

## P1 de CTM – 2013.1

Nome:

Matrícula:

Assinatura:

Turma:

### OBS:

Esta prova contém 7 páginas e 6 questões. Verifique antes de começar.

Todas as respostas devem ser justificadas.

Não é permitido usar calculadora.

As questões podem ser resolvidas a lápis,  
mas os resultados finais devem ser escritos com caneta.

Questão	Pontos	
1)	1,5	
2)	1,5	
3)	1,5	
4)	1,5	
5)	2,0	
6)	2,0	
TOTAL	10,0	

1) (1,5)

- a. (0,5) Ao retirar uma garrafa da geladeira forma-se uma camada de umidade em sua superfície. Que tipo de ligação química está envolvido nesta situação? Justifique.

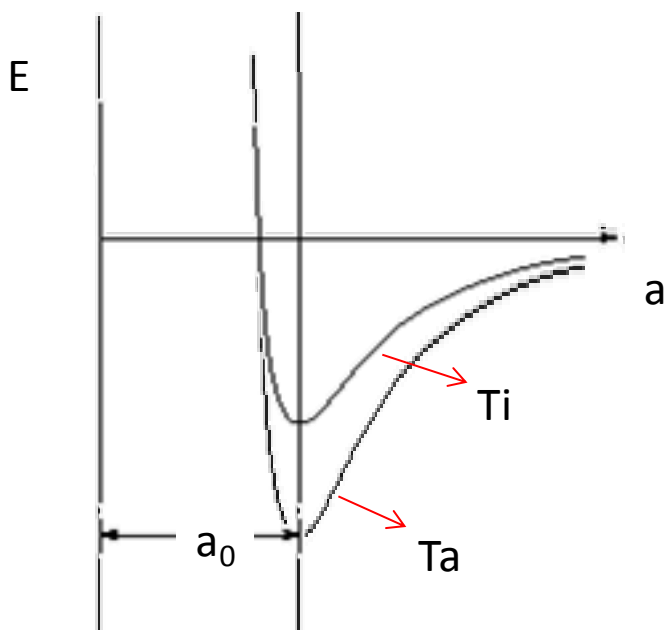
A umidade do ar, na forma de vapor d'água, se condensa sobre a superfície fria da garrafa. Esta camada de água pode ser retirada com facilidade. Isto caracteriza uma ligação fraca, do tipo ponte de hidrogênio.

- b. (1,0) Desenhe esquematicamente **em um mesmo gráfico** os diagramas de energia potencial (**E**) versus distância interatômica (**a**) para um par de átomos metálicos de titânio (Ti) e de tântalo (Ta), respectivamente. Leve em conta os seguintes dados:

Raios atômicos:  $R(\text{Ti}) = R(\text{Ta}) = 0,146 \text{ nm}$

Temperaturas de fusão:  $T_f(\text{Ti}) = 1668^\circ\text{C}$ ;  $T_f(\text{Ta}) = 2996^\circ\text{C}$

Como se forma ligações metálicas Ti-Ti e Ta-Ta e como os raios atômicos são idênticos, ambos os gráficos passam por um mínimo na posição  $2 \times 0,146 = 0,292 \text{ nm}$ . Como a temperatura de fusão está diretamente relacionada com a profundidade do poço de potencial, e o tântalo tem ponto de fusão muito mais alto, seu poço de potencial será mais profundo.



$$a_0 = 0,292 \text{ nm}$$

2) (1,5) Para a estrutura cristalina abaixo, **calcule** (podendo deixar indicado o último passo do cálculo):

a. (0,5) Seu fator de empacotamento atômico.

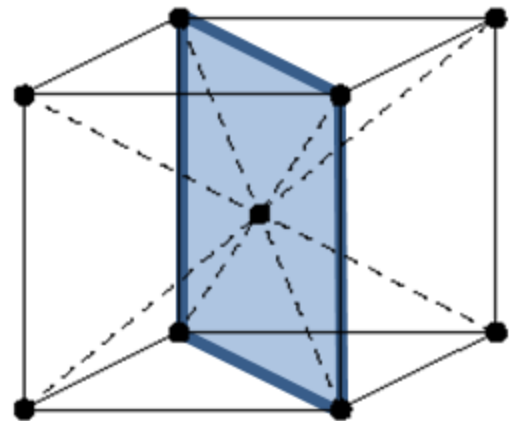
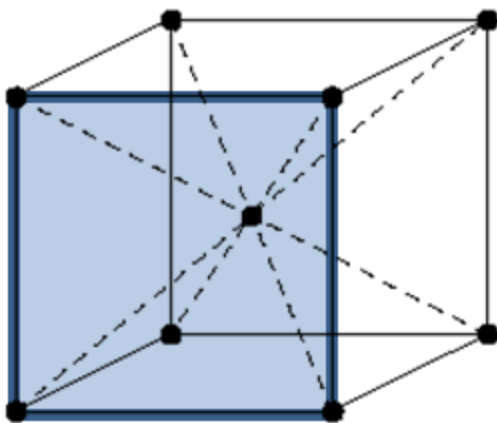
Número de átomos na célula unitária:  $N_a = 1 + 8 \times (1/8) = 2$

