

SMM0193 – ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS I

Prof. Dr. José Benedito Marcomini



DIAGRAMA Fe-Fe₃C

TRATAMENTOS TÉRMICOS

FABRICAÇÃO DO AÇO E SUA CLASSIFICAÇÃO

ALTO-FORNO





COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FERRO GUSA:

CARBONO: 3,5 - 4,5%

SILÍCIO: 0,3 - 2,0%

ENXÔFRE: 0,01 - 0,1%

FÓSFORO: 0,05 - 2 %

MANGANÊS: 0,5 - 2%



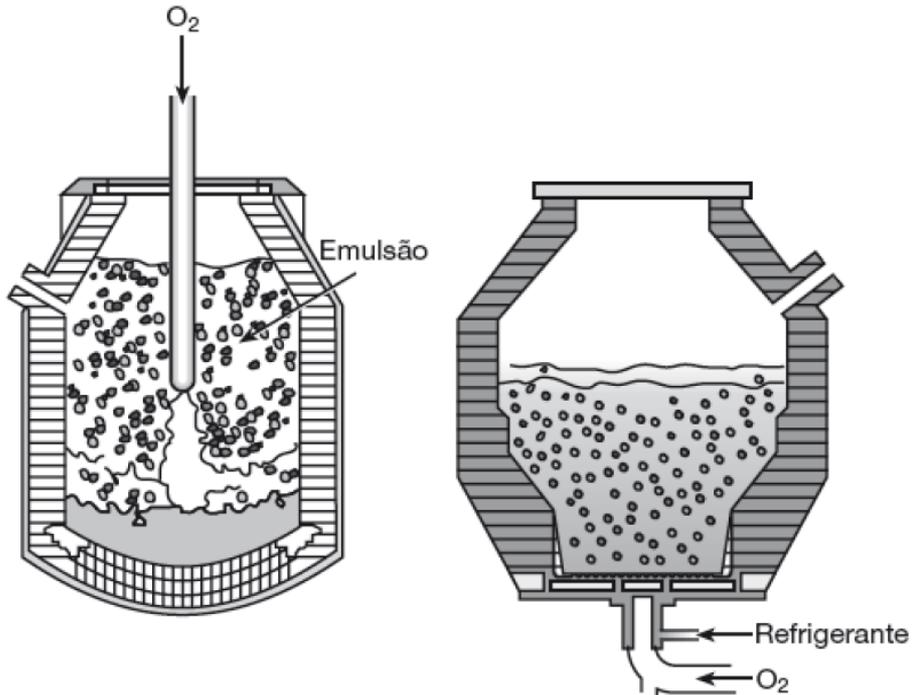
**SAÍDA DO
FERRO GUSA
DO ALTO
FORNO PARA
O CARRO
TORPEDO.**

CONVERSÃO DO GUSA EM AÇO

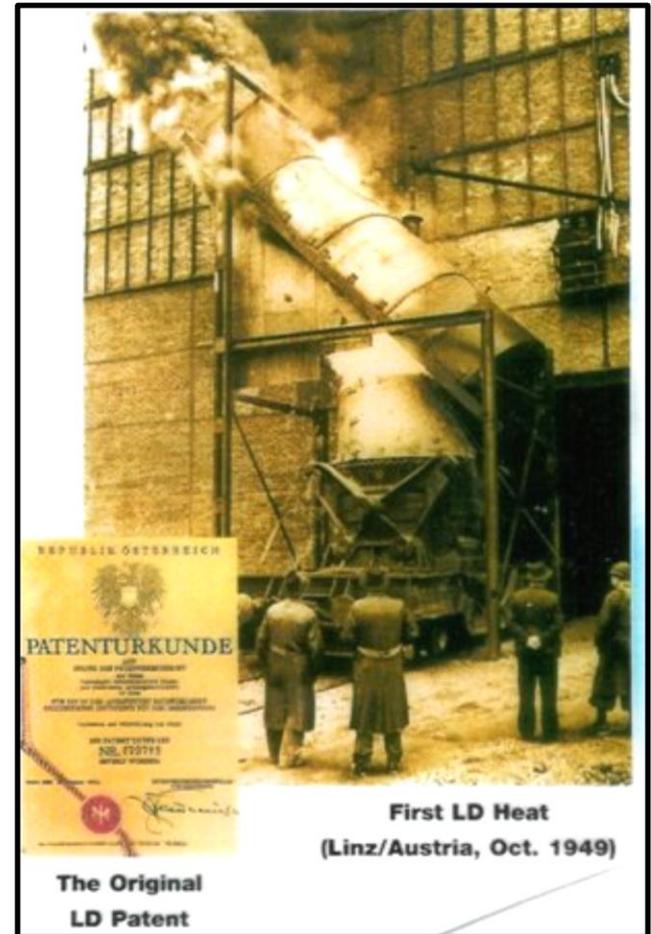
CONVERSOR LD

L : LINZ NA ÁUSTRIA (VOEST ALPINE) – 1952.

D: DONAWITZ NA ÁUSTRIA – 1953.



(COLPAERT)



CONVERSÃO DO FERRO GUSA EM AÇO OS CONVERTEDORES

DESCARREGAMENTO DO GUSA PARA OS CONVERTEDORES



ACIARIA ELÉTRICA



SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONVENCIONAL



SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONVENCIONAL

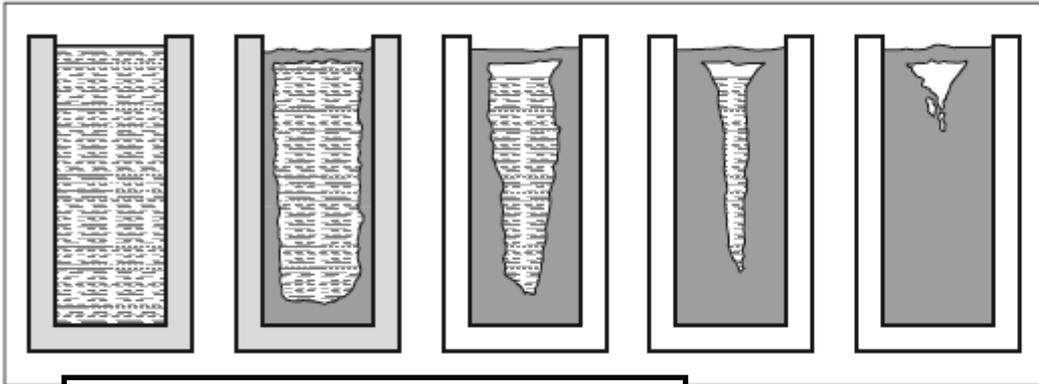
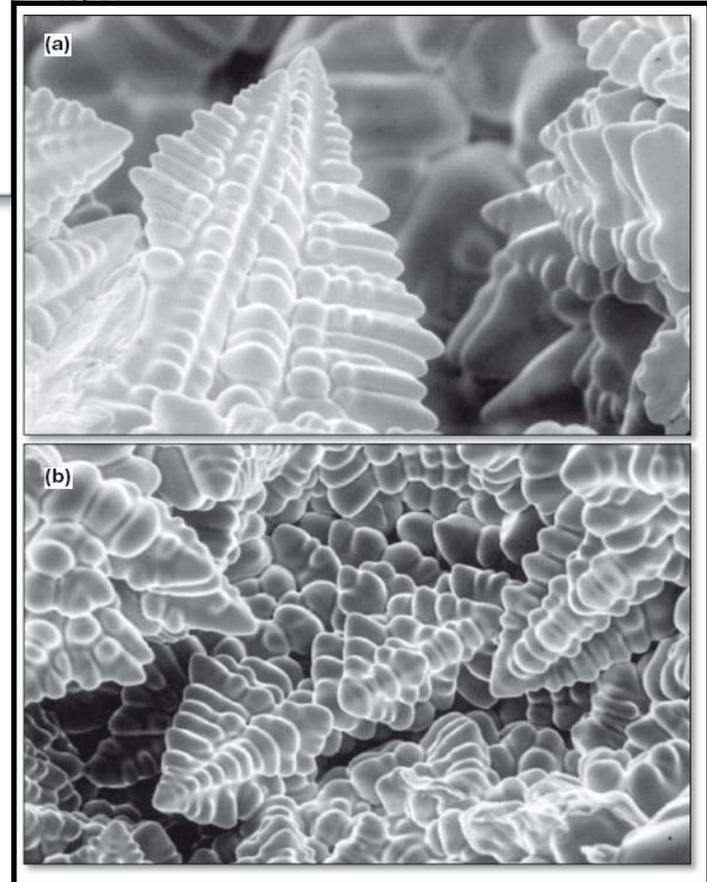


Figura 8.4

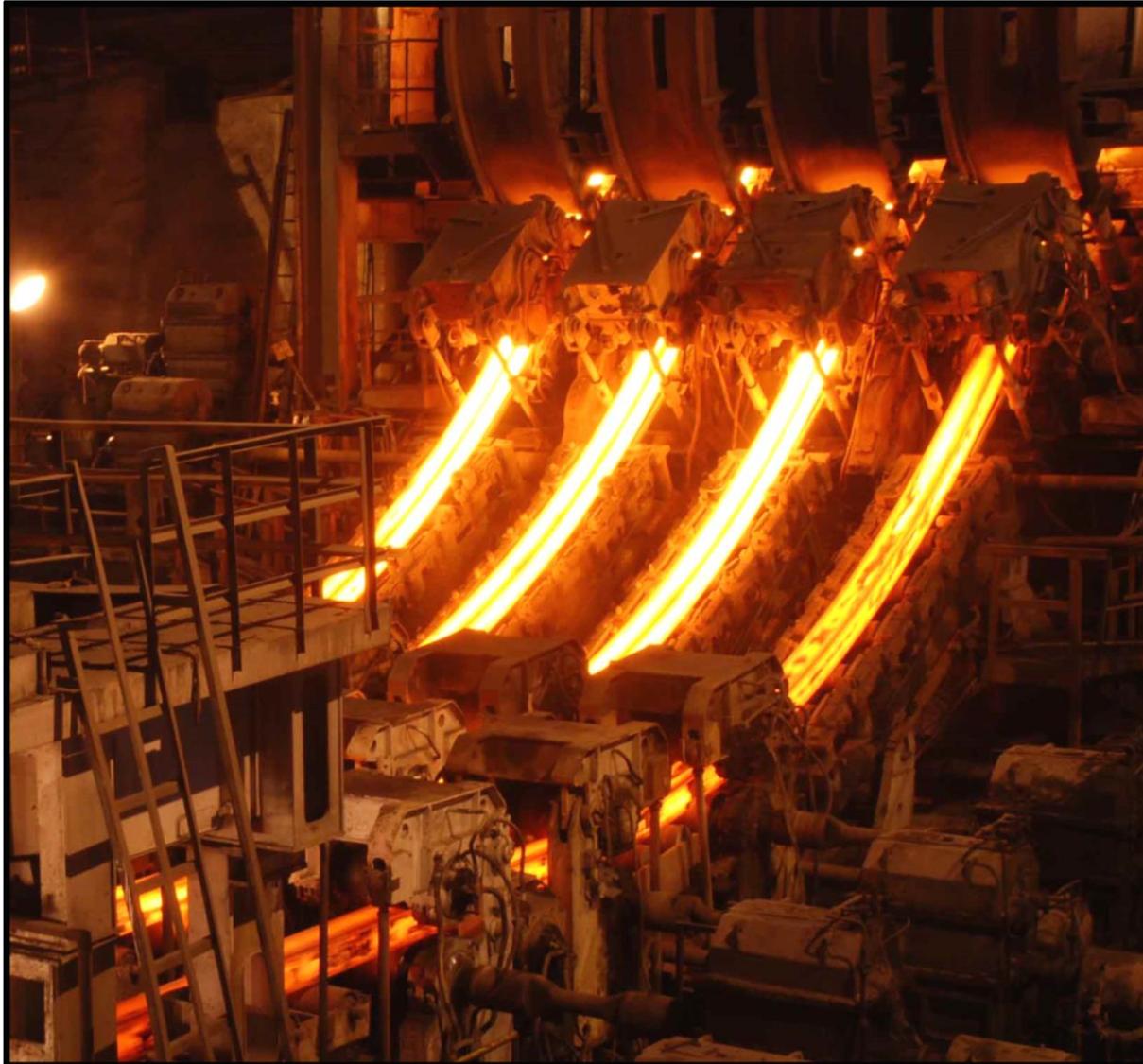
Progresso da solidificação em um molde metálico em que a extração de calor se passa, principalmente, pelas laterais e pela base e, de forma secundária, pelo topo.



(Colpaert)



SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO

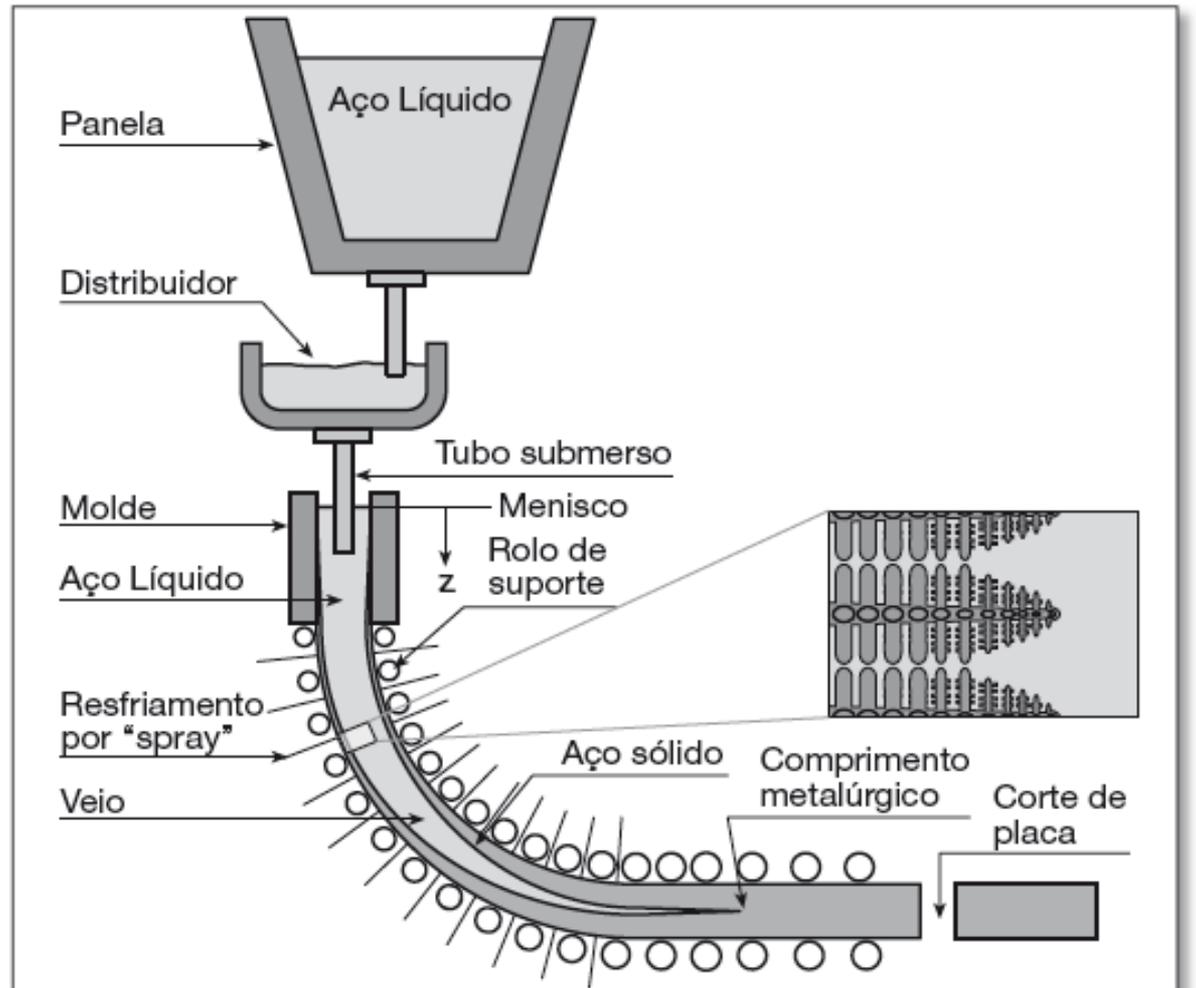


SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO

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).

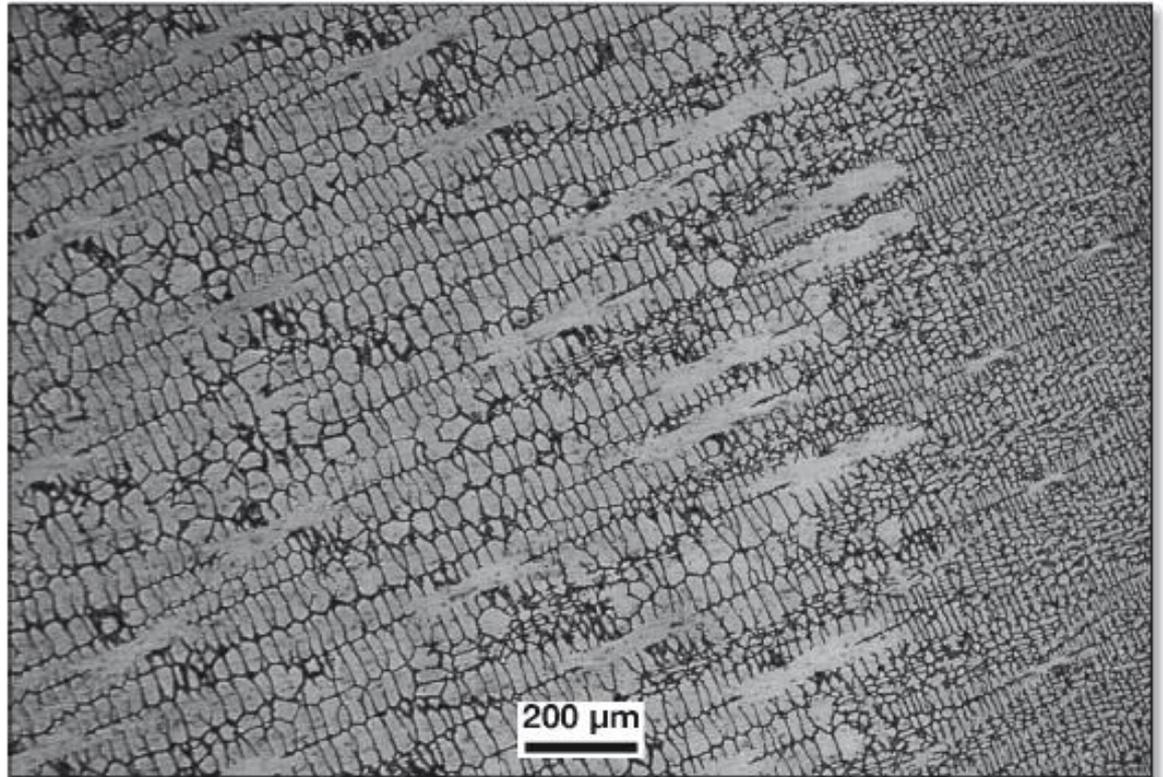
(Colpaert)



SOLIDIFICAÇÃO

Figura 8.20

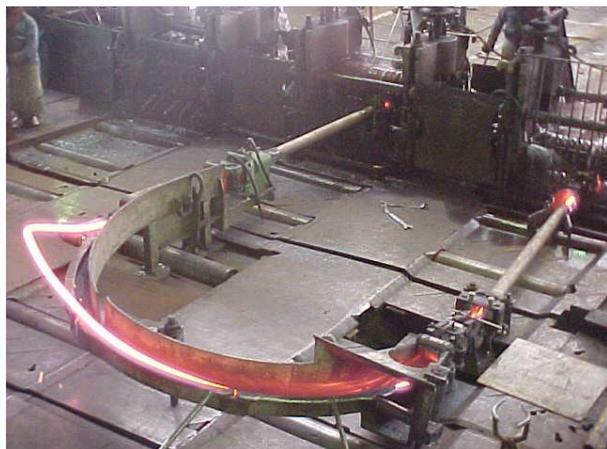
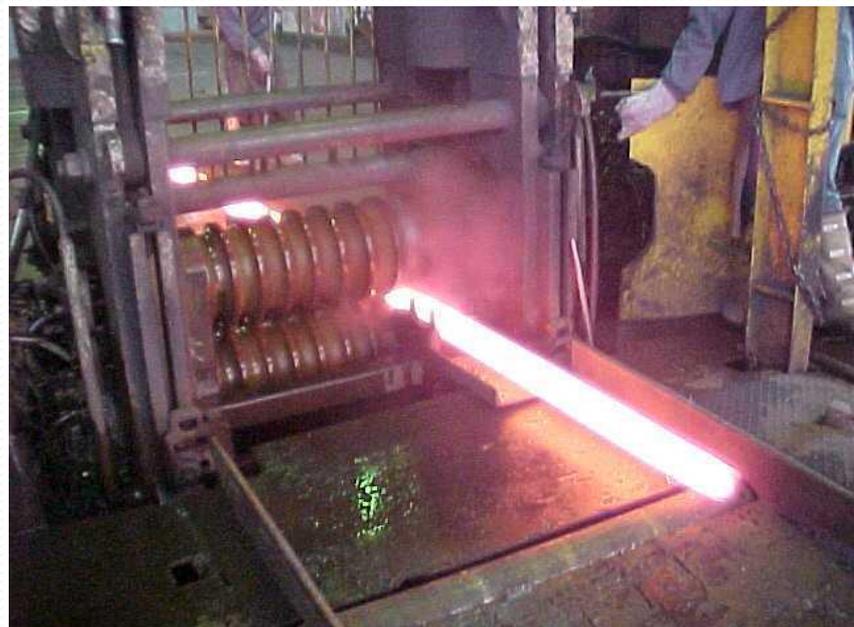
Macrografia de experimento de simulação de solidificação de liga 718⁽⁷⁾. A região à esquerda solidificou nas condições equivalentes ao centro de um lingote ESR (ver item 9.2) de 550 mm de diâmetro. A amostra foi então resfriada bruscamente, quando ocorreu o fim da solidificação de forma rápida, com espaçamento dendrítico mais fino (à direita). Cortesia A. Mitchell, University of British Columbia, Canadá.



