

# **SMM0193 – ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS I**

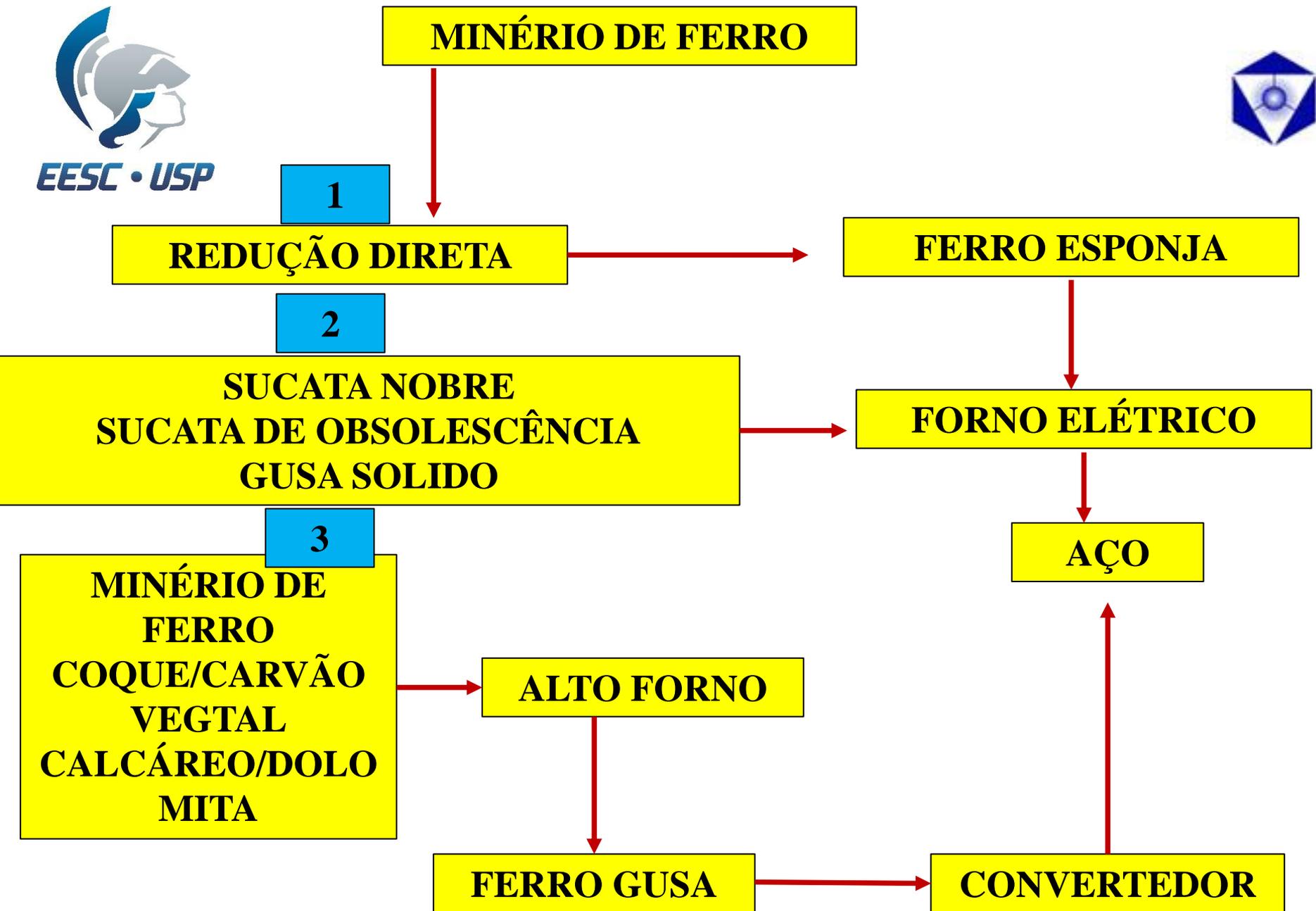
**Prof. Dr. José Benedito Marcomini**

**FABRICAÇÃO E NOMENCLATURA DE AÇOS**  
**DIAGRAMA Fe-Fe<sub>3</sub>C**  
**TRATAMENTOS TÉRMICOS**



# **FABRICAÇÃO DO AÇO E SUA CLASSIFICAÇÃO**

**Produção mundial de aço em 2023  
1,888 bilhão de tons**



# ALTO-FORNO

COQUE



HEMATITA  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$



MAGNETITA ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

WUSTITA ( $\text{FeO}$ )



## O minério de ferro utilizado para redução é o $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Hematita) e $\text{FeO}$ (Wustita)



5mm<Pelotas<18mm



5mm<Sinter<50mm



6mm< Minério <40mm  
granulado



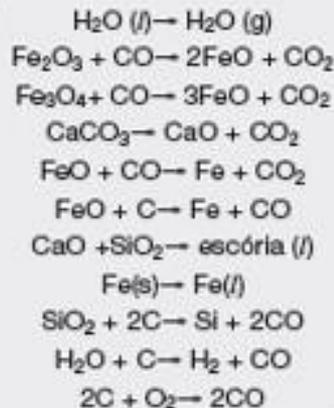
# ALTO-FORNO



Carga:  
Minério de ferro  
Coque ou carvão vegetal  
Escorificantes

Gás do alto-forno  
4,04 mol N<sub>2</sub>  
1,31 mol CO<sub>2</sub>  
1,31 mol CO  
0,24 mol H<sub>2</sub>O  
0,04 mol H<sub>2</sub>

Contendo:  
0,5 mol Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
0,1 mol CaCO<sub>3</sub>  
0,12 mol SiO<sub>2</sub>  
2,71 mol C  
0,2 mol H<sub>2</sub>O



Sopro  
0,08 mol H<sub>2</sub>O  
1,075 mol O<sub>2</sub>  
4,044 mol N<sub>2</sub>

**ESCÓRIA**

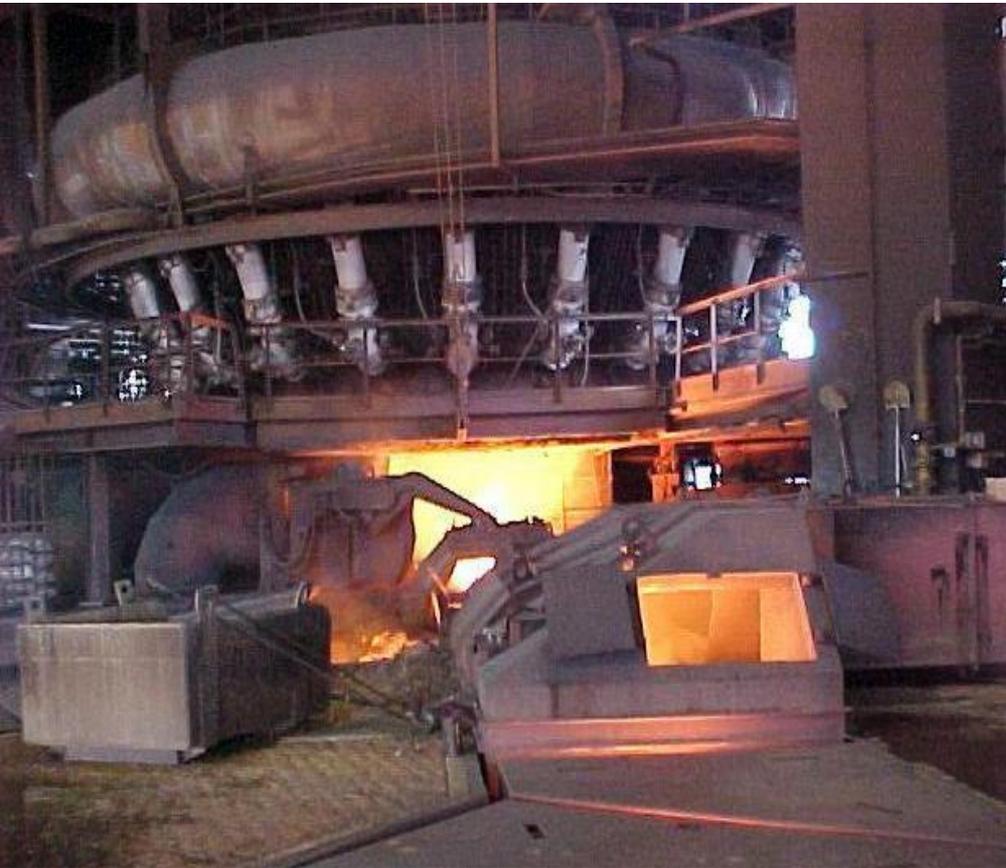
Escória  
0,1 mol CaO  
0,1 mol SiO<sub>2</sub>

**FERRO GUSA**

Ferro-gusa  
1 mol Fe  
0,02 mol Si  
0,19 mol C



# SOLEIRA DO ALTO-FORNO



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





## **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%**

# CONVERSÃO DO FERRO GUSA EM AÇO OS CONVERTEDORES

## DESCARREGAMENTO DO GUSA PARA OS CONVERTEDORES

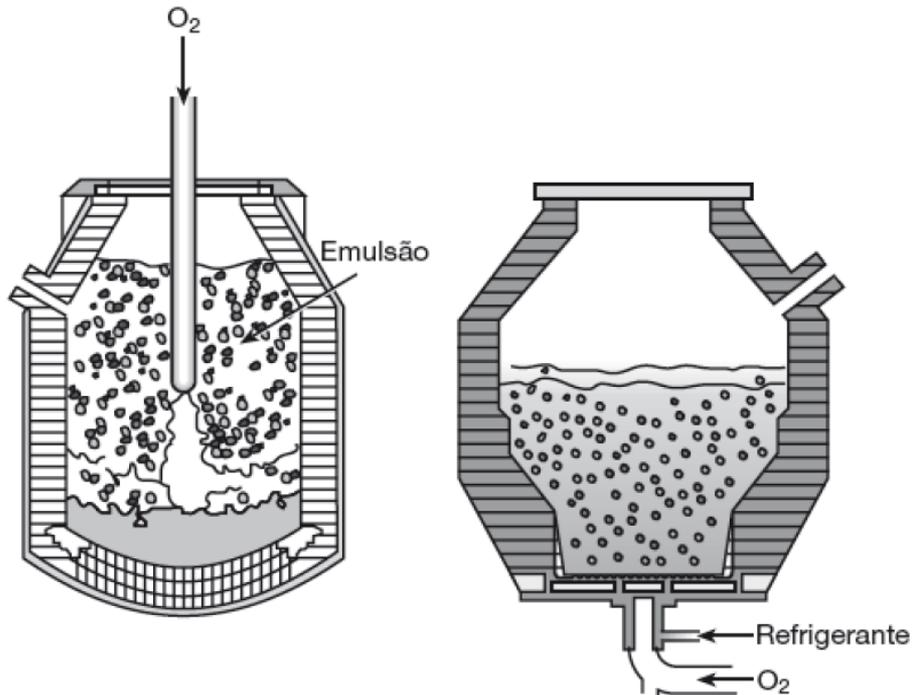


# CONVERSÃO DO GUSA EM AÇO

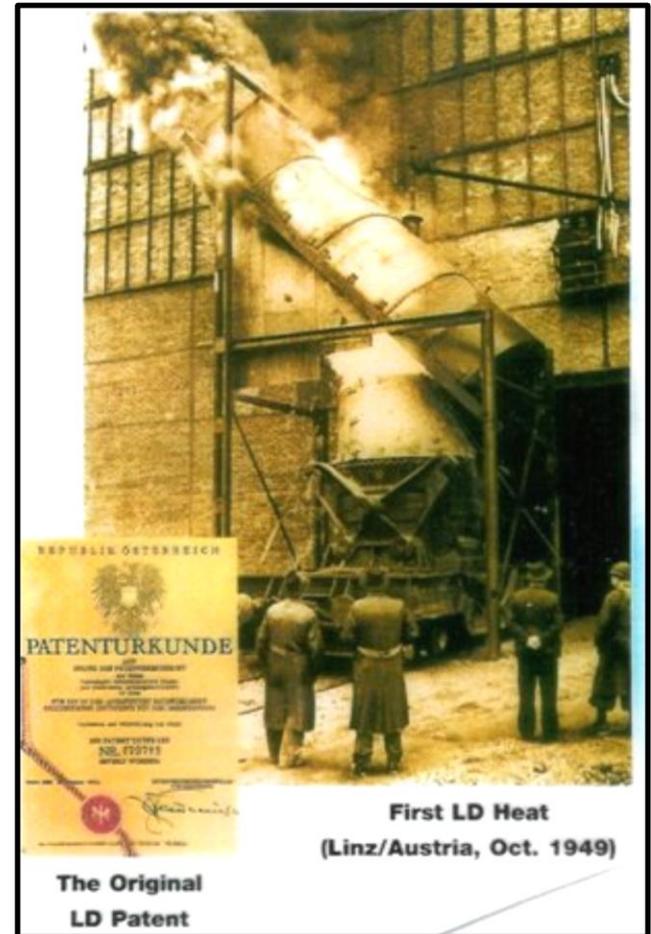
## CONVERSOR LD

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

D : DONAWITZ NA ÁUSTRIA – 1953.



(COLPAERT)



## AÇO EFERVESCENTE

# AÇO EFERVESCENTE-ACALMAR-DESOXIDAR

**MINÉRIO/SUCATA/COQUE/REFRATÁRIO  
(S,P,Si)**

**CONVERSORES  
(O<sub>2</sub>)**

**TRATAMENTOS PARA ACALMAR  
(Ca,Al,Mn,Mg)**

**INCLUSÕES NÃO METÁLICAS: ENDÓGENAS E EXÓGENAS  
ASTME 45**

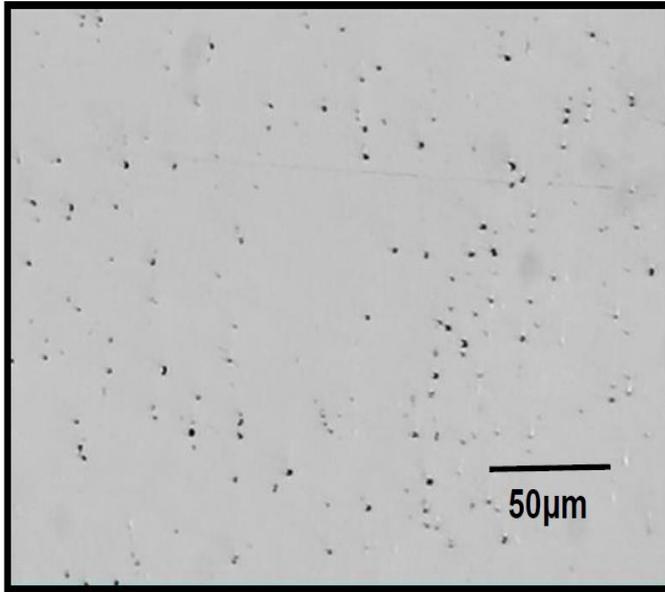
**TIPO A  
SULFETOS  
(Mn,Fe,Ca)**

**TIPO B  
ALUMINA  
(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

**TIPO C  
SILICATOS  
(SiO<sub>2</sub>)**

**TIPO D  
ÓXIDOS GLOBULARES  
(Mn,Fe,Ca)**

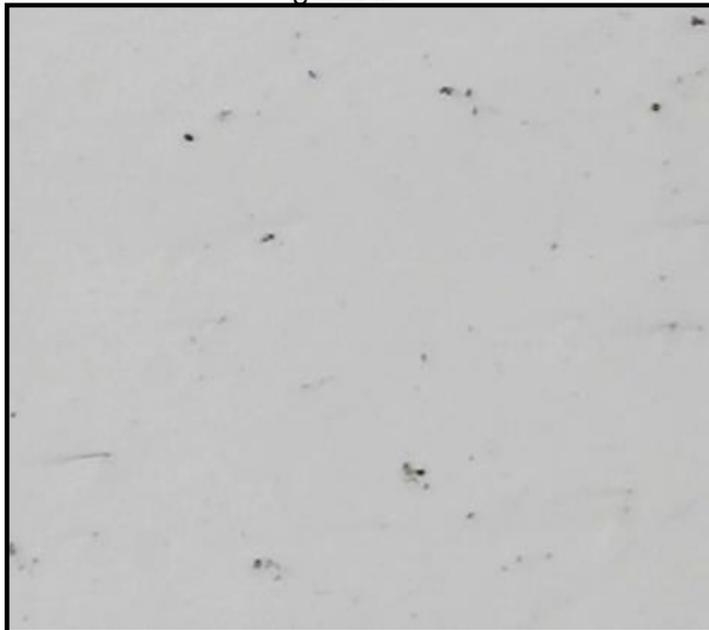
(MARCOMINI)



Amostra 3. Inclusões de óxido globular (tipo D), nível 3, série fina e grossa.



