



**EXAME DE TRANSFERÊNCIA 2006**  
**SEGUNDA FASE**  
**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
**04/09/2005**

**Nome Completo:** \_\_\_\_\_

**Documento de Identidade:** \_\_\_\_\_

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

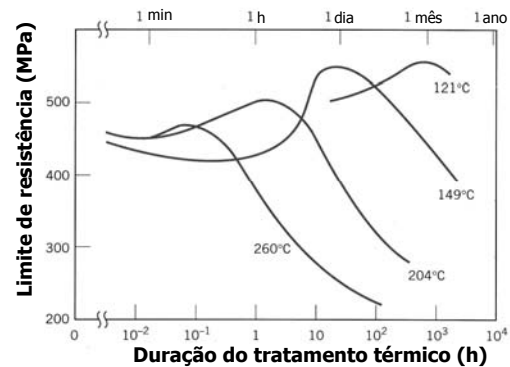
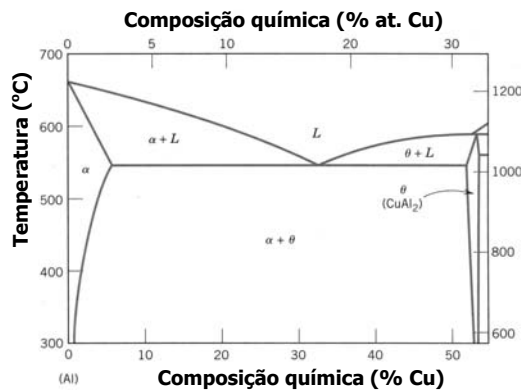
**INSTRUÇÕES:**

1. **SOMENTE INICIAR A PROVA QUANDO FOR AUTORIZADO PELO FISCAL DA SALA.**
2. A prova tem **28 páginas**, incluindo a página de rosto. O espaço em branco que segue cada uma das **12 questões** é para a resolução da questão. As páginas 26, 27 e 28 são para rascunho.
3. Verificar se a sua opção de curso está correta na etiqueta de identificação da prova.
4. Não esquecer de identificar a página de rosto da prova, colocando seu nome completo (sem abreviações), o número do seu documento de identidade e a sua assinatura nos locais indicados.
5. **NÃO É PERMITIDO O USO DE CALCULADORA NEM UTILIZAR O CELULAR DURANTE A PROVA.** QUALQUER USO INDEVIDO DESTES APARELHOS PODERÁ IMPLICAR NA DESCLASSIFICAÇÃO SUMÁRIA DO CANDIDATO.
6. Não é permitido o uso de outros materiais estranho à prova.
7. A prova é para ser resolvida à **caneta** (azul ou preta), com exceção dos desenhos técnicos.
8. Qualquer dúvida faz parte da interpretação da questão.
9. Duração da prova: **4 h.** Saída a partir das **14:00.**
10. Não é permitido fumar na sala.

**Gabarito**

- 1) As ligas alumínio-cobre são ligas de alta resistência. Com base nas informações fornecidas pergunta-se:
- A solubilidade máxima do cobre no alumínio é igual a solubilidade máxima do alumínio no cobre? Justifique.
  - A solubilidade no estado sólido do cobre no alumínio cai para praticamente 0% na temperatura de 120°C. Qual a máxima quantidade de fase  $\theta$  ( $\text{CuAl}_2$ ) que precipitará em uma liga com 2,65 % de cobre, que foi solubilizada, temperada e envelhecida na temperatura de 120°C, sabendo-se que a concentração de cobre na fase  $\theta$  é de 53% nesta temperatura? Expressar a quantidade de fase  $\theta$  ( $\text{CuAl}_2$ ) em porcentagem em peso.
  - Supondo que a liga não foi deformada a frio e que o tamanho de grão não seja modificado durante o tratamento térmico, descrever qual(is) o(s) mecanismo(s) de endurecimento presentes na liga em questão.
  - Esta liga será empregada em uma estrutura que deverá resistir a um esforço máximo de 520 MPa sem apresentar instabilidade localizada de forma. Ela foi tratada a 204°C por uma hora, produzindo um limite de resistência abaixo do especificado. O erro pode ser corrigido por um outro tratamento térmico? Em caso afirmativo, especificar todas as etapas deste novo tratamento, citando temperaturas e tempos, com base nos gráficos fornecidos. Escolher o tratamento térmico mais econômico.

**Dados:** Cobre: CFC; raio atômico = 0,128 nm; valência mais comum: 1+; eletronegatividade: 1,9.  
Alumínio: CFC; raio atômico = 0,143 nm; valência mais comum: 3+; eletronegatividade: 1,5.



## **RESPOSTA:**

- a) As regras de solubilidade para formar soluções sólidas substitucionais são:
- Tamanho atômico = os raios atômicos devem ser menores que 15%. No caso a razão entre os dois raios atômicos é de aproximadamente 12%. O raio atômico não afetaria a solubilidade do Cu no Al e do Al no Cu.
  - Estrutura cristalina = para ter uma significativa solubilidade os elementos devem ter a mesma estrutura cristalina. É o caso do Cu e do Al.
  - Eletronegatividade = quanto maior a diferença de eletronegatividade, maior a probabilidade de formar fases intermetálicas no lugar de soluções sólidas. No caso, a diferença de eletronegatividade é pequena, favorecendo a formação de solução sólida.
  - Valência = caso todos os outros fatores indiquem a formação de uma solução sólida, um elemento A terá uma tendência maior a dissolver um elemento B, se este tiver valência maior. No caso, o cobre dissolve mais alumínio do que o alumínio dissolve mais cobre. Assim, a solubilidade do cobre no alumínio é diferente da solubilidade do alumínio no cobre.

