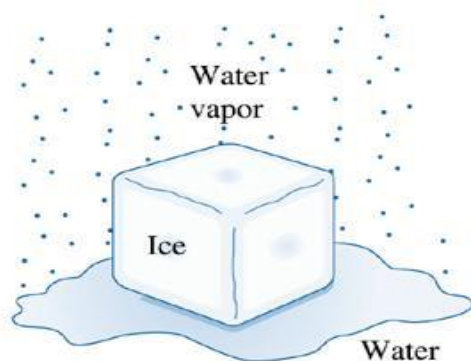


SMM0193 – ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS I

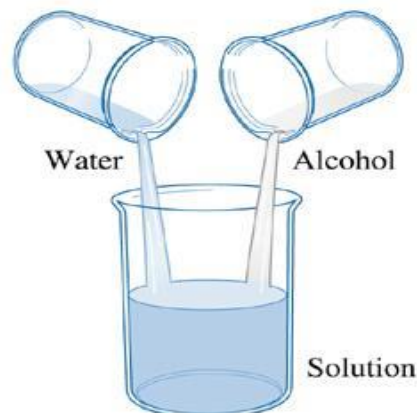
Prof. Dr. José Benedito Marcomini

**DIAGRAMA DE FASES
DIAGRAMA Fe-Fe₃C
TRATAMENTOS TÉRMICOS**

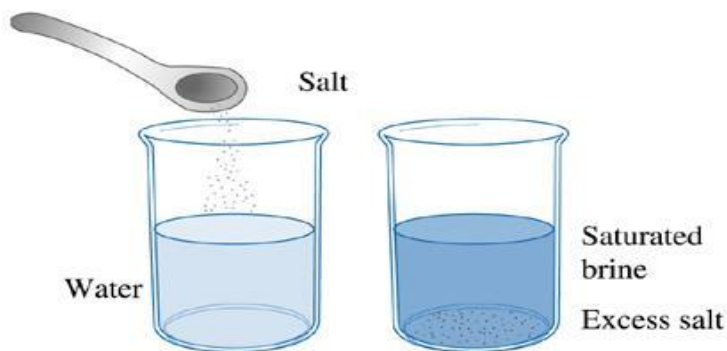
- **Fase** – Qualquer **porção do material** que é fisicamente **homogênea** de maneira que é mecanicamente separável de qualquer outra.
- **Diagrama de fases** – Diagrama que **descreve a estabilidade termodinâmica das fases** sob diferentes condições de **pressão e temperatura**.



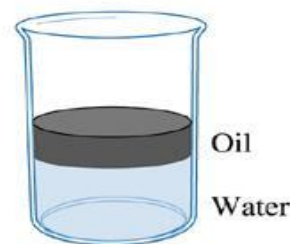
(a)



(b)



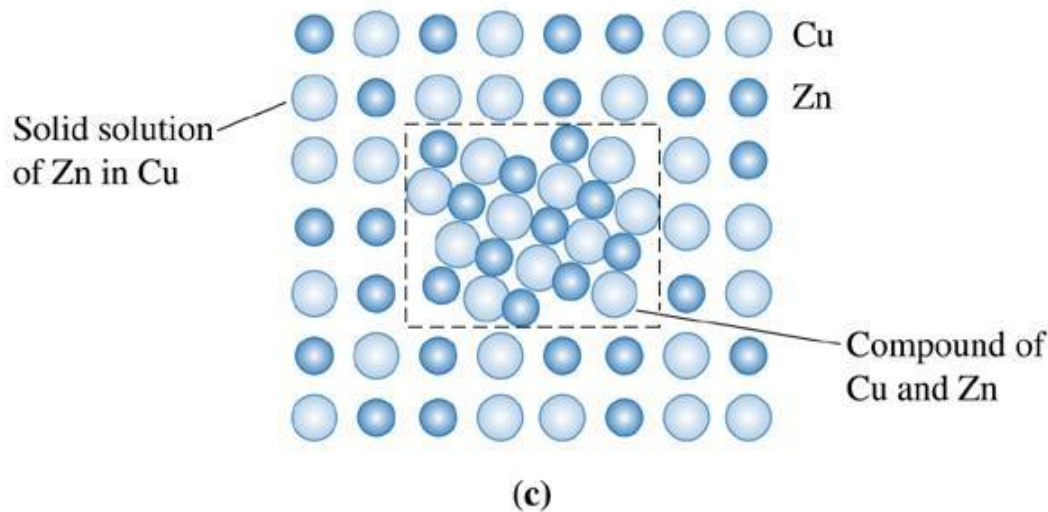
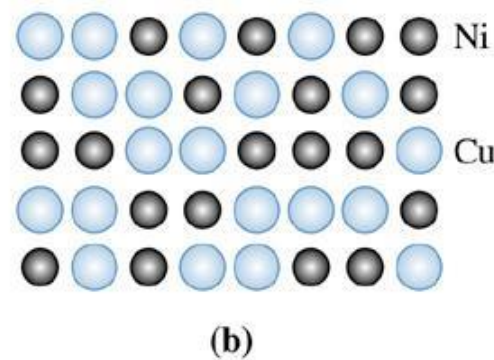
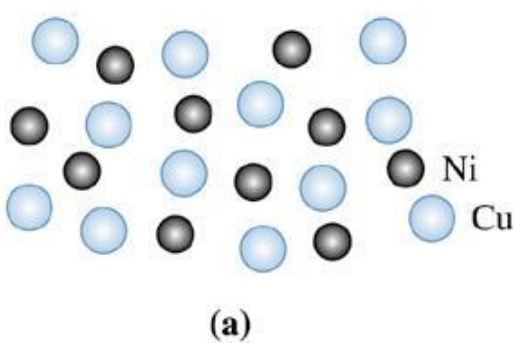
(c)



(d)

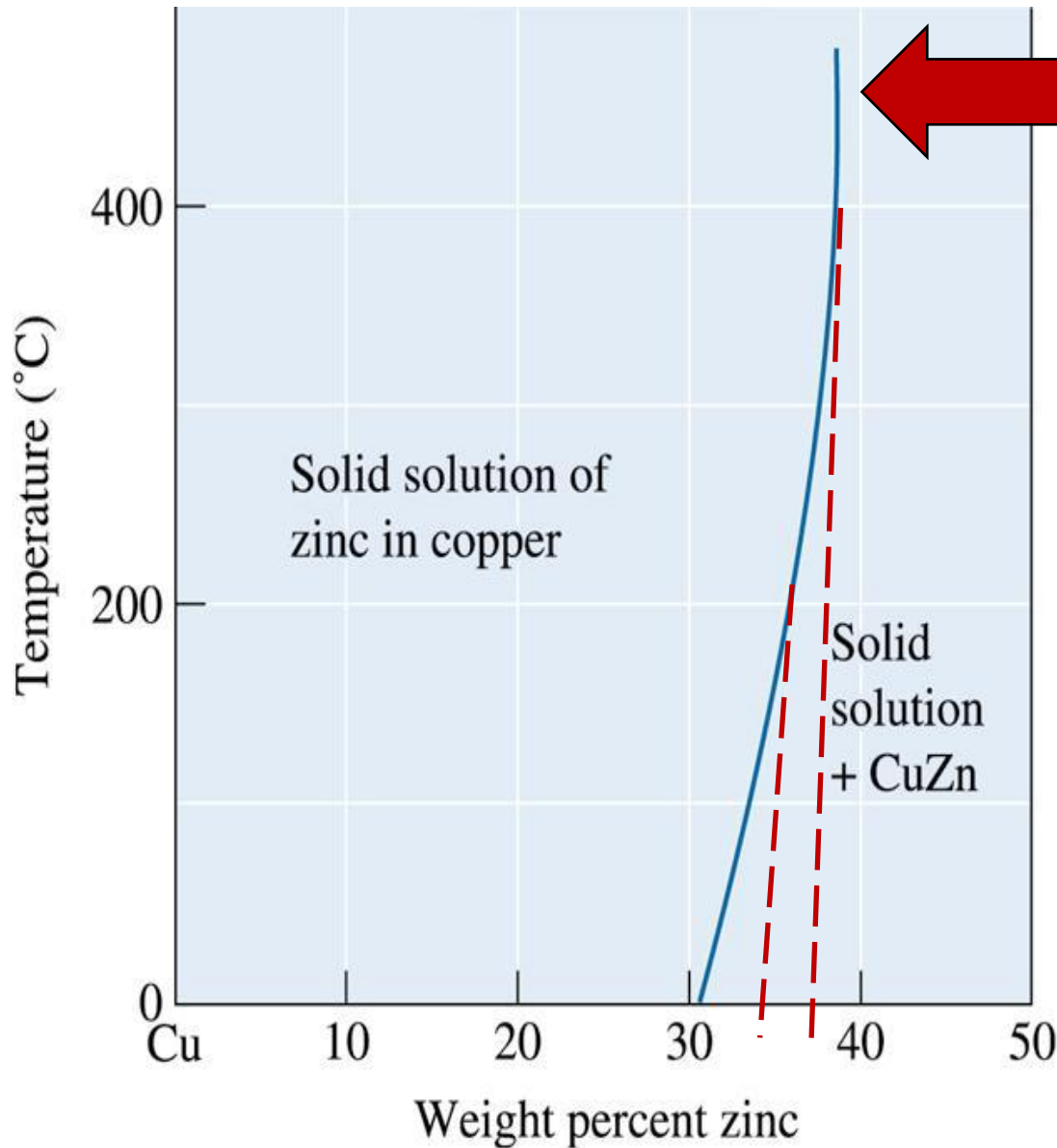
Ilustração das fases e solubilidade: (a) as três formas da água – gás, líquido e sólido – cada uma é uma fase. (b) Água e álcool são completamente solúveis (ilimitada). (c) Sal e água tem solubilidade limitada. (d) Óleo e água tem virtualmente nenhuma solubilidade.

Soluções Sólidas e Diagrama de Fases.



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[™] is a trademark used herein under license.

(a) Cu e Ni líquidos são completamente solúveis um no outro. (b) Ligas de Cu e Ni sólidas apresentam solubilidade completa com os átomos de Ni ocupando ao acaso os lugares no retículo. (c) Nas ligas de Cu – Zn contendo mais do que 30% Zn, uma segunda fase é formada por causa da solubilidade limitada do Zn no Cu.



LINHA SOLVUS

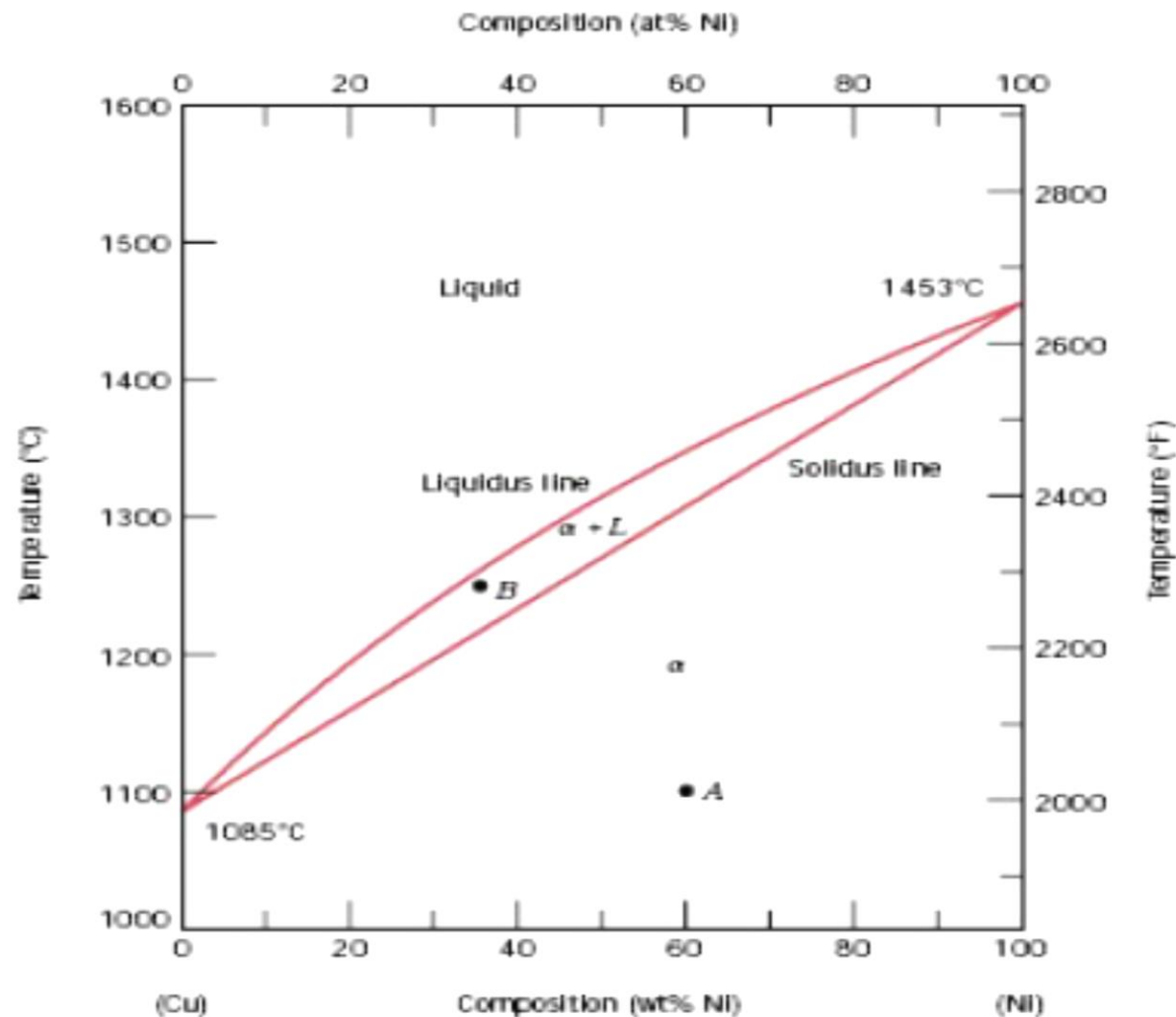
A solubilidade do Zn no Cu. A linha representa o limite de solubilidade, quando a adição de Zn excede o limite de solubilidade duas fases coexistem.

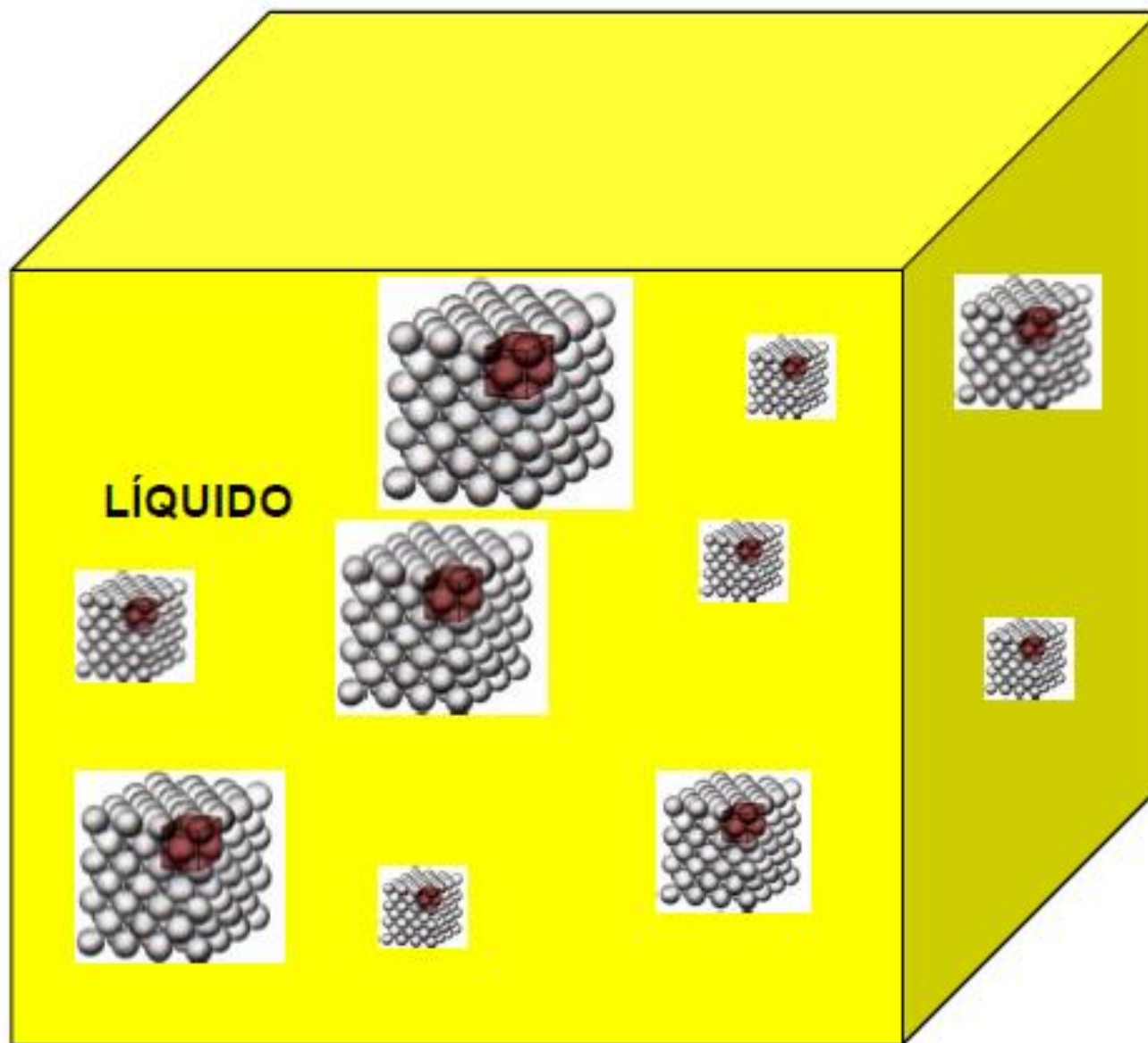
DIAGRAMAS DE FASES

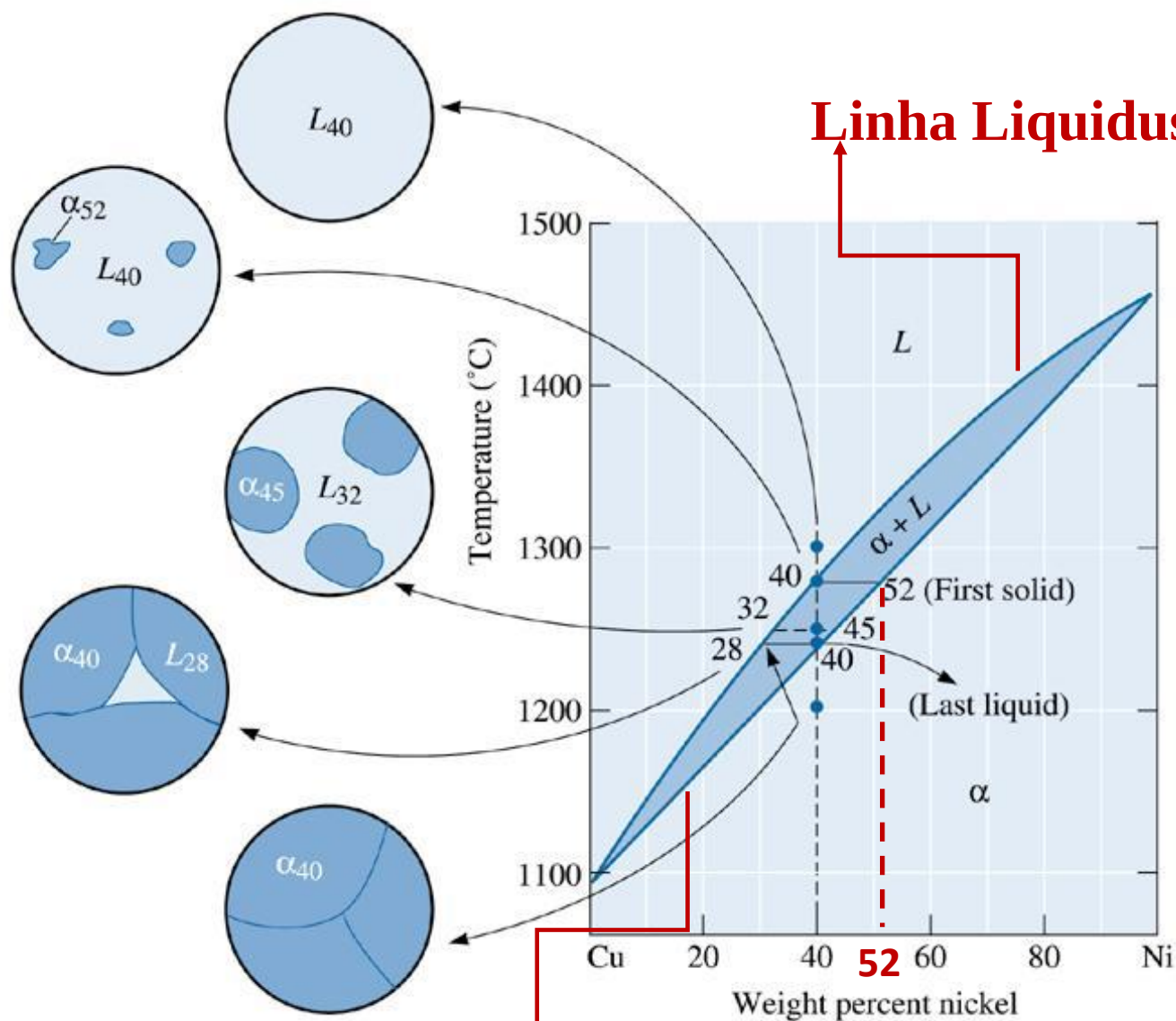
Representações gráficas que mostram, para **diferentes temperaturas, pressões e composições**, quais as **fases presentes** em um material. São **construídos** considerando **condições de equilíbrio (resfriamento lento)** e podem fornecer as seguintes informações:

- **Quais as fases presentes** para diferentes **composições e temperaturas**;
- Qual a **solubilidade** de um **elemento em outro**, no estado **sólido**;
- Em que **temperatura** uma liga começa a se **solidificar** e em qual **intervalo de temperatura** isso ocorre;
- A **temperatura** em que as diferentes **fases** começam a **fundir**.

Sistemas Binários Isomorfos



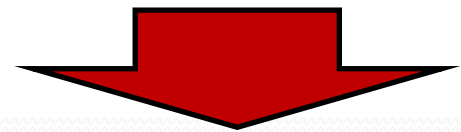
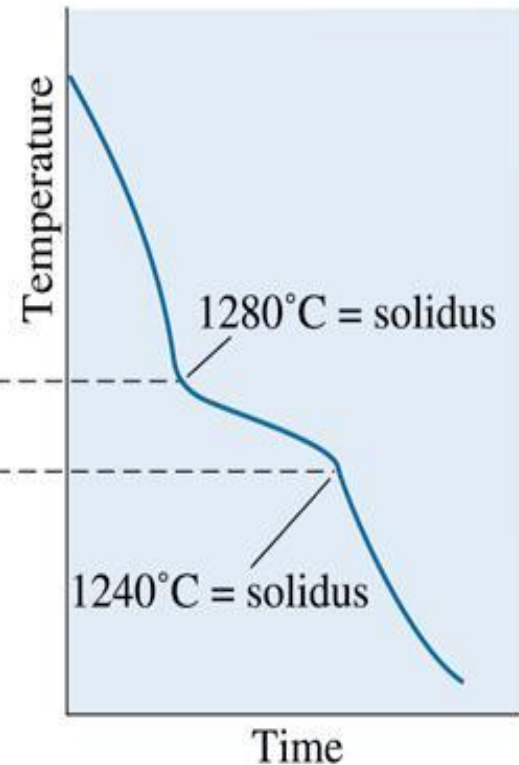
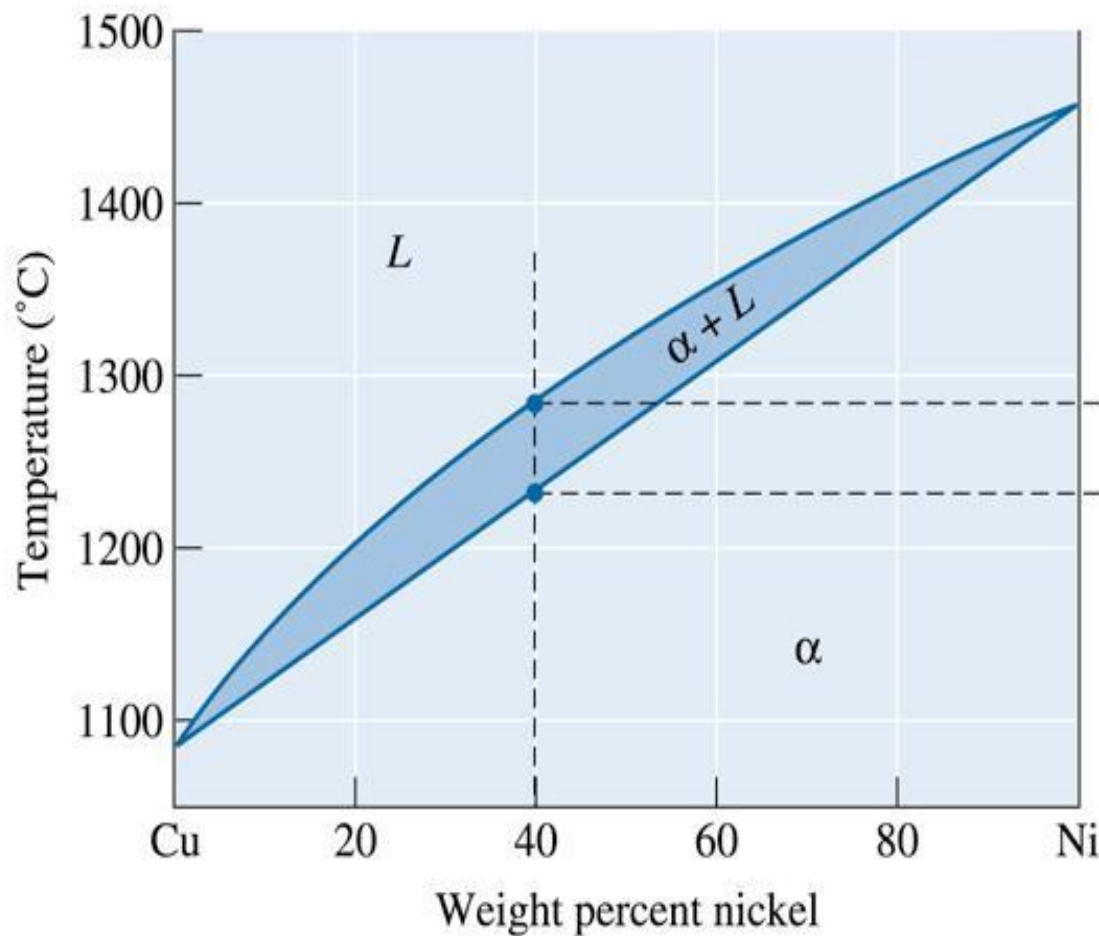




Linha Liquidus

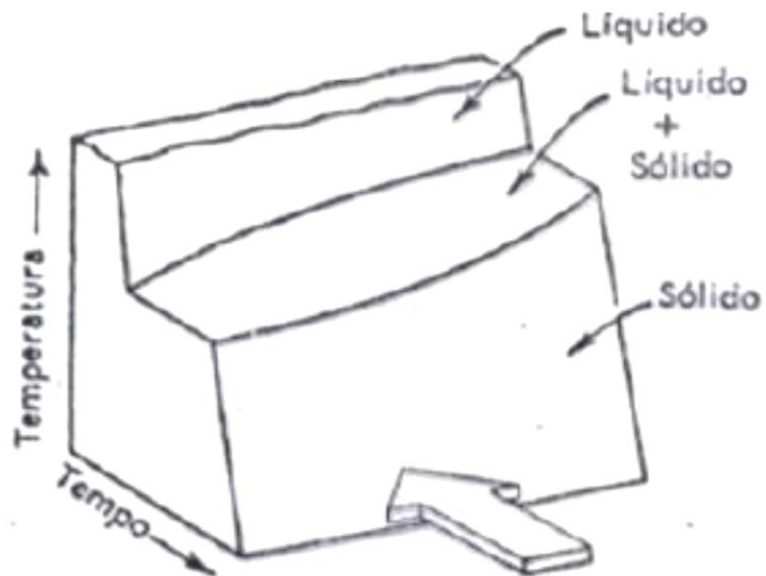
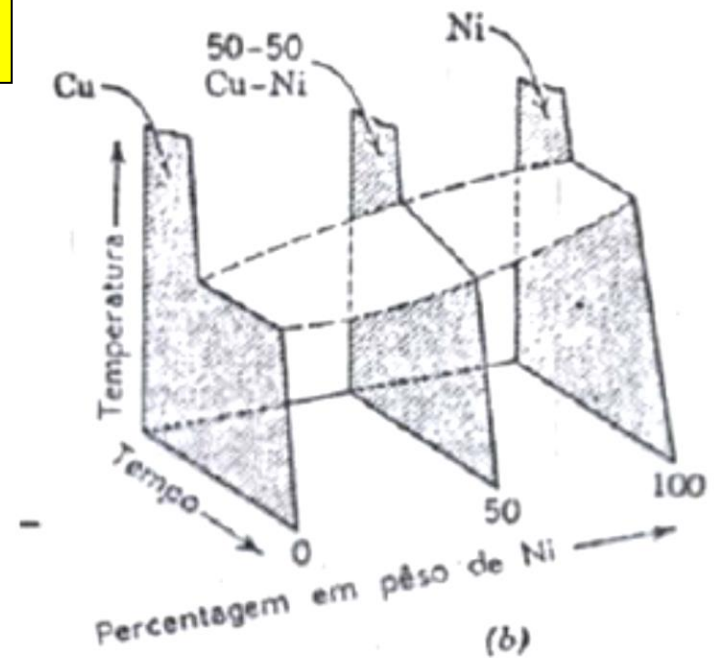
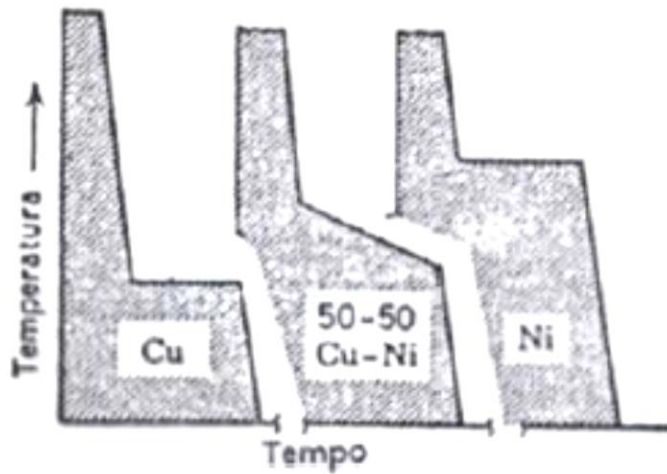
Linha Solidus

Estrutura da liga **Cu-40% Ni** durante **solidificação** de equilíbrio. Os **átomos** de **Ni e Cu** devem **difundir (Lei de Fick-da maior concentração para a menor)** durante o resfriamento de maneira a satisfazer a **formação da fase sólida** e produzir uma **estrutura de equilíbrio uniforme**.

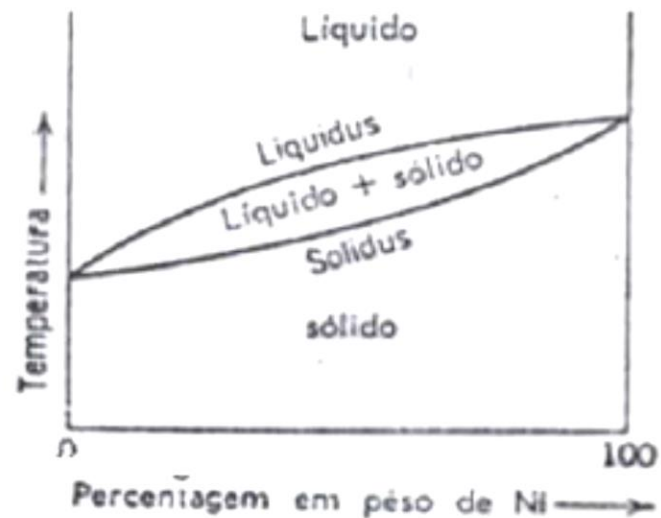


Curva de resfriamento para um diagrama **isomorfo**. As **taxas de resfriamento** devem ser **lentas** para permitir o **equilíbrio térmico**. A **mudança na inclinação** das curvas (**pontos de inflexão**) indicam as temperaturas **liquidus e solidus** para a liga **Cu-40% Ni**.