(Colpaert)

**APÓS A SOLIDIFICAÇÃO, O LINGOTE É
SUBMETIDO AOS
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO
(DEFORMAÇÃO A QUENTE OU A FRIO)**

LAMINAÇÃO



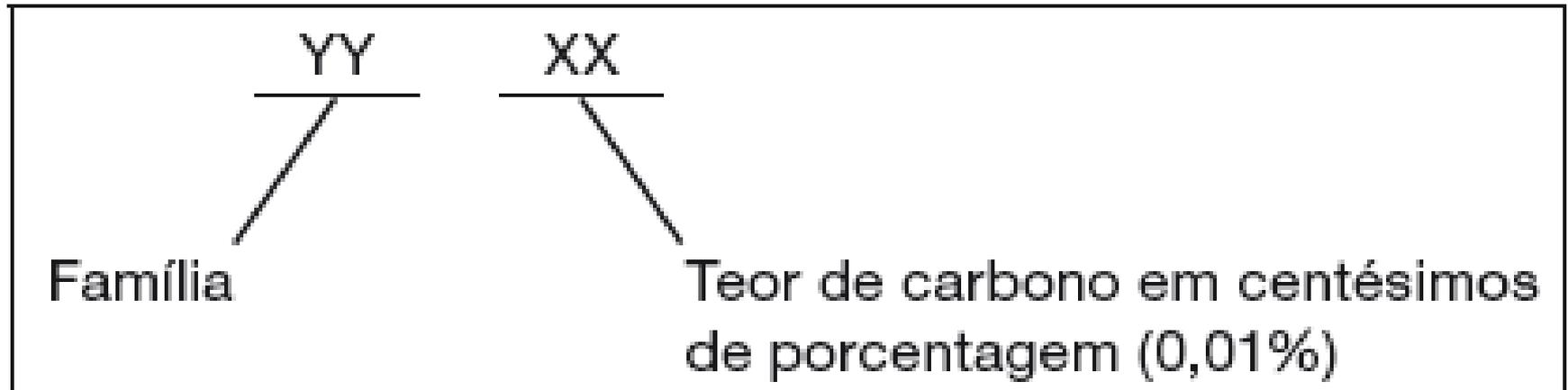
FORJAMENTO





CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

CLASSIFICAÇÃO SAE/AISI/ABNT



(Colpaert)

NORMAS

COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

- NORMA ABNT NM87
- NORMA SAE J 403 E J 404

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E

DUREZA:

- NORMA SAE J 1268

ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES

MECÂNICAS:

- NORMA SAE J 1397

NORMAS ASTM E DIN:

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E

PROPRIEDADES MECÂNICAS

CÓDIGO ASME: PETROQUÍMICA- SOLDAGEM-MATERIAIS-ENSAIOS

Tabela 10.1

Principais famílias de aços conforme a classificação ABNT (similar a AISI e SAE)

Aços carbono	10xx	Aço carbono
	11xx	Aço carbono resulfurado (corte fácil)
	12xx	Aço carbono resulfurado e refosforado (corte fácil)
Aços de baixa liga (construção mecânica)	13xx	Mn 1,75%
	23xx	NI 3,5%
	25xx	NI 5,0%
	31xx	NI 1,25%, Cr 0,65%
	33xx	NI 3,50%, Cr 1,55%
	40xx	Mo 0,25%
	41xx	Cr 0,50% ou 0,95%, Mo 1,12% ou 0,20%
	43xx	NI 1,80%, Cr 0,50% ou 0,80%, Mo 0,25%
	46xx	NI 1,55% ou 1,80%, Mo 0,20% ou 0,25%
	47xx	NI 1,05%, Cr 0,45%, Mo 0,20%
	48xx	NI 3,50%, Mo 0,25%
	50xx	Cr 0,80% ou 0,40%
	51xx	Cr 0,80% a 1,05%
	5xxxx	Cr 0,50% ou 1,00% ou 1,45%, C 1,00%
	61xx	Cr 0,80% ou 0,95%, V 0,10% ou 0,15% mínimo
	86xx	NI 0,55%, Cr 0,50% ou 0,65%, Mo 0,20%
87xx	NI 0,55%, Cr 0,50%, Mo 0,25%	
92xx	Mn 0,85%, Si 2,00%	
93xx	NI 3,25%, Cr 1,20%, Mo 0,12%	
98xx	NI 1,00%, Cr 0,80%, Mo 0,25%	

NORMAS

N-034.004.001



ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Fax: (021) 220-1762/220-6436
Endereço Telegráfico:
NORMATÉCNICA

Copyright © 2000,
ABNT-Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

OUT 2000

NBR NM 87

Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química

Origem: NM 87:1996
ABNT/CB-28 - Comitê Brasileiro de Siderurgia
NBR NM 87 - Carbon steel and alloy steel for general engineering purpose -
Designation and chemical composition
Descriptors: Steel, Chemical composition
Esta Norma cancela e substitui a NBR 6006:1994
Válida a partir de 30.11.2000

Palavras-chave: Aço, Composição

19 páginas

COMPOSIÇÃO QUÍMICA: NORMA ABNT NM87

Designação COPANT del acero/ Designação COPANT do aço	Composición química de colada (%) (1) / Composição química de corrida (%) (1)						
	Carbono (C)	Manganeso/ Manganês (Mn)	Silicio (Si)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdênio/ Molibdênio (Mo)	Vanadio/ Vanádio (V)
1330	0,28-0,33	1,60-1,90	0,15-0,35	-	-	-	-
1345	0,43-0,48	1,60-1,90	0,15-0,35	-	-	-	-
3015	0,12-0,17	0,40-0,60	0,15-0,40	1,40-1,70	1,40-1,70	-	-
3115	0,13-0,18	0,40-0,50	0,15-0,35	1,10-1,40	0,55-0,75	-	-
3519	0,15-0,20	0,40-0,60	0,15-0,40	1,80-2,10	1,80-2,10	-	-
4015	0,12-0,20	0,40-0,80	0,10-0,35	-	-	0,25-0,35	-
4113	0,10-0,18	0,40-0,70	0,10-0,35	-	0,70-1,10	0,45-0,65	-
4117	0,15-0,22	0,60-0,90	0,10-0,40	-	0,85-1-15	0,10-0,40	-
4118	0,18-0,23	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,40-0,60	0,08-0,15	-
4120	0,17-0,22	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,30-0,50	0,40-0,50	-
4122	0,17-0,22	0,70-1,00	0,15-0,40	-	0,30-0,60	0,40-0,50	-
4125	0,23-0,28	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,40-0,60	0,20-0,30	-
4126	0,22-0,29	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4127	0,23-0,29	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,40-0,60	0,40-0,50	-
4130	0,28-0,33	0,40-0,60	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4133 ^A	0,29-0,35	0,60-0,85	0,15-0,35	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4135	0,33-0,38	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4136	0,30-0,37	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4137	0,35-0,40	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4140	0,38-0,43	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4141	0,38-0,45	0,60-0,90	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4142	0,40-0,45	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25	-
4145	0,43-0,48	0,75-1,00	0,15-0,30	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4150	0,48-0,53	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,80-1,10	0,15,0,25	-
4151	0,46-0,54	0,50-0,80	0,15-0,40	-	0,90-1,20	0,15-0,30	-
4161	0,56-0,64	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,70-0,90	0,25-0,35	-
4210	0,08-0,15	0,40-0,70	0,50 max.	-	2,00-2,50	0,90-1,20	-
4320	0,17-0,22	0,45-0,65	0,15-0,35	1,65-2,00	0,40-0,60	0,20-0,30	-
4340	0,38-0,43	0,60-0,80	0,15-0,35	1,65-2,00	0,70-0,90	0,20-0,30	-
4517	0,15-0,20	0,40-0,60	0,15-0,40	1,40-1,70	1,50-1,80	0,25-0,35	-
4534	0,30-0,38	0,40-0,70	0,15-0,40	1,40-1,70	1,40-1,70	0,15-0,30	-
4620	0,17-0,22	0,45-0,65	0,15-0,35	1,65-2,00	-	0,20-0,30	-
4720	0,17-0,22	0,50-0,70	0,15-0,35	0,90-1,20	0,35-0,55	0,15-0,25	-
4815	0,13-0,18	0,40-0,60	0,15-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30	-
4820	0,18-0,23	0,50-0,70	0,15-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30	-
5016	0,12-0,18	0,40-0,60	0,15-0,40	-	0,40-0,70	-	-
5046	0,43-0,48	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,20-0,35	-	-
5060	0,56-0,64	0,75-1,00	0,15-0,35	-	0,40-0,60	-	-
5115	0,13-0,18	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,70-0,90	-	-
5116	0,14-0,19	1,00-1,30	0,15-0,35	-	0,80-1,10	-	-
5120	0,17-0,22	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,70-0,90	-	-
5121 ^B	0,17-0,22	1,10-1,40	0,15-0,35	-	1,00-1,30	-	-
5123 ^C	0,20-0,25	0,60-0,80	0,12 max	-	0,80-1,00	-	-
5125 ^C	0,23-0,28	0,60-0,80	0,12 max	-	0,80-1,00	-	-
5130	0,28-0,33	0,70-0,90	0,15-0,35	-	0,80-1,10	-	-
5132	0,30-0,35	0,60-0,80	0,15-0,35	-	0,75-1,00	-	-

NORMAS DIN

COMO INTERPRETAR A NOMENCLATURA DE AÇOS NA NORMA DIN

AÇOS CARBONO

Podem ser classificados de duas formas: **pelo limite de resistência à tração** ou **pela composição química**.

Pelo **limite de resistência à tração**, utiliza-se o símbolo St (de stahl, que significa aço em alemão), seguido do limite de resistência à tração mínimo.

Ex: **St 42** – aço com limite de resistência à tração mínimo de **42 kgf/mm²**.

NORMAS DIN

Pela **composição química**, emprega-se a letra C seguida do teor de carbono multiplicado por 100.

Ex: **C 45** - aço com teor médio de carbono de **0,45%**. Equivalente ao **SAE/ABNT 1045**

NORMAS DIN

AÇOS LIGADOS

No caso de **aços baixa liga**, estes são representados de acordo com o seguinte exemplo:

Aço DIN 42 Cr Mo 4, da norma DIN EN 10083-3 (equivalente ao **SAE4140**):

- **42** é o teor de **carbono** multiplicado por 100 (ou seja **0,42%**);
- **Cr e Mo** são símbolos dos elementos de liga;
- **4** é o multiplicador do teor do elemento de liga em maior quantidade .

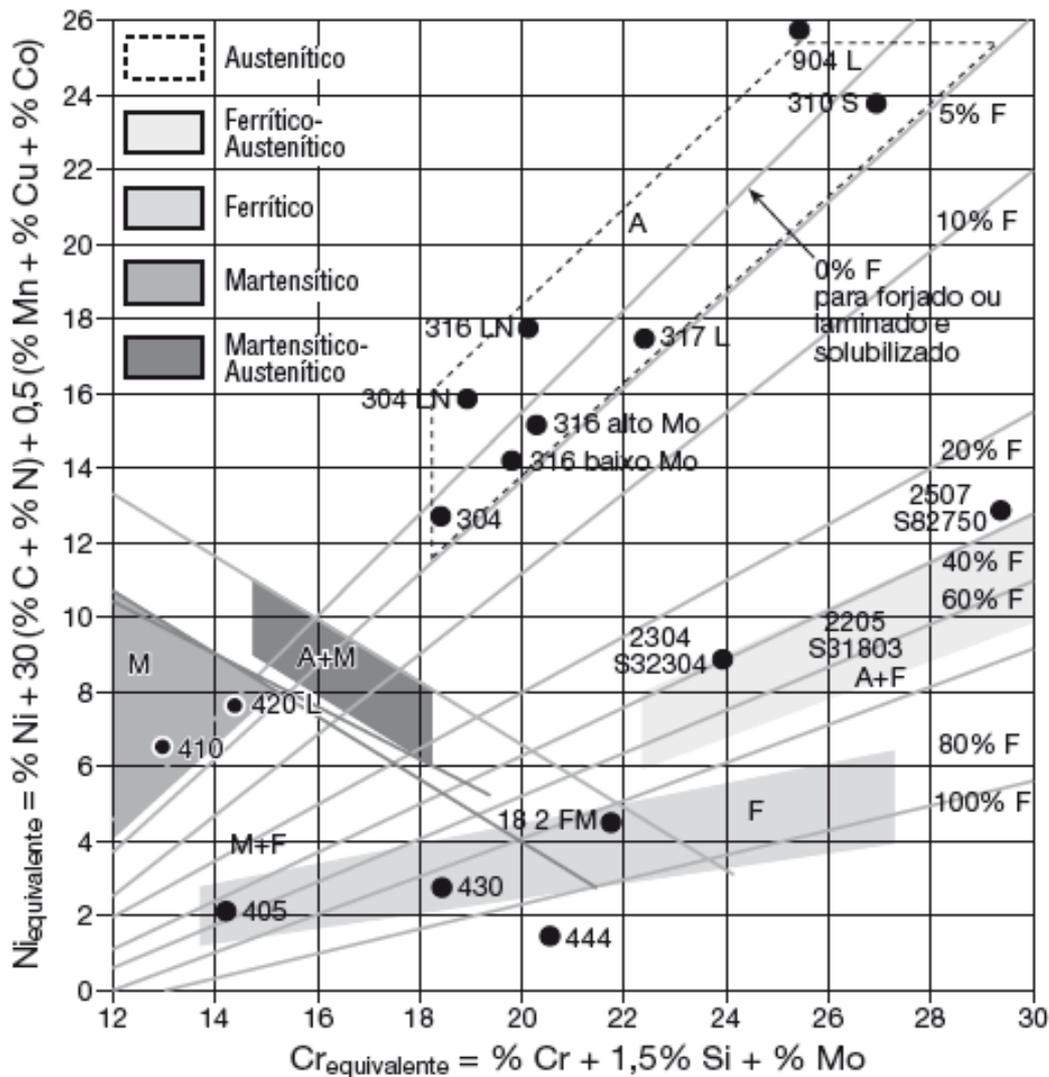
EQUIVALÊNCIA ENTRE NORMAS

5.1.3 - AÇOS LIGADOS PARA BENEFICIAMENTO

QUAL. GERDAU	ABNT/SAE AISI/ASTM	DIN	UNI	JIS	BS	AFNOR
1330	1330	(30Mn5)	-	(SMn 2H)	(120M36)	-
4037	4037	-	-	-	(605A37)	-
41 Cr 4	5140	41Cr4	41Cr4	SCr 4H	(530H40)	42C4
4130	4130	(30CrMo4)	(30CrMo4)	SCM 3H	(708A30)	(30CD4)
4140	4140	(42CrMo4)	(42CrMo4)	(SCM 4H)	(708M40)	(42CD4)
4142	4142	41CrMo4	41CrMo4	(SCM 4H)	(708A42)	(42CD4)
4150	4150	(50CrMo4)	-	(SCM 5H)	(708A47)	-
42CrMo4	(4140)	42CrMo4	42CrMo4	(SCM 24H)	708M40	42CD4
4340	4340	(40CrNiMo6)	-	(SNM 21H)	(817M40)	(35NCD6)

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.

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

SOLIDIFICAÇÃO- LINGOTAMENTO CONVENCIONAL



SOLIDIFICAÇÃO-LINGOTAMENTO CONTÍNUO

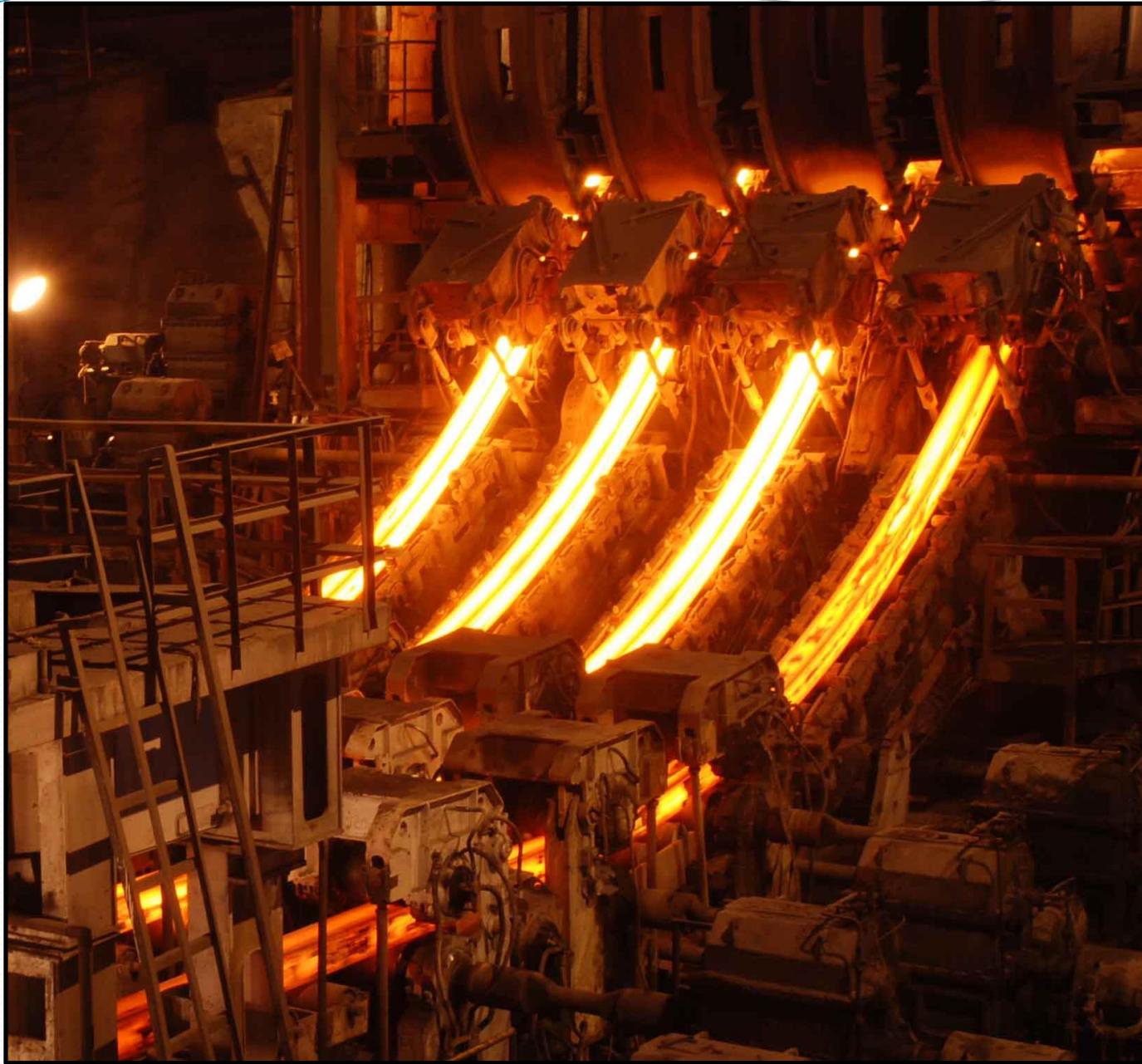
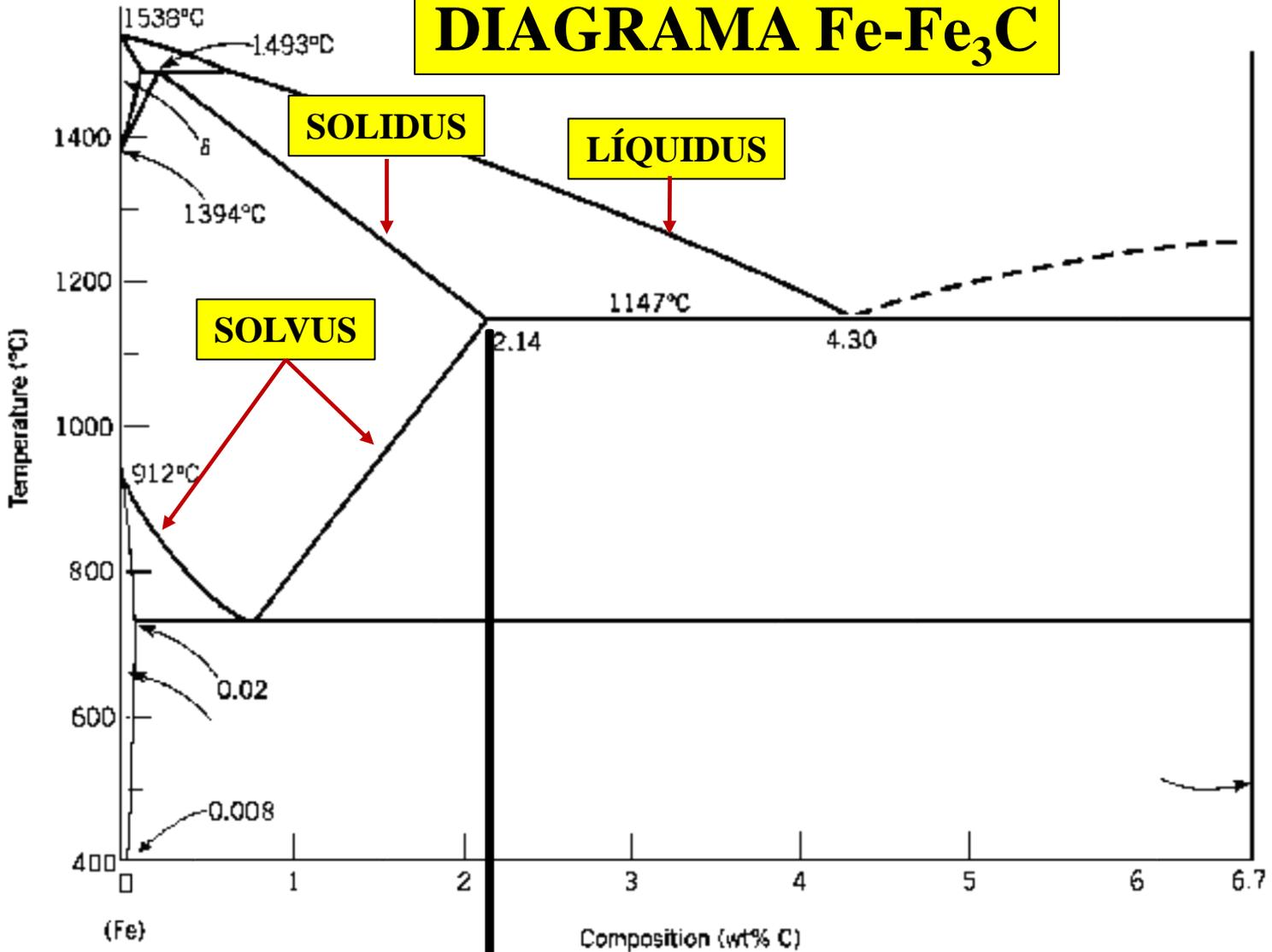


DIAGRAMA Fe-Fe₃C



Aços

Ferros fundidos





REAÇÕES INVARIANTES



EFSC • IISF

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	$\alpha + \beta \rightarrow \gamma$	