INCLUSÕES DE SULFETO-  
1000X



análise de microinclusões do CP3. Tipos A,B, nível1, série fina

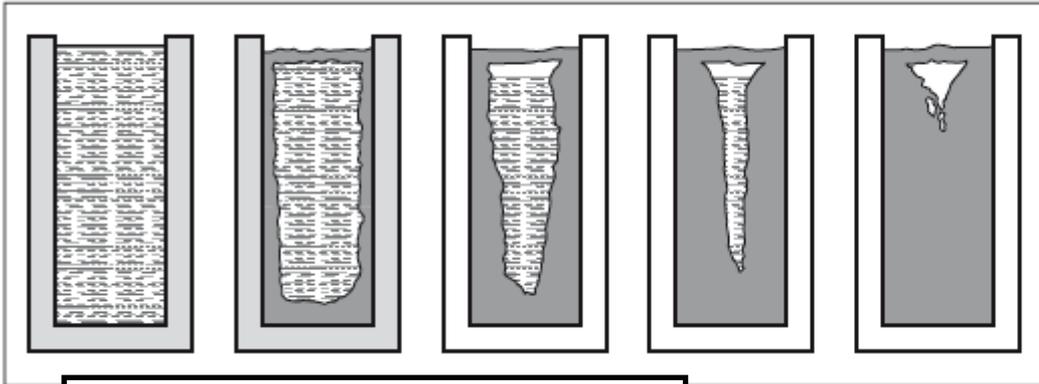
# ACIARIA ELÉTRICA



# SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONVENCIONAL



# SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONVENCIONAL

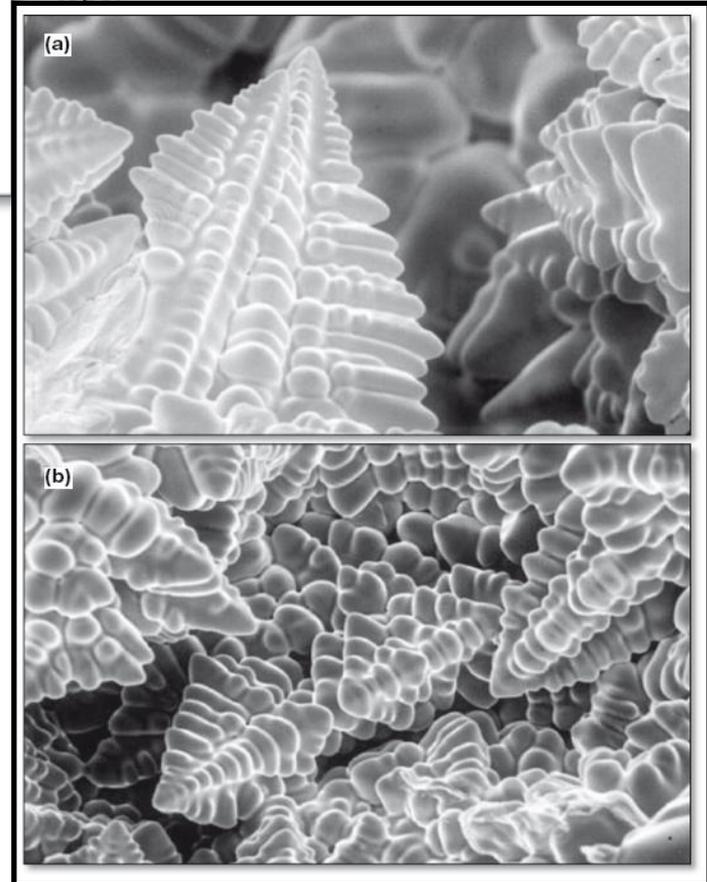


**Figura 8.4**

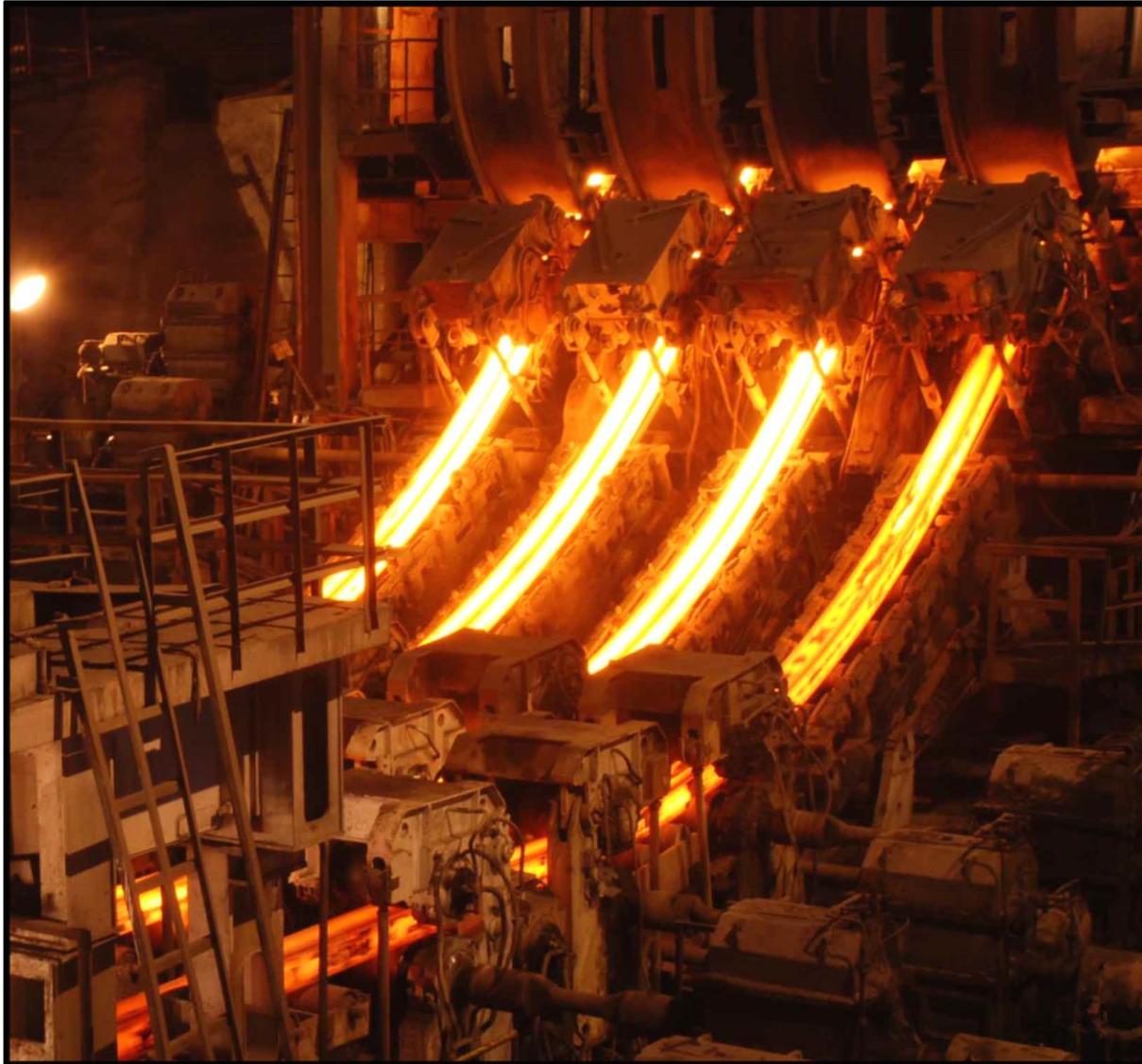
Progresso da solidificação em um molde metálico em que a extração de calor se passa, principalmente, pelas laterais e pela base e, de forma secundária, pelo topo.



*(Colpaert)*



# SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO

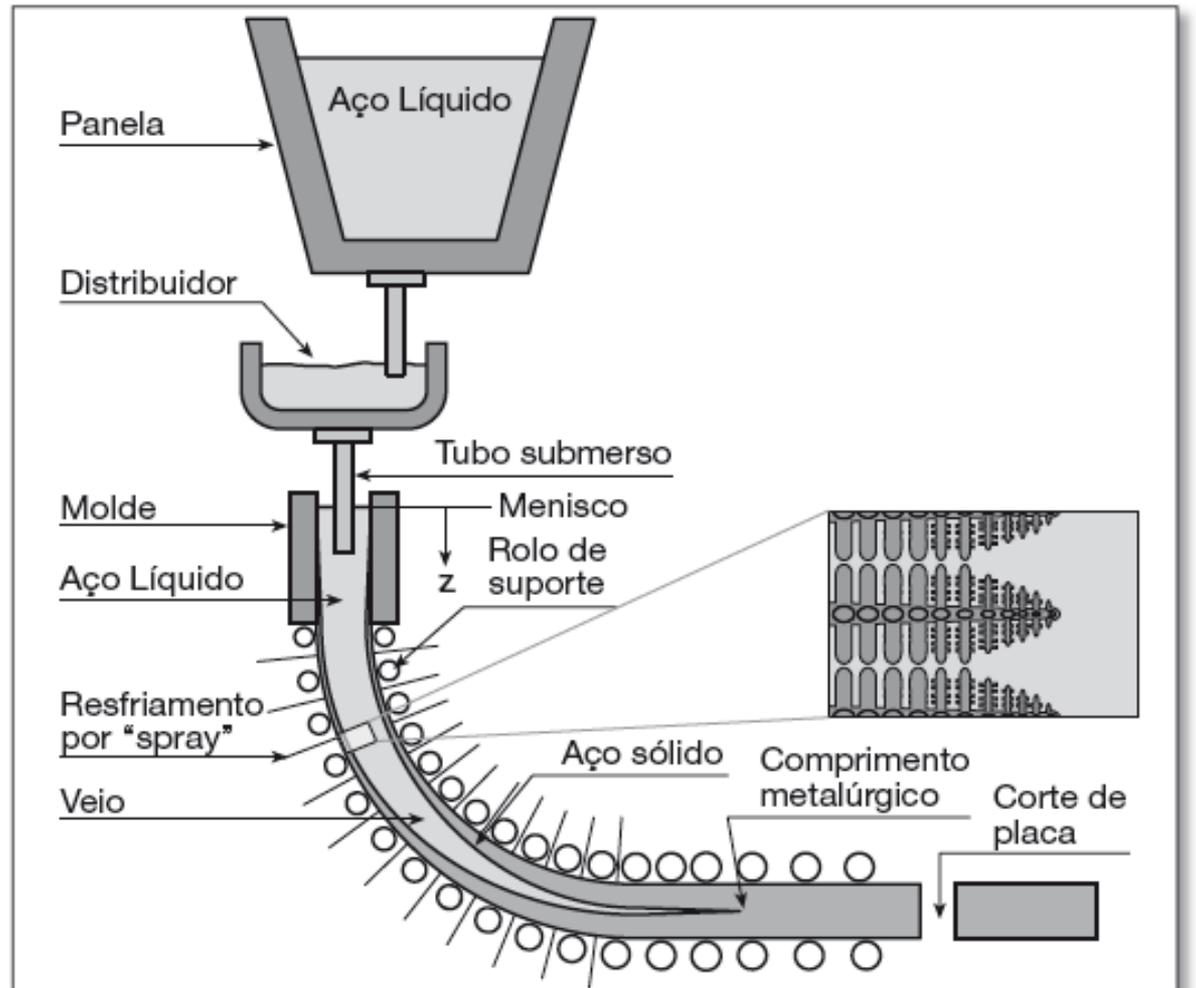


# SOLIDIFICAÇÃO POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO

**Figura 8.48**

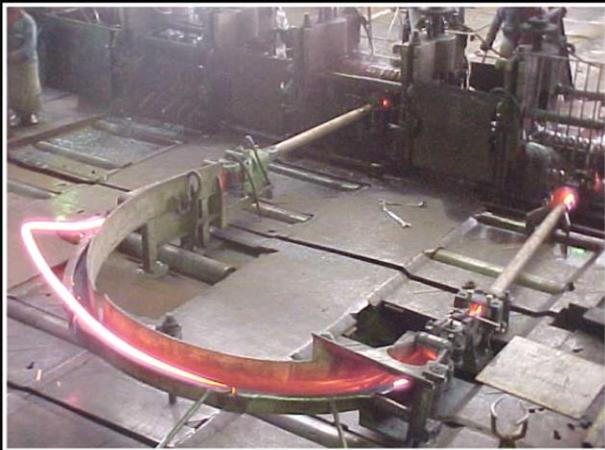
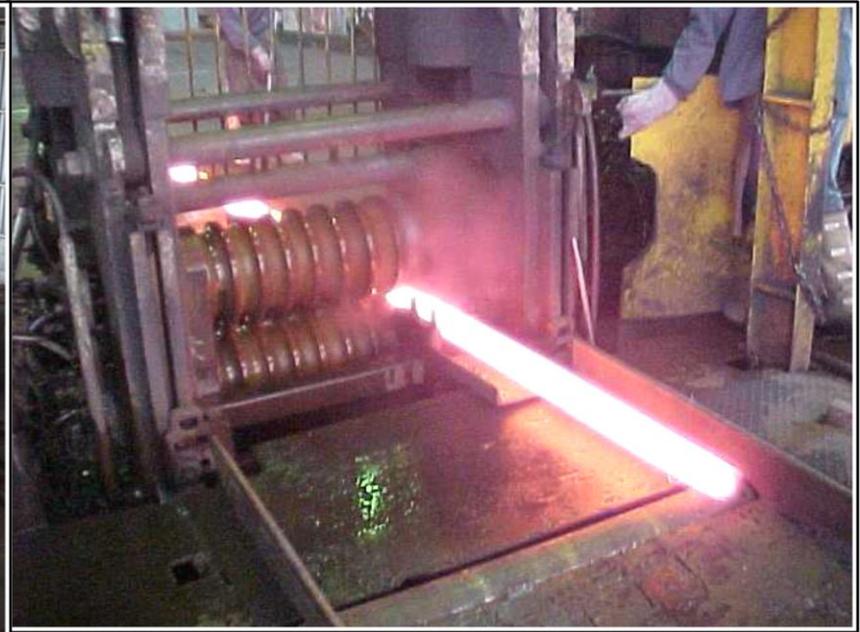
Esquema de uma máquina de lingotamento contínuo. A solidificação é concluída vários metros abaixo do nível do menisco formado no interior do molde (comprimento metalúrgico). Velocidades de lingotamento (ou do veio) da ordem de 1 a 2 m/min são típicas. Como o veio é curvo, a estrutura não é perfeitamente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

*(Colpaert)*



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

# LAMINAÇÃO

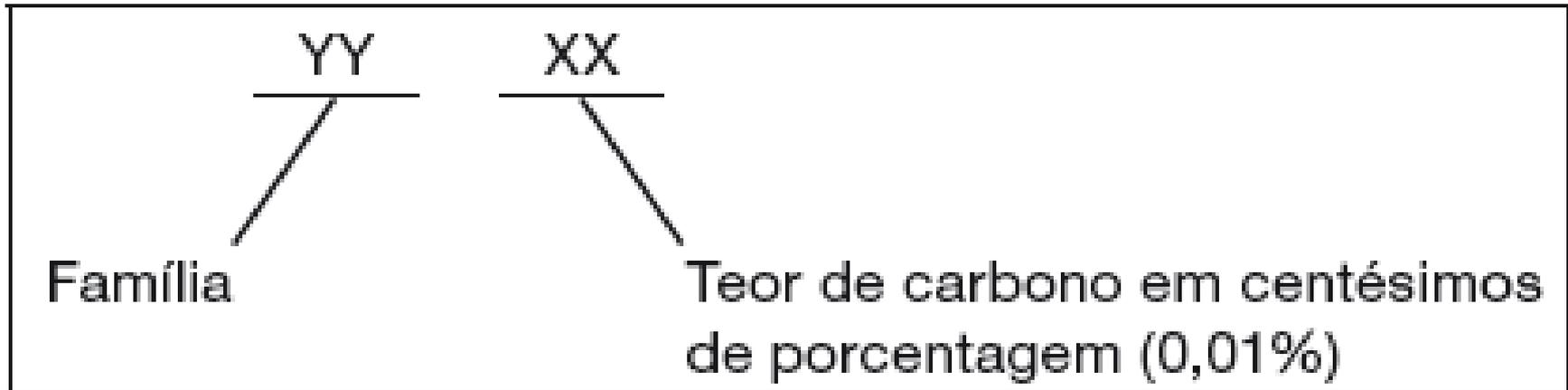




**FORJAMENTO**

# **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

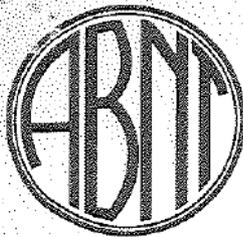
**Tabela 10.1**

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)	Molibdeno/ 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 <sup>A</sup>	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 <sup>B</sup>	0,17-0,22	1,10-1,40	0,15-0,35	-	1,00-1,30	-	-
5123 <sup>C</sup>	0,20-0,25	0,60-0,80	0,12 max	-	0,80-1,00	-	-
5125 <sup>C</sup>	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/mm<sup>2</sup>**.



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**



**EESC • USP**

## **AÇOS LIGADOS**

# **NORMAS DIN**



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**):

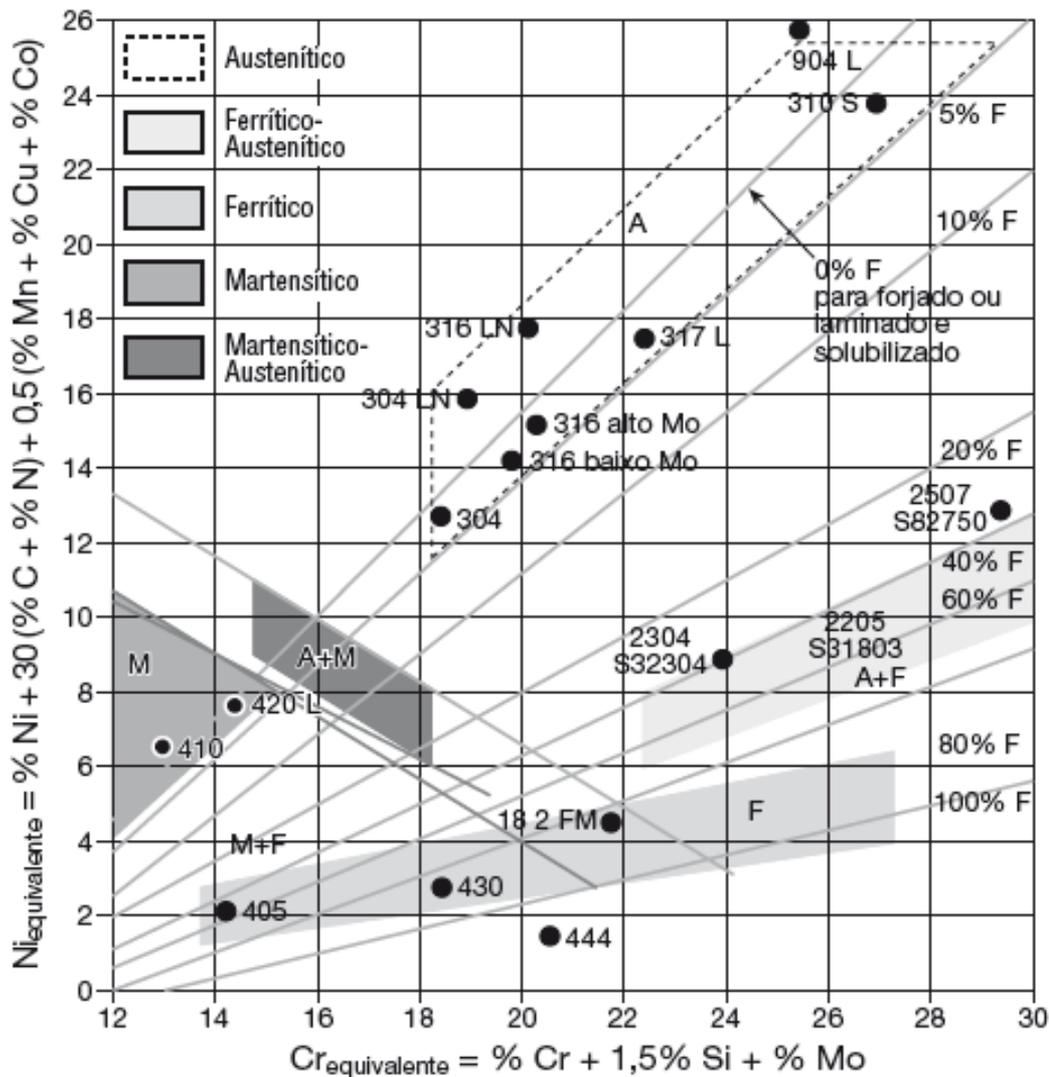
- **42** é o teor de **carbono** multiplicado por 100 (ou seja **0,42%**);
- **Cr e Mo** são símbolos dos elementos de liga;
- **4** é o multiplicador do teor do elemento de liga em maior quantidade (**Cr**)

# 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- DIAGRAMA DE SCHAEFFLER



**ÁÇOS INOXIDÁVEIS:**  
**ALTO Cr > 12%**  
**CARBONO ABAIXO DE 0,10%.**

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

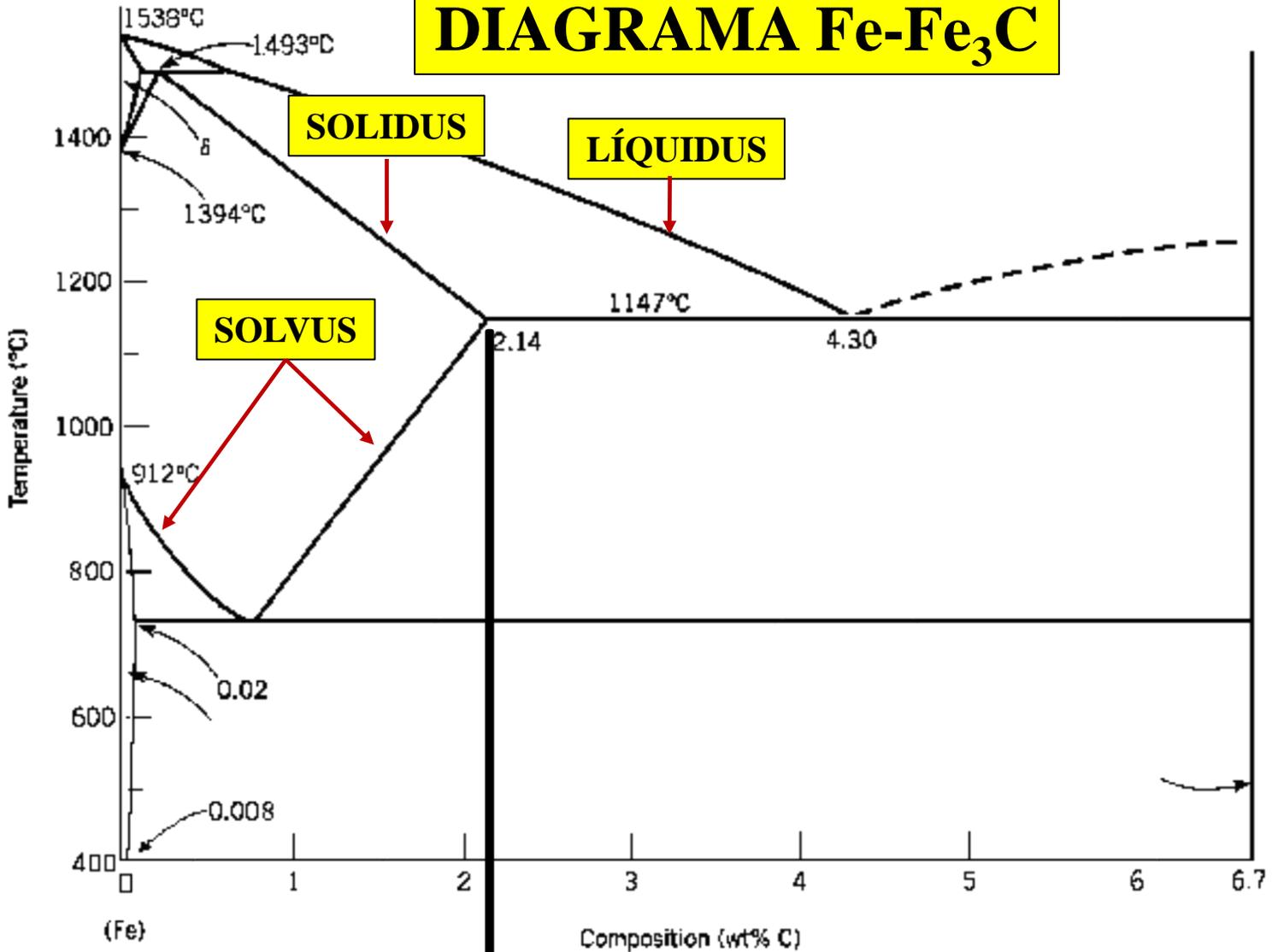
**MARTENSÍTICOS:** SÉRIE 400- Cr(11-18%) EX: 410, 420.