Variando o teor de soluto: Ni



(c)

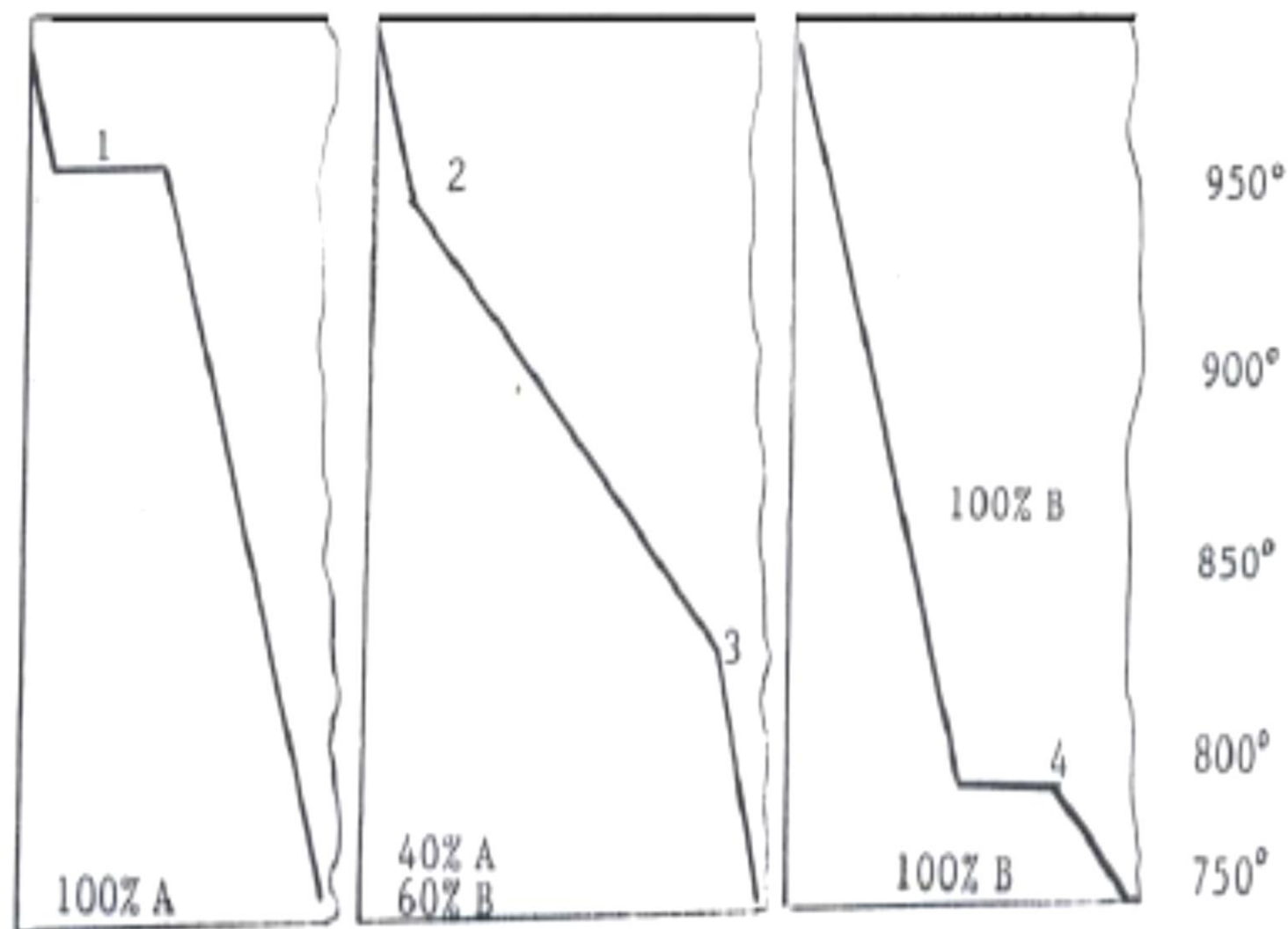


(d)

CONSTRUÇÃO DOS DIAGRAMAS DE FASES

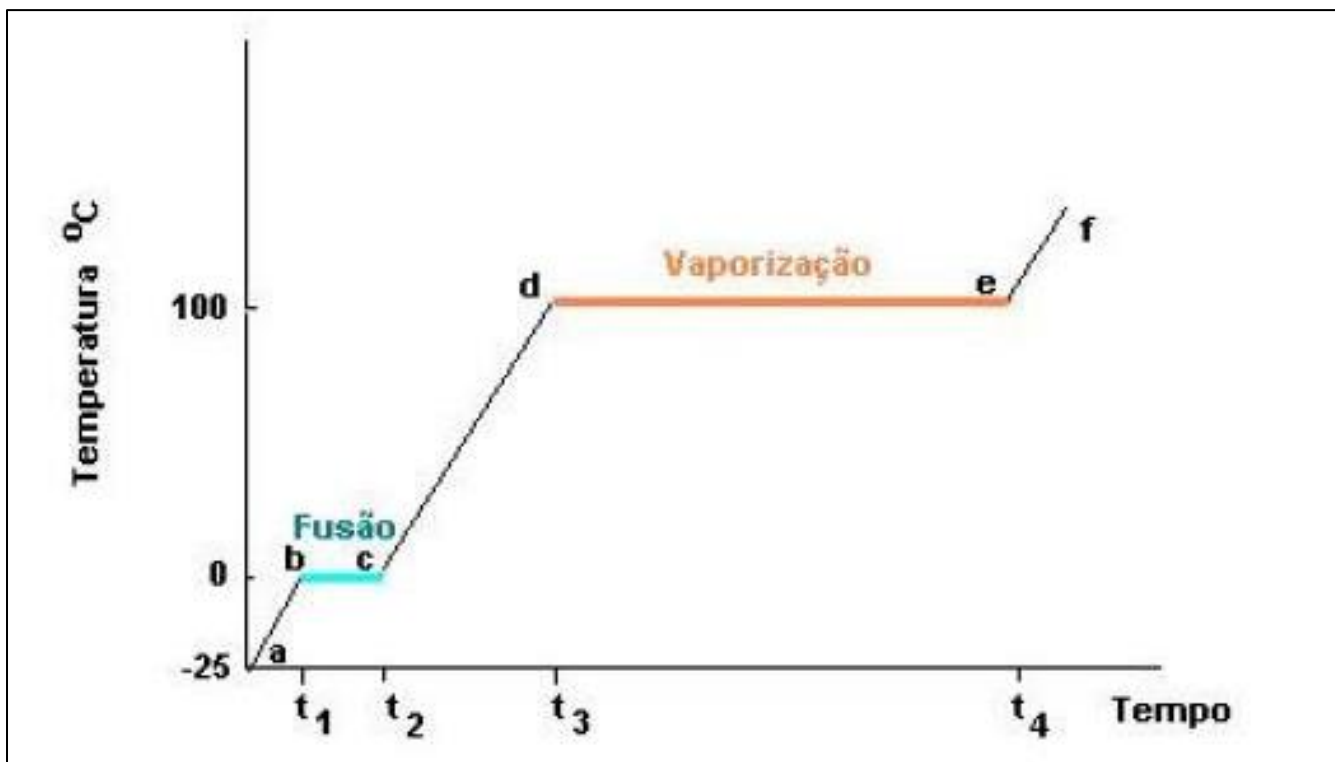
Por meio do resfriamento de ligas com teores diferentes, a variação da temperatura é marcada em função do tempo, com os pontos de inflexão (ai está ocorrendo a transformação de fase). Quando a temperatura não varia, esse ponto é marcado e a reação é chamada de invariante (também ocorre transformação de fase). Na prática, é feito com termopares. Existe uma relação entre temperatura e diferença de potencial (efeito Seebeck).

TEMPERATURA



TEMPO

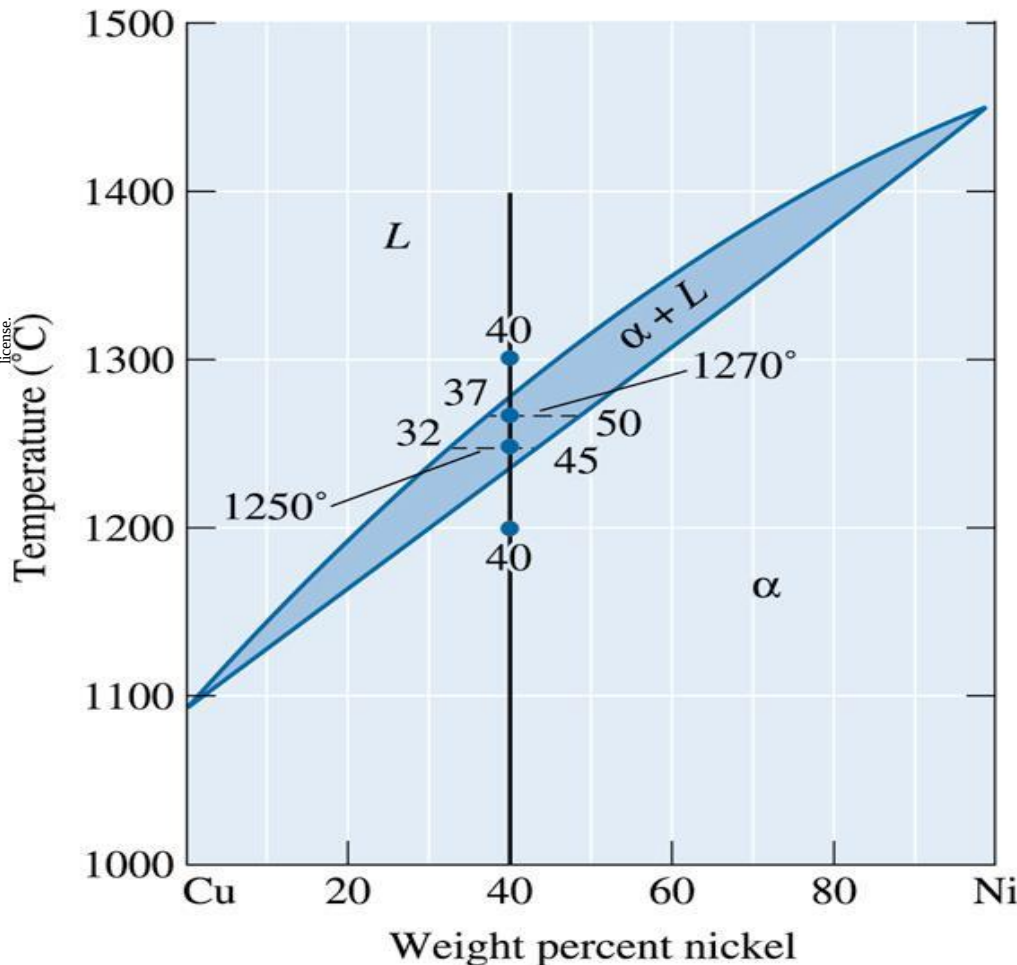
RECORDAÇÃO DA QUÍMICA



Os pontos nos quais não há alteração da temperatura, ocorre a mudança de fase de uma substância pura: calor latente, absorvido para a transformação de fase e não para mudança de temperatura (entalpia de Formação).

Composição de fases em um sistema Cu-Ni

Determine a composição de cada fase na liga Cu-40% Ni nas temperaturas de 1300°C, 1270°C, 1250°C e 1200°C.



composição de fases para a liga Cu-40% Ni em diferentes temperaturas.

SOLUÇÃO:

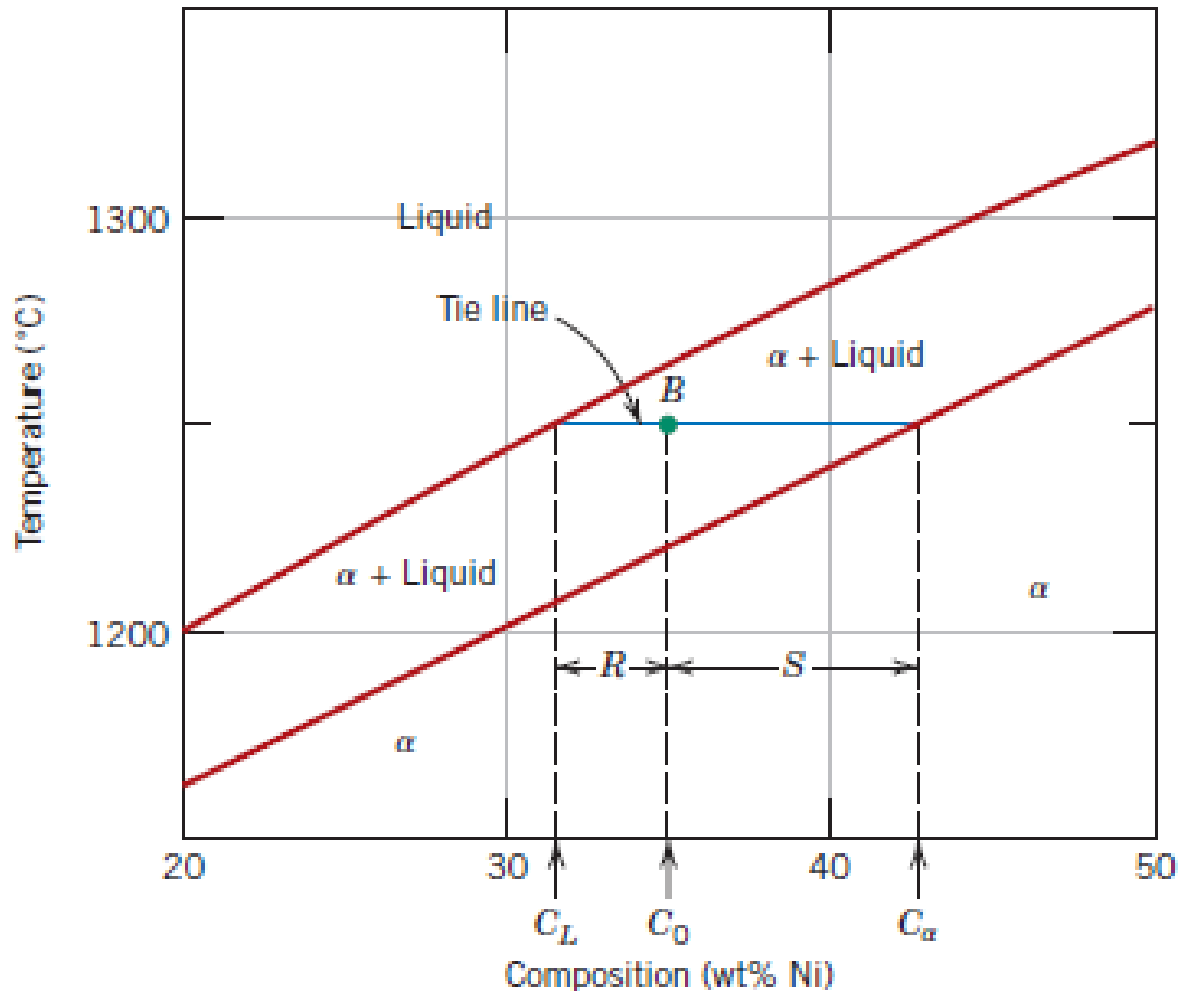
A linha vertical em 40% Ni representa a composição média da liga:

- **1300°C**: somente o líquido está presente. O líquido deve conter **40% Ni**, a composição média da liga.
- **1270°C**: **2 fases** estão presentes. **O líquido** contém **37% Ni** e o **sólido** contém **50% Ni**.
- **1250°C**: novamente **2 fases** estão presentes. Nesta temperatura o **líquido** contém **32% Ni** e o **sólido** contém **45% Ni**.
- **1200°C**: somente **um sólido (α)** está presente, assim ele deve conter **40% Ni**.

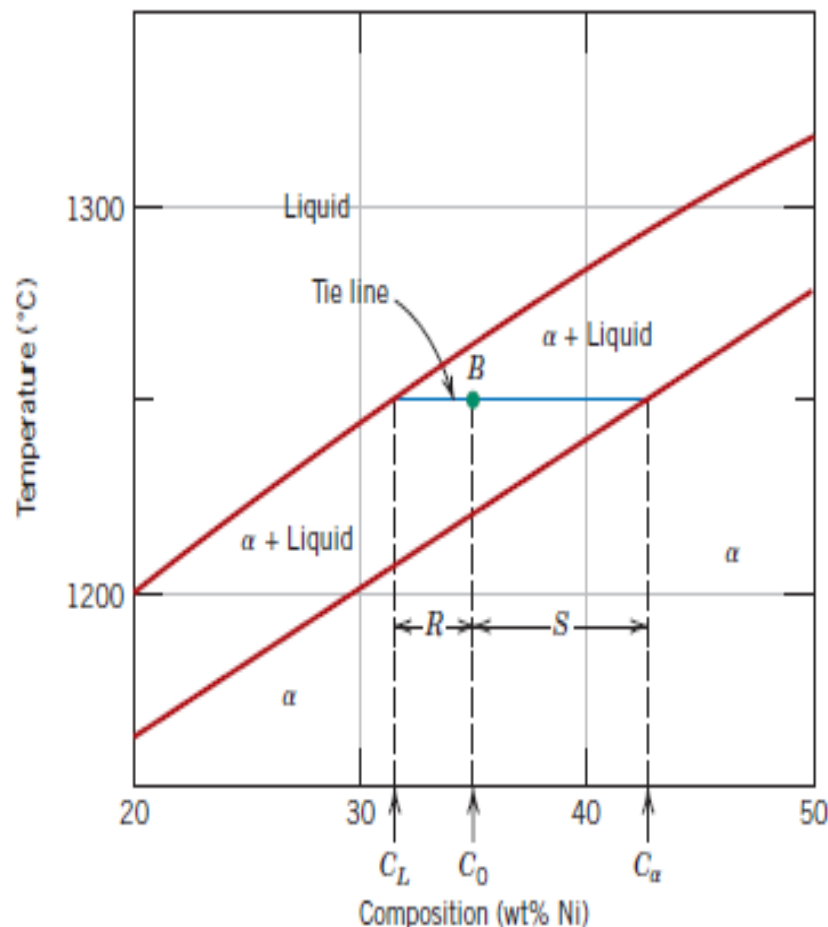
REGRA DA ALAVANCA



Utilizada para a determinação das quantidades das fases presentes



- Para saber a concentração de cada fase no ponto B é preciso traçar um linha reta até as linhas *liquidus* e *solidus*, e da extremidade destes pontos, linhas perpendiculares até o eixo da composição.

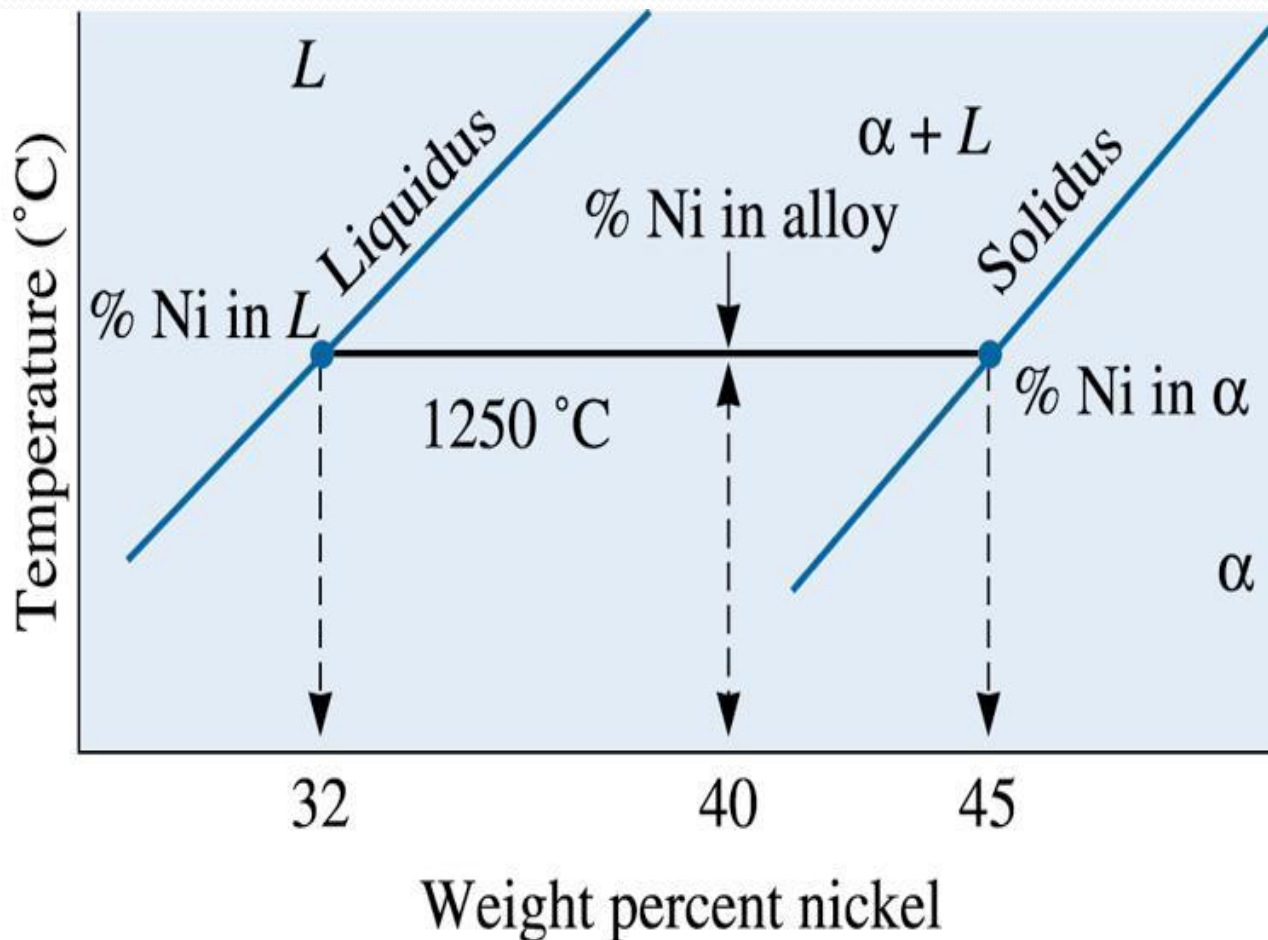


$$\alpha = \frac{C_o - C_l}{C_s - C_l} \times 100 = \frac{R}{R + S} \times 100$$

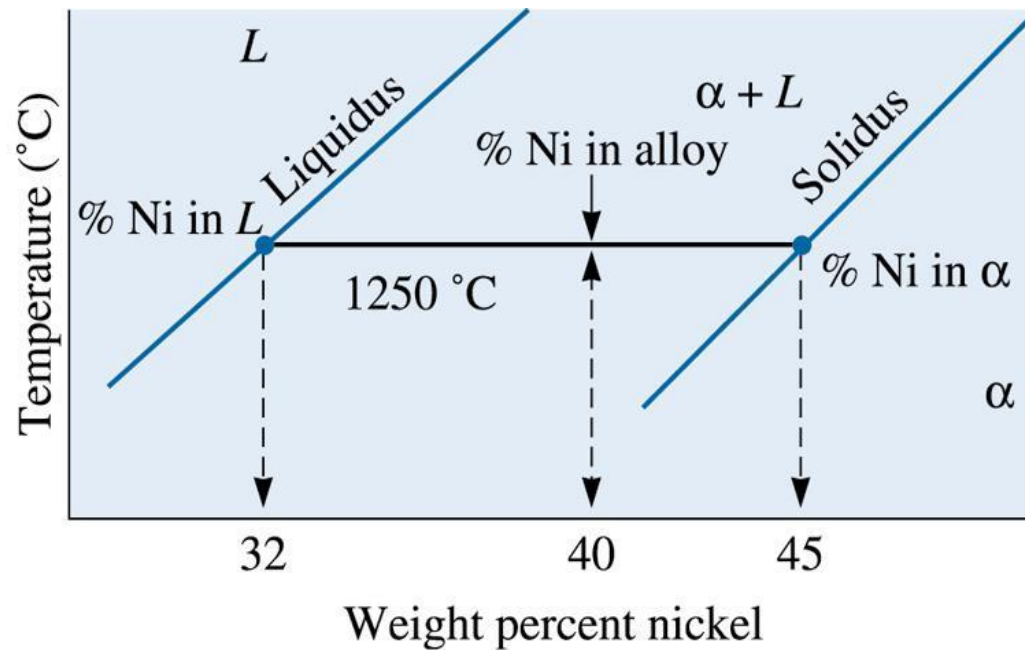
$$L = \frac{C_s - C_o}{C_s - C_l} \times 100 = \frac{S}{R + S} \times 100$$

Aplicação da regra da alavanca

Calcule a quantidade de α e de L em 1250°C na liga Cu-40% Ni como mostrado na figura.



Reta em 1250°C para encontrar a quantidade de cada fase.

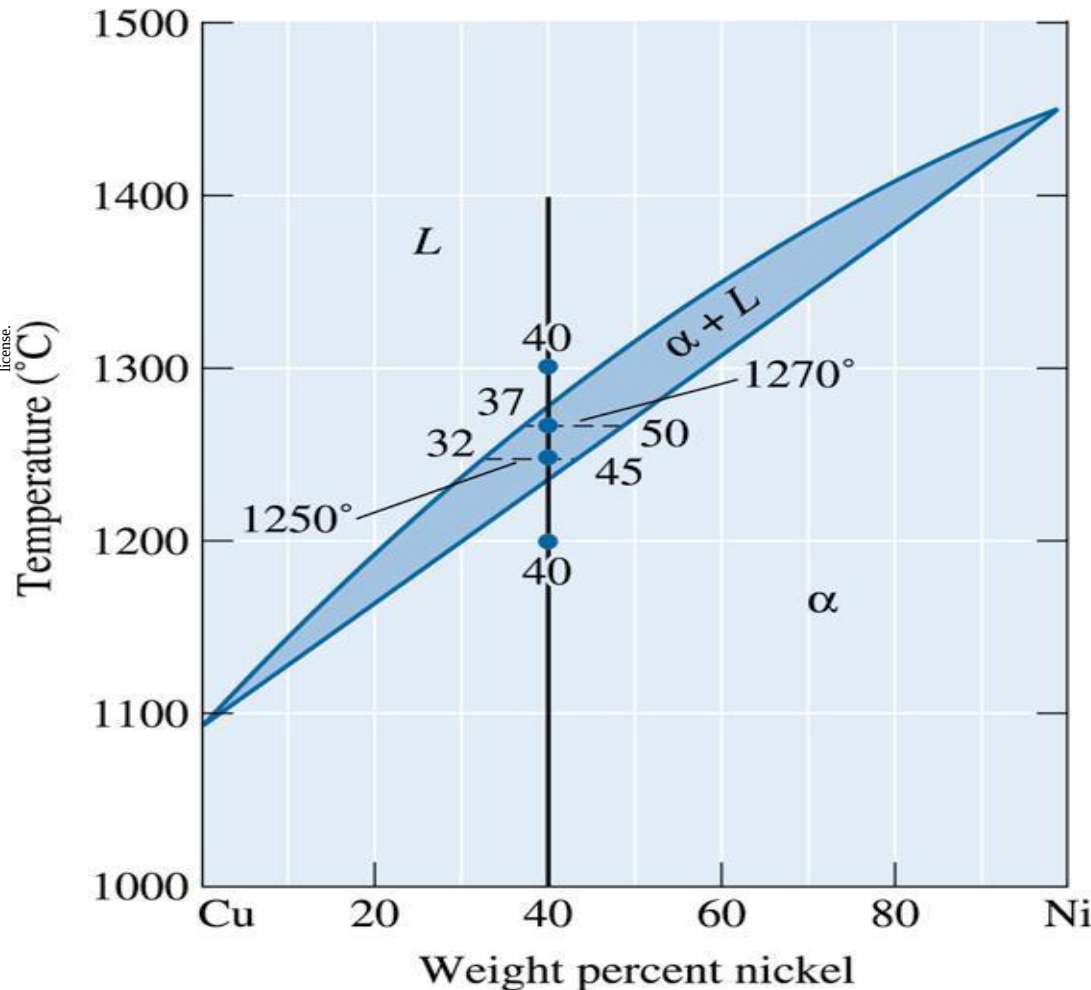


$$\%L = \frac{45 - 40}{45 - 32} \times 100 = 38\%$$

$$\%\alpha = \frac{40 - 32}{45 - 32} \times 100 = 62\%$$

Solidificação de uma liga com Cu-40% Ni

Determine a quantidade de cada fase na liga Cu-40% Ni mostrado na figura, nas temperaturas de 1300°C, 1270°C, 1250°C e 1200°C.



SOLUÇÃO



– $1300^{\circ}C : 100\%L$

$$- 1270^{\circ}C : \%L = \frac{50 - 40}{50 - 37} \times 100 = 77\%$$

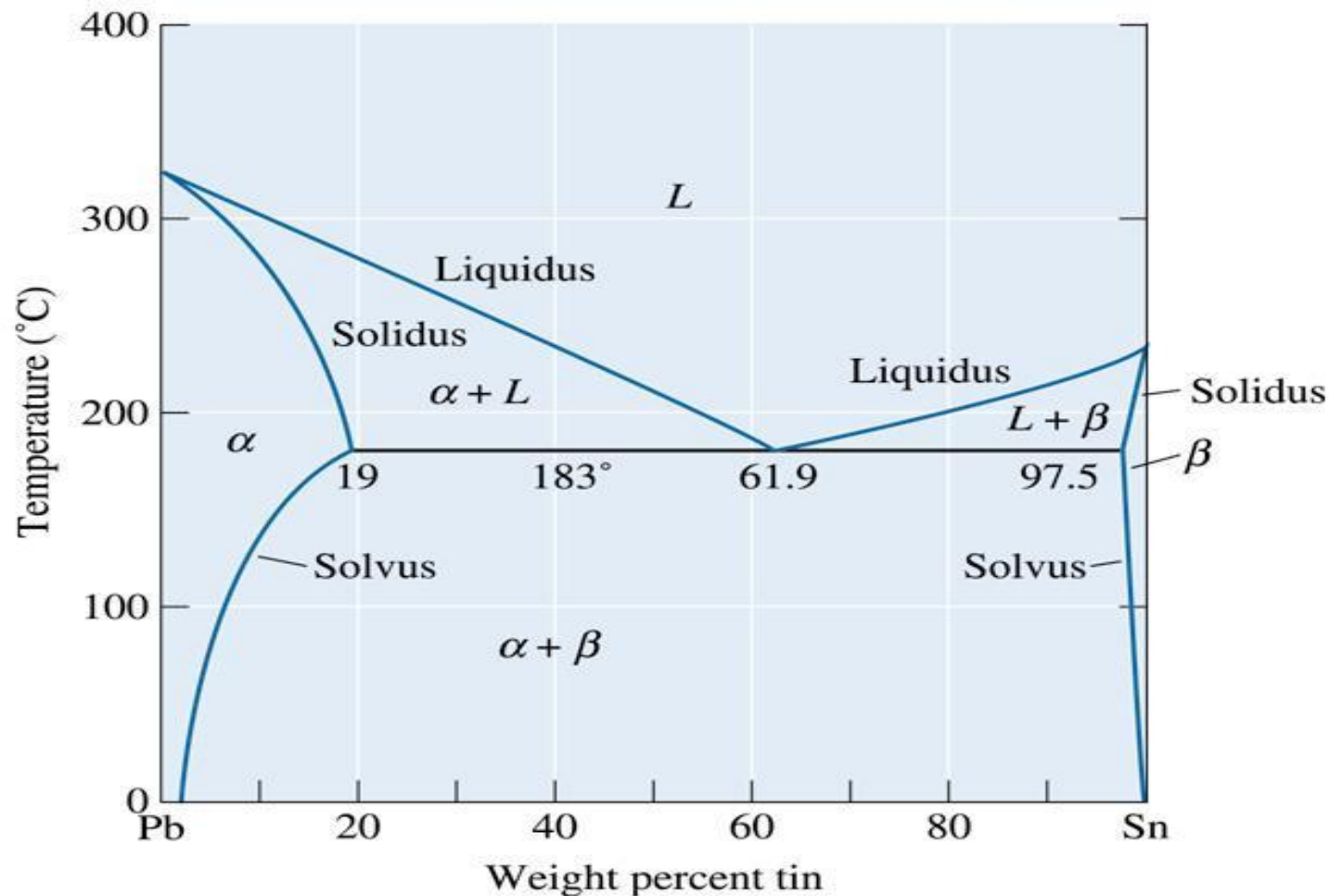
$$\% \alpha = \frac{40 - 37}{50 - 37} \times 100 = 23\%$$