- b) Para calcular a porcentagem de fase  $\theta$  ( $\text{CuAl}_2$ ) basta aplicar a regra da alavanca, utilizando os dados fornecidos. Assim,

$$\% \theta (\text{CuAl}_2) = \frac{C_{\text{liga}} - C_0}{C_{\theta} - C_0} = \frac{2,65 - 0}{53 - 0} \cdot 100 = 5,0\%$$

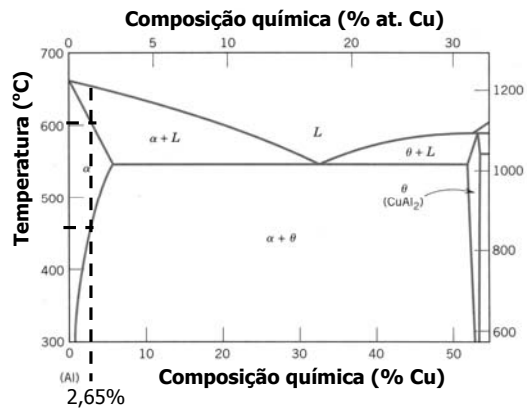
- c) O enunciado da questão diz que a liga não está deformada a frio, descartando o mecanismo de endurecimento por encruamento. Da mesma maneira não houve alteração do tamanho de grão com o tratamento térmico, eliminando o endurecimento por refino de grão. No caso em questão existem dois mecanismos de endurecimento: endurecimento por solução sólida substitucional e endurecimento por precipitação.

O endurecimento por solução sólida consiste em uma deformação elástica, devido à diferença de raio atômico, causada pelo átomo substitucional no reticulado da matriz. Este campo de tensão dificulta a movimentação das discordâncias e, conseqüentemente, aumenta a resistência mecânica da liga.

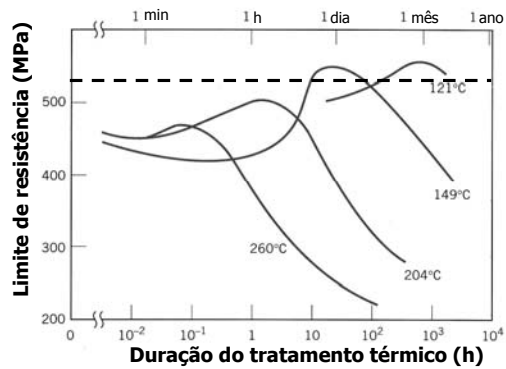
O endurecimento por precipitação consiste na formação de partículas de segunda fase uniformemente dispersas na matriz. As interfaces, ou os campos elásticos, formados pela segunda fase dificultam a movimentação de discordâncias, aumentando a resistência do material.

- d) Sim, o erro pode ser consertado através de um novo tratamento térmico. O tratamento térmico de envelhecimento consiste de uma etapa de solubilização, seguida de resfriamento rápido (têmpera) com posterior reaquecimento em temperatura menor para precipitação de segunda fase (envelhecimento).

Para calcular a temperatura de solubilização, a liga em questão deve estar em uma faixa de temperatura onde existe somente uma fase. Com base no diagrama de fases fornecido e na temperatura da liga, o intervalo de temperatura onde a liga está monofásica compreende entre 460 e 600°C. O tratamento térmico de solubilização deve ser feito, teoricamente, entre 460 e 600°C. Uma boa estimativa de temperatura de solubilização seria a do ponto médio do intervalo, aproximadamente 530°C. O tempo será função das dimensões da peça.



Com relação ao tratamento de envelhecimento é necessário que se escolha corretamente a temperatura e o tempo do tratamento, para as condições de projeto (Limite de resistência maior que 520 MPa).

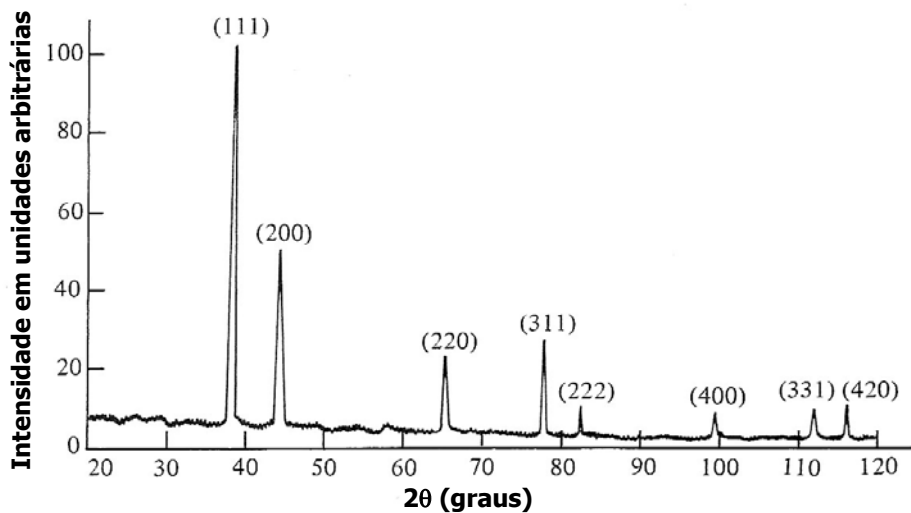


Neste caso, o tratamento térmico mais indicado é na temperatura de 149°C, por 1 dia.

2) Dado o difractograma do alumínio, obtido com radiação de Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 0,154$  nm), pergunta-se:

- Qual o parâmetro de rede da célula unitária do alumínio, sabendo-se que o ângulo  $2\theta$  do plano atômico (2 0 0) é  $45^\circ$  ?
- Qual a densidade do alumínio, em g/cm $^3$ , sabendo que este elemento químico é cúbico de face centrada (CFC) ?

**Dados:**  $\text{sen}(45^\circ) = 0,71$ ;  $\text{sen}(22,5^\circ) = 0,38$ ;  $\text{sen}(2^\circ) = 0,035$ ;  
 número de Avogadro =  $6,0 \cdot 10^{23}$  átomos/mol; massa molar do alumínio = 27 g;  
 $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$ .



lei de Bragg:  $n \cdot \lambda = 2 \cdot d_{hkl} \cdot \text{sen}(\theta)$ , onde  $n$  é um número inteiro (supor  $n=1$ ).

distância entre planos atômicos (hkl) para o sistema cúbico ( $d_{hkl}$ ):

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

onde:  $a$  = parâmetro de rede;  $h, k, l$  = índices do plano atômico.

