

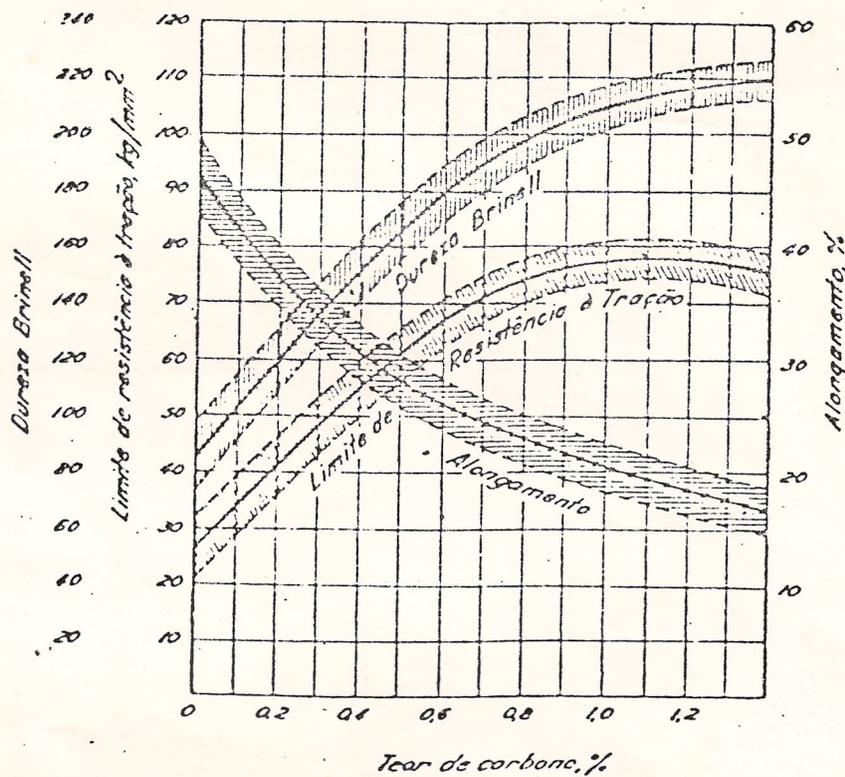
TRABALHO

METALÚRGICO

TRANSFORMAÇÕES no EQUILÍBRIO

para LIGAS

Fe - C



Elaboração: Prof. João Bosco de Oliveira Perdigão

Prof. Carlos Roberto Matias

Prof. Genilton José Nunes

1. INTRODUÇÃO

Entende-se por transformação dentro das condições de equilíbrio aquela que se dá com resfriamento (ou aquecimento) muito lento (da ordem de $2^{\circ}\text{C}/\text{hora}$). Os diagramas de equilíbrio das ligas correspondem a tal situação. Na prática, de um modo geral, resfriamento ao forno corresponde a uma situação de equilíbrio.

2. ALOTROPIA DO FERRO

A alotropia consiste em um mesmo elemento se apresentar no estado sólido sob formas cristalinas diversas. Em outras palavras, a alotropia consiste na mudança de reticulado cristalográfico do elemento (por exemplo, CFC em CCC). O ferro exibe alotropia. O ponto de fusão do ferro é 1538°C . O mesmo se cristaliza na forma CCC. Mas quando sua temperatura cai, ao atingir determinados valores de temperatura, há mudança no seu reticulado cristalográfico. A baixo de 912°C o ferro não sofre nenhuma transformação alotrópica, porém, a 768°C o mesmo passa a apresentar magnetismo. Portanto, o ferro só é magnético abaixo de 768°C . Esta temperatura é chamada temperatura Curie.

A fig. 1 ilustra esquematicamente a alotropia do ferro.

3. AÇO

O ferro forma com o carbono as ligas chamadas ferro-carbono (Fe-C). Estas ligas se subdividem em dois grandes grupos: aços e ferros fundidos.

Ligas Fe-C com teor de carbono inferior a 2,11% constituem os aços.

Ligas Fe-C com teor de carbono compreendido entre 2,11% e 6,67% constituem os ferros fundidos.

No presente trabalho nos restringiremos ao estudo dos aços.

Os aços se dividem em duas classes: aço-carbono (ou aço-comum) e aço-liga.

AÇO-CARBONO:

É uma liga Fe-C, contendo um teor de carbono que varia de 0,008% a 2,11%, além de outros elementos residuais decorrentes do processo de fabricação, dentro de teores considerados normais, insuficientes para conferir-lhe propriedades diferentes das que se devem ao seu teor de carbono.

Os elementos residuais são apresentados, a seguir, indicando-se a faixa de composição dentro da qual são considerados elementos normais do aço.

Mn (mangânês) \leq 0,90%

Si (silício) \leq 0,30%

S (enxofre) \leq 0,05%

P (fósforo) \leq 0,04%

AÇO-LIGA:

É um aço que contém, além do ferro e do carbono, um ou vários elementos de adição, em quantidade suficiente para modificar, sensivelmente, pelo menos uma das propriedades do aço-carbono, que contém a mesma quantidade de carbono.

No item 7 deste trabalho, apresentaremos, de forma mais detalhada, algumas das diversas classificações dos aços-carbono e aços-liga.

4. DIAGRAMA Fe-C

A seguir, apresentaremos o diagrama de equilíbrio ou diagrama de fases Fe-C. O diagrama que apresentaremos é, a rigor, o diagrama ferro-cementita (Fe-Fe₃C), também dito diagrama meta estável. Neste diagrama, um dos seus extremos é o ferro puro e o outro, o composto Fe₃C, que possui 6,67% (percentagem peso).

A figura 2 representa tal diagrama.

4.1. REAÇÕES TÍPICAS DAS LIGAS Fe-C

As reações que se processam na formação das ligas Fe-C são, a seguir, apresentadas.

T^oC - 1495; %C - 0,16: L + δ ⇌ γ (reação peritética);

T^oC - 1147; %C - 4,30: L ⇌ γ + Fe₃C (reação eutética);

T^oC - 727; %C - 0,80: γ ⇌ α + Fe₃C (reação eutetóide).

4.2. ESTUDO DO DIAGRAMA NA FAIXA CORRESPONDENTE AOS AÇOS

Apresentaremos agora, detalhadamente, um estudo do diagrama Fe-Fe₃C na faixa correspondente aos aços, ou seja, entre 0,008 e 2,11% C. A figura 3 é uma ampliação da referida faixa do diagrama.