$$- 1250^{\circ}C : \%L = \frac{45 - 40}{45 - 32} \times 100 = 38\%$$

$$\% \alpha = \frac{40 - 32}{45 - 32} \times 100 = 62\%$$

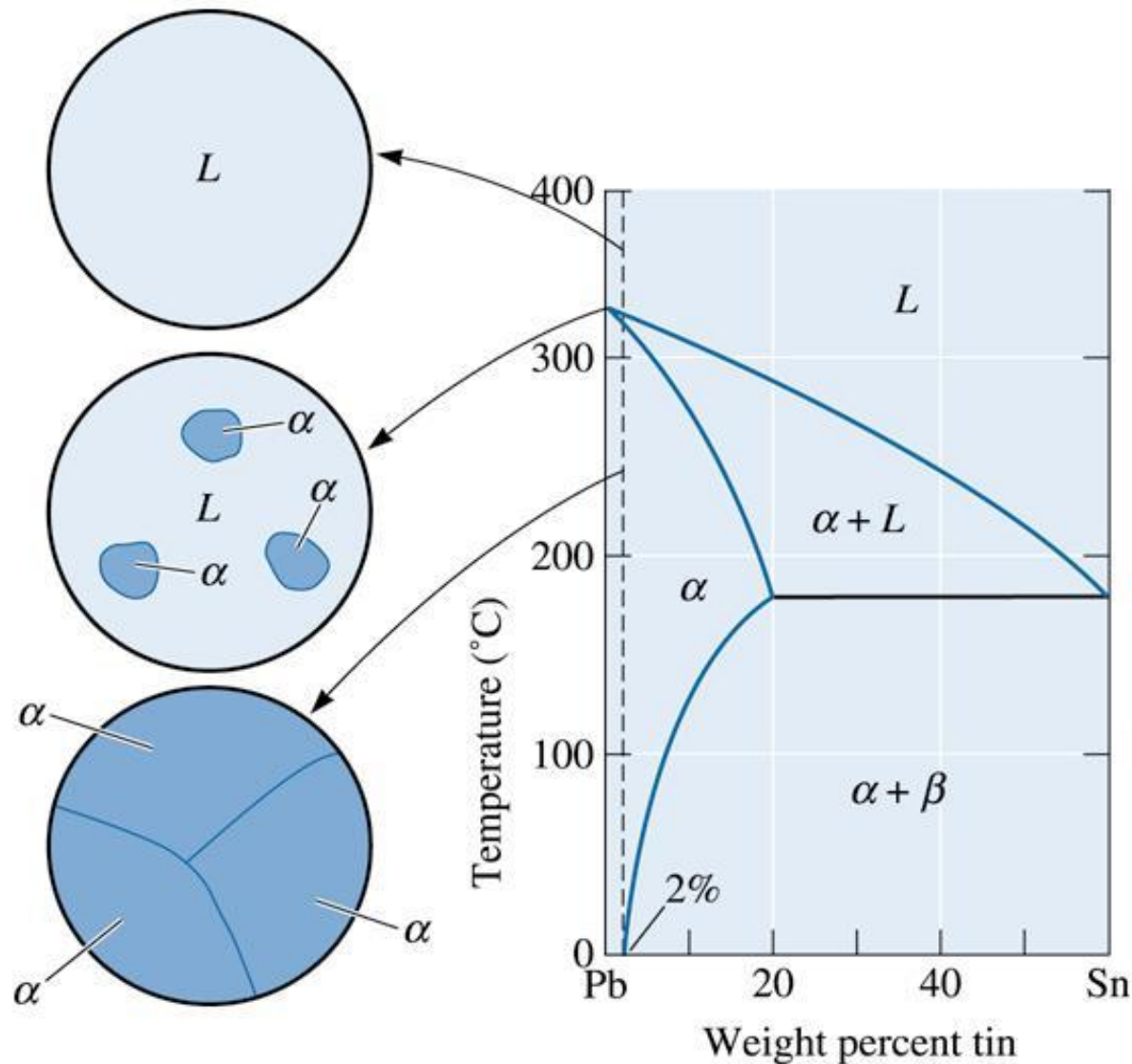
– $1200^{\circ}C : 100\% \alpha$

Diagrama de Fases Eutético

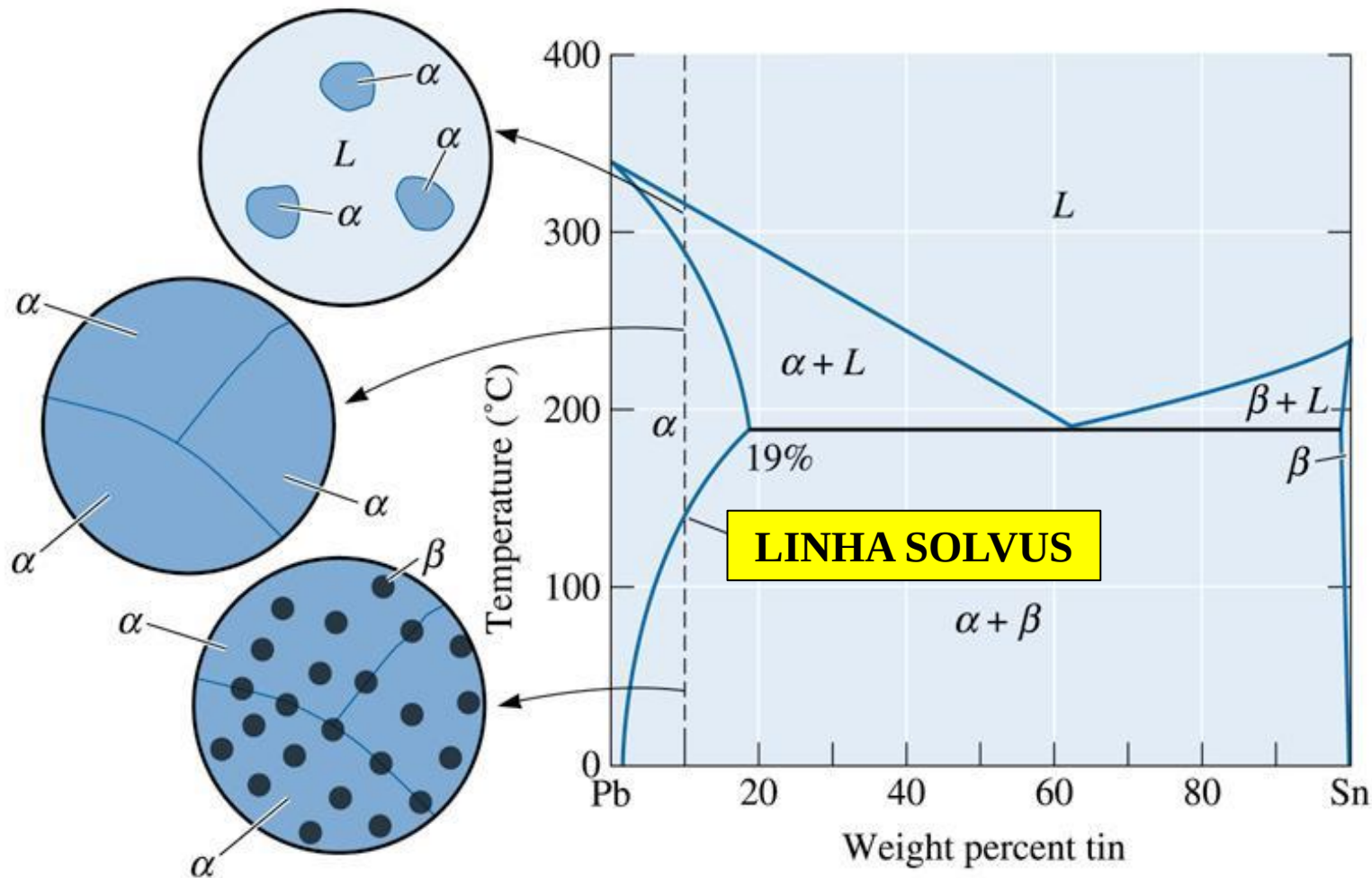


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.

Diagrama de fase Chumbo - Estanho.

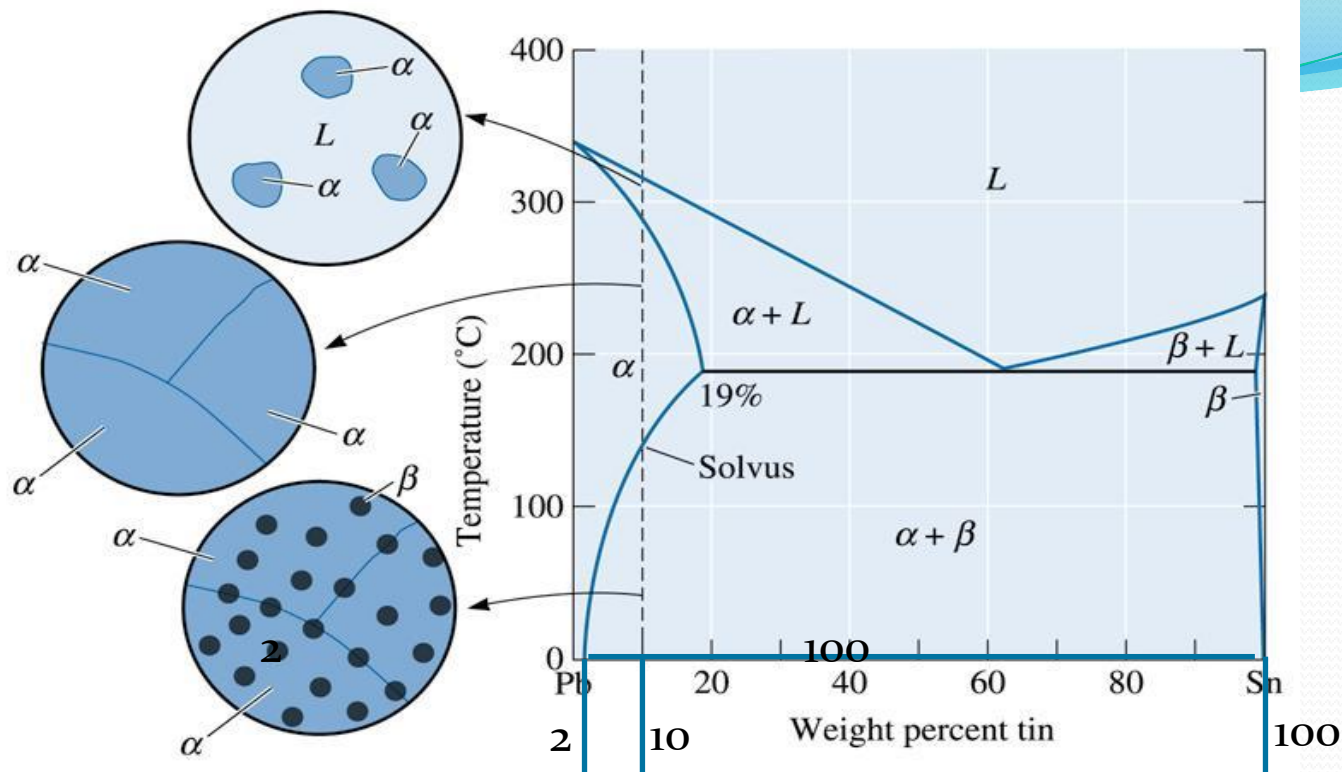


Solidificação e microestrutura de uma liga com Pb-2% Sn. A liga é uma solução sólida simples.



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.

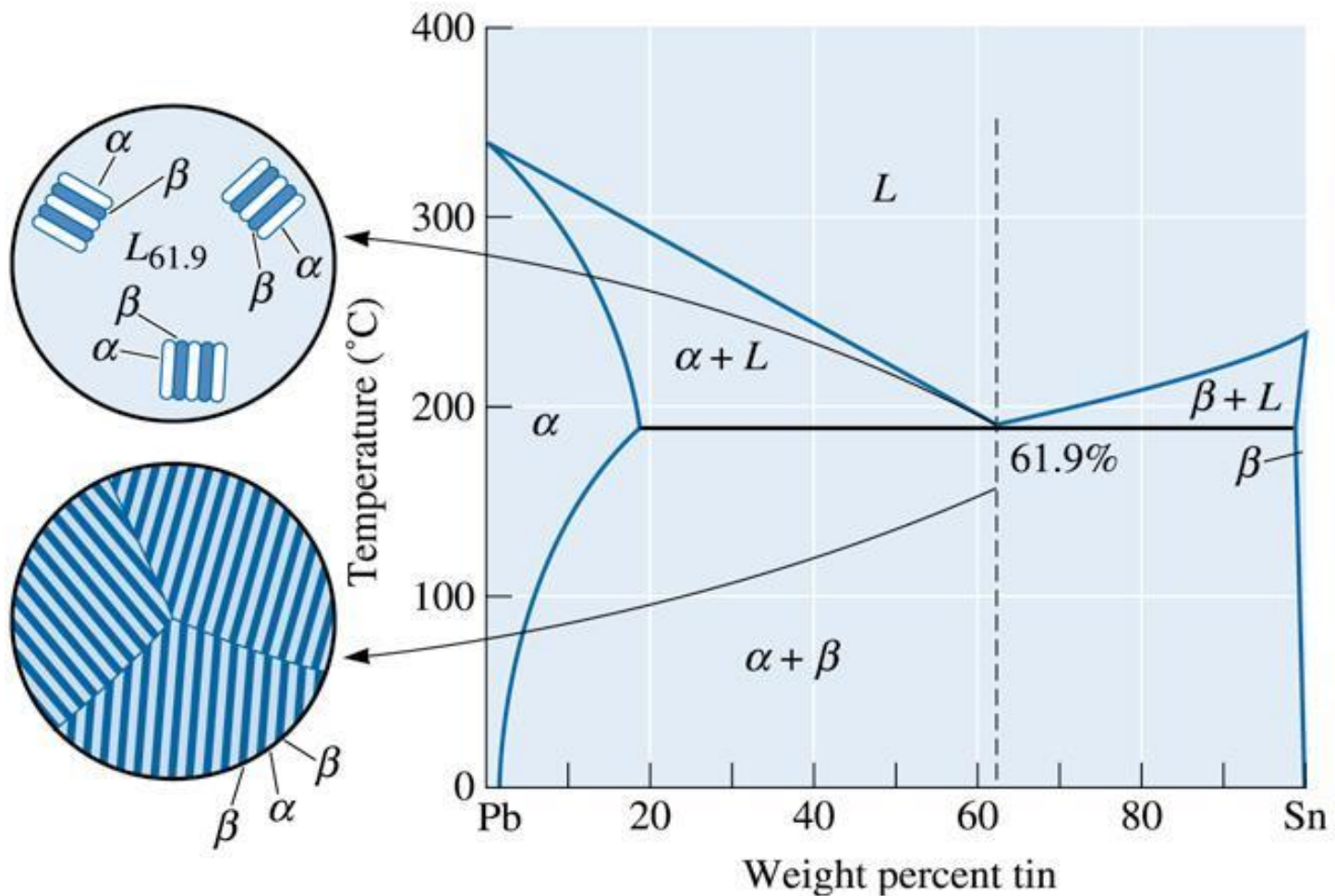
Solidificação, precipitação e microestrutura de uma liga Pb-10% Sn. Algum endurecimento por dispersão ocorre quando β precipita.



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.

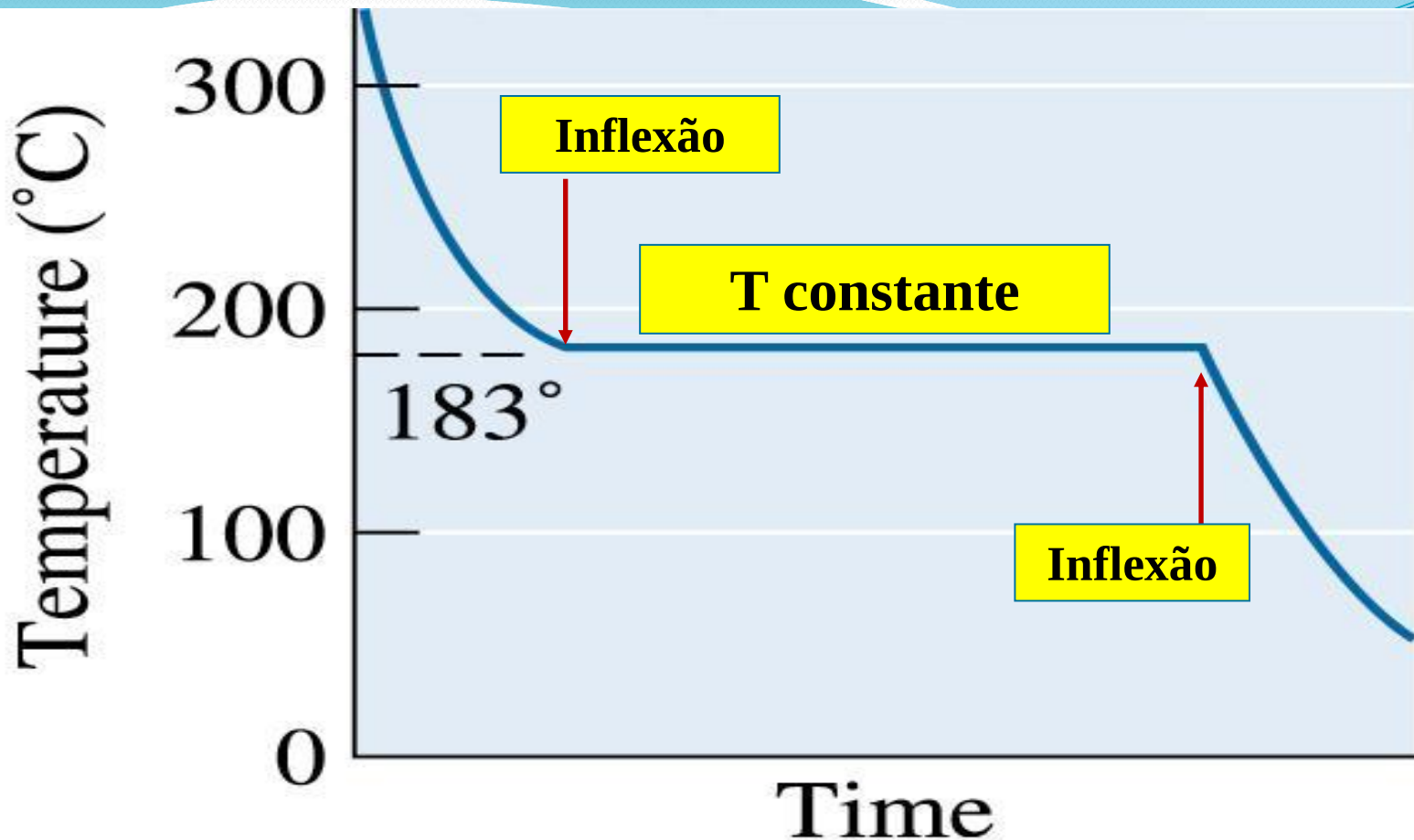
Em 0°C, a liga com 10% Sn possui as fases $\alpha + \beta$. Pela aplicação da regra da alavanca determine a porcentagem da fase β .

$$\% \beta = \frac{10 - 2}{100 - 2} \times 100 = 8.2\%$$



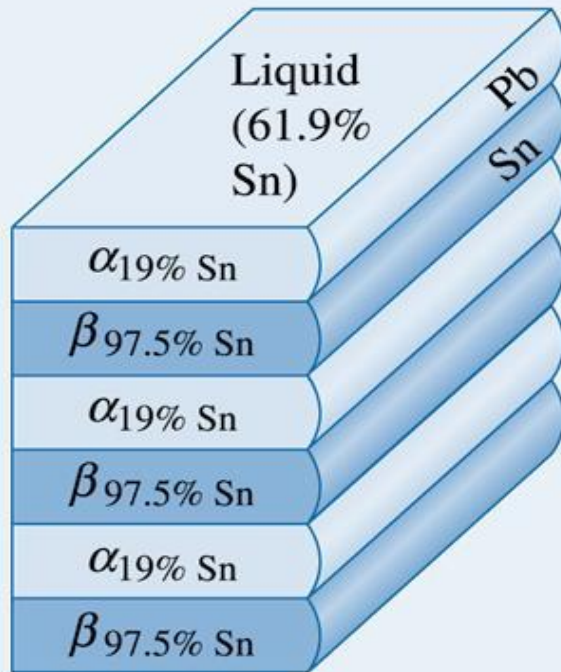
(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning is a trademark used herein under license.

A solidificação e microestrutura da liga eutética Pb-61.9% Sn.

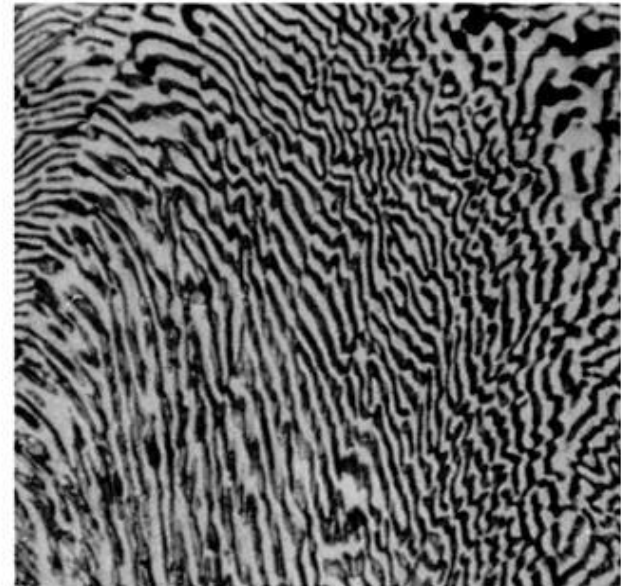


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.

Curva de resfriamento para a liga eutética. Esta solidifica ou funde em um patamar de temperature (reação invariante: similar à substância pura.



(a)



(b)

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[™] is a trademark used herein under license.

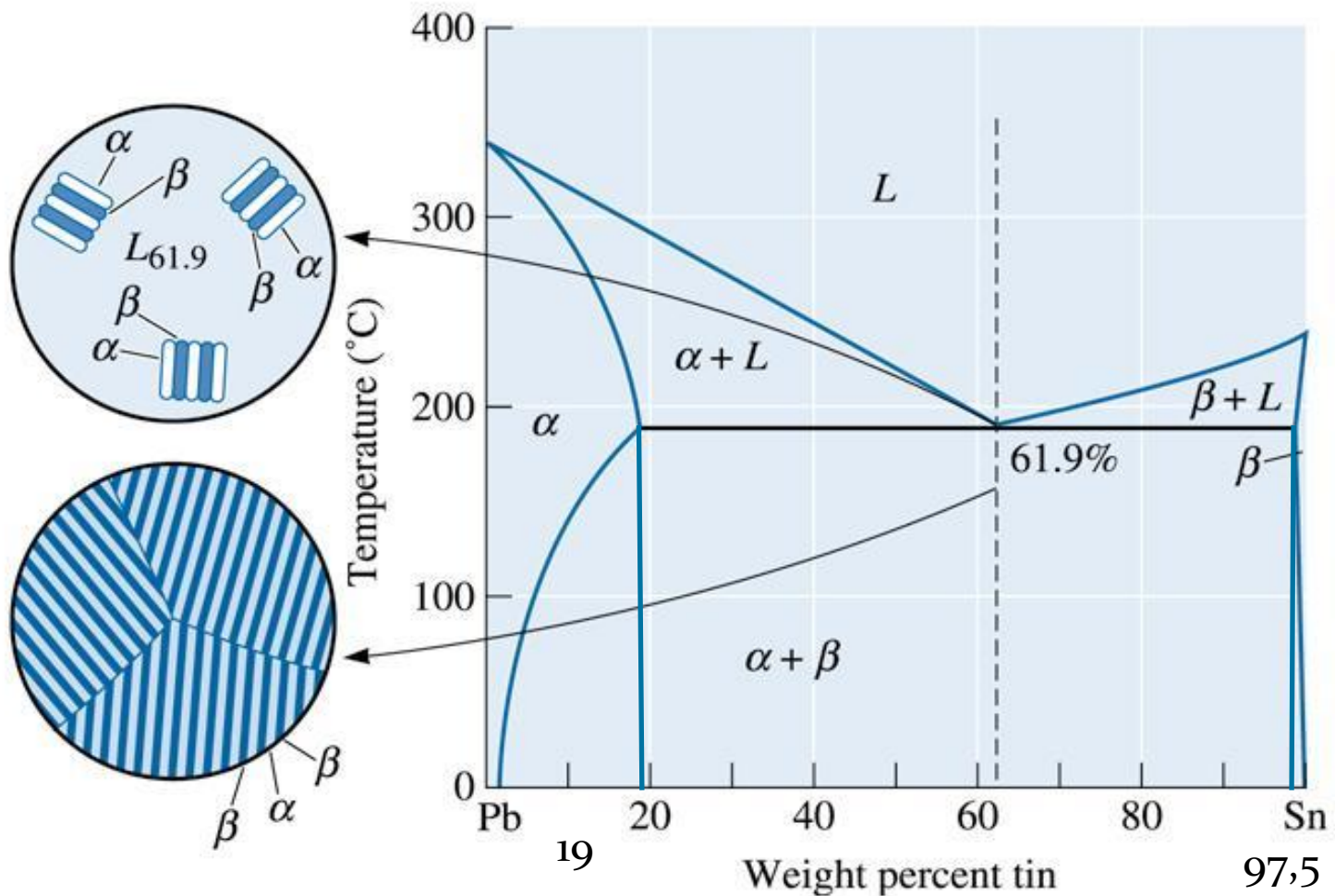
Redistribuição atômica durante o crescimento lamelar do eutético Pb – Sn (crescimento cooperativo).

Exemplo

(a) Determine a **quantidade e composição** de cada fase na liga Pb – Sn na composição eutética, sendo que a **liga eutética contém 61,9% Sn**;

$$\alpha : (Pb - 19\% Sn) \quad \% \alpha = \frac{97.5 - 61.9}{97.5 - 19.0} \times 100 = 45.35\%$$

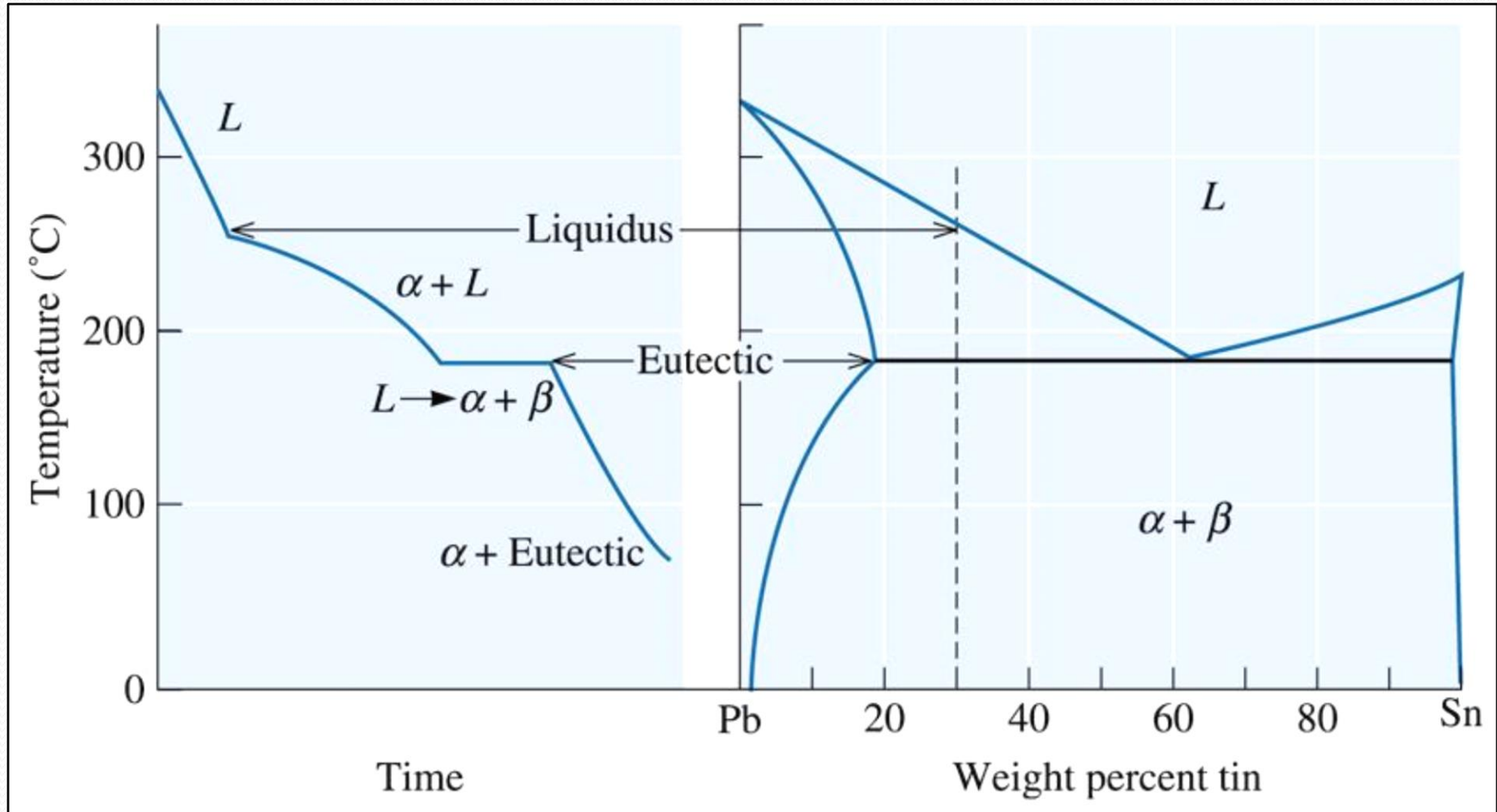
$$\beta : (Pb - 97.5\% Sn) \quad \% \beta = \frac{61.9 - 19.0}{97.5 - 19.0} \times 100 = 54.65\%$$

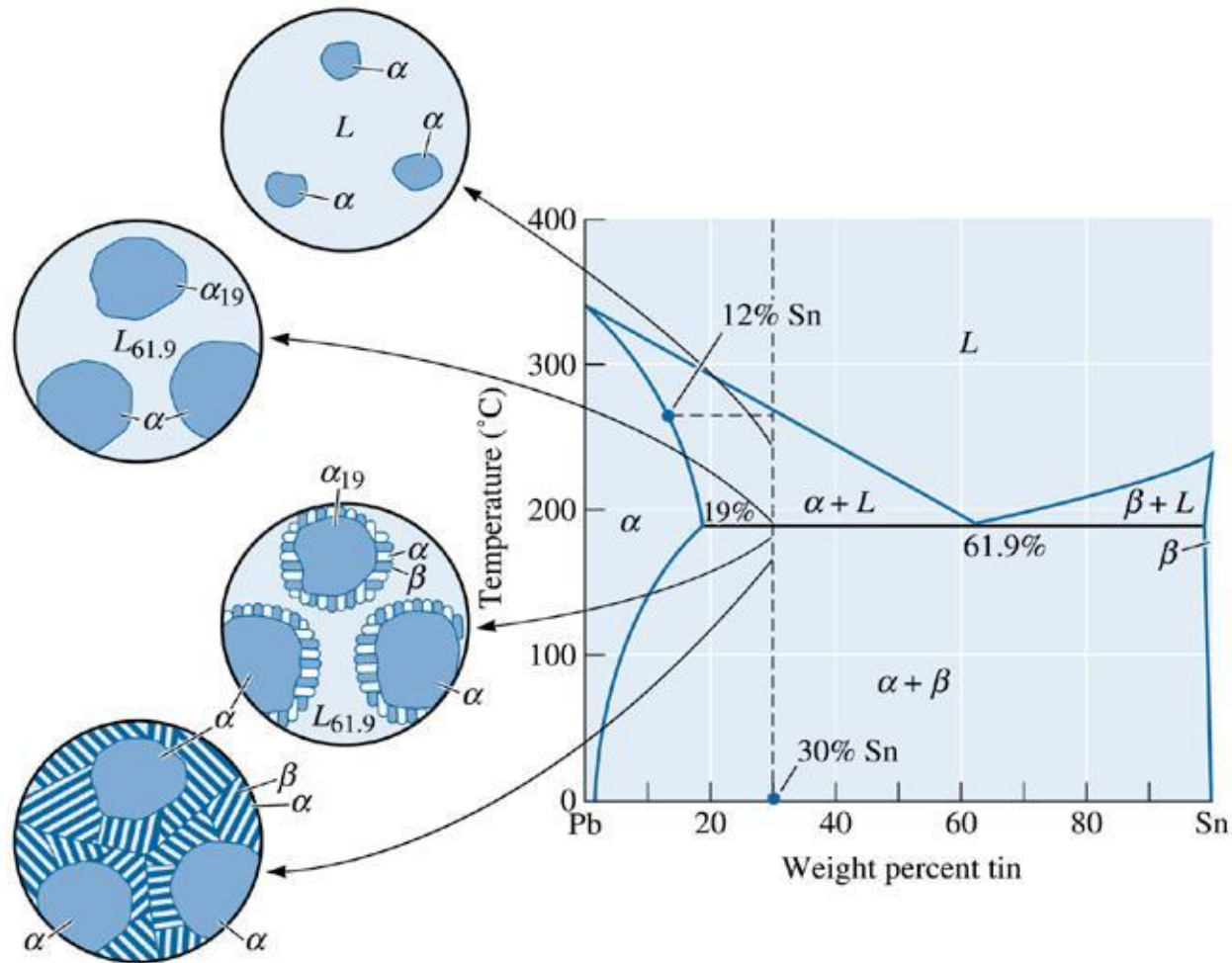


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.

A solidificação e microestrutura da liga eutética Pb-61.9% Sn.