---

**RESPOSTA:**

- a) Para se calcular o parâmetro de rede, deve-se antes calcular a distância entre os planos (2 0 0), utilizando a lei de Bragg:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin(\theta) \Rightarrow 1,0 \cdot 0,154 = 2d_{(200)} \sin(22,5^\circ) \Rightarrow d_{(200)} = \frac{0,154}{2 \cdot 0,38} = 0,203 \text{ nm}$$

Para calcular o parâmetro de rede (a) a partir da distância entre planos (200) utiliza-se a expressão:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

assim:

$$d_{(200)} = \frac{a}{\sqrt{2^2 + 0^2 + 0^2}} = \frac{a}{\sqrt{4}} = \frac{a}{2} \Rightarrow a = 2 \cdot d_{(200)} = 2 \cdot 0,203 = 0,406 \text{ nm}$$

o parâmetro de rede do alumínio é 0,406 nm.

- b) Para calcular a densidade deve-se determinar a massa do número de átomos presentes na célula unitária e dividir pelo volume da célula unitária:

Para um sistema CFC existem 4 átomos na célula unitária, assim:

$$6,0 \cdot 10^{23} \text{ átomos} \quad \rightarrow \quad 27 \text{ gramas.}$$

$$4 \text{ átomos na célula unitária} \quad \rightarrow \quad x \text{ gramas.}$$

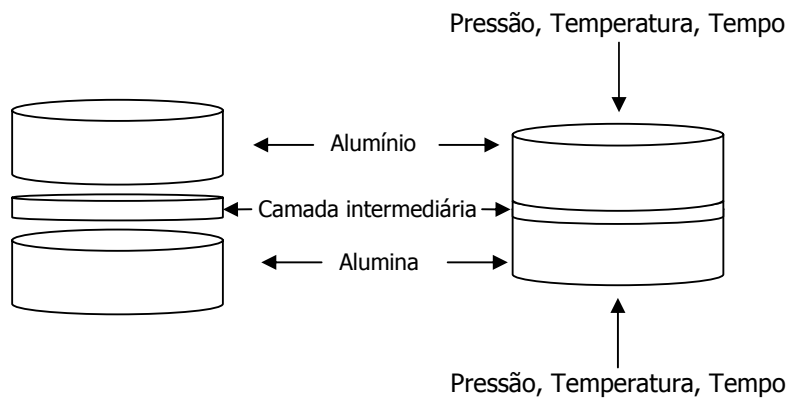
$$\text{A massa de átomos na célula unitária fica : } x = \frac{4 \cdot 27}{6,0 \cdot 10^{23}} = 1,8 \cdot 10^{-22} \text{ g}$$

$$\text{O volume da célula unitária é : } a^3 = (0,406 \cdot 10^{-7} \text{ cm})^3 = 6,7 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3$$

$$\text{A densidade do alumínio é : } \rho_{\text{Al}} = \frac{1,8 \cdot 10^{-22}}{6,7 \cdot 10^{-23}} = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

- 3) Para construir uma peça tem que a função de isolante térmico de um lado e condutor térmico do outro, conforme o desenho abaixo, pode-se empregar alumínio (Al) e alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Devido a grande diferença entre coeficientes de expansão térmica linear na fabricação desta peça, emprega-se uma camada intermediária de um material metálico, com um coeficiente de expansão térmica próximo do material cerâmico. Pergunta-se:
- O alumínio e a alumina têm condutividades térmicas bem diferentes. Explique o mecanismo geral que define a condução de calor de um material e, em seguida, particularize o mecanismo para os materiais metálicos e cerâmicos, explicando a diferença de condutividade térmica entre eles.
  - Na fabricação da peça, os três materiais foram colocados em contato, com aplicação de pressão e temperatura entre as três partes por um determinado tempo, para que as três partes se transformassem em um único conjunto. Nas interfaces alumínio/(camada intermediária) e alumina/(camada intermediária) surgiram tensões térmicas de tração ou compressão, após a peça atingir a temperatura ambiente? Explicar. Na peça obtida, qual das duas interfaces ficou com maior tensão? Por que?

**Dados:**



Materiais	Coeficiente de expansão térmica	Condutividade térmica	Módulo de Young
	$\alpha$ [(°C <sup>-1</sup> )x10 <sup>-6</sup> ]	k (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	E (GPa)
Alumínio (Al)	25	250	70
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	8	40	400
Camada intermediária	5	15	200

$$\text{Tensão térmica entre dois materiais } (\sigma): \sigma = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \cdot |\Delta\alpha| \cdot |\Delta T|$$

onde: E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> = módulos de Young dos materiais;

$|\Delta\alpha|$  = módulo da variação de coeficiente de expansão térmica linear entre os dois materiais;

$|\Delta T|$  = módulo da variação de temperatura.

## **RESPOSTA:**

- a) O transporte de calor em materiais é composto por ondas de vibração na estrutura atômica (cristalina ou amorfo) de um material sólido e por elétrons livres. A condutividade térmica ( $k$ ) de um material está associada a estes dois mecanismos, assim:

$$k = k_{\text{vibração.estrutura.atômica}} + k_{\text{elétrons.livres}}$$

As ondas de vibração na estrutura atômica são também chamadas de fônons. A energia associada aos fônons é transportada na direção do seu movimento e da região de temperatura maior para a região de temperatura menor. Parte desta energia é transferida para os átomos.

Os elétrons livres participam da condutividade térmica, transmitindo parte de sua energia cinética para os átomos da estrutura atômica. Os elétrons livres migram das regiões mais aquecidas para as regiões mais frias do material.

**Metais:** no caso dos metais puros, a contribuição dos elétrons livres é muito maior que dos fônons, por que os elétrons livres são mais difíceis de serem espalhados e possuem velocidade maior que os fônons.

