

LISTA DE EXERCÍCIOS 1

1º) O que significa energia de ligação? Descreva num gráfico força x distância interatômica. Faça a relação entre temperatura de fusão e a energia de ligação.

2º) Descrever sucintamente as ligações primárias (iônica, covalente e metálica) e correlacionar sua presença com algumas propriedades dos materiais como propriedades mecânicas (resistência, dureza, etc) e condutividade térmica e elétrica.

3º) Qual a diferença entre um material cristalino e um amorfo?

4º) Defina, sucintamente, grão e contorno de grão, em um material policristalino.

5º) Qual o número de coordenação e fator de empacotamento para as seguintes estruturas: CCC; CFC; HC. Demonstre.

Resposta: CCC (NC=8, FEA=0,68); CFC (NC=12, FEA=0,74); HC (NC=12, FEA=0,74).

6º) Defina isotropia e anisotropia, citando exemplos. Explique por que as propriedades dos materiais policristalinos são mais frequentemente isotrópicas.

7º) Defina as células unitárias para a estrutura cristalina do sal-gema (NaCl) e para o cloreto de Césio (CsCl), indicando seus respectivos números de coordenação.

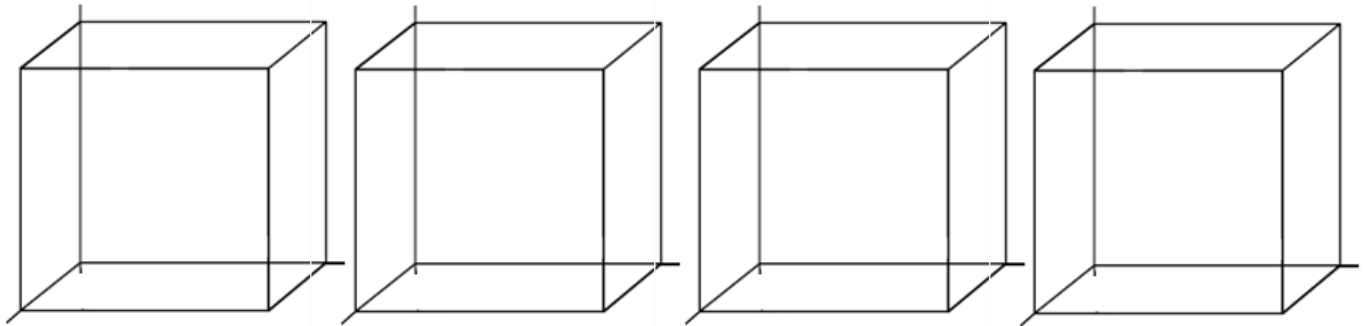
Sugestão: desenhe as células unitárias. Resp.: $NC_{NaCl} = 6 / NC_{CsCl} = 8$.

8º) Calcule a aresta (a) de uma célula unitária cúbica de corpo centrado em função do raio dos átomos. Desenhe esta célula unitária e indique quais os átomos que são cortados nas seguintes direções: $[100]$; $[101]$; $[120]$ e $[111]$. No caso de planos, desenhe os planos (100) ; $(\bar{1}0\bar{1})$; (200) ; (201) e (111) .

9º) Calcule para a densidade linear para as direções [101]; [111] e [001] para as estruturas CFC e CCC.

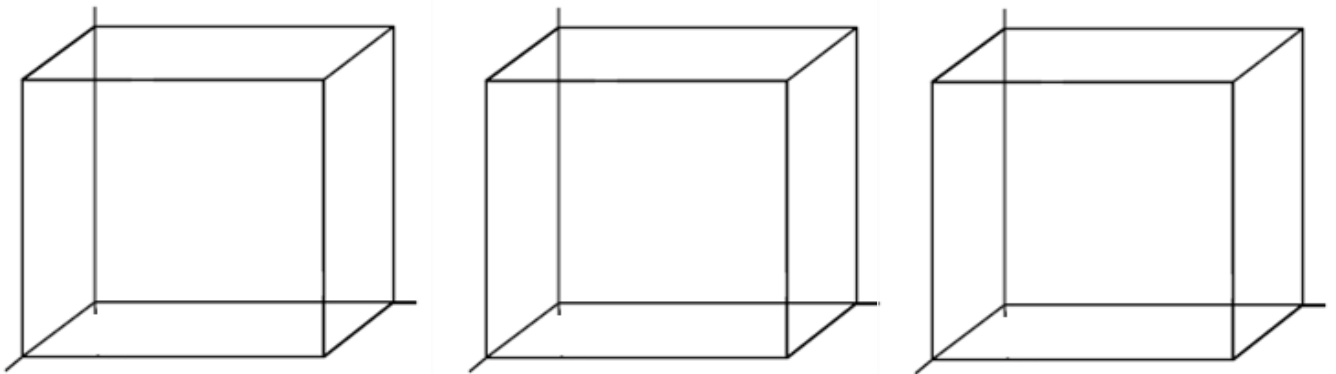
10º) Calcule a densidade planar para os planos (100); (101) e (111) para as estruturas CFC e CCC.

11º) Represente $[012]$, $[2\bar{2}\bar{1}]$, (113) e $(041)\bar{\bar{\bar{}}}$ nas estruturas cúbicas abaixo.



12º) Quanto à estrutura dos sólidos cristalinos:

a) Esboce dentro de uma célula unitária cúbica os seguintes planos: (011); $(13\bar{1})$; $(11\bar{1})$.



b) Calcule e compare as densidades lineares das direções [100], [110] e [111] para a estrutura cristalina CCC.

13º) Defina e diferencie alotropia de polimorfismo. Quais as principais características do diamante e da grafita e porque, apesar de serem constituídos do mesmo elemento (C), são materiais tão diferentes?

14º) Quais os tipos de defeitos pontuais possíveis nos materiais? Descreva-os.

15º) Cite os dois tipos de soluções sólidas e forneça por escrito uma definição sucinta e/ou um esboço esquemático de cada um deles.

16º) Quais os tipos possíveis de solução sólida? Quais regras devem ser obedecidas para que haja uma completa solubilidade entre dois elementos?

17º) Abaixo estão tabulados os valores para o raio atômico, a estrutura cristalina, a eletronegatividade e as valências mais comuns para vários elementos. Para aqueles que são não metais, apenas os raios atômicos estão indicados.

