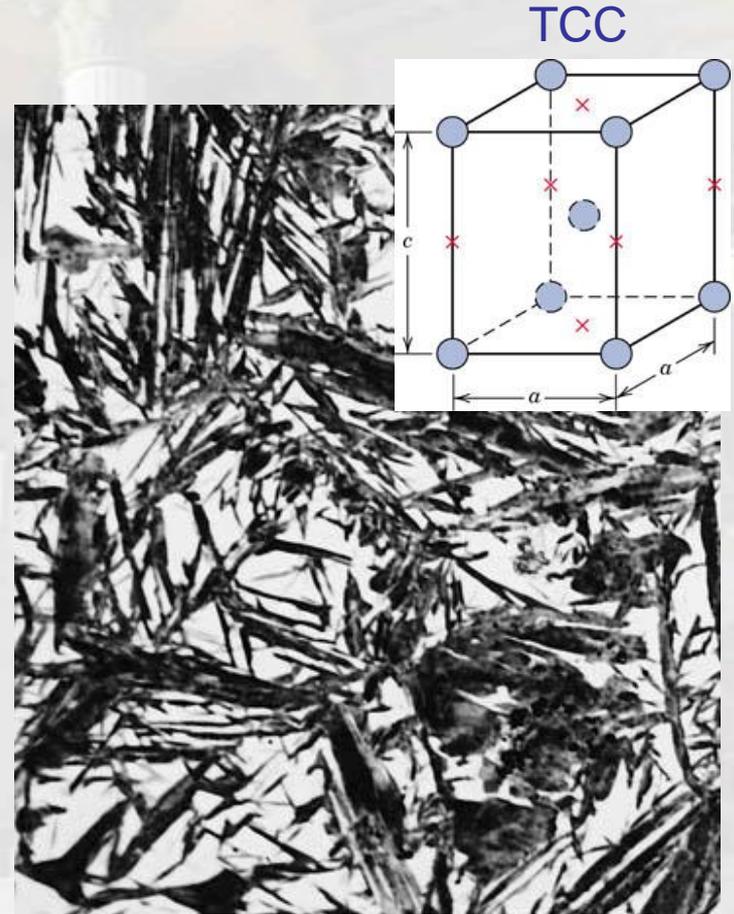
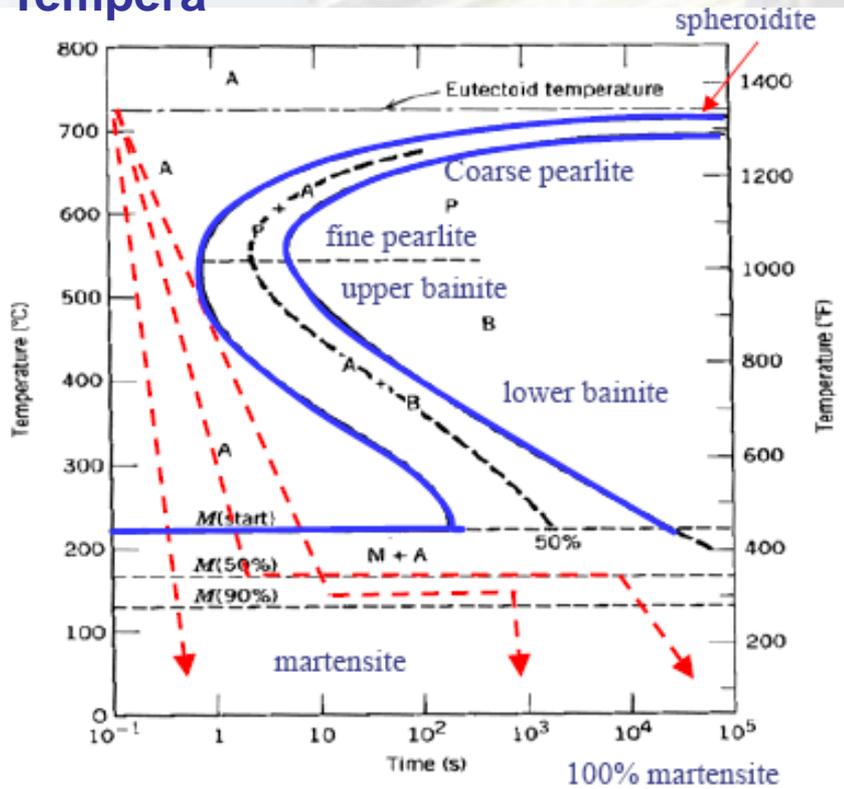


❖ Cinética das transformações de fase

Resfriamento rápido Aço Eutetoide

Martensita

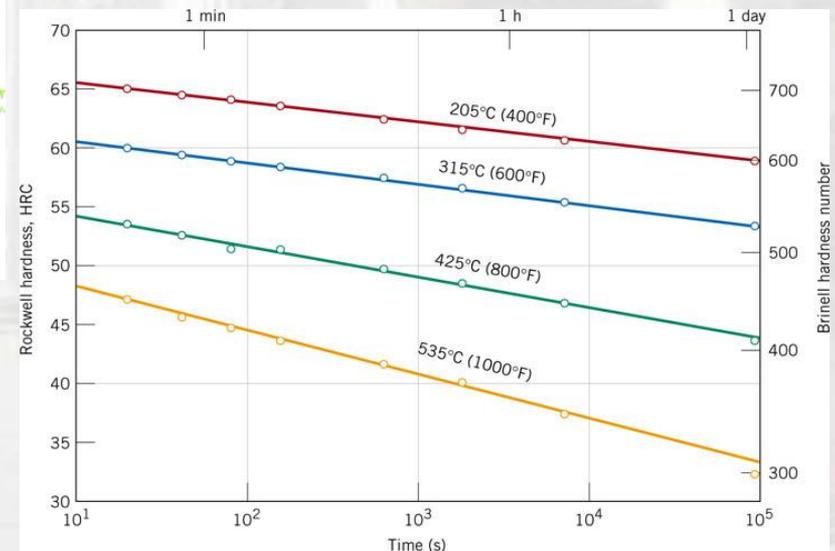
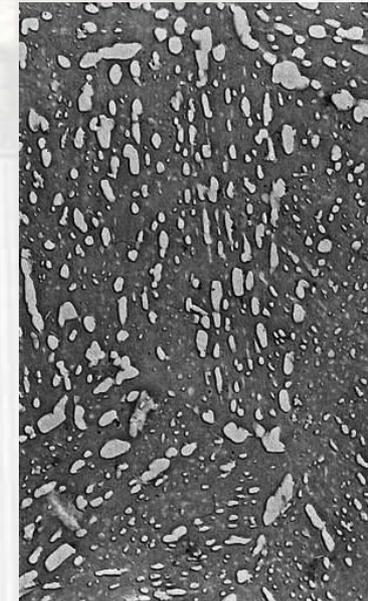
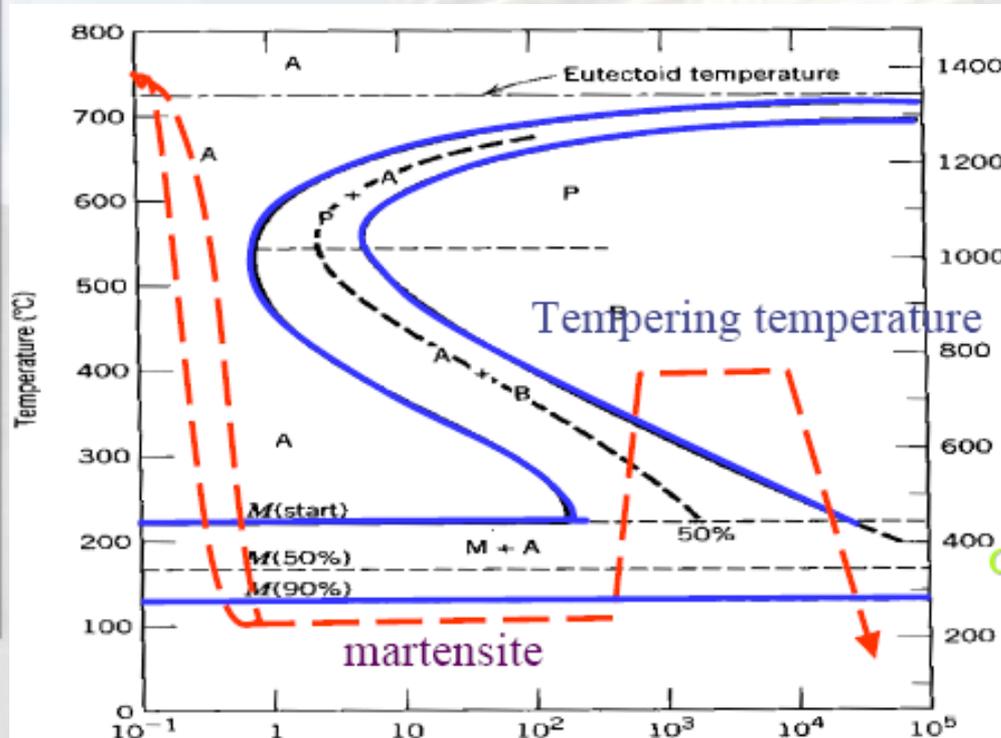
Tempera