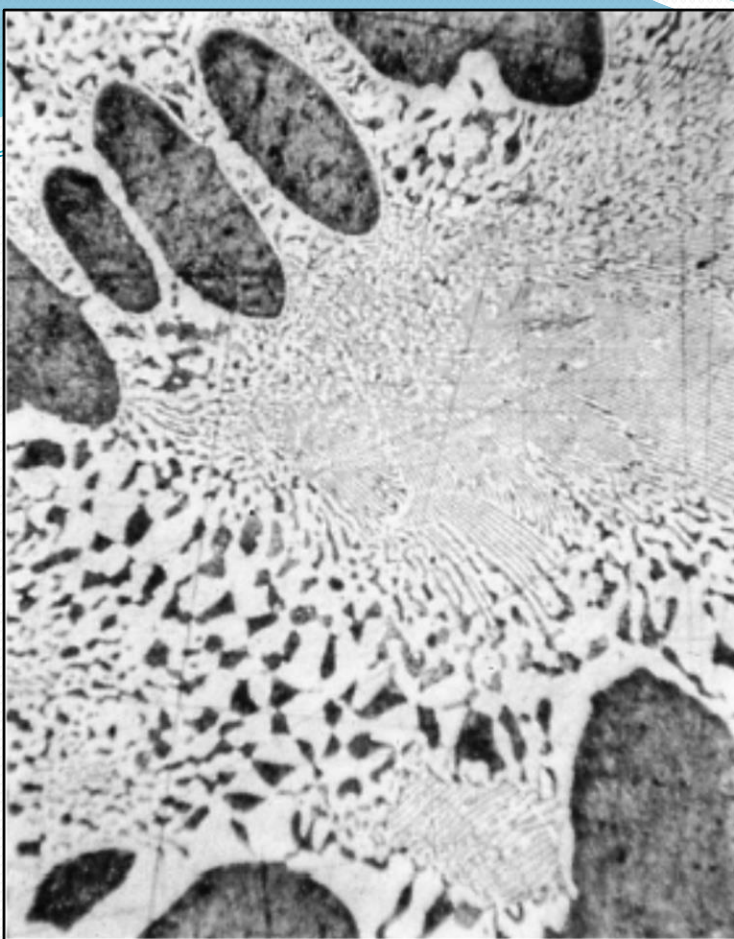
Ligas hipoeutéticas



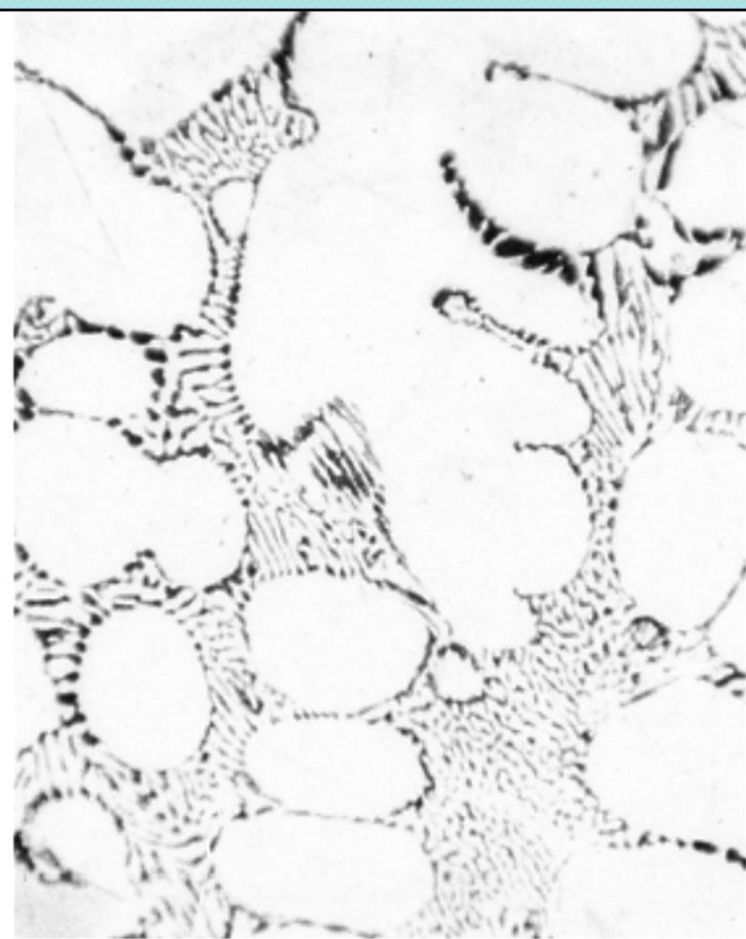


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[™] is a trademark used herein under license.

Solidificação e microestrutura de uma liga hipoeutética (Pb-30% Sn).



(a)



(b)

(a) Microestrutura de uma liga Pb – Sn hipoeutética . (b) Microestrutura de uma liga Pb – Sn hipereutética . O microconstituente escuro é rico em Pb, fase α , o microconstituente claro é rico em Sn, fase β , e a estrutura lamelar fina é o eutético .

DIAGRAMA DE FASES DO AÇO E FERRO FUNDIDO (DIAGRAMA Fe-Fe₃C)

SOLIDIFICAÇÃO- LINGOTAMENTO CONVENCIONAL



SOLIDIFICAÇÃO-LINGOTAMENTO CONVENCIONAL

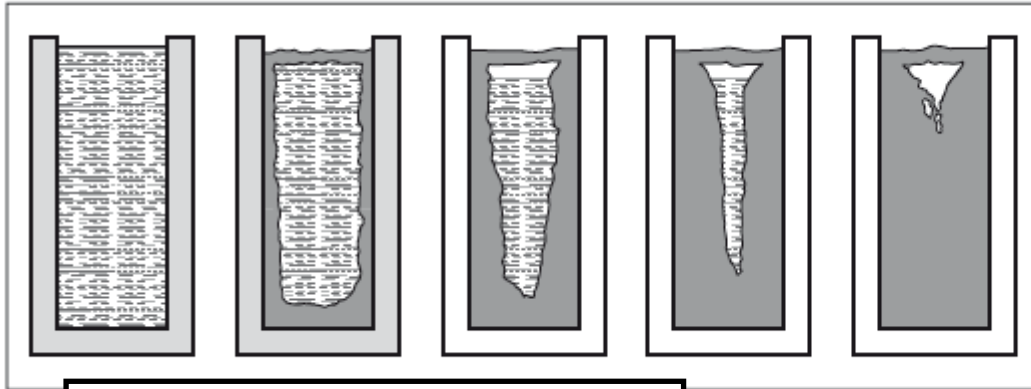
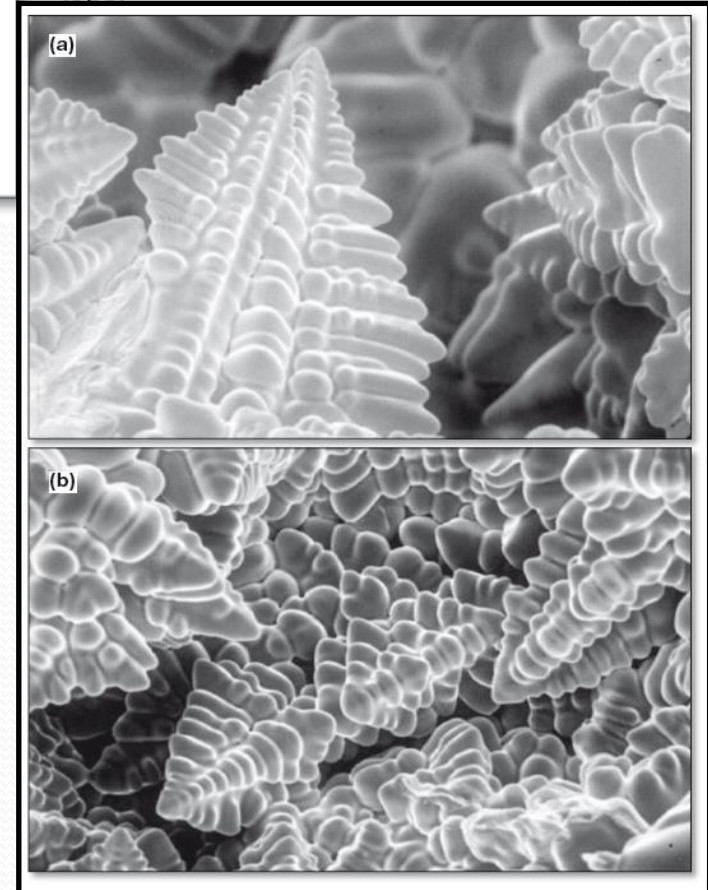


Figura 8.4

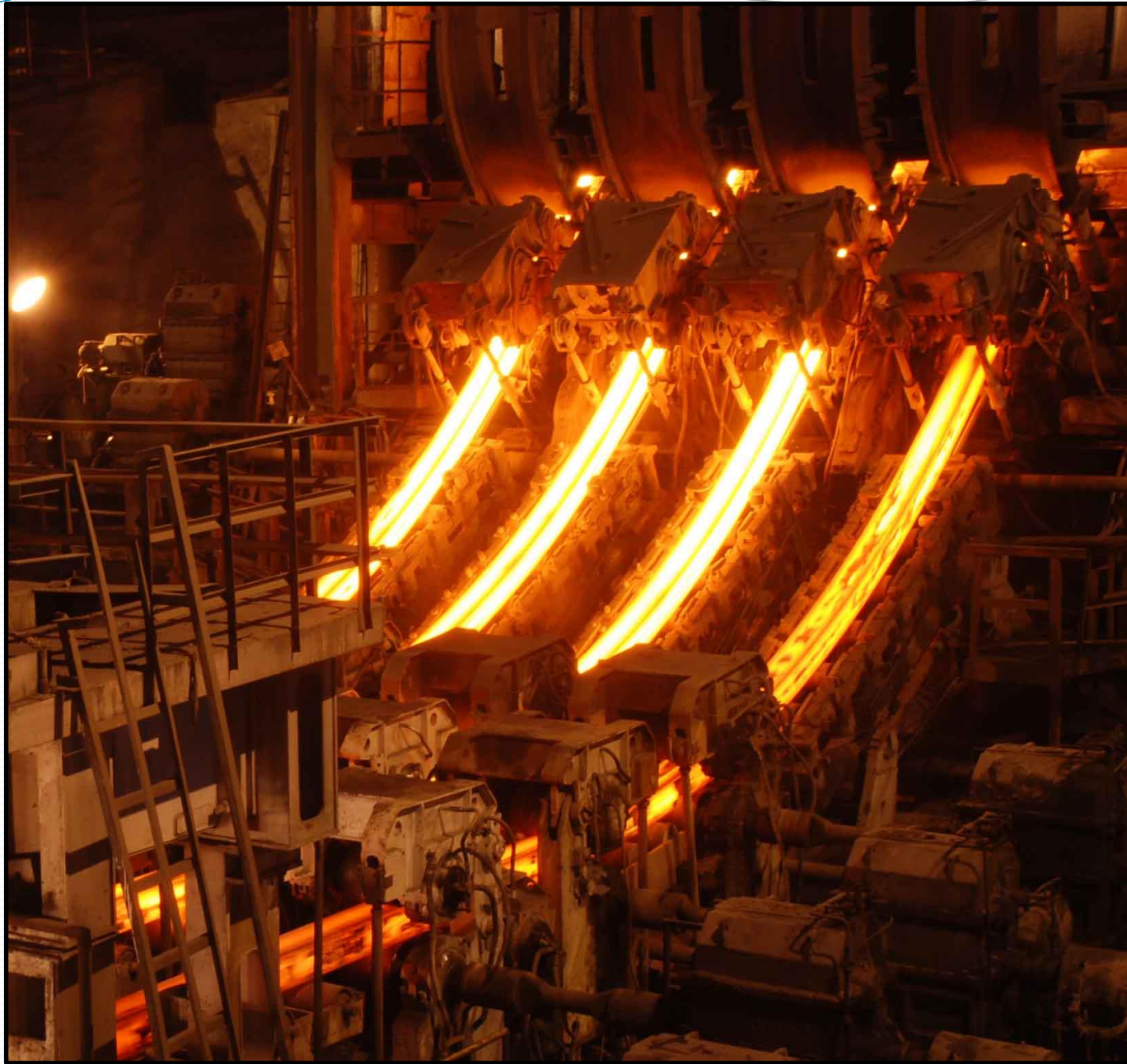
Progresso da solidificação em um molde metálico em que a extração de calor se passa, principalmente, pelas laterais e pela base e, de forma secundária, pelo topo.



(Colpaert)



SOLIDIFICAÇÃO-LINGOTAMENTO CONTÍNUO



SOLIDIFICAÇÃO-LINGOTAMENTO CONTÍNUO

Figura 8.48

Esquema de uma máquina de lingotamento contínuo. A solidificação é concluída vários metros abaixo do nível do menisco formado no interior do molde (comprimento metalúrgico). Velocidades de lingotamento (ou do veio) da ordem de 1 a 2 m/min são típicas. Como o veio é curvo, a estrutura não é perfeitamente simétrica (ver Figura 8.52).

(Colpaert)

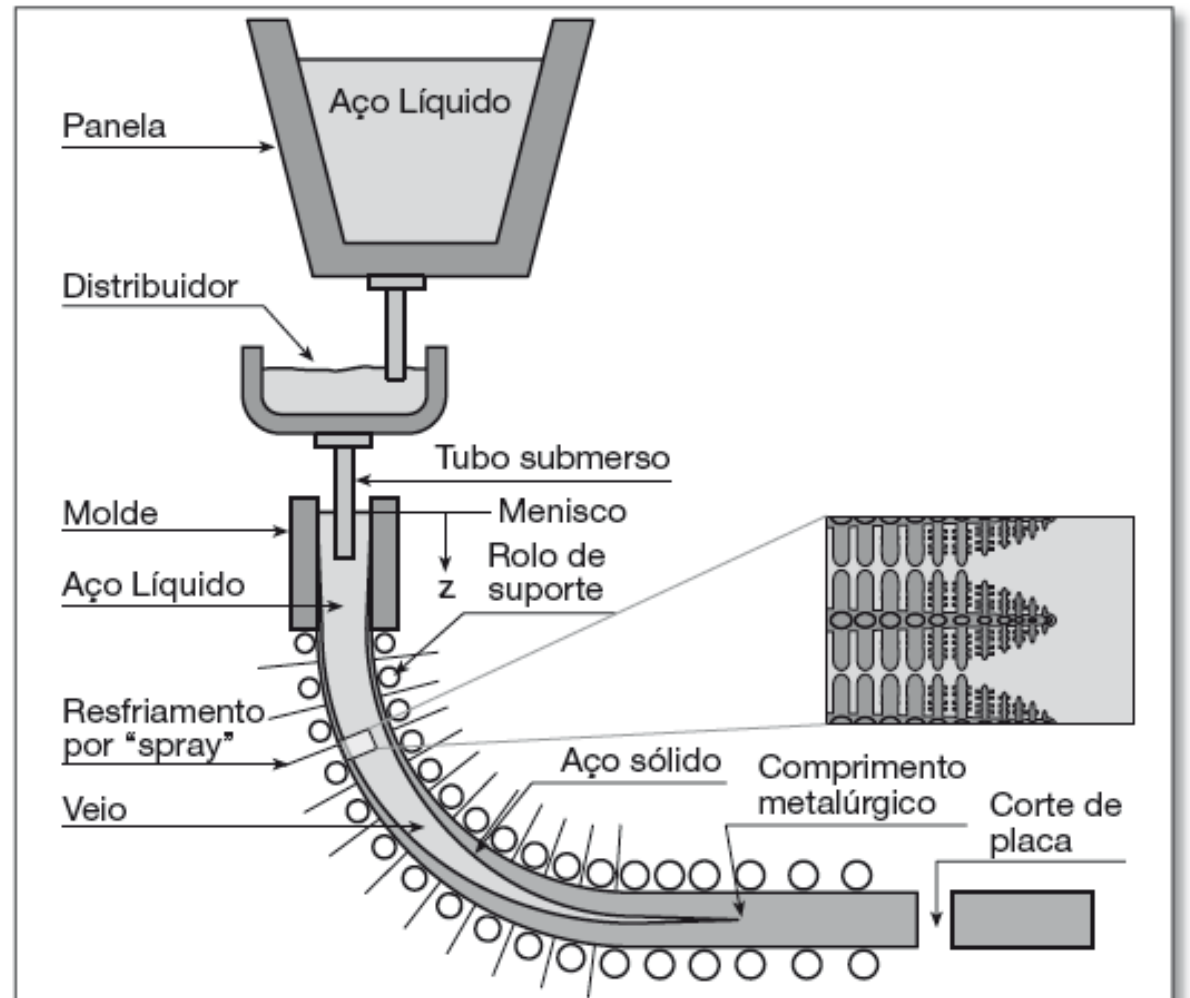
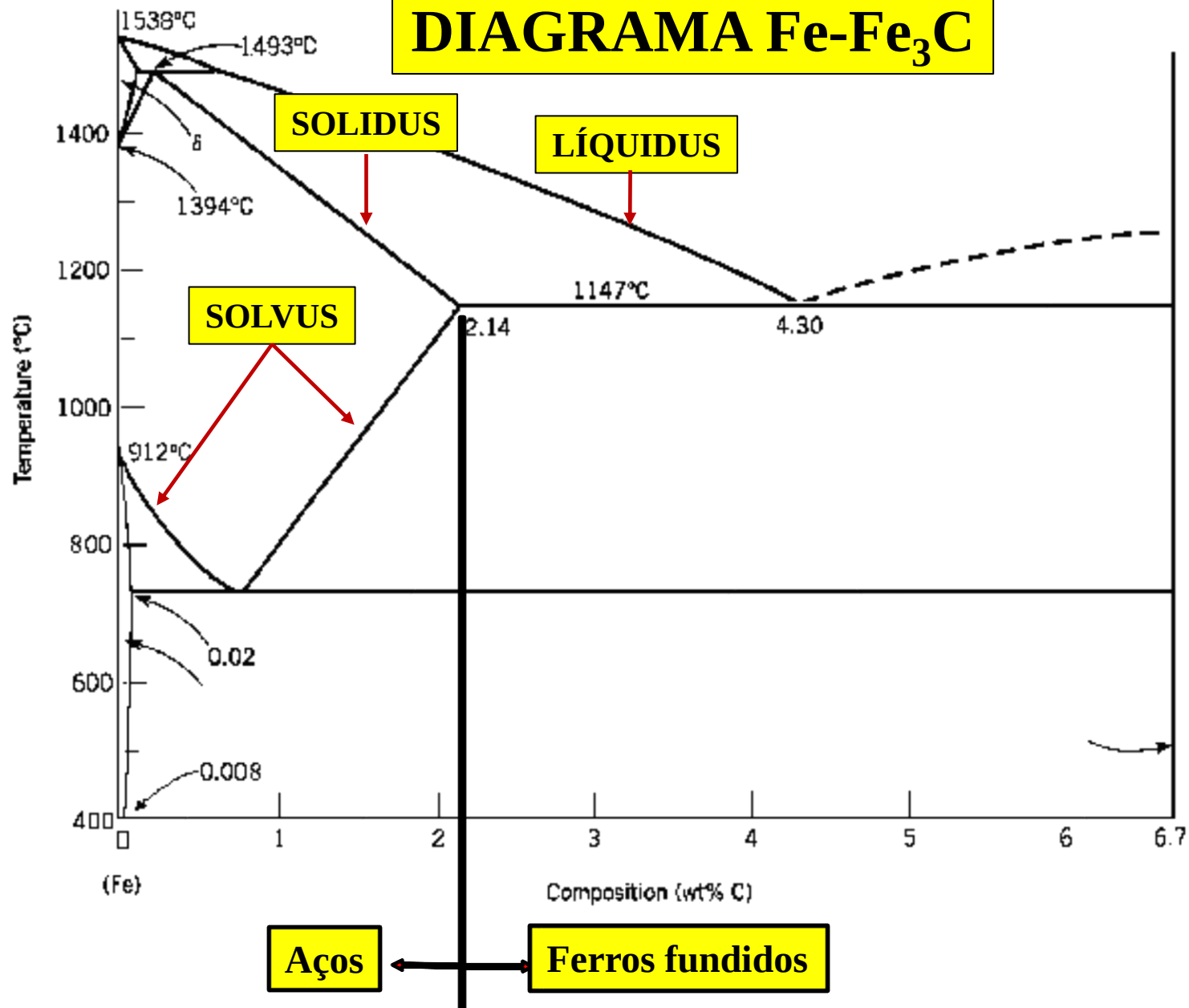


DIAGRAMA Fe-Fe₃C





EFSC • USP



REAÇÕES INVARIANTES

As cinco reações do tipo três –fases mais importantes em diagramas binários.

Eutectic	$L \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectic	$\alpha + L \rightarrow \beta$	
Monotectic	$L_1 \rightarrow L_2 + \alpha$	
Eutectoid	$\gamma \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectoid	$\alpha + \beta \rightarrow \gamma$	

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning™ is a trademark used herein under license.

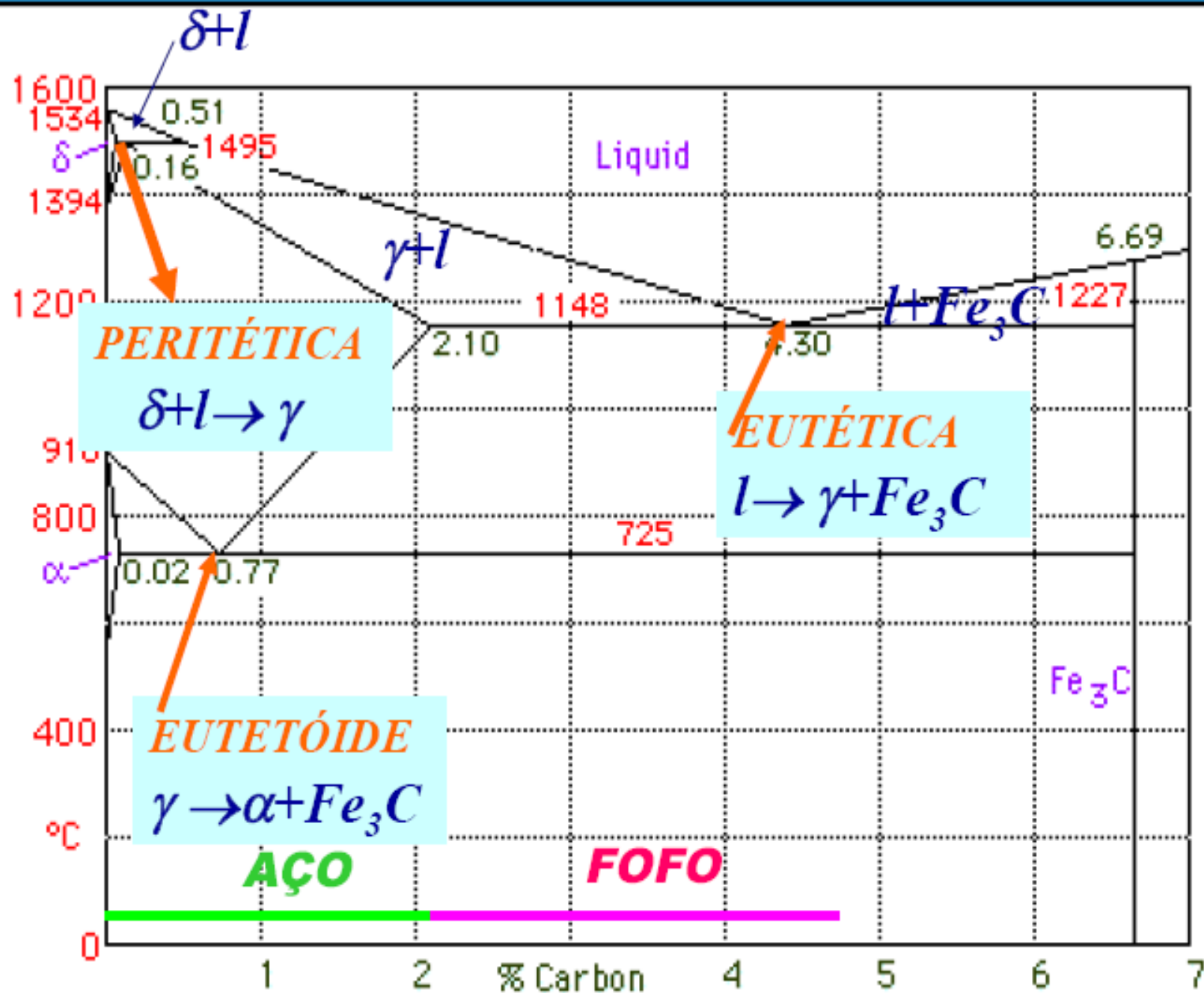
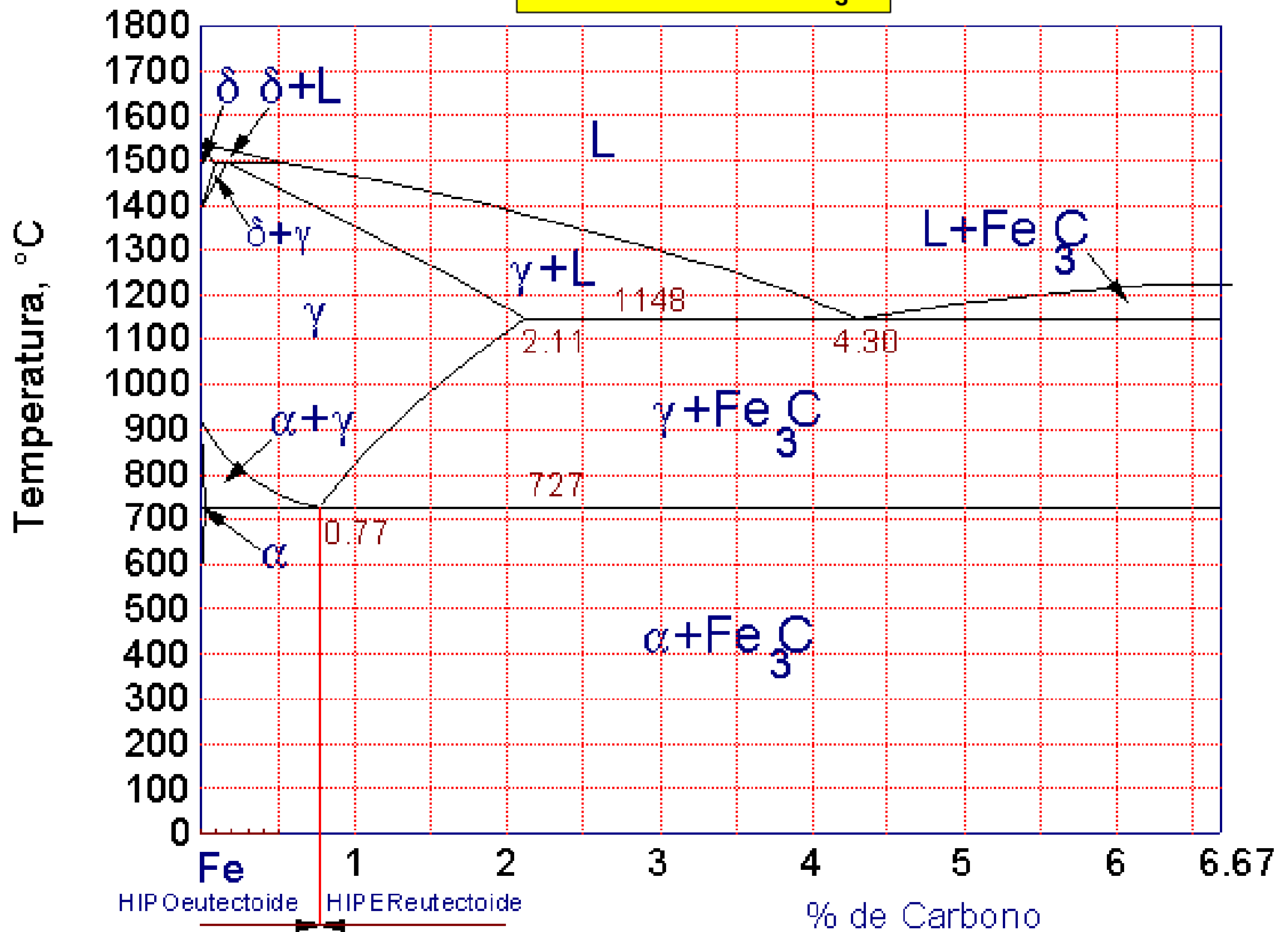
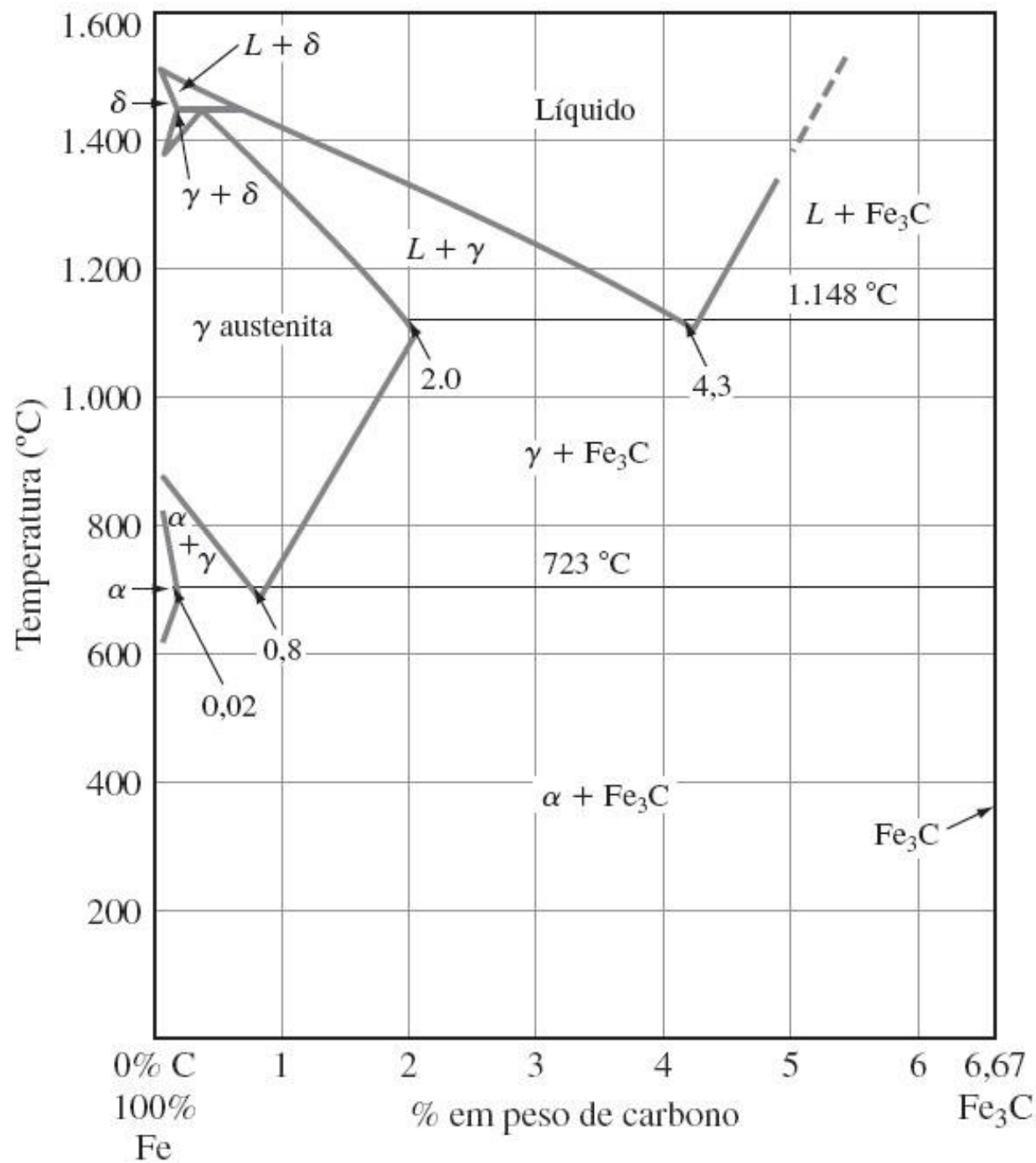


DIAGRAMA Fe-Fe₃C





(Smith)

FASES E CONSTITUINTES DO AÇO

- ***Ferrita (δ)***: Solução sólida de C em Fe CCC – 1.394°C a 1.538°C. Solubilidade máxima de 0,09% de C em 1.495°C ($a=2,91\text{\AA}$)
- ***Austenita (γ)***: Solução sólida de C no Fe CFC- 727°C a 1.495°C. Solubilidade máxima de C-2,11 % a 2,14%, em 1148°;
- ***Ferrita (α)***: Solução sólida de C no Fe CCC – até 912°. Solubilidade máxima 0,020% de C em 723°C a 727°C ($a=2,88\text{\AA}$);
- ***Cementita (Fe_3C)***: ortorrômbico, alta dureza;
- ***Perlita: microconstituente*** formado por α e Fe_3C .