Relação entre a e R: como os átomos se tocam ao longo da diagonal do cubo  $\Rightarrow 4R = a\sqrt{3} \Rightarrow a = 4R/\sqrt{3}$

$$FEA = \frac{\text{Volume (átomos)}}{\text{Volume (célula)}} = \frac{N(\text{átomos}) V(1 \text{ átomo})}{a^3} = \frac{N(\text{átomos}) \frac{4}{3} \pi R^3}{a^3}$$

$$FEA_{ccc} = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi R^3}{\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3} = \frac{\frac{8}{3} \pi R^3}{\frac{64 R^3}{3\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3}}{8} \pi \approx 0,68$$

b. (1,0) A densidade atômica planar (DAP) para os planos indicados



Por definição,  $DAP = (\text{Área ocupada por átomos no plano}) / \text{Área do plano}$

No primeiro caso temos:

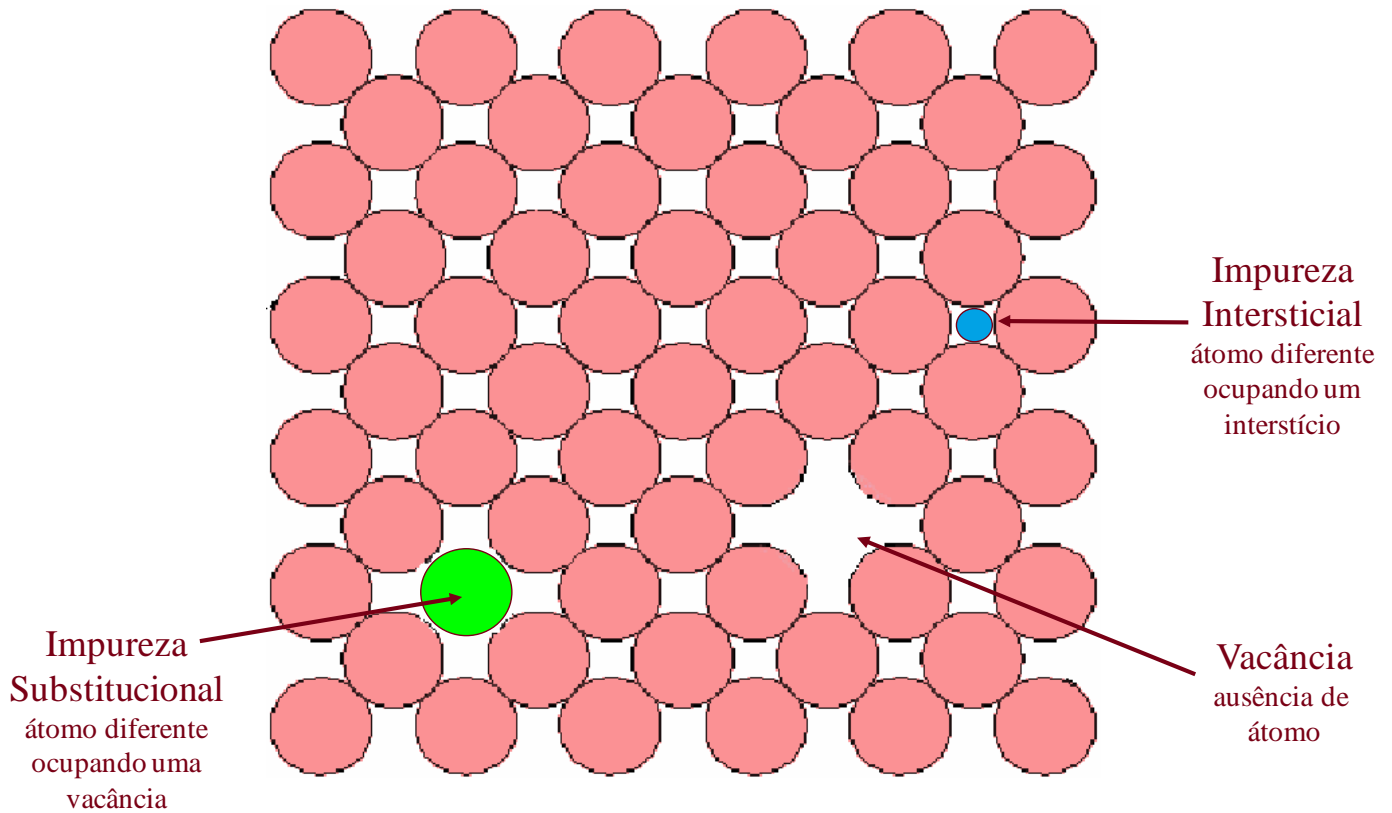
$$DAP = \frac{\left(4 \times \frac{1}{4}\right) \pi R^2}{a^2} = \frac{\pi R^2}{\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{3\pi}{16} \approx 0,589$$