Quais destes elementos você esperaria que formassem o seguinte com o **cobre**: (FCC=CFC ; HCP = HC ; BCC = CFC)

<i>Element</i>	<i>Atomic Radius (nm)</i>	<i>Crystal Structure</i>	<i>Electro-negativity</i>	<i>Valence</i>
Cu	0.1278	FCC	1.9	+2
C	0.071			
H	0.046			
O	0.060			
Ag	0.1445	FCC	1.9	+1
Al	0.1431	FCC	1.5	+3
Co	0.1253	HCP	1.8	+2
Cr	0.1249	BCC	1.6	+3
Fe	0.1241	BCC	1.8	+2
Ni	0.1246	FCC	1.8	+2
Pd	0.1376	FCC	2.2	+2
Pt	0.1387	FCC	2.2	+2
Zn	0.1332	HCP	1.6	+2

a) Uma solução sólida substitucional com solubilidade completa?

b) Uma solução sólida substitucional com solubilidade incompleta?

c) Uma solução sólida intersticial?

Resp.: a) Ni, Pd, and Pt; b) Ag, Al, Co, Cr, Fe e Zn; c) C, H e O

18º) O ouro forma uma solução sólida substitucional com a prata. Calcule o número de átomos de ouro por centímetros cúbicos para uma liga prata-ouro que contém 10%p Au e 90%p Ag. As densidades do ouro puro e da prata pura são de 19,32 e 10,49 g/cm³, respectivamente. Sabe-se que a densidade de uma mistura é um valor ponderado das densidades de seus componentes. Resp.: $N_{Au} = 3,36 \cdot 10^{21}$ átomos/cm³

Dados: $A_{Au} = 196,97 \text{ g/mol}$; $A_{Ag} = 107,87 \text{ g/mol}$

19º) Quanto às imperfeições em sólidos:

a) Qual a composição, em porcentagem atômica, de uma liga que consiste em 30%p Zn e 70%p Cu? Resp.: 29,4% Zn / 70,6% Cu

b) Se o óxido cúprico (CuO) encontra-se exposto a atmosferas redutoras e a temperaturas elevadas, alguns dos íons Cu^{2+} irão se tornar Cu^+ . Sob essas circunstâncias, cite um defeito cristalino que você esperaria que se formasse para manter a neutralidade das cargas. Quantos íons Cu^+ são necessários para a criação de cada defeito?

20º) O que difere uma discordância aresta e uma discordância espiral?

21º) Descreva 2 (dois) defeitos bidimensionais nos materiais.

22º) Quais os tipos de defeitos pontuais encontrados em materiais cerâmicos? Explique cada um deles.

23º) Explique sucintamente por que os contornos de grão com baixo ângulo não são tão eficazes na interferência no processo de escorregamento quanto os de alto ângulo.

2° Lista de exercícios

1. Considerando as duas curvas apresentadas ao lado, escolha um dos dois materiais nelas representados (material **a** ou material **b**), justificando a sua escolha:

(a) material para aplicação na qual a resistência mecânica seja Fundamental (ou seja, deseja-se o material com a maior resistência mecânica dentre os dois considerados);

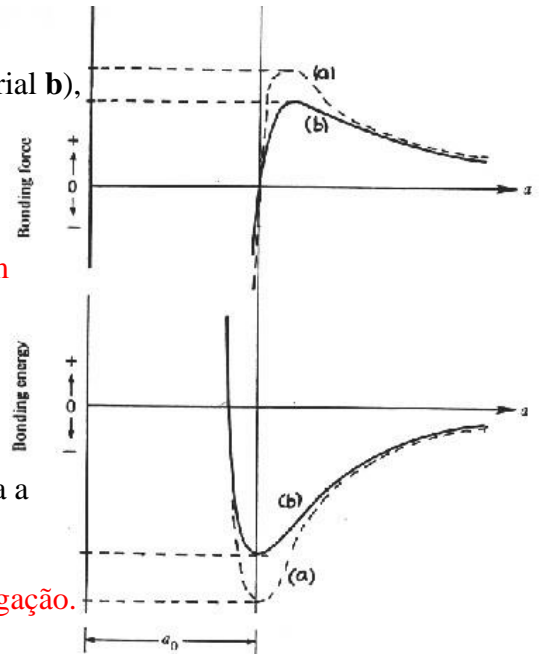
R: material a, uma vez que a resistência mecânica aumenta com a força máxima e com a profundidade do poço da curva de energia de ligação.

(b) material para uma aplicação na qual ocorre uma variação lenta da temperatura, e para a qual a estabilidade dimensional do corpo é fundamental (ou seja, deseja-se o material que sofra a menor variação dimensional com a temperatura);

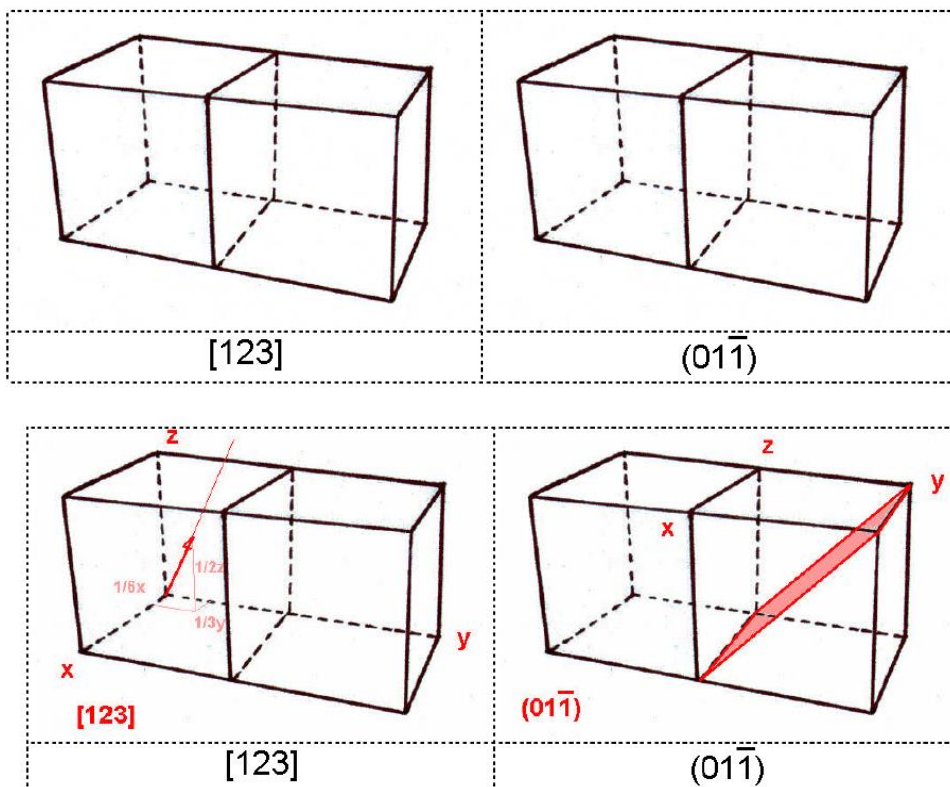
R: material a, uma vez que o coeficiente de expansão térmica diminui com a profundidade do poço da curva de energia de ligação.