❖ Cinética das transformações de fase

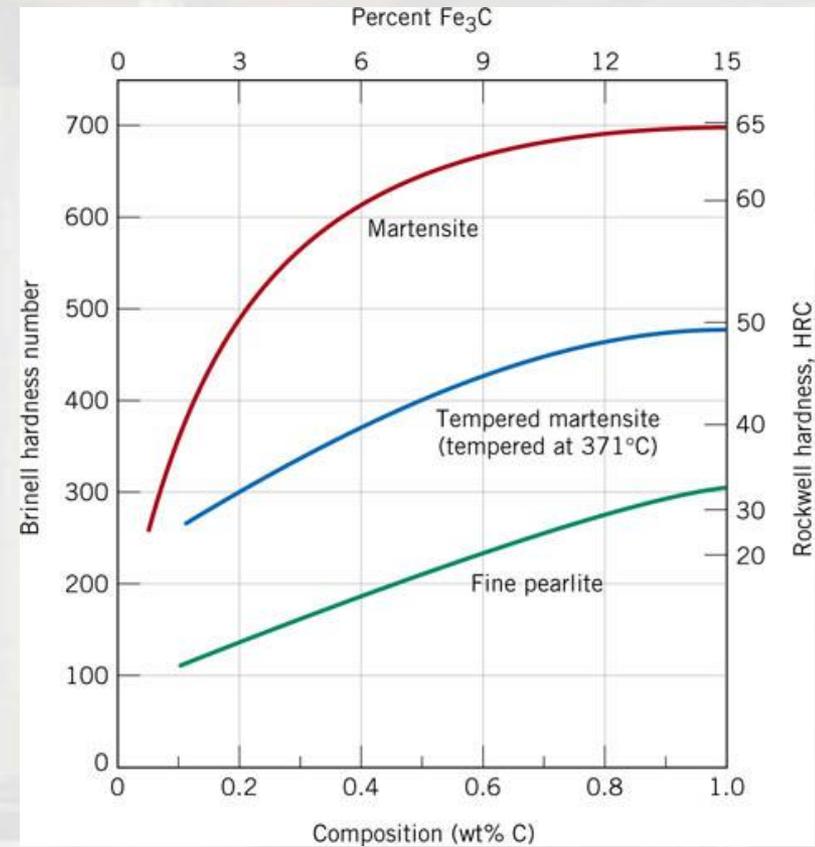
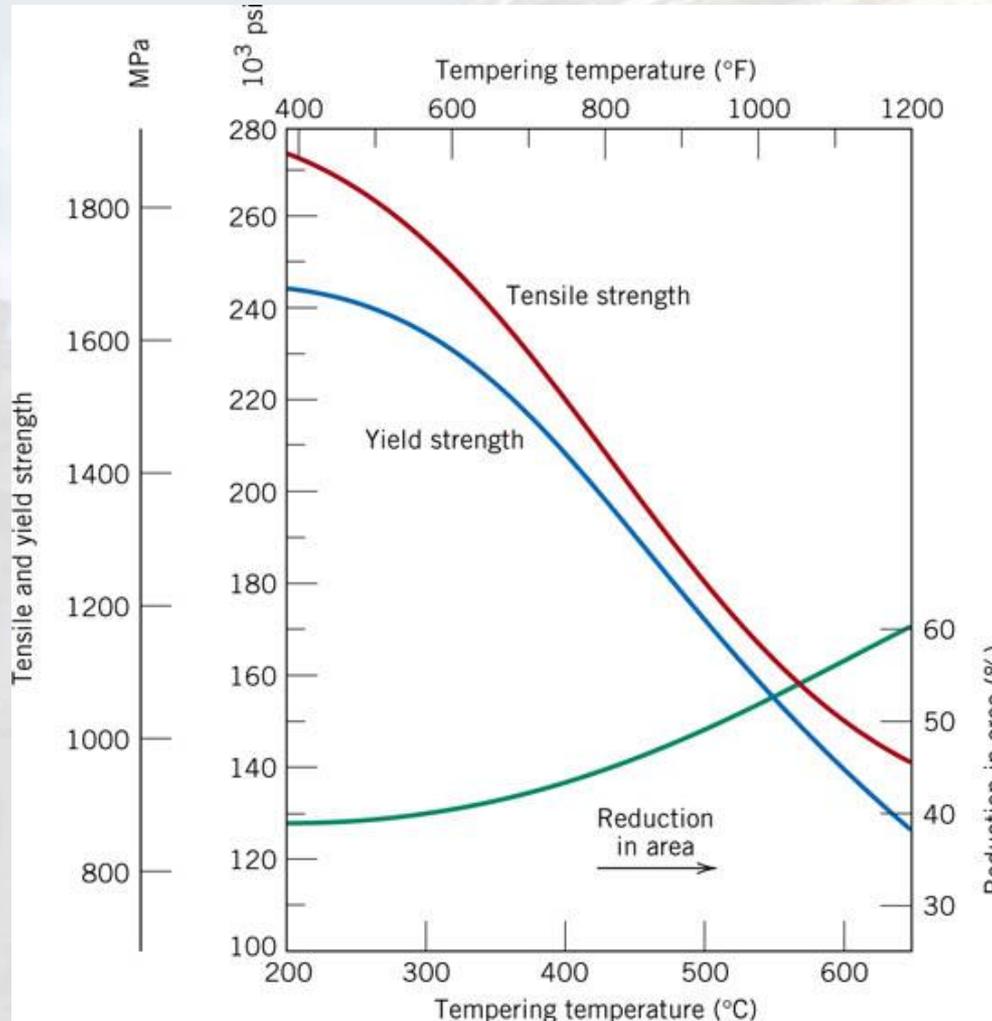
Resfriamento rápido Aço Eutetoide