**Cerâmicos:** os materiais cerâmicos, de maneira geral, são bons isolantes térmicos. A condutividade térmica destes materiais é determinada principalmente pela propagação de fônons, que são mais lentos que os elétrons livres e são mais facilmente espalhados pelas imperfeições do reticulado. Por isto, os metais têm maior condutividade térmica que os materiais cerâmicos.

- b) Tipo de tensão na interface alumínio/camada intermediária: com os dois materiais unidos, em uma dada temperatura  $T$ , o alumínio está com um tamanho muito maior que a camada intermediária, devido à diferença de coeficientes de expansão térmica linear. O alumínio deforma a camada intermediária por tração, na temperatura  $T$ , aumentando a sua dimensão. Na temperatura ambiente, a interface fica sujeita a esforços de compressão.

Tipo de tensão na interface alumina/camada intermediária: com os dois materiais unidos, em uma dada temperatura  $T$ , a alumina está com um tamanho um pouco maior que a camada intermediária, devido à diferença de coeficientes de expansão térmica linear. A camada intermediária é deformada por tração, na temperatura  $T$ , aumentando a sua dimensão. Na temperatura ambiente, a interface fica sujeita a esforços de compressão.

### **Cálculo da tensão nas duas interfaces:**

interface alumínio/camada intermediária:

$$\sigma_{\text{alumínio / camada.int ermediária}} = \frac{E_{\text{alumínio}} \cdot E_{\text{camada}}}{E_{\text{alumínio}} + E_{\text{camada}}} \cdot |\alpha_{\text{alumínio}} - \alpha_{\text{camada}}| \cdot |\Delta T| = \frac{70 \cdot 200}{70 + 200} \cdot |25 - 5| \cdot |\Delta T| = 1037 \cdot |\Delta T|$$

interface alumina/camada intermediária:

$$\sigma_{\text{alumina / camada.int ermediária}} = \frac{E_{\text{alumina}} \cdot E_{\text{camada}}}{E_{\text{alumina}} + E_{\text{camada}}} \cdot |\alpha_{\text{alumina}} - \alpha_{\text{camada}}| \cdot |\Delta T| = \frac{400 \cdot 200}{400 + 200} \cdot |8 - 5| \cdot |\Delta T| = 400 \cdot |\Delta T|$$

Comparando-se as duas interfaces nota-se que a tensão na interface alumínio/camada intermediária é maior que na alumina/camada intermediária. O fator determinante no valor da tensão é a diferença de coeficientes de expansão térmica linear entre os dois materiais.



4) A temperatura é uma variável importante para se estudar ligações químicas. Observe as informações a seguir:

I)

Composto	Distância interiônica (Å)	Ponto de fusão (°C)
NaCl	2,76	800
BaO	2,75	1920
MgO	2,05	2800

II)

Ponto de fusão do hidrogênio: -259 °C

Temperatura necessária para quebrar a ligação H – H: 2400 °C.

Com base nessas informações, responder:

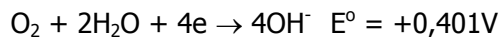
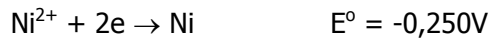
- Por que o NaCl tem ponto de fusão inferior ao ponto de fusão do BaO, sendo que ambos apresentam, praticamente, a mesma distância interiônica? Justifique com base na ligação química presente nesses compostos.
  - Por que o MgO tem ponto de fusão superior ao ponto de fusão do BaO, sendo que ambos apresentam cátions da mesma família (magnésio e bário são da família dos elementos alcalinos terrosos)?
  - O que indica a diferença entre a temperatura para a fusão do hidrogênio e a quebra da ligação H – H? Justifique com base em ligações químicas.
-

## **RESPOSTA:**

- a)** Tanto o NaCl quanto o BaO apresentam ligações iônicas. Esta caracteriza-se por fortes interações de caráter eletrostático entre as espécies que formam o composto. Neste caso, apesar de ambos apresentarem praticamente a mesma distância interiônica, no NaCl, os íons apresentam as cargas  $\text{Na}^{1+}$  e  $\text{Cl}^{1-}$ , enquanto que para o BaO as cargas são  $\text{Ba}^{2+}$  e  $\text{O}^{2-}$ . Desta forma, como as forças de caráter eletrostático têm sua intensidade aumentada com a diminuição da distância entre as espécies que interagem e aumentam com a magnitude das cargas, fica justificada o maior ponto de fusão para o BaO por apresentar maior carga em seus íons, o que aumenta a força de caráter eletrostático entre as espécies.
- b)** Neste caso, apesar de os íons apresentarem as mesmas cargas ( $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{O}^{2-}$ ;  $\text{Ba}^{2+}$  e  $\text{O}^{2-}$ ) a distâncias interiônicas é menor para o MgO (2,05Å) quando comparada à distância para o BaO (2,75 Å). Assim, pelo fato de a distância ser menor para o MgO, a força de caráter eletrostático é maior e, portanto, tem-se um maior ponto de fusão para o MgO.
- c)** Tal diferença de temperatura indica que as forças intramoleculares no hidrogênio são muito superiores às forças intermoleculares. A ligação entre os dois átomos de hidrogênio é muito mais intensa do que a ligação entre duas moléculas de hidrogênio. A ligação entre os átomos é do tipo covalente e a ligação entre as moléculas é do tipo Força de van der Waals.