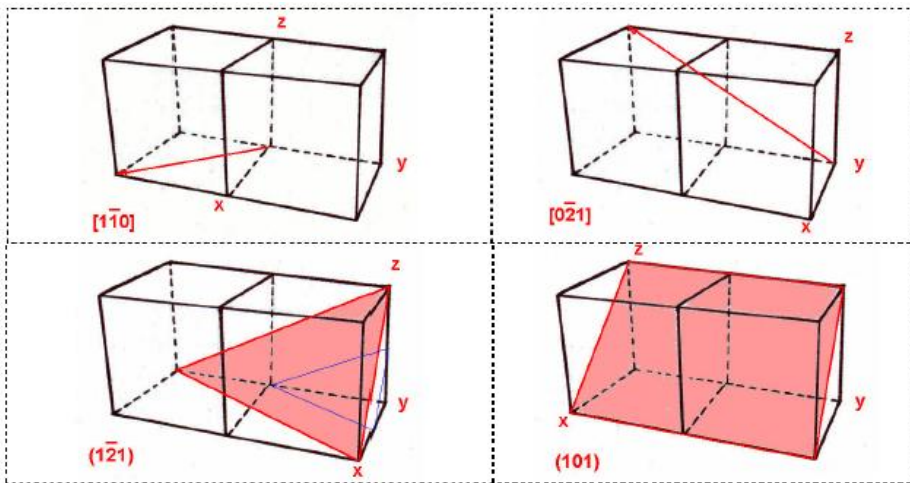
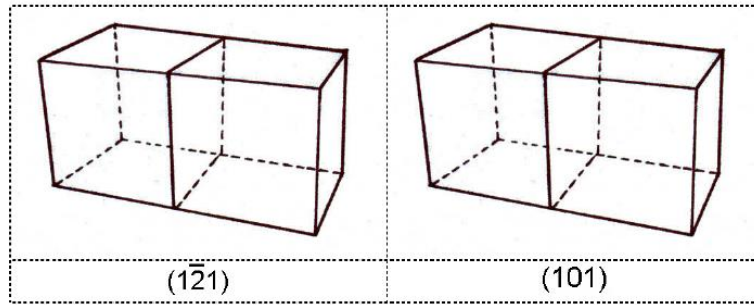
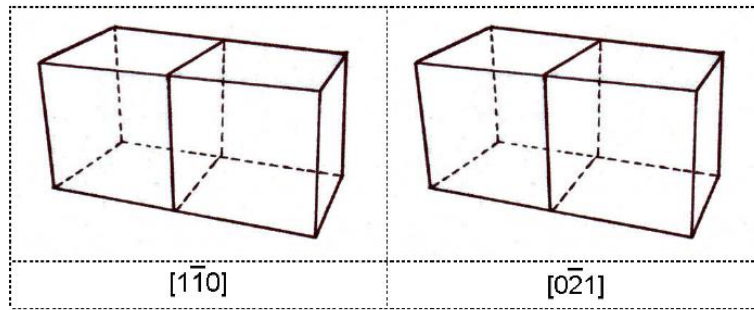
(c) material para uma aplicação onde é necessária uma certa flexibilidade (ou seja, deve ser escolhido o material, dentre os dois considerados, que apresente o **menor módulo de elasticidade**).

material b, uma vez que o módulo de elasticidade aumenta com a tangente da curva de força de ligação (dF_N/dr), no ponto r_0 onde a força de ligação é nula ($F_N=0$; forças de atração e repulsão são equivalentes em magnitude).



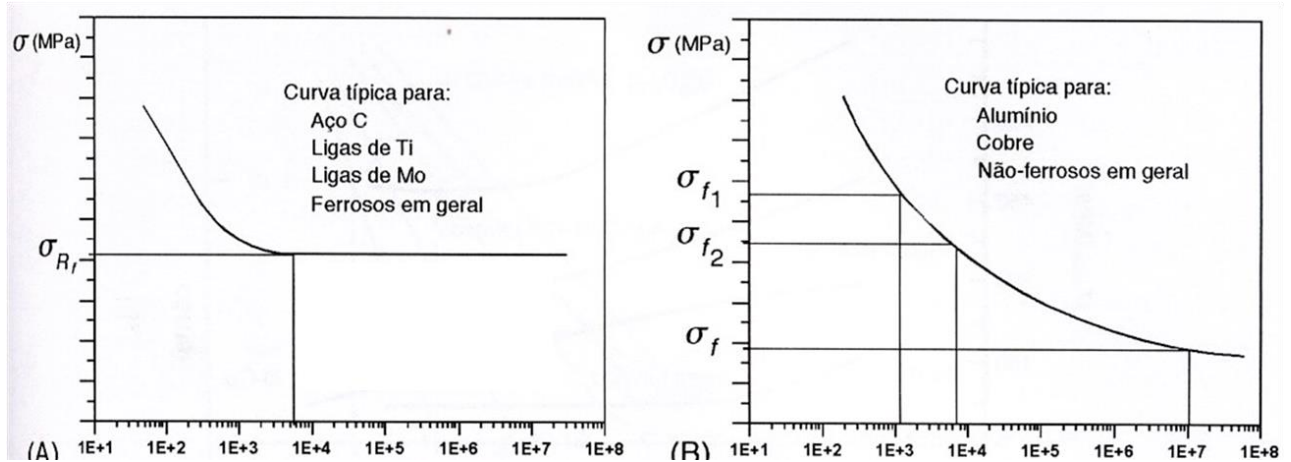
2. Represente nas células unitárias abaixo as direções ou planos cristalográficos.





LISTA DE EXERCÍCIOS III

- 1) Os gráficos abaixo são típicos de qual(is) tipo(s) de ensaio? Como você os interpretaria?



Os gráficos acima apresentados são típicos de um ensaio de fadiga, mostrando o comportamento da tensão (dinâmica) em função no número de ciclos.

O gráfico à esquerda (A) mostra o resultado para um metal que apresenta um limite de resistência à fadiga (LRF), sendo que, para tensões aplicadas inferiores a esse valor, o material não irá sofrer falha por fadiga independentemente do número de ciclos.

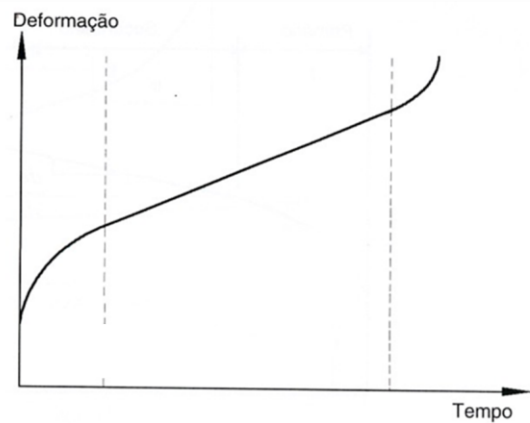
Já o gráfico à direita (B) apresenta um material que não apresenta o LRF sendo necessário fazer um “acordo” entre a tensão aplicada e o número de ciclos antes do material falhar por fadiga. Caso seja estipulado o número de ciclos, a tensão aplicada deve corresponder a tal valor, ou caso seja tomado como parâmetro a tensão aplicada, então o número de ciclos deve respeitar esse valor.