A zona delimitada pelas linhas A₁, A₃ e A_{cm} é intitulada zona crítica. Esta zona corresponde à região do diagrama onde se processam as transformações que ocorrem com as ligas em estado sólido, em condições de equilíbrio.

Os aços com 0,8% C são chamados eutetóides; aqueles que apresentam carbono abaixo de 0,8%, hipoeutetóides e os que possuem carbono acima de 0,8%, hipereutetóides.

Consideremos o resfriamento de três ligas diferentes: liga eutetóide (com 0,8% C), liga hipoeutetóide (representada pela composição X% C) e liga hipereutetóide (representada pela composição Y% C).

OBS.: Para um estudo minucioso destas ligas teremos que lançar mão da "regra da horizontal" (para determinar a composição química de cada fase presente) e da "regra da alavanca" (para determinar a quantidade relativa de cada fase presente).

4.2.1. AÇO EUTETÓIDE (LIGA COM 0,8% C)

O aço eutetóide, depois de inteiramente solidificado, será constituído completamente de autenita acima de A₁ (727^oC).

Ao se atingir, no resfriamento, a linha A₁, a austenita sofre a reação eutetóide, decompondo-se em ferrita (com 0,02% C) e cementita (com 6,67% C), dispostas em lamelas alternadas, passando a constituir a perlita. A quantidade de cada fase presente na perlita é determinada pela regra da alavanca e será indicada no final deste trabalho.

Ao se continuar resfriando esta liga, a ferrita irá se empobrecer em carbono. A temperatura ambiente, a perlita será constituída, pois, de ferrita (com 0,008% C) e cementita (com 6,67% C, pois o teor do mesmo na cementita não varia com a temperatura).

Handwritten notes:
eutetóide: austenita > ferrita + cementita > perlita
hipoeutetóide: austenita > ferrita + cementita > perlita
hipereutetóide: austenita > ferrita + cementita > perlita

Perlita { Ferrita - 88,0%
 { Cementita - 12,0%

4.2.2. AÇO HIPOEUTETÓIDE (LIGA COM TEOR DE CARBONO INFERIOR A 0,8%)

Será representada genericamente pela liga X.

Acima de X₃, após solidificação total, será constituída somente de austenita.

Em X₃, a austenita começa a se transformar em ferrita. O ferro gama começa a se transformar em ferro alfa, o qual só pode manter em solução um teor mínimo de carbono, ocasionando um enriquecimento de carbono na austenita remanescente (austenita que ainda não se transformou).

Em X₂, mais austenita terá se transformado em ferrita, ocasionando ainda maior enriquecimento de carbono na austenita remanescente.

Em X₁ (à temperatura de 727°C), a liga será constituída de ferrita com 0,02% C (ferrita proeutetóide ou ferrita livre) e austenita remanescente com 0,8% C. Esta austenita sofre, então, a reação eutetóide, transformando-se em perlita. Continuando-se o resfriamento, tanto a ferrita proeutetóide, quanto a ferrita da perlita, se empobrecem em carbono. À temperatura ambiente, este aço será constituído de ferrita (livre ou proeutetóide) e perlita.

4.2.3. AÇO HIPEREUTETÓIDE (LIGA COM TEOR DE CARBONO SUPERIOR A 0,8%)

Será representada genericamente pela liga Y.

Acima de Y₃, após solidificação total, será constituída somente de austenita.

Em Y₃, começa a se transformar em cementita. Portanto, ao se atravessar a linha A_{cm}, começa a haver separação de carbono da austenita, com conseqüente formação de cementita, chamada livre ou proeutetóide, que vai se localizar nos contornos de grão da austenita.

Em Y₁ (à temperatura de 727°C), a liga será constituída de cementita (livre ou proeutetóide) e de austenita com 0,8% C. Esta austenita remanescente sofre, então, a reação eutetóide, transformando-se em perlita. Continuando-se o resfriamento, atinge-se a temperatura ambiente. Ao se atingir tal temperatura, esta liga será constituída, pois, perlita e cementita (livre ou proeutetóide).

OBS.: Uma liga com teor de carbono compreendido entre 0 e 0,008%, após solidificação total, se apresenta completamente austenística, até se atingir a linha

A₃. Após ultrapassar A₃, no resfriamento, toda austenita se transformará em ferrita. Assim, à temperatura ambiente será constituída somente de ferrita (com teor de carbono entre 0 e 0,008%). Esta liga é chamada de ferro comercialmente puro ou ainda "ferro ARMCO".

4.2.4. CONCLUSÃO

Resumindo, à temperatura ambiente, a constituição estrutural das ligas ferro-carbono, com teor de carbono compreendido entre 0 e 2,11%, quando resfriados lentamente a partir de temperaturas superiores à zona crítica, é a seguinte:

- ferro comercialmente puro (entre 0 a 0,008% C) - entre 0 e P (fig. 3):
 ferrita;

- aço hipoeutetóide (entre 0,008 e 0,8% C) - entre P e Q (fig. 3): ferrita (livre) e perlita;
- aço eutetóide (liga com 0,8% C) - em Q (fig. 3): perlita;
- aço hipereutetóide (entre 0,8 e 2,11% C) - entre Q e R (fig. 3): perlita e cementita (livre).

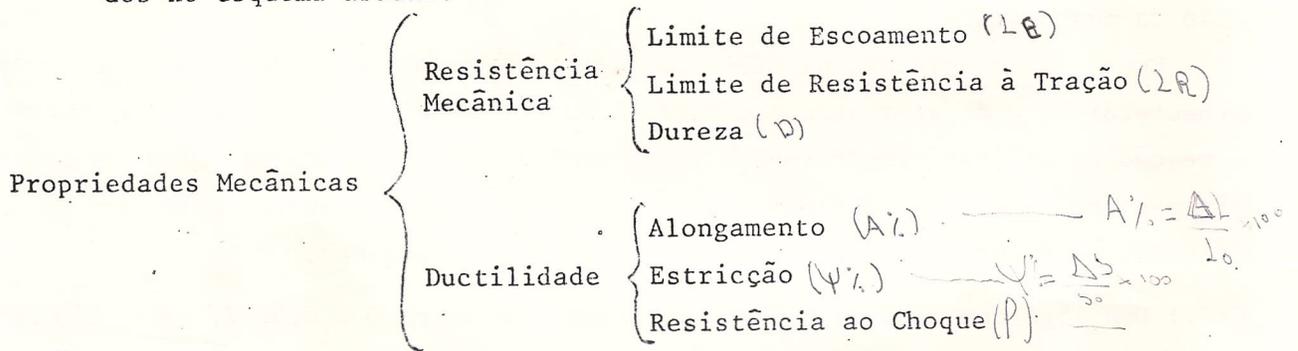
NOTA: Os aços hipereutetóides terão tanto maior quantidade de cementita, quanto mais se aproximarem de 2,11% C; os aços hipoeutetóides terão tanto maior quantidade de ferrita, quanto mais se aproximarem de 0,008% C.