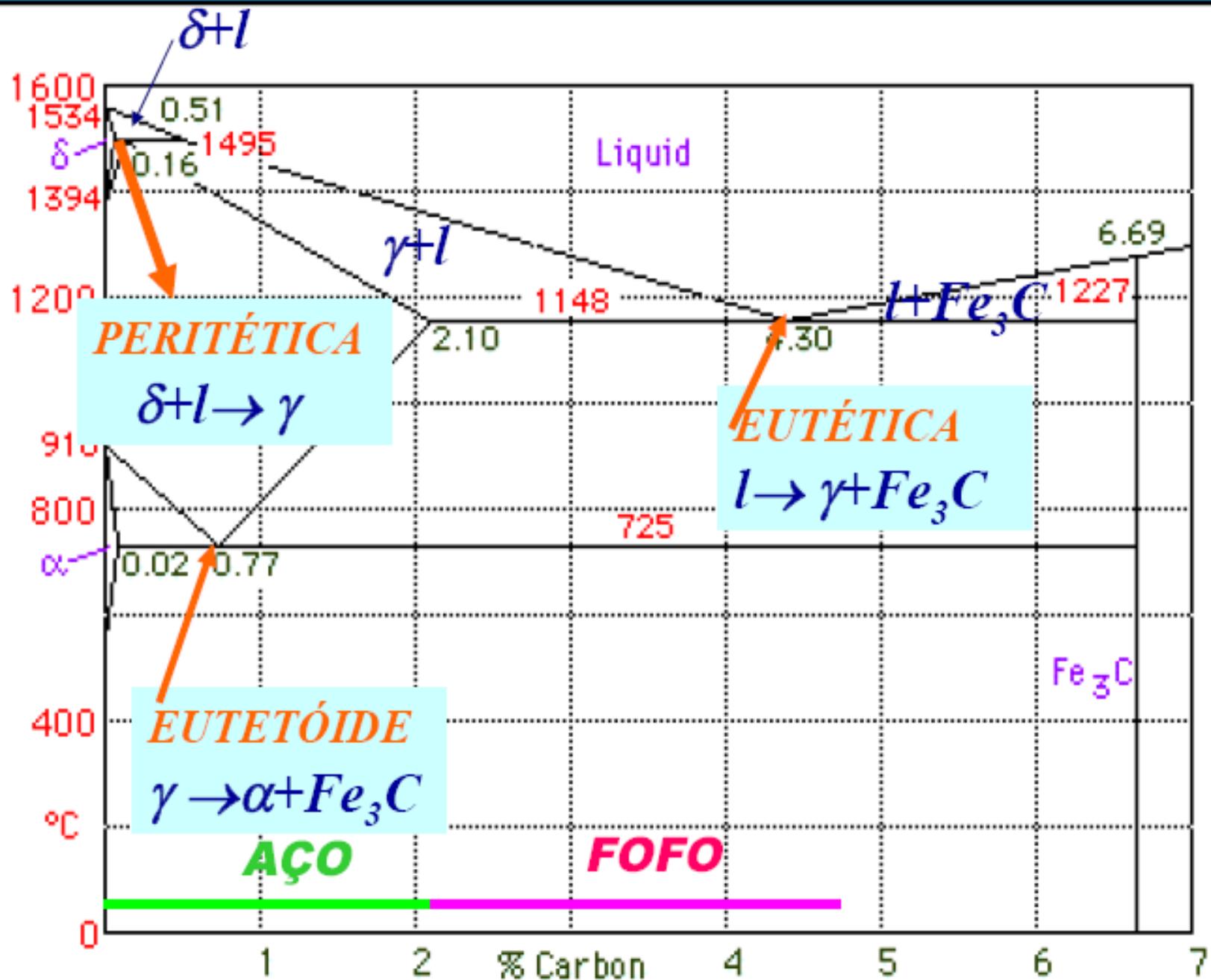
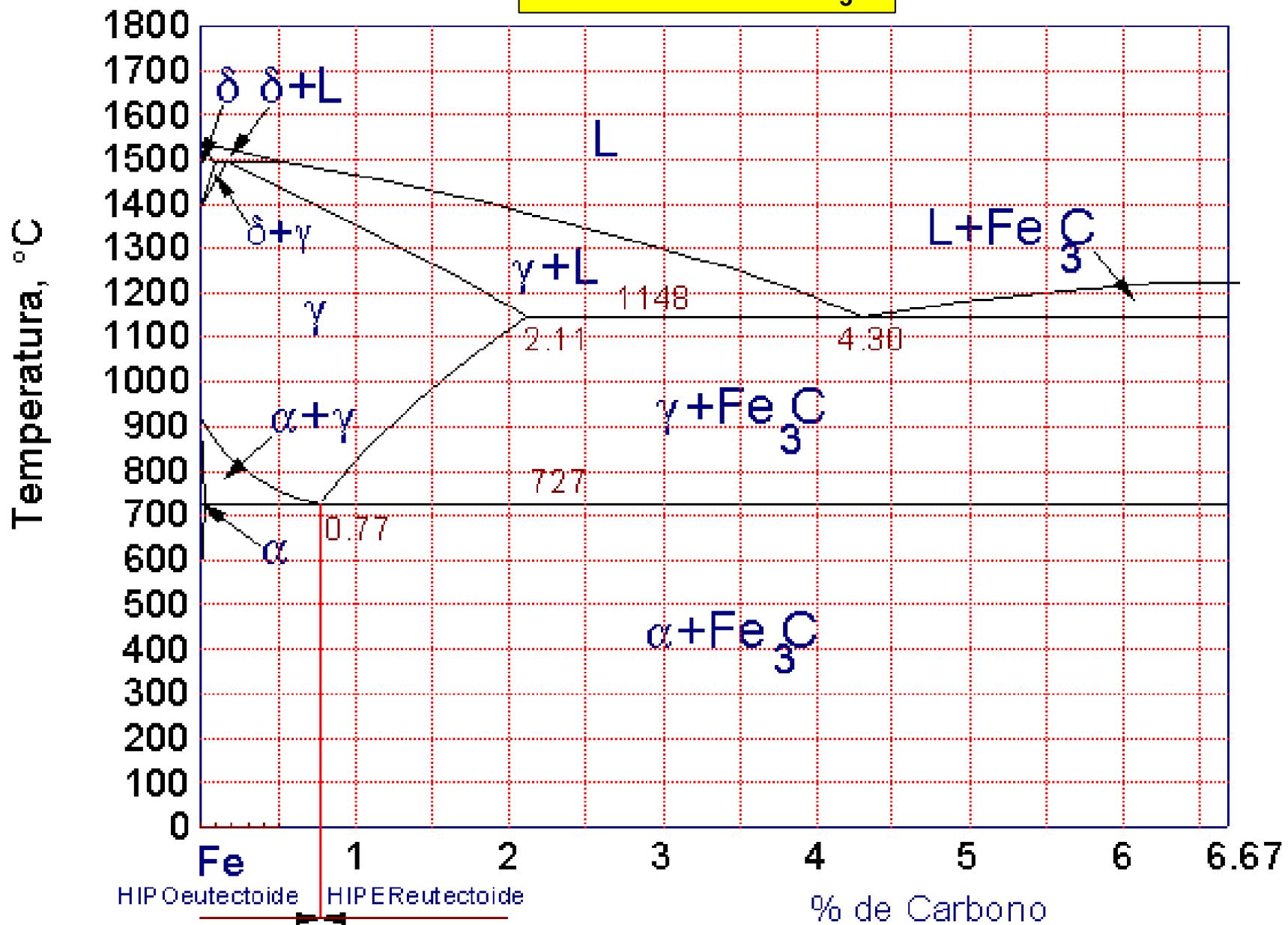
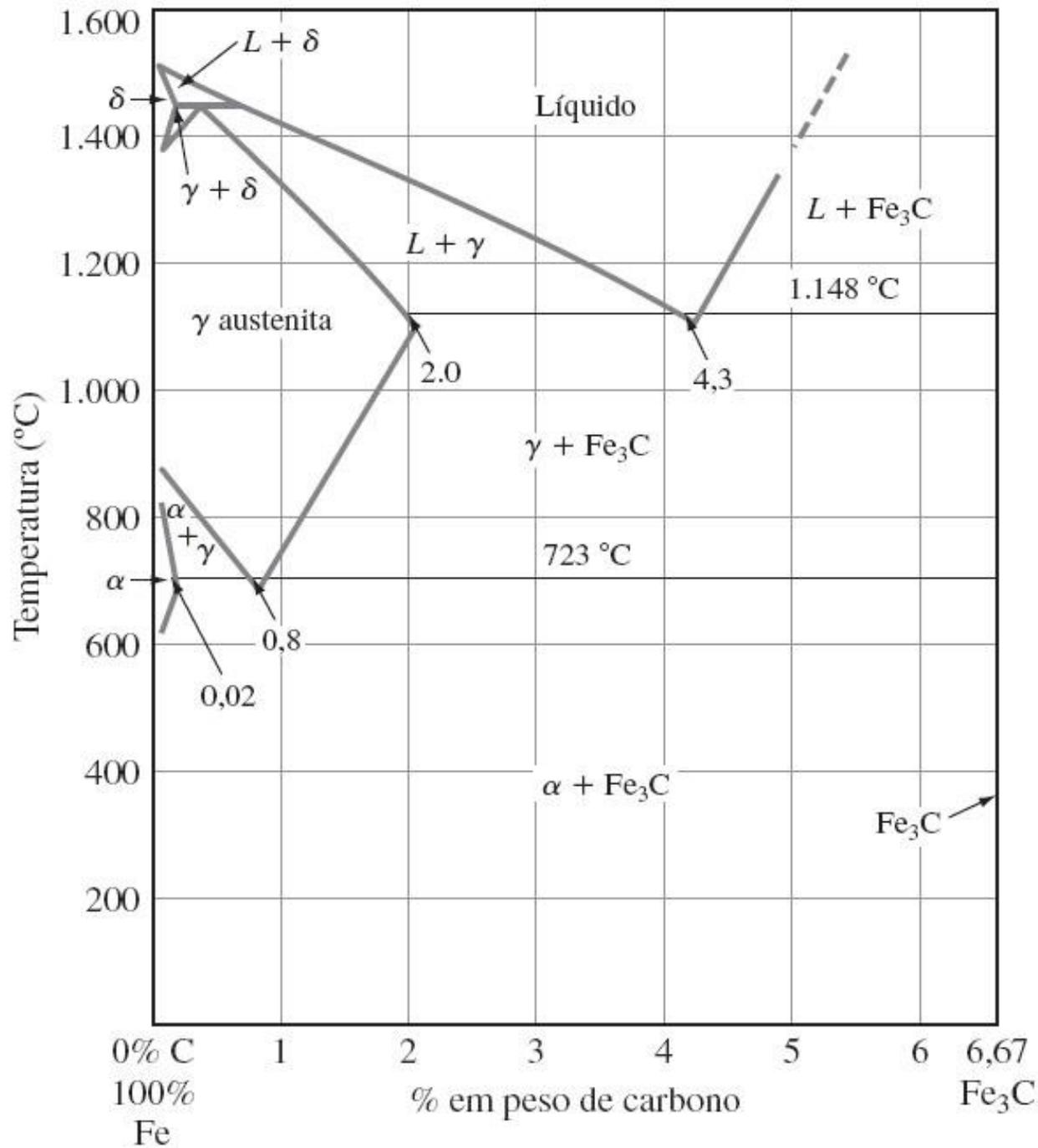


DIAGRAMA Fe-Fe₃C





(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

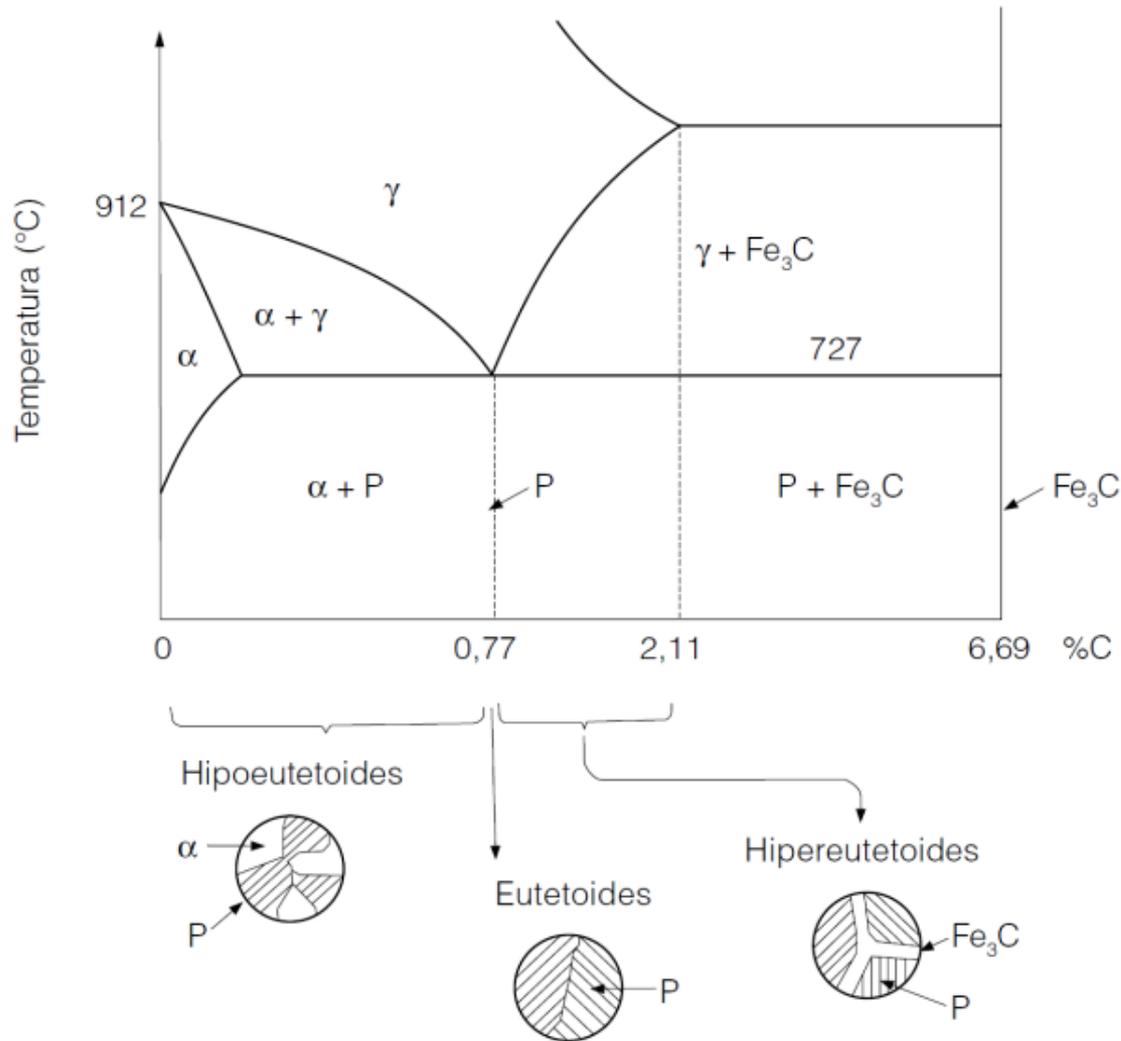
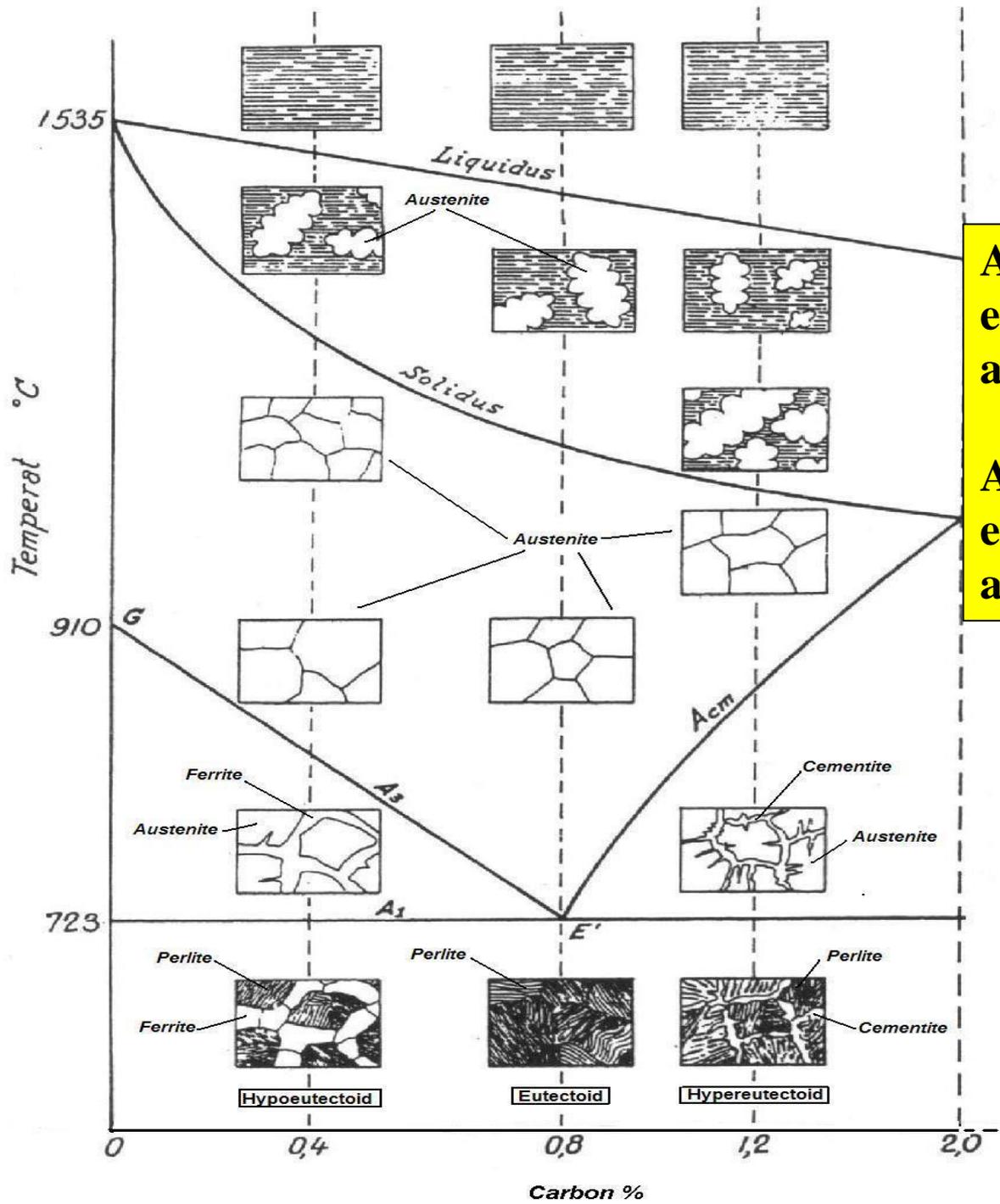


Figura 1.14 Diagrama de “fases” Fe-Perlita.

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

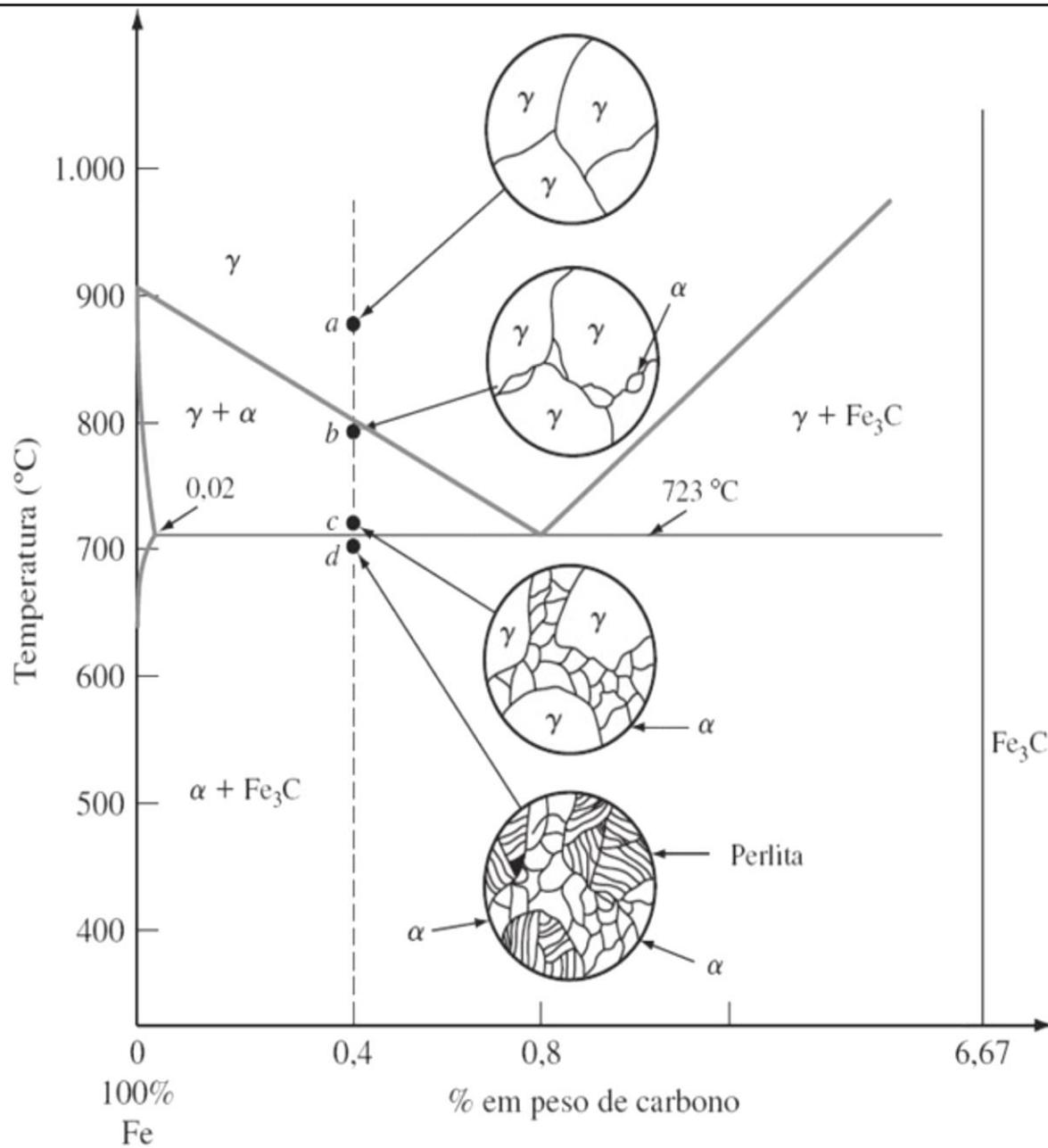


A1: Temperatura de equilíbrio de início de austenitização

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**.



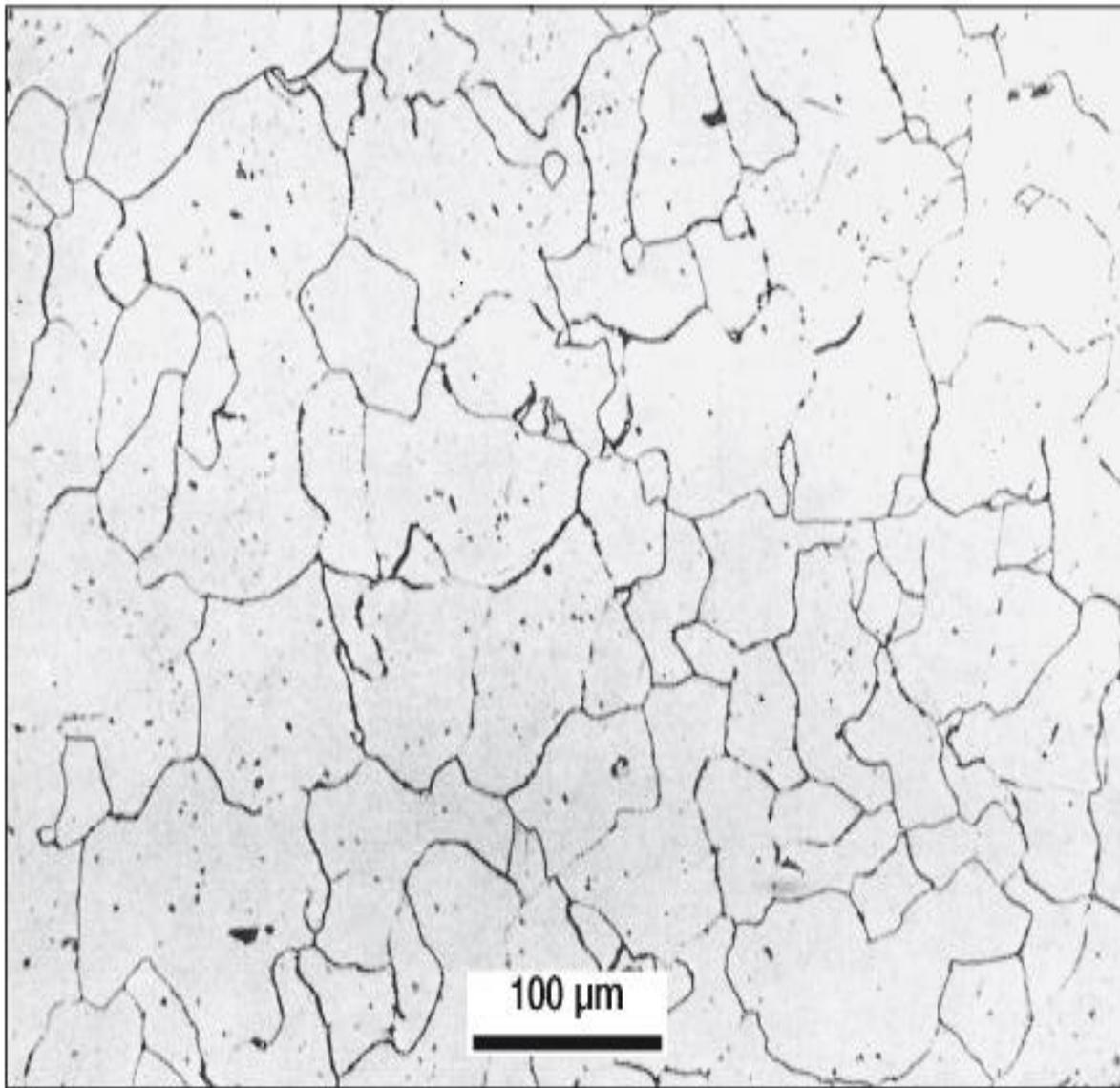
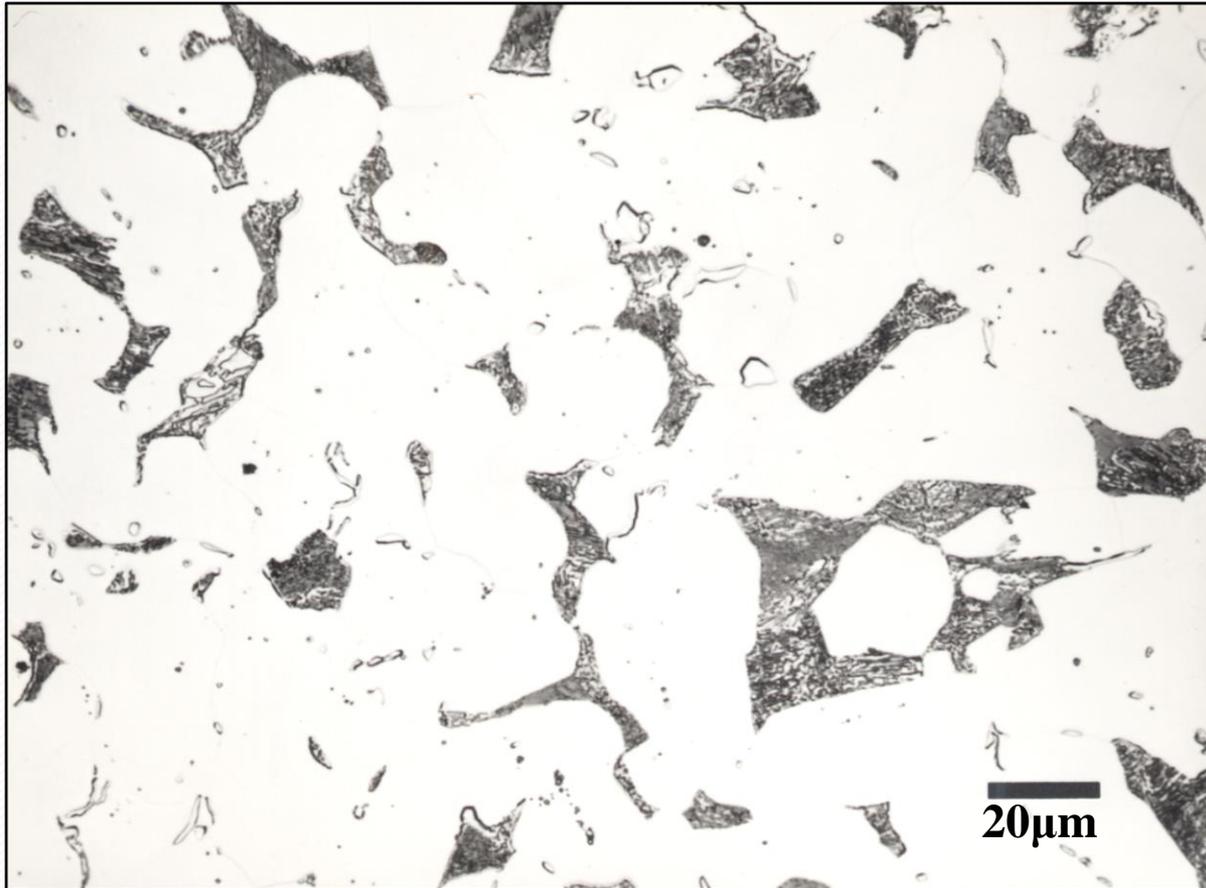