Revenido



❖ Cinética das transformações de fase

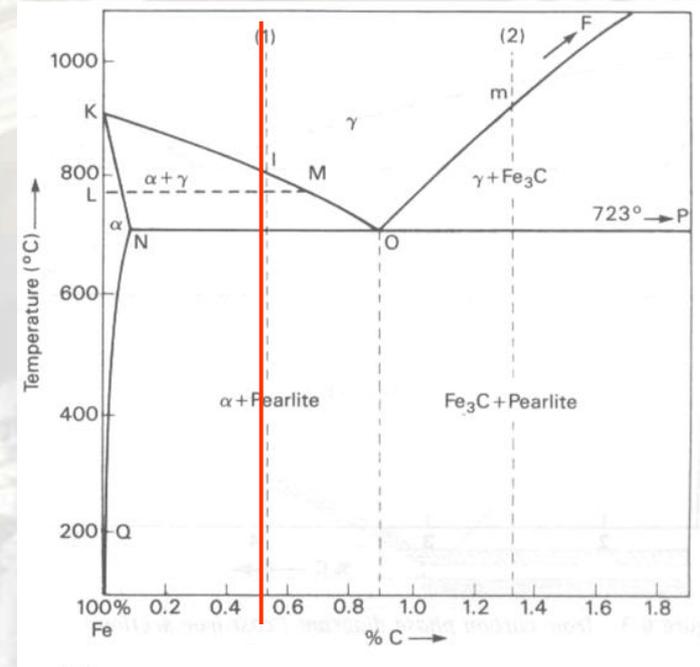
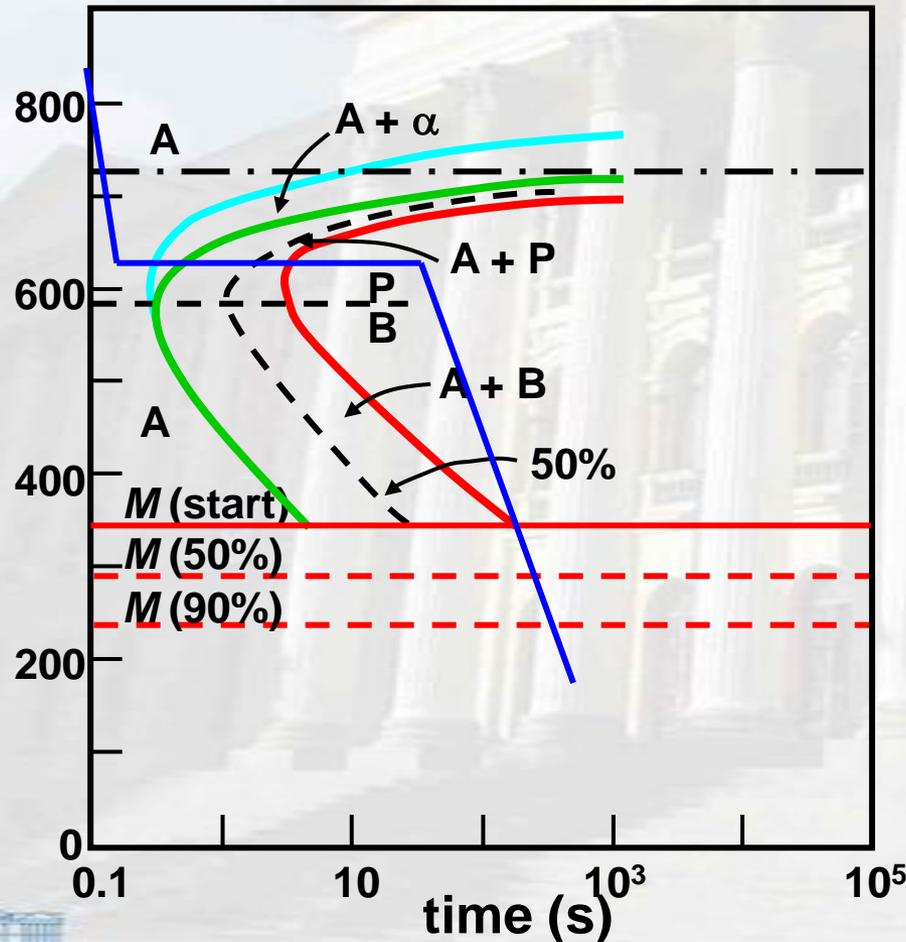
Relação microestrutura-propriedades



❖ Cinética das transformações de fase

Resfriamento rápido

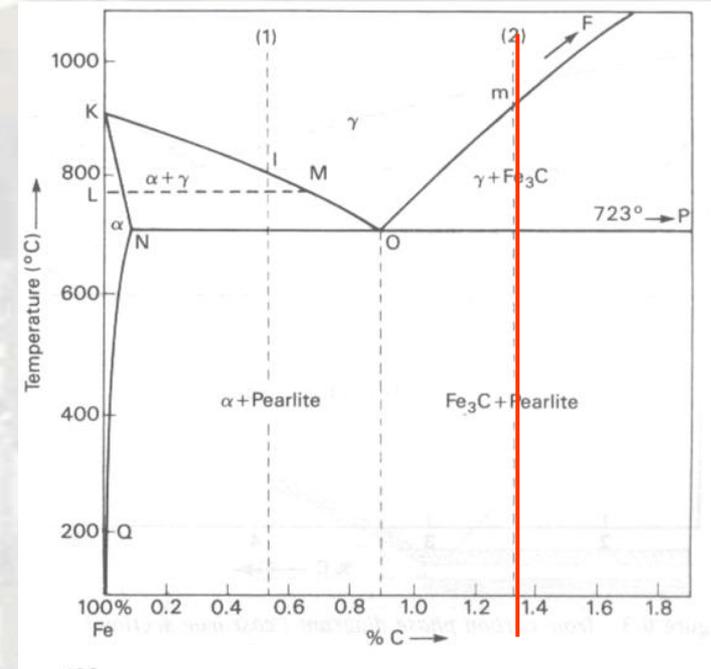
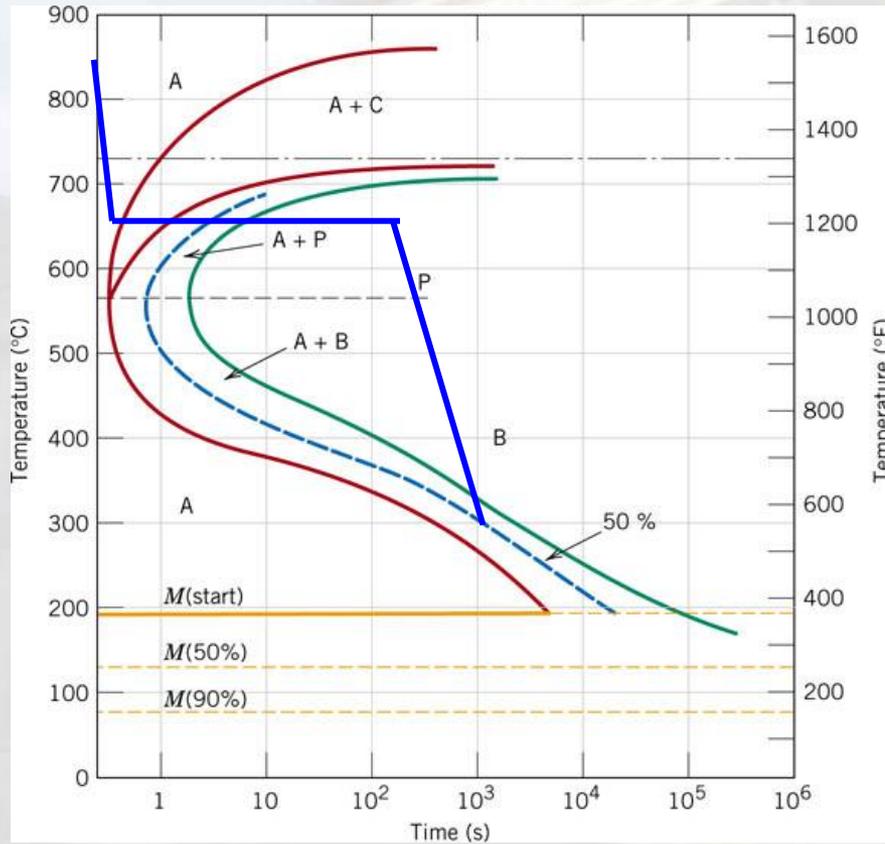
Aços hipoeutetoides