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

( ADAPTADO: COLPAERT)

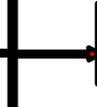
**DIAGRAMA DE FASES DO AÇO E  
FERRO FUNDIDO  
(DIAGRAMA Fe-Fe<sub>3</sub>C)**

# DIAGRAMA Fe-Fe<sub>3</sub>C



**Aços**

**Ferros fundidos**





# REAÇÕES INVARIANTES

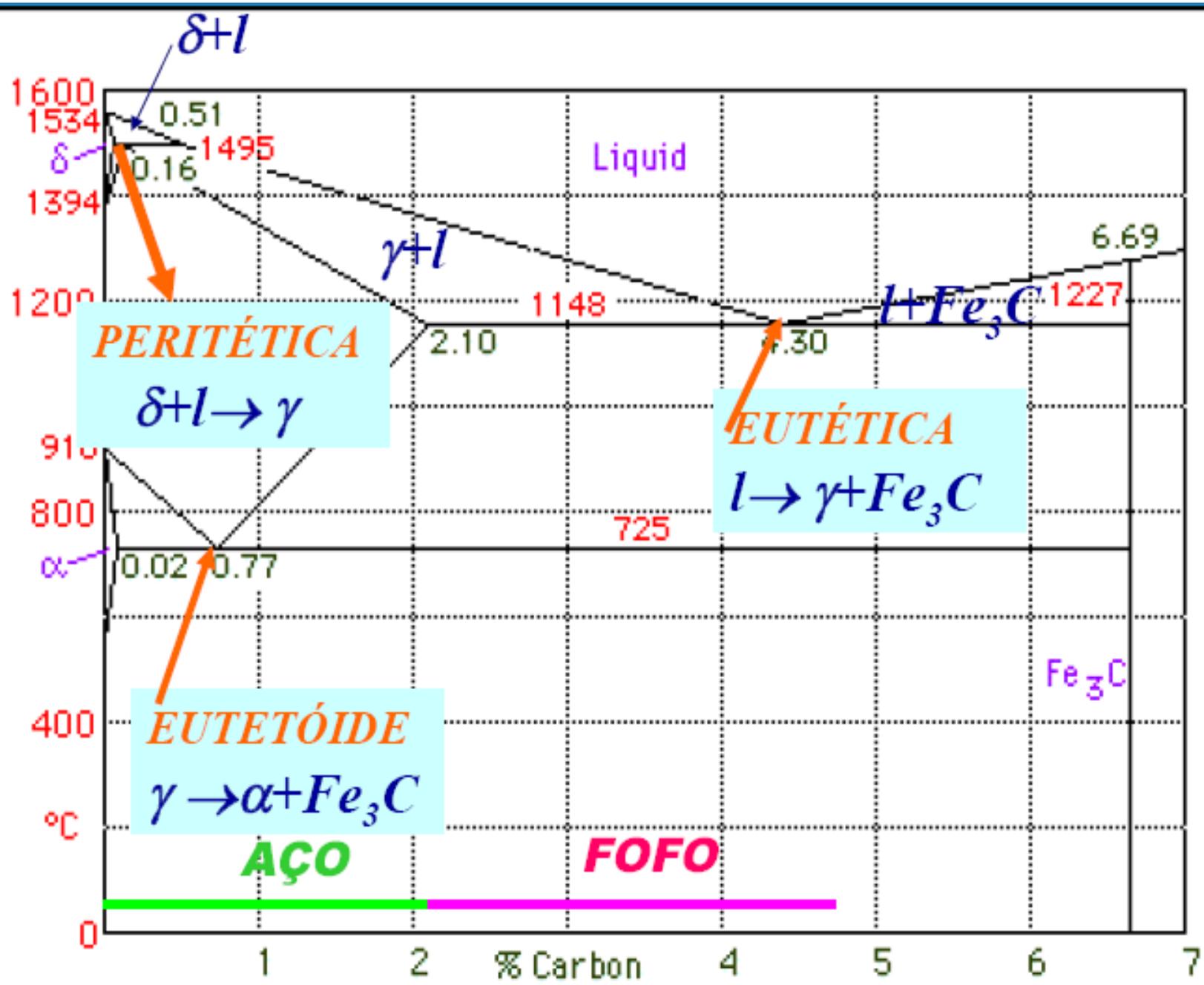


EFSC • IISP

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

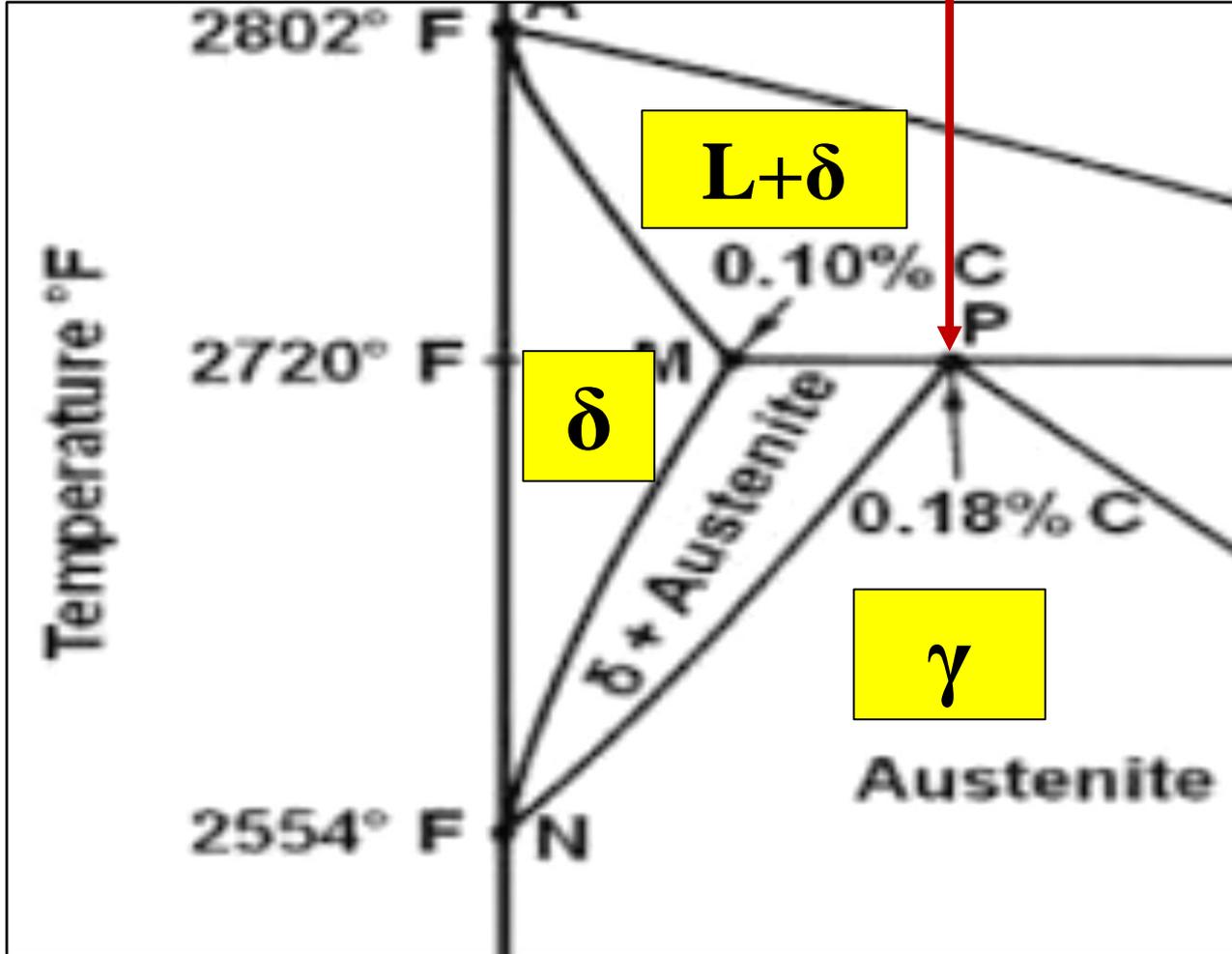
Eutectic	$L \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectic	$\alpha + L \rightarrow \beta$	
Monotectic	$L_1 \rightarrow L_2 + \alpha$	
Eutectoid	$\gamma \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectoid	$\alpha + \beta \rightarrow \gamma$	

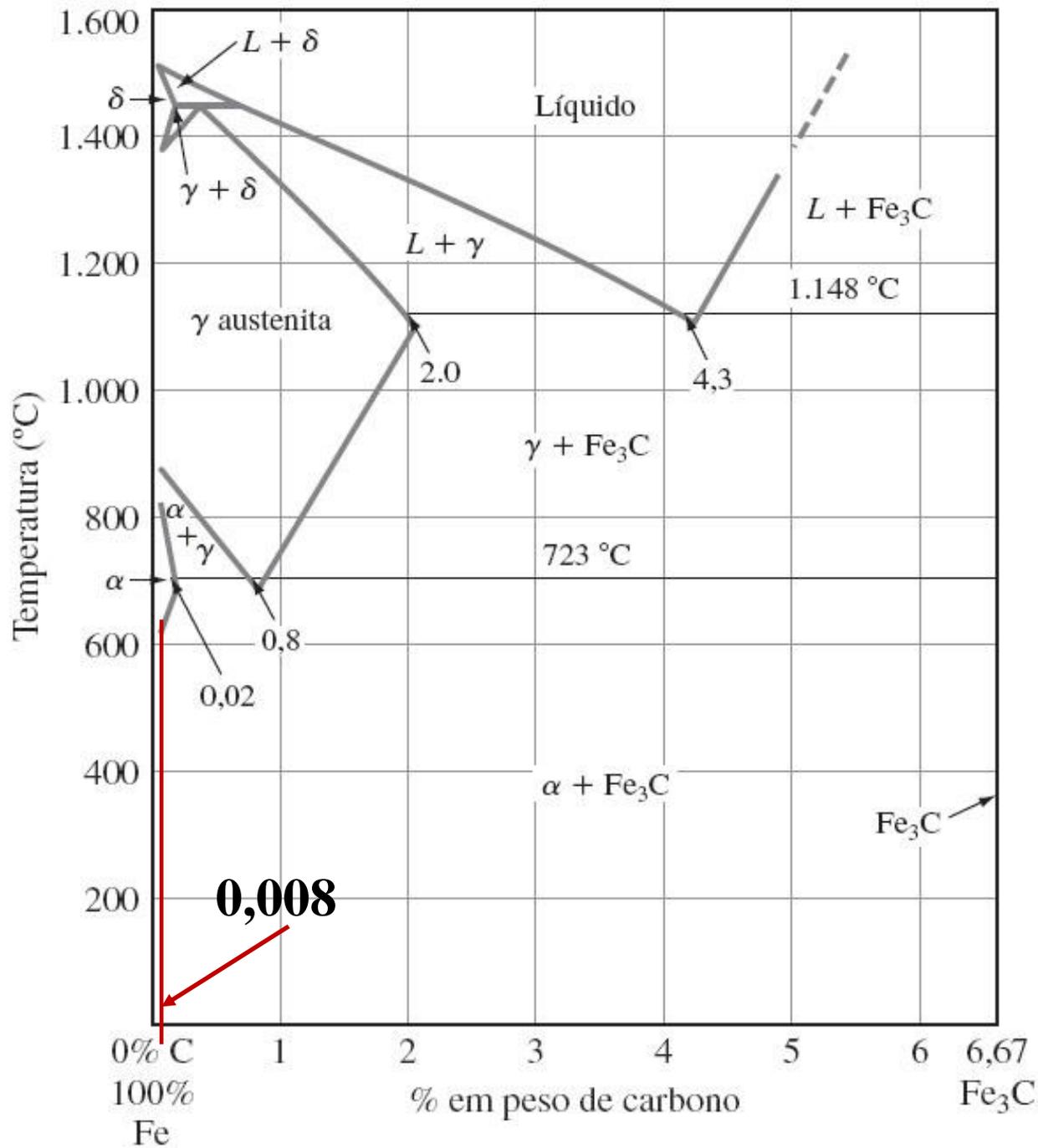
(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>™</sup> is a trademark used herein under license.



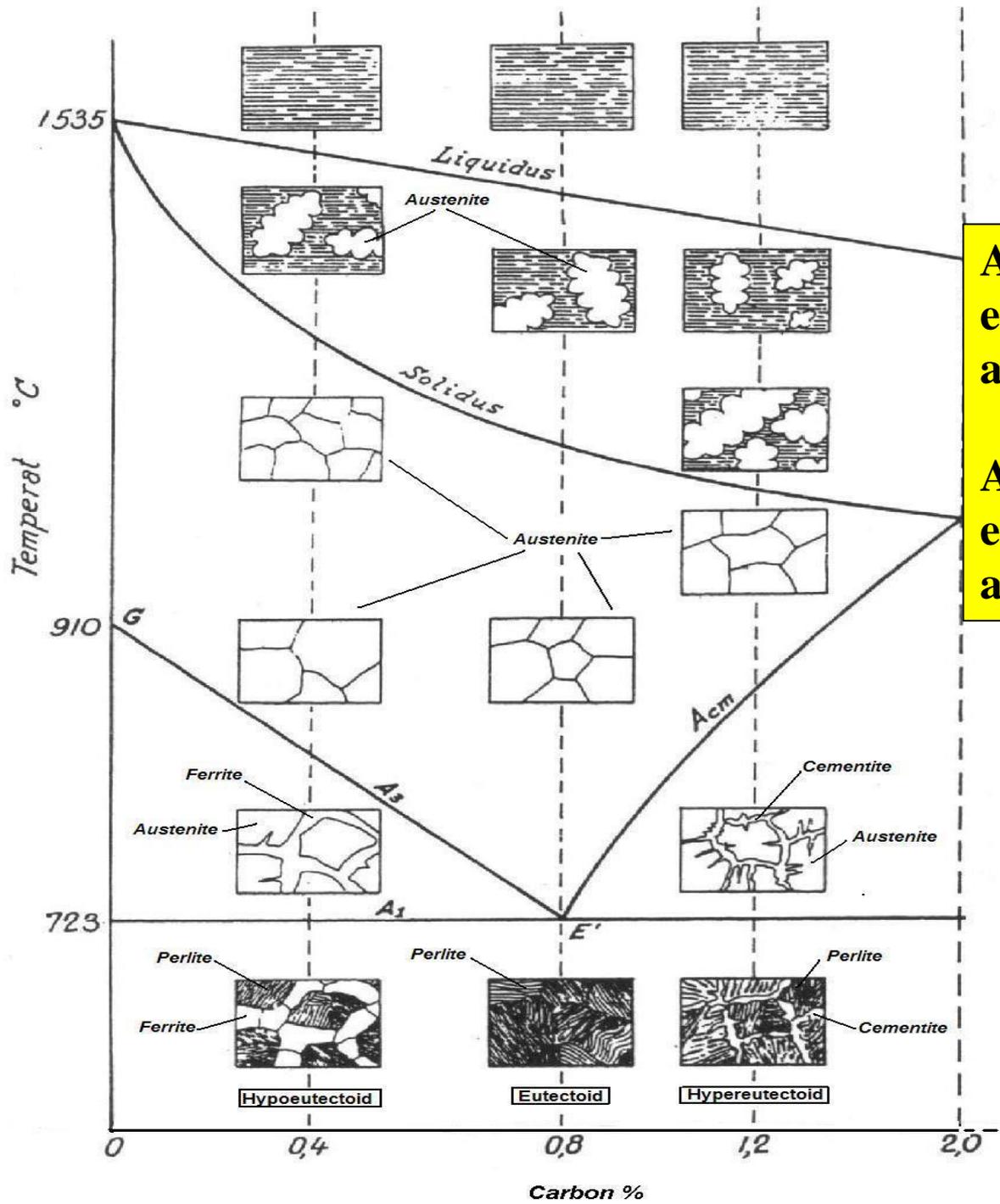
# REAÇÃO PERITÉTICA

$L + \delta \rightarrow \gamma$





(Smith)



**A1:** Temperatura de equilíbrio de início de austenitização

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



- **Ferrita ( $\delta$ ):** 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 ( $\gamma$ ):** 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 ( $\alpha$ ):** 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  $\alpha$  e  $Fe_3C$ .