A figura 4 é uma representação esquemática dos constituintes dos aços-carbono, correspondentes aos diversos campos do diagrama, quando o mesmo sofre transformação no equilíbrio.

5. INFLUÊNCIA DO TEOR DE CARBONO SOBRE AS PROPRIEDADES DOS AÇOS-CARBONO RESFRIADOS LENTAMENTE

Devido às características mecânicas dos constituintes dos aços, as propriedades mecânicas destes variam de acordo com a proporção daqueles constituintes, quando resfriados lentamente. Assim, o ferro comercialmente puro, constituído só de ferrita, apresenta-se com baixa dureza, dúctil, pouco resistente à tração e com alta resistência ao choque. À medida que o teor de carbono cresce, aumentam-se os valores representativos da resistência mecânica, enquanto caem os valores relativos à ductilidade.

OBS.: As propriedades mecânicas se subdividem em dois grupos a saber - resistência mecânica e ductilidade. Estes são representados por valores que estão indicados no esquema abaixo.



TENACIDADE: é a associação de resistência mecânica com a ductilidade.

A tenacidade será tanto maior, quanto maior forem, simultaneamente, os valores de resistência mecânica e ductilidade.

A fig. 5 ilustra a influência do teor de carbono sobre as propriedades dos aços resfriados lentamente, ou seja, aços-carbono recozidos.

Neste gráfico estão lançados os valores do limite de resistência à tração, do alongamento e da dureza, que são os dados mais representativos das propriedades mecânicas dos metais.

Evidentemente as três curvas podem sofrer deslocamentos sensíveis para valores superiores e inferiores, pois outros fatores, além do teor de carbono, entram em jogo também. Este fato está indicado na figura 5 pelas áreas achuradas.

A curva relativa aos limites de resistência à tração mostra que os máximos valores para essas propriedades obtêm-se logo acima da composição eutetóide, permanecendo os mesmos, a seguir, praticamente constantes e podendo mesmo sofrer uma certa queda. Tal fato compreende-se facilmente, pois basta lembrar que, devido aos seus característicos próprios, a estrutura perlítica é a mais resistente que os aços resfriados lentamente apresentam; havendo cementita envolvendo grãos de perlita e sendo a cementita um constituinte de grande dureza, é de se esperar que haja um aumento da resistência nos aços hipereutetóides. Esse aumento, entretanto, não é muito sensível, como a curva mostra, visto que a própria alta dureza, e conseqüentemente excessiva fragilidade da cementita, pode afetar desfavoravelmente, a resistência mecânica do aço, após uma certa quantidade.

Podemos afirmar ainda, com base na fig. 5, que a dureza cresce sempre, enquanto que o alongamento diminui sempre, com o aumento do teor de carbono.

A fig. 6, além de mostrar a variação das propriedades mecânicas dos aços com o teor de carbono, indica as aplicações usuais para cada faixa de carbono, na condição de laminado a quente.

6. CONSTITUINTES DOS AÇOS E SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Apresentamos, a seguir, os constituintes dos aços obtidos em condições de equilíbrio. Os demais serão apresentados ao tratarmos das transformações fora do equilíbrio.

6.1. AUSTENITA (A OU γ)

- a) TIPO DE FASE: solução sólida de carbono no Fe γ .
- b) METALOGRAFIA: estrutura de grãos poligonais irregulares.
- c) CARACTERÍSTICA FÍSICA: não magnética.
- d) PROPRIEDADES MECÂNICAS: possui boa resistência mecânica e apreciável tenacidade.

- Limite de resistência à tração: LR = 88 a 105 kgf/mm²
- Dureza Brinell: HB = 300
- Alongamento: 30 a 60%

OBS.: A austenita nos aços carbono só é estável acima de 727°C (A₁).

6.2. FERRITA (F OU α)

- a) TIPO DE FASE: é o ferro no estado alotrópico α , contendo em solução traços de carbono (à temperatura ambiente, um máximo de 0,008%).
- b) METALOGRAFIA: estrutura de grãos poligonais irregulares.
- c) CARACTERÍSTICA FÍSICA: é magnética.

d) PROPRIEDADES MECÂNICAS: possui baixa dureza e baixa resistência à tração. Possui, porém, excelente resistência ao choque e elevado alongamento.

- Limite de resistência à tração: $LR \approx 30\text{kgf/mm}^2$
- Dureza Brinell: 90HB
- Alongamento: em torno de 40%

6.3. CEMENTITA (C ou Fe_3C)

- a) TIPO DE FASE: composto químico (carboneto de ferro; Fe_3C , contendo 6,67% de carbono.
 - b) METALOGRAFIA: envólucro contínuo em torno dos grãos de perlita ou em forma de pequenos aglomerados (esferas).
 - c) CARACTERÍSTICA FÍSICA: é magnético.
 - d) PROPRIEDADES MECÂNICAS: é responsável pela elevada dureza e resistência à tração dos aços alto carbono, bem como sua baixa ductilidade.
- Limite de resistência à tração: $LR \approx 250\text{kgf/mm}^2$
 - Dureza Brinell: $320\text{HB} \approx 68\text{HR}_C$
 - Alongamento: praticamente nulo.

6.4. PERLITA (P)

- a) TIPO DE FASE: mistura mecânica, contendo aproximadamente 88% de ferrita e 12% de cementita.
- b) METALOGRAFIA: estrutura em forma de lâminas finas (lamelas) de espessura inferior a um micron metro ($1\mu\text{m}$), dispostas alternadamente.
- c) CARACTERÍSTICA FÍSICA: é magnética.
- d) PROPRIEDADES MECÂNICAS: suas propriedades são intermediárias às da cementita e da ferrita, dependendo, entretanto, da espessura das lamelas de cementita.

- Limites de resistência à tração: $LR \approx 95\text{kgf/mm}^2$
- Dureza Brinell: 200HB
- Alongamento: 15%

OBS.: Quanto mais fina (menos espessa as lamelas) a perlita, maior a sua resistência mecânica.

7. CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

Existem diversas classificações para os aços. Nós nos ateremos a algumas delas.