- 2) O que é tenacidade? Como se determina graficamente e experimentalmente esta grandeza?

Tenacidade corresponde à energia absorvida por um material quando sofre a fratura.

Graficamente a tenacidade é indicada pela área total de uma curva tensão – deformação ($\sigma \times \epsilon$). Experimentalmente, é determinada a partir de um ensaio de impacto (tenacidade ao entalhe).

- 3) O gráfico ao lado é típico de qual tipo de ensaio? Como você o interpretaria? Explique cada uma das fases.



O gráfico apresentado refere-se a um ensaio de fluência, uma deformação permanente e dependente do tempo quando os materiais são submetidos a uma tensão constante.

Da análise do gráfico podemos identificar 3 estágios:

Como mostrado, existe uma deformação instantânea, essencialmente elástica, seguida do primeiro estágio (fluência primária), caracterizada por uma taxa de fluência continuamente decrescente devido ao encruamento.

No segundo estágio (fluência secundária) a taxa de fluência torna-se constante devido ao equilíbrio entre o encruamento e a recuperação. É nesse estágio que encontramos a taxa mínima de fluência, representada pela inclinação da curva de fluência.

Já no terceiro estágio ocorre um aumento da taxa de fluência até a que ocorra a falha do material.

- 4) Ao se deformar plasticamente um metal, este aumenta sua resistência? Por que?

A deformação plástica (a frio) de um metal aumenta sua resistência devido as interações entre as discordâncias e os campos de deformação das discordâncias. Ocorre uma multiplicação ou surgimentos de novas discordâncias com uma maior interação discordâncias – deformações.

- 5) Qual a influência da redução do tamanho de grão nas propriedades mecânicas de um material? Por que isso ocorre?

A redução do tamanho de grão aumenta a dureza e resistência do material pois nesta condição temos uma maior área de contorno de grão, que funciona como uma barreira ao movimento das discordâncias responsável pela deformação plástica, para um mesmo volume do material.

- 6) Quais os principais mecanismos de aumento de resistência em metais? Descreva como esse aumento de resistência ocorre em função de cada mecanismo.

Aumento da resistência por redução do tamanho de grão (questão 5).

Aumento da resistência por encruamento (questão 4).

Aumento da resistência por solução sólida (ligas). Esse mecanismo promove um aumento na resistência pois os átomos de impurezas (substitucional ou intersticial) impõem deformações na rede dos átomos do solvente. Essas deformações interagem

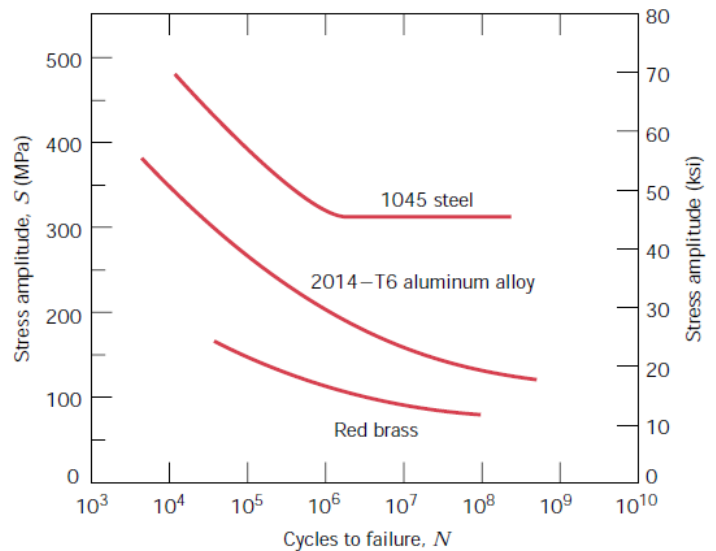
com as discordâncias, que têm o seu movimento restringido.

7) Quais os três fatores que influenciam na vida em fadiga de um material?

- Tensão média;
- Efeitos da superfície;
- Ambiente.

8) Considere que:

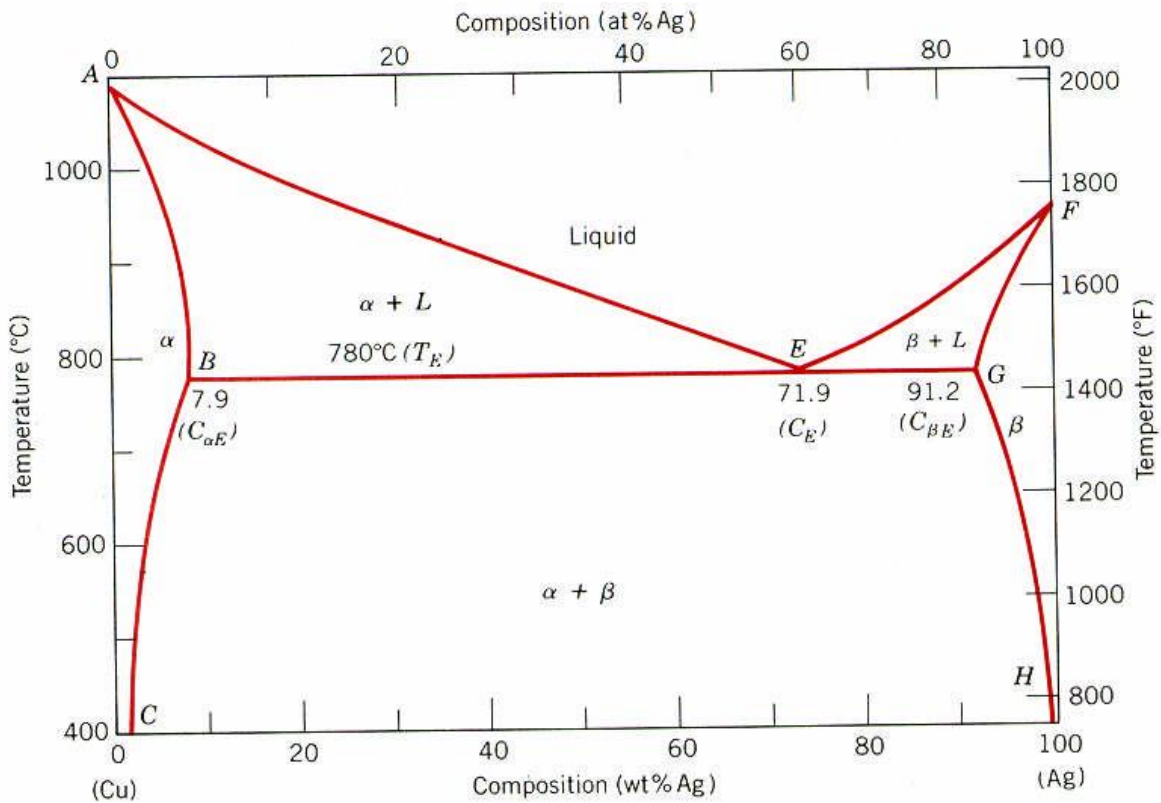
a) Uma barra cilíndrica com 8,0 mm de diâmetro, fabricado a partir de uma liga de latão vermelho é submetida a um ciclo de aplicação de cargas repetidas de tração e de compressão ao longo do seu eixo. Se as cargas de tração e compressão máximas são de +7500N e -7500N, respectivamente, determine sua vida em fadiga. Resp.: 10^5 ciclos



b) O que representa o limite de resistência à fadiga? Em materiais este limite pode ser visualizado?