❖ Cinética das transformações de fase

Resfriamento rápido

Aço hipereutetoide



❖ Cinética das transformações de fase

Austenita

Resfriamento
lento

Resfriamento
rápido

Resfriamento
moderado

Martensita

Reaquecimento

**Perlita +
Ferrita pro-
eutetoide**

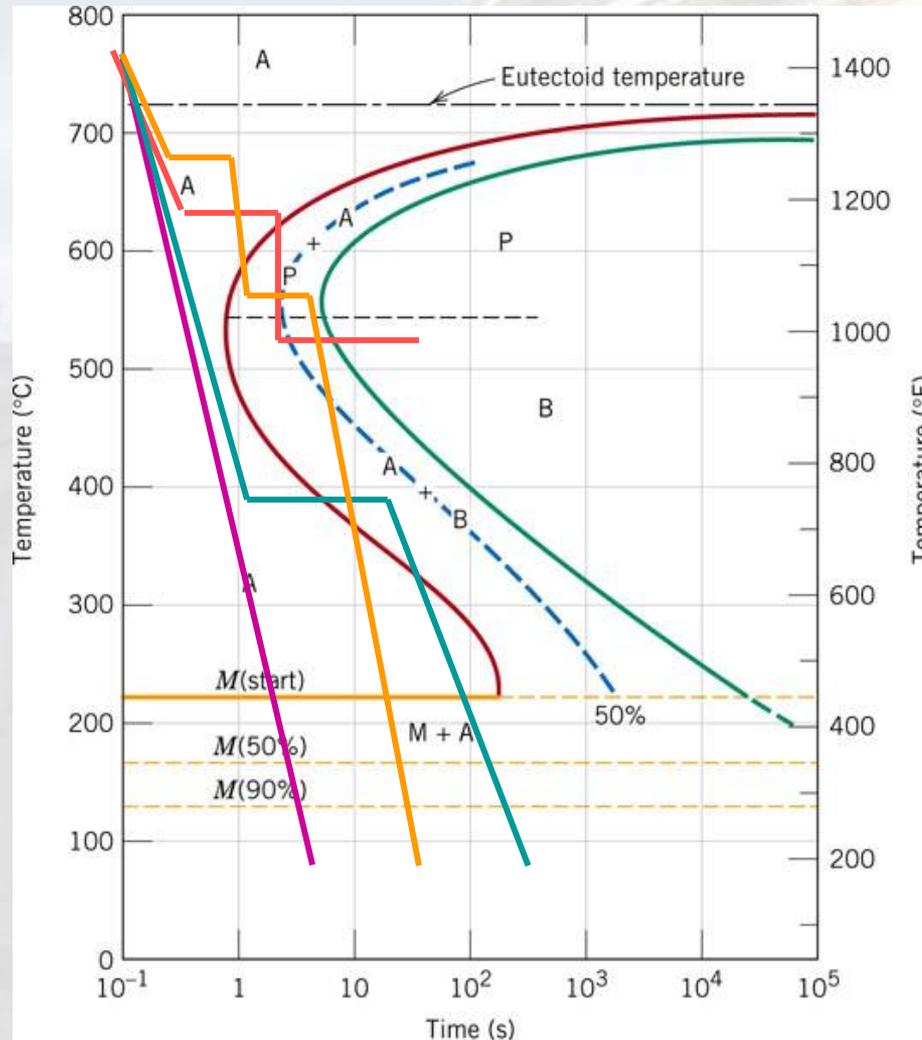
Bainita

**Martensita
revenida**

❖ Cinética das transformações de fase

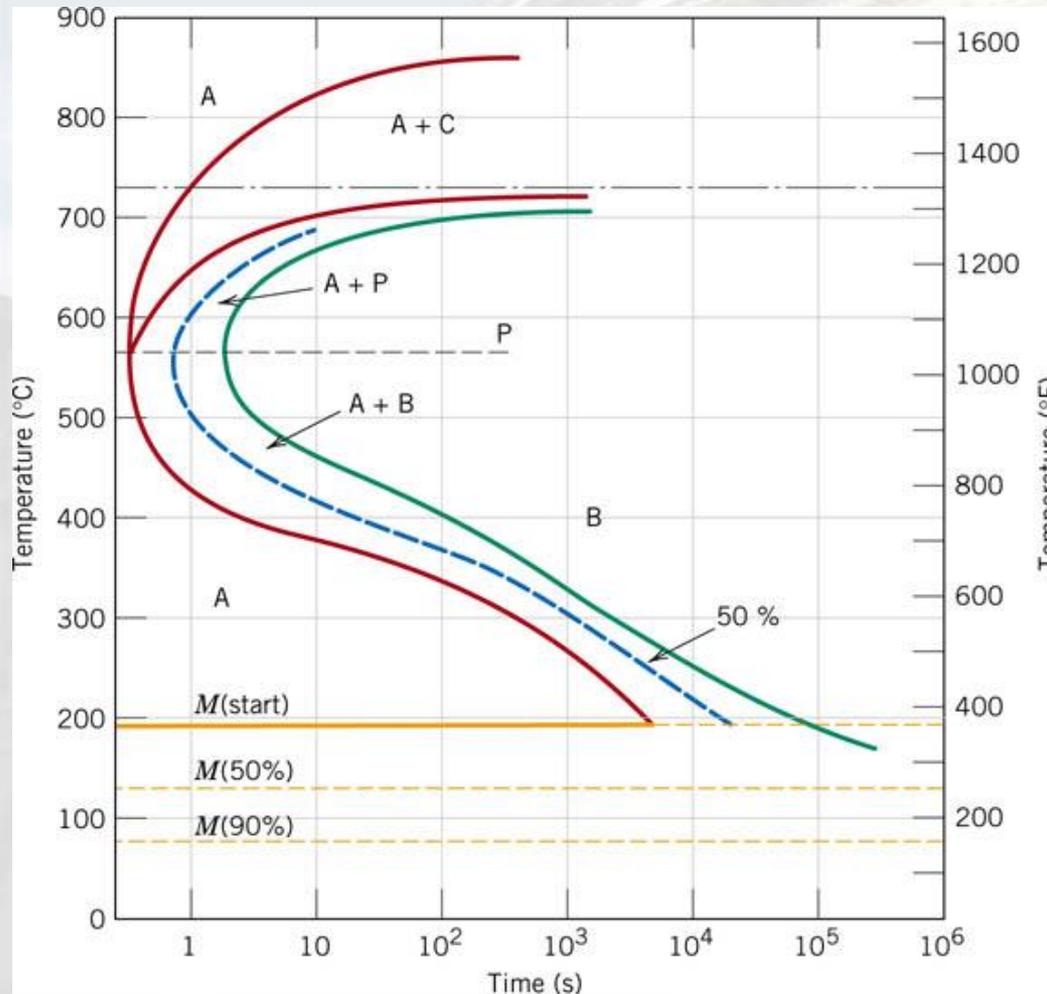
Aula 2

Exercícios



Identifique as microestruturas resultantes das sequências de resfriamento indicadas

Exercícios



Identificar sequência de resfriamento para se obter

- a) Bainita
- b) Cementita, perlita e bainita
- c) Martensita e bainita
- d) Bainita, martensita, perlita e cementita