No segundo caso temos:

$$DAP = \frac{\left(1 + 4 \times \frac{1}{4}\right) \pi R^2}{a^2 \sqrt{2}} = \frac{2 \pi R^2}{\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^2 \sqrt{2}} = \frac{2 \pi R^2}{\frac{16 R^2}{3} \sqrt{2}} = \frac{3\pi}{8\sqrt{2}} \approx 0,833$$

3) (1,5)

a. (0,9) Esboce tres defeitos pontuais e identifique-os



b. (0,6) Dois materiais A e B, na mesma temperatura, têm concentrações de vacâncias diferentes  $C_A$  e  $C_B$ . Se  $C_A > C_B$ , qual dos dois materiais tem a maior energia de ativação para formação de vacâncias? Justifique utilizando a equação pertinente.

A concentração de vacâncias segue a equação de Arrhenius

$$C_v = \exp\left(\frac{-Q_v}{kT}\right)$$

Esta equação indica que quanto maior a energia de ativação para a formação de vacâncias,  $Q_v$ , menor é a concentração de vacâncias a uma dada temperatura. Assim, se  $C_A > C_B$  então o material A tem MENOR energia de ativação para formação de vacâncias.

**4) (1.5)** Considere barras de aço com concentração de carbono  $C_0$ . Estas barras são colocadas em fornos com concentração de carbono  $C_F$  em sua atmosfera. Considere as seguintes condições experimentais:

- I.  $C_F > C_0$ .
- II.  $C_F = C_0$ .
- III.  $C_F < C_0$ .

a. (0,9) O que você espera que aconteça com a concentração de carbono nas barras em cada caso? Justifique sua resposta.

Pela primeira lei de Fick existirá fluxo quando houver gradiente de concentração e este fluxo será ocorrerá da região de maior concentração para a região de menor concentração. Assim,

- I.  $C_F > C_0 \Rightarrow$  o fluxo será da atmosfera para dentro da barra e a concentração de carbono na barra vai aumentar.
- II.  $C_F = C_0 \Rightarrow$  como não existe gradiente de concentração, a concentração de carbono na barra não vai se alterar.
- III.  $C_F < C_0 \Rightarrow$  neste caso o fluxo será para fora da barra, que vai perder carbono.

b. (0,6) O que aconteceria se os fornos estiverem em temperatura mais alta? Justifique.

A temperatura contribui para acelerar o processo de difusão. Assim, nos casos I e III acima, o ganho ou a perda de carbono na barra serão acelerados, mas no caso II não haverá alteração, já que não existe fluxo.

5) (2.0) Considere a curva de tensão-deformação abaixo cuja parte elástica está ampliada dentro do gráfico.

Determine, indicando claramente como obteve do gráfico:

a. (0,4) O módulo de elasticidade

Utilizando o valor de tensão 60 MPa, na região linear, obtém-se deformação 0,035.