- 5) Deseja-se proteger uma chapa de aço carbono comum (liga de ferro com carbono) com uma cobertura metálica. No momento, estão disponíveis os seguintes metais para essa cobertura: níquel e zinco. A chapa de aço ficará sujeita a esforços que podem provocar fendas na cobertura metálica e expor o aço. A chapa ficará em contato com água aerada (ar: 21% oxigênio e 79% nitrogênio) com um pH=9,0. Com base nessas informações e com os dados a seguir, responder:

Dados:



onde  $E^\circ$  indica o potencial de eletrodo padrão da substância nas condições padrão. A equação de Nernst que corrige o potencial padrão para as condições fora do padrão é:

Equação de Nernst:

$$E = E^\circ + \frac{0,0591}{z} \log \frac{a_{\text{oxidada}}}{a_{\text{reduzida}}}$$

onde:  $E$  é o potencial de equilíbrio fora das condições padrão;

$E^\circ$  é o potencial de equilíbrio nas condições padrão;

$z$  é o número de mols de elétrons no sistema considerado;

$a_{\text{oxidada}}$  representa as atividades das formas oxidadas do sistema;

$a_{\text{reduzida}}$  representa as atividades das formas reduzidas do sistema;

$\log$  representa o logaritmo decimal.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

- a) Qual(is) cobertura(s) é(são) resistente(s) ao meio ao qual a chapa ficará submetida? Justifique.
- b) Qual é cobertura mais indicada para proteger o aço no caso de exposição do mesmo ao meio descrito? Justifique.
-

## **RESPOSTA:**

**a).** Para responder a este item, é necessário proceder-se à correção dos potenciais de equilíbrio das espécies envolvidas.

\*para o níquel:

$E^\circ = -0,250V$ ;  $z = 2$ ;  $a_{\text{red}} = 1$  (sólido metálico);  $a_{\text{oxi}} = 10^{-6}$  (concentração de um íon num sistema que não apresenta tal íon em concentrações apreciáveis)

$$E = -0,250 - \frac{0,059}{2} \log\left(\frac{1}{10^{-6}}\right) = -0,427V$$

\*para o zinco:

$E^\circ = -0,763V$ ;  $z = 2$ ;  $a_{\text{red}} = 1$  (sólido metálico);  $a_{\text{oxi}} = 10^{-6}$  (concentração de um íon num sistema que não apresenta tal íon em concentrações apreciáveis)

$$E = -0,763 - \frac{0,059}{2} \log\left(\frac{1}{10^{-6}}\right) = -0,940V$$

\*para o oxigênio + água:

$E^\circ = +0,401V$ ;  $z = 4$ ;  $a_{\text{red}} = 10^{-5}$  (pH=9);  $a_{\text{oxi}} = 0,21$  (pressão parcial do oxigênio na atmosfera)

$$E = +0,401 - \frac{0,059}{4} \log\left(\frac{(10^{-5})^4}{0,21}\right) = 0,391V$$

Verificando as pilhas possíveis entre a cobertura metálica e o meio (oxigênio + água):

\*com o níquel, sendo este o anodo da pilha:

$$FEM = 0,391 - (-0,427) = 0,818V > 0 \text{ (reação espontânea).}$$

\*com o zinco, sendo este o anodo da pilha:

$$FEM = 0,391 - (-0,940) = 1,331V > 0 \text{ (reação espontânea).}$$

Portanto, nenhum revestimento é resistente ao meio apresentado.

- b)** Para este item, necessita-se calcular o potencial do ferro corrigido para a nova situação.

$E^\circ = -0,440V$ ;  $z = 2$ ;  $a_{\text{red}} = 1$  (sólido metálico);  $a_{\text{oxi}} = 10^{-6}$  (concentração de um íon num sistema que não apresenta tal íon em concentrações apreciáveis)

$$E = -0,44 - \frac{0,059}{2} \log\left(\frac{1}{10^{-6}}\right) = -0,617V$$

Verificando-se as pilhas possíveis entre as coberturas, sendo o ferro o anodo dessa pilha:

\*ferro e níquel:

$$FEM = -0,427 - (-0,617) = 0,190V > 0.$$

Logo o ferro oxida-se e esta cobertura não é adequada.

\*ferro e zinco:

$$FEM = -0,940 - (-0,617) = -0,323V < 0.$$

E esta reação não é espontânea.

Assim, a cobertura mais indicada é a de zinco.

- 6) Um carvão apresenta a seguinte composição elementar em base seca, ou seja, isenta de umidade (as porcentagens são em massa):

ELEMENTO	COMPOSIÇÃO (%)
C (carbono)	72,2
H (hidrogênio)	20,6
N (nitrogênio)	5,2
Cinzas	2,0

Sabe-se, entretanto, que esse carvão tem umidade. Num ensaio de poder calorífico, verificou-se que 90% (em massa) da matéria combustível no carvão úmido é a responsável pela liberação de energia. Considerando 1kg desse carvão e com as informações a seguir, responder:

Dados:

Composição do ar atmosférico: 21%O<sub>2</sub> e 79%N<sub>2</sub> (porcentagem molar ou volumétrica).

Massas atômicas: C=12; H=1; O=16; N=14.

Reações termoquímicas de combustão:



$$PCI = PCS - n_{H_2O \text{ TOTAL}} \cdot \lambda$$

$$PCS = - \sum n_i \Delta H_i$$

PCI = poder calorífico inferior;

PCS = poder calorífico superior,

$\lambda$  = calor latente de vaporização da água;

n = número de mols.

Equação dos gases ideais:  $pV = nRT$  (p=pressão; V=volume; n=número de mols; R=0,082 atm.L/mol.K; T=temperatura)

- Qual a quantidade de água ligada presente nesse carvão?
- Qual o valor do PCI desse carvão, utilizando para estimativa as equações termoquímicas?
- Qual o volume de ar a 25°C e 1atm de pressão necessário para queimar esse combustível com 40% de ar em excesso?

**RESPOSTA:**

a) A água ligada depende da presença de combustível no carvão. Como o carvão apresentado não tem oxigênio em sua composição, a quantidade de água ligada é zero.

b) Cálculo da umidade do carvão:

Para 1kg de carvão seco, tem-se:

ELEMENTO	Massa (g)
C (carbono)	722
H (hidrogênio)	206
N (nitrogênio)	52
Cinzas	20

Como 90% da massa combustível está no carvão úmido:

\*massa combustível:  $722 + 206 = 928\text{g}$

\*90% correspondem a 928g, logo a massa total do combustível úmido será 1031,1g.