Figura 7.3

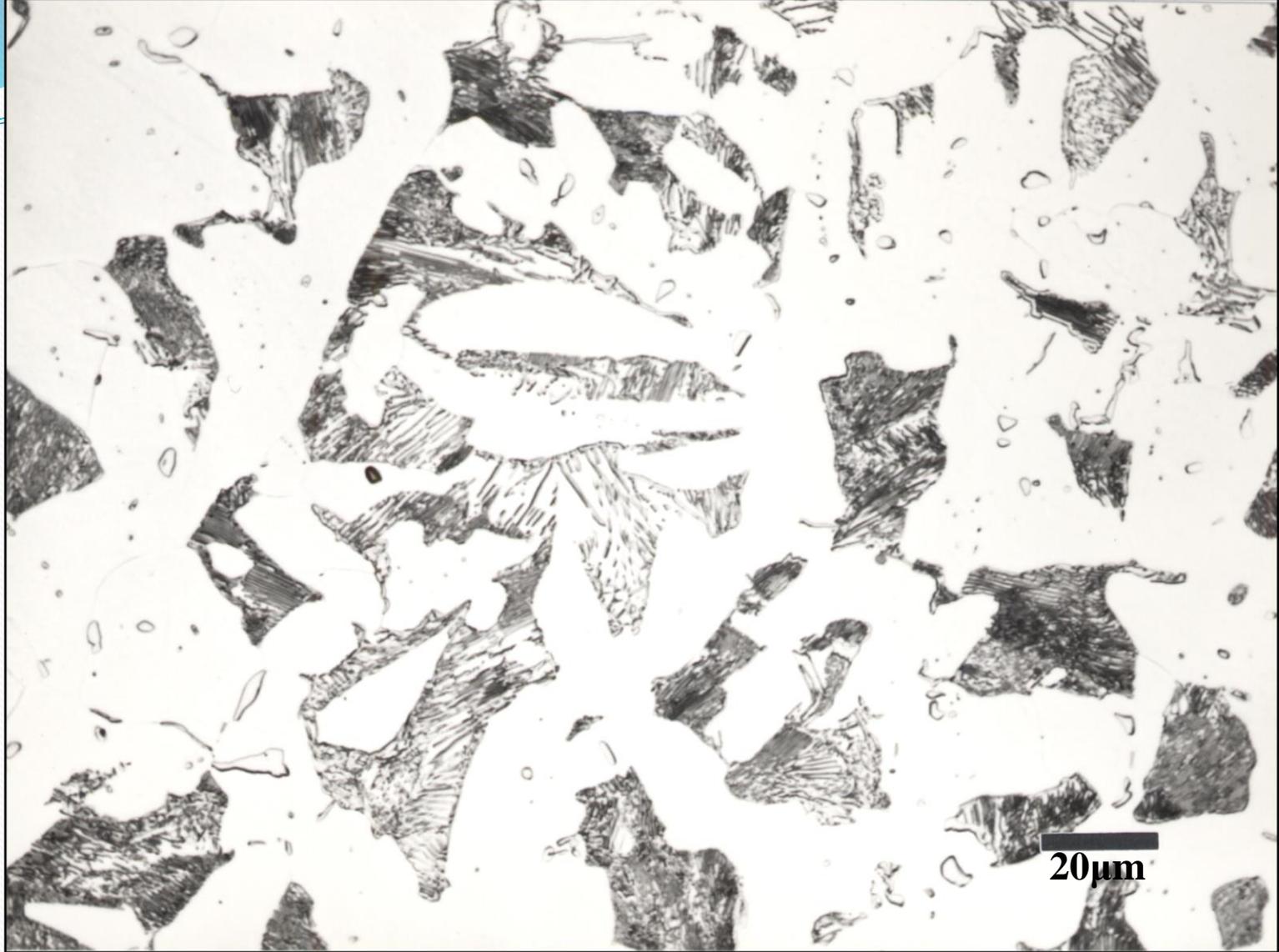
Aço de teor de carbono extra baixo⁽⁷⁾ (no caso, Ferro Armco). Grãos de ferrita e pequenas inclusões não-metálicas. Ataque: água régia.

(Colpaert)

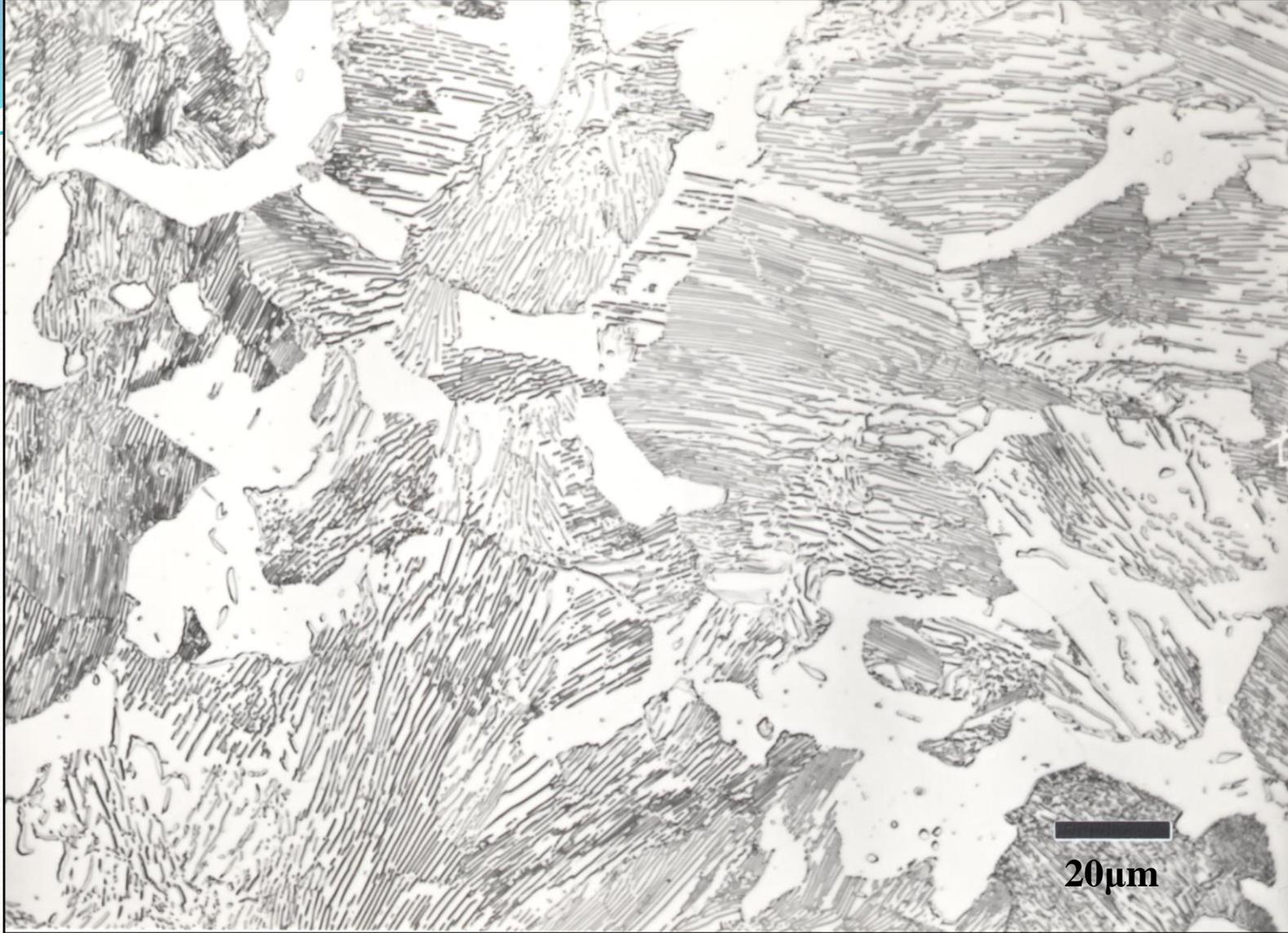
As regiões **brancas** correspondem à **ferrita proeutetóide**. Para a perlita, o espaçamento entre as camadas α e Fe_3C varia de grão para grão; uma **parte da perlita** parece **escura**, pois as muitas **camadas** com **pequeno espaçamento** não estão resolvidas e definidas na ampliação da fotomicrografia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

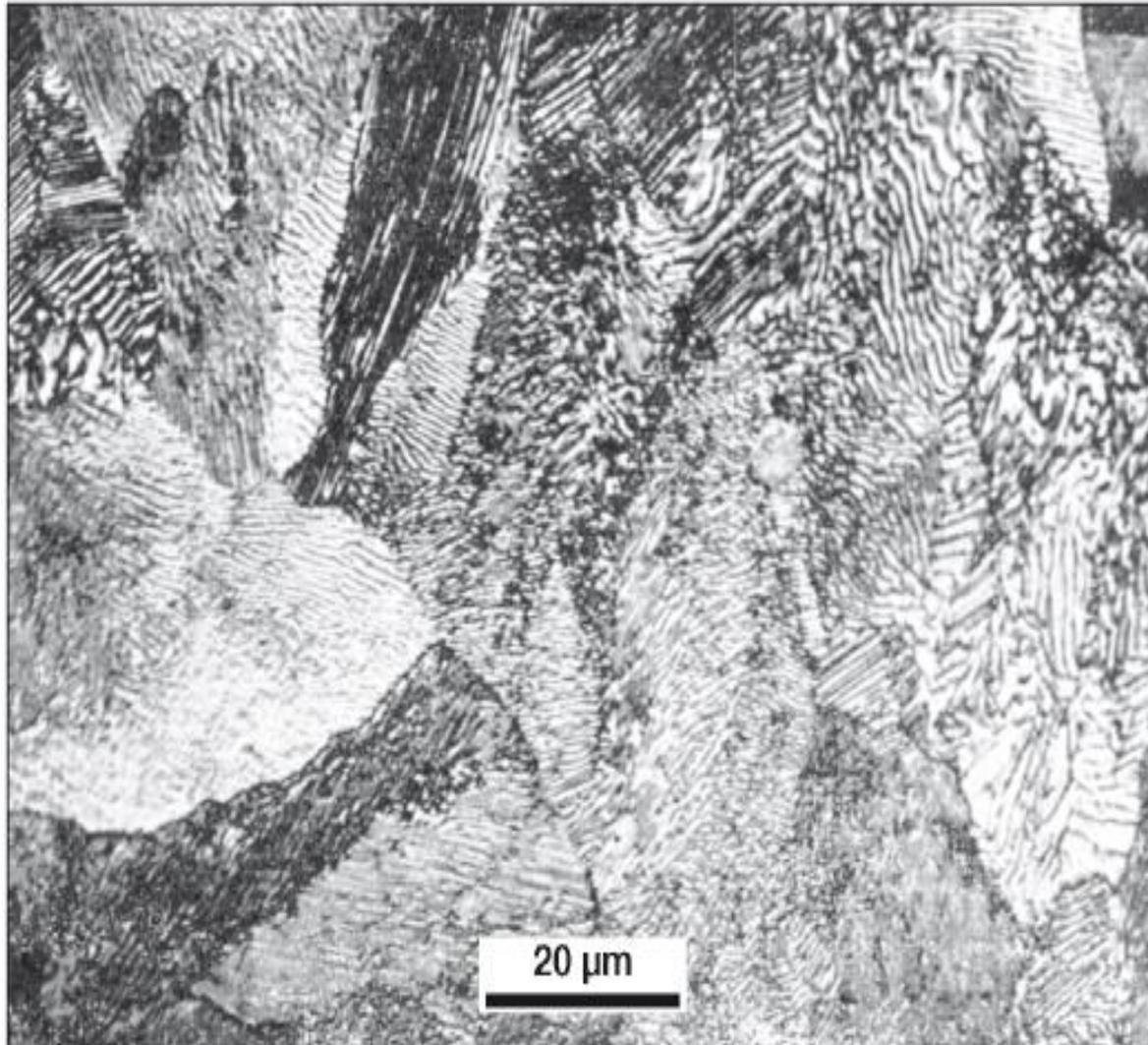
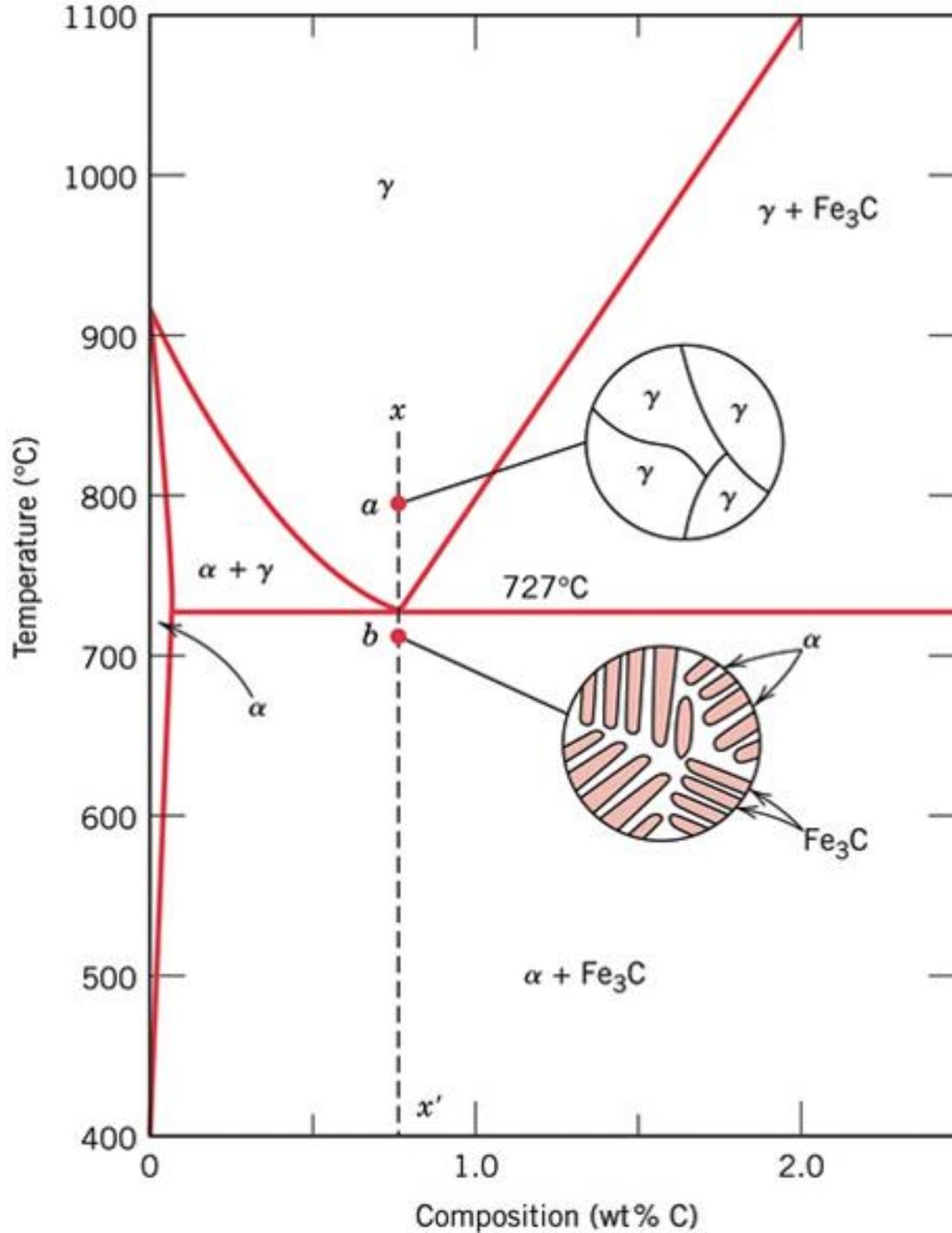
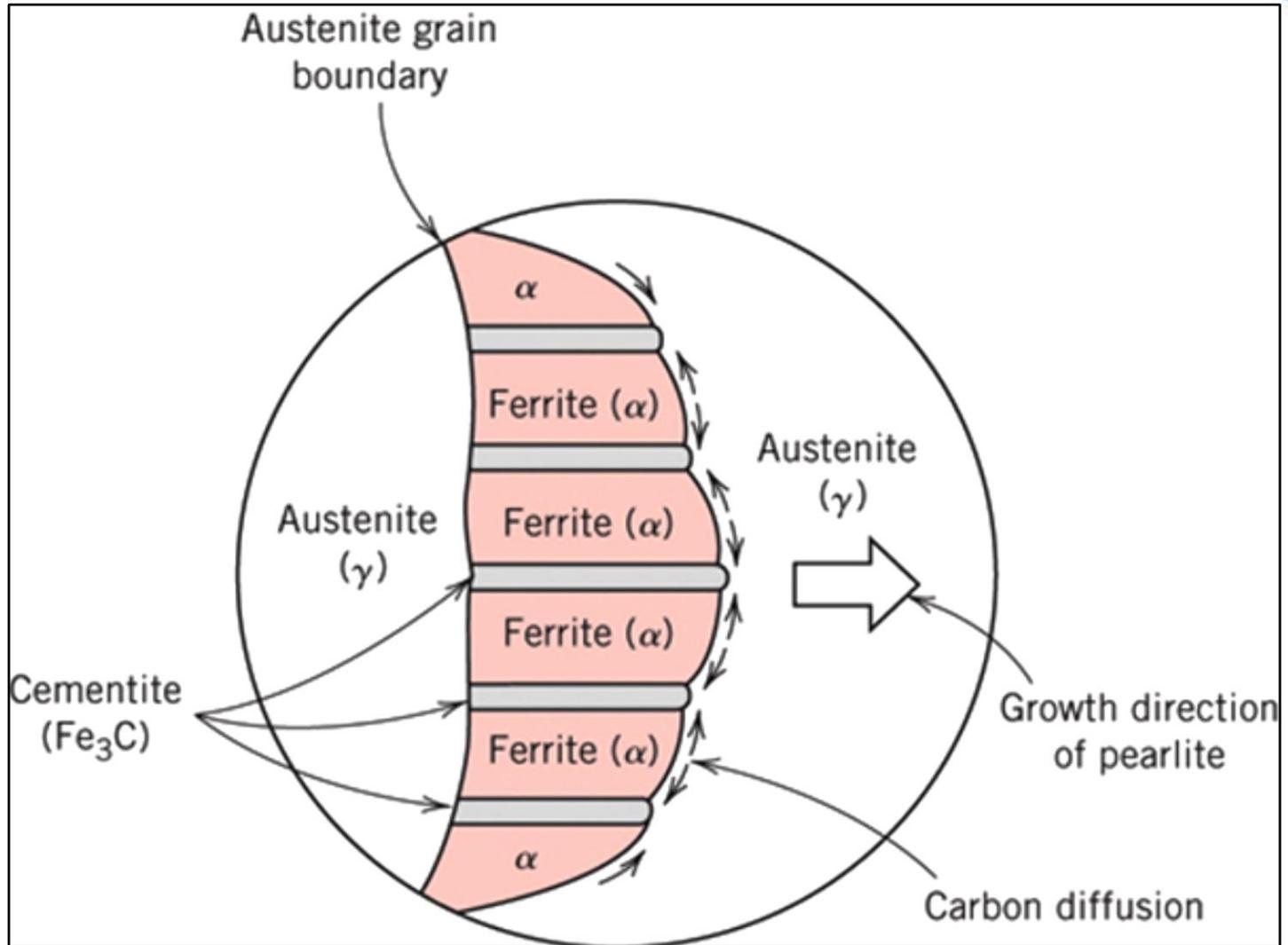


Figura 7.18

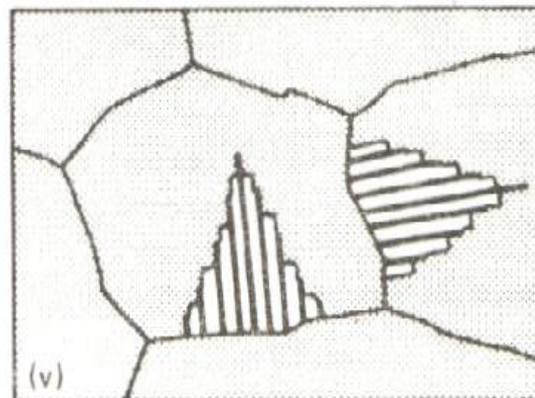
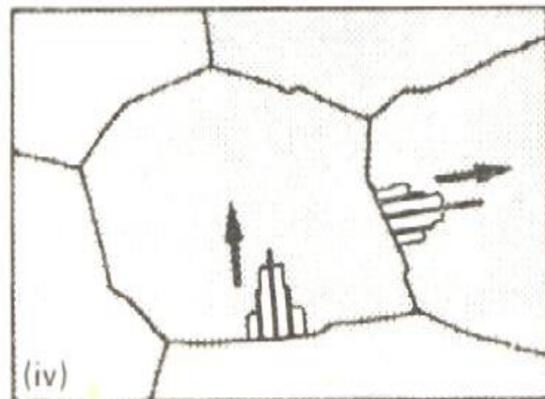
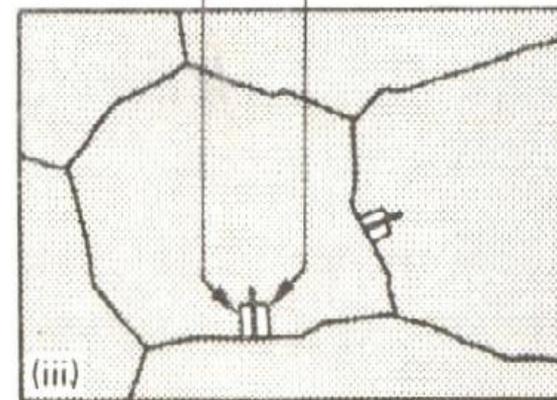
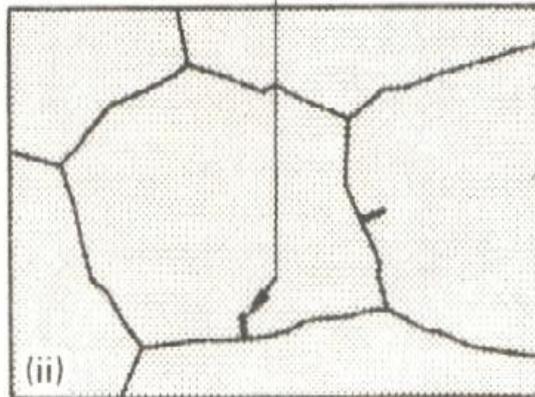
Aço eutectóide. Colônias de perlita. Algumas áreas que aparecem pouco definidas podem ter seu caráter lamelar mais facilmente observado girando o corpo-de-prova de 90°. Ataque: Nital.