NOMENCLATURA QUANTO AO TEOR DE CARBONO

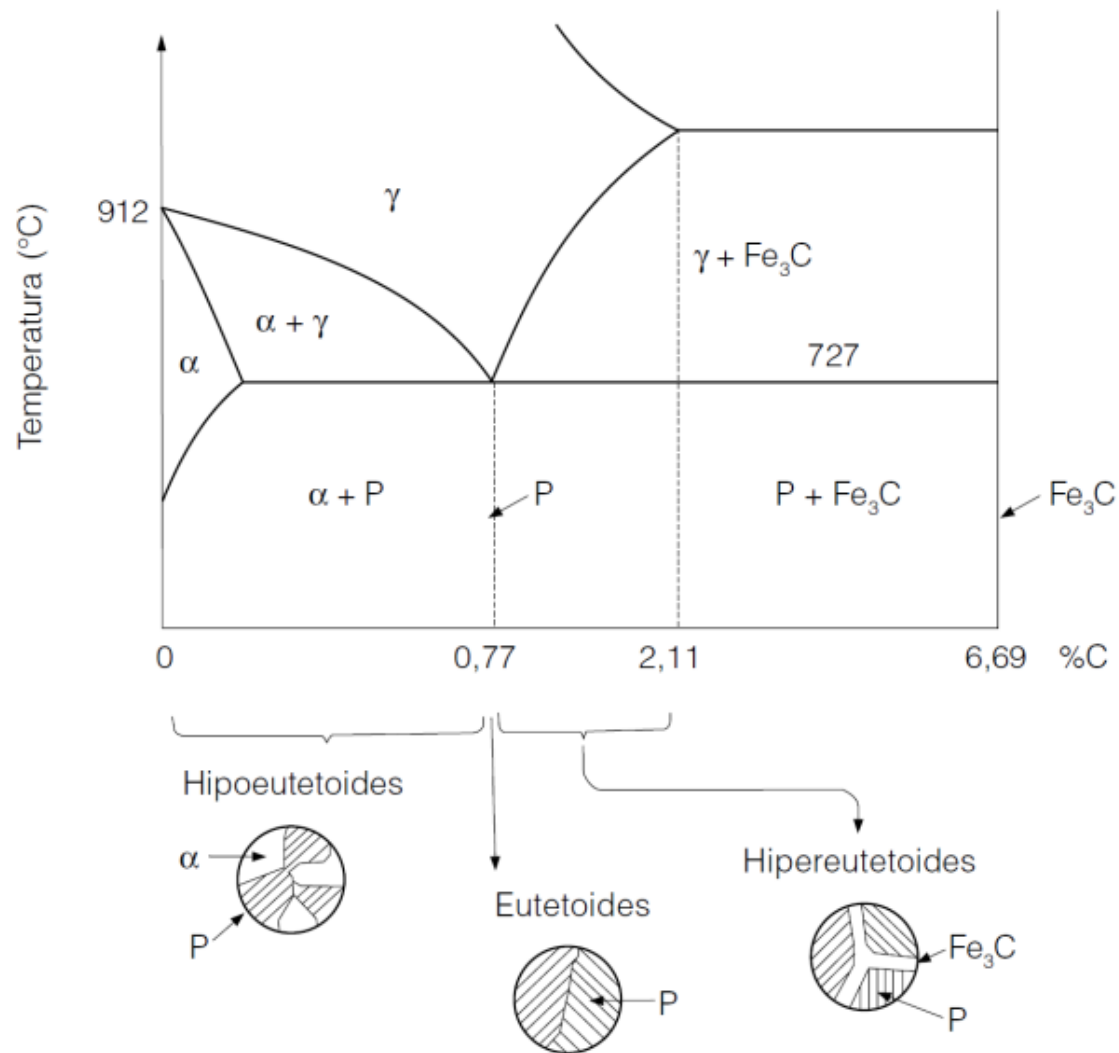
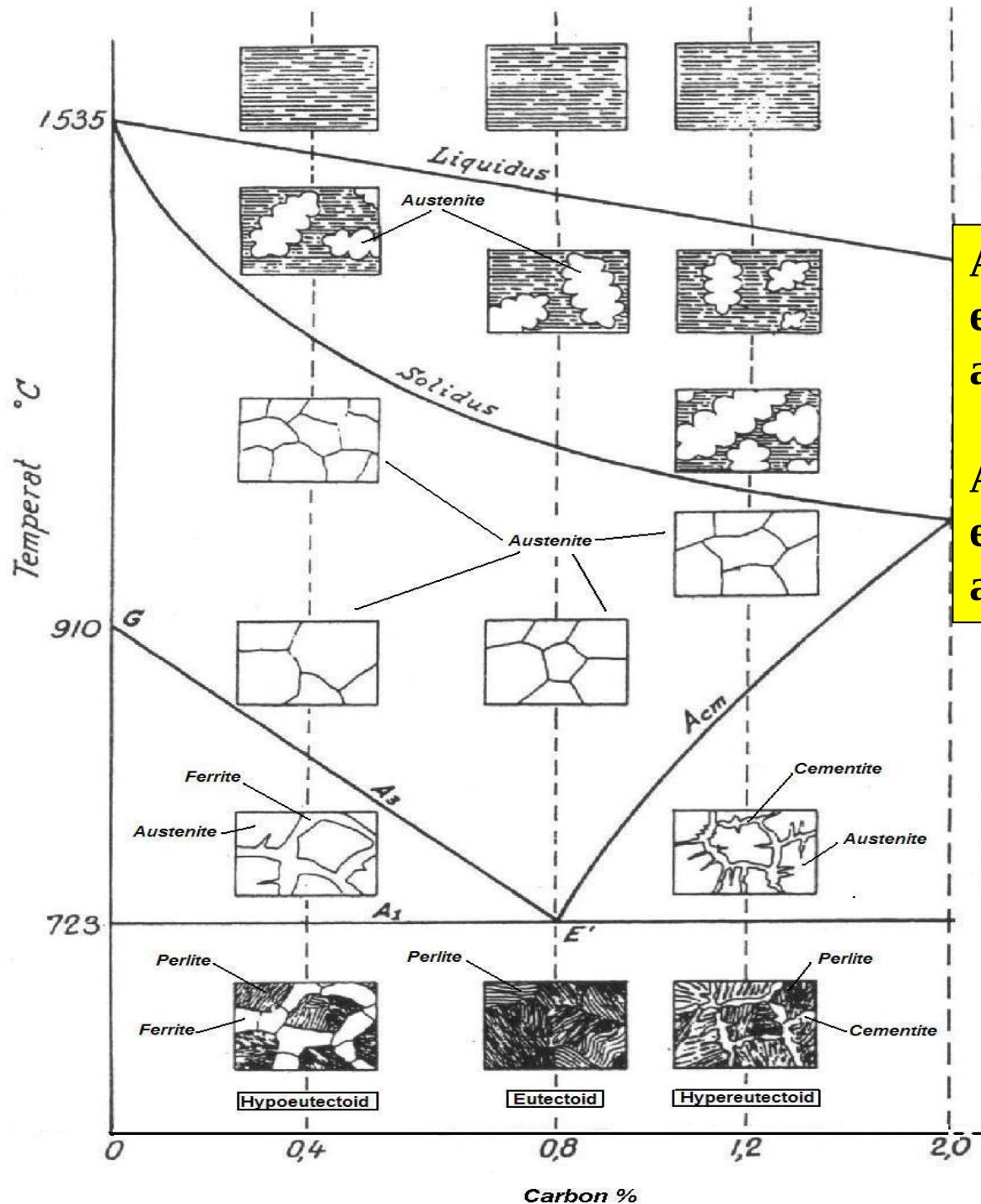


Figura 1.14 Diagrama de “fases” Fe-Perlit.

(ADAPTADO: AÇOS E LIGAS
ESPECIAIS-Costa & Silva e Mei)



A1: Temperatura de equilíbrio de início de austenitização

A3/Acm: Temperatura de equilíbrio de fim de austenitização (linha solvus)

LIGAS HIPOEUTETÓIDES

A **ferrita** estará presente tanto **na perlita** como na **fase** que se formou enquanto se resfriava **antes da temperatura do eutetóide**. A ferrita que está presente **na perlita** é chamada **ferrita eutetóide** e a ferrita que se **formou antes** da temperatura do eutetóide é chamada **ferrita proeutetóide**.

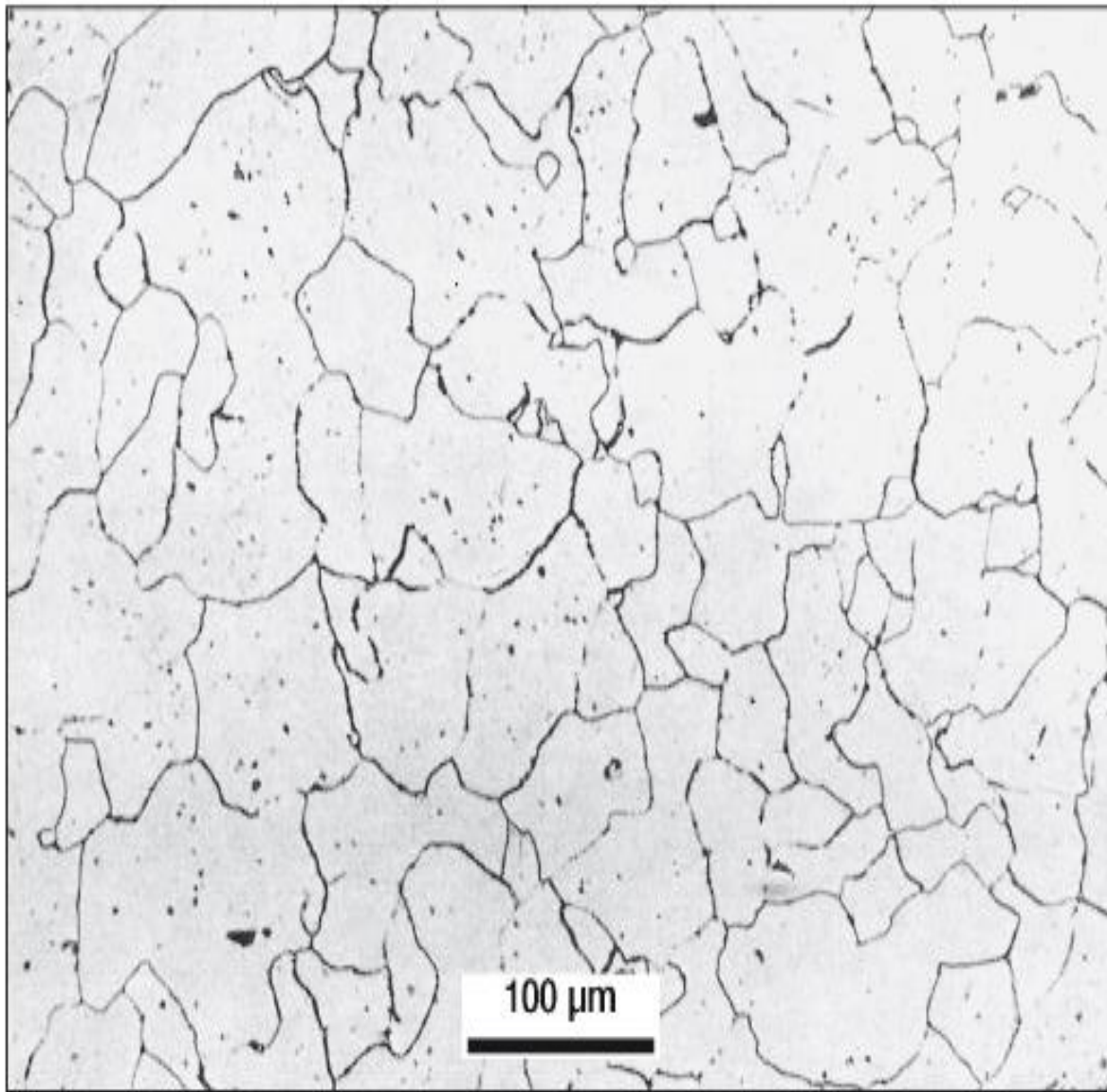
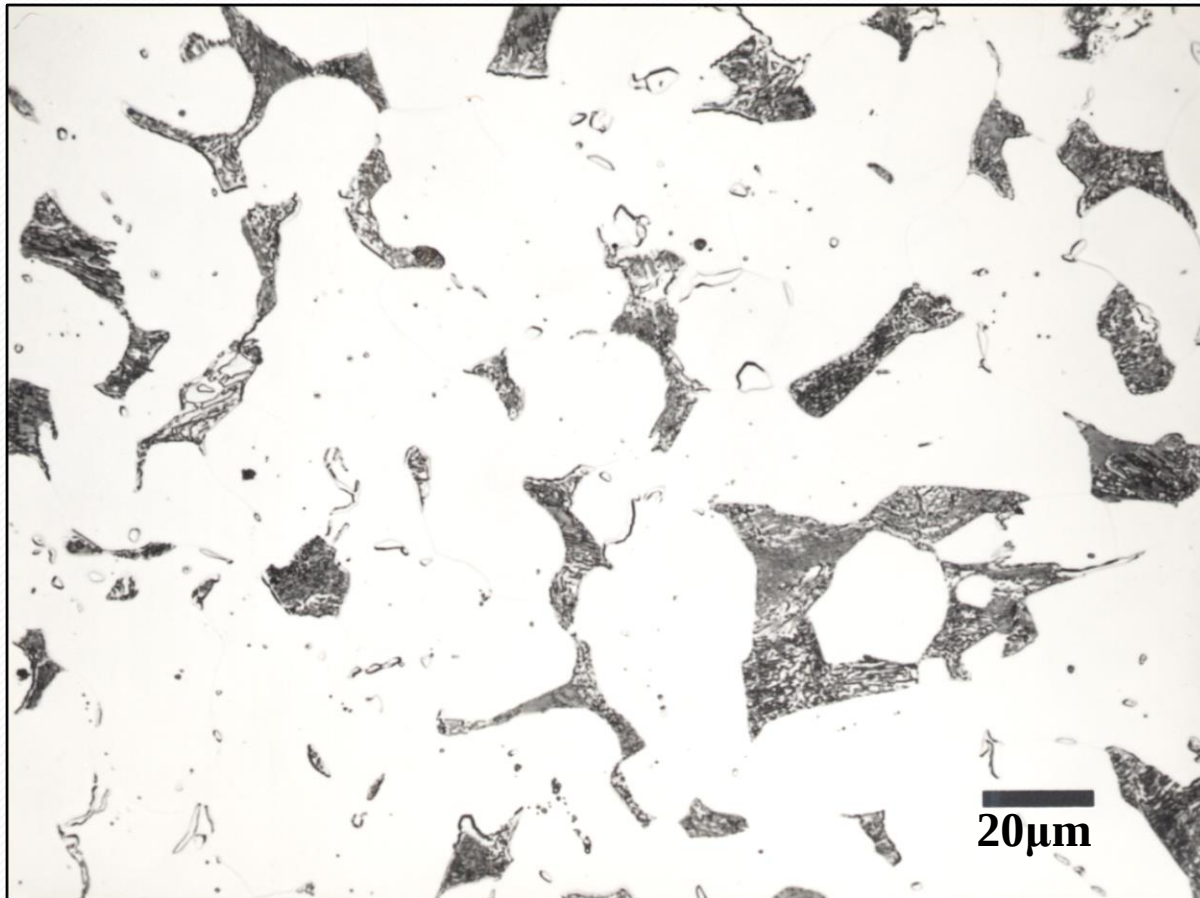


Figura 7.3

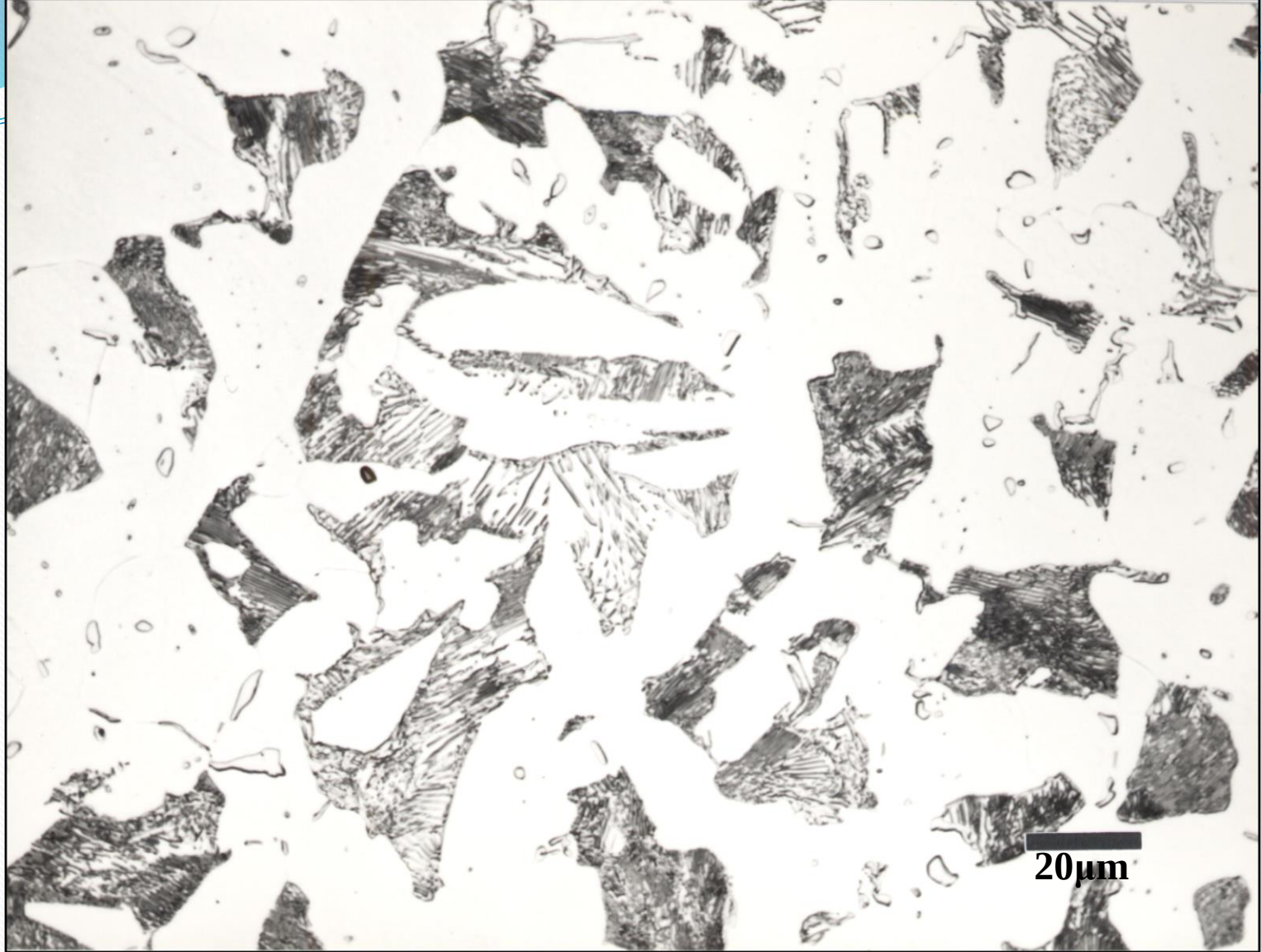
Aço de teor de carbono extra baixo⁽⁷⁾ (no caso, Ferro Armco). Grãos de ferrita e pequenas inclusões não-metálicas. Ataque: água régia.

(Colpaert)

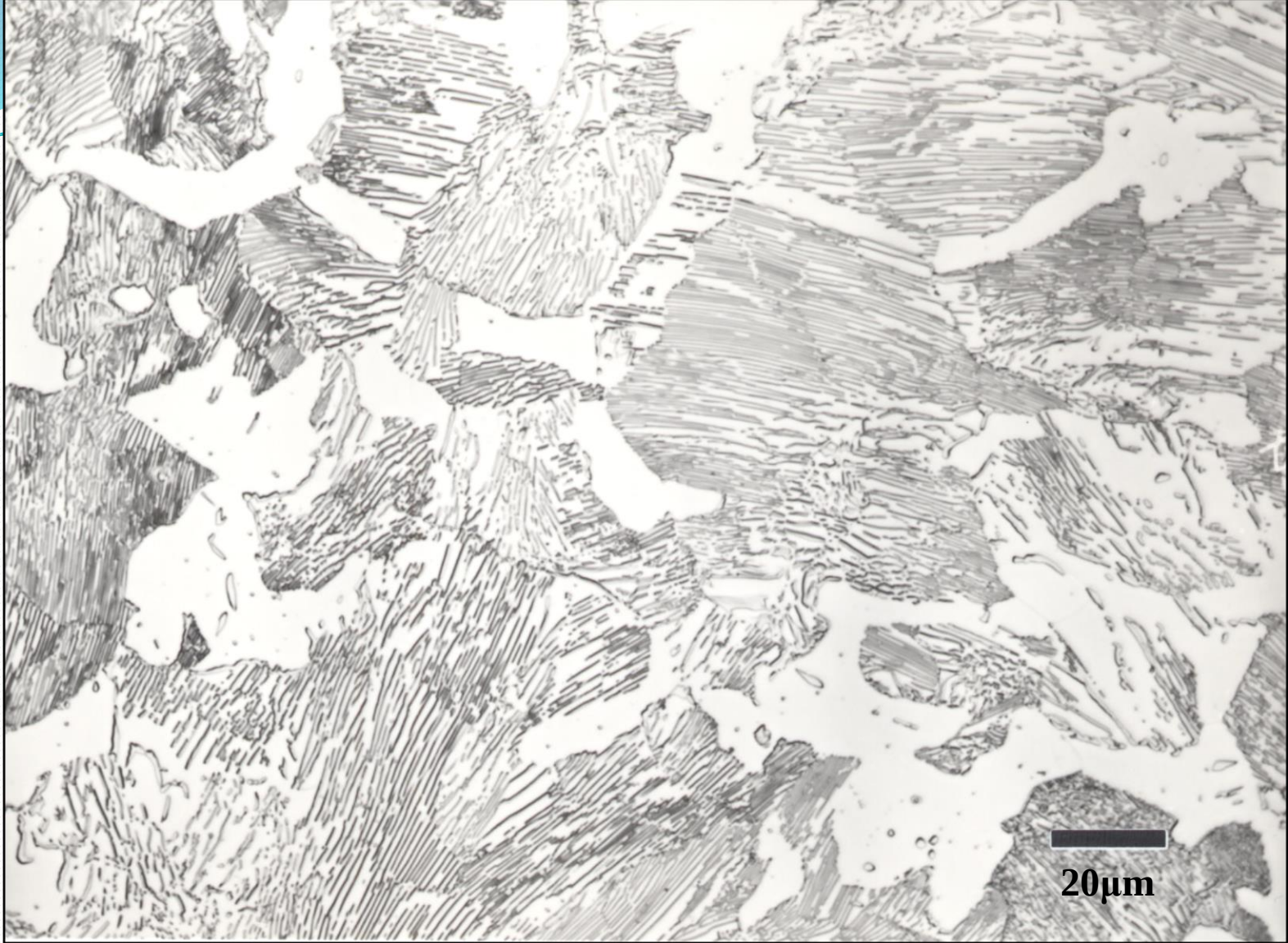
As regiões **brancas** correspondem à **ferrita proeutetóide**. Para a perlita, o espaçamento entre as camadas α e Fe_3C varia de grão para grão; uma **parte da perlita** parece **escura**, pois as muitas **camadas** com **pequeno espaçamento** **não** estão **resolvidas** e definidas na ampliação da fotomicrografia abaixo.



**Ferrite (white) and pearlite in a hot-rolled Fe – 0.2% C binary alloy.
Picral etch.
Magnification bar is 20 μm in length.**



Ferrite (white) and pearlite in a hot-rolled Fe – 0.4% C binary alloy. Picral etch. Magnification bar is 20 μm in length.



Ferrite (white) and pearlite in a hot-rolled Fe – 0.6% C binary alloy. Picral etch. Magnification bar is 20 μm in length.

LIGAS EUTETÓIDES

Eutetóide é o microconstituente, perlita, formado por **ferrita** + **cementita**, em forma de lamelas.

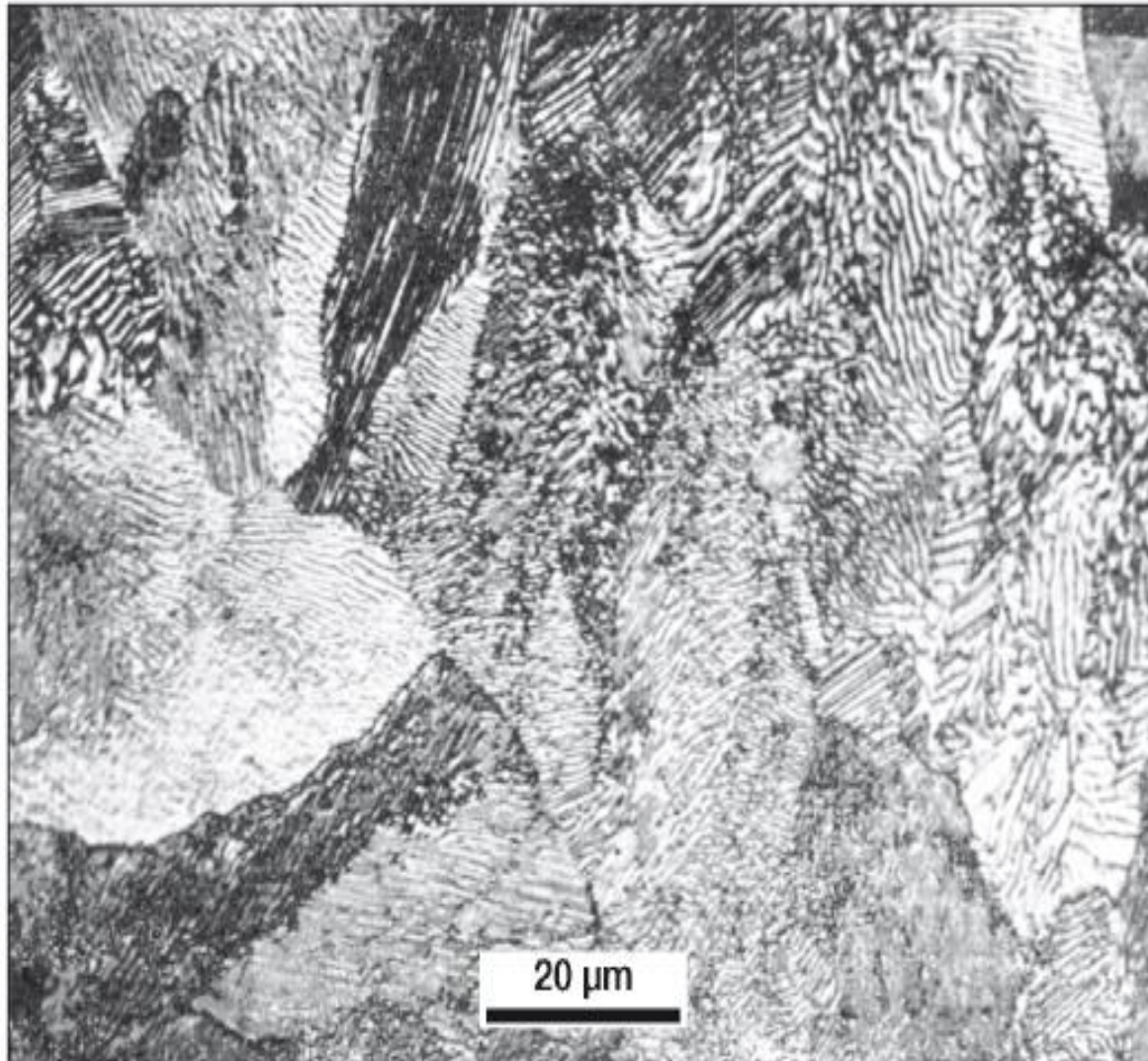
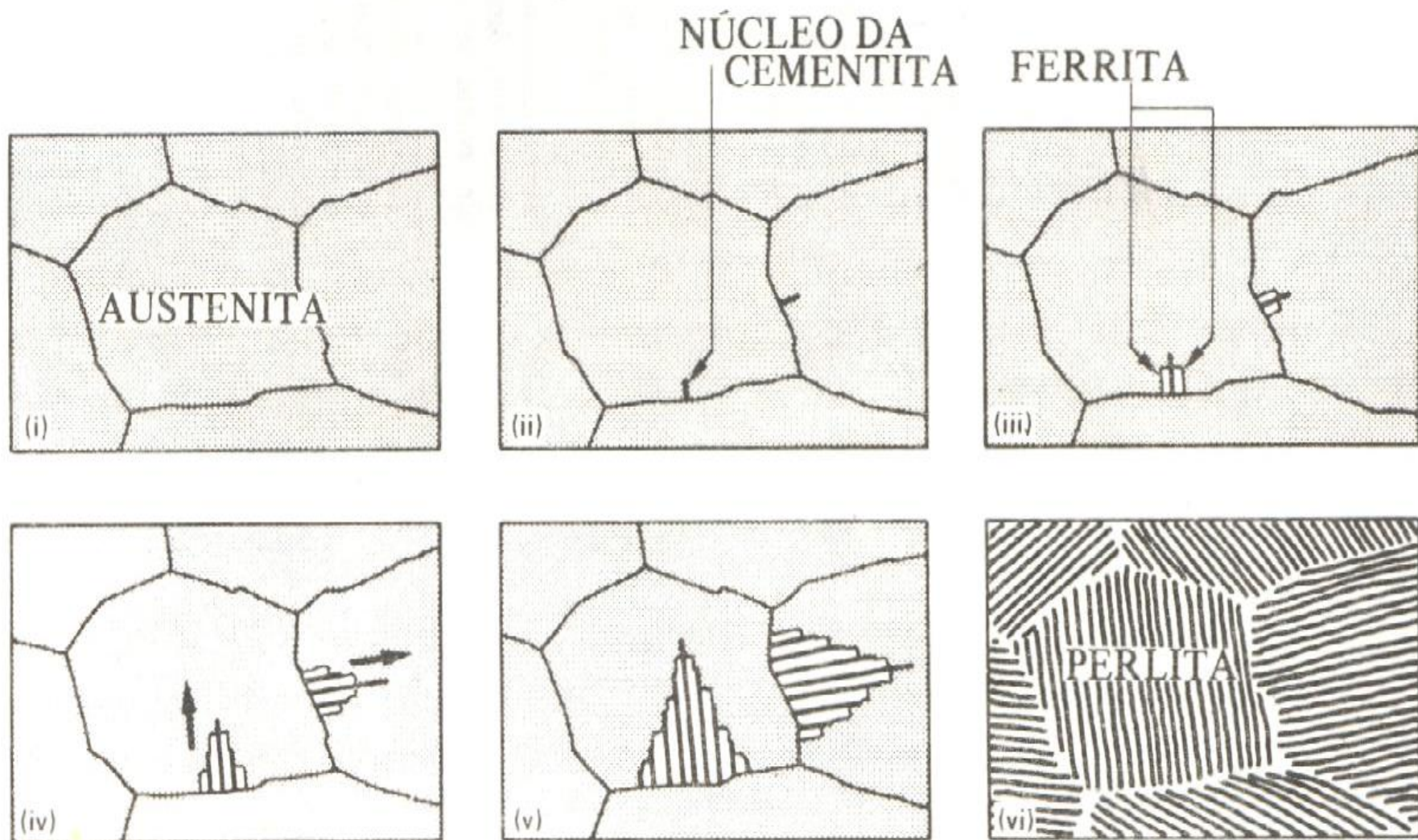
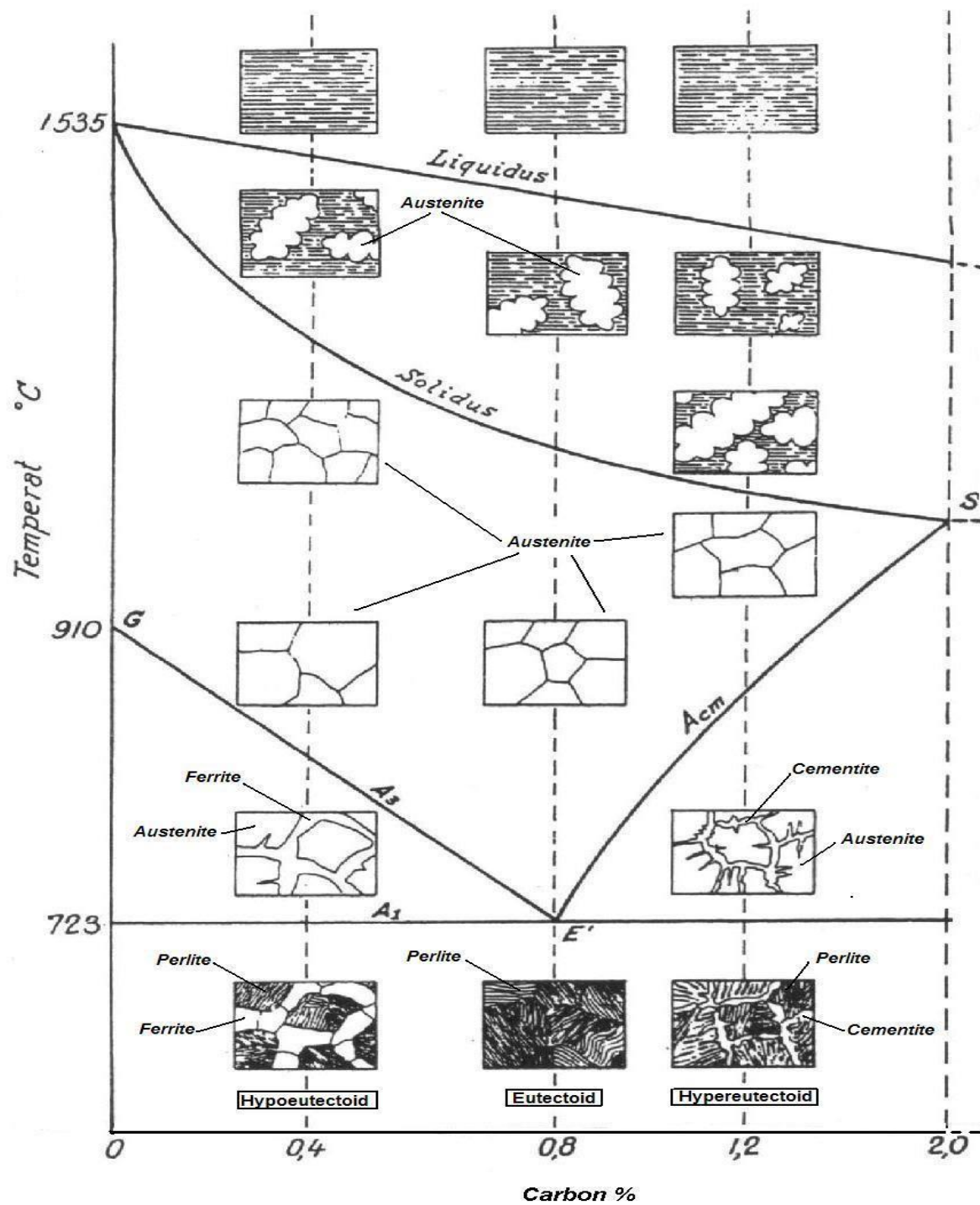


Figura 7.18

Aço eutectóide. Colônias de perlita. Algumas áreas que aparecem pouco definidas podem ter seu caráter lamelar mais facilmente observado girando o corpo-de-prova de 90°. Ataque: Nital.