Assim, a quantidade de umidade presente será:

$1031,1\text{g (carvão úmido)} - 1000\text{g (carvão seco)} = 31,1\text{g de umidade.}$

Nova composição do carvão em base úmida:

ELEMENTO	Cálculo	COMPOSIÇÃO (%)
C (carbono)	$722/1031,1$	70
H (hidrogênio)	$206/1031,1$	20
N (nitrogênio)	$52/1031,1$	5
Umidade	$31,1/1031,1$	3
Cinzas	$20/1031,1$	2

Cálculo do número de mols de cada elemento:

ELEMENTO	Massa (g)	Cálculo	Número de mols
C (carbono)	700	$700/12$	58,3
H (hidrogênio)	200	$200/2$	100
N (nitrogênio)	50	$50/28$	1,8
Umidade	30	$30/18$	1,1
Cinzas	20	20	---

Cálculo do PCS:

$$\text{PCS} = -[58,3*(-96,7) + 100*(-68,3)] = 12467\text{kcal/kg}$$

Cálculo do PCI:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - n_{\text{H}_2\text{O TOTAL}} \lambda$$

$$n_{\text{H}_2\text{O TOTAL}} = \text{água produzida pelo hidrogênio} + \text{umidade} = 100 + 1,1 = 101,1 \text{ mols/kg}$$

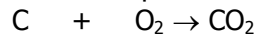
$$\lambda = \Delta H(\text{água no estado de vapor}) - \Delta H(\text{água no estado líquido})$$

$$\lambda = (-57,8\text{kcal/mol}) - (-68,3\text{kcal/mol}) = 10,5\text{kcal/mol.}$$

$$\text{PCI} = 12467 - 101,1*10,5 = 11406\text{kcal/kg}$$

$$\text{PCI} = 11406\text{kcal/kg}$$

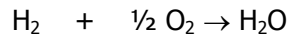
**c)** Os elementos que sofrem combustão são C e H. Pela estequiometria:



$$1\text{mol} : 1\text{mol}$$

$$58,3 : n_{\text{O}_2/\text{C}}$$

$$n_{\text{O}_2/\text{C}} = 58,3\text{mols}$$



$$1\text{mol} : 0,5\text{mols}$$

$$100 : n_{\text{O}_2/\text{H}_2}$$

$$n_{\text{O}_2/\text{H}_2} = 50\text{mols}$$

Quantidade total de oxigênio teórico necessário:  $58,3 + 50 = 108,3\text{mols}$

Quantidade de nitrogênio que acompanha o oxigênio:

$$n_{\text{N}_2} = (0,79/0,21)*108,3 = 407,4\text{mols}$$

Quantidade de ar teórico necessário:

$$n_{\text{AR}} = n_{\text{N}_2} + n_{\text{O}_2} = 108,3 + 407,4 = 515,7\text{mols de ar.}$$

Ar real utilizado (ar teórico com 40% de excesso):  $515,7 * 1,4 = 722 \text{ mols de ar}$

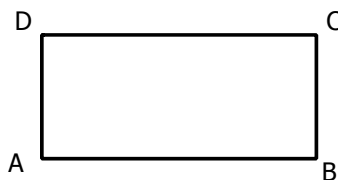
Volume de ar a 25 °C e 1atm de pressão:

$$V = (nRT)/p = (722 * 0,082 * 298)/1 = 17642,8\text{L}$$

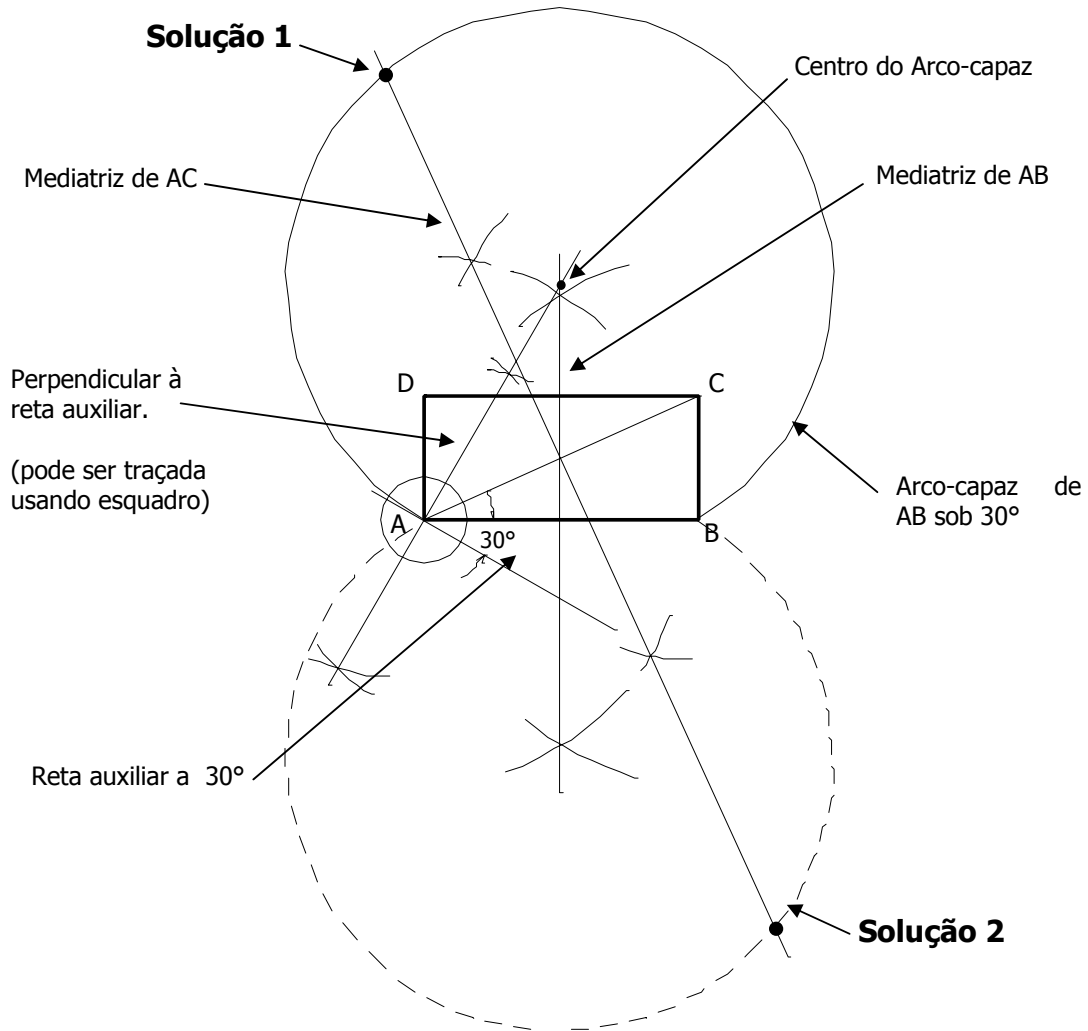
Volume de ar necessário:  $17642,8\text{L} = 17,6\text{m}^3$ .