7.1. AÇOS-CARBONO

7.1.1. PRIMEIRA CLASSIFICAÇÃO:

- Aço doce: carbono entre 0,15 e 0,25%;
- Aço meio-duro: carbono entre 0,25 e 0,50%;
- Aço duro: carbono entre 0,50 e 1,40%.

7.1.2. SEGUNDA CLASSIFICAÇÃO

- Aço extradoce: carbono inferior a 0,15%;
- Aço doce: carbono entre 0,15 e 0,30%;
- Aço meio-doce: carbono entre 0,30 e 0,40%;
- Aço meio-duro: carbono entre 0,40 e 0,60%;
- Aço duro: carbono entre 0,60 e 0,70%;
- Aço extraduro: carbono entre 0,70 e 1,20%.

7.1.3. TERCEIRA CLASSIFICAÇÃO

Esta é a mais utilizada e é a que adotaremos em nosso Curso.

- (BC) aço baixo carbono: $C < 0,20\%$;
- (MC) aço médio carbono: $0,20\% \leq C \leq 0,50\%$
- (AL) aço alto carbono: $C > 0,50\%$.

7.2. AÇOS LIGA

- (BL) aço liga de baixo teor de liga: teor total de liga inferior a 5,0%;
- (ML) aço liga de médio teor de liga: teor total de liga compreendido entre 5,0% e 8,0%;
- (AL) aço liga de alto teor de liga: teor total de liga superior a 8,0%.

8. DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS

Praticamente todos os elementos de liga se dissolvem na austenita. Ou seja, quando o aço se encontra à temperatura em que é constituído unicamente de austenita, os seus elementos encontram-se inteiramente dissolvidos no ferro gama.

Os elementos de liga apresentam, entretanto, tendência diversa quando no resfriamento, o aço se encontra na zona crítica. Em outras palavras, há certos elementos que tendem a ficar dissolvidos no ferro sob a forma alotrópica alfa, da mesma maneira que o carbono; há outros que tendem a formar carbonetos, da mesma maneira que o ferro.

8.1. ELEMENTOS QUE TENDEM A SE DISSOLVEREM NA FERRITA

São os seguintes: Si, Al, Cu, Ni, Zr, Mn (forte*), P, N.

* - O Mn apresenta tendência a se dissolver na ferrita.

8.2. ELEMENTOS QUE TENDEM A FORMAR CARBONETOS

Estes serão apresentados na ordem decrescente de tendência de formação de carbonetos.

Ti, Nb, V, W, Mo, Cr, Mn (fraca*).

* - O Mn apresenta fraca tendência a formar carbonetos.

9. EFEITOS DOS ELEMENTOS DA LIGA SOBRE O DIAGRAMA Fe-C

O ferro existe em duas formas alotrópicas-alfa e gama-estáveis em diferentes faixas de temperatura. Essas formas se caracterizam por poderem manter em solução sólida, dentro de ampla faixa de teores, vários elementos de liga que podem participar da composição dos aços.

[Handwritten signature]

As diferentes solubilidades dos vários elementos de liga nessas duas formas alotrópicas do ferro levam a modificação nas faixas de temperaturas em que ocorrem as transformações estruturais dos aços. Se no ferro puro a mudança de alfa para gama ocorre em uma única temperatura (912°C), a presença de qualquer elemento adicional - como aliás já se viu para o caso do carbono - cria uma faixa de temperatura, mais ou menos estreita, na qual ambas as fases podem coexistir em equilíbrio. Esta circunstância faz com que o campo de existência da austenita seja alargado ou estreitado. O mesmo ocorre com a ferrita. Em outras palavras, altera-se a forma do diagrama Fe-C.

9.1. ELEMENTOS ESTABILIZADORES DA FERRITA

São também chamados elementos alfa-gêneos. Eles têm tendência a aumentar o campo de existência da ferrita.

Si, Cr, Mo, Ti, Al, Ta, Zr, Nb, P, V, B, S, W.

9.2. ELEMENTOS ESTABILIZADORES DA AUSTENITA

São também, denominados elementos gama-gêneos. Eles têm tendência a aumentar o campo de existência da austenita.

Mn, Ni, Cu, Co, Zn, N, C.

OBS.: Existem certos elementos de liga, como por exemplo Mn, Cr, Mo, Si, Ni, Ti, etc., que apresentam tendência a produzirem uma estrutura inteiramente eutetóide, para teores de carbono inferiores a 0,8%. Isto é muito importante por ser a liga eutetóide de grande resistência mecânica. Como a dureza e a fragilidade crescem com a percentagem de cementita, é evidente que, se pudermos obter uma estrutura resistente, inteiramente perlítica, mediante introdução de elementos de liga num aço com menor teor de carbono, esta estrutura será também menos dura e menos frágil, ou seja, mais tenaz do que a estrutura semelhante num aço-carbono comum. Este fato é muito vantajoso do ponto de vista de propriedades mecânicas.

Exemplo: O aço-liga com 1,0% de titânio apresenta estrutura inteiramente perlítica com apenas 0,2% de carbono.

10. APLICAÇÕES DA REGRA DA ALAVANCA NO DIAGRAMA FeC

Vamos fazer algumas aplicações da regra da alavanca para ligas com diferentes teores de carbono, à temperatura ambiente. Estas aplicações ficarão melhor compreendidas com explicações complementares em sala de aula.

OBS.: Para efeito de cálculo, consideraremos o teor de carbono da cementita igual a 6,7% e da ferrita igual a 0,0%.

10.1. CÁLCULO DAS PERCENTAGENS DE FERRITA E CEMENTITA CONTIDAS EM UM AÇO-CARBONO COM TEOR DE CARBONO IGUAL A 0,8%, OU SEJA, EM UM AÇO CEM POR CENTO PERLÍTICO

Solução:

Percentagem da ferrita (F)

$$\%F = \frac{6,7 - 0,8}{6,7 - 0,0} \times 100 = 88,0\%$$

Perlita { 88,0% de ferrita
12,0% de cementita

Percentagem de cementita (Fe₃C)

$$\%Fe_3C = \frac{0,8 - 0,0}{6,7 - 0,0} \times 100 = 12,0\%$$

10.2. CONSIDERE UM AÇO COM 0,3% DE CARBONO

- a) Classifique-o de acordo com o diagrama Fe-C.
- b) Determine a percentagem dos seus constituintes.
- c) Determine a percentagem de ferrita total e cementita total.

Solução:

- a) Possui 0,3% C, ou seja, C < 0,8% ⇒ aço hipoeutetóide.
- b) Seus constituintes são ferrita (F) e a perlita (P).