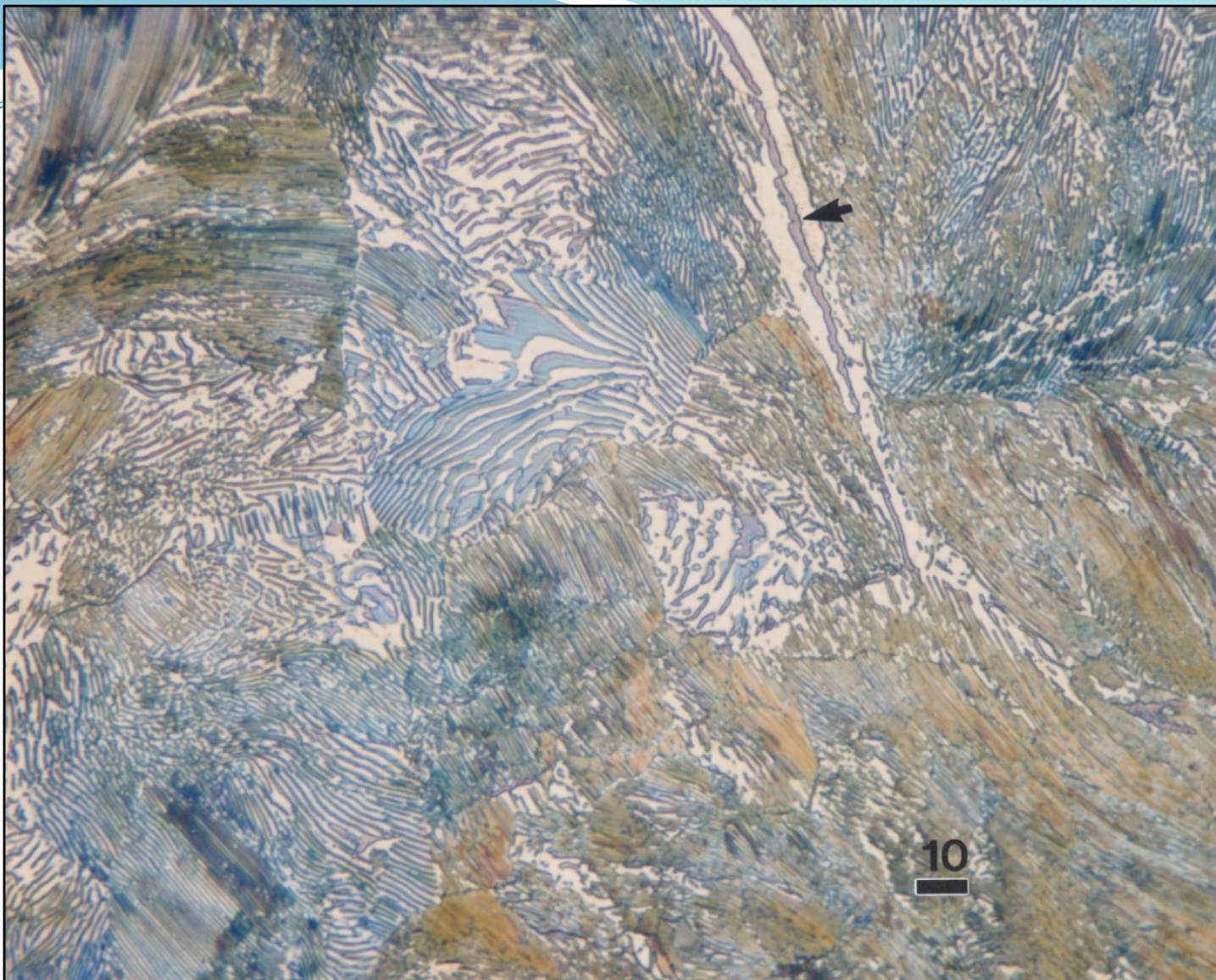
LIGAS HIPEREUTETÓIDES

A **cementita** formada **antes do eutetóide** é chamada **cementita proeutetóide** e a microestrutura das ligas hipereutetóides resultam em **perlita + cementita proeutetóide**

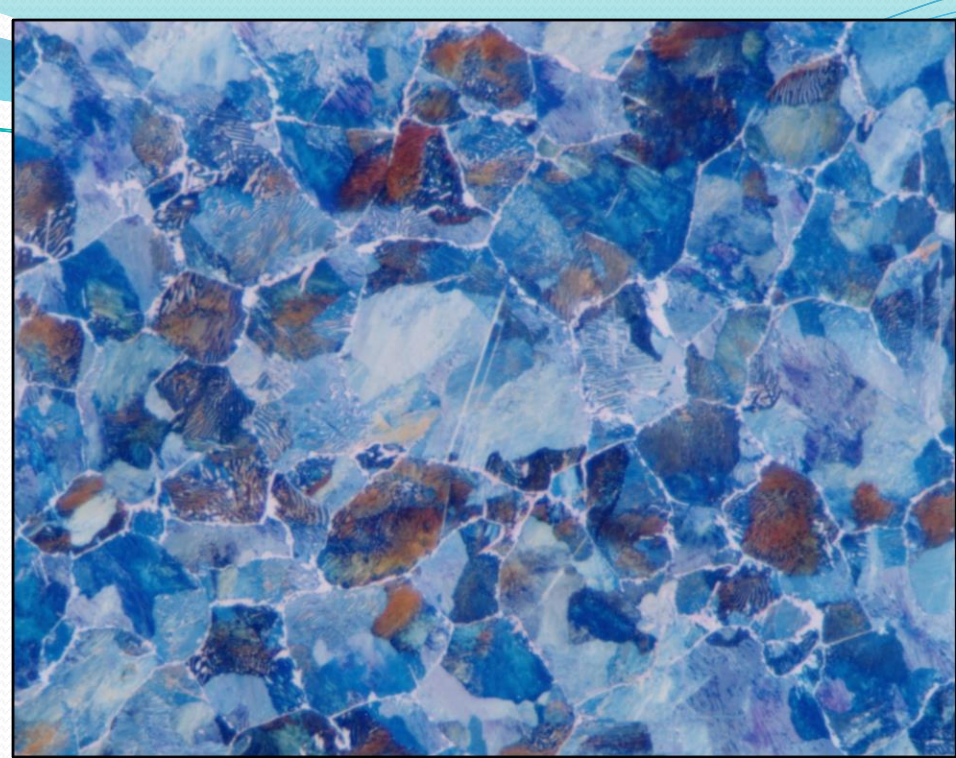
Na fotomicrografia de um aço hipereutetóide a cementita proeutetóide aparece **clara e nos contornos de grãos**.



Pearlite and G.B. Cementite in an hypereutectoid steel
cementite appears white



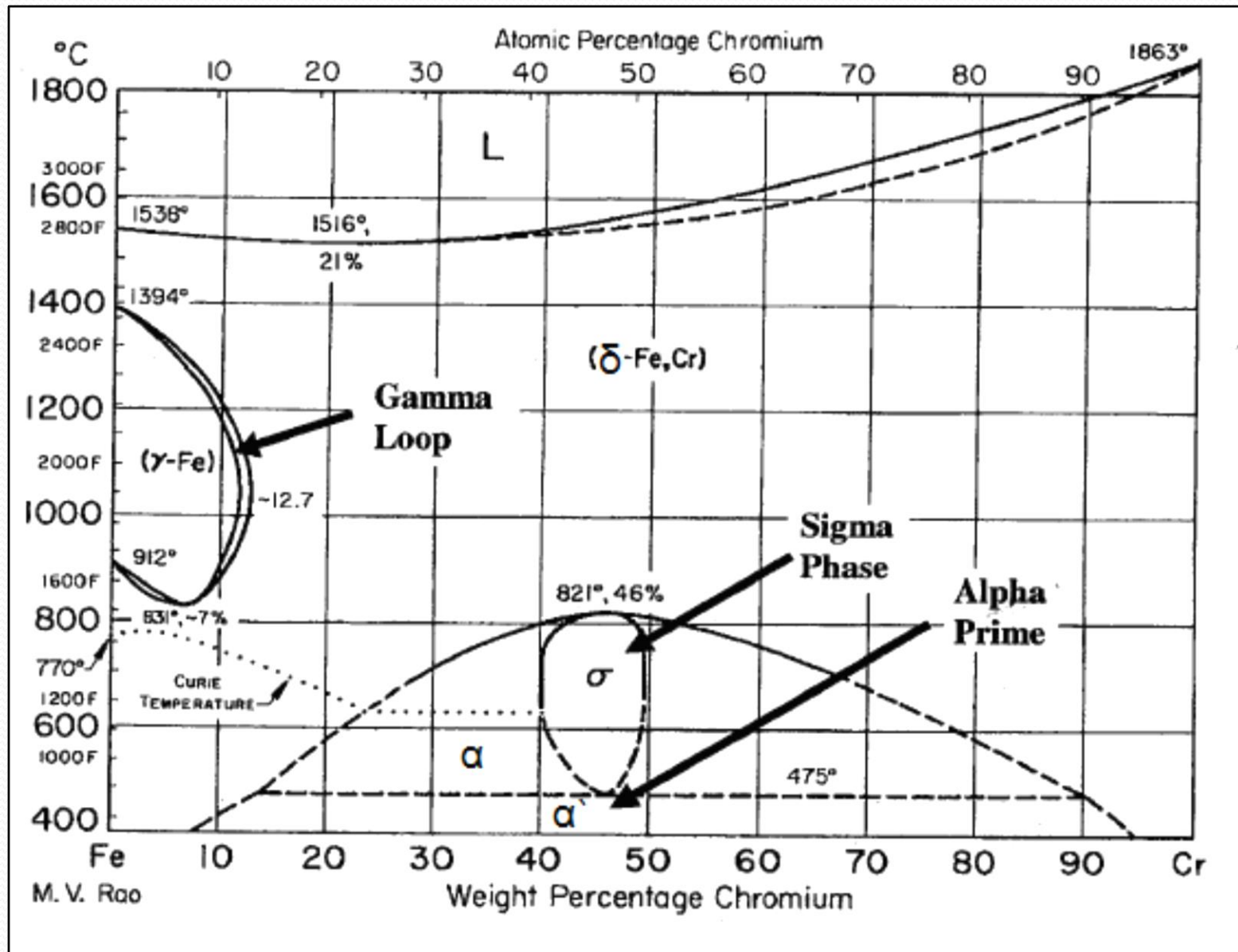
Microstructure of as-rolled Fe – 1% C binary alloy tint etched with Beraha's sodium molybdate reagent to color cementite. The arrow points of proeutectoid cementite that precipitated on a prior-austenite grain boundary before the eutectoid reaction (austenite forms ferrite and cementite in the form of lamellar pearlite). Magnification bar is 10 μm long.



Color etching of the as-rolled hypereutectoid Fe-1.31% C – 0.35% Mn – 0.25% Si specimen clearly revealed the intergranular cementite films. Beraha's sulfamic acid etch (100 mL water, 3 g $K_2S_2O_5$ and 2 g NH_2SO_3H) (left) and Klemm's I reagent (right) were used. Original magnifications were 500X. Taken with polarized light and sensitive tint.

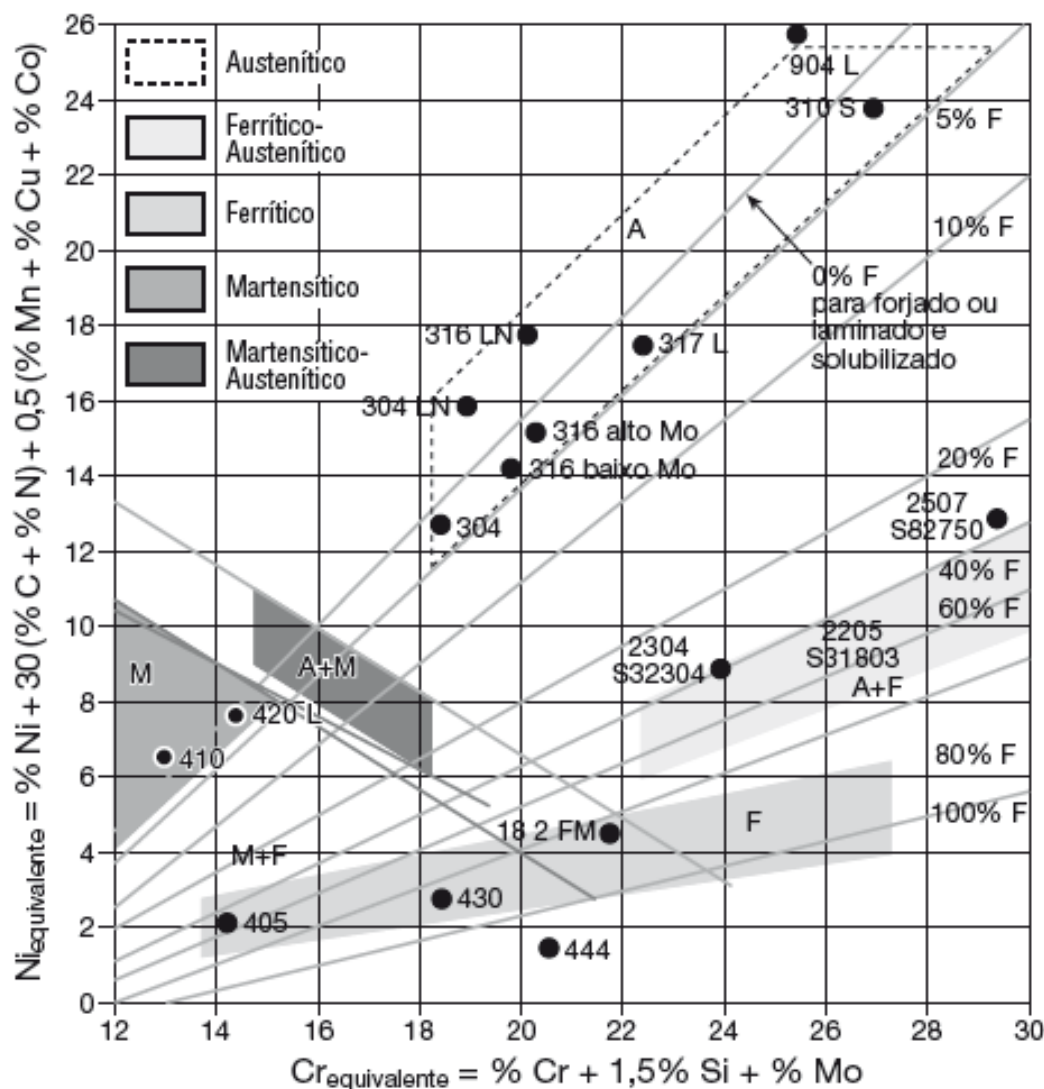
AÇOS INOXIDÁVEIS

(ADAPTADO: COLPAERT)



AÇOS INOXIDÁVEIS

(ADAPTADO: COLPAERT)



ÁÇOS INOXIDÁVEIS:

ALTO Cr > 12%

CARBONO ABAIXO DE 0,10%.

AUSTENÍTICOS: SÉRIE 300 – Cr (16- 30%) E Ni (8-35%) EX: 316, 304.

MARTENSÍTICOS: SÉRIE 400- Cr(11-18%) EX: 410, 420.

DUPLEX: Cr(18-27%), Ni(4-7%) E Mo(1-4%). EX: 2205.

MARTENSÍTICOS

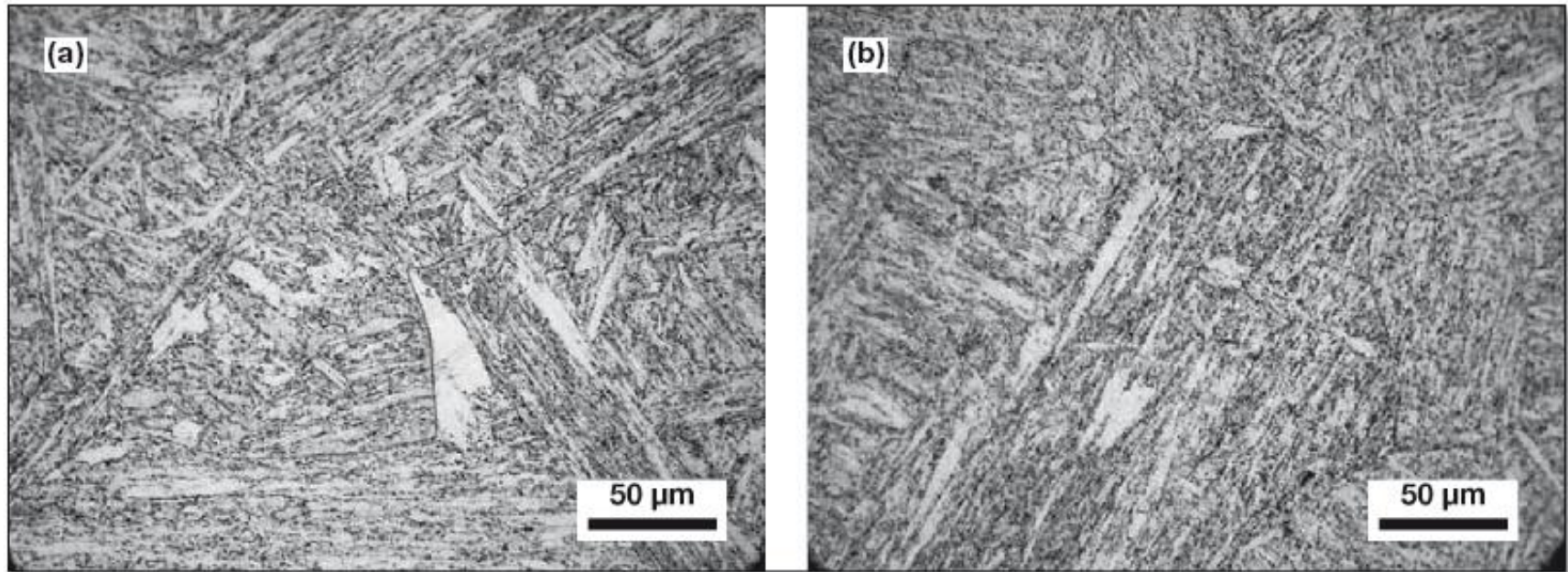


Figura 16.2(a)

Aço inoxidável martensítico AISI 410 temperado e revenido. (a) e (b) Martensita revenida. Ataque: Kalling. Cortesia A. Zeemann, Tecmetal, Rio de Janeiro, Brasil.

(ADAPTADO: COLPAERT)

AUSTENÍTICOS

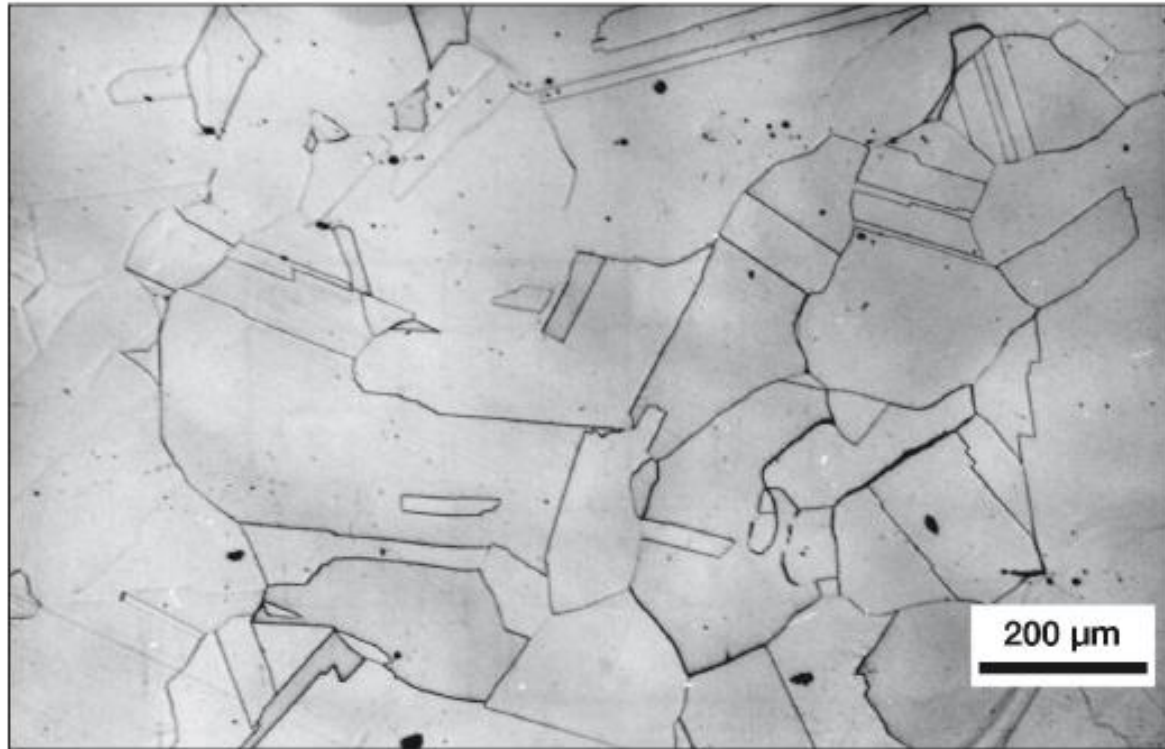


Figura 16.12

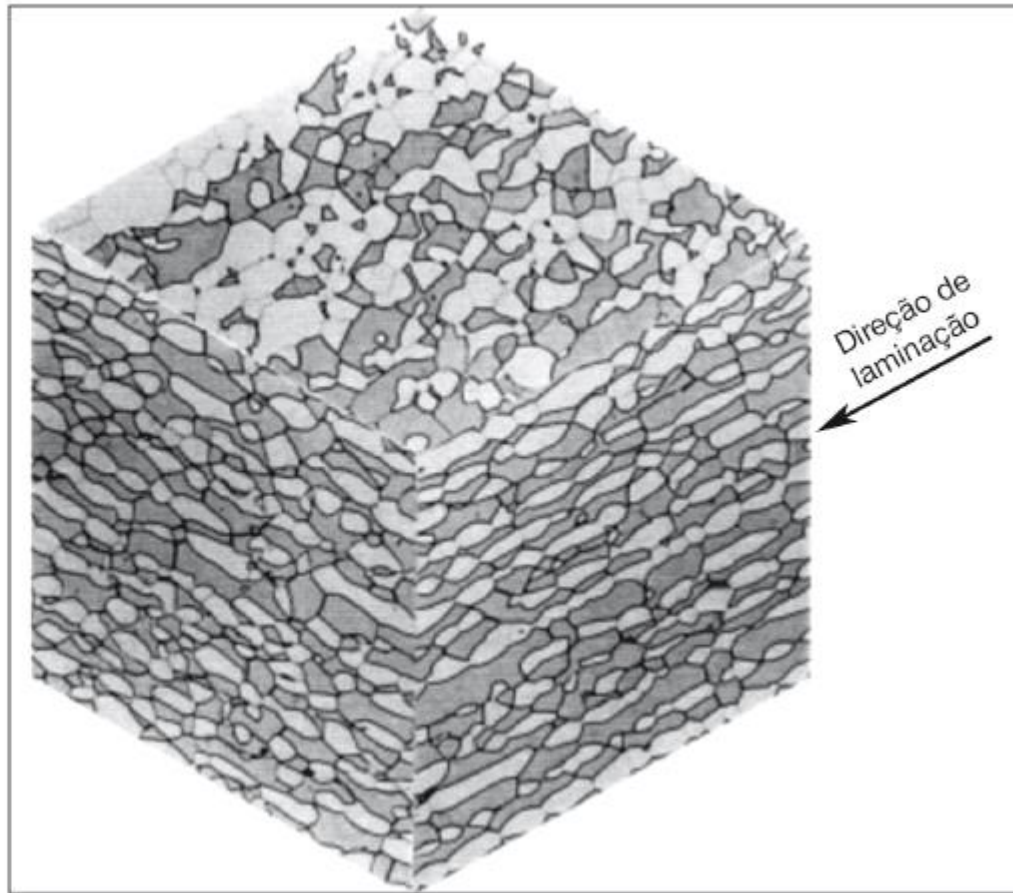
Aço austenítico W.Nr. 1.4439 forjado e solubilizado. Austenita, tamanho de grão austenítico ASTM 2-4.

(ADAPTADO: COLPAERT)

DUPLEX

Figura 16.28

Microestrutura de chapa do aço inoxidável dúplex UNS S31803 laminada e solubilizada a 1050 °C por 30 minutos. Ferrita (escura) e ilhas de austenita (clara). A conformação se dá no campo bifásico. Ataque eletrolítico com solução 30% (vol) HNO_3 . Cortesia A Ramirez, LNLS, Campinas, SP, Brasil [23].



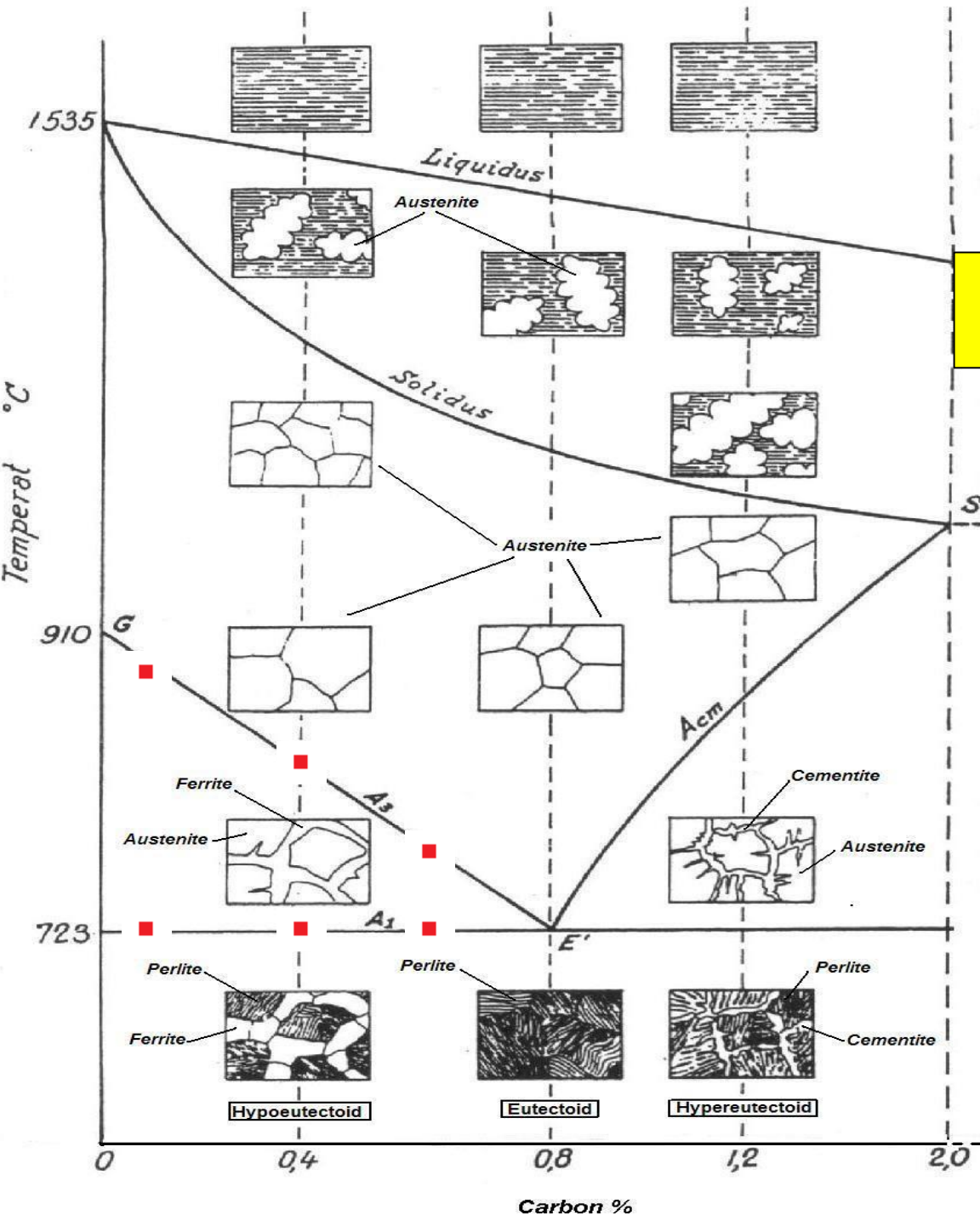
(ADAPTADO: COLPAERT)

TRATAMENTO TÉRMICOS DOS AÇOS

NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO

TRATAMENTO TÉRMICOS

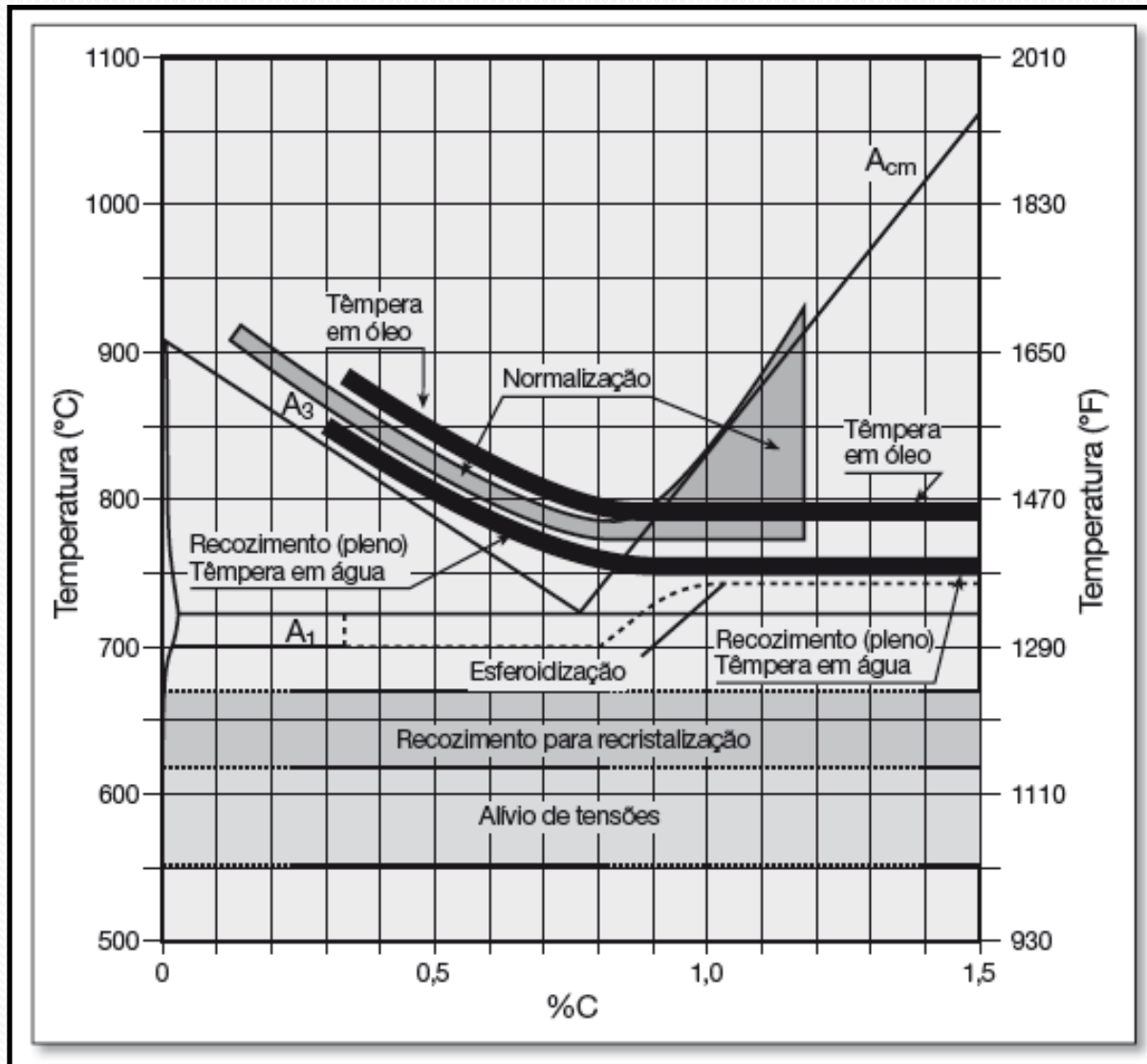
- **ALTERAM A MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES;**
- **ADEQUAÇÃO AOS PROJETOS;**
- **FACILITAR OU VIABILIZAR PROCESSOS DE FABRICAÇÃO;**



ZONA CRÍTICA

Tratamentos abaixo de A1 – subcríticos e entre A1 e A3 – intercríticos (não convencionais). Acima de A3 zona crítica

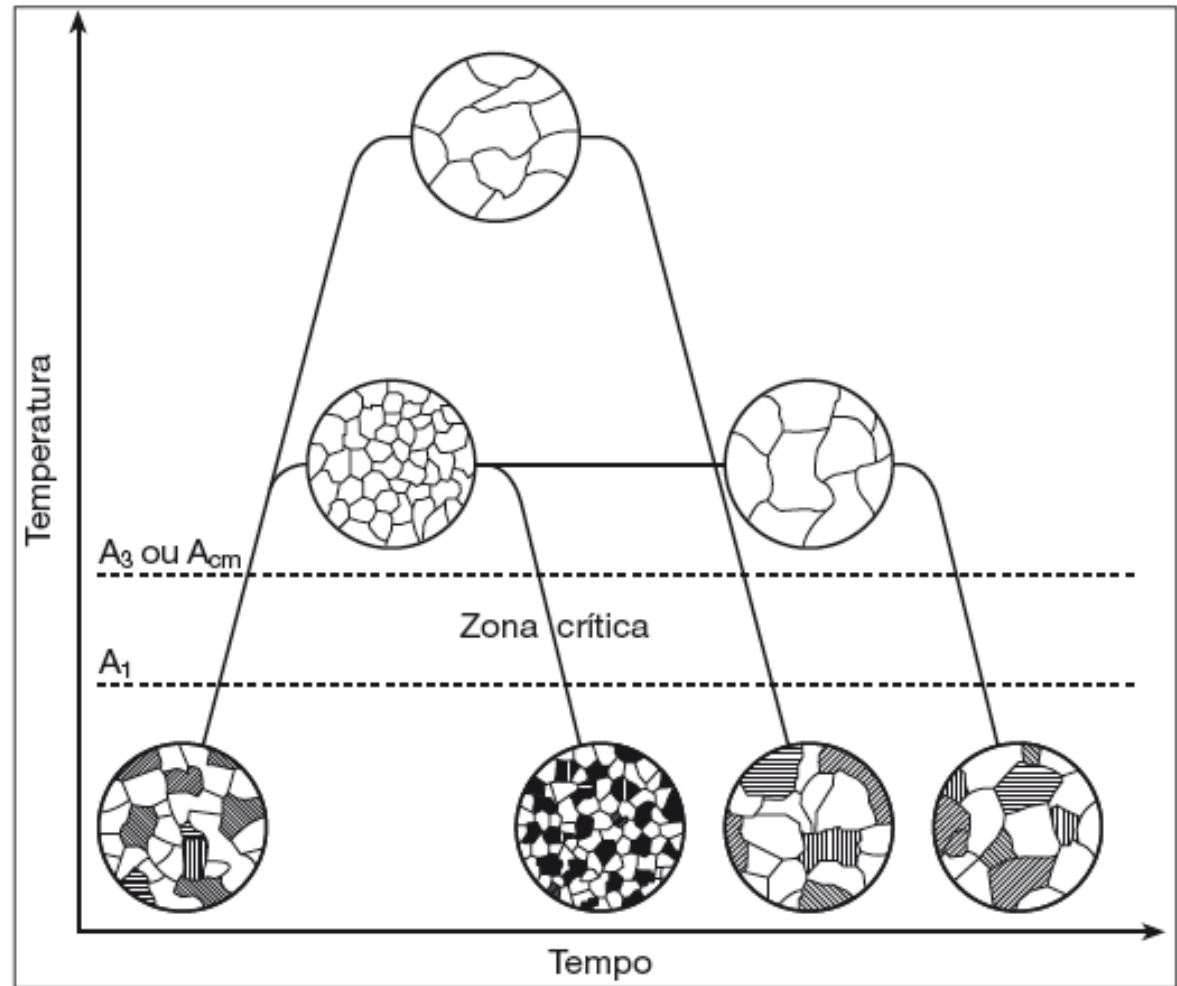
TEMPERATURAS DE AUSTENITIZAÇÃO



EFEITO DO TEMPO E TEMPERATURA DE AUSTENITIZAÇÃO NO TAMANHO DE GRÃO

Figura 9.49

Representação esquemática do efeito do tempo e da temperatura de austenitização sobre o tamanho de grão austenítico e o efeito sobre a microestrutura resultante (resfriamento ao ar). O esquema assume austenita homogênea, tanto em tamanho de grão como em composição química.