- 7) Determinar um ponto, no plano da folha, que enxerga o lado **AB** do retângulo abaixo sob um ângulo de **30°** e que seja eqüidistante dos pontos **A** e **C**. Mostre claramente todas as construções na folha.



**RESPOSTA:**



**Critério de correção:**

Traçou arco capaz (0,6):

Traçou mediatriz de AB: 0,1

Traçou reta auxiliar a  $30^\circ$ : 0,1

Traçou perpendicular à reta aux: 0,2

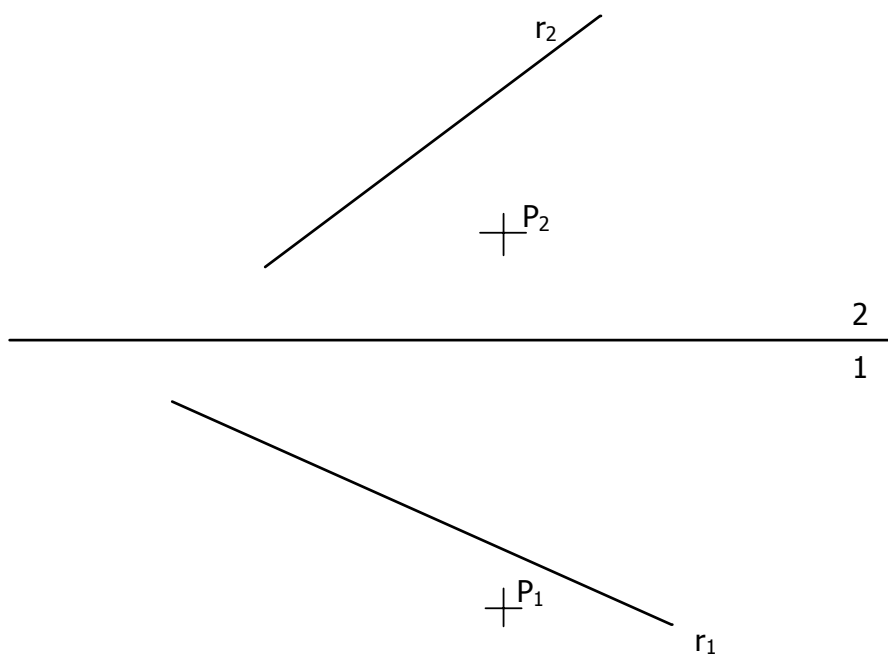
Marcou centro do arco-capaz: 0,1

Traçou arco-capaz (qualquer um dos dois): 0,1

Traçou mediatriz AC: (0,3)

Marcou intersecção entre arco-capaz e mediatriz de AC: (0,1)

- 8) Na *épura* abaixo, determine os traços vertical e horizontal do plano  $\alpha$  que contém a reta  $r$  e o ponto  $P$ . Indique claramente as construções e a solução final, com a notação apropriada.

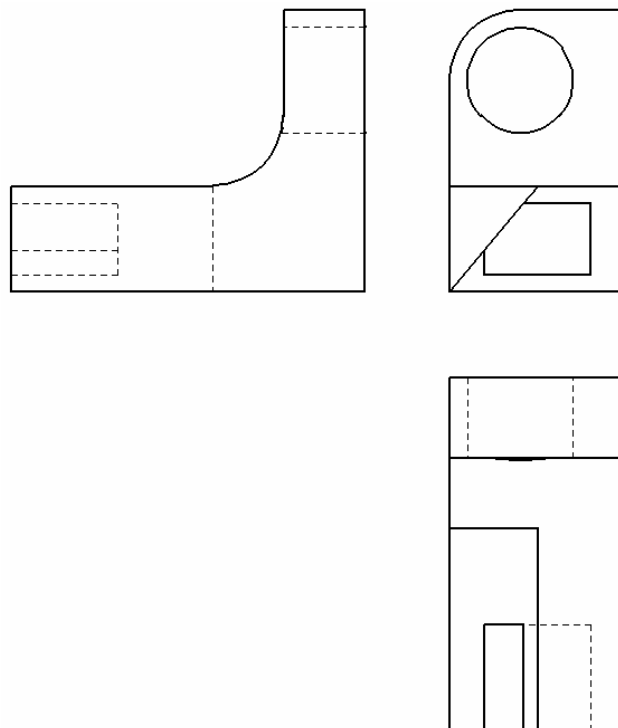






---

**RESPOSTA:**

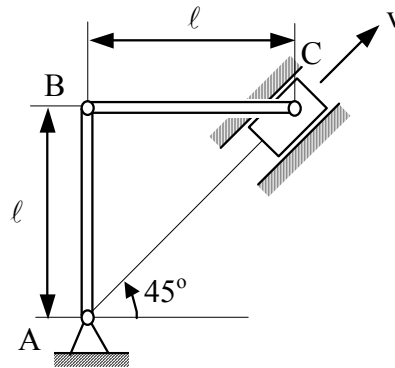


**Critério de correção:**

- Escala errada: -0.1
- Distâncias diferentes entre as vistas: -0.1
- Vistas em posições erradas: -0.2
- Alinhamento errado: -0.2
- Linha faltando/a mais: -0.1 cada
- Medida errada: -0.1 cada
- Vistas erradas (ex: lat. esquerda): -0.1 cada
- Diedro errado: -0.2
- Vista rotacionada: -0.2