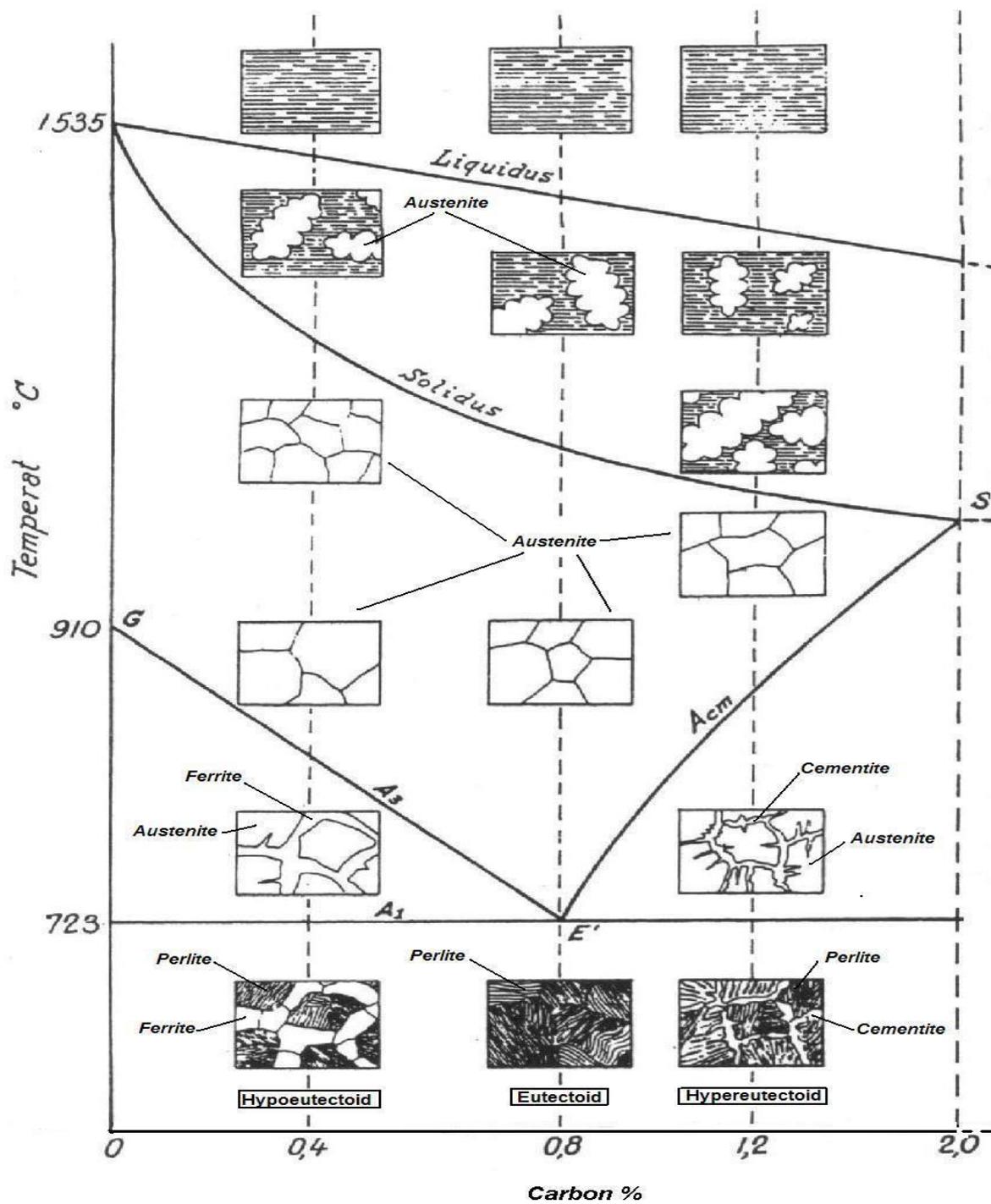




NÚCLEO DA
CEMENTITA

FERRITA





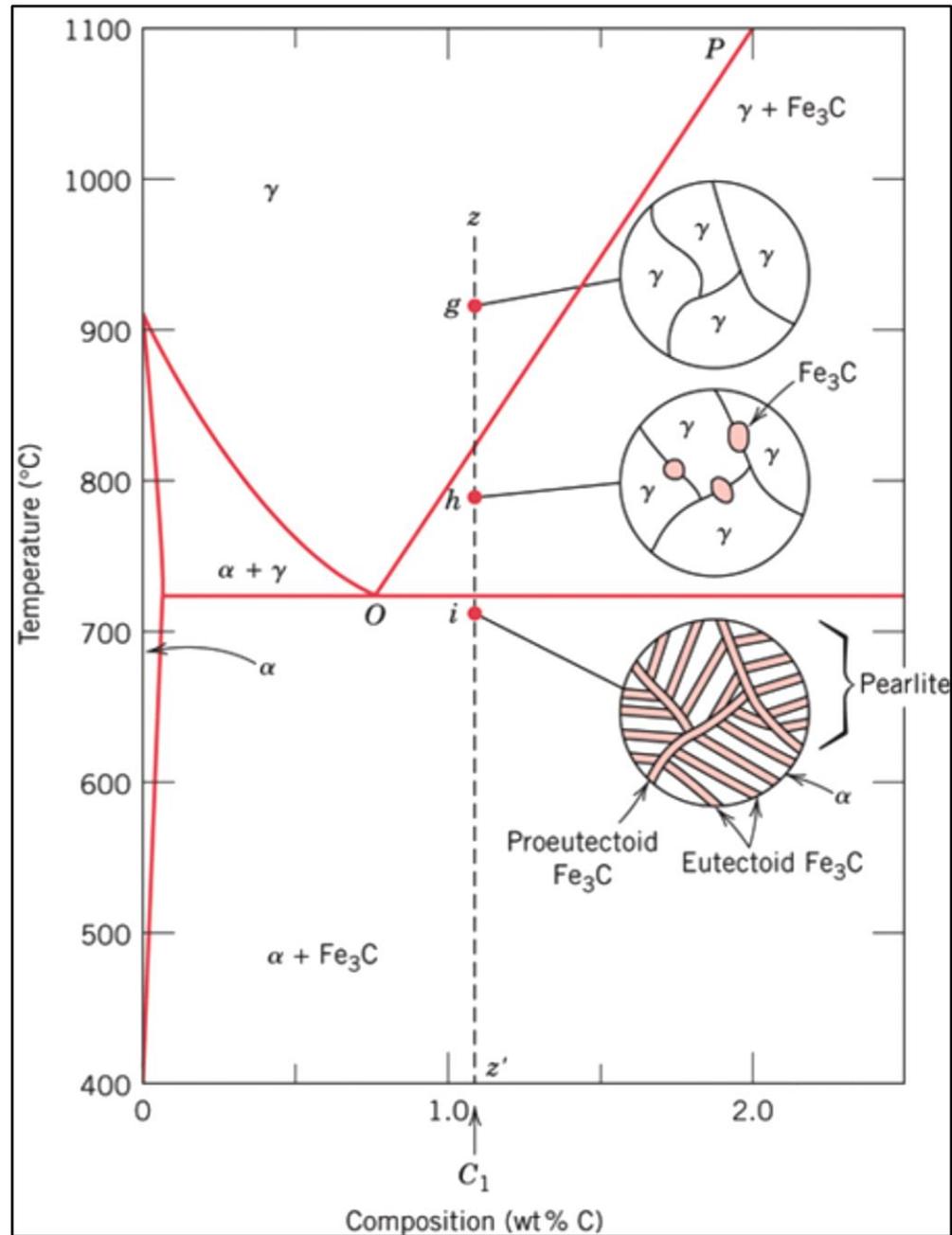
LIGAS HIPEREUTETÓIDES

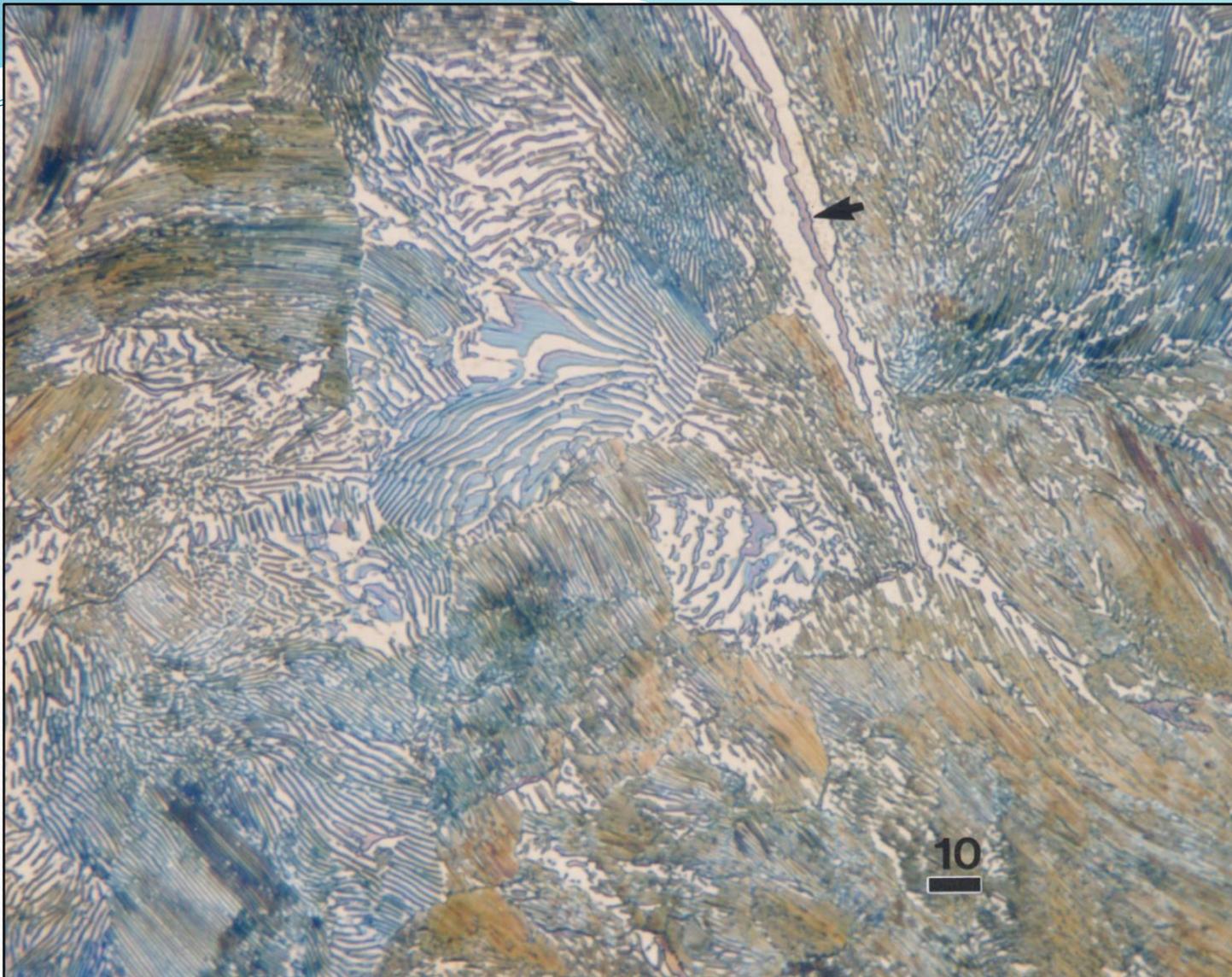
A **cementita** formada **antes do eutetóide** é chamada **cementita proeutetóide** e a microestrutura das ligas hipereutetóides resultam em **perlita + cementita proeutetóide**

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

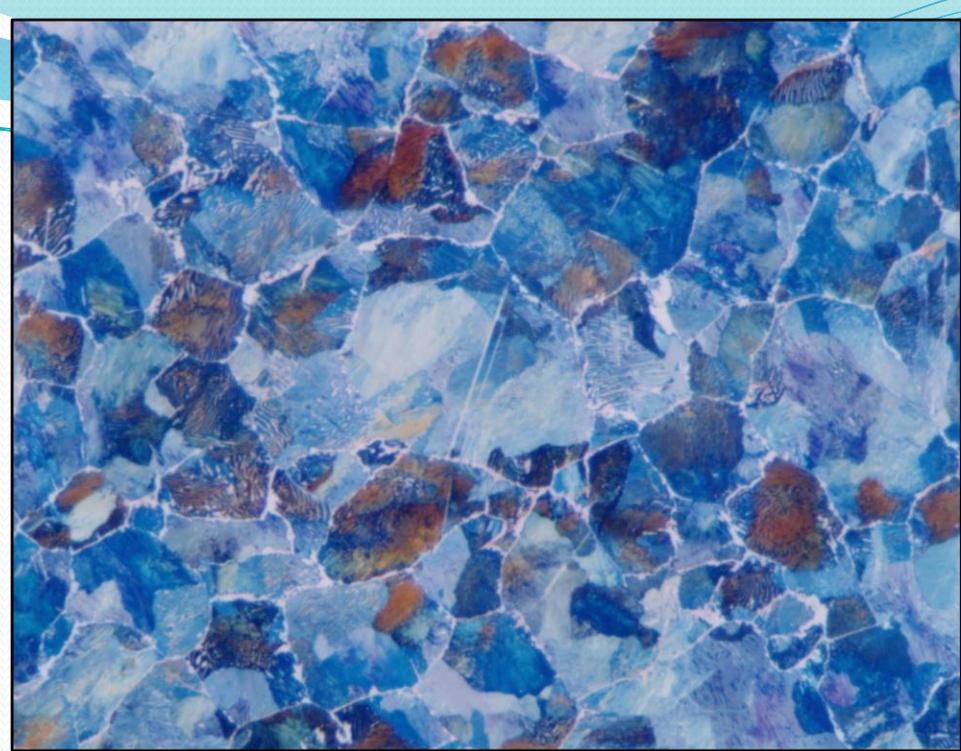


Pearlite and G.B. Cementite in an hypereutectoid steel
cementite appears white





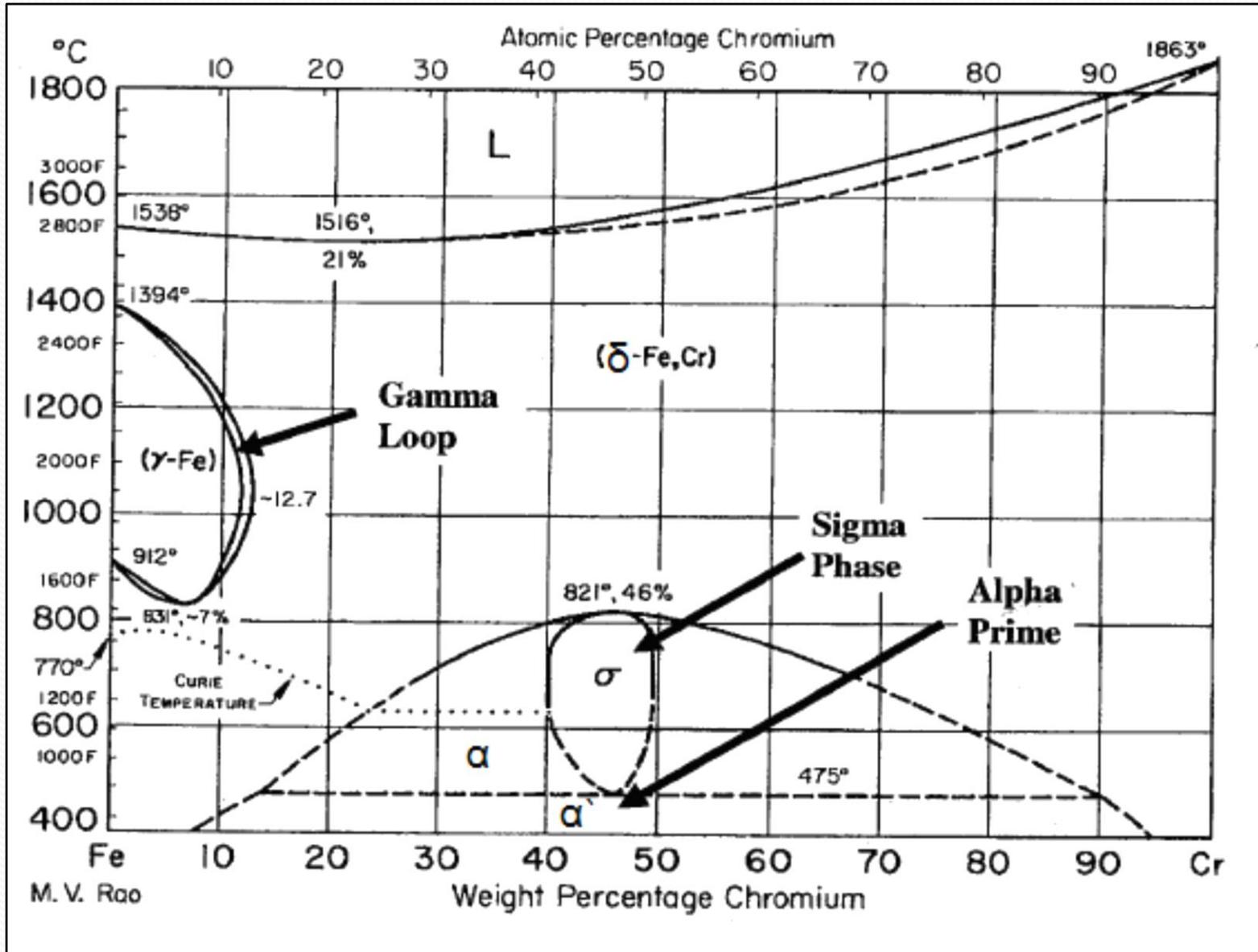
Microstructure of as-rolled Fe – 1% C binary alloy tint etched with Beraha’s sodium molybdate reagent to color cementite. The arrow points of proeutectoid cementite that precipitated on a prior-austenite grain boundary before the eutectoid reaction (austenite forms ferrite and cementite in the form of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

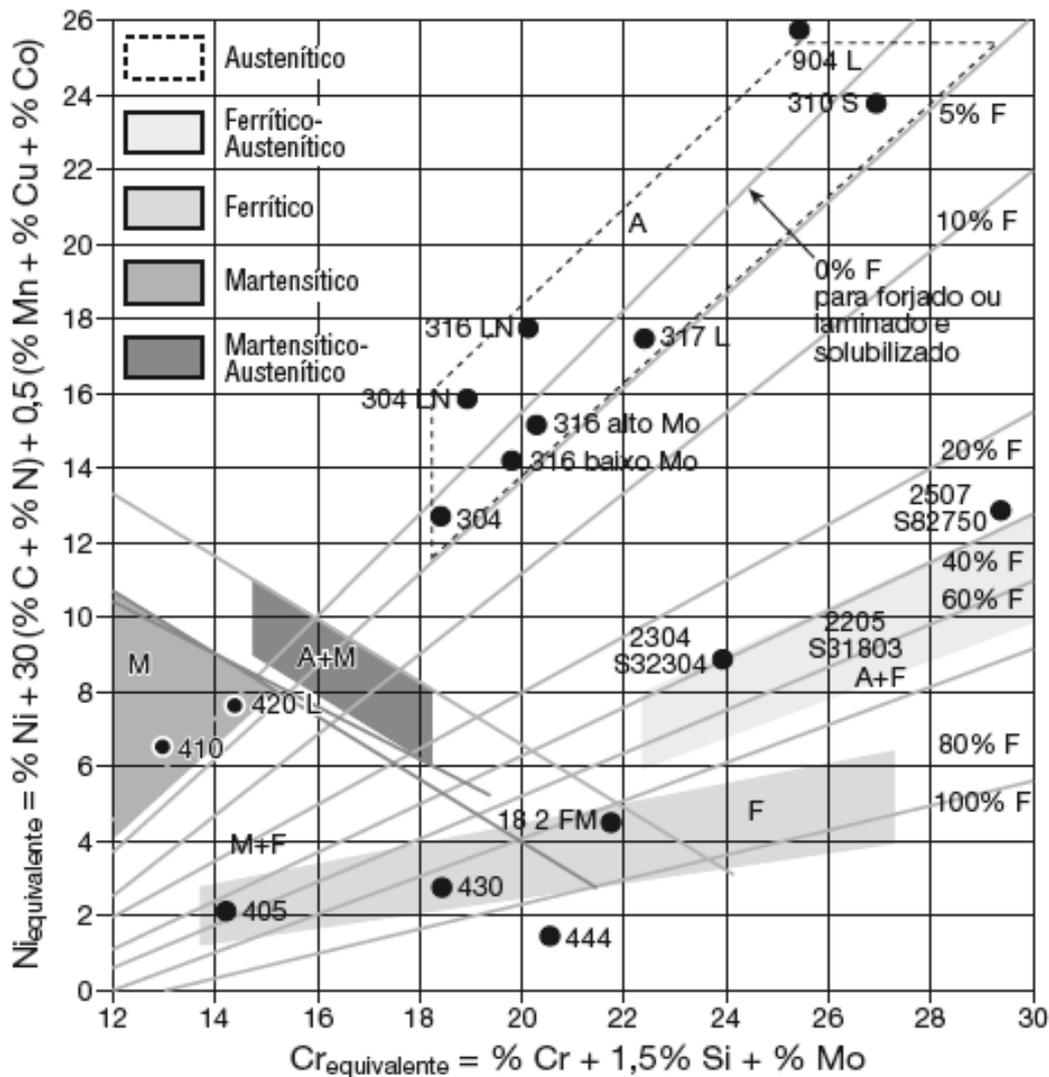
AÇOS INOXIDÁVEIS

(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

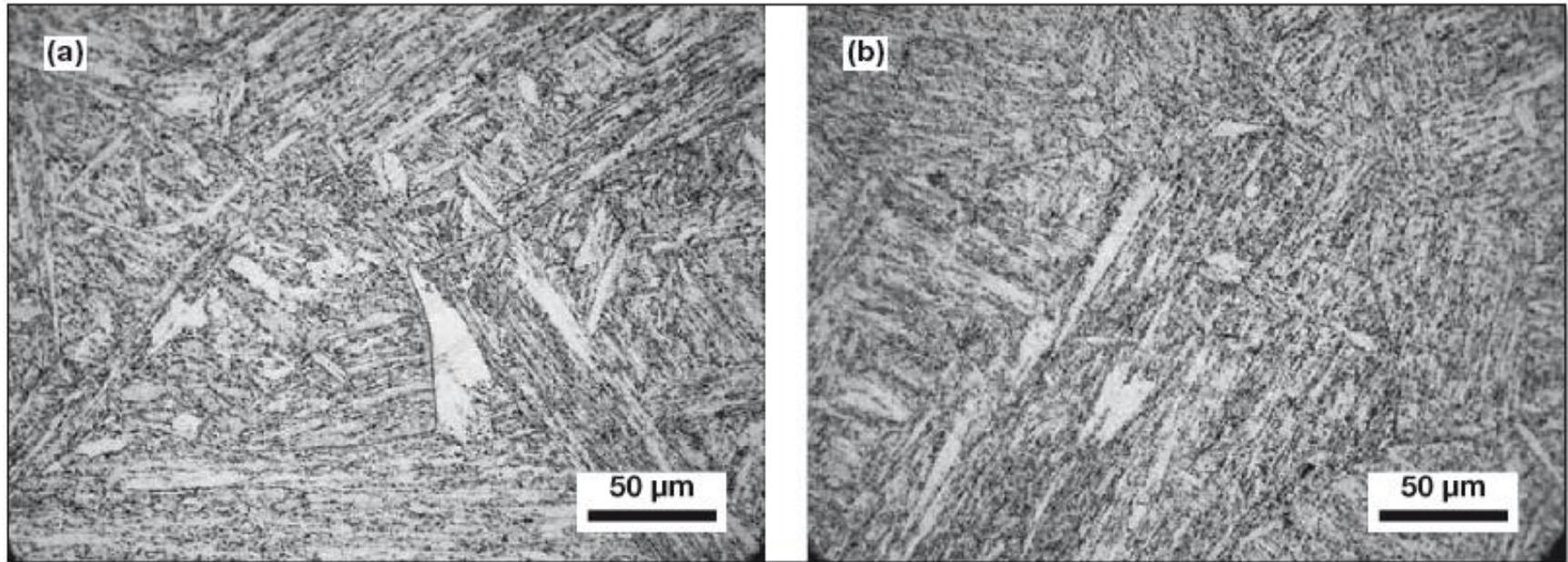


Figura 16.2(a)

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

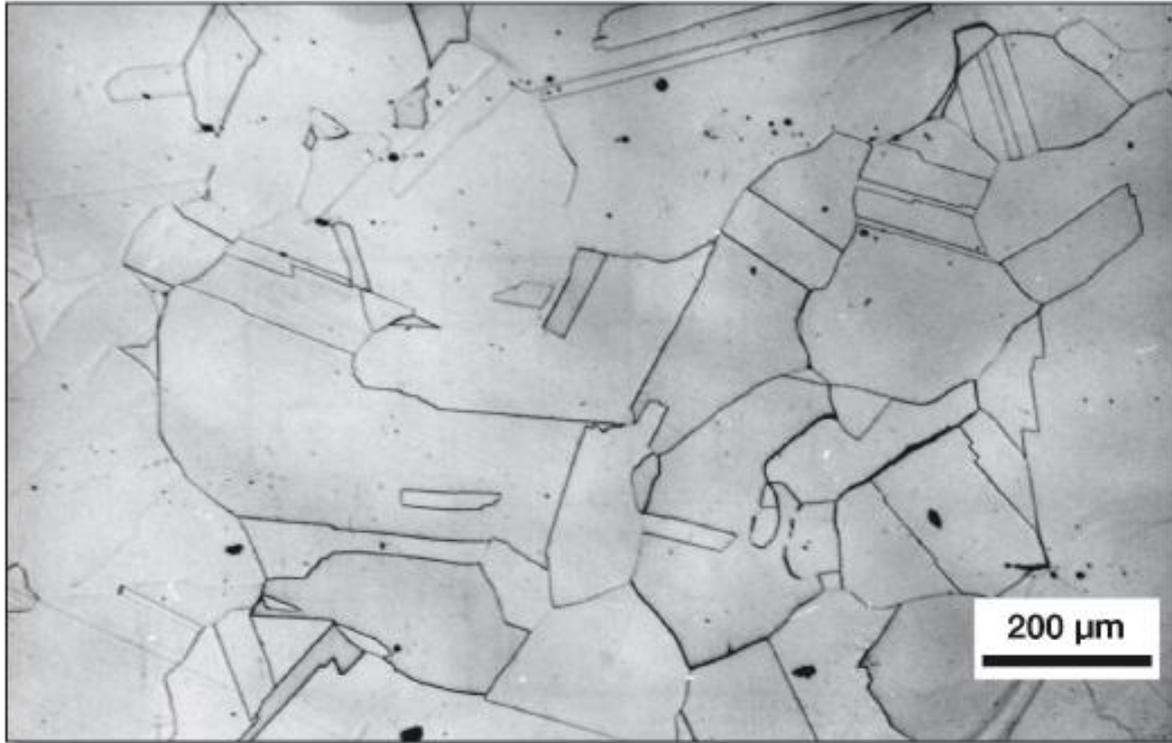


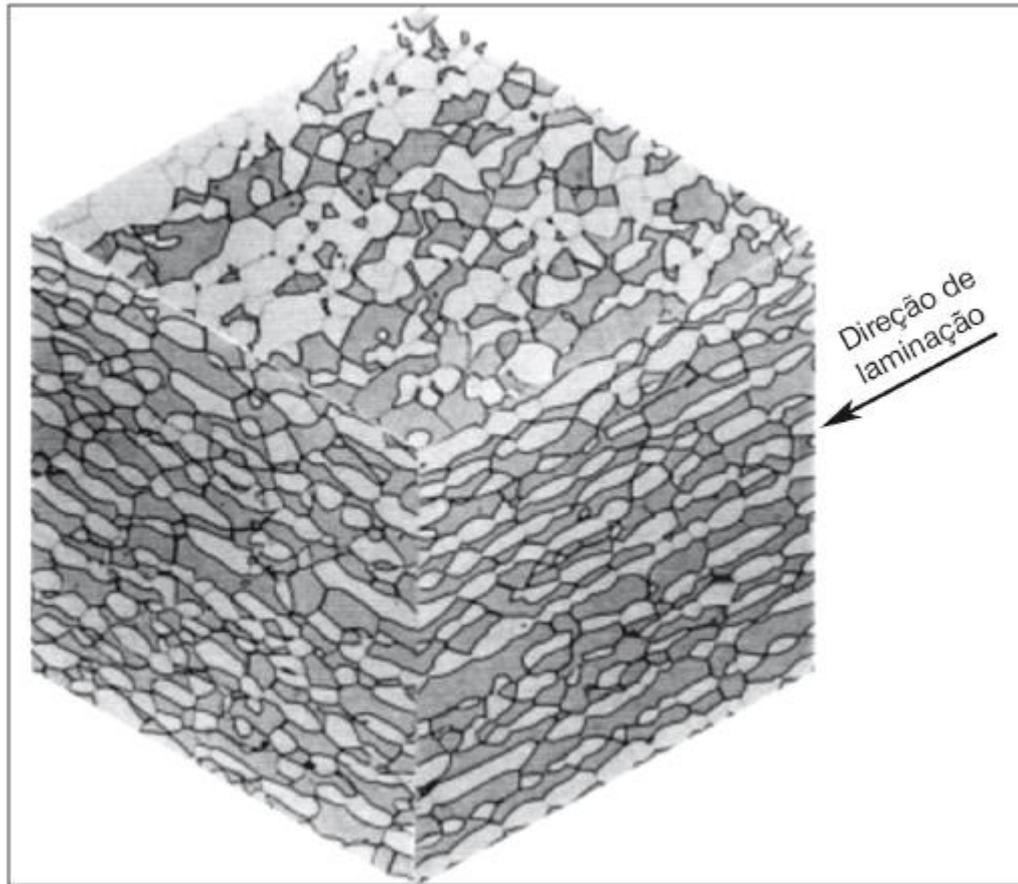
Figura 16.12
Aço austenítico W.Nr. 1.4439 forjado e solubilizado. Austenita, tamanho de grão austenítico ASTM 2-4.