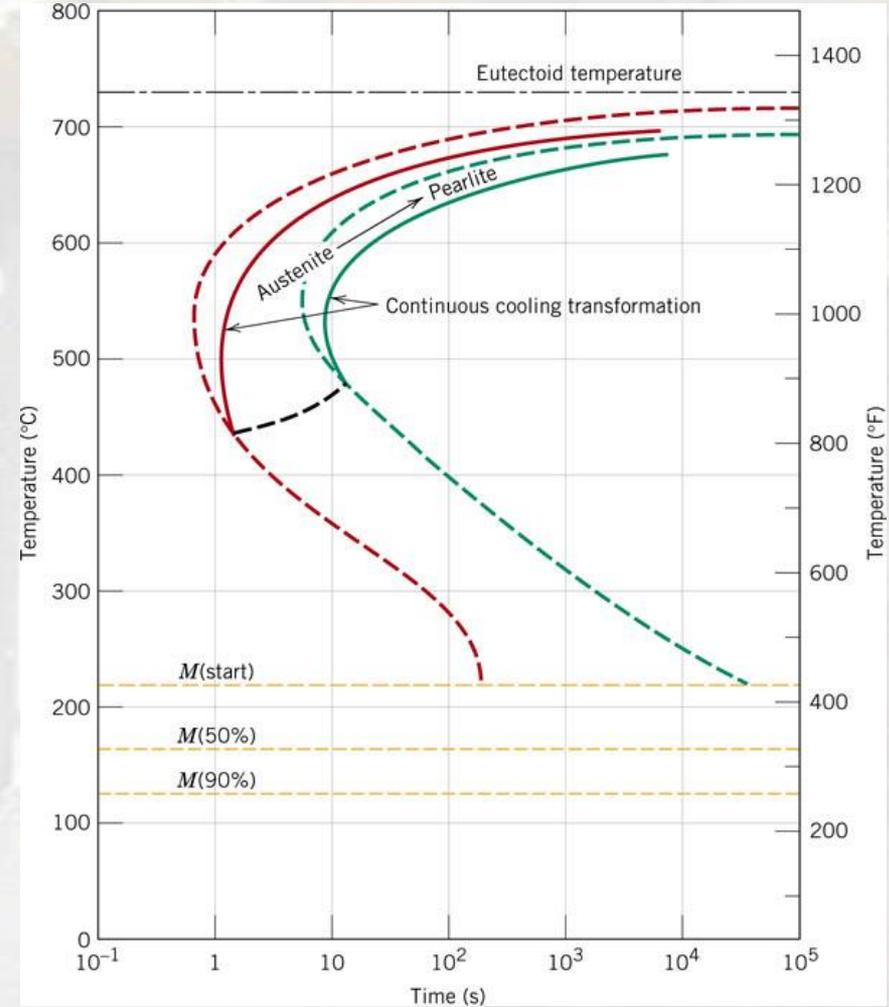
❖ Cinética das transformações de fase

Diagramas TRC

Transformações com resfriamento contínuo

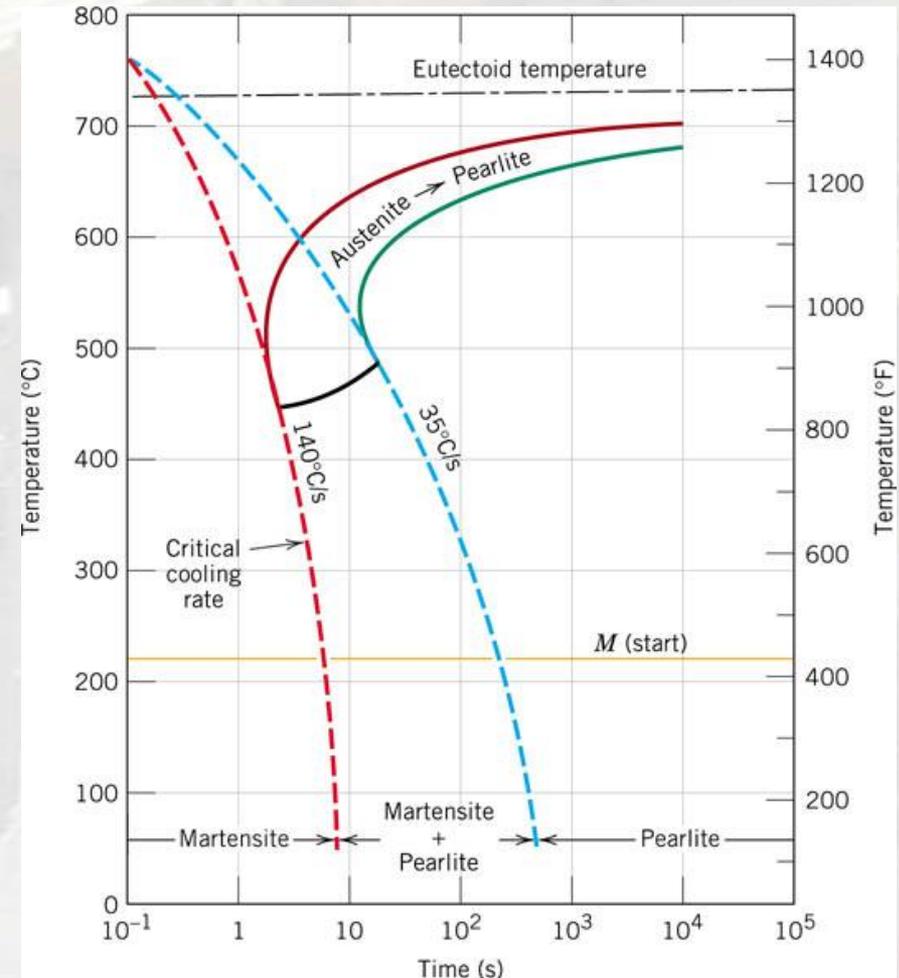
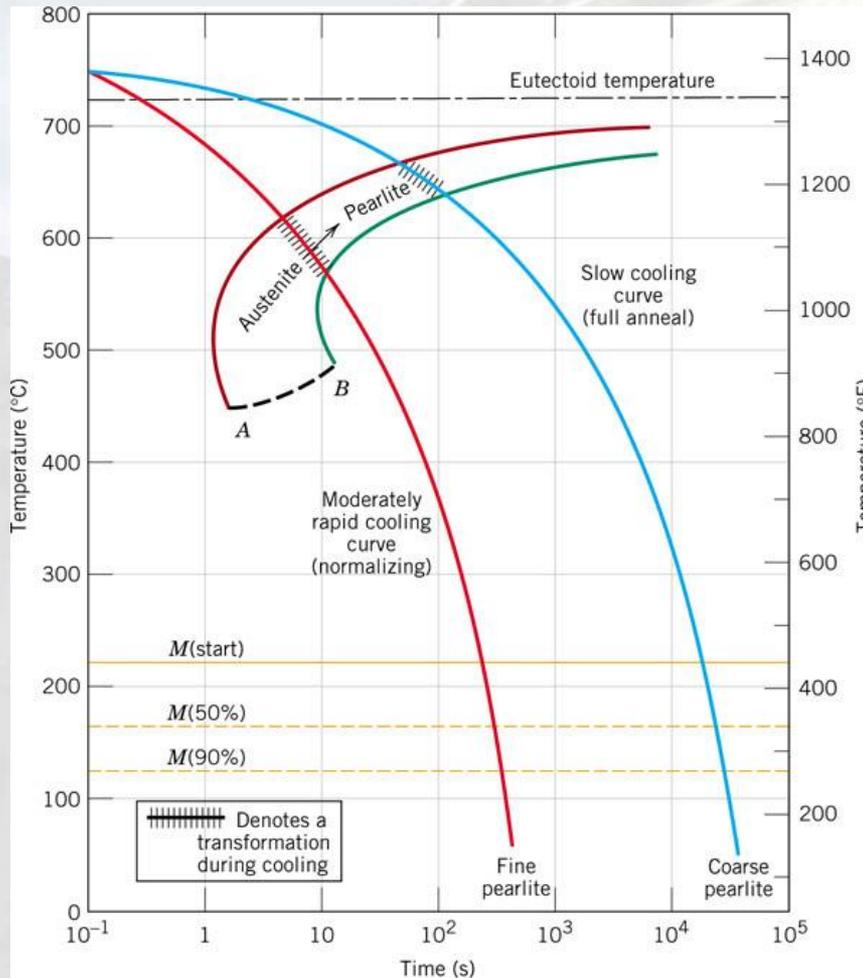
TTT vs TRC