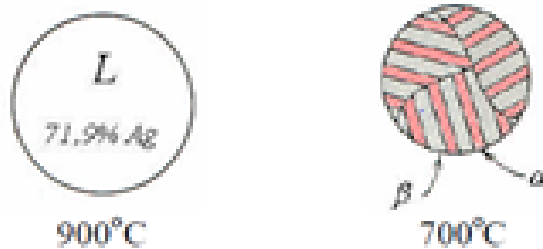
Resposta na questão 1.

9) Considere o diagrama Cu-Ag abaixo. Uma liga com composição 71,9 % Ag (% mássica) mantida inicialmente a 900°C é resfriada lentamente até 700°C.



a) Faça esboços das microestruturas que seriam observadas a 900°C e a 700°C, indicando em cada esboço quais seriam as fases presentes.

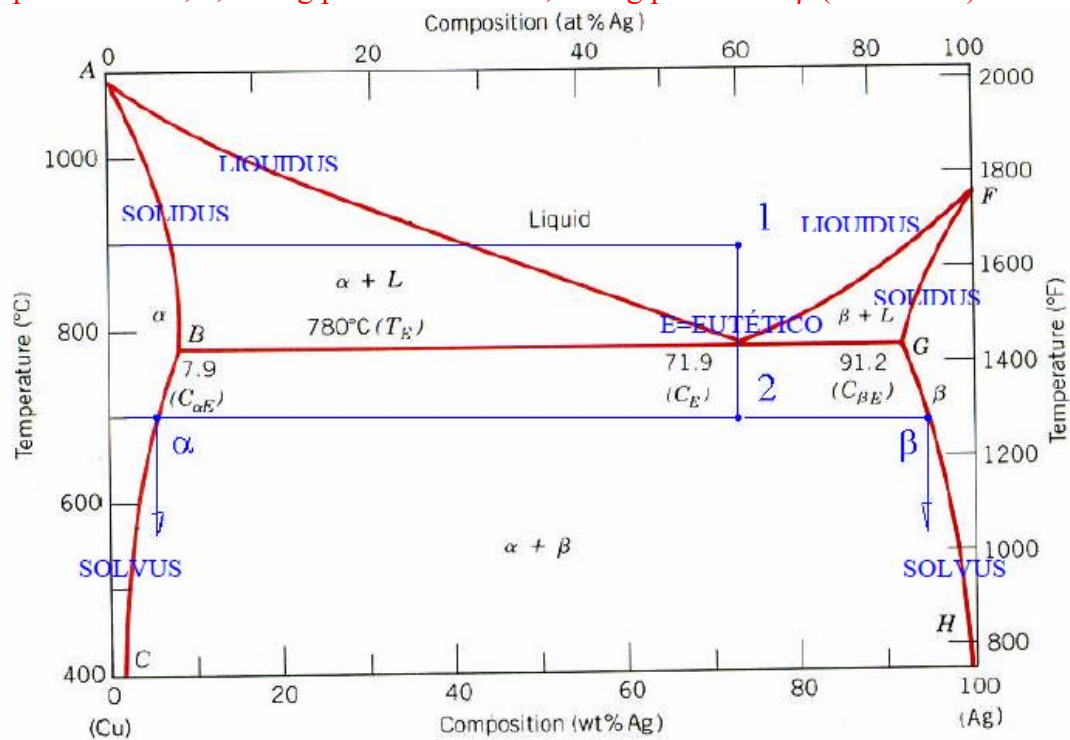
Os esboços das microestruturas que seriam observadas a 900°C e a 700°C são apresentados abaixo. A 900°C seria observada somente uma única fase, líquida. A 700°C seria observada uma microestrutura na qual as fases α e β apareceriam como lamelas alternadas, pois a composição é a composição do eutético, e o resfriamento foi lento (em condições que poderiam ser consideradas próximas do equilíbrio).



b) Determine aproximadamente a composição de cada uma das fases presentes a 700°C (em %mássicas)

A determinação pode ser feita através do diagrama de fases, conforme mostra a figura abaixo. Partimos do ponto 1, indicado na figura. Com o resfriamento,

chega-se até o ponto 2. As composições são obtidas a partir das linhas solvus das fases α e β , indicadas pelos pontos α e β (marcados em azul na figura) e são, respectivamente, 5,9% Ag para a fase α e 95,1% Ag para a fase β (% mássica).



c) Considerando que a massa inicial da liga era de 1kg, calcule a quantidade de cada uma das fases presentes a 700°C.