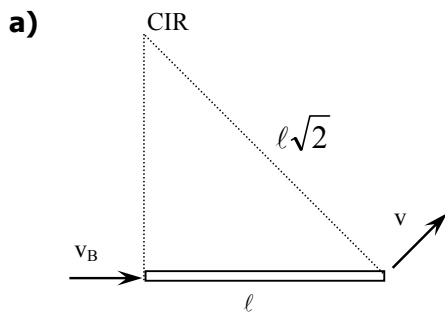
(não será cobrado o pequeno arco de elipse na base do furo na vista superior)

- 10) O bloco deslizando **C** do mecanismo da figura move-se com uma velocidade constante **v**. Pede-se determinar, para a posição indicada na figura:
- o CIR (Centro Instantâneo de Rotação) da barra BC, de forma gráfica;
  - a velocidade angular da barra BC,  $\omega_{BC}$ ;
  - a velocidade do ponto B,  $v_B$ ;
  - a aceleração do ponto B,  $\vec{a}_B$ .



**RESPOSTA:**

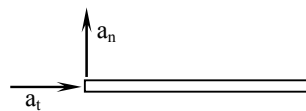
Solução:



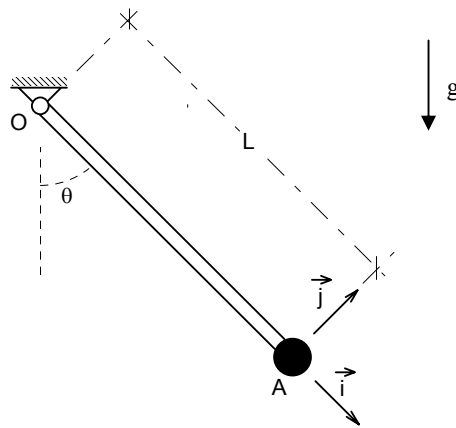
**b)**  $\omega_{BC} = \frac{v}{l\sqrt{2}} = \frac{v}{l} \frac{\sqrt{2}}{2}$

**c)**  $v_B = \omega_{BC} \cdot l = v \frac{\sqrt{2}}{2}$

**d)**  $a_t = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{v^2}{l}$ ;  $a_n = \omega_{BC}^2 l = \frac{v^2}{2l}$   
 $\vec{a}_B = \vec{a}_t + \vec{a}_n$



- 11) A barra homogênea **OA** de comprimento **L** e peso **mg**, articulada em O, tem em sua extremidade um peso concentrado **2mg**. O conjunto parte do repouso na posição horizontal. O momento de inércia da barra em relação ao seu baricentro  $G'$  é  $J_{G'} = ml^2/12$ . Pede-se:
- o baricentro **G do conjunto** e o momento de inércia do conjunto em relação a O;
  - a velocidade angular e a aceleração angular em função de  $\theta$ ;
  - a aceleração do baricentro **G do conjunto**.



**RESPOSTA:**

Solução:

$$a) (G-O) = \frac{2m(A-O) + m(G'-O)}{3m} = \frac{5l}{6} \vec{i} ; J_O = J_{G'} + m\left(\frac{l}{2}\right)^2 + 2ml^2 = \frac{7}{3} ml^2$$

b) Teorema da Energia Cinética:

$$\frac{1}{2} J_O \omega^2 = 3mg \frac{5}{2} l \cos \theta , \text{ portanto } \omega^2 = \frac{g}{l} \frac{15}{7} \cos \theta$$

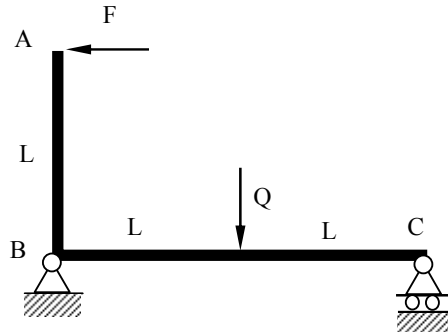
$$\text{Derivando: } 2\omega \dot{\omega} = -\frac{g}{l} \frac{15}{7} \text{sen} \theta \cdot \dot{\theta} \text{ e } \dot{\omega} = \frac{g}{l} \frac{15}{14} \text{sen} \theta \text{ com } \dot{\theta} = -\omega$$

$$c) \vec{a}_G = \vec{a}_O + \dot{\vec{\omega}} \wedge (G-O) + \vec{\omega} \wedge [\vec{\omega} \wedge (G-O)]$$

$$\vec{a}_G = -\frac{75}{42} g \cos \theta \vec{i} - \frac{75}{84} g \text{sen} \theta \vec{j}$$



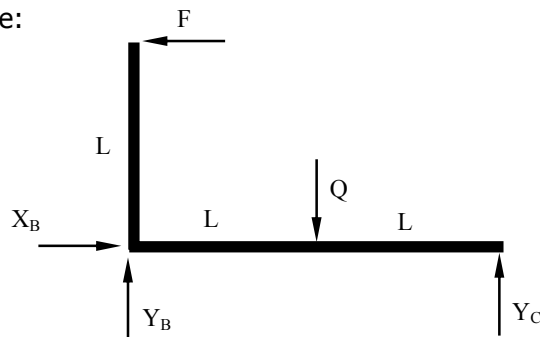
- 12) A barra dobrada homogênea ABC está vinculada por uma articulação em B e por um apoio simples em C, conforme indicado na figura. O trecho AB possui comprimento L e o trecho BC possui comprimento 2L. O peso da barra é desprezível. Calcule as reações vinculares para o carregamento indicado na figura (forças F e Q).



**RESPOSTA:**

Solução:

Diagrama de corpo livre:



Equações de equilíbrio:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow X_B - F = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow -Q + Y_B + Y_C = 0$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow FL - QL + 2LY_C + 0$$

Resolvendo o sistema de equações:

$$X_B = F$$

$$Y_B = \frac{Q+F}{2}$$

$$Y_C = \frac{Q-F}{2}$$