Deslocamento para T menores e tempos maiores



❖ Cinética das transformações de fase

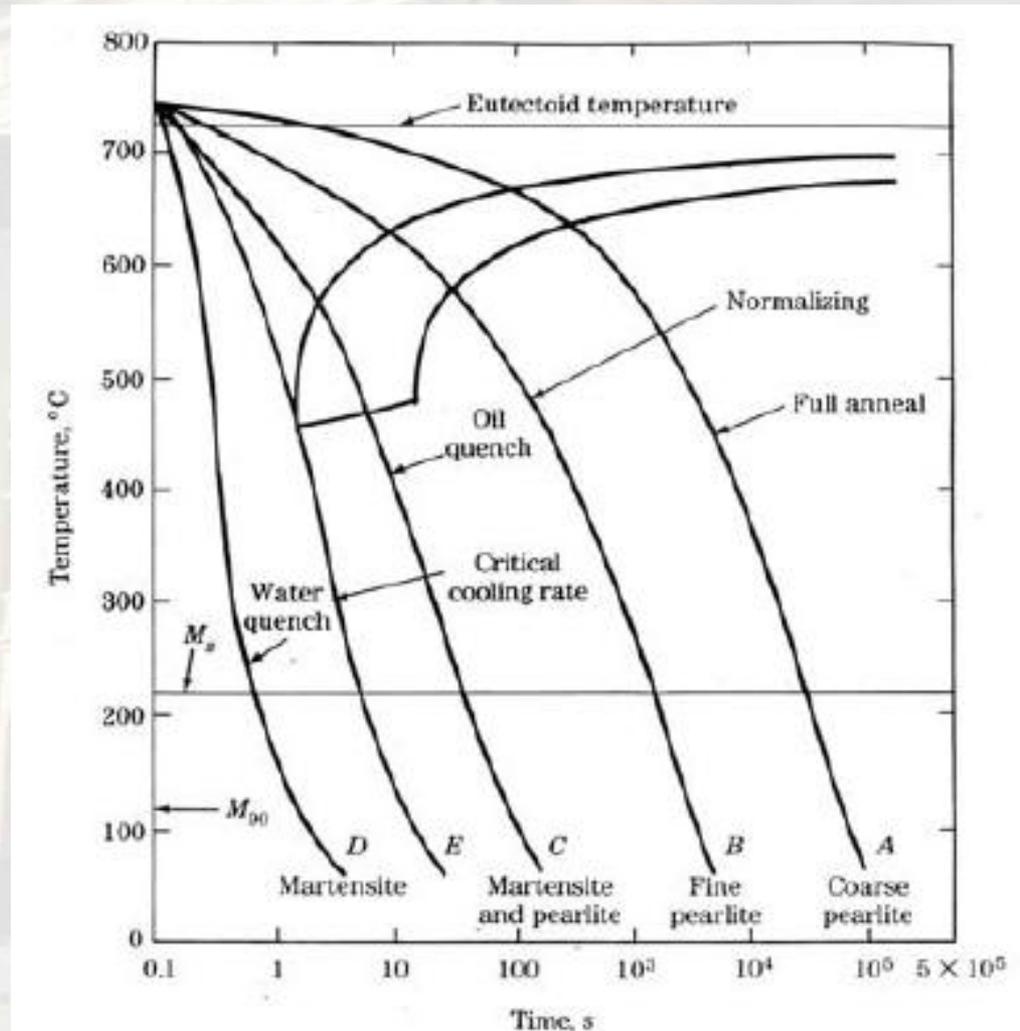
Curvas de resfriamento contínuo



❖ Cinética das transformações de fase

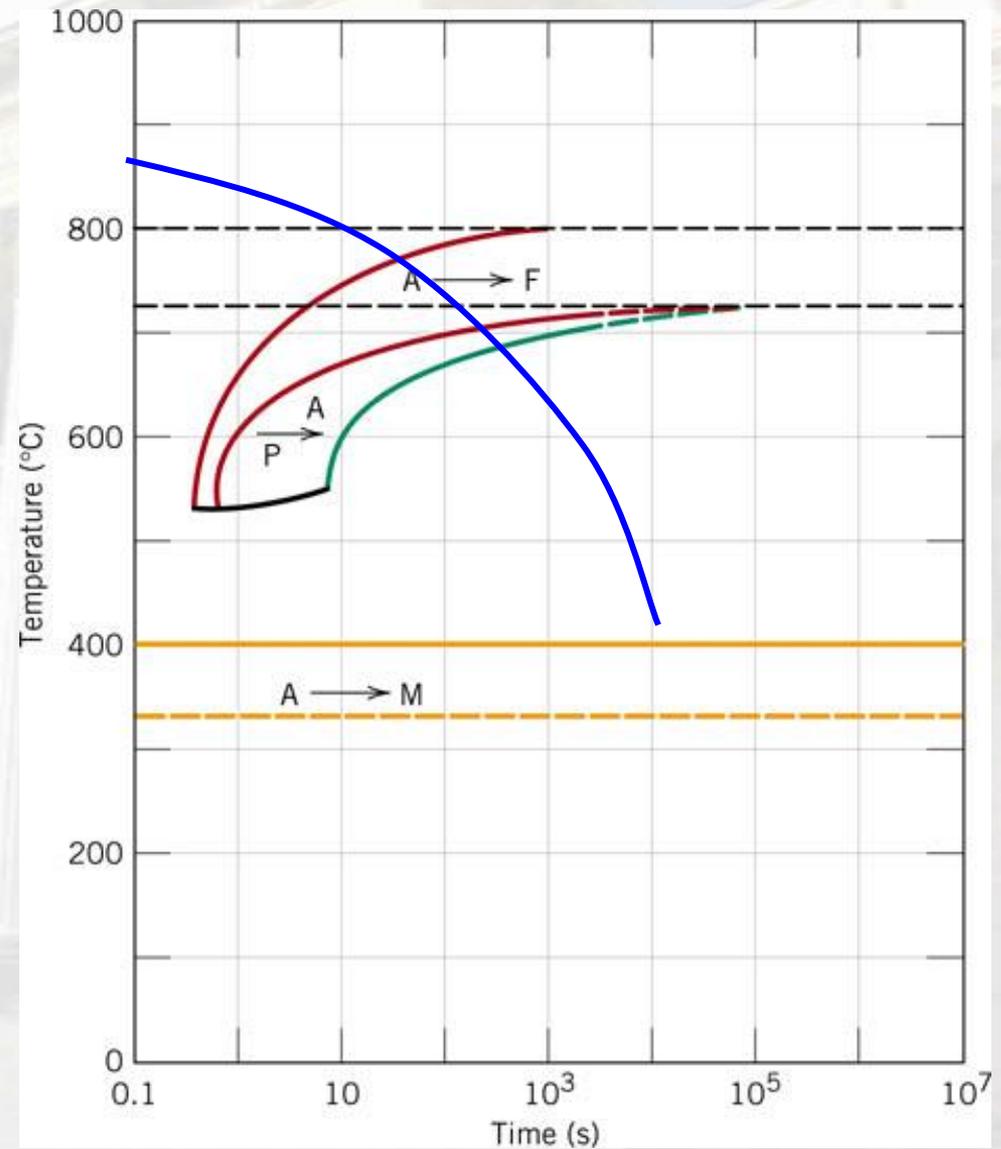
Diagramas TRC

Velocidade de resfriamento



❖ Cinética das transformações de fase

Curva TRC aço AISI 1030



❖ Cinética das transformações de fase

Aula 3

❖ Cinética das transformações de fase

Exercícios

Diagrama TRC Fe-0.30wt%C

Identifique as microestruturas resultantes

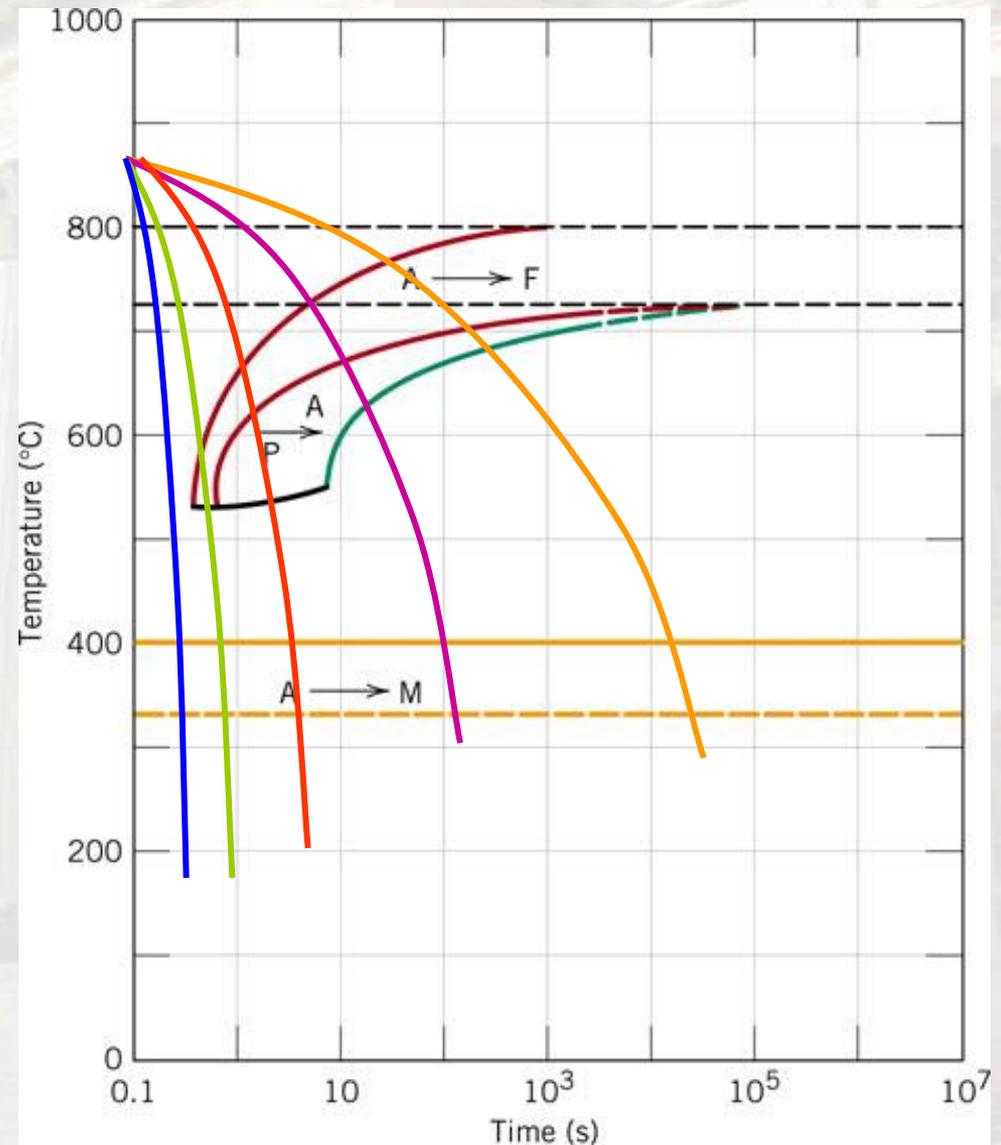
Martensita

Ferrita e martensita