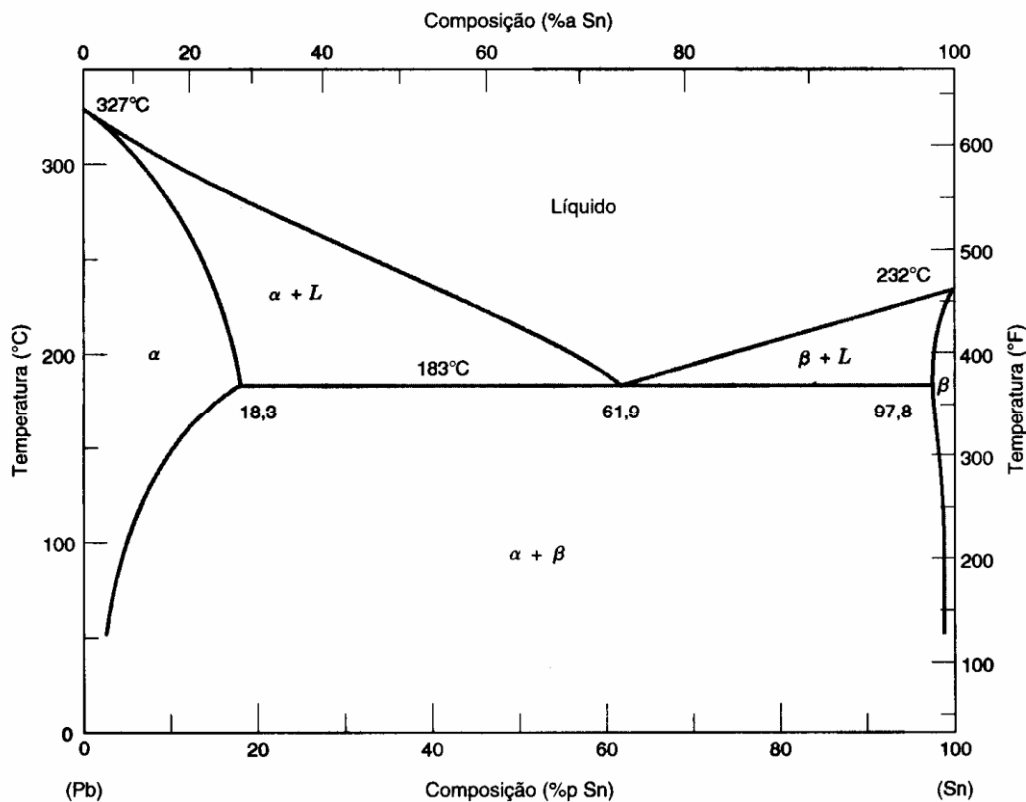
As quantidades relativas de cada uma das fases são calculadas pela regra da alavanca:

Fase α	Fase β
$\% \alpha = 100 \times (95,1 - 71,9) / (95,1 - 5,9)$	$\% \beta = (71,9 - 5,9) / (95,1 - 5,9)$
$\% \alpha = 26,0 \%$	$\% \beta = 74,0 \%$

260 g

740 g

10) Considere o diagrama de fases Pb-Sn abaixo e responda as afirmativas com falso (F) ou verdadeiro (V).

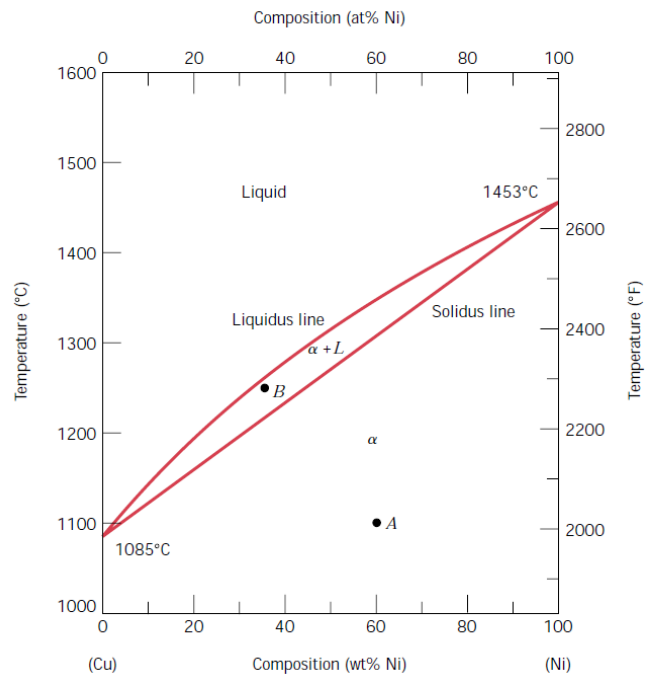


- a) A solubilidade máxima do estanho no chumbo no estado sólido é 2,2% em peso. (F)
- b) A solubilidade máxima do chumbo no estanho no estado sólido é 18,3% em peso. (F)
- c) No ponto eutético coexistem em equilíbrio três fases: (L + α + β). (V)
- d) Uma liga contendo 40% em peso de Sn em equilíbrio a 150 °C apresenta duas fases: (L + α). (F)
- e) A fração mássica de fase alfa (α) em uma liga contendo 40% em peso de Sn em equilíbrio a 150°C é 0,66. (V)
- f) A fração volumétrica de fase alfa (α) em uma liga contendo 40% de Sn em equilíbrio a 150 °C é 0,66. (F)
- g) Uma liga contendo 18% em peso de Sn em equilíbrio a 150 °C apresenta duas fases. (V)
- h) Uma liga contendo 61,9% em peso de Pb apresenta a 150 °C uma microestrutura completamente eutética. (F)
- i) Em equilíbrio a 150 °C, a fase alfa (α) de uma liga contendo 20% em peso de Sn tem a mesma composição química da fase alfa (α) de uma liga contendo 80% em peso de Sn. (V)
- j) Uma liga equiatômica de Pb-Sn não está totalmente líquida a 225 °C. (V)

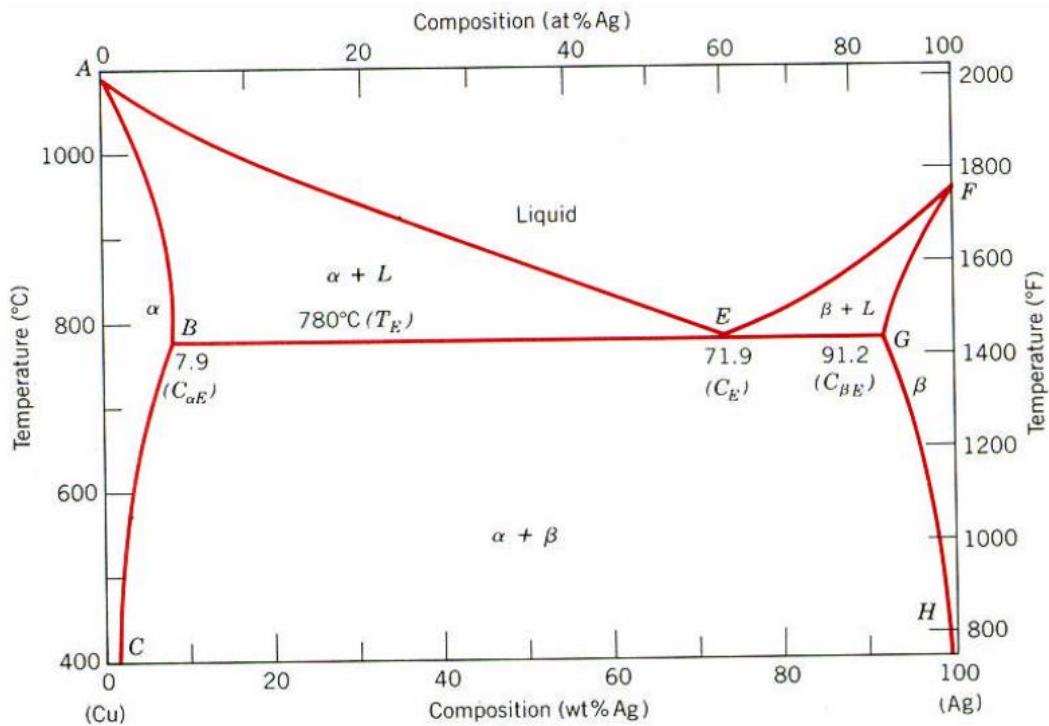
1. Uma liga cobre-níquel cujo diagrama é apresentado abaixo contém 47%p Cu e 53%p Ni a 1300°C.

a) Quais são as composições das fases líquida e sólida a esta temperatura?

b) Quais as concentrações das fases presentes?