(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) HNO₃. Cortesia A Ramirez, LNILS, Campinas, SP, Brasil [23].

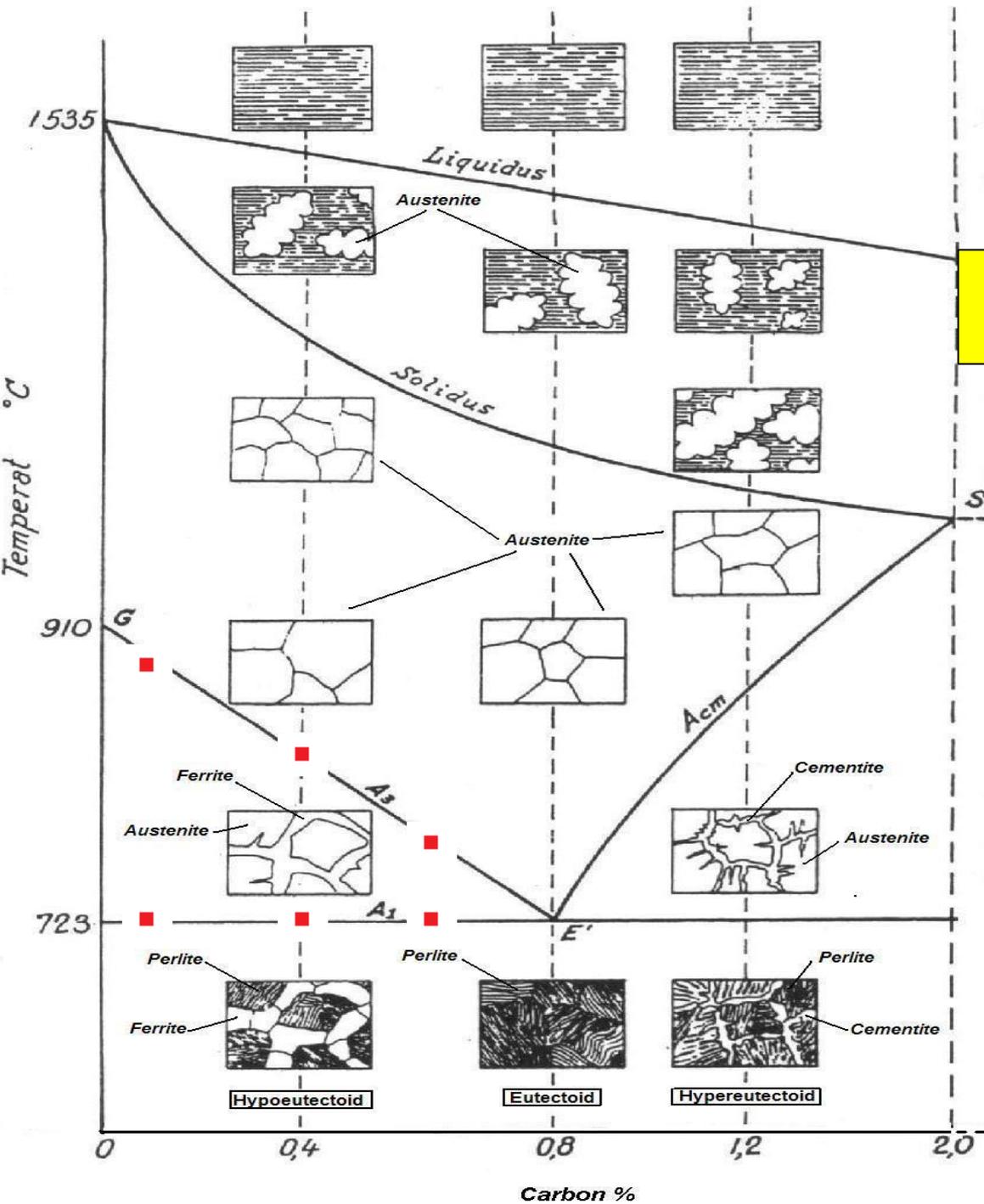


(ADAPTADO: COLPAERT)

TRATAMENTO TÉRMICOS DOS AÇOS NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO

TRATAMENTO TÉRMICOS

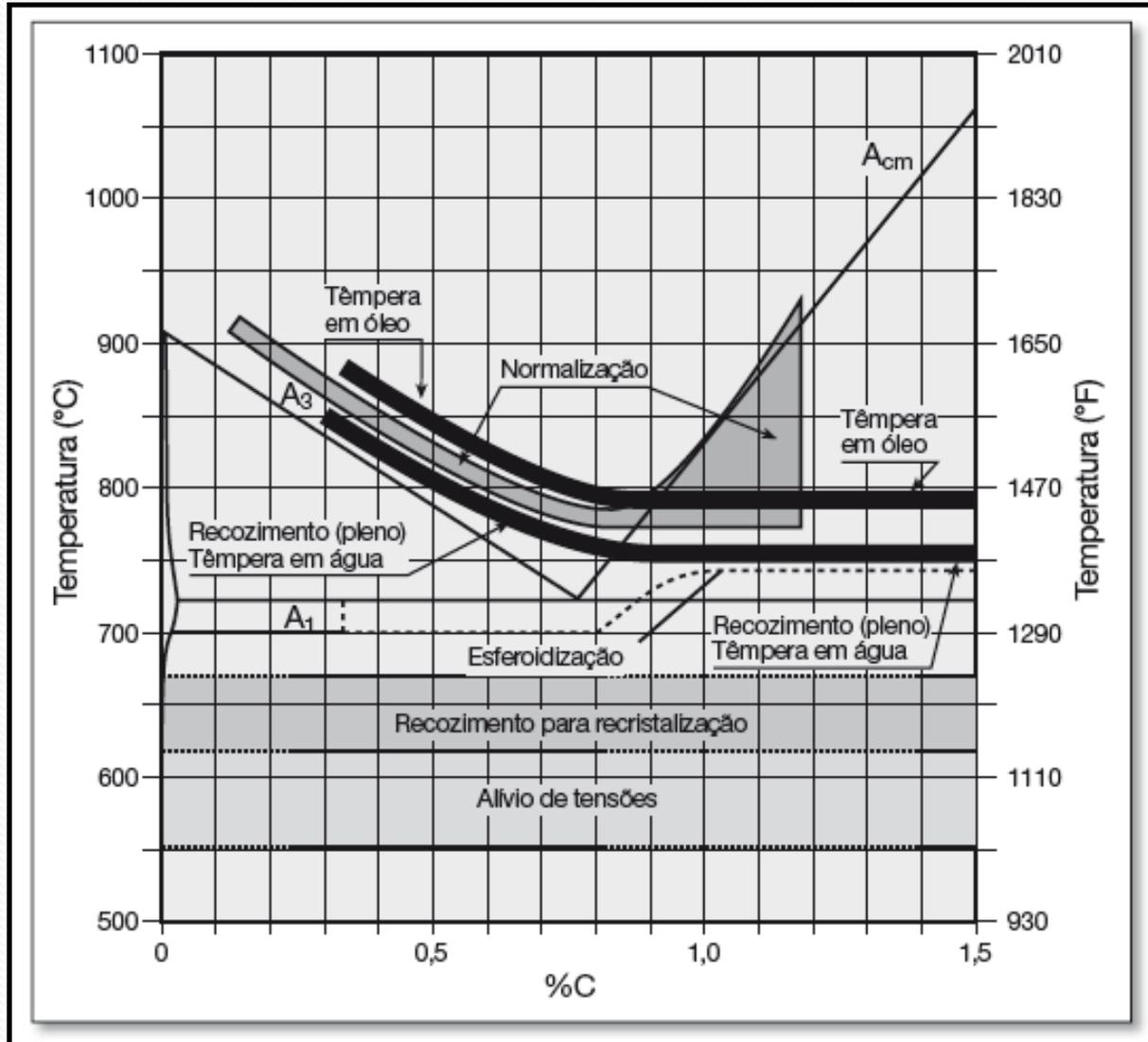
- **ALTERAM A MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES;**
- **ADEQUAÇÃO AOS PROJETOS;**
- **FACILITAR OU VIABILIZAR PROCESSOS DE FABRICAÇÃO;**



ZONA CRÍTICA

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

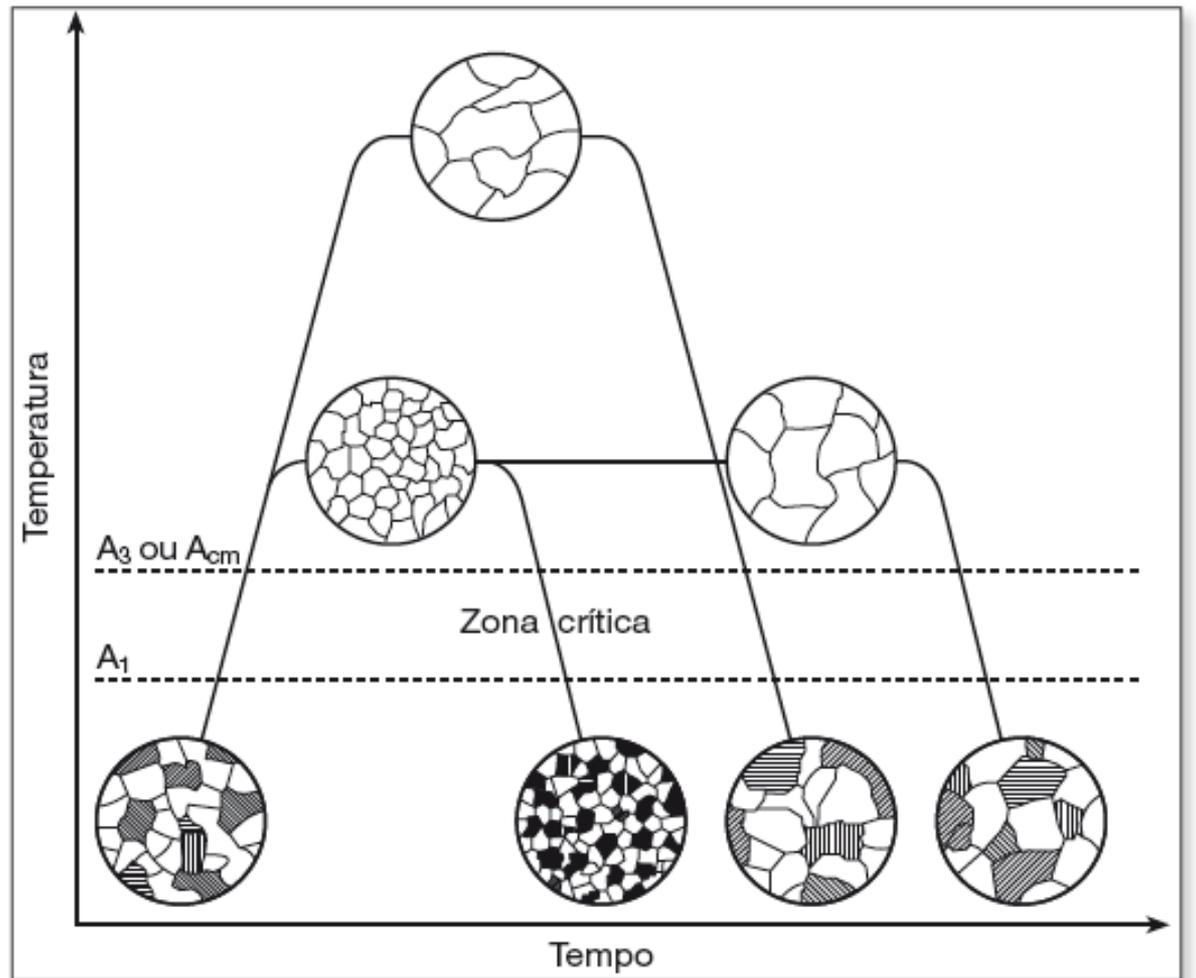
TEMPERATURAS DE AUSTENITIZAÇÃO



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.



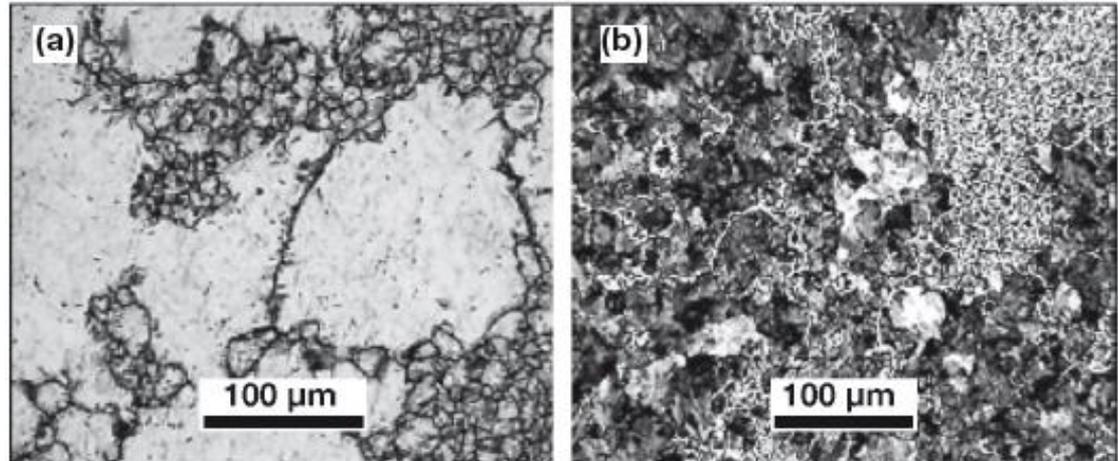
TEMPO DE “ENCHARQUE”: 1 HORA POR POLEGADA, ATÉ 2” E MAIS 15 MINUTOS A CADA POLEGADA EXCEDENTE;

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

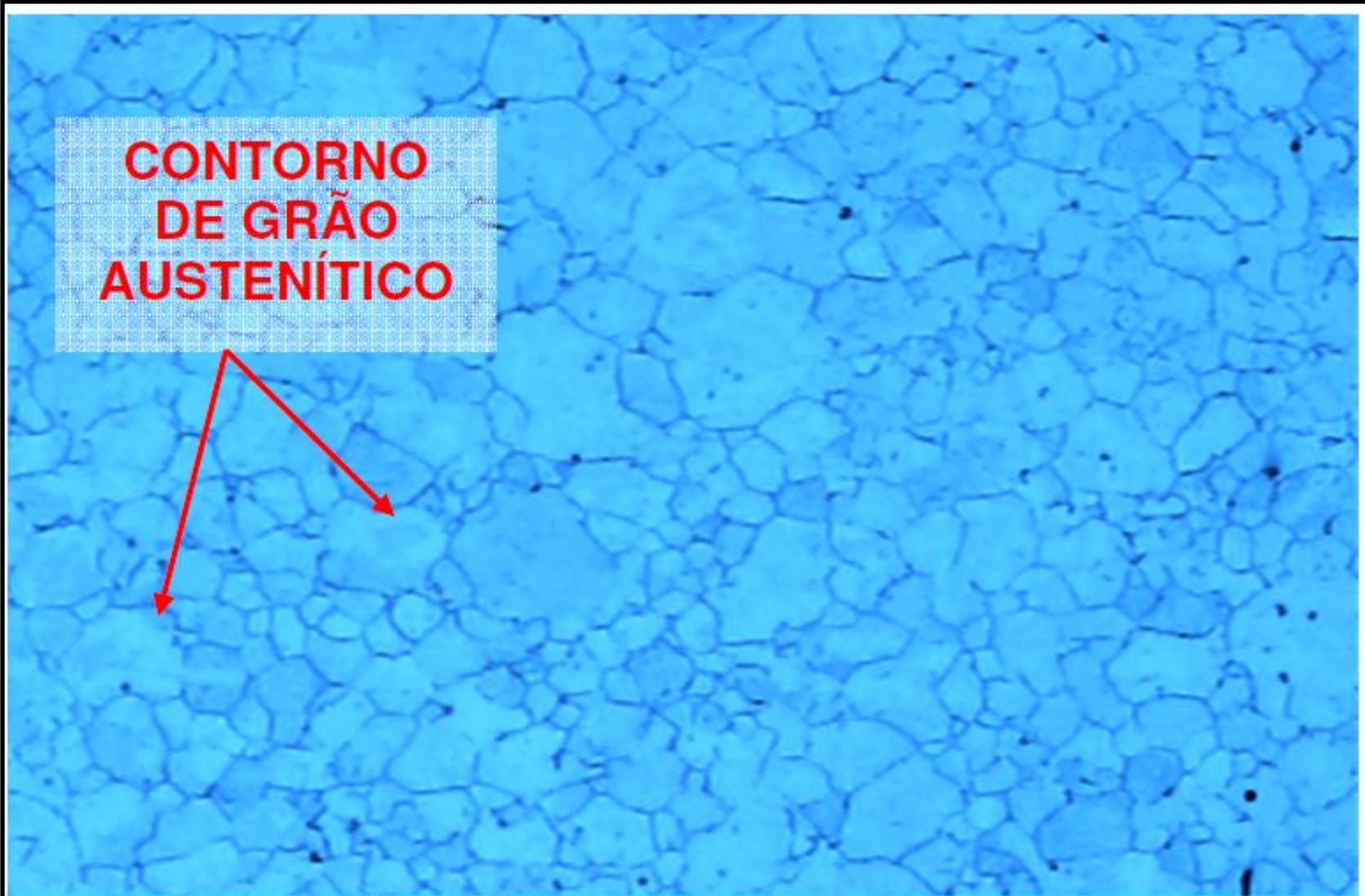


Figura3- Tamanho de grão austenítico com tamanhos heterogêneos.
.Aumento: 100X. Ataque: Picral 2%.

NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO PLENO

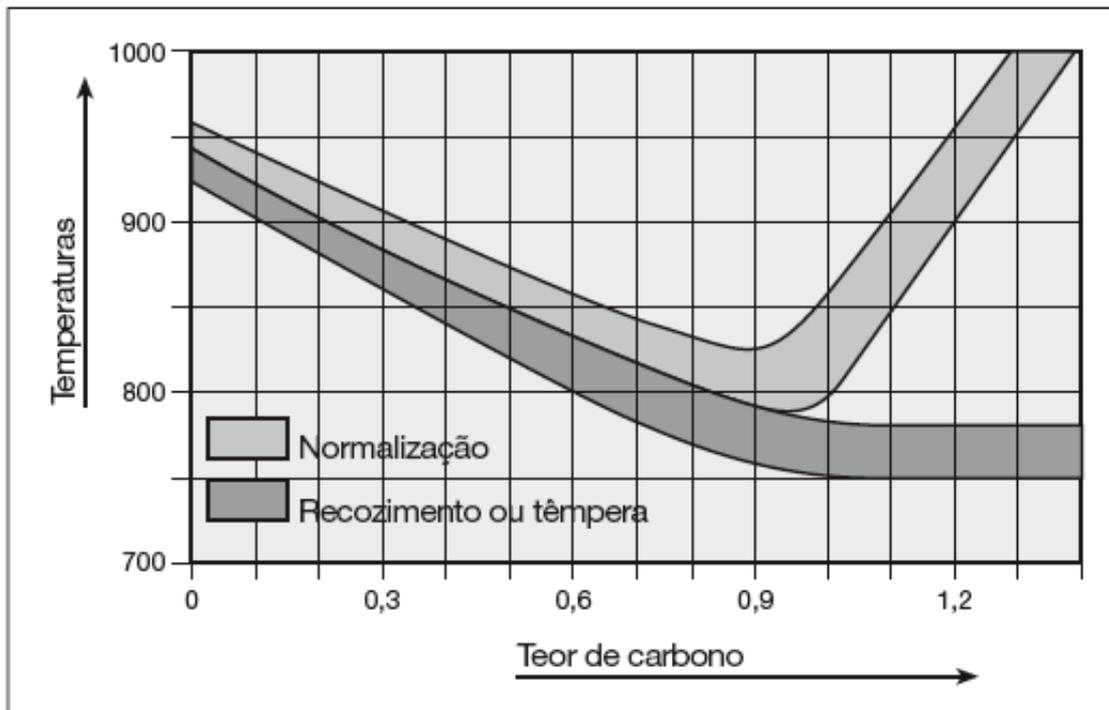


Figura 10.1

Temperaturas recomendadas, para 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.**