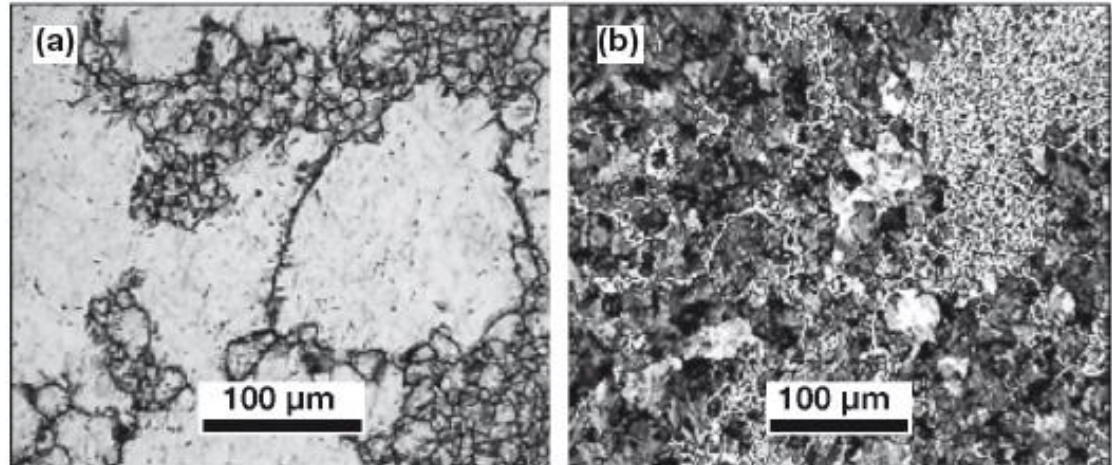


TEMPO DE “ENCHARQUE”: 1 HORA POR POLEGADA, ATÉ 2” E MAIS 15 MINUTOS A CADA POLEGADA EXCEDENTE;

PARA CHAPAS: 1,5 MINUTOS POR mm DE ESPESSURA.

Figura 9.56

Aço com a composição indicada na Figura 9.55 austenitizado a 900 °C por 200 min (a) grão austenítico heterogêneo revelado por ataque à base de ácido pícrico⁽²³⁾, (b) resfriado ao ar, com microestrutura composta de ferrita e perlita de tamanho e distribuição heterogêneos.



TEMPO DE “ENCHARQUE” EXCESSIVO PREJUDICA A ESTRUTURA PARA O PROCESSO SUBSEQUENTE.

REVELAÇÃO DE TAMANHO DE GRÃO AUSTENÍTICO

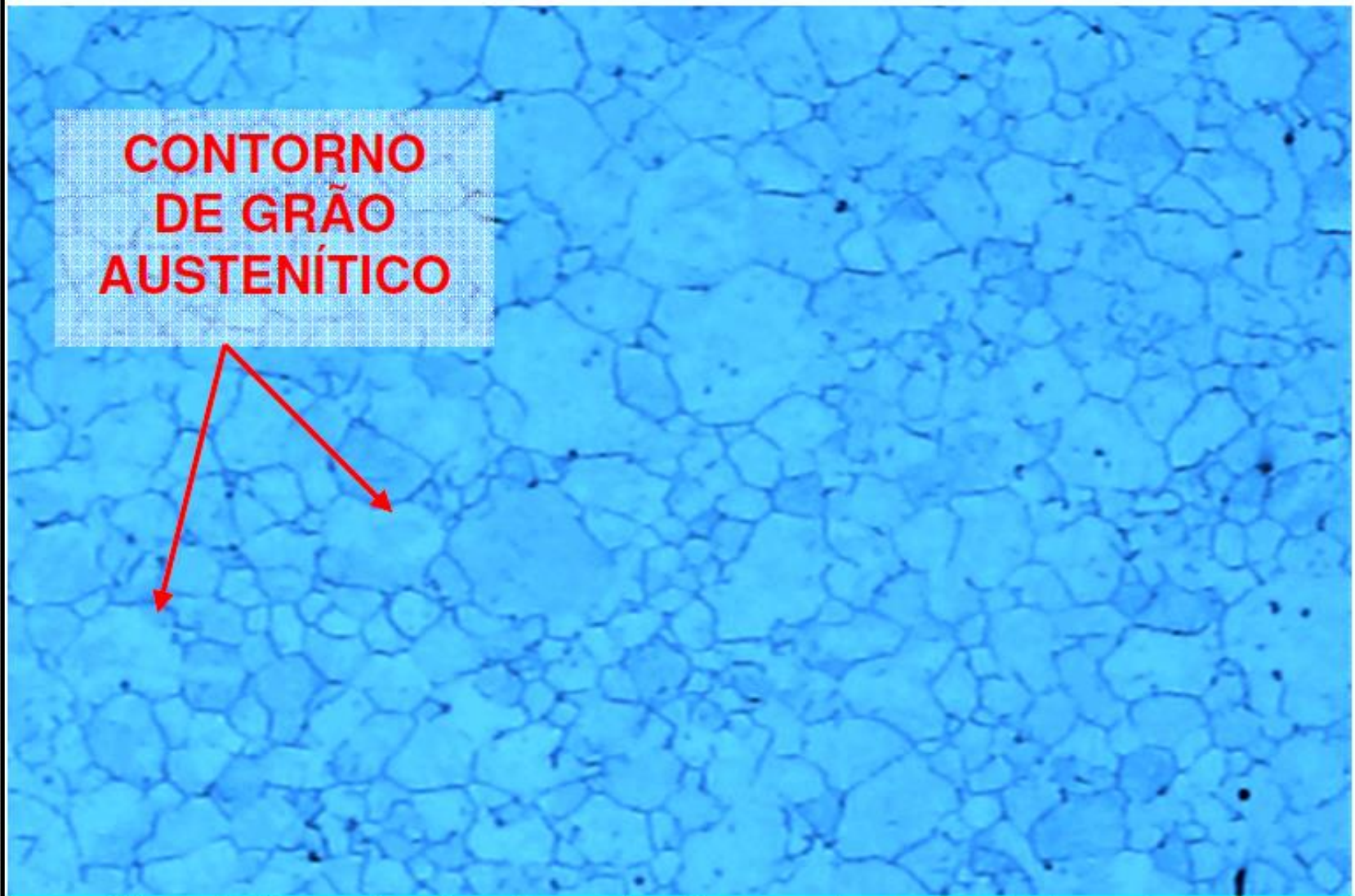


Figura3- Tamanho de grão austenítico com tamanhos heterogêneos.
.Aumento: 100X. Ataque: Picral 2%.

NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO PLENO

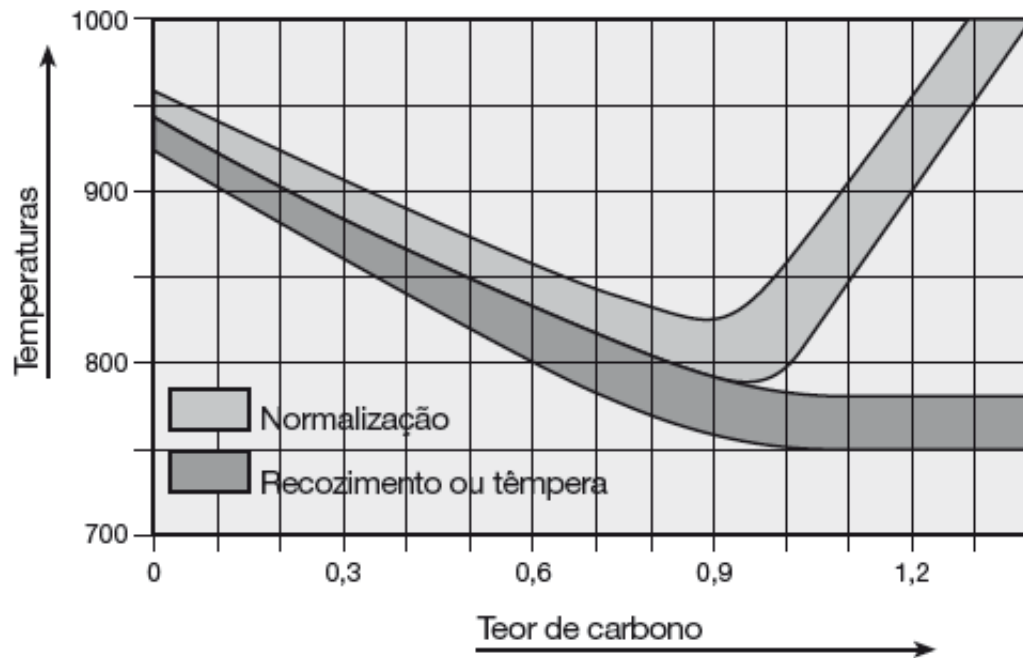


Figura 10.1

Temperaturas recomendadas, para aços carbono, para a austenitização para recozimento (pleno), normalização e têmpera. Para aços ligados, as temperaturas podem ser diferentes, em função das alterações das temperaturas de equilíbrio de fases (ver [2]).

NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO PLENO

NORMALIZAÇÃO: REFINO DA ESTRUTURA

RECOZIMENTO PLENO:

- **RESTITUIR AS PROPRIEDADES ALTERADAS POR CONFORMAÇÃO E/OU TRATAMENTOS TÉRMICOS ANTERIORES: REDUÇÃO DE DUREZA E RESISTÊNCIA MECÂNICA;**
- **ANULAR CAMPOS MAGNÉTICOS E ELÉTRICOS (DESORIENTAÇÃO DOS DIPOLOS);**
- **HOMOGENEIZAÇÃO E REFINO DE ESTRUTURAS BRUTAS DE FUSÃO.**

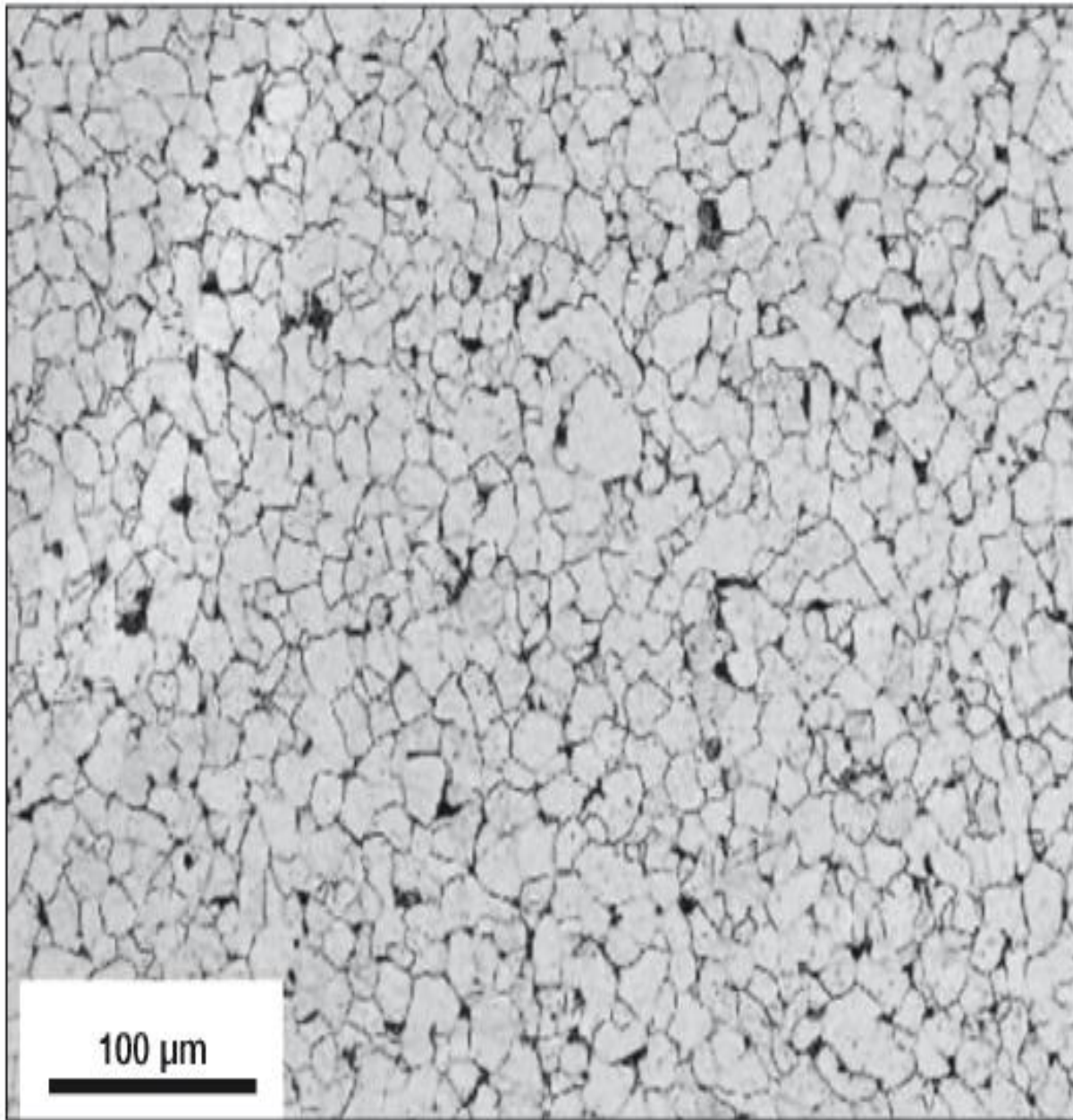


Figura 7.23

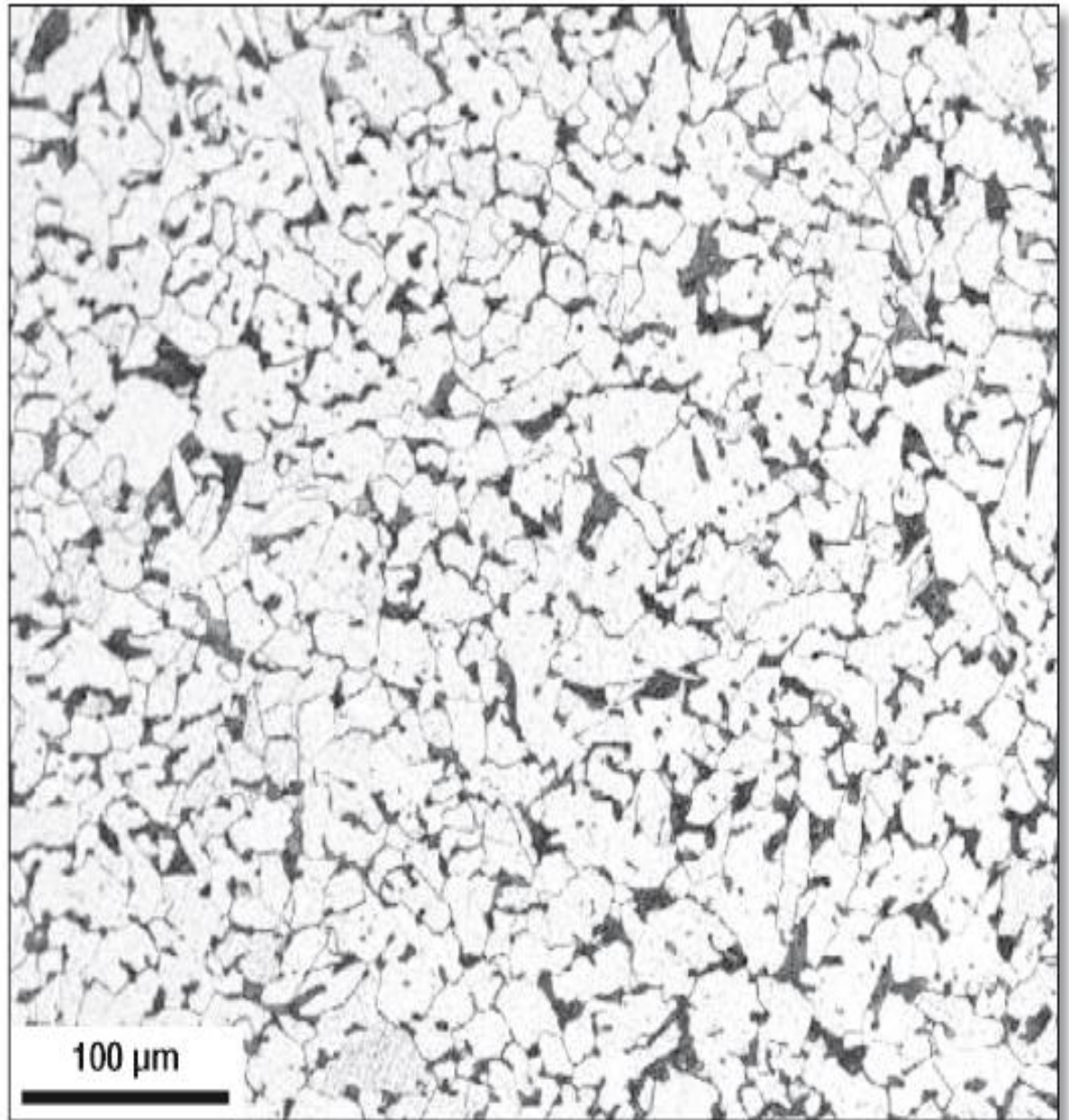
Seção transversal de fio-máquina de aço AISI 1005 normalizado. Ferrita e perlita (fração volumétrica $\approx 5\%$). Tamanho de grão ferrítico ASTM 9. Ataque: Nital 2%. Cortesia ArcelorMittal Aços Longos, Juiz de Fora, MG, Brasil.

(Colpaert)

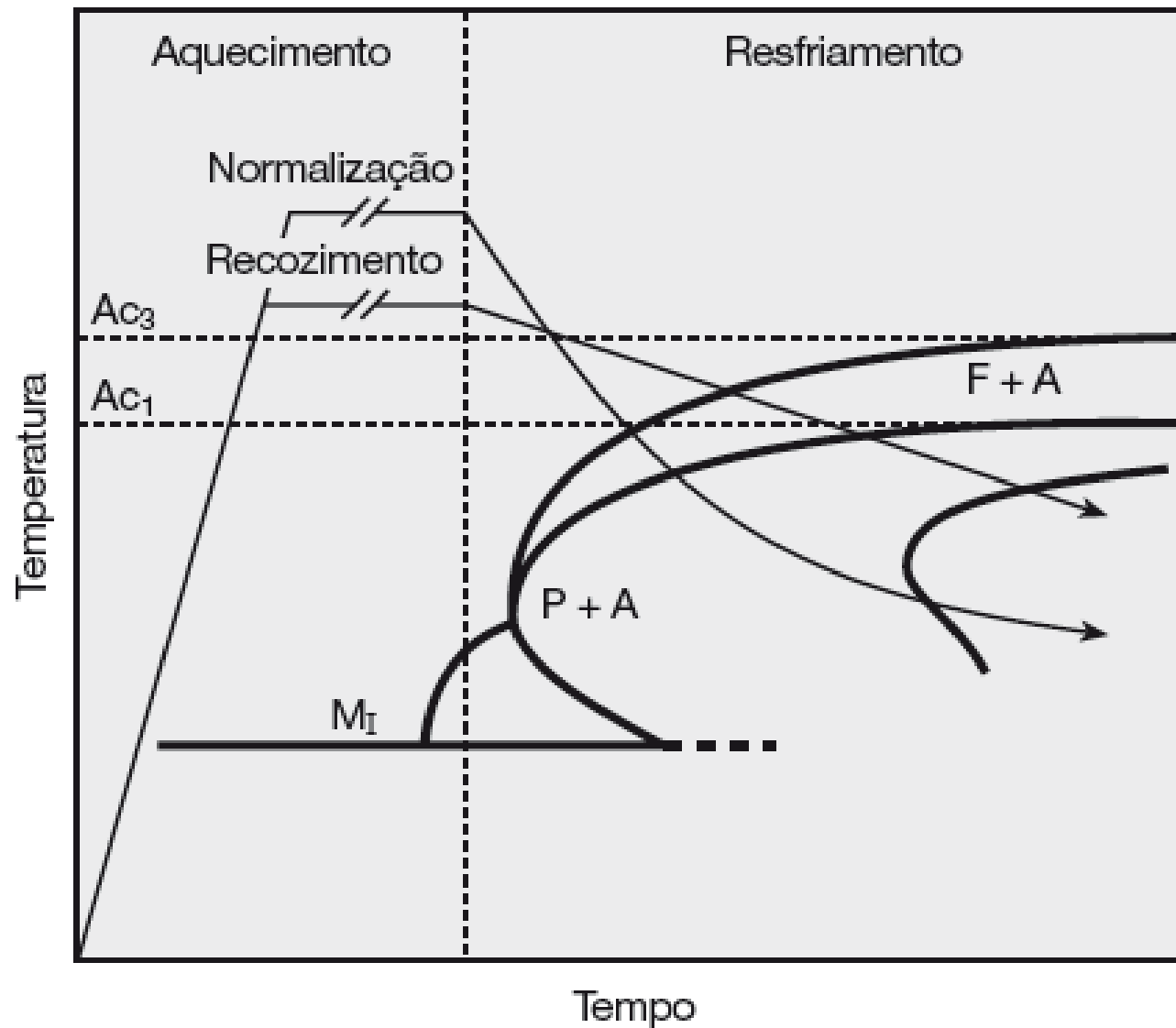
Figura 7.25

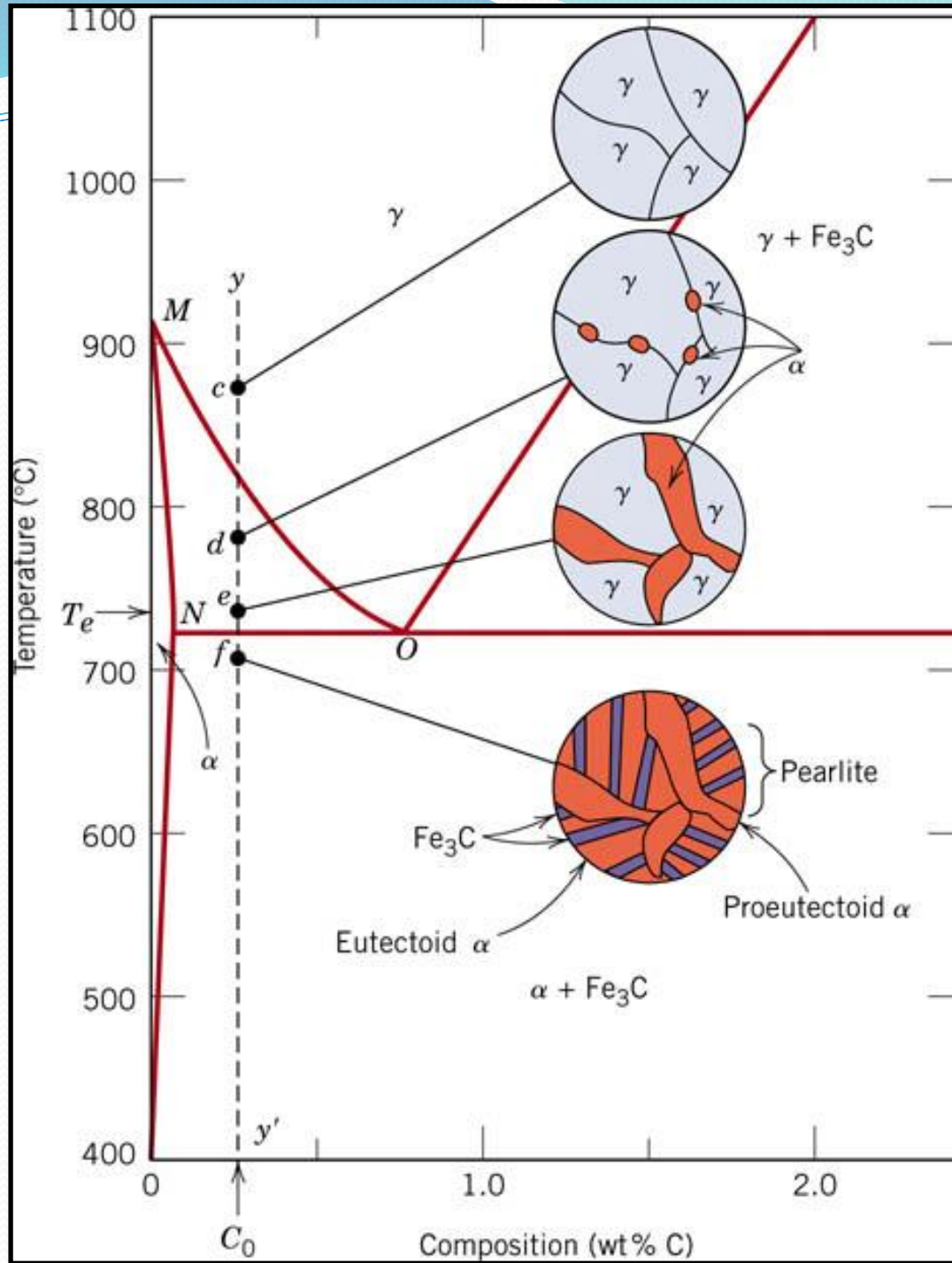
Seção transversal de fio-máquina de aço AISI 1010 normalizado. Ferrita e perlita (fração volumétrica $\approx 10\%$). Tamanho de grão ferrítico ASTM 8-9. Ataque: Nital 2%. Cortesia ArcelorMittal Aços Longos, Juiz de Fora, MG, Brasil.

(Colpaert)

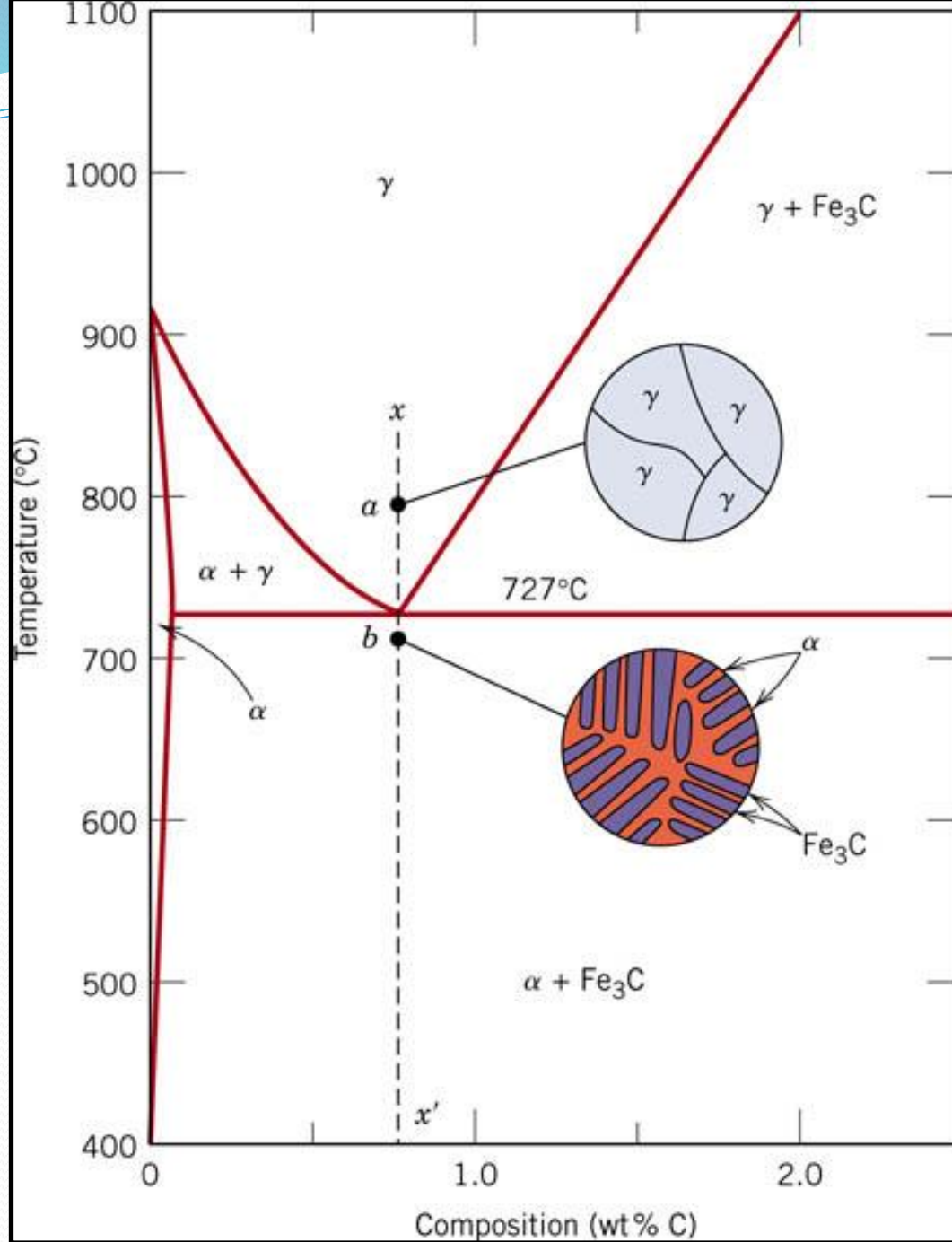


NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO PLENO



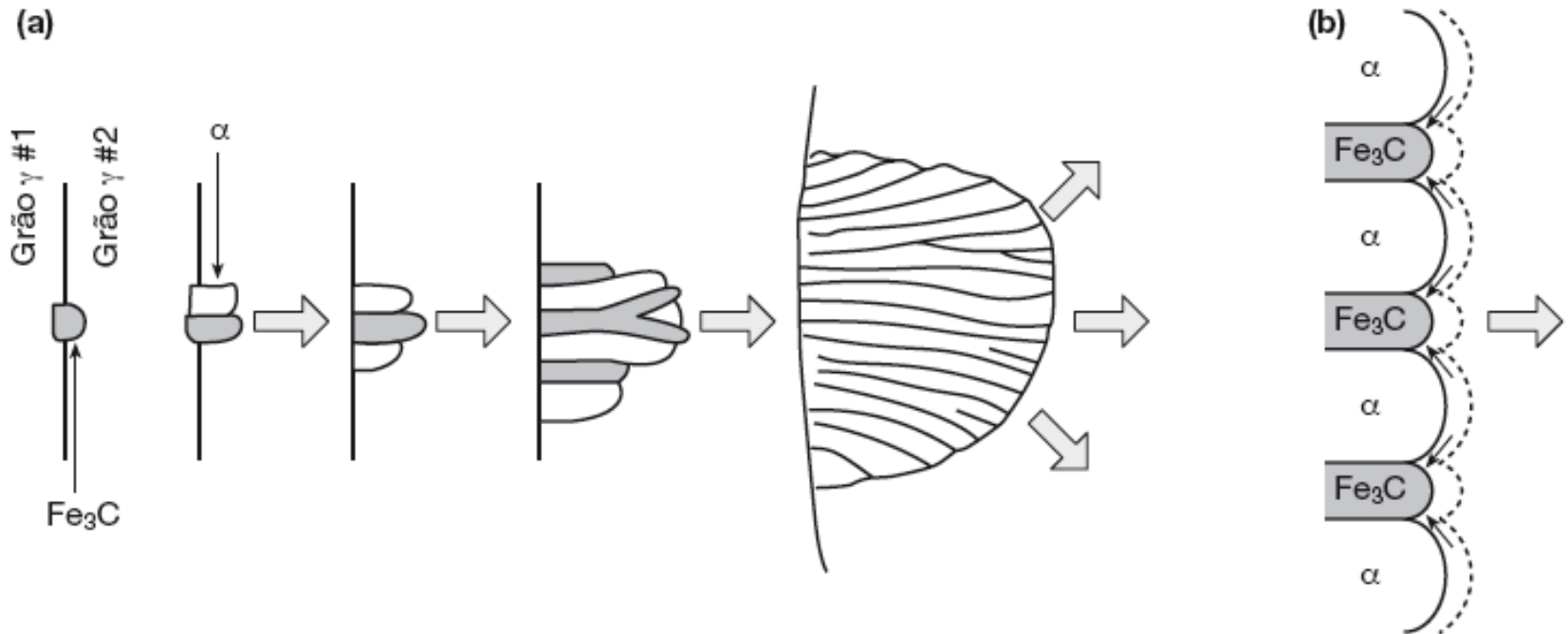


(Callister)



(Callister)

(Colpaert)



Crescimento cooperativo: austenita redistribui o soluto formando a cementita, fica empobrecida e nucleia a ferrita. Neste tempo, o teor de C vai aumentando na austenita restante para nuclear novamente a cementita: nucleação simpatética.