Assim  $E = 60 \text{ MPa} / 35 \times 10^{-4} \approx 17 \text{ GPa}$

b. (0,4) O limite de escoamento

Traçando uma reta paralela à região linear, partindo da deformação 0,002, cruzamos a curva no valor do limite de escoamento. No caso  $\sigma_y \approx 85 \text{ MPa}$

c. (0,4) O limite de resistência

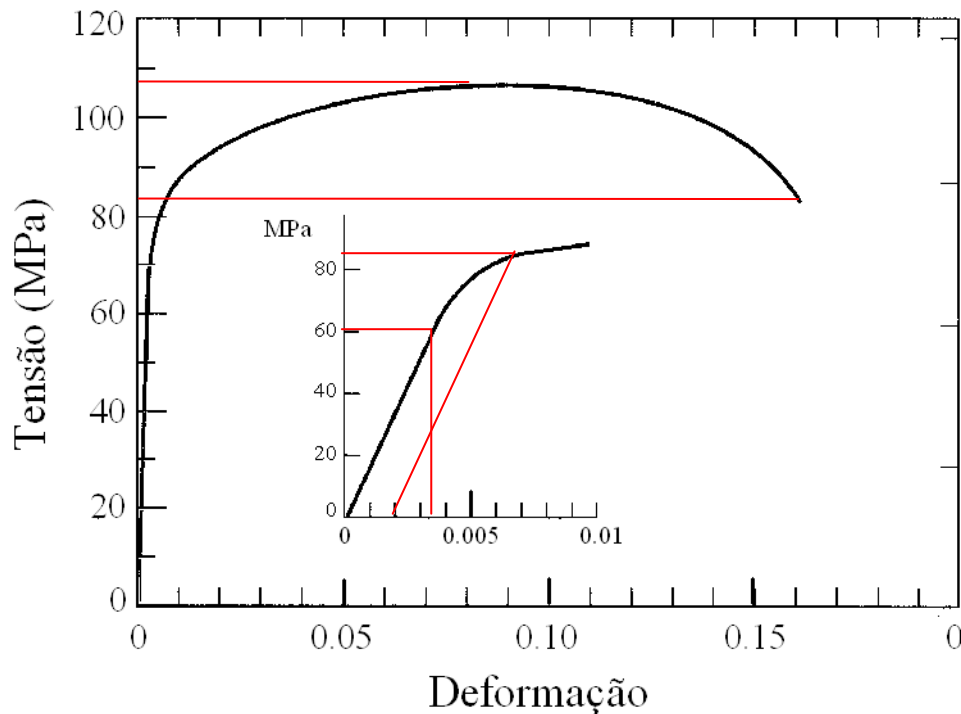
O limite de resistência corresponde ao ponto de máximo da curva. Neste caso  $\sigma_R \approx 108 \text{ MPa}$

d. (0,4) A tensão de ruptura

A tensão de ruptura pode ser obtida diretamente do ponto final do gráfico.  $\sigma_{RUP} \approx 82 \text{ MPa}$

e. (0,4) Esboce, no mesmo gráfico, a curva correspondente a outra amostra deste material, mas com menor tamanho de grão. Explique seu raciocínio.

Quanto menor o tamanho de grão, mais resistente e menos dúctil o material, já que as fronteiras de grão funcionam como barreiras para o movimento das discordâncias. Como um material com menor tamanho de grão tem mais fronteiras por unidade de volume, ele será mais resistente.



6) (2.0) Três amostras de Cobre sofreram trabalho a frio de 10, 20 e 30 CW%, respectivamente. Em seguida, foram submetidas a ensaios de tração dos quais foram obtidos os seguintes valores:

Limite de escoamento (MPa): 150, 230 e 280

Limite de resistência (MPa): 250, 280 e 320

Ductilidade (%EL): 8, 15 e 26

a. (0.6) Baseado nos dados dos ensaios, preencha a tabela abaixo:

%CW	Limite de escoamento	Limite de resistência	Ductilidade
10	150	250	26
20	230	280	15
30	280	320	8

b. (1,4) Explique sua lógica citando, necessariamente, os seguintes conceitos:

Deformação plástica, deslizamento, discordâncias, mecanismos de endurecimento

A deformação plástica de materiais cristalinos ocorre a partir do deslizamento de planos. Este deslizamento é facilitado pela presença de discordâncias, que introduzem um processo sequencial, e não simultâneo, de rompimento das ligações atômicas entre os planos. Quanto menor a mobilidade das discordâncias, mais resistente é o material.

Ao realizar trabalho a frio, extensa deformação plástica em temperaturas muito abaixo do ponto de fusão, cria-se uma grande quantidade de discordâncias. Cada discordância cria um campo de deformações a sua volta, distorcendo a rede cristalina. Quando existem muitas discordâncias seus campos de deformação interagem, contribuindo para bloquear o movimento das discordâncias.

Assim, quanto maior o trabalho a frio, mais discordâncias se formam, maior interação e bloqueio ocorre, aumentando a resistência do material. Isto implica em aumento dos limites de escoamento e de resistência e uma redução na ductilidade.