Percentagem de ferrita (ferrita livre):

$$\%F = \frac{0,8 - 0,3}{0,8 - 0,0} \times 100 = \frac{0,5}{0,8} \times 100 = 62,5\%$$

Percentagem de perlita (P):

$$\%P = \frac{0,3 - 0,0}{0,8 - 0,0} \times 100 = \frac{0,3}{0,8} \times 100 = 37,5\%$$

- c) Percentagem de ferrita total e cementita total:

$$\%F_{total} = \%F_{livre} + \%F_{perlita}$$

$$\%F_{livre} = 62,5\%$$

$$\%F_{perlita} = ?$$

$$100,0 P \text{ — } 88,0 F$$

$$37,5 P \text{ — } X$$

$$\%F_{perlita} = X = \frac{88,0 \times 37,5}{100} = 33,0\%$$

$$\%F_{total} = 62,5 + 33,0 = 95,5\%$$

$$\%Fe_3C_{total} = \%Fe_3C_{perlita} = 37,5 - 33,0 = 4,5\%$$

10.3 CONSIDERE UM AÇO COM 1,3% DE CARBONO

- a) Classifique-o de acordo com o diagrama Fe-C.
- b) Determine a percentagem dos seus constituintes.
- c) Calcule a percentagem de cementita total e ferrita total.

Solução:

- a) Possui 1,3% C, ou seja, C > 0,8% ⇒ aço hipereutetóide.
- b) Seus constituintes são a perlita (P) e a cementita (Fe₃C).

Percentagem de perlita (P):

$$\%P = \frac{6,7 - 1,3}{6,7 - 0,8} \times 100 = 91,5\%$$

Percentagem de cementita (cementita livre):

$$\%Fe_3C = \frac{1,3 - 0,8}{6,7 - 0,8} \times 100 = \frac{0,5}{5,9} \times 100 = 8,5\%$$

c) Percentagem de cementita total e ferrita total:

$$\%Fe_3C_{total} = \%Fe_3C_{livre} + \%Fe_3C_{perlita}$$

$$\%Fe_3C_{livre} = 8,5$$

$$\%Fe_3C_{perlita} = ?$$

$$100,0 P \text{ --- } 12,0 Fe_3C$$

$$91,5 P \text{ --- } y \quad \therefore \%Fe_3C_{perlita} = y = \frac{12,0 \times 91,5}{100,0} = 11,0\%$$

$$\%Fe_3C_{total} = 8,5 + 11,0 = 19,5\%$$

$$\%F_{total} = \%F_{perlita} = 91,5 - 11,0 = 80,5\%$$

10.4. CONSIDERE UM AÇO COM 80,0% DE PERLITA E 20,0% DE CEMENTITA

a) Classifique-o de acordo com o diagrama Fe-C.

b) Calcule o teor de carbono do mesmo.

c) Calcule a percentagem de cementita total e de ferrita total.

Solução:

a) Se ele apresenta perlita e cementita, é um aço hipereutetóide.

b) Cálculo do teor de carbono (%C):

$$80,0 = \frac{(6,7 - \%C) \times 100}{6,7 - 0,8} \quad \therefore \%C = 2,0\%$$

O aço possui 2,0% de carbono.

*Outro modo de se calcular o teor de carbono:

$$20,0 = \frac{\%C - 0,8}{6,7 - 0,8} \times 100 \quad \therefore \%C = 2,0\%$$

c) Percentagem de cementita total e ferrita total:

$$\%Fe_3C_{total} = \%Fe_3C_{livre} + \%Fe_3C_{perlita}$$

$$\%Fe_3C_{livre} = 20,0\%$$

$$\%Fe_3C_{perlita} = ?$$

$$100,0 P \text{ --- } 12,0 Fe_3C$$

$$80,0 P \text{ --- } z \quad \therefore \%Fe_3C_{perlita} = z = \frac{80,0 \times 12,0}{100,0} = 9,6\%$$

$$\%Fe_3C_{total} = 20,0 + 9,6 = 29,6\%$$

$$\%F_{total} = \%F_{perlita} = 80,0 - 9,6 = 70,4\%$$

OBS.: Fica como sugestão aplicações, análogas às anteriores, para outras composições.

11. BIBLIOGRAFIA

- .Aços e Ferros Fundidos. CHIAVERINI, Vicente. Ed. Associação Brasileira de Metais (ABM) - 4ª Edição (1977).
- .Tratamiento Térmico de los Aceros. BARREIRO, José Apraiz. Ed. Editorial Dossat (Madrid) - 6ª Edição (1968).
- .Propriedades e Estruturas dos Materiais em Engenharia. HIGGINS, R. A. Ed. Difel.
- .Curso Básico de Metalurgia Física. HILLY, G. e outro. Ed. José Monteso (Madrid) - 1ª Edição (1963).