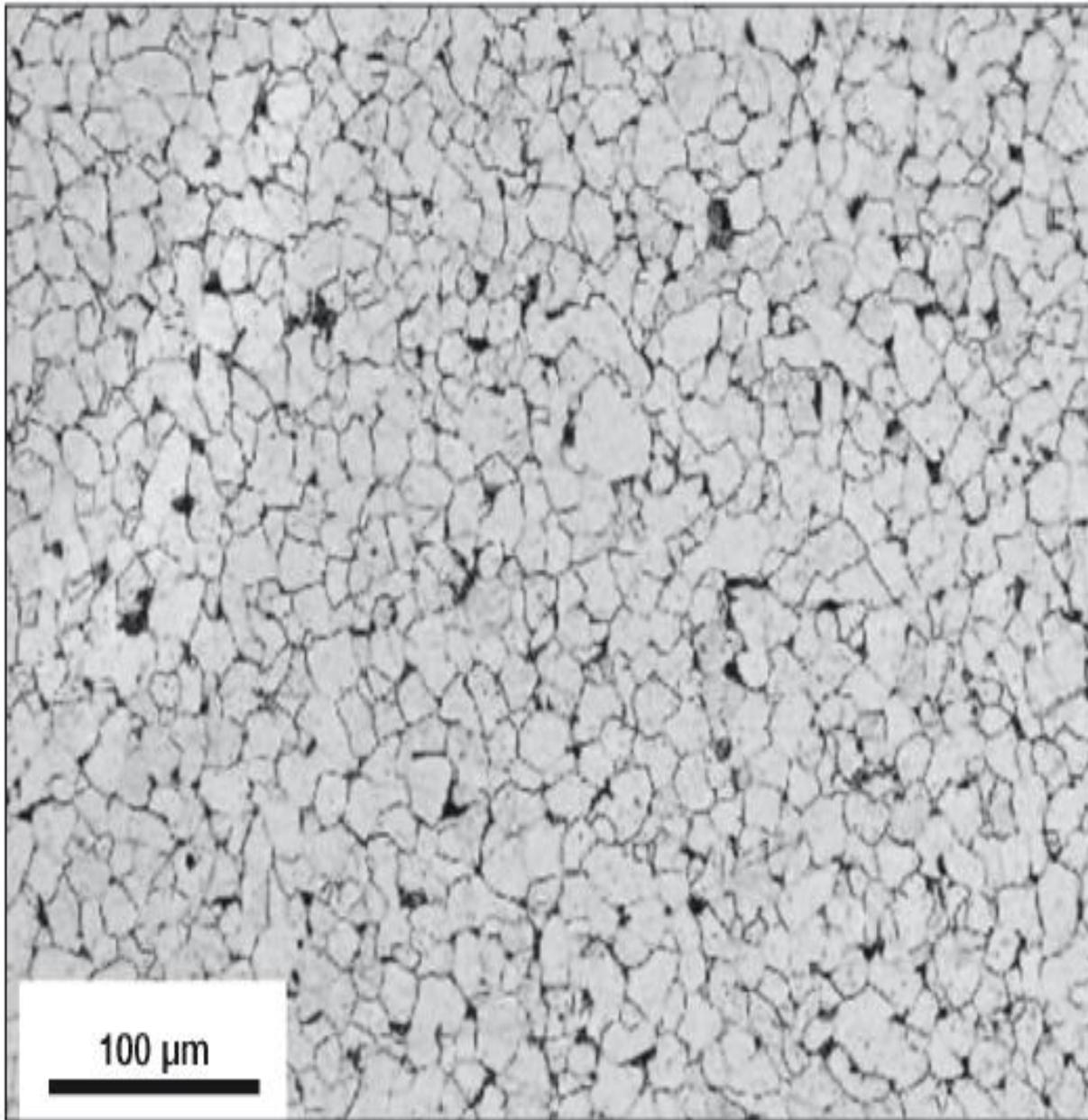


Figura 7.23

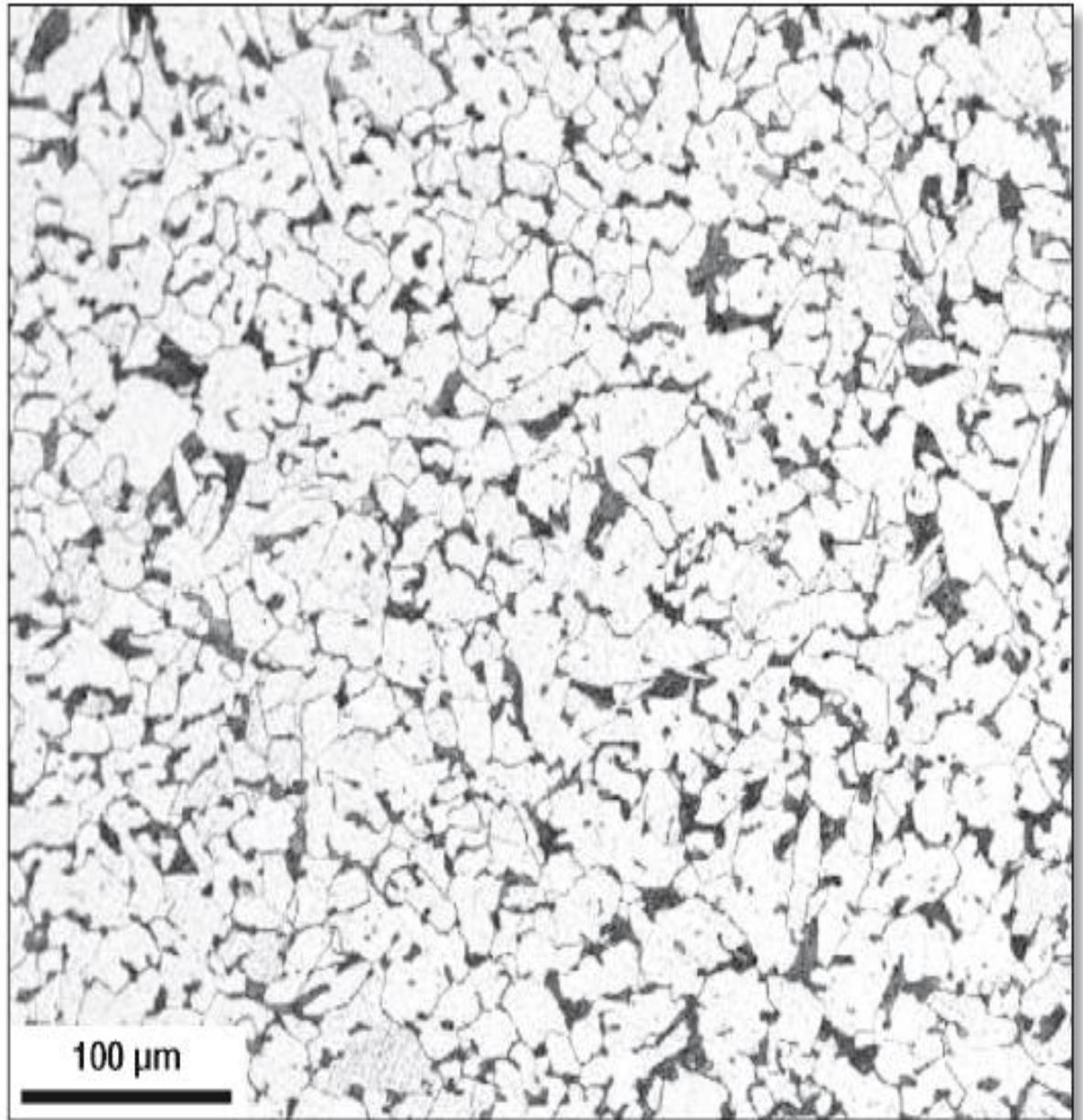
Seção transversal de fio-máquina de aço AISI 1005 normalizado. Ferrita e perlita (fração volumétrica $\approx 5\%$). Tamanho de grão ferrítico ASTM 9. Ataque: Nital 2%. Cortesia ArcelorMittal Aços Longos, Juiz de Fora, MG, Brasil.

(Colpaert)

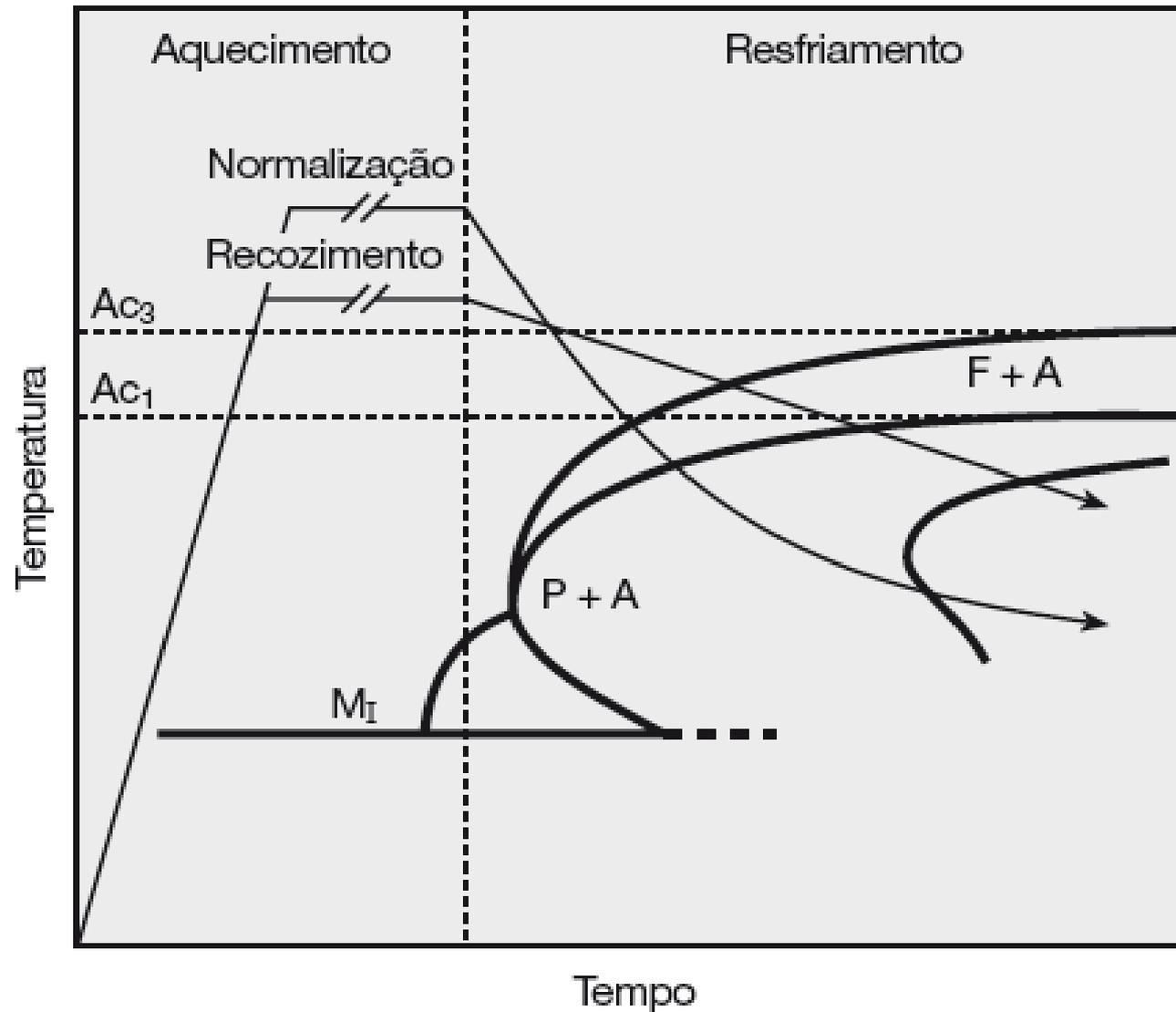
Figura 7.25

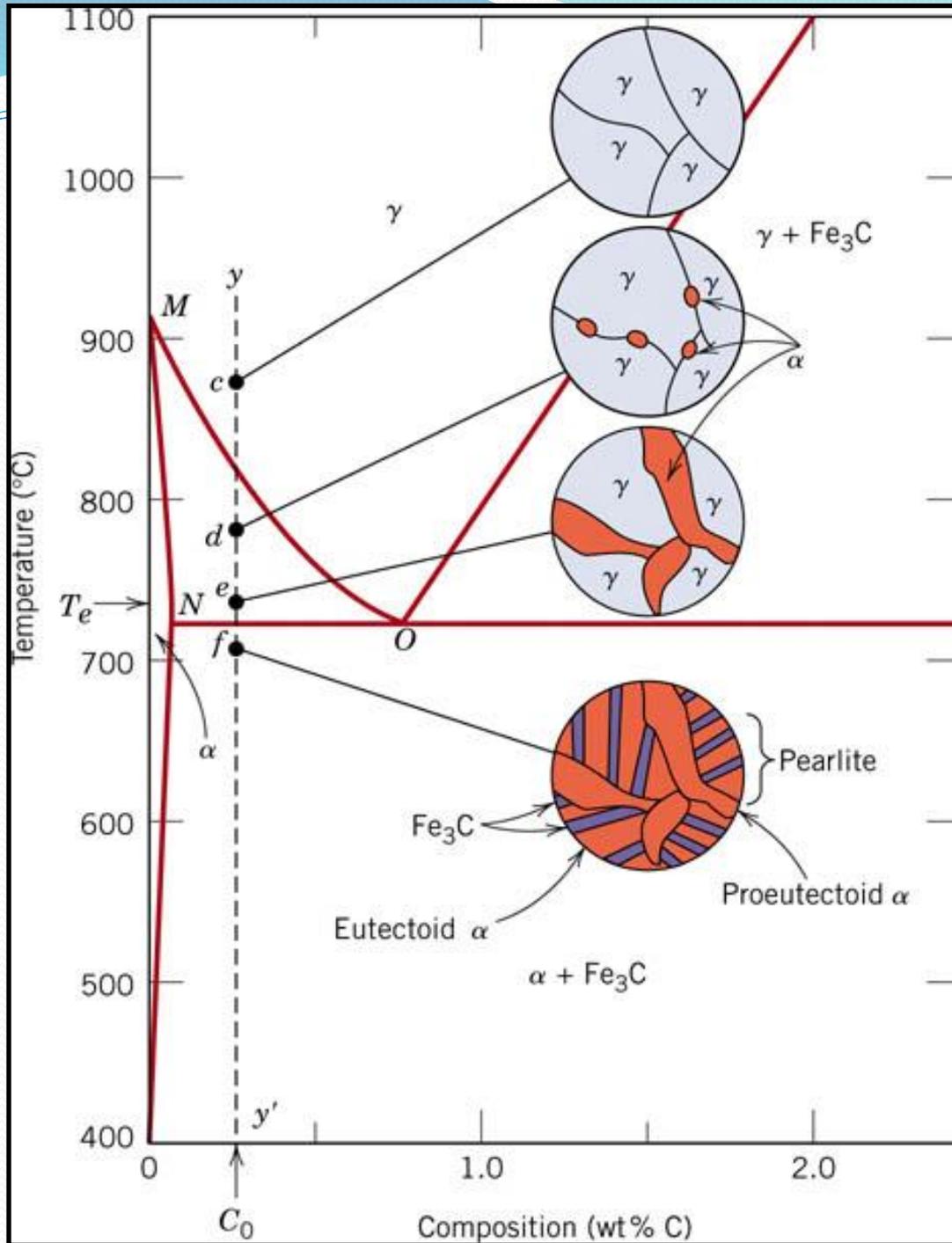
Seção transversal de fio-máquina de aço AISI 1010 normalizado. Ferrita e perlita (fração volumétrica $\approx 10\%$). Tamanho de grão ferrítico ASTM 8-9. Ataque: Nital 2%. Cortesia ArcelorMittal Aços Longos, Juiz de Fora, MG, Brasil.

(Colpaert)

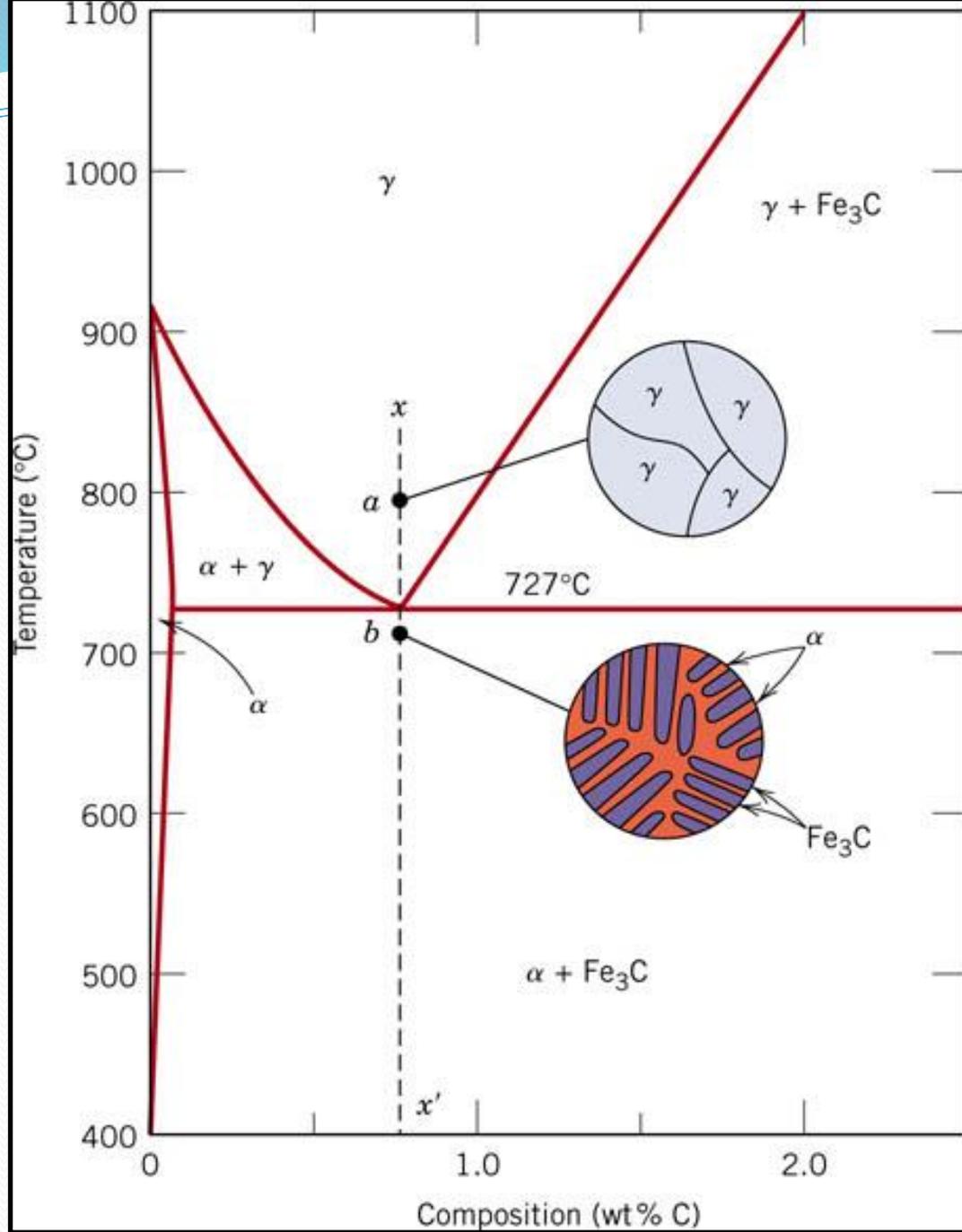


NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO PLENO



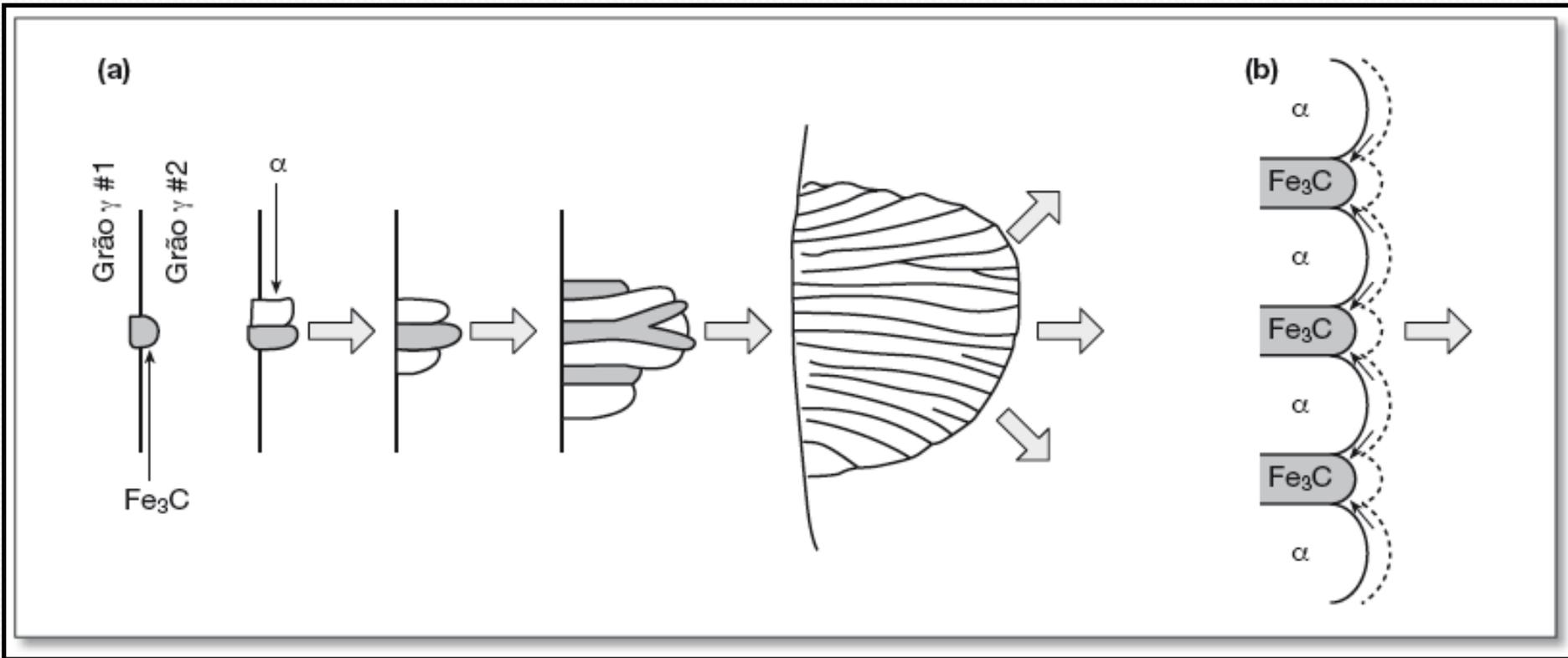


(Callister)



(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.