# NOMENCLATURA QUANTO AO TEOR DE CARBONO

Aço com teor extra baixo de C ~ 0,008%p

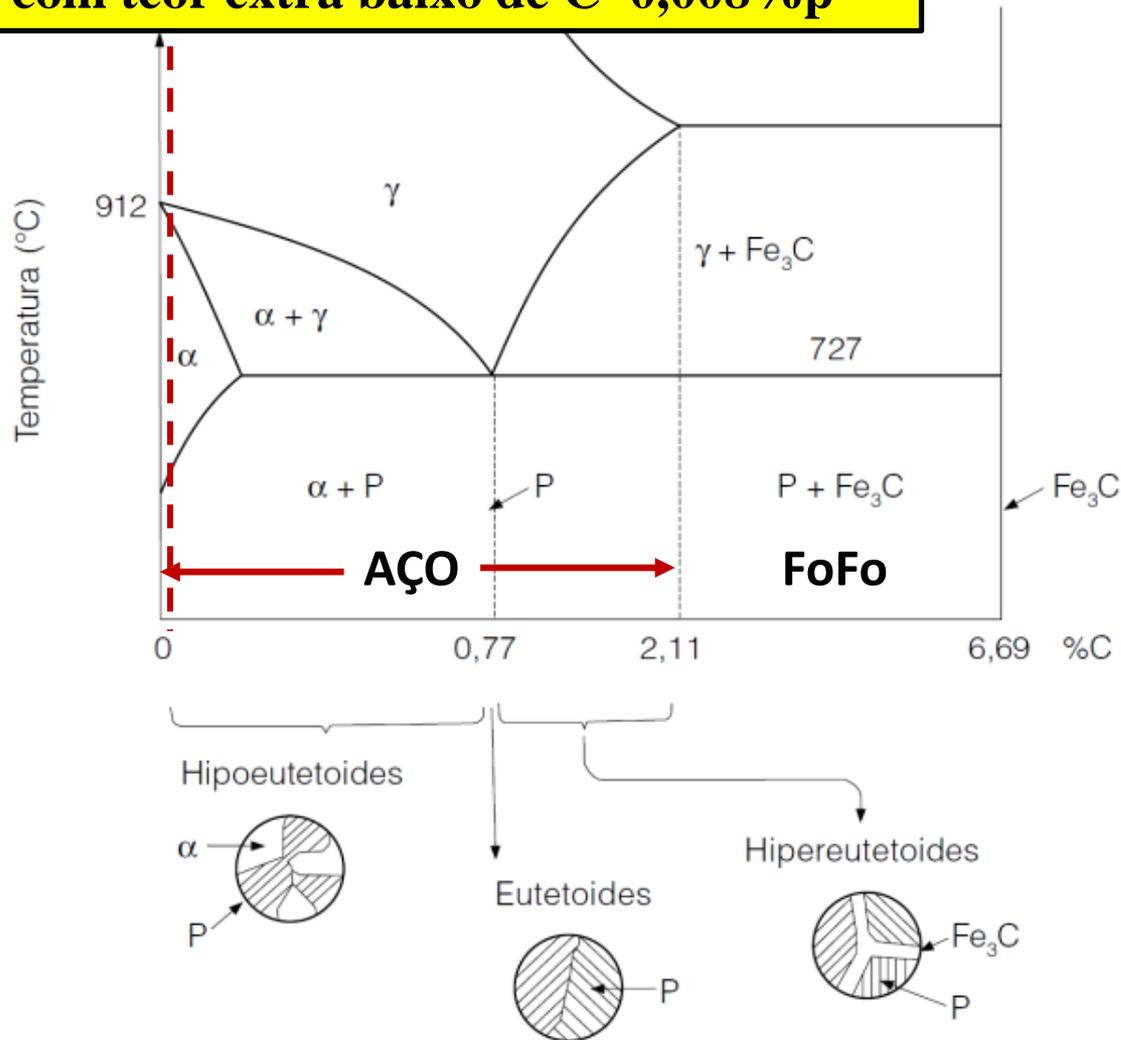
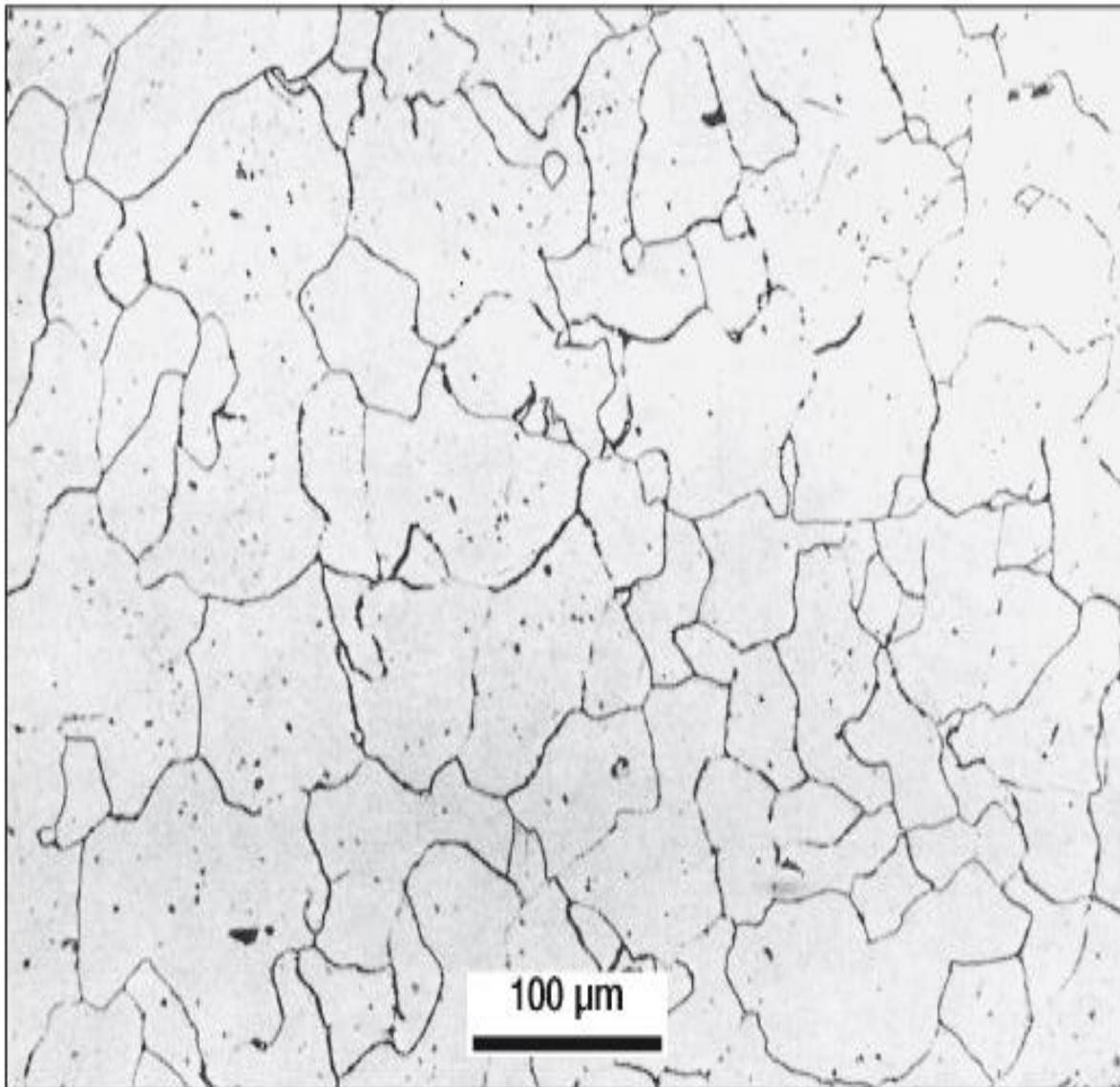


Figura 1.14 Diagrama de "fases" Fe-Perlita.

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



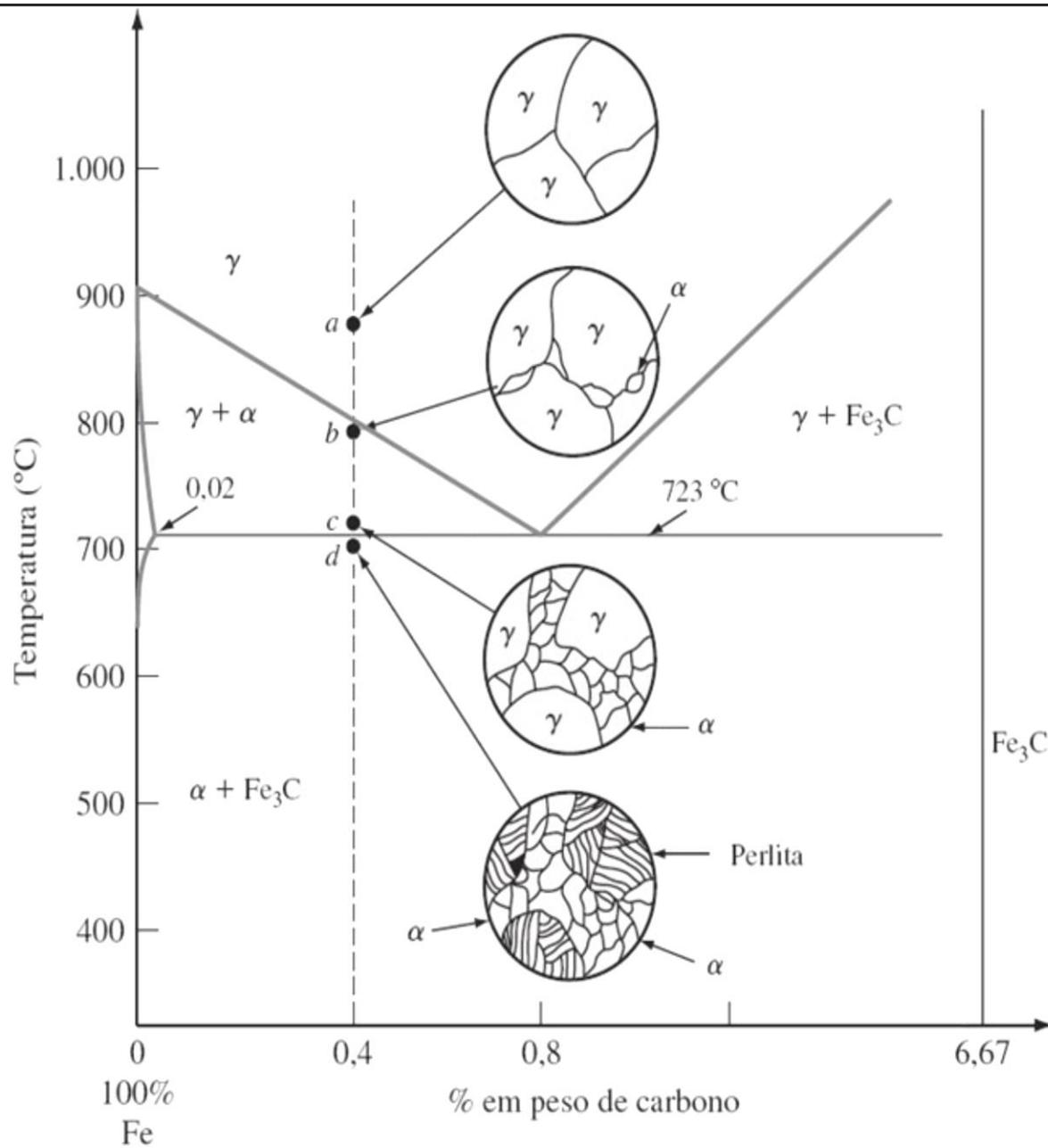
**Figura 7.3**

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

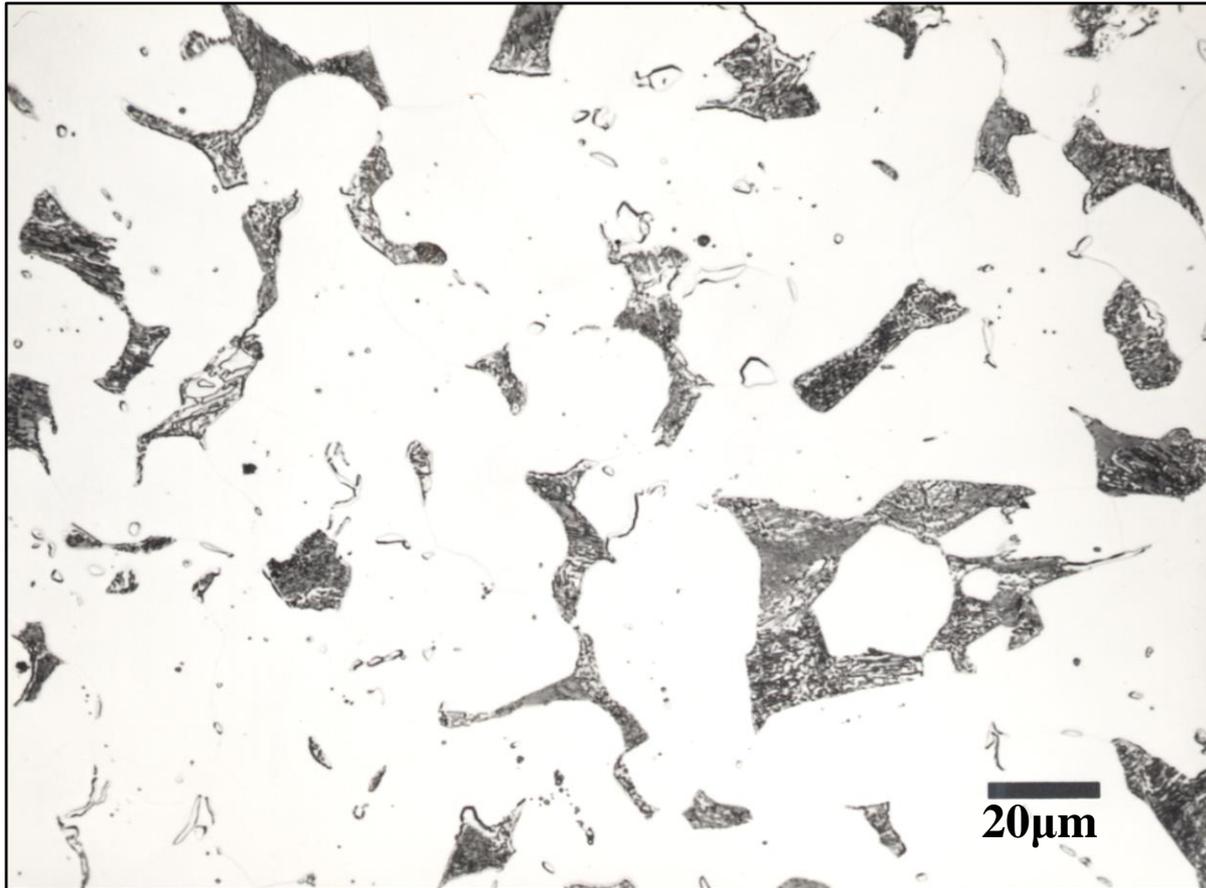
*(Colpaert)*

## LIGAS HIPOEUTETÓIDES

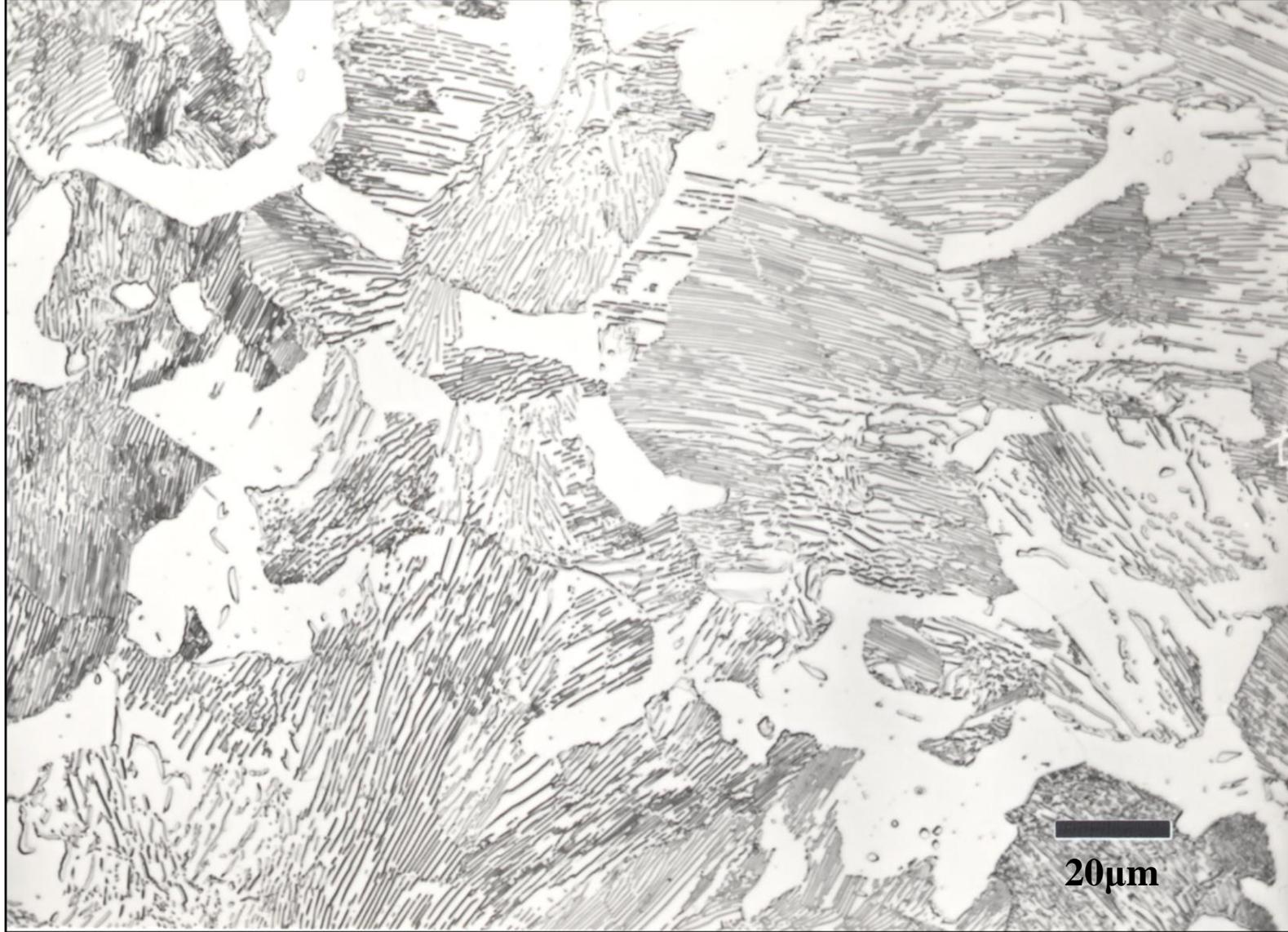
A **ferrita** estará presente tanto **na perlita** como na **fase** que se formou enquanto se resfriava **antes da temperatura do eutetóide**. A ferrita que está presente **na perlita** é chamada **ferrita eutetóide** e a ferrita que se **formou antes** da temperatura do eutetóide é chamada **ferrita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



As regiões **brancas** correspondem à **ferrita proeutetóide**. Para a perlita, o espaçamento entre as camadas  $\alpha$  e  $\text{Fe}_3\text{C}$  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.