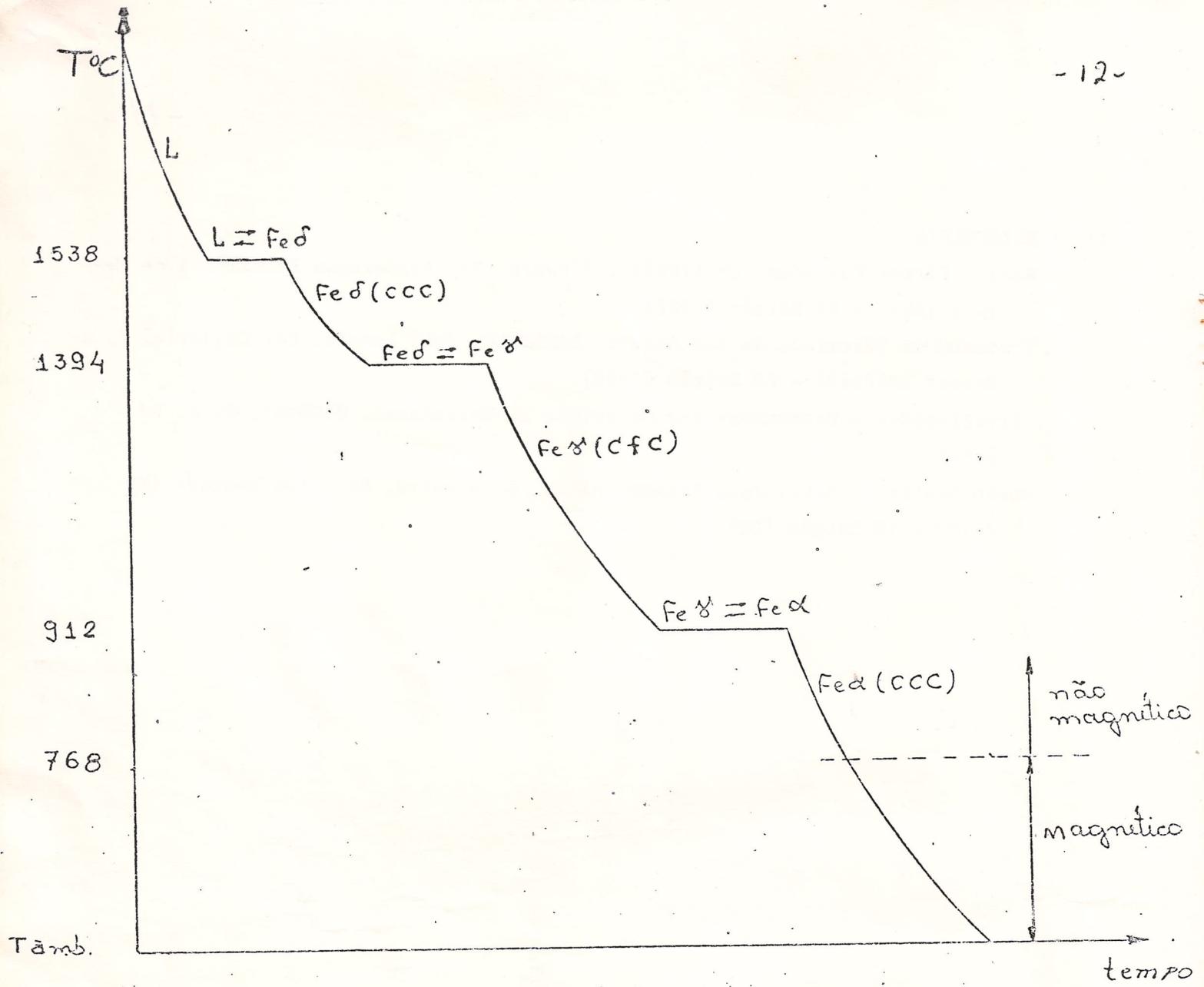


FIG. 1

Tamb. - Temperatura ambiente

→ (Indica resfriamento)

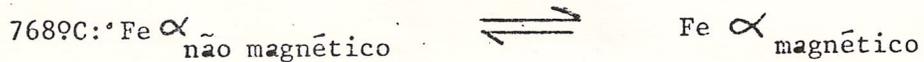
← (Indica aquecimento)

L - Líquido

Fe δ - Ferro delta (ccc): só é estável até 1394°C.

Fe γ - Ferro gama (cfc): só é estável até 912°C.

Fe α - Ferro alfa (ccc): forma com que o ferro se apresenta à temperatura ambiente, em condições normais de pressão.



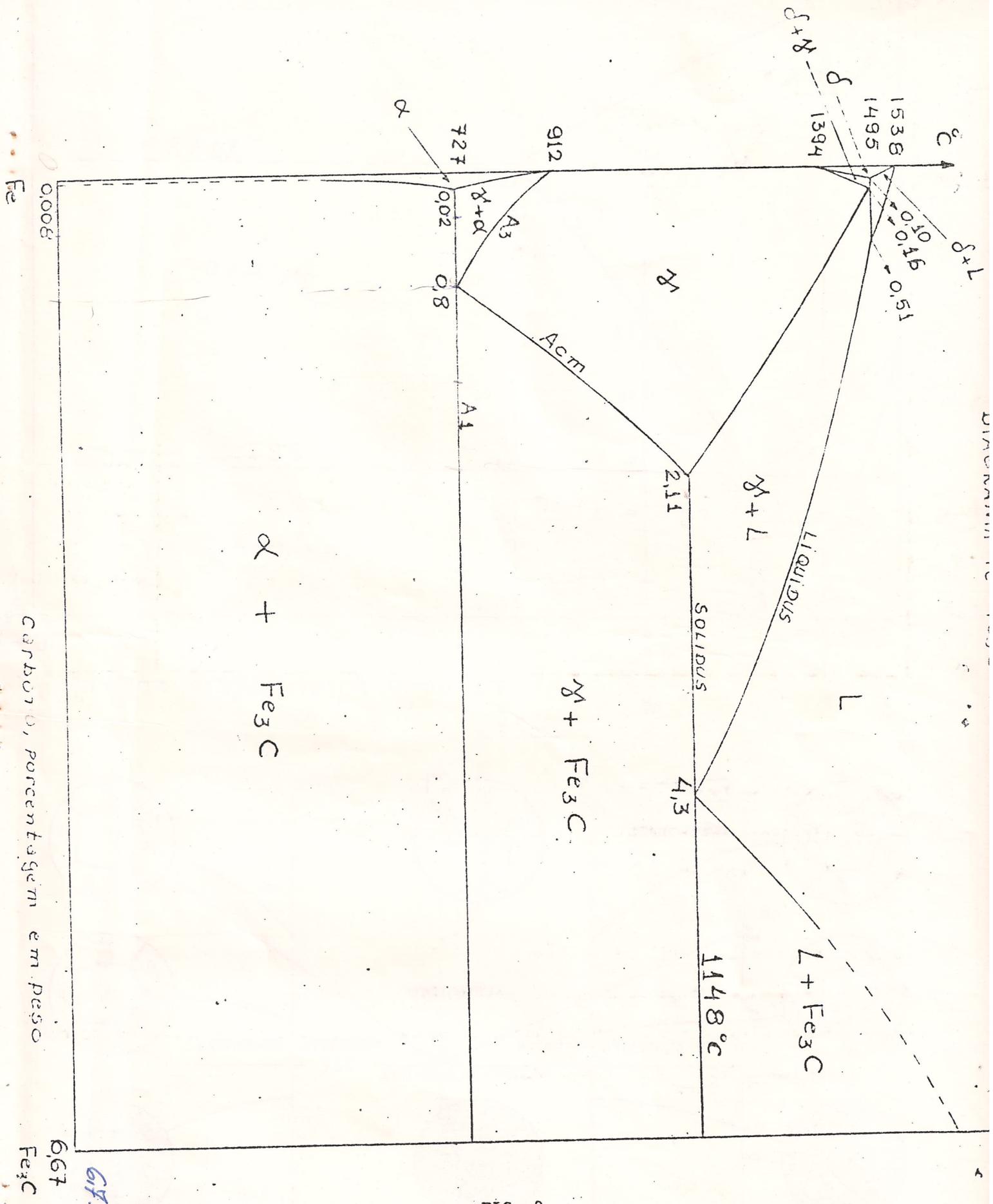


FIG. 2.