Ferrita, perlita e martensita

Ferrita e perlita fina

Ferrita e perlita grosseira

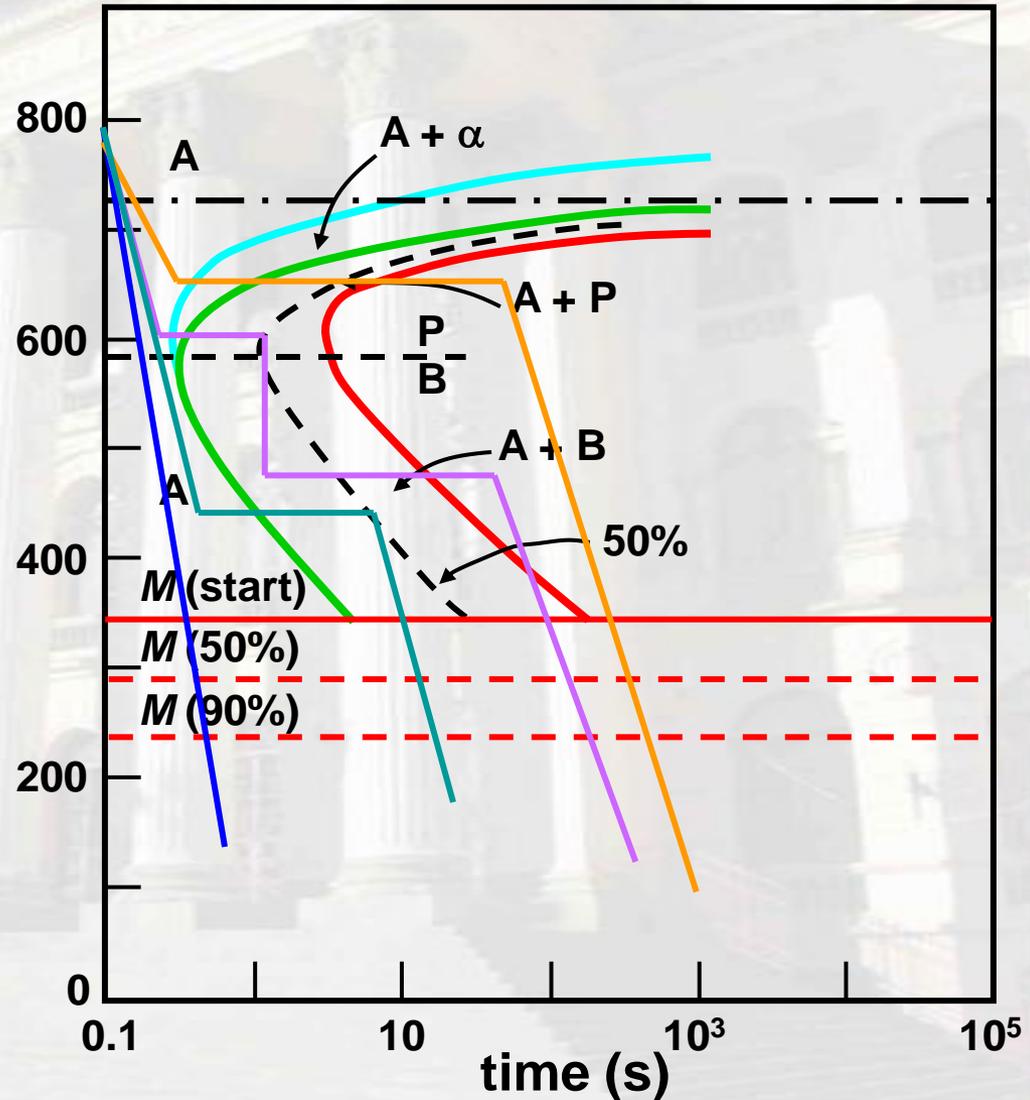


❖ Cinética das transformações de fase

Diagrama TTT Fe-0.45wt%C

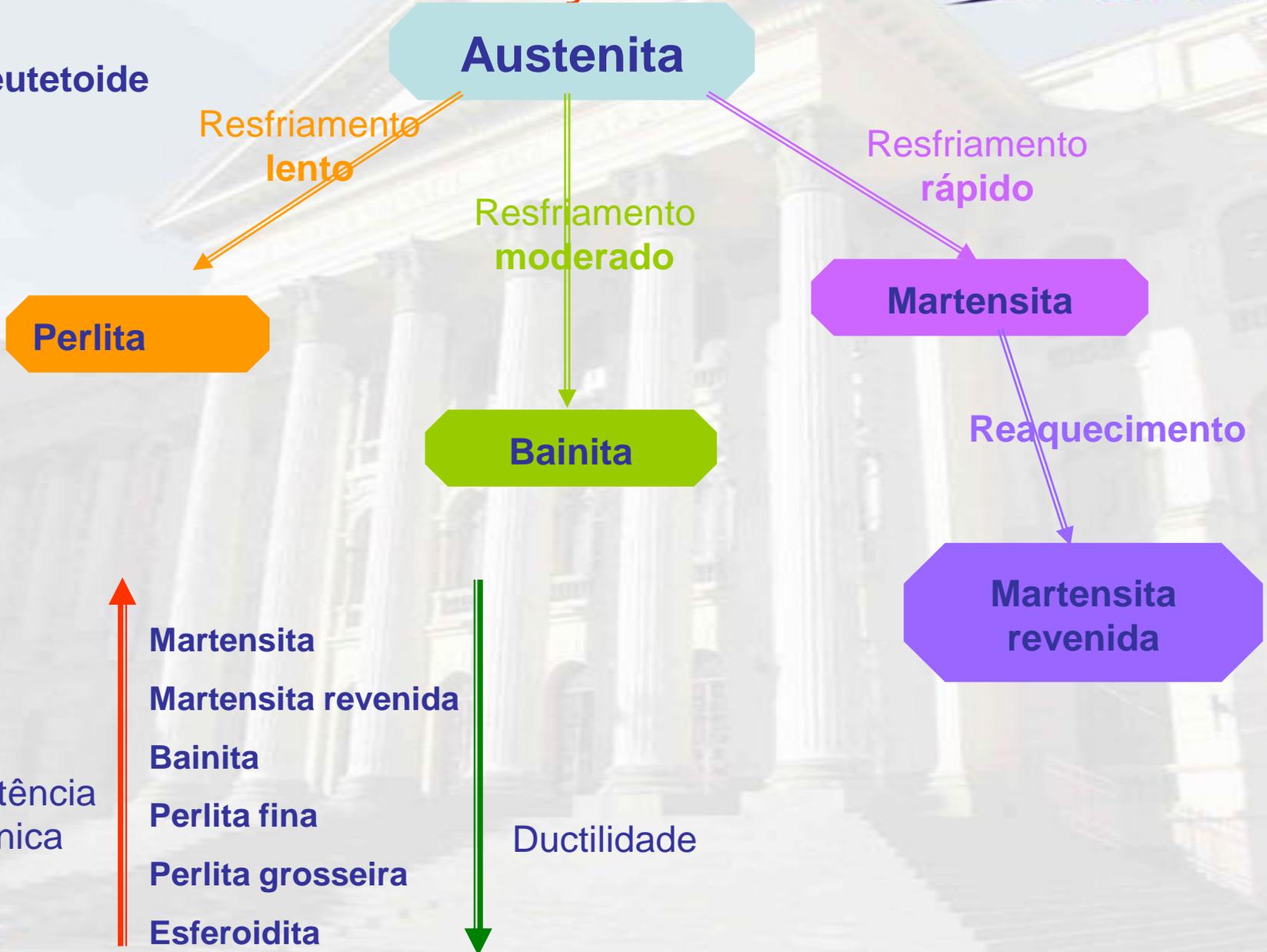
Identificar sequência de resfriamento

- a) 100% martensita
- b) Perlita, ferrita e bainita
- c) Perlita e ferrita
- d) 50%Bainita e 50%martensita



❖ Cinética das transformações de fase

Aço eutetoide

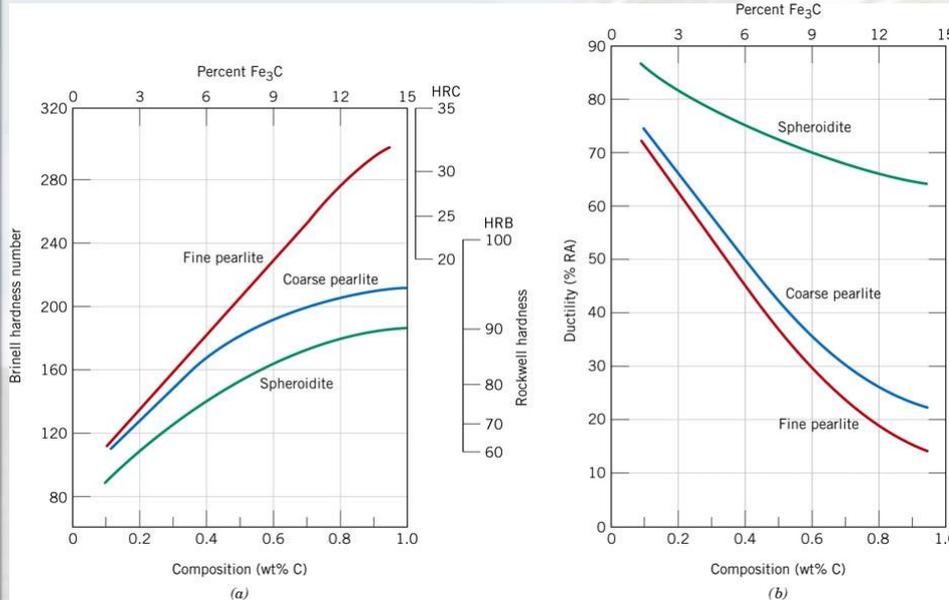


Resistência mecânica

- Martensita
- Martensita revenida
- Bainita
- Perlita fina
- Perlita grosseira
- Esferoidita