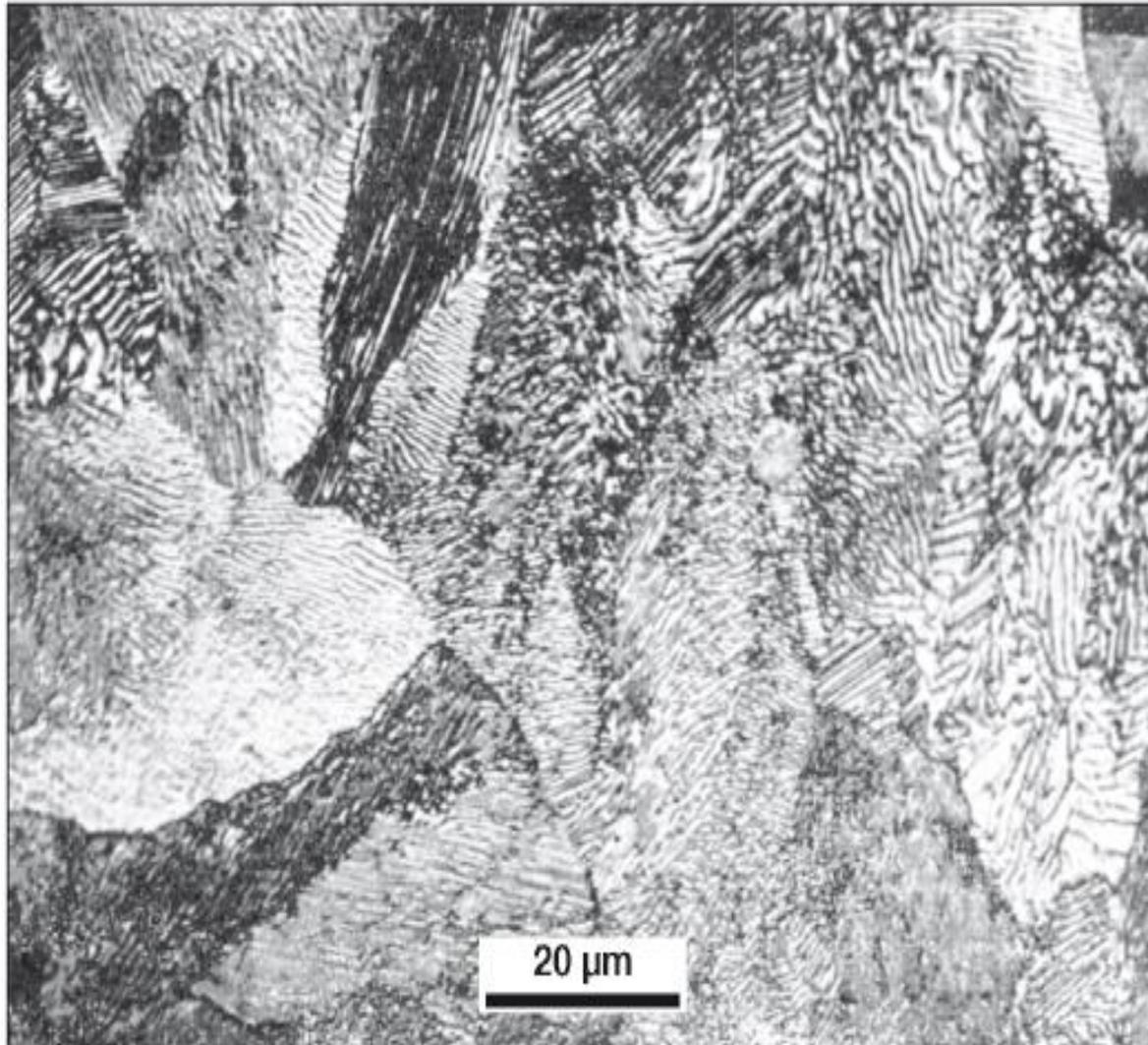
**Ferrite (white) and pearlite in a hot-rolled Fe – 0.2% C binary alloy. Picral etch. Magnification bar is 20 μm in length.**



**Ferrite (white) and pearlite in a hot-rolled Fe – 0.6% C binary alloy. Picral etch. Magnification bar is 20  $\mu\text{m}$  in length.**

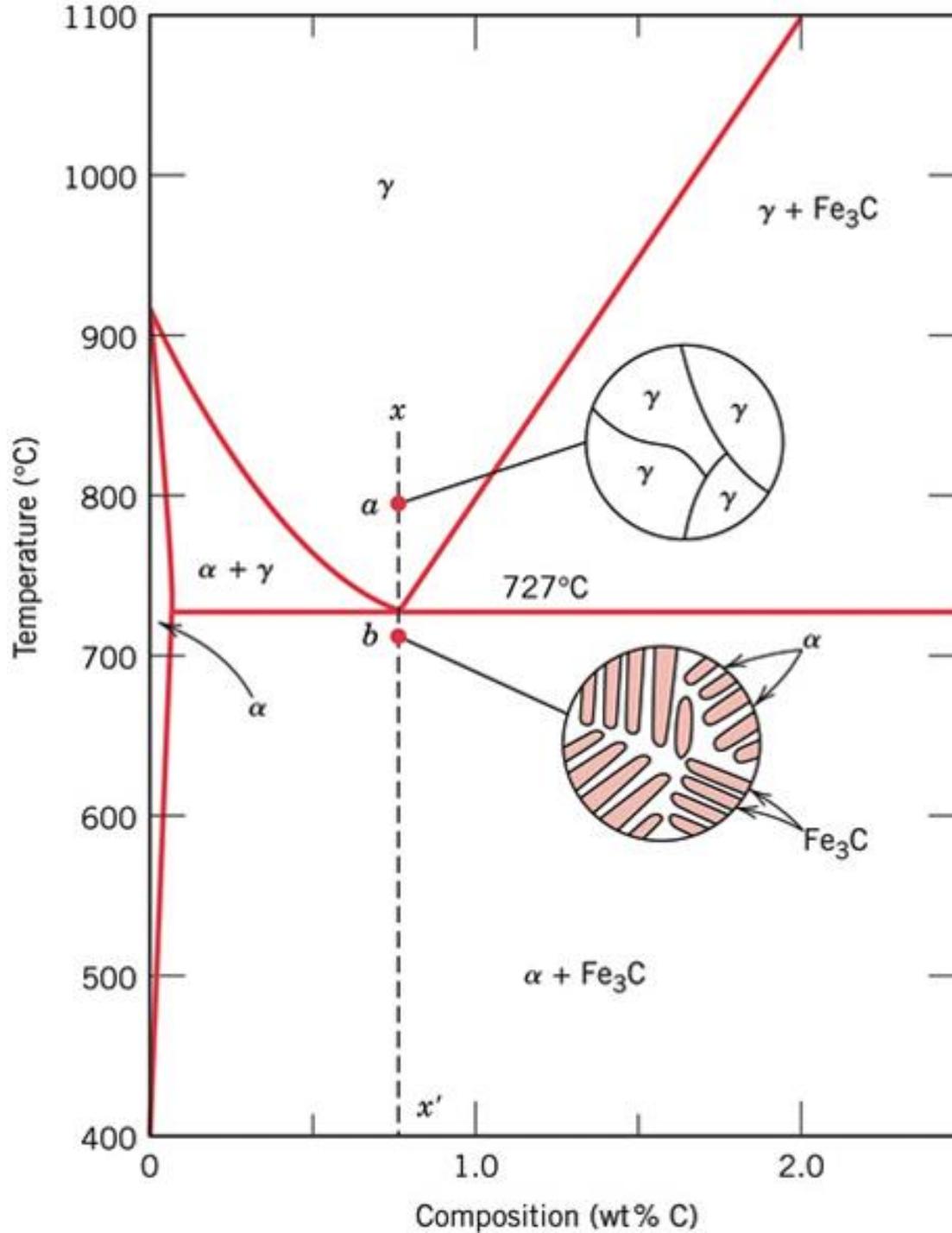
# LIGAS EUTETÓIDES

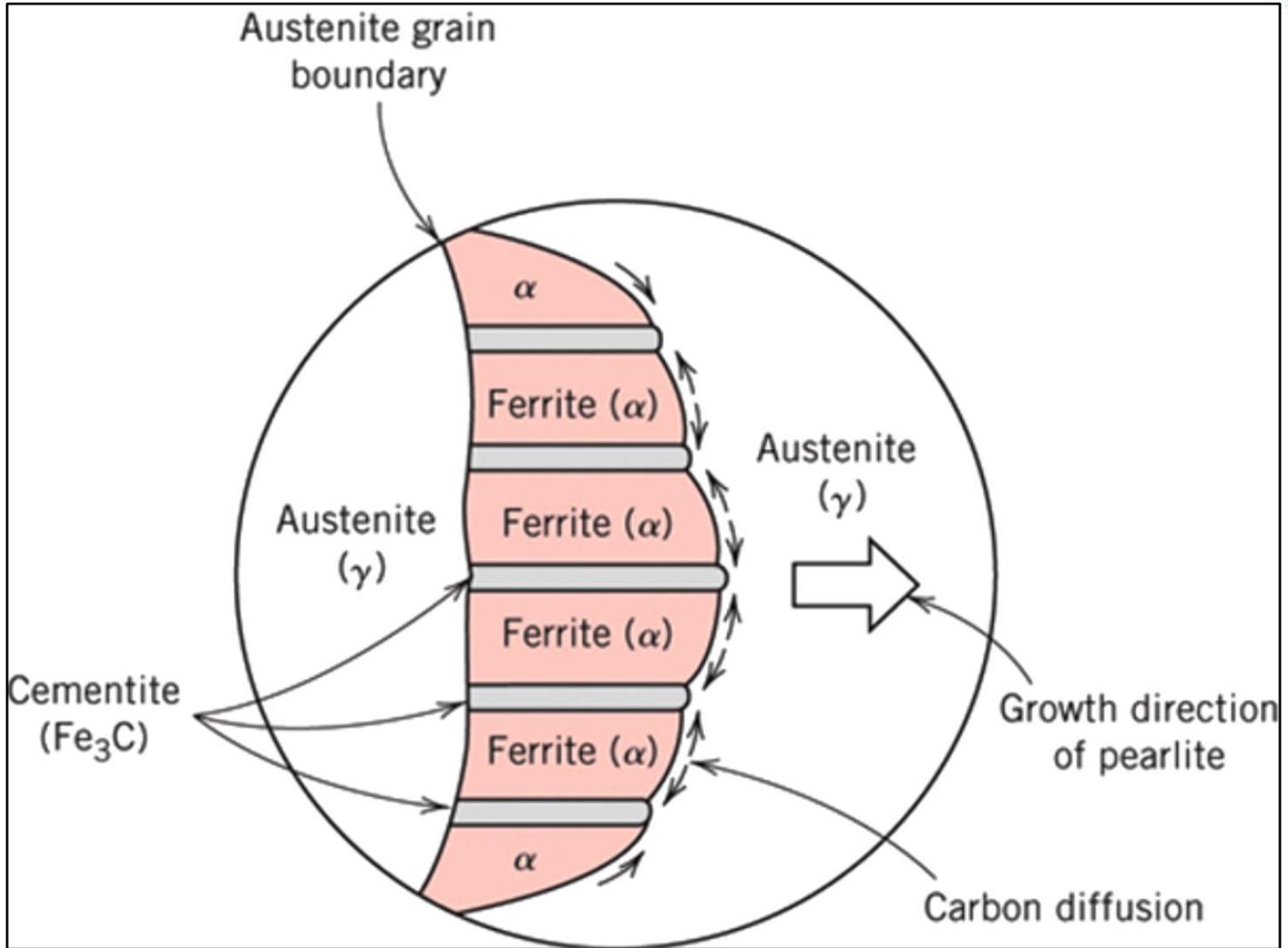
Eutetóide é o microconstituente, perlita, formado por **ferrita** + **cementita**, em forma de lamelas.



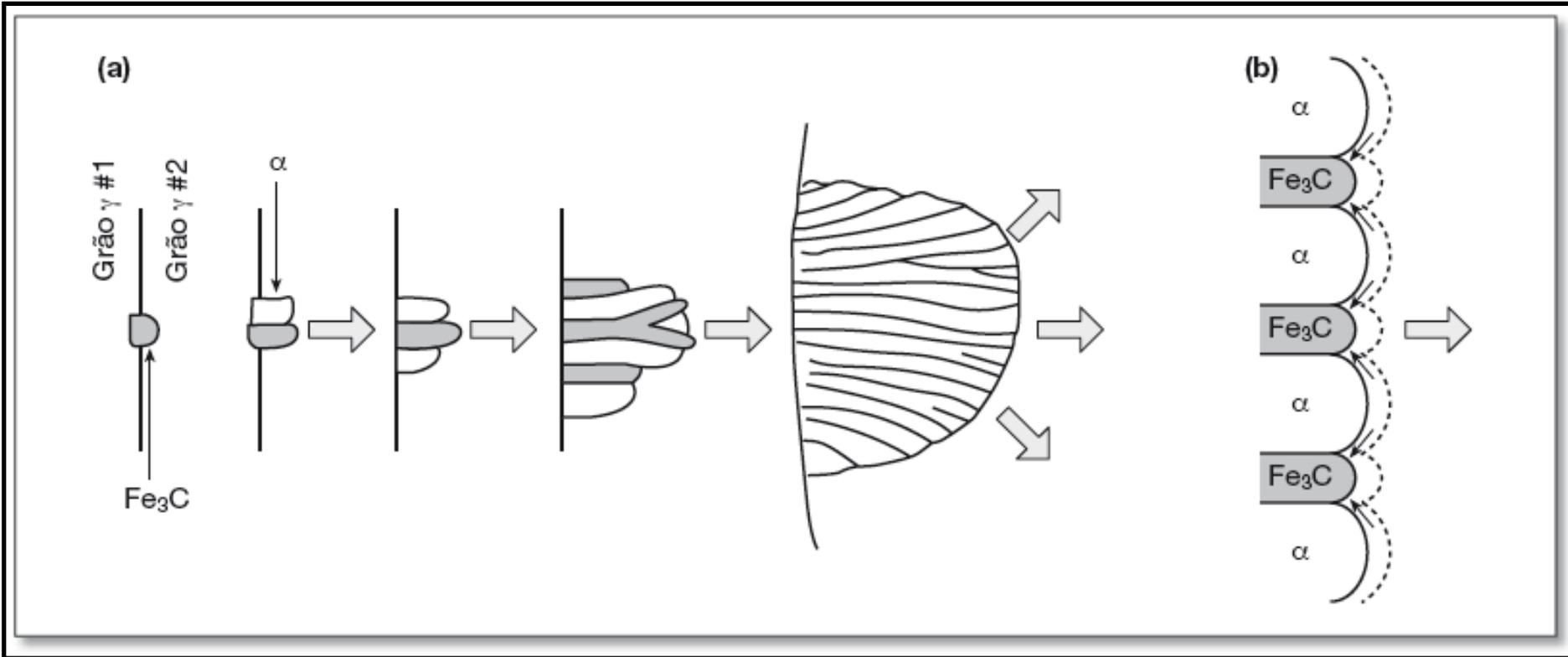
**Figura 7.18**

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.

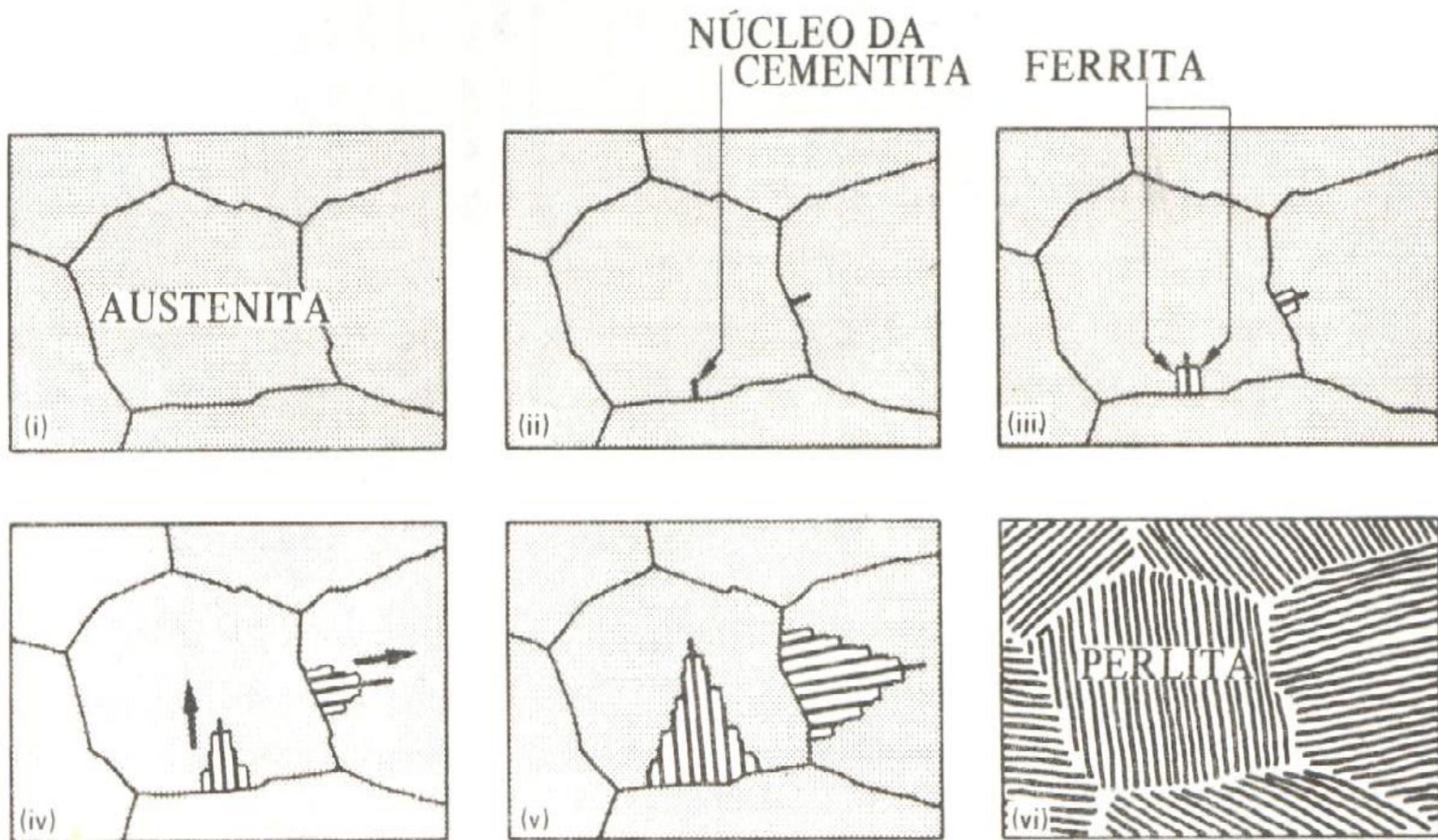




(Colpaert)