617.

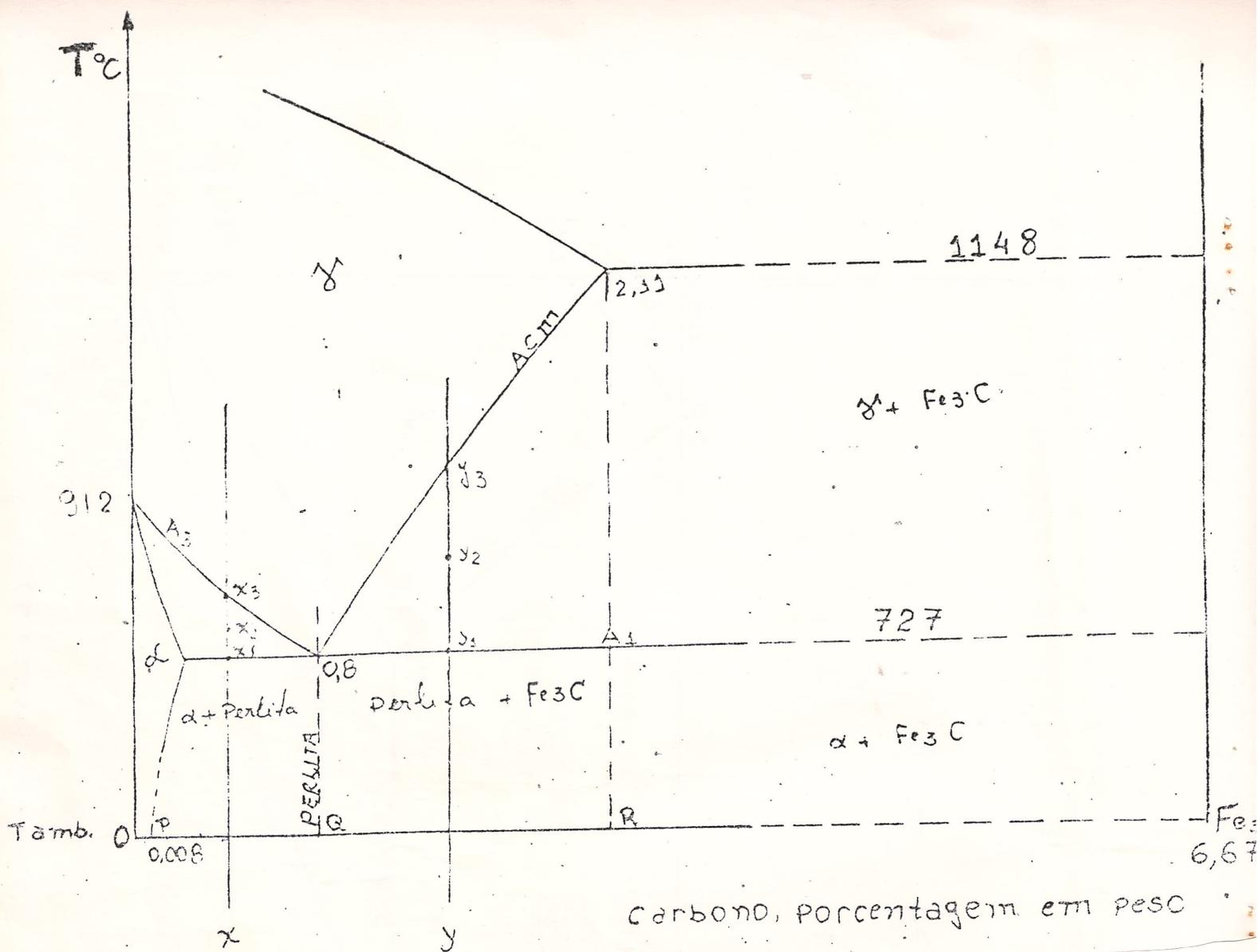


FIG. 3

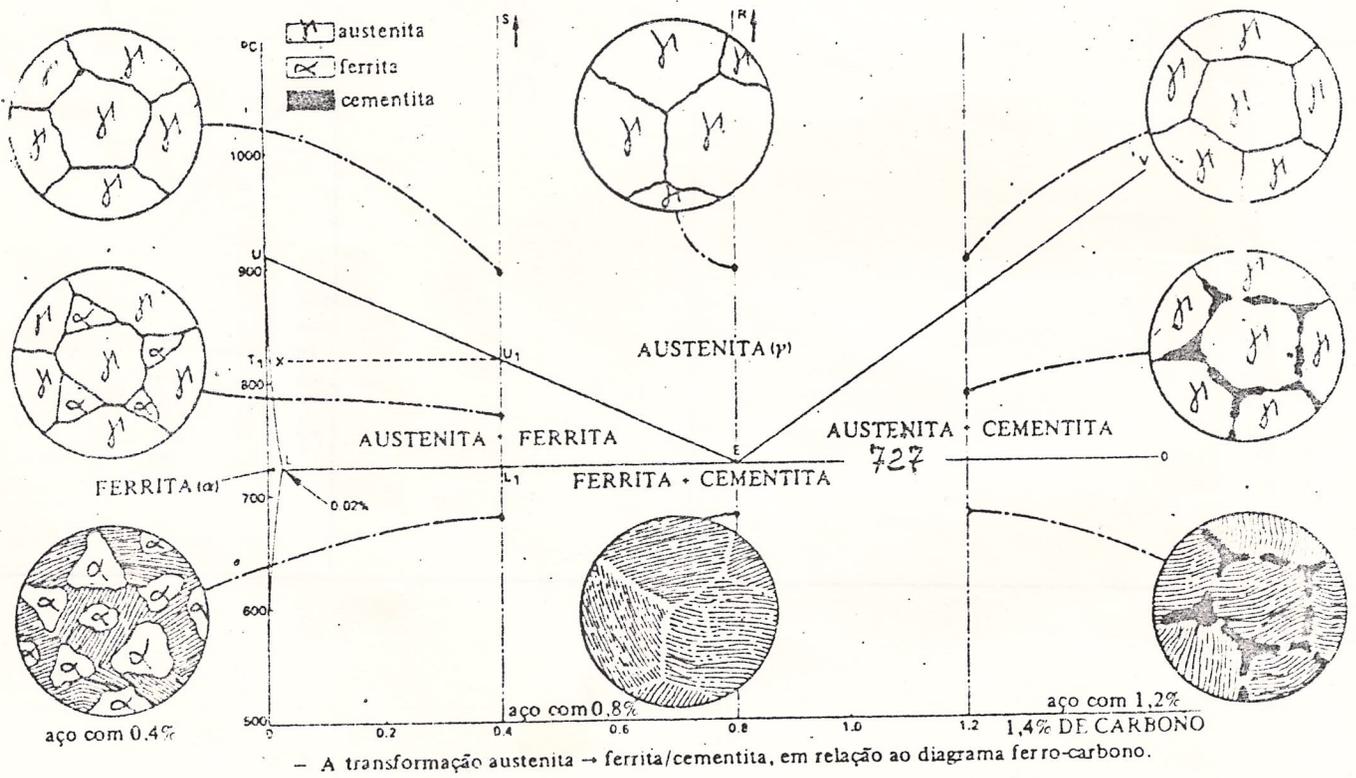
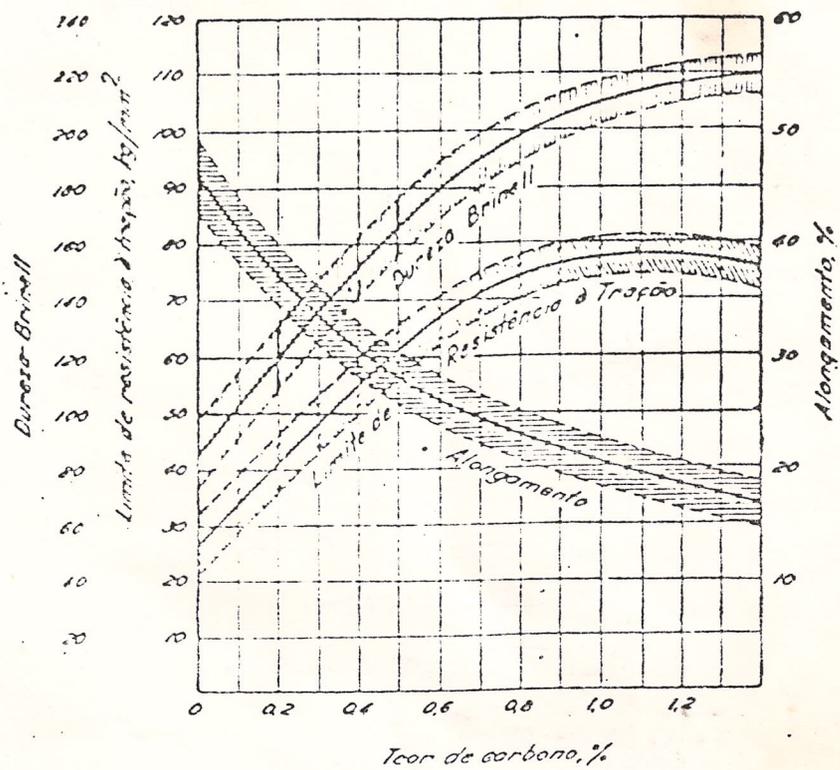
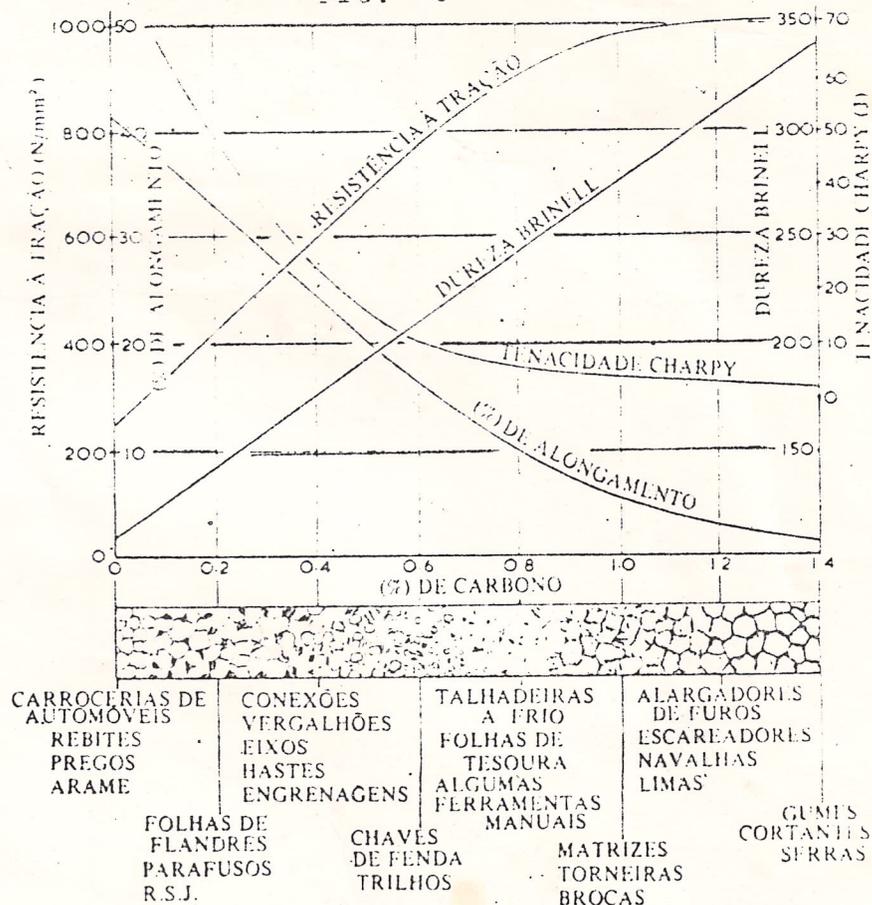


FIG. 4



Influência do teor de carbono sobre as propriedades de aços-carbono resfriados lentamente.

FIG. 5



— Relação entre a % de carbono, a utilização e as propriedades mecânicas de aços comuns ao carbono, na condição de laminado a quente.

FIG. 6

p. 15 (Vocab, para.), 28 (IV), 31 (II, III); 32 (II); 33 (I),
35; 36 (menos Vocab); 37; 38 (menos III); 39 (II, III); 40 (menos Vocab.)
41 (B, C, D); 42.

Verbs: To help — to open (p. 93)
To grow — to sell

Comparação: "like a prayer" (Vocab.)

Textos: Sintering, Pelletizing; The blast furnace
(1º, 2º para.)

uma questão: Complete usando so ou neither:
(tipo)
1) We are tired, and — (Helen)
2) We aren't tired, and — (Helen)

Resp: 1) so is Helen.

2) Neither is Helen.