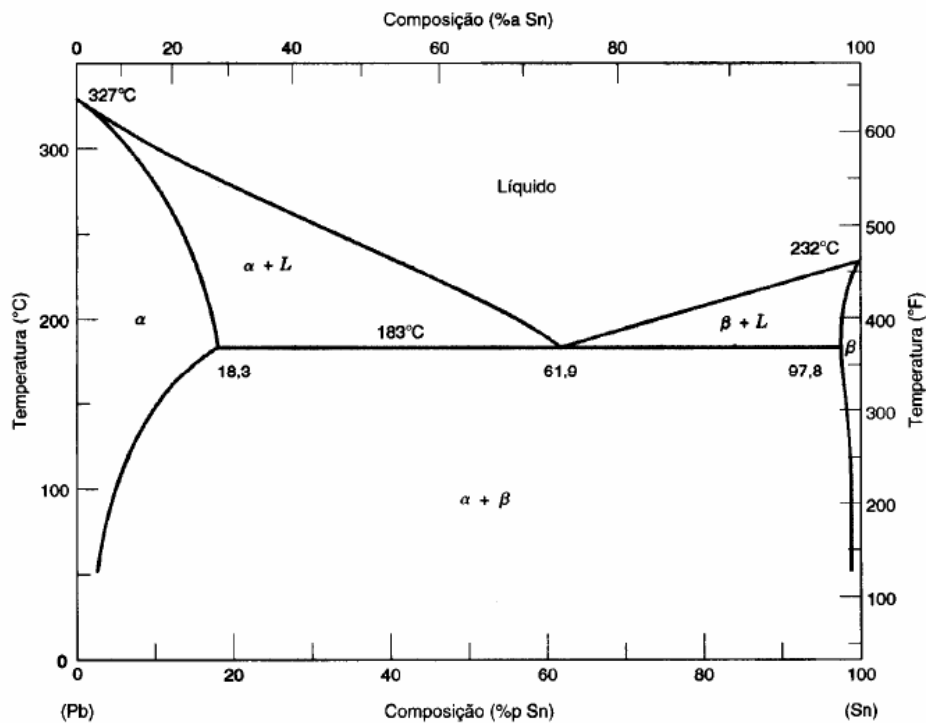


2. Considere o diagrama Cu-Ag abaixo. Uma liga com composição 71,9 % Ag (% mássica) mantida inicialmente a 900°C é resfriada lentamente até 700°C.



a. Determine aproximadamente a composição de cada uma das fases presentes a 700°C (em % mássicas)

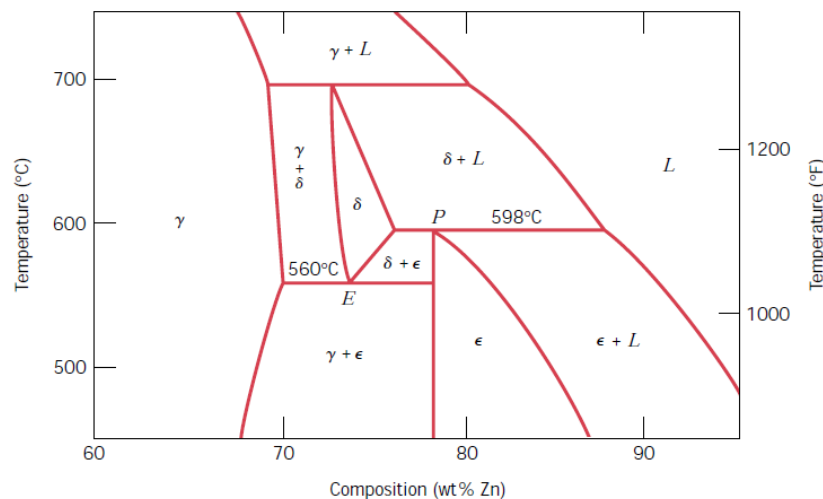
- b) Considerando que a massa inicial da liga era de 1kg, calcule a quantidade de cada uma das fases presentes a 700°C
3. Para o mesmo diagrama Cu-Ag uma liga com composição 40% Ag (% mássica) mantida inicialmente a 1000°C é resfriada lentamente até 800°C, e a seguir resfriada novamente, também de forma lenta, agora até 700°C.
- a) Determine aproximadamente a composição de cada uma das fases presentes a 800°C e a 700°C (% mássicas).
- b) Considerando que a massa inicial da liga era de 1kg, calcule a quantidade de cada uma das fases presentes a 800°C e a 700°C.
4. Considere o diagrama de fases Pb-Sn abaixo e responda as afirmativas com falso (F) ou verdadeiro (V).



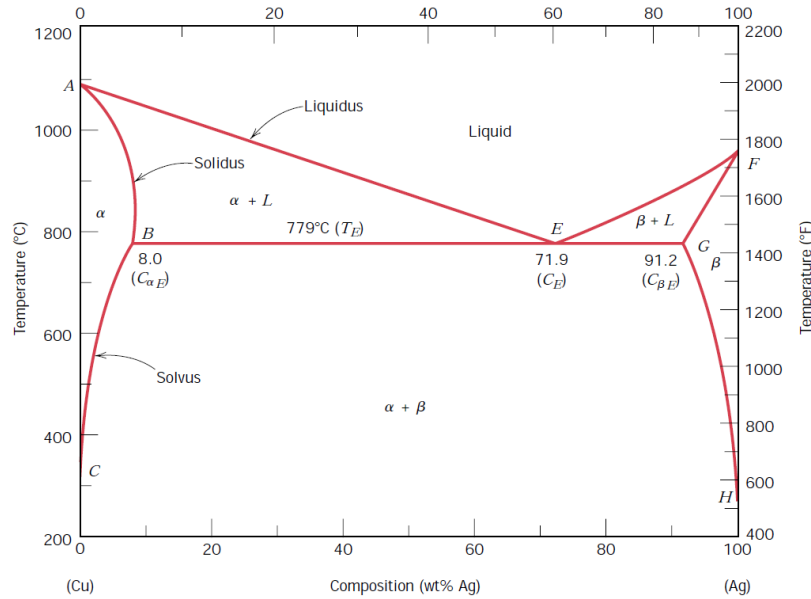
- a) A solubilidade máxima do estanho no chumbo no estado sólido é 2,2% em peso. ()
- b) A solubilidade máxima do chumbo no estanho no estado sólido é 18,3% em peso. ()
- c) No ponto eutético coexistem em equilíbrio três fases: (L + α + β). ()
- d) Uma liga contendo 40% em peso de Sn em equilíbrio a 150°C apresenta duas fases: (L + α). ()