**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.**



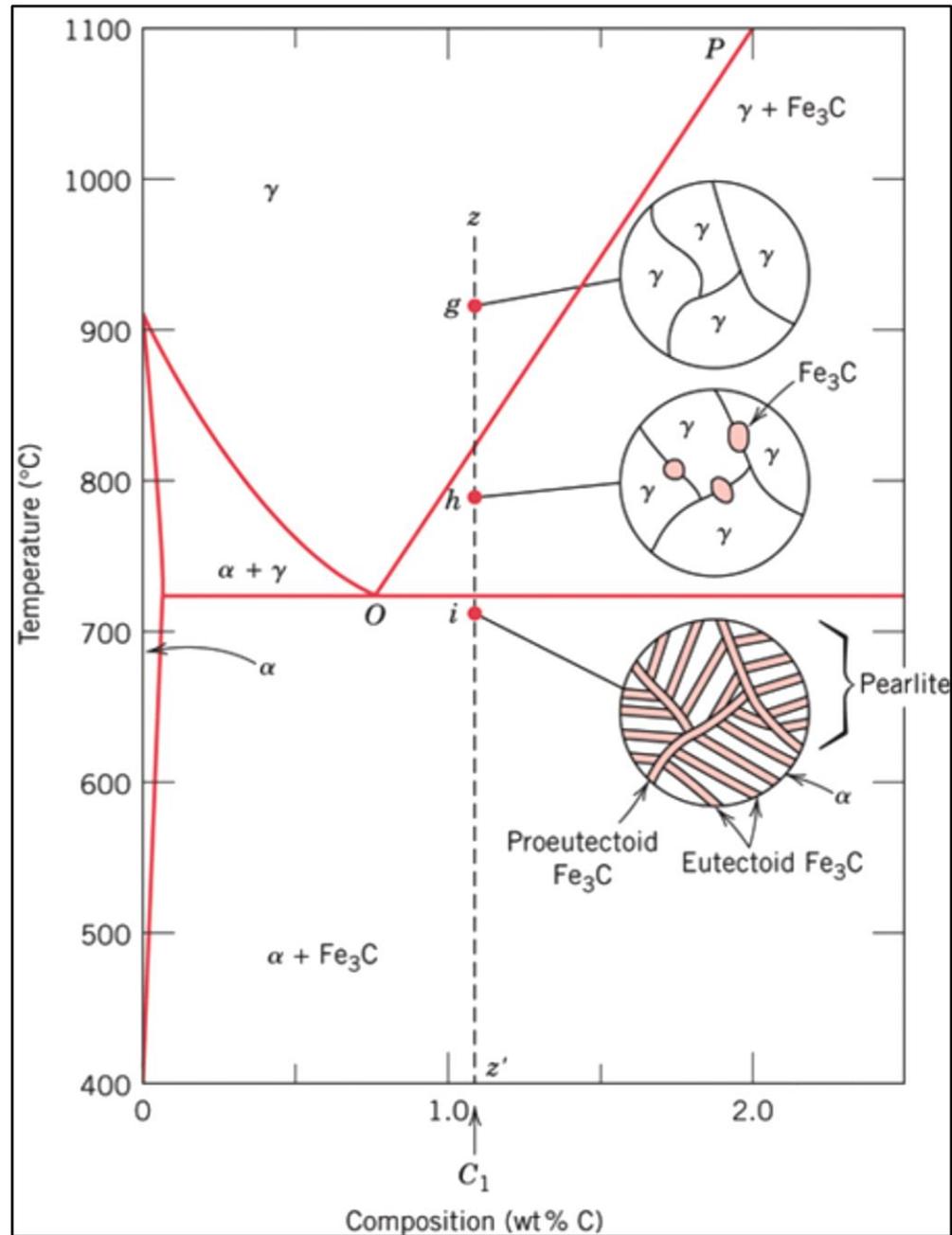
# LIGAS HIPEREUTETÓIDES

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



# **TRATAMENTO TÉRMICOS DOS AÇOS NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO**



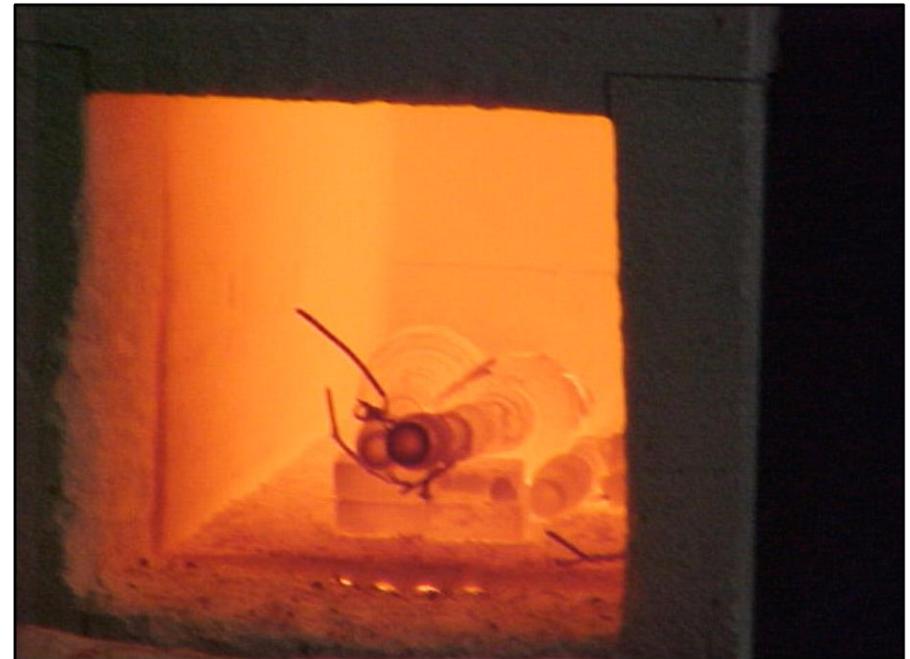
**EESC • USP**



# **TRATAMENTO TÉRMICOS**

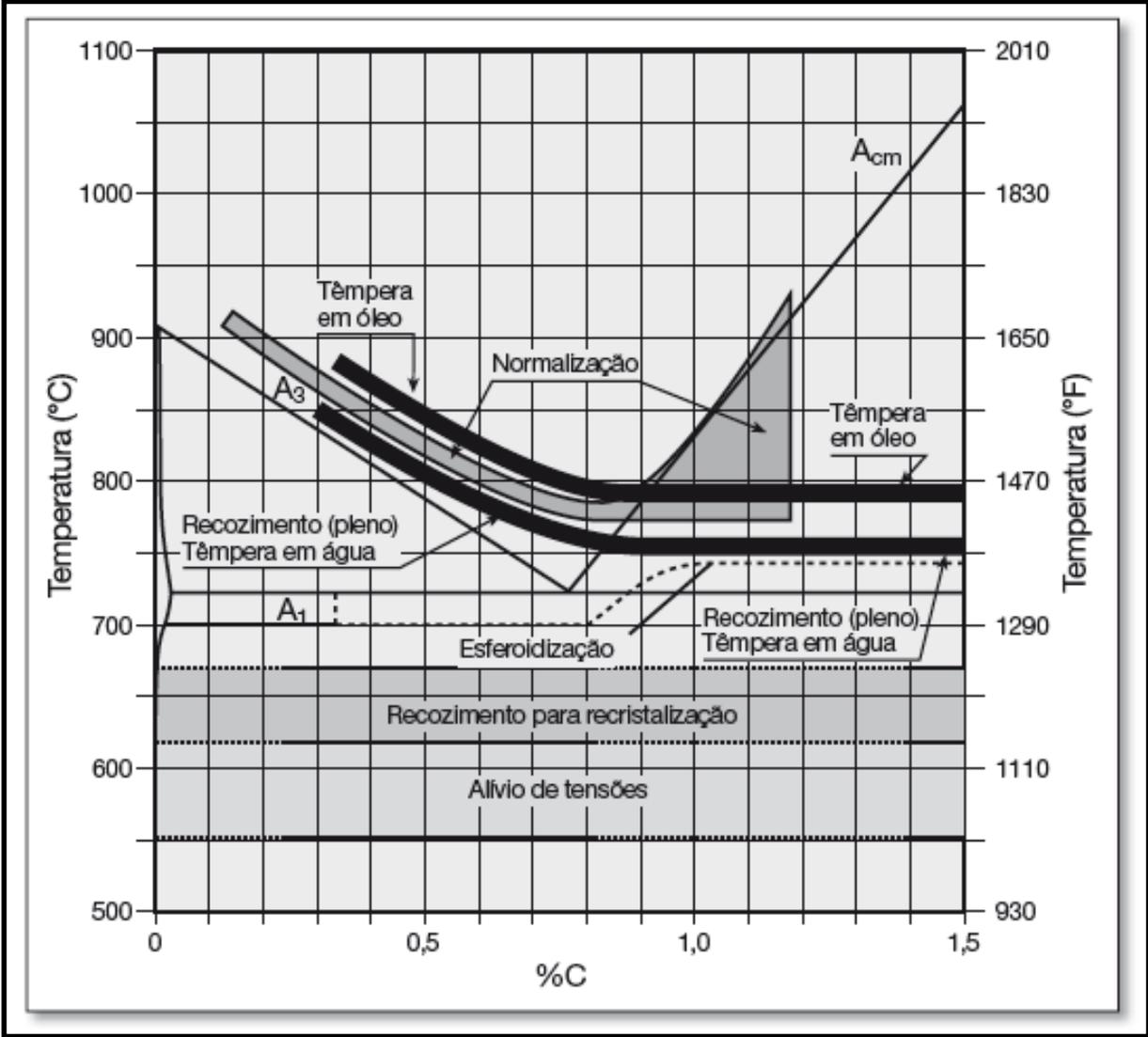
- **ALTERAM A MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES;**
- **ADEQUAÇÃO AOS PROJETOS;**
- **FACILITAR OU VIABILIZAR PROCESSOS DE FABRICAÇÃO;**

## FORNO TIPO MUFLA



**Tratamento térmico de cps –trabalho de mestrado-  
Marcomini-2008**

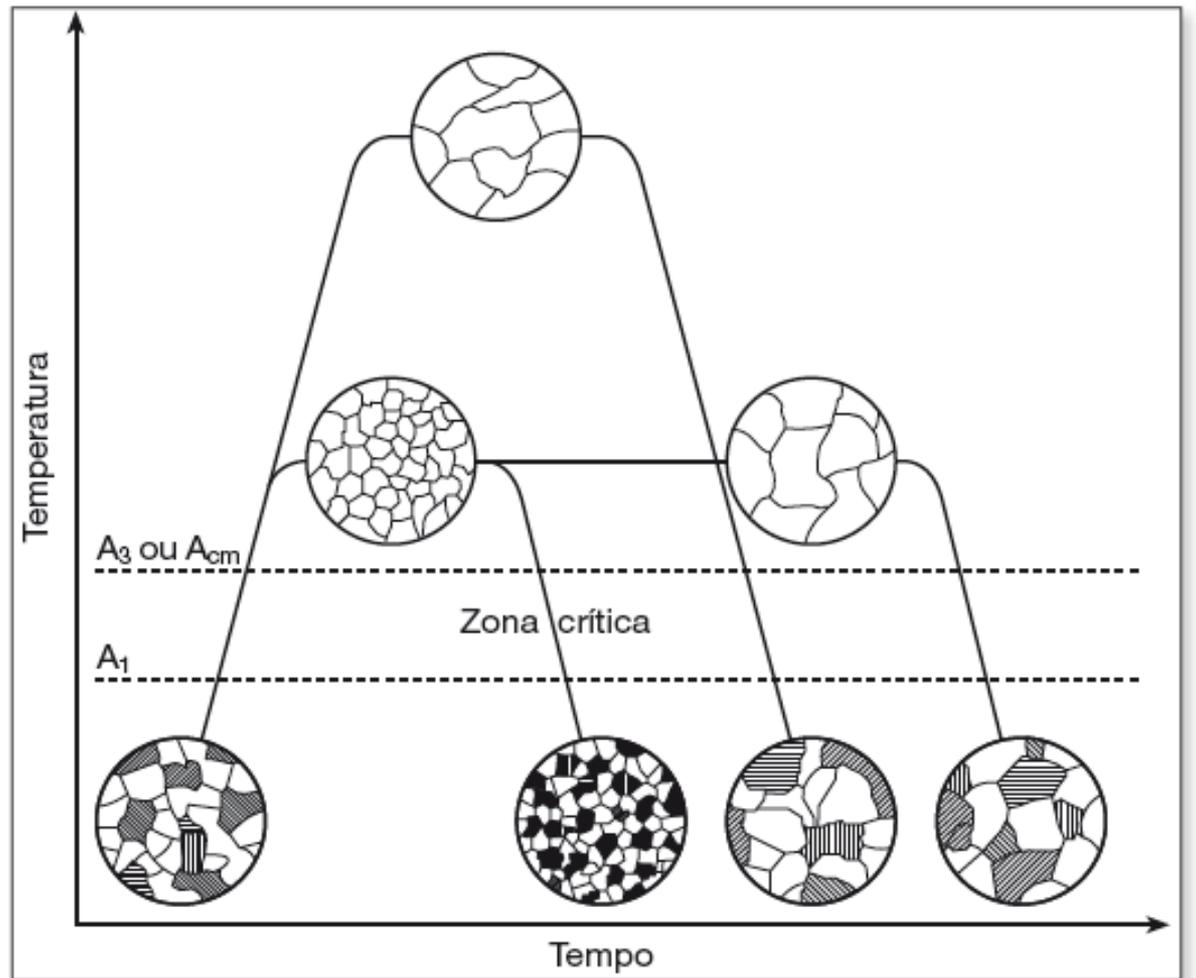
# TEMPERATURAS DE AUSTENITIZAÇÃO



# 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.

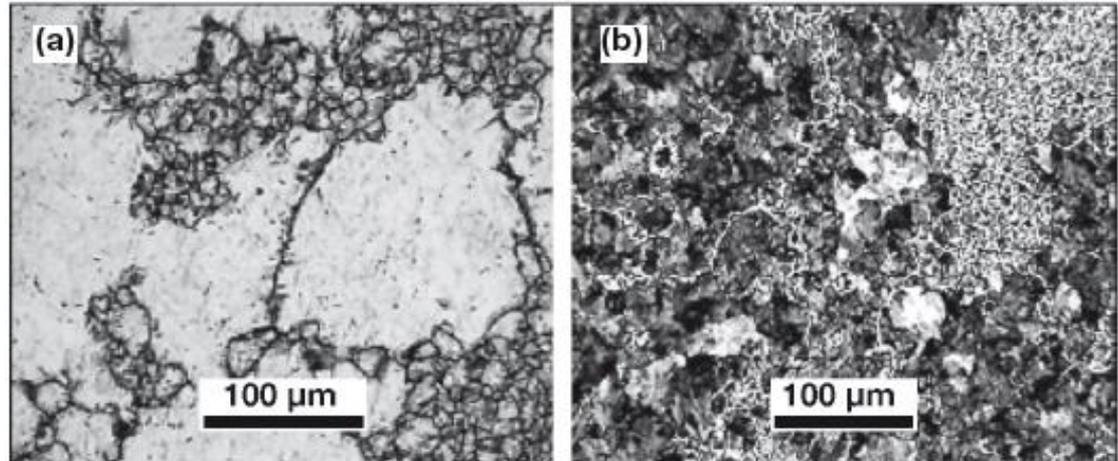


**TEMPO DE “ENCHARQUE”: 1 HORA POR POLEGADA, ATÉ 2” E MAIS 15 MINUTOS A CADA POLEGADA EXCEDENTE;  
PARA CHAPAS: 1,5 MINUTOS POR mm DE ESPESSURA.**



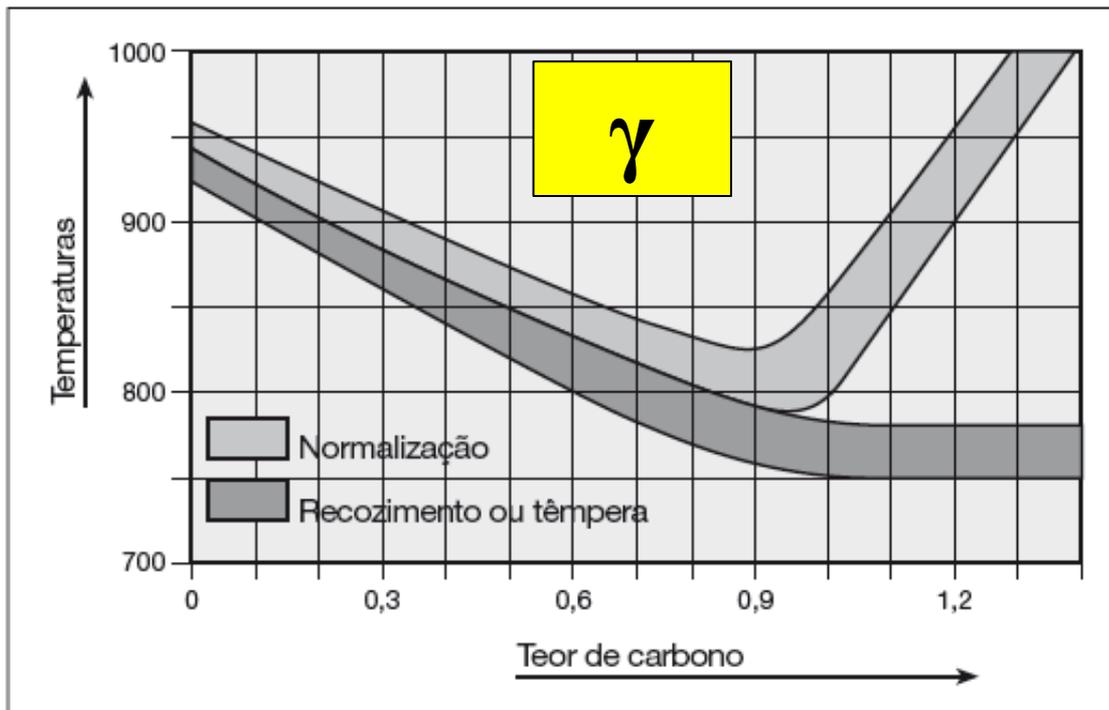
**Figura 9.56**

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<sup>(23)</sup>, (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.**

# 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**

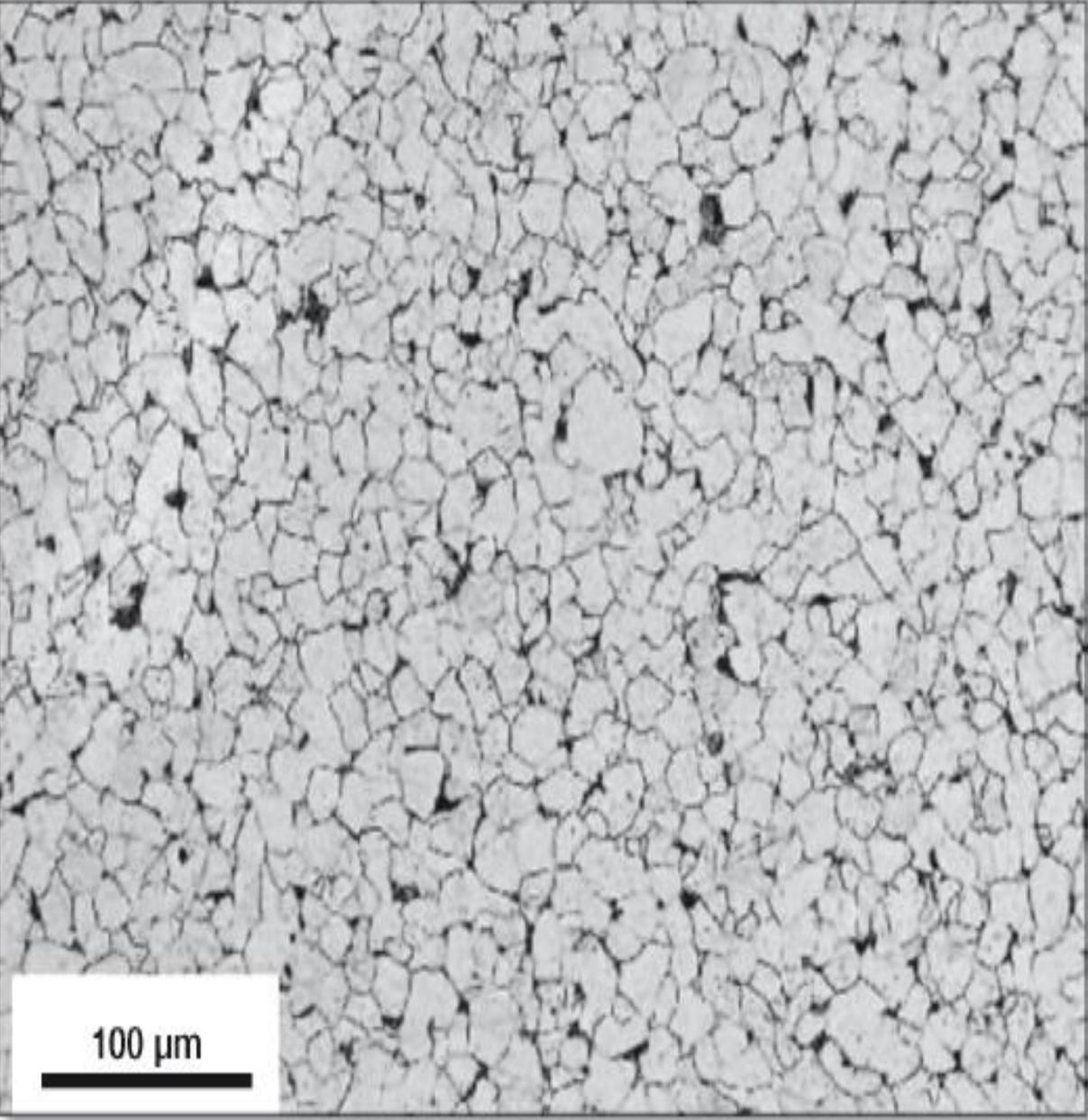
### **RECOZIMENTO PLENO:**

- 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.