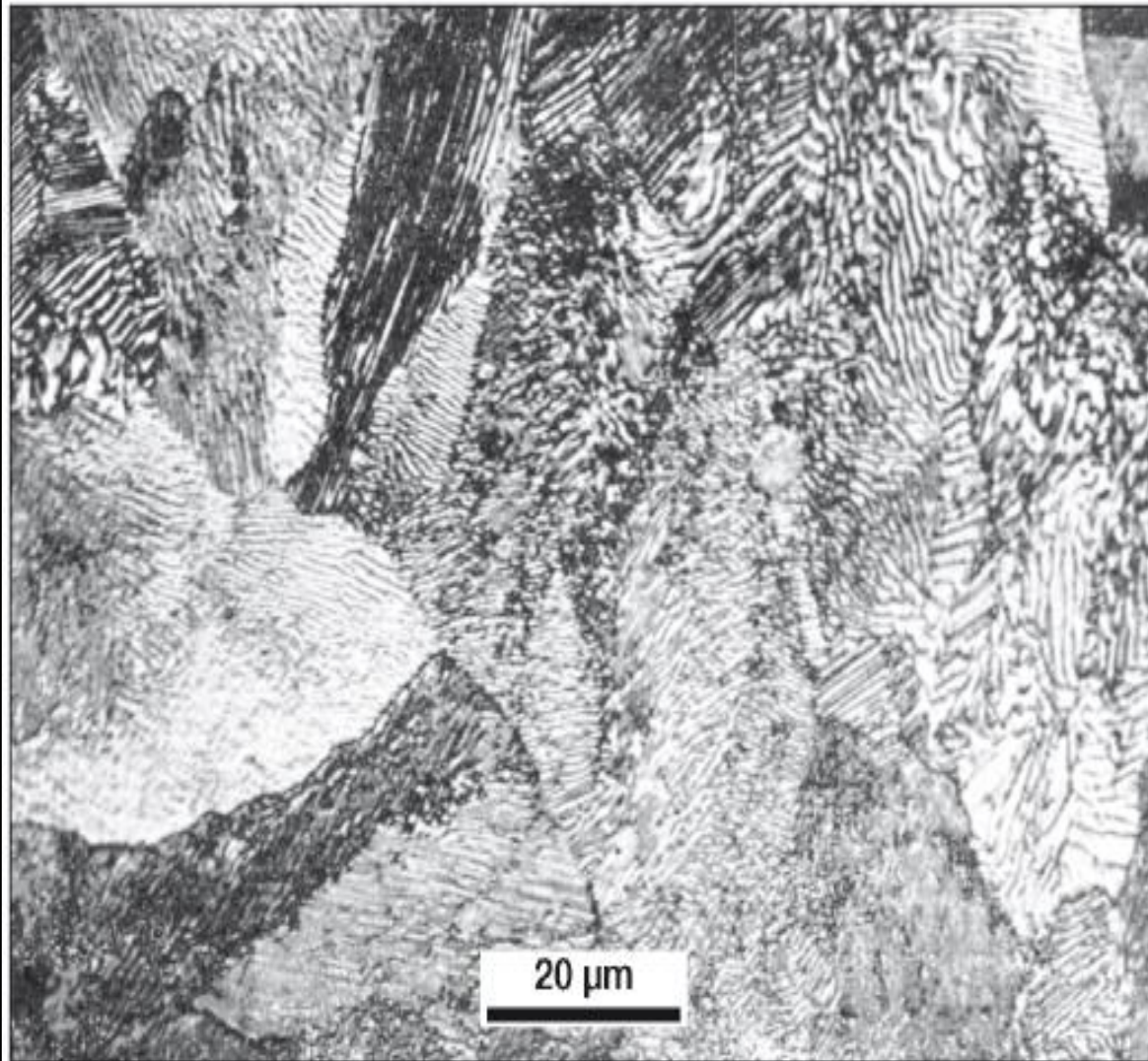


Figura 7.18

Aço eutectóide. Colônias de perlita. Algumas áreas que aparecem pouco definidas podem ter seu caráter lamelar mais facilmente observado girando o corpo-de-prova de 90°. Ataque: Nital.

AÇO 1045 NORMALIZADO

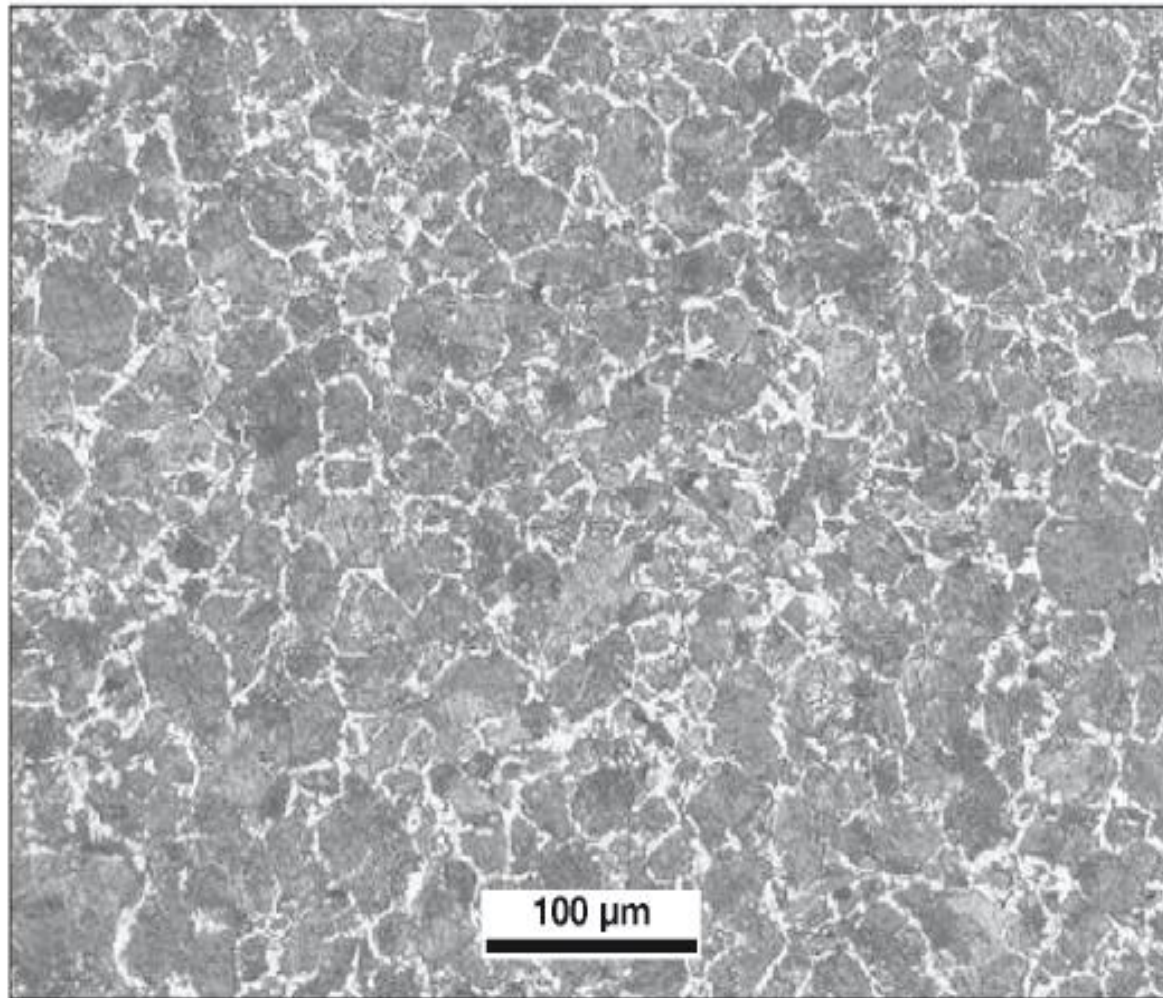
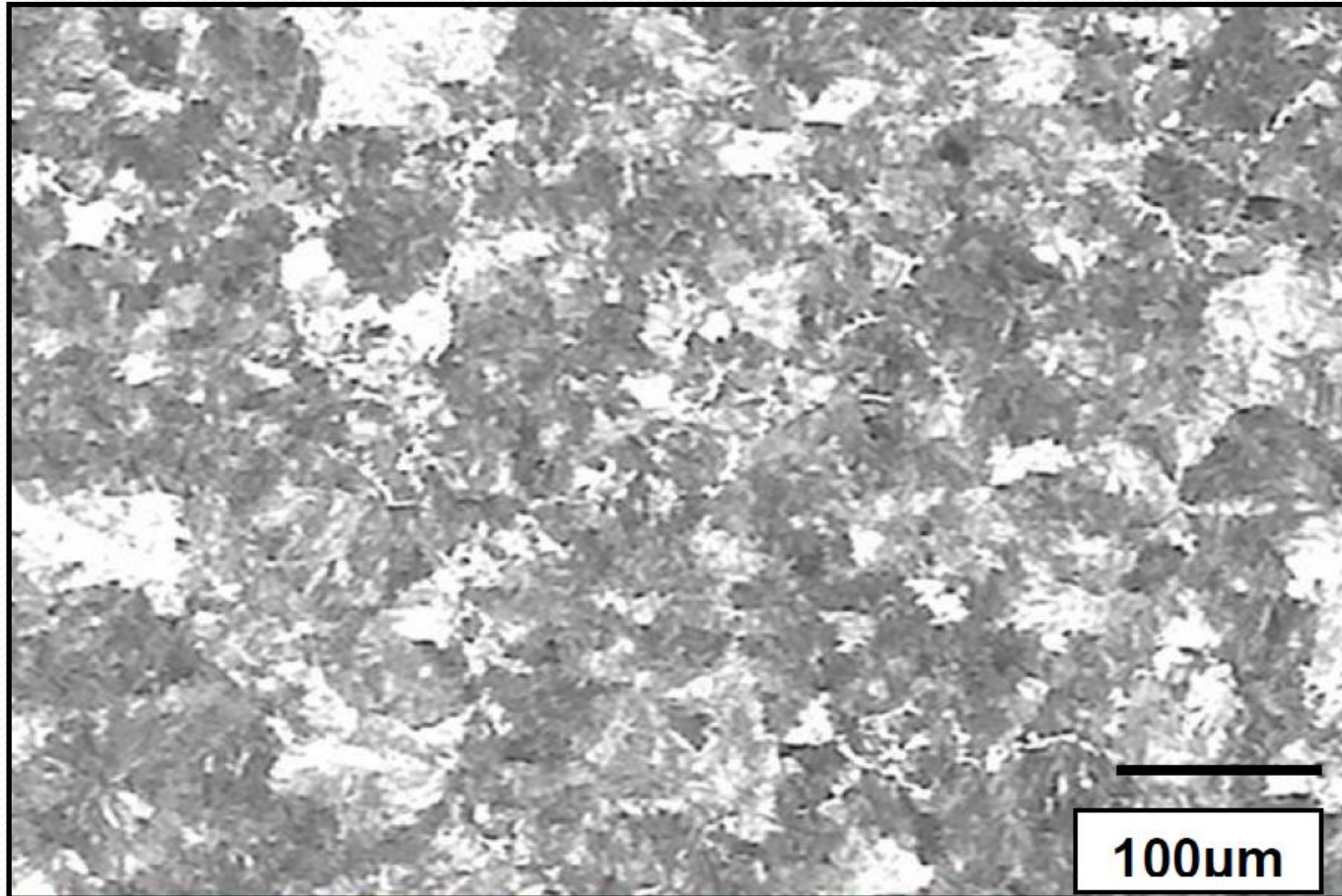


Figura 10.15

Fio-máquina de aço AISI 1045, normalizado. Ferrita pró-eutectóide e perlita. Ataque: Nital 2%. Cortesia ArcelorMittal Aços Longos, Juiz de Fora, MG, Brasil.

RECOZIMENTO PLENO

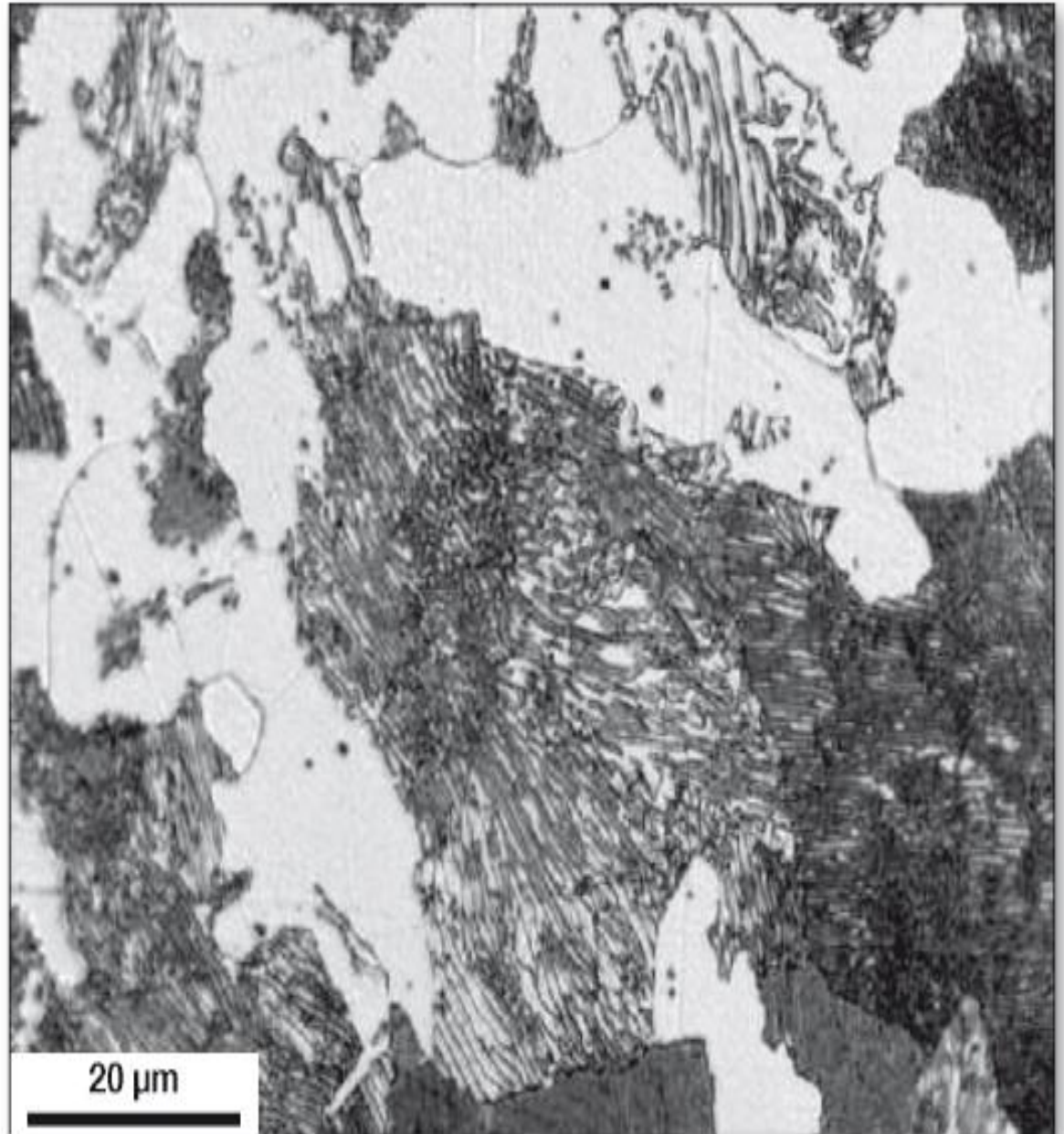


**AÇO SAE 4140
RECOZIDO:
FERRITA PRÓ-
EUTETÓIDE,
FERRITA
POLIGONAL,
PERLITA, TG 5
ASTM E 112**

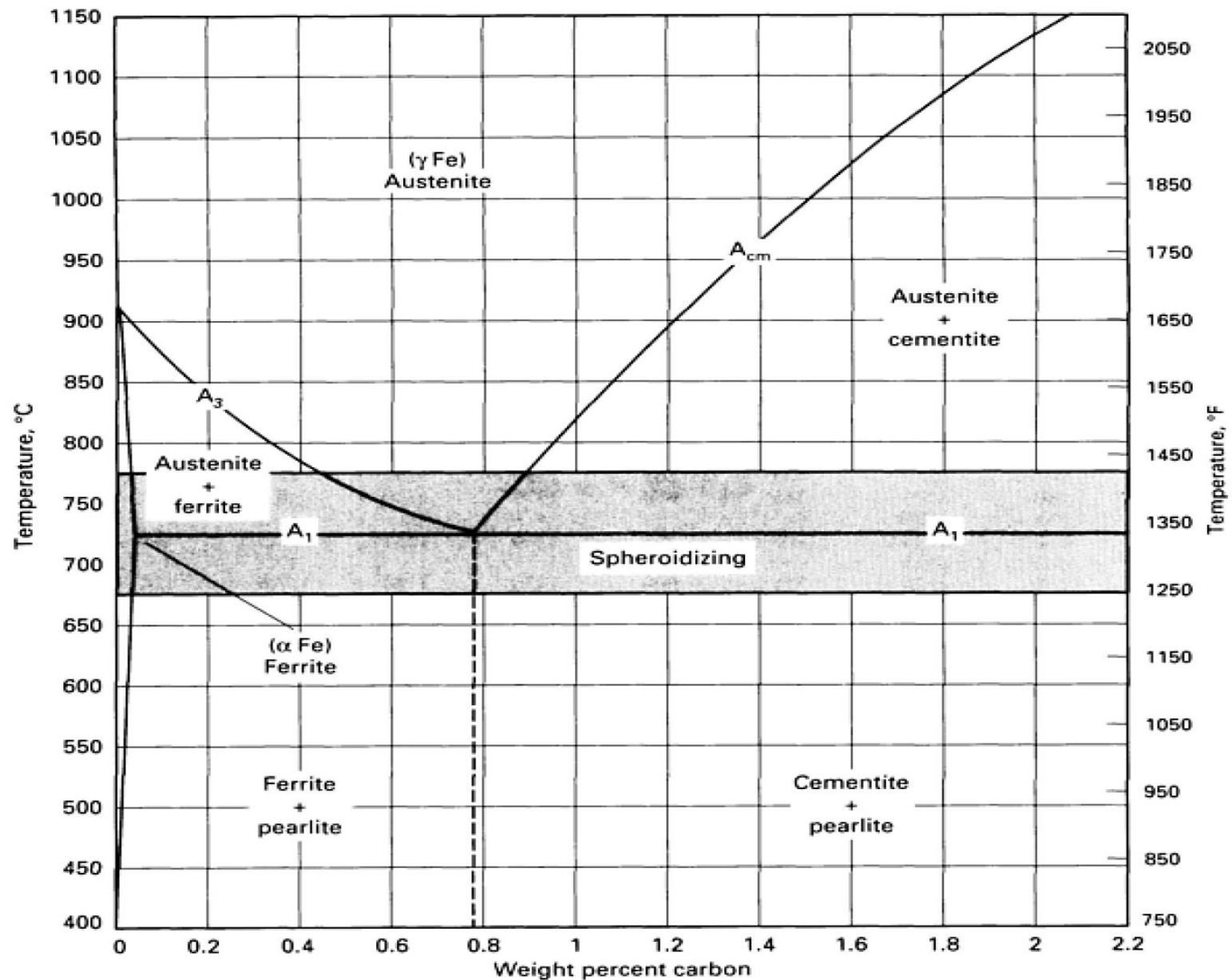
Figura 7.28

Seção transversal de fio-máquina de aço AISI 1045 recozido. Ferrita e perlita. Ataque: Nital 2%. Cortesia ArcelorMittal Aços Longos, Juiz de Fora, MG, Brasil.

(Colpaert)



ESFEROIDIZAÇÃO





ESFEROIDIZAÇÃO

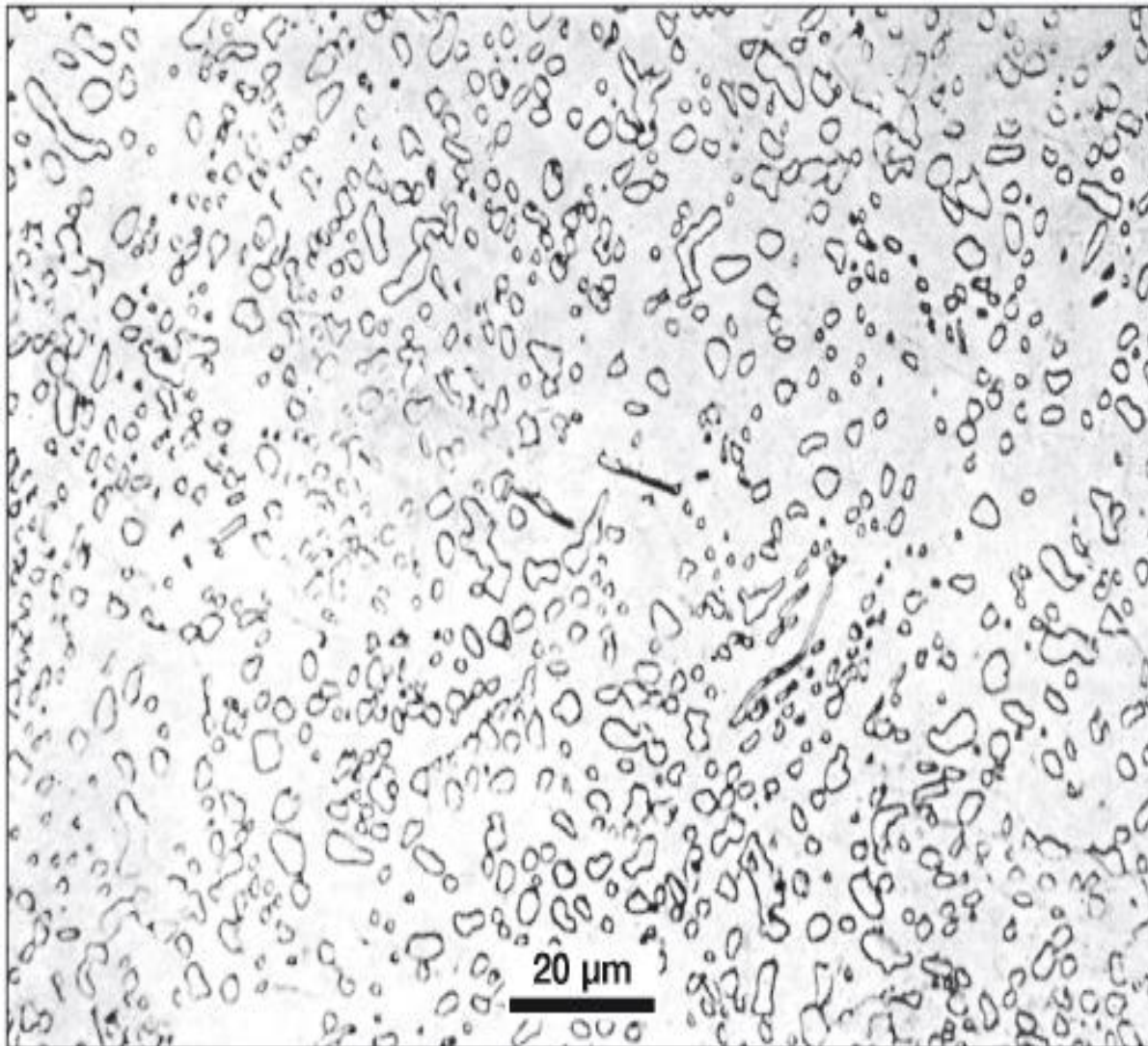


Figura 10.3

Aço hipereutectóide submetido a recozimento de esferoidização. Glóbulos de cementita (coalescida ou esferoidizada) em matriz ferrítica. Ataque: Nital.

ALÍVIO DE TENSÕES

- RECOZIMENTO PARA ALÍVIO DE TENSÕES OU RECOZIMENTO SUBCRÍTICO: RECUPERAÇÃO E/OU RECRISTALIZAÇÃO;
- REDUZ A DUREZA E AUMENTA A DUTILIDADE;
- RECUPERAÇÃO NÃO É VISUALIZADA EM MICROSCOPIA ÓPTICA.

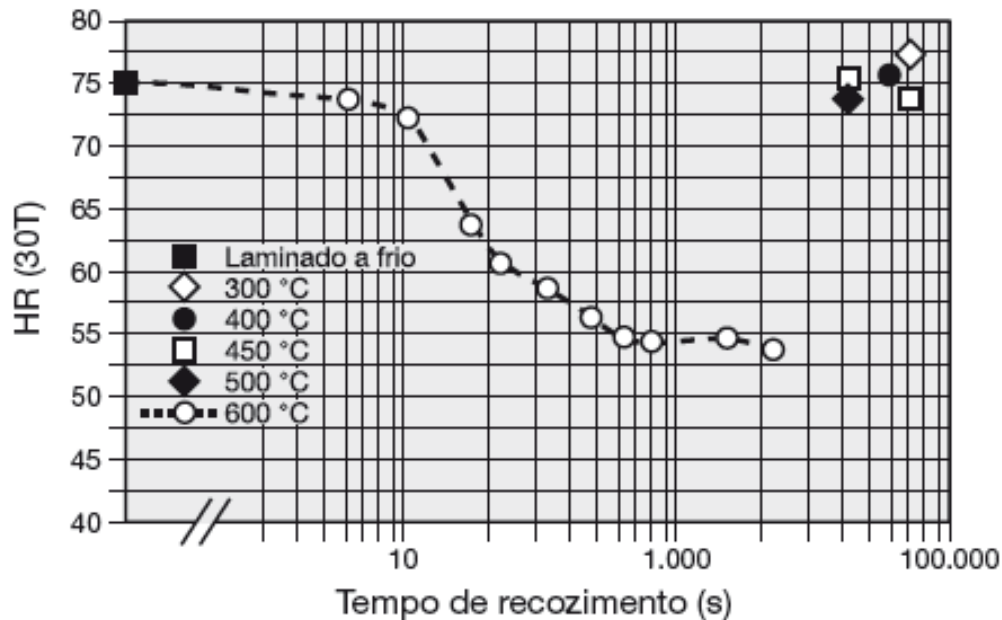
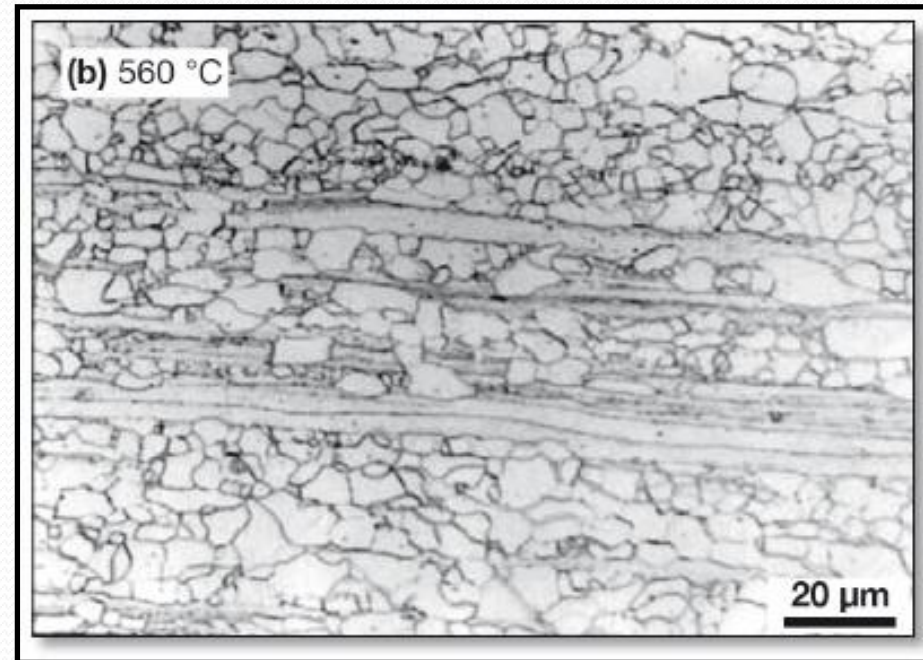
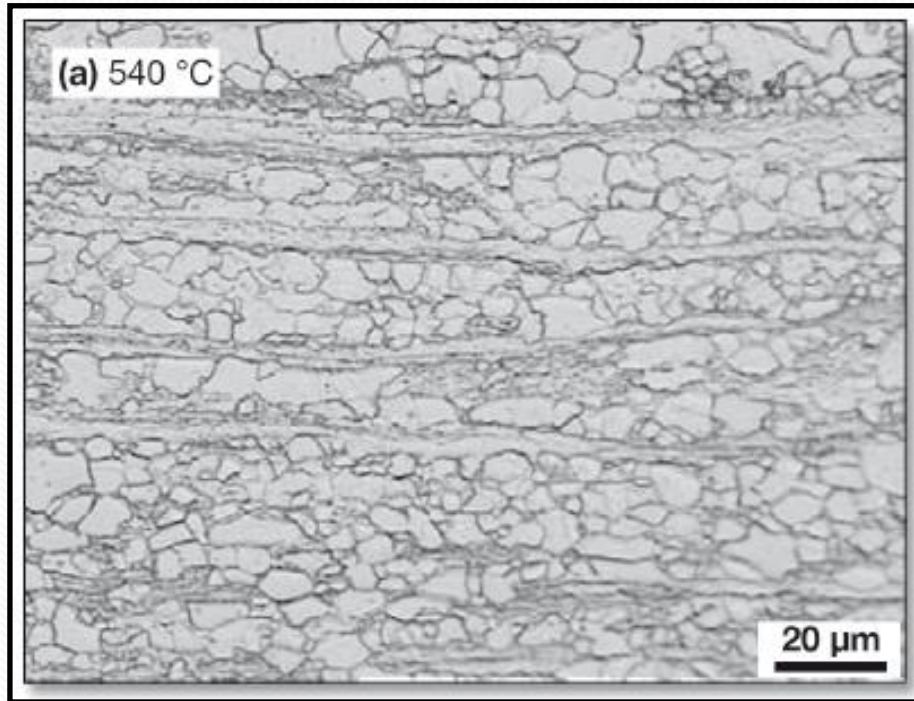


Figura 12.15

Efeito do tempo e temperatura de recozimento sobre a dureza de um aço de baixo carbono ($C = 0,03\%$, $Mn = 0,19\%$, $Al = 0,13\%$) submetido à redução de 84%, por laminação a frio. Para temperaturas inferiores a $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ a dureza é praticamente insensível às alterações de estrutura, para um tempo longo de tratamento (aproximadamente 13,6 h). Adaptado de [8].

ALÍVIO DE TENSÕES



AÇO LAMINADO, COM ALÍVIO DE TENSÕES

FIM