- e) A fração mássica de fase alfa (α) em uma liga contendo 40% em peso de Sn em equilíbrio a 150 °C é 0,66. ()
- f) A fração volumétrica de fase alfa (α) em uma liga contendo 40% de Sn em equilíbrio a 150 °C é 0,66. ()
- g) Uma liga contendo 18% em peso de Sn em equilíbrio a 150°C apresenta duas fases. ()
- h) Uma liga contendo 61,9% em peso de Pb apresenta a 150°C uma microestrutura completamente eutética. ()
- i) Em equilíbrio a 150°C, a fase alfa (α) de uma liga contendo 20% em peso de Sn tem a mesma composição química da fase alfa (α) de uma liga contendo 80% em peso de Sn. ()
- j) Uma liga equiatômica de Pb-Sn não está totalmente líquida a 225 °C. ()

5. Para uma liga com composição de 74%p Zn – 26%p Cu, cite as fases presentes e as suas respectivas composições nas seguintes temperaturas: 850°C, 750°C, 680°C, 600°C e 500°C.



6. Uma liga com 90%p Ag e 10%p Cu, é aquecida até uma temperatura dentro da região das fases β + líquido. Se a composição da fase líquida é de 85%p Ag, determine:

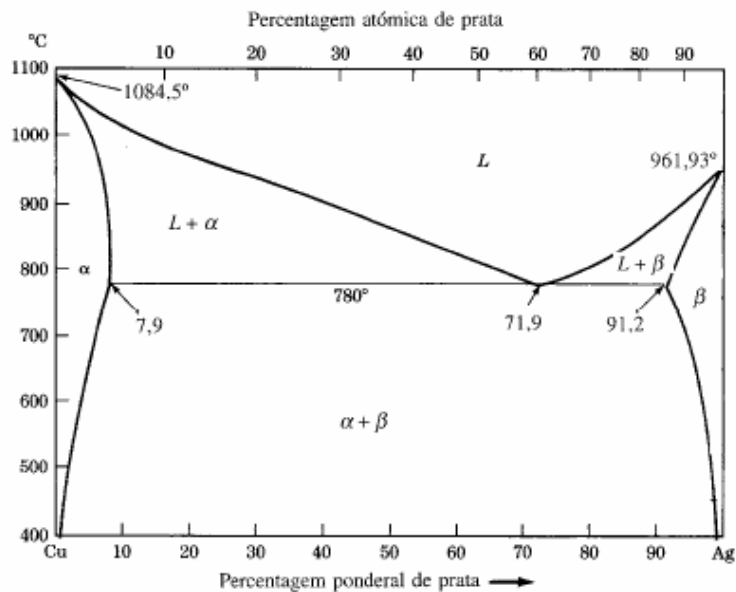


- a temperatura da liga.
- a composição da fase β .
- as frações mássicas de ambas as fases.

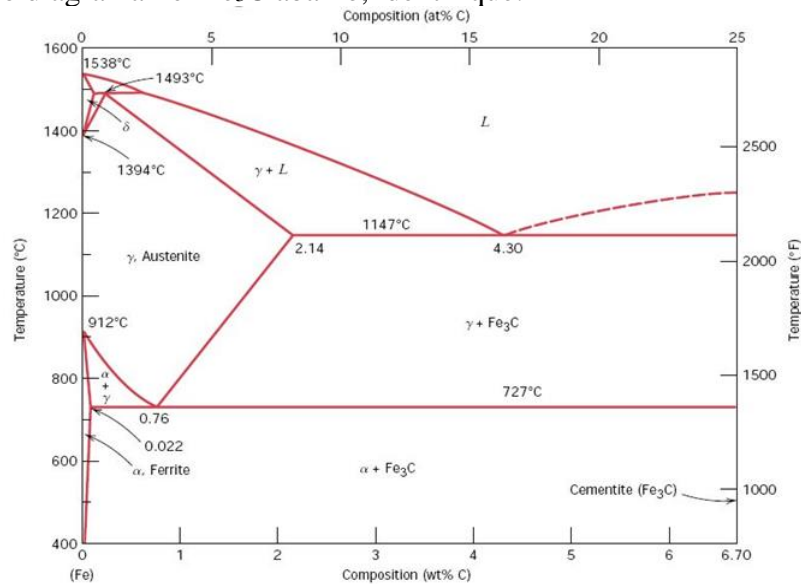
7. Considere uma liga com 75% de Cu e 25% de Ag, às seguintes temperaturas (a) 1000°C, (b) 800°C, (c) 780°C+ ΔT e (d) 780°C- ΔT . (Figura 3).

Na análise das fases inclua:

- Quais são as fases presentes?
- Qual é a composição química de cada uma das fases?
- Qual é a proporção de cada uma das fases?
- Esboços das microestruturas, usando campos circulares.

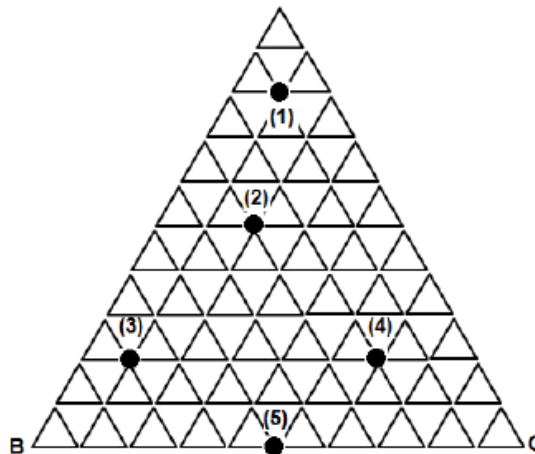


8. Dado o diagrama Fe- Fe₃C abaixo, identifique:



- Em qual temperatura e com posição ocorre o eutético;
- Em qual temperatura e com posição ocorre o eutetóide;
- Qual a fração máxima de C que pode ser solubilizada na fase ferrita? Por quê?
- Qual a fração máxima de C que pode ser solubilizada na fase austenita. Por quê?

9. A partir do diagrama ternário abaixo, determine a composição dos componentes A, B e C em cada um dos pontos indicados:



10. A figura a seguir mostra uma seção isotérmica do diagrama do sistema A-B-C. As ligas X e Y têm composições (51,1% de A, 6,3% de B e 44,8% de C) e (58,7% de A, 21,7% de B e 19,6% de C) respectivamente.

Responda:

- a) Quais as fases presentes em cada liga?
- b) Quais as composições destas fases?
- c) Quais as quantidades destas fases em cada liga?