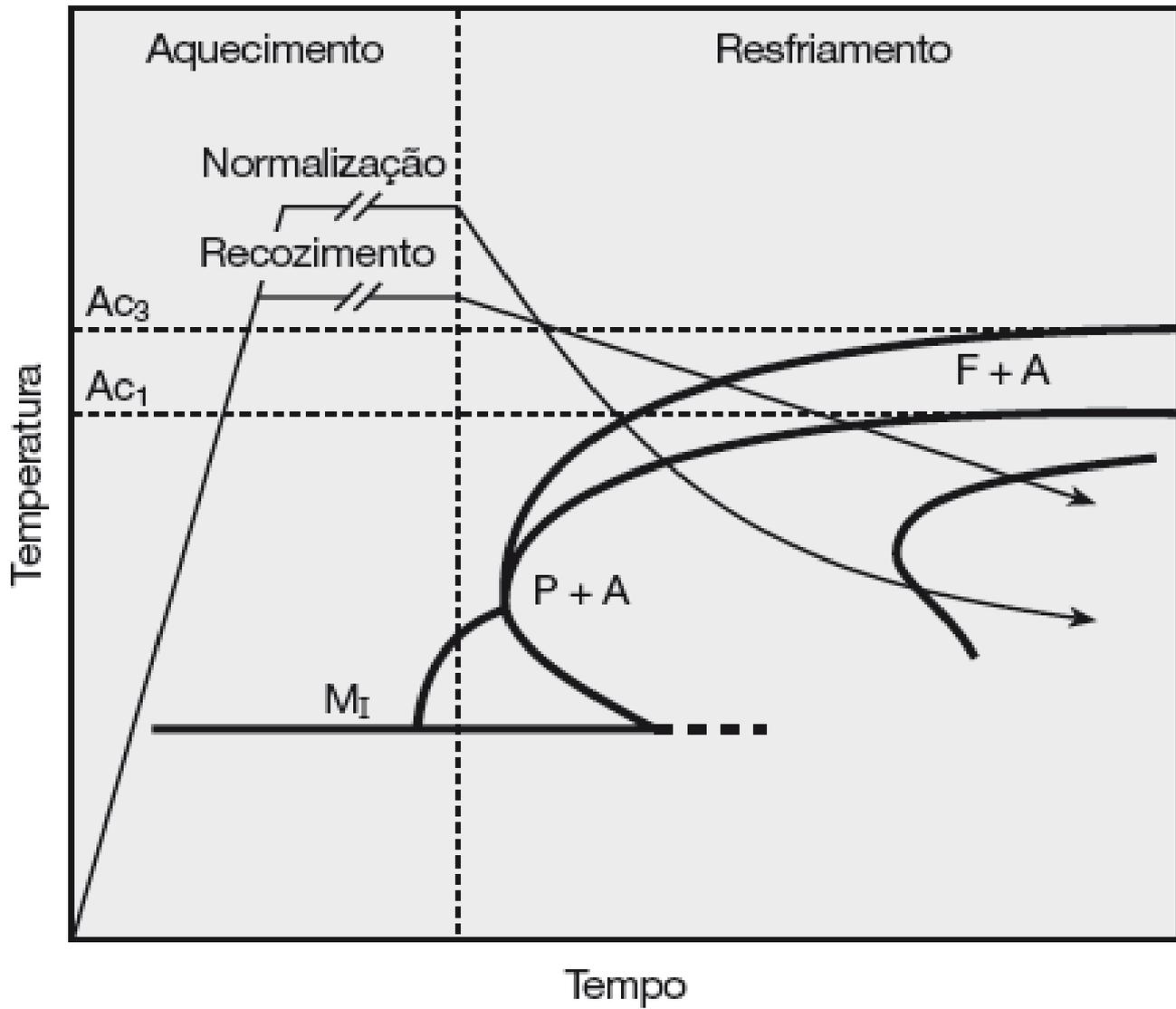
*(Colpaert)*

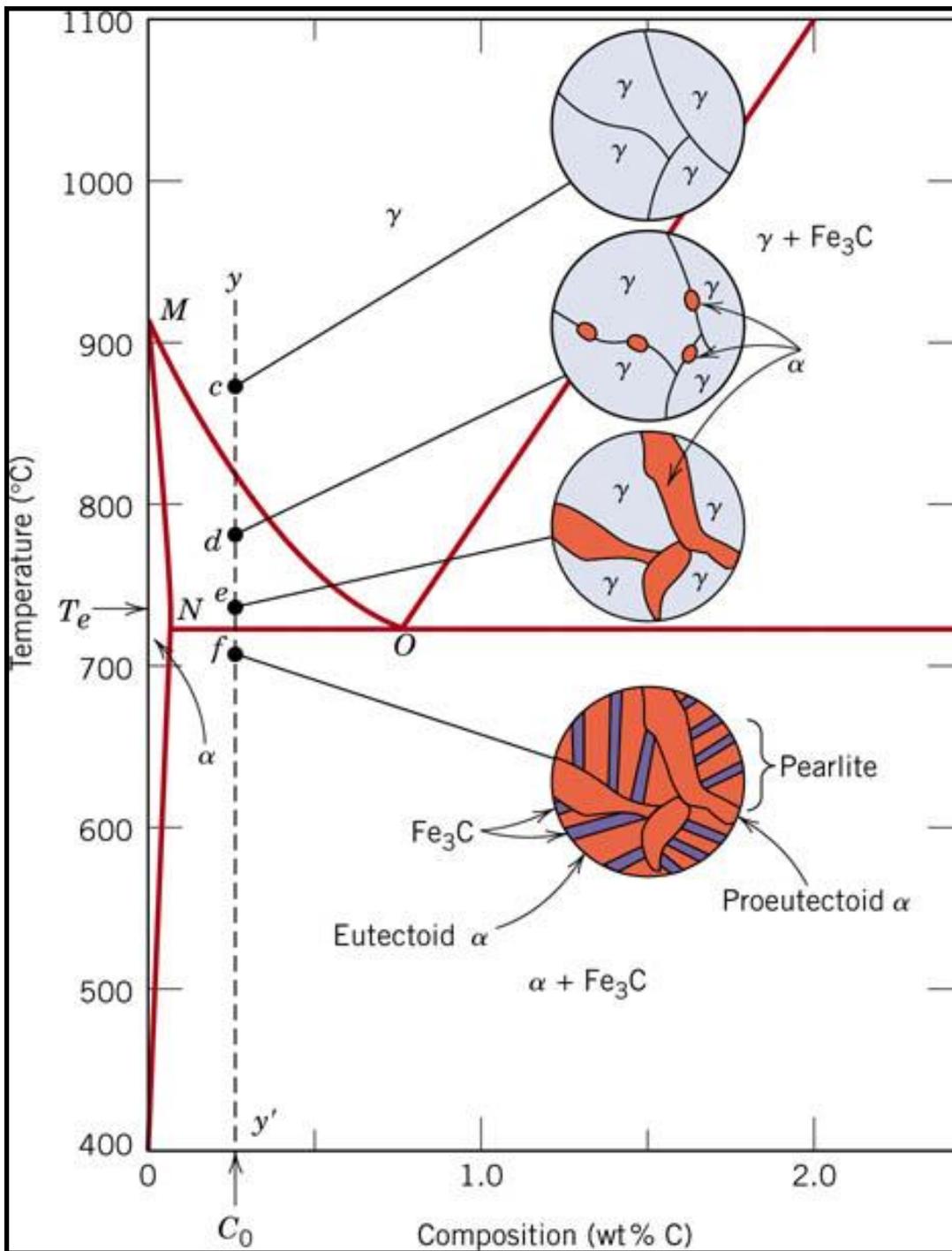


100  $\mu\text{m}$

# NORMALIZAÇÃO E RECOZIMENTO PLENO

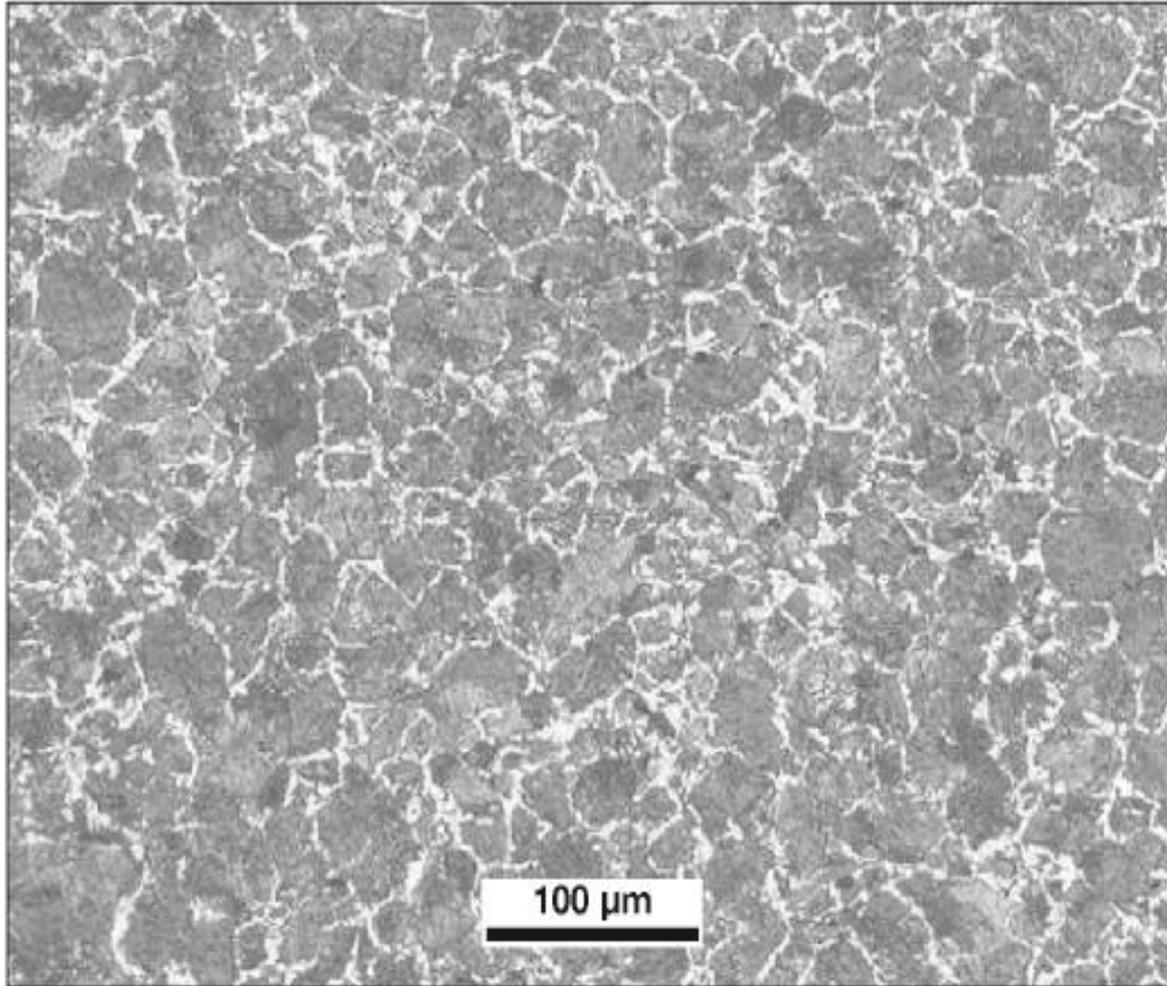
## Esquema do tratamento





(Callister)