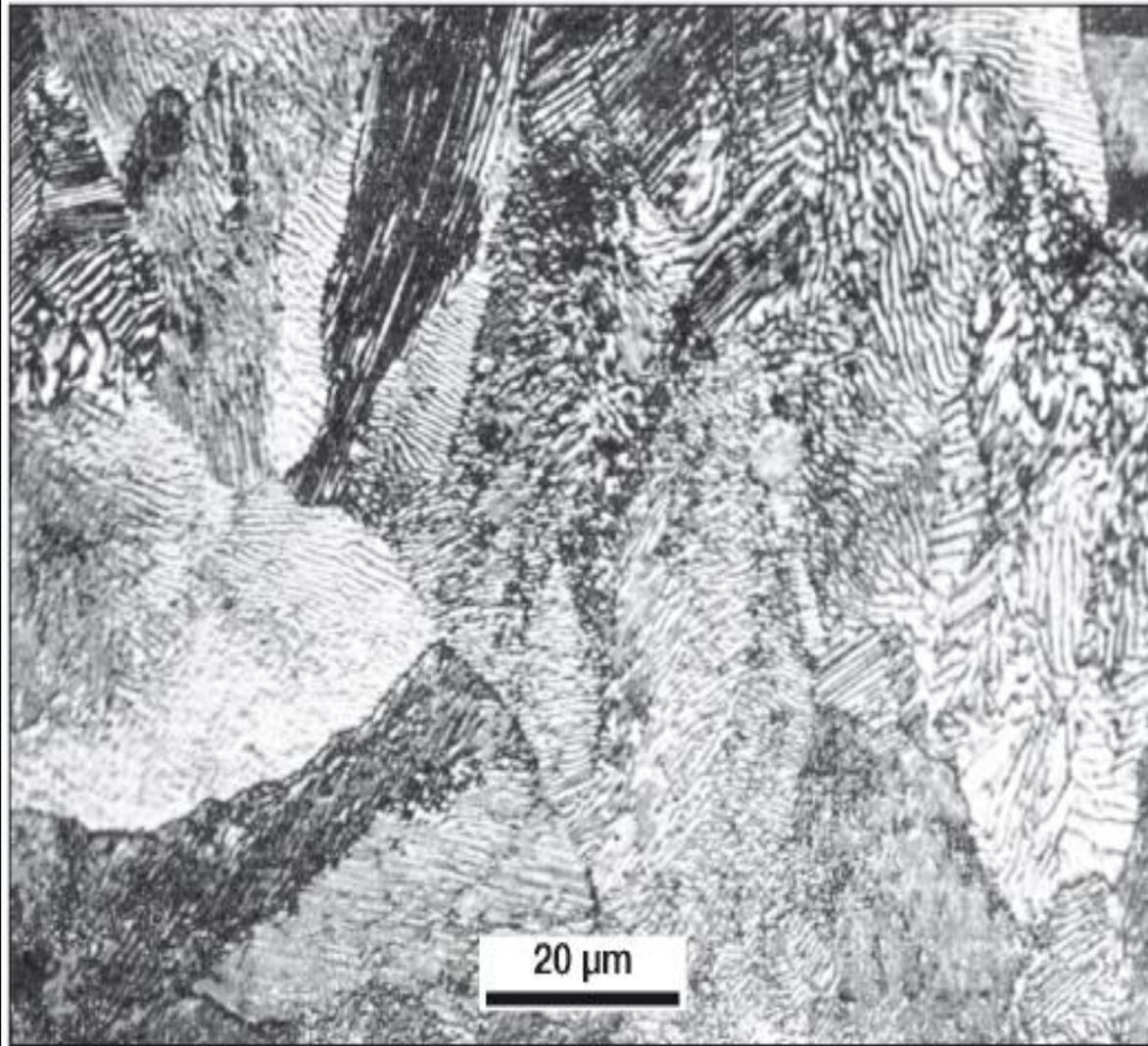


Figura 7.18

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

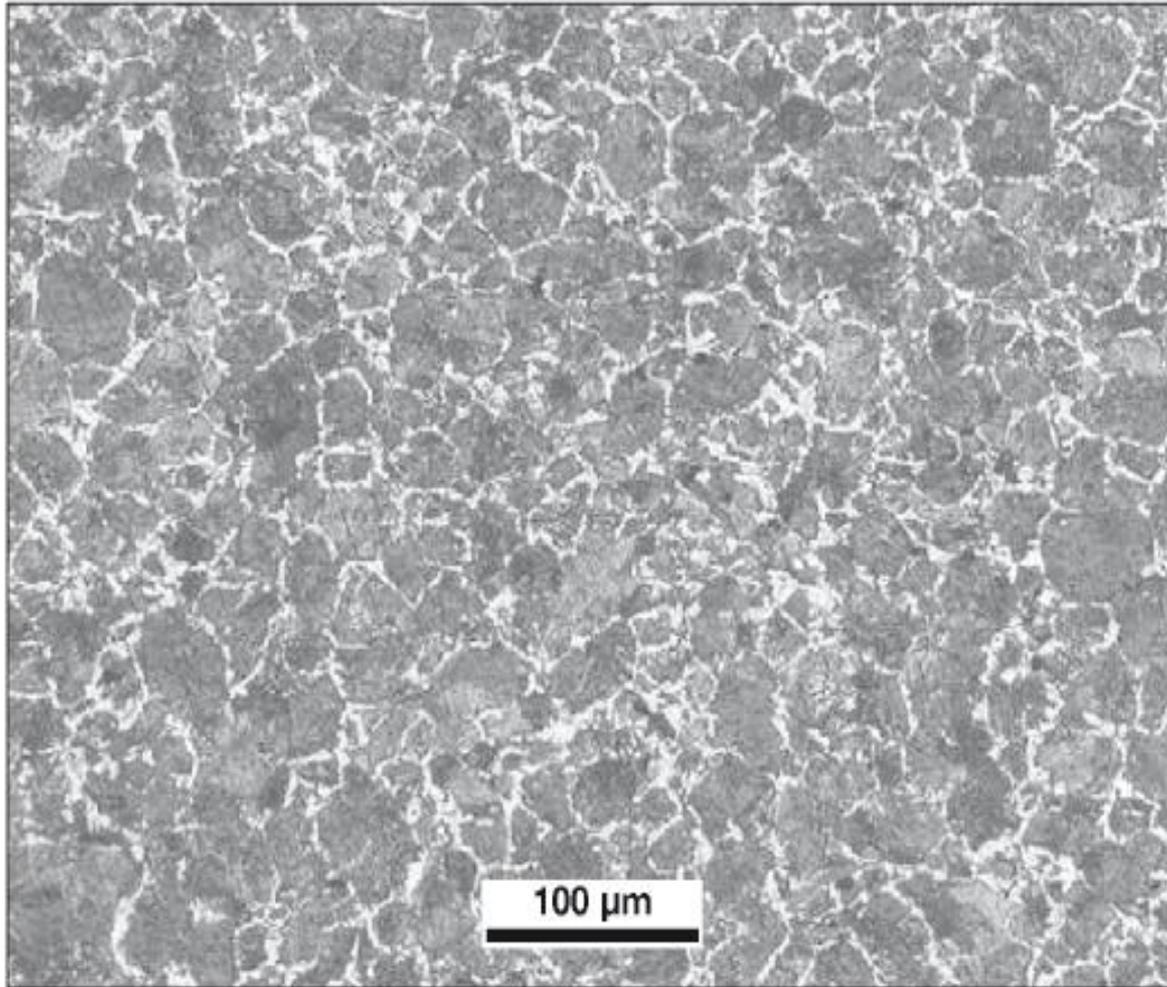
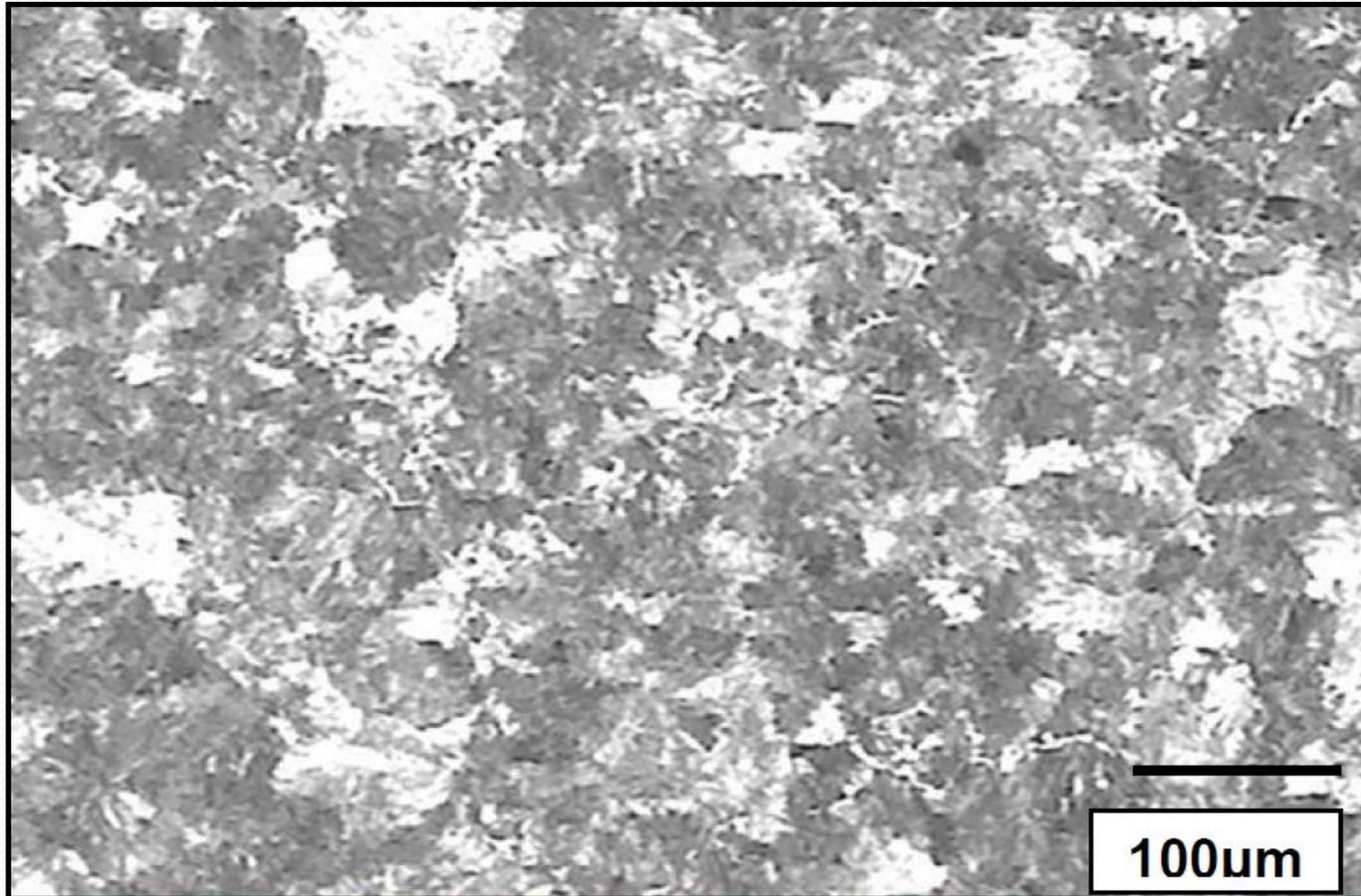


Figura 10.15

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

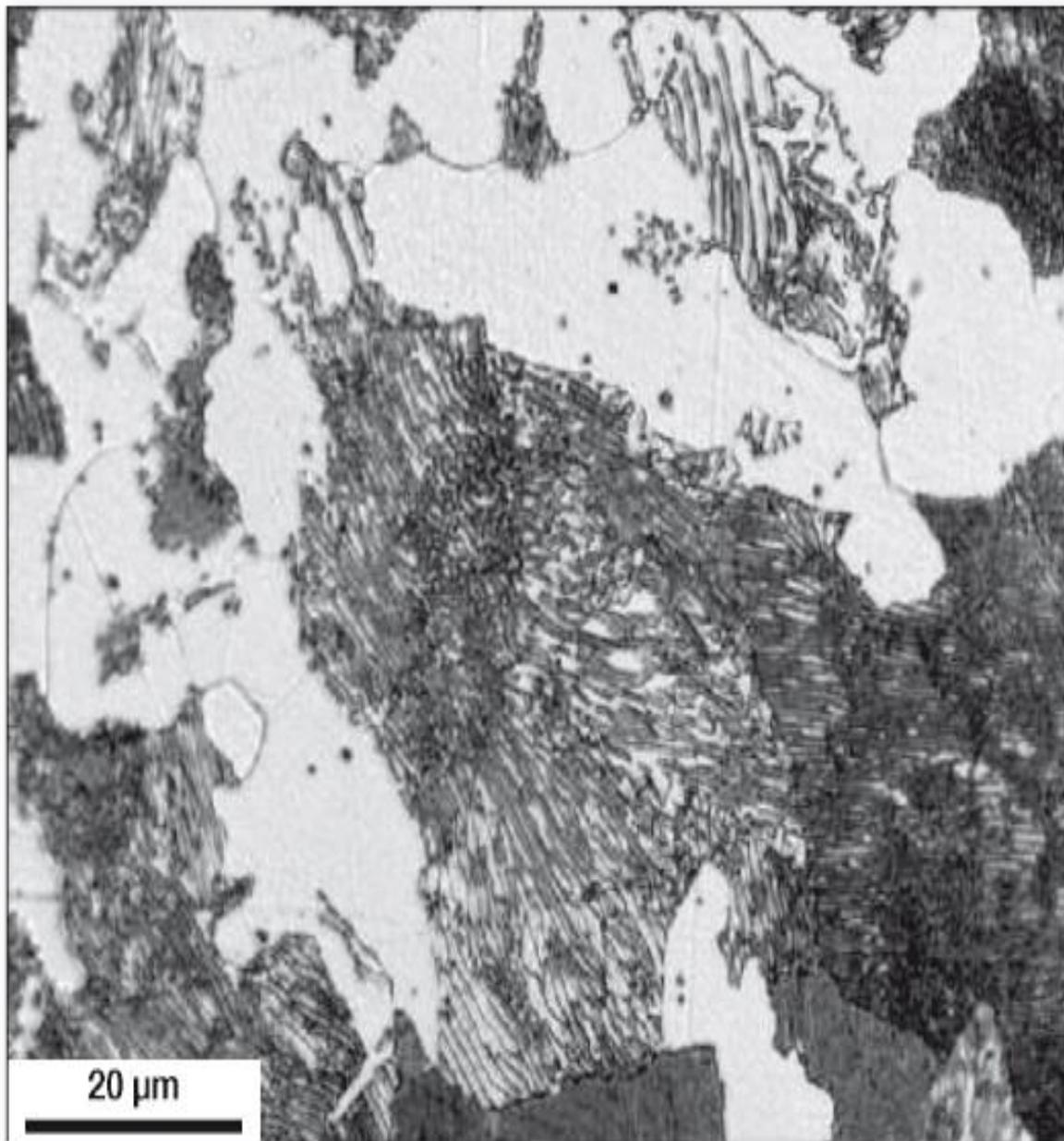


**AÇO SAE 4140
RECOZIDO:
FERRITA PRÓ-
EUTETÓIDE,
FERRITA
POLIGONAL,
PERLITA, TG 5
ASTM E 112**

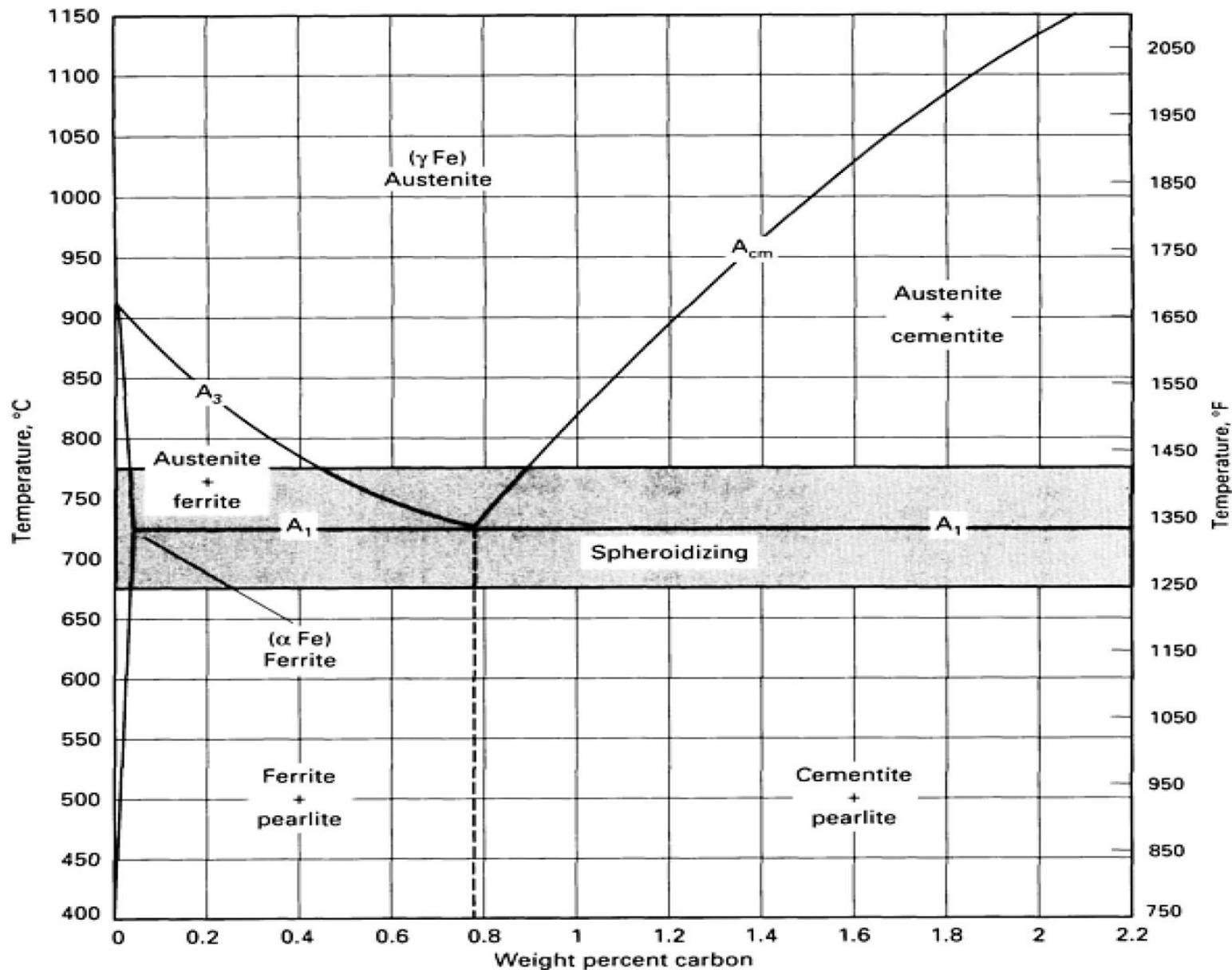
Figura 7.28

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

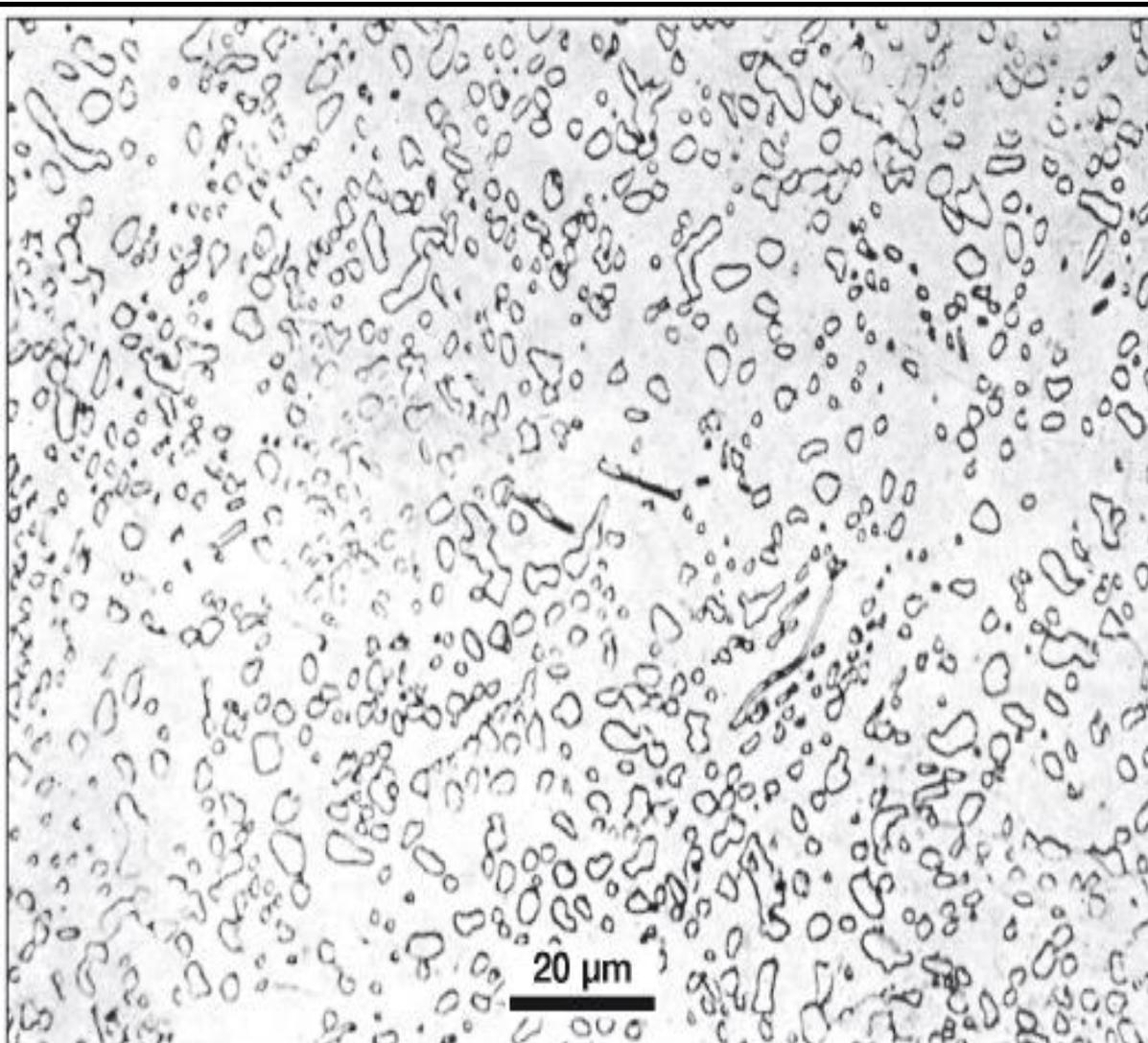


Figura 10.3

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.

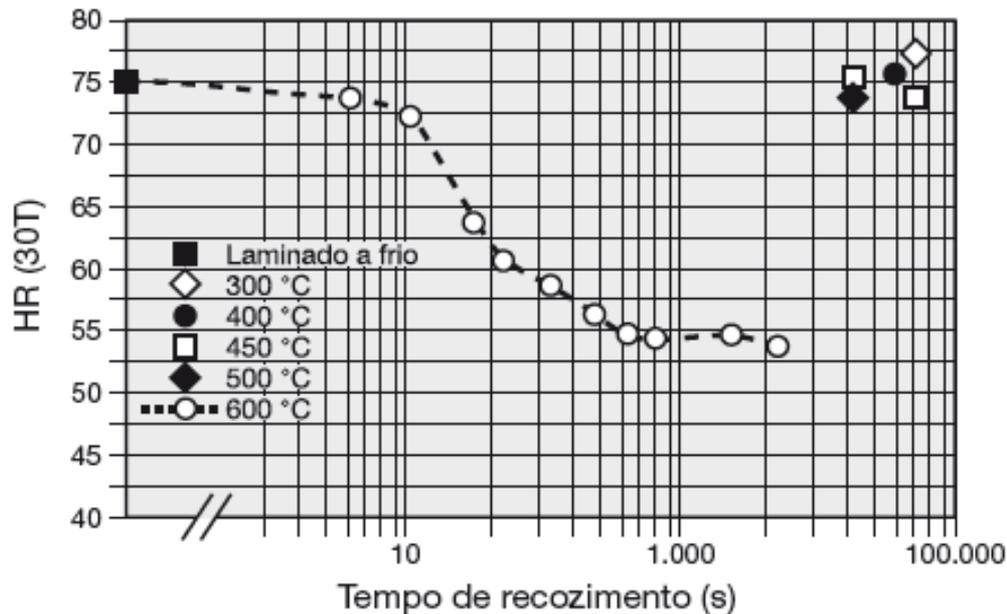
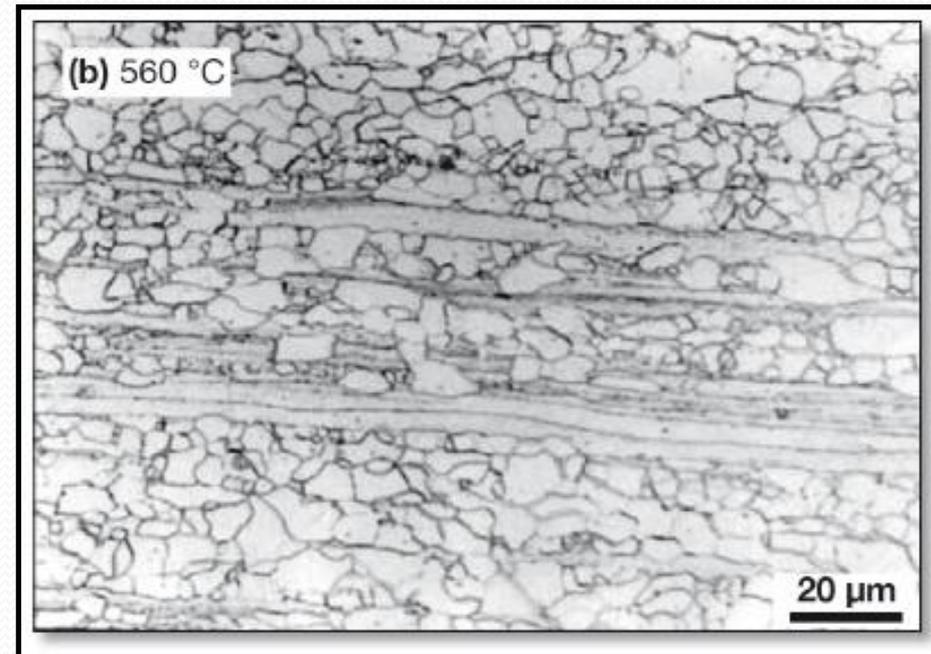
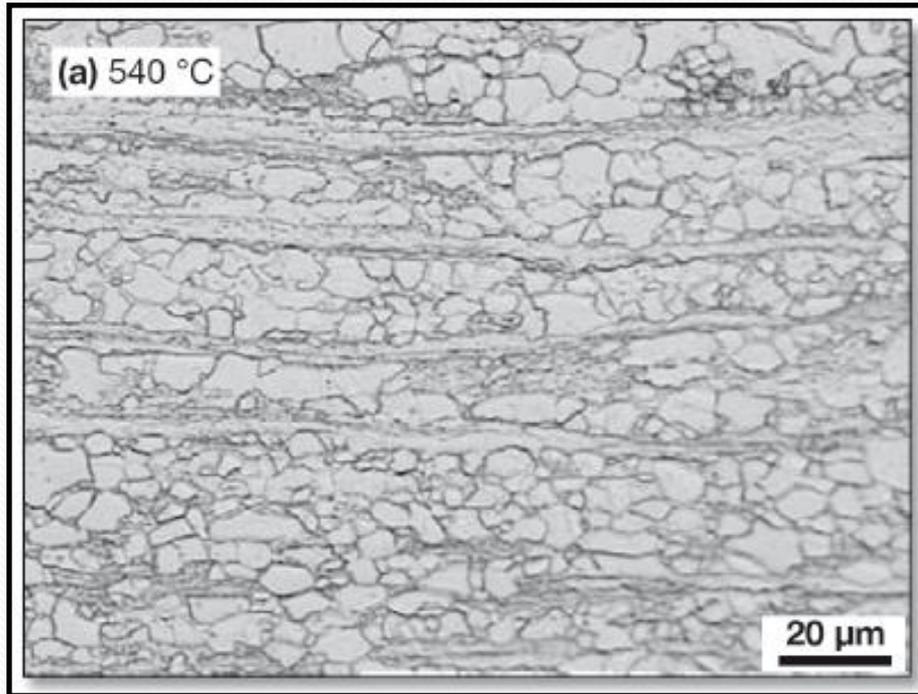


Figura 12.15

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 °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