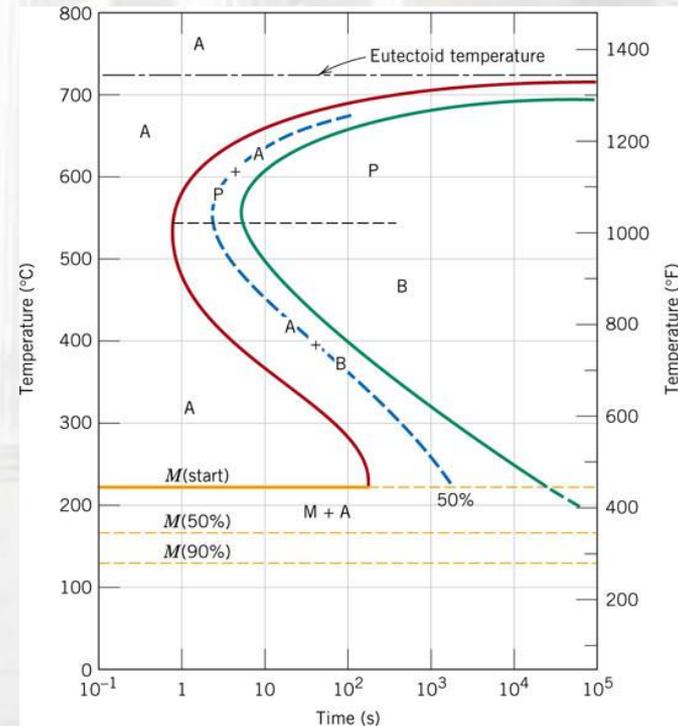
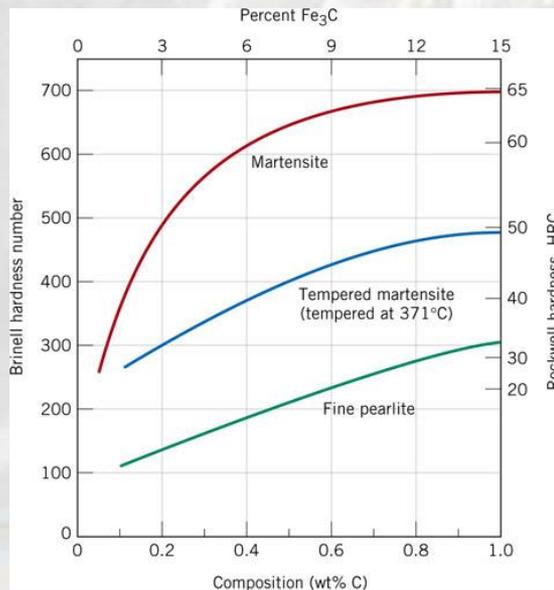
Ductilidade

❖ Cinética das transformações de fase



Especifique seqüência para:

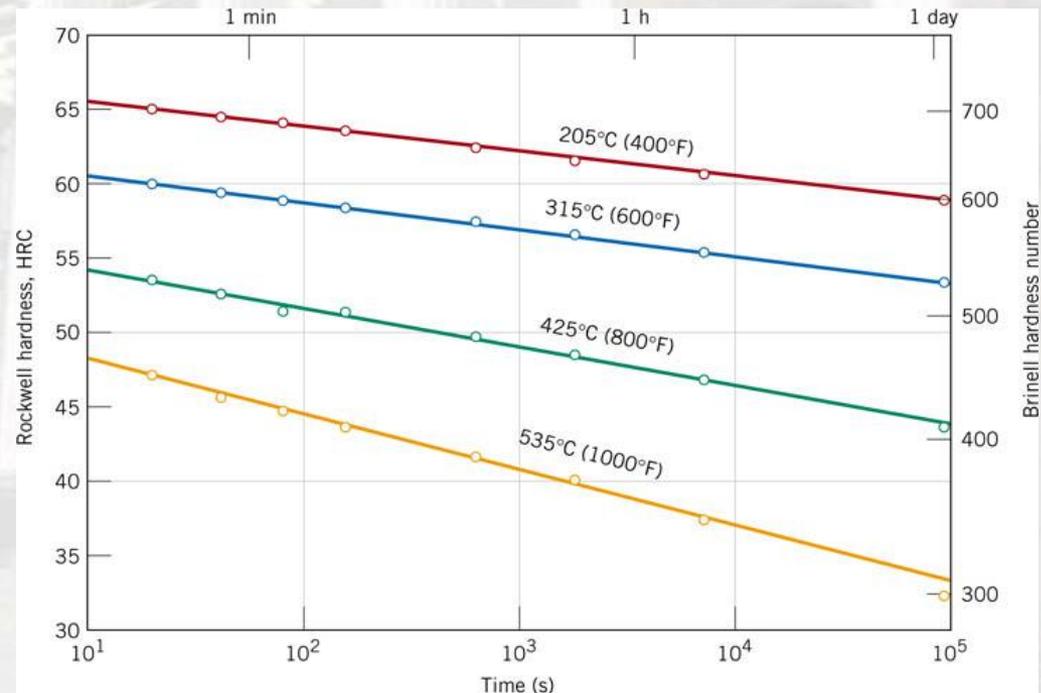
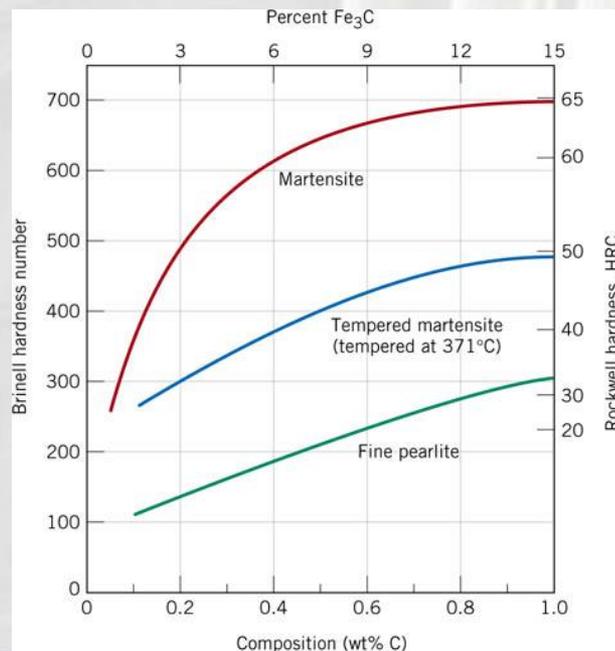
- Maximizar ductilidade
- Aumentar resistência sem comprometer ductilidade
- Maximizar tensão escoamento
- Converter estrutura M+B em perlita fina



❖ Cinética das transformações de fase

Considere que os dados de revenido abaixo se referem ao aço AISI1060, especifique tratamento e necessária para:

- Dureza de 50HRC
- Maximizar tenacidade
- Identifique diferenças entre aço revenido a 205°C e 535°C
- Identifique estrutura gerada por duplo revenido a 205°C e 535°C



❖ Cinética das transformações de fase

Ordene os aços abaixo por ordem decrescente de resistência:

- 0.3wt%C esferoidita
- 0.3wt%C perlita grosseira
- 0.6wt%C perlita fina
- 0.6wt%C perlita grosseira
- 0.6wt%C bainita
- 0.9wt%C martensita
- 1.1wt%C martensita

.....

- 1.1wt%C martensita/0.9wt%C martensita
- 0.6wt%C bainita
- 0.6wt%C perlita fina
- 0.6wt%C perlita grosseira
- 0.3wt%C perlita grosseira
- 0.3wt%C esferoidita

❖ Cinética das transformações de fase