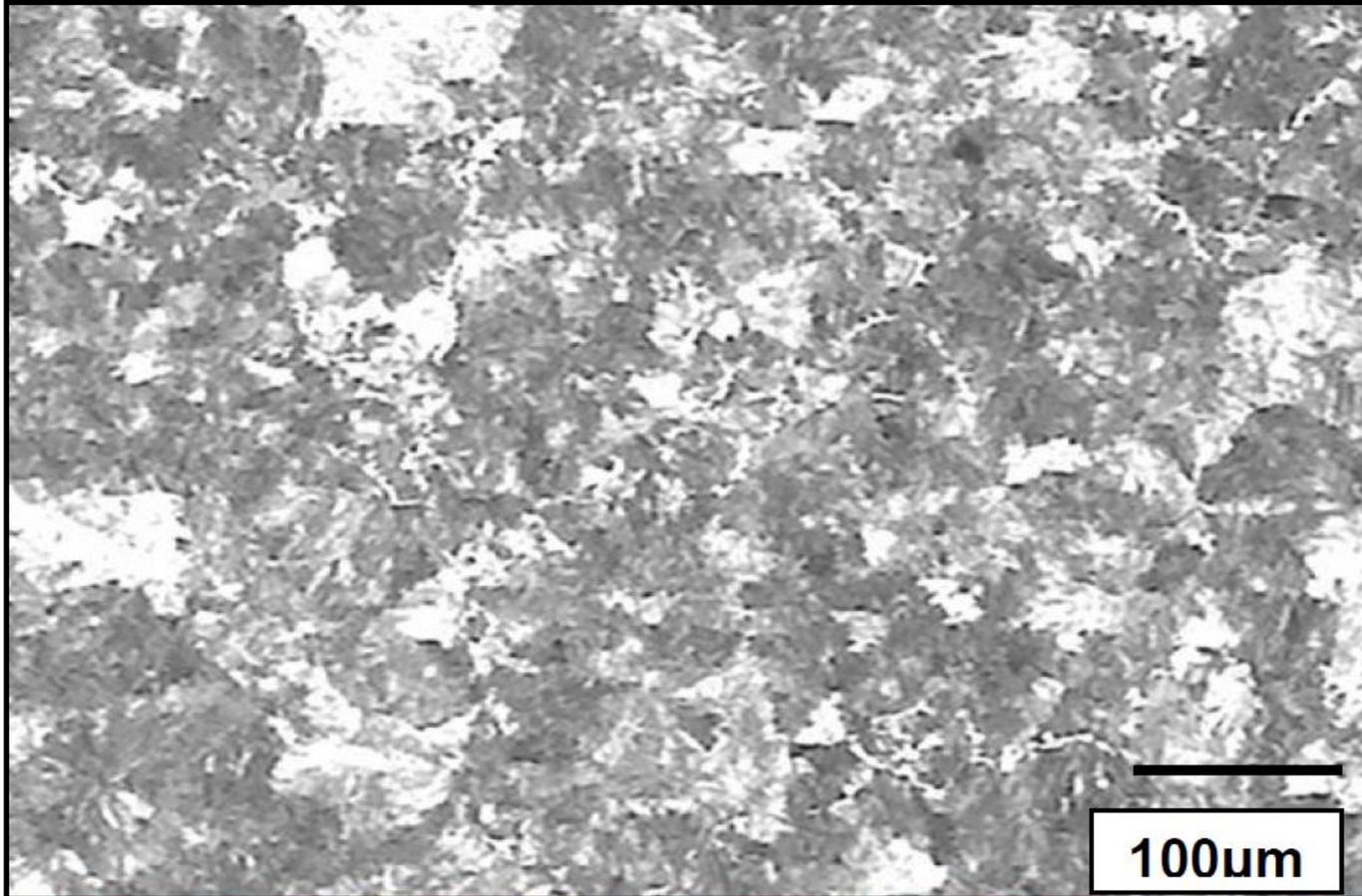
# AÇO 1045 NORMALIZADO



**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.

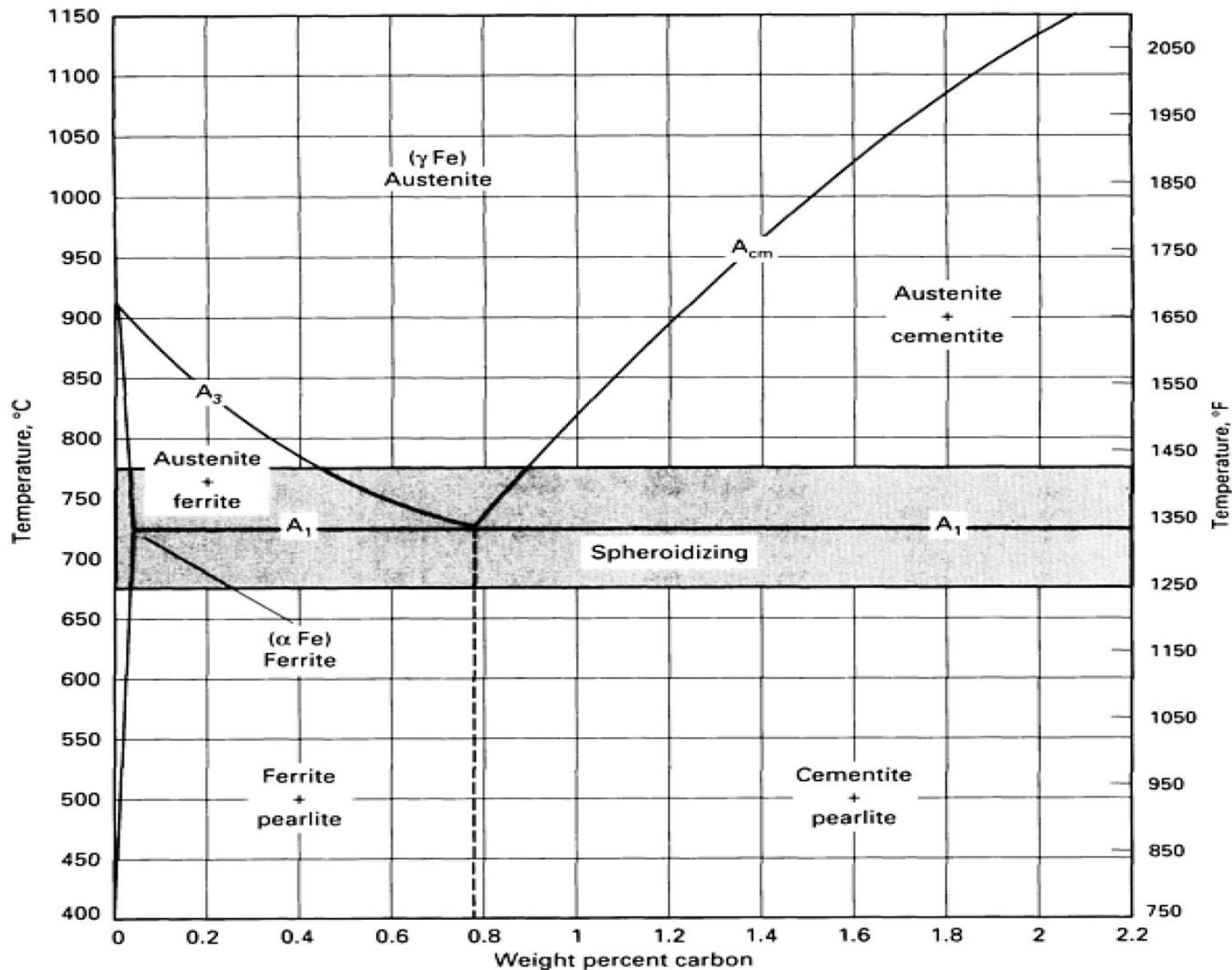
## RECOZIMENTO PLENO



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

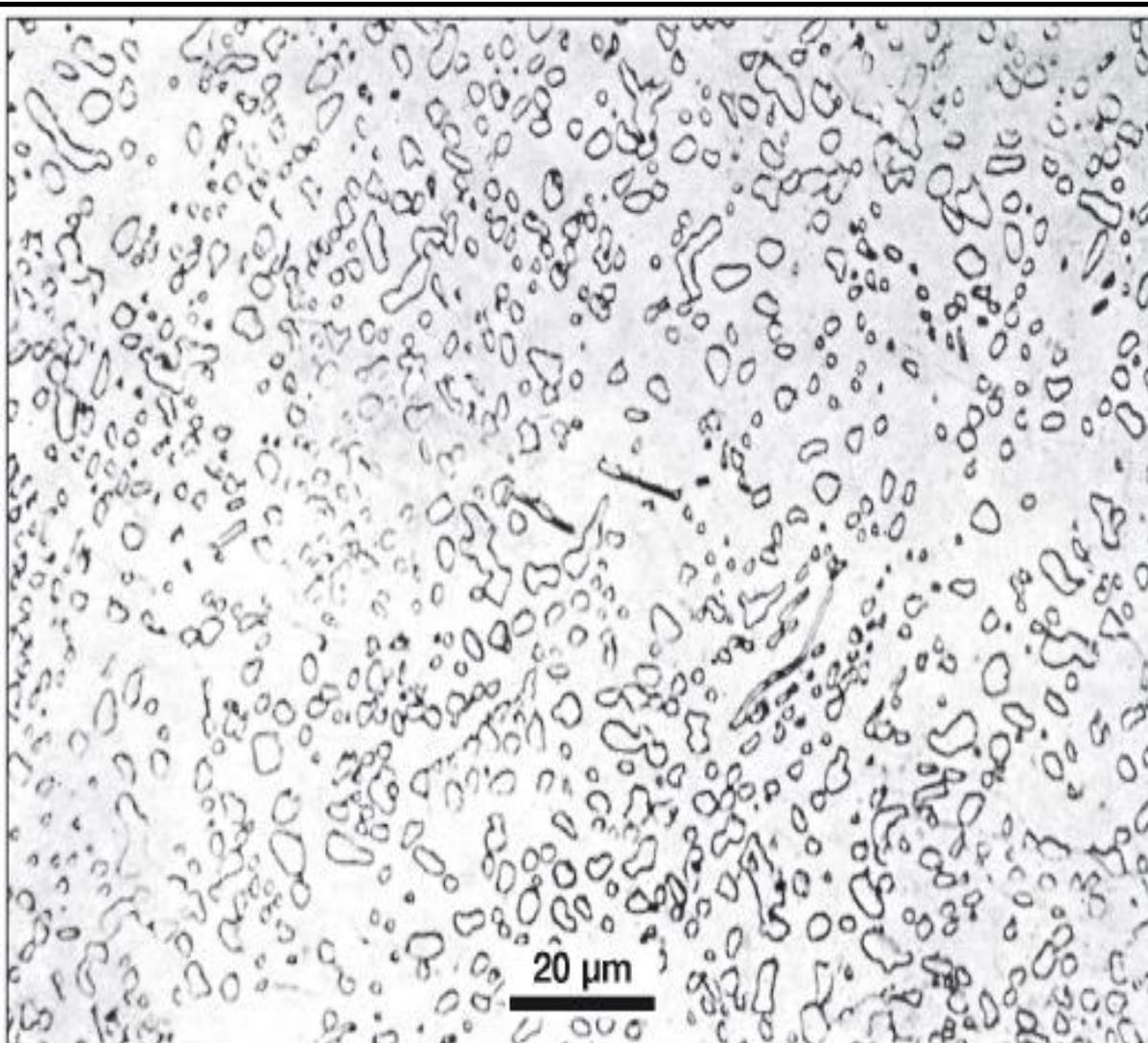
100µm

# ESFEROIDIZAÇÃO





## ESFEROIDIZAÇÃO

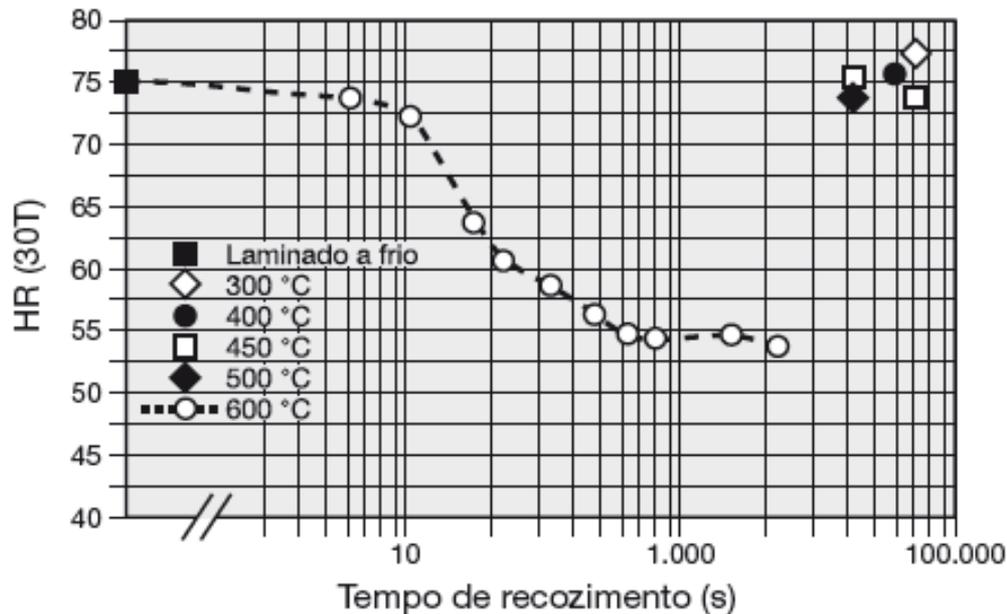


**Figura 10.3**

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.



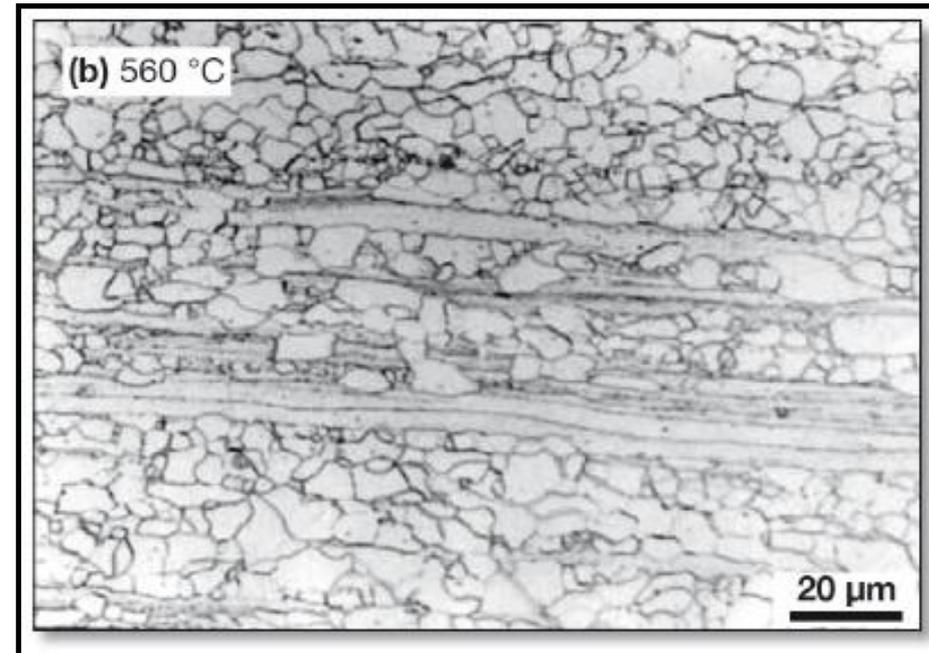
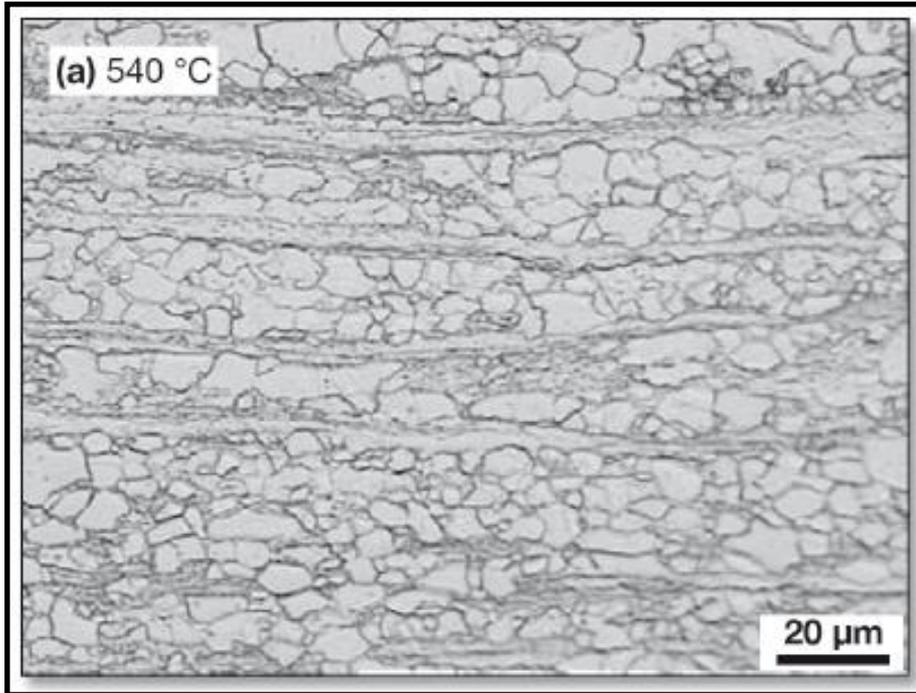
**Figura 12.15**

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].



**EESC • USP**

## ALÍVIO DE TENSÕES



**AÇO LAMINADO, COM ALÍVIO DE TENSÕES**

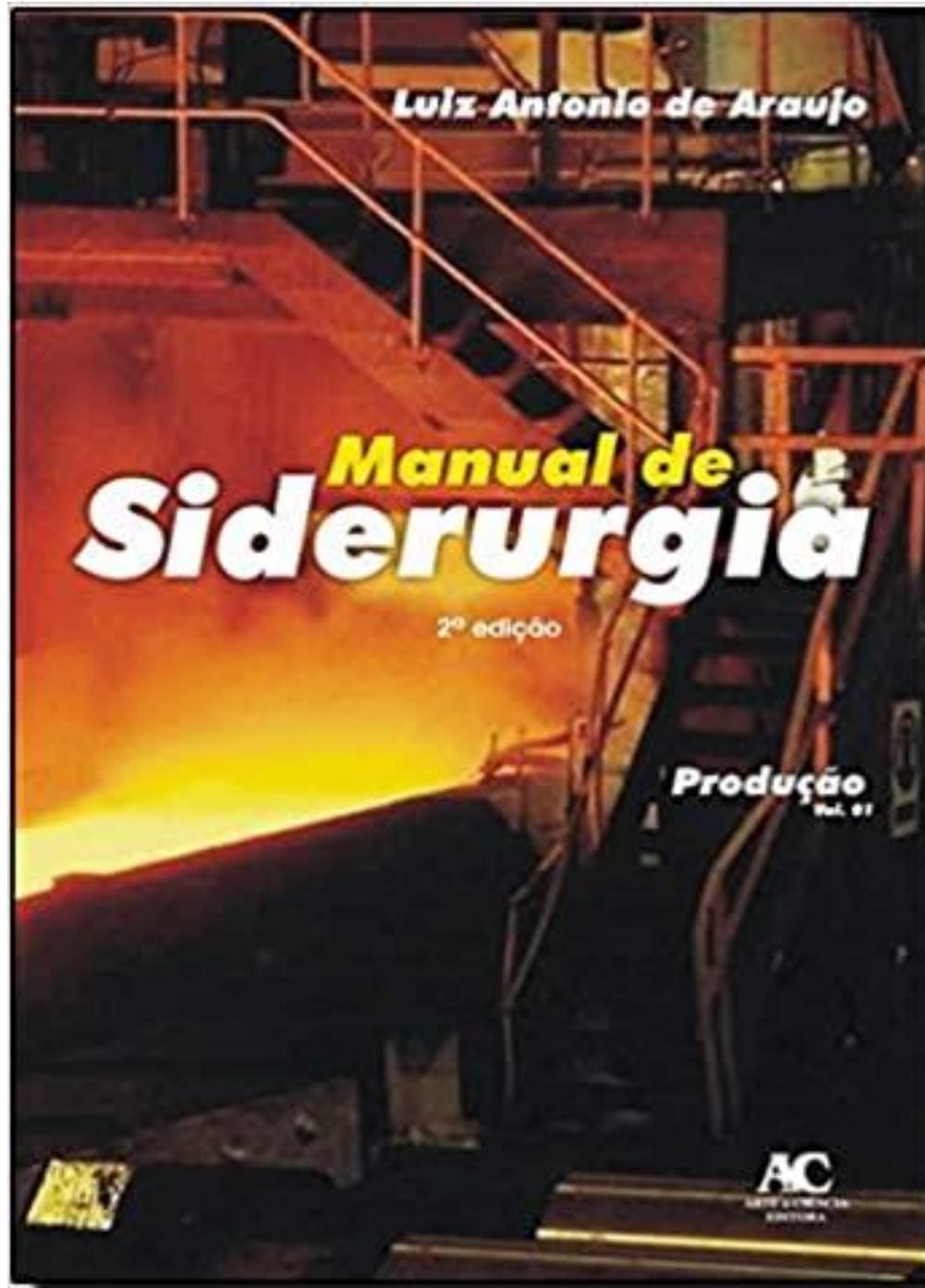


FFSC • IISP

## REFERÊNCIAS



- **Aços e Ligas Especiais, André Luiz Vasconcelos da Costa e Silva e Paulo Roberto Mei, Edgard Blücher-Villares Metals, segunda edição, 2006;**
- **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, Hubertus Colpaert, 4ª. Edição revisada e atualizada por André Luiz Vasconcelos da Costa e Silva, Editora Blücher – Villares Metals, 2008;**
- **Aços, Microestrutura e Propriedades, R.W.K Honeycombe, Fundação Calouste Gulbenkian, 1982;**
- **Refino dos aços, André Luiz Vasconcelos da Costa e Silva, Editora Blücher, 1ª ed., 2023;**
- **Manual de siderurgia, Luiz Antonio de Araujo, Vol1-2ªEdição-2005;**

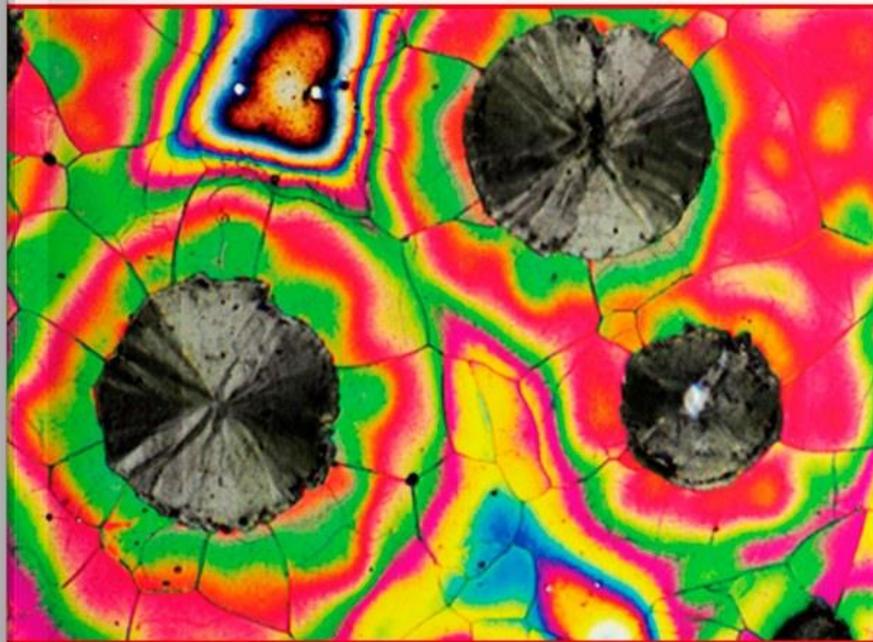


HUBERTUS COLPAERT

4<sup>a</sup>  
edição

# metalografia

dos produtos siderúrgicos comuns



4<sup>a</sup> edição revista e atualizada por: **ANDRÉ LUIZ V. DA COSTA E SILVA**

**Blucher**

**VILLARES METALS**

André Luiz V. da Costa e Silva  
Paulo Roberto Mei

# Aços e Ligas Especiais

4ª edição revista

Blucher

 **VILLARES METALS**  
a voestalpine company

André Luiz V. da Costa e Silva

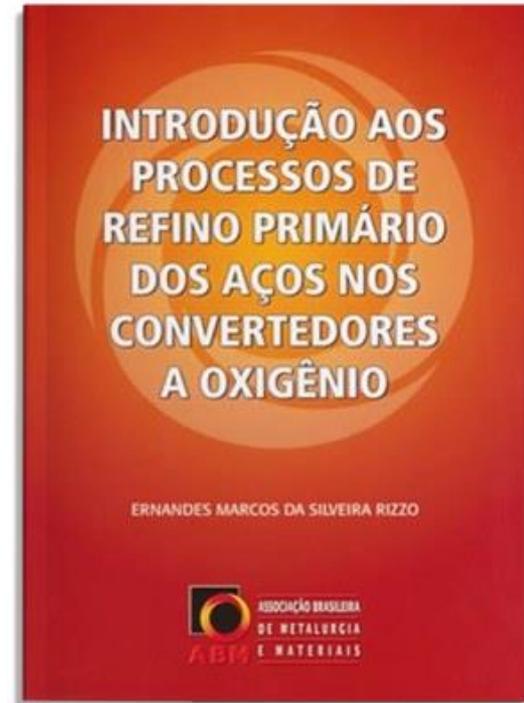
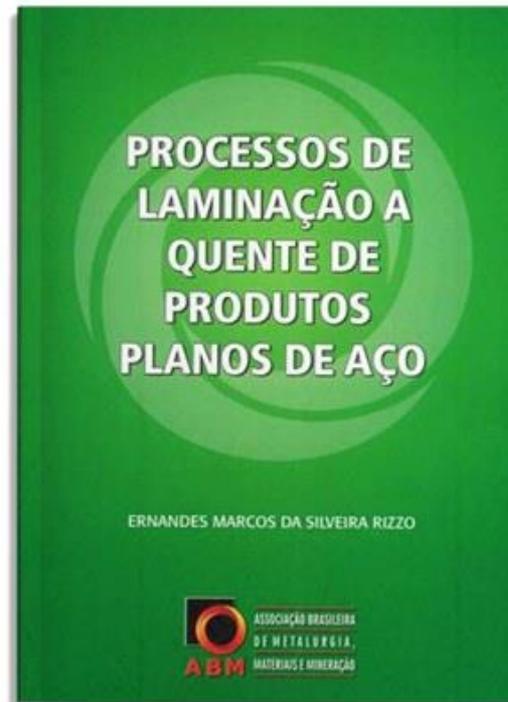
# REFINO DOS AÇOS

Fundamentos e aplicações

Blucher

CBmm







# TERMODINÂMICA METALÚRGICA

Balanços de energia, soluções e  
equilíbrio químico em sistemas metalúrgicos

CARLOS ANTONIO DA SILVA  
ITAVAHN ALVES DA SILVA  
LUIZ FERNANDO ANDRADE DE CASTRO  
ROBERTO PARREIRAS TAVARES  
VARADARAJAN SESHADRI

**Blucher**

 **abm**  
Associação Brasileira de  
Metalurgia, Materiais e Mineração

# Tratamento de inclusões com cálcio

Wagner Viana Bielefeldt  
E-mail: [wagner.viana@ufrgs.br](mailto:wagner.viana@ufrgs.br)  
55 51 991611051

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Departamento de metalurgia [www.ufrgs.br/demet](http://www.ufrgs.br/demet)  
Laboratório de Siderurgia



**FIM**