

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA
MARINHA (CP-CEM/2015)

ENGENHARIA DE MATERIAIS

**PROVA ESCRITA DISCURSIVA
INSTRUÇÕES GERAIS**

- 1- A duração da prova será de 05 horas e o tempo não será prorrogado. Ao término da prova, entregue o caderno ao Fiscal em retirar os grampos de nenhuma folha.
- 2- Responda às questões utilizando caneta esferográfica azul ou preta. Não serão consideradas respostas e desenvolvimento da questão a lápis. Confira o número de páginas de cada parte da prova.
- 3- Só comece a responder à prova ao ser dada a ordem para iniciá-la, interrompendo a sua execução no momento em que for determinado.
- 4- O candidato deverá preencher os campos:
- NOME DO CANDIDATO; NÚMERO DA INSCRIÇÃO e DV.
- 5- Iniciada a prova, não haverá mais esclarecimentos. O candidato somente poderá deixar o seu lugar, devidamente autorizado pelo Supervisor/Fiscal, para se retirar definitivamente do recinto de prova ou, nos casos a seguir especificados, devidamente acompanhado por militar designado para esse fim: atendimento médico por pessoal designado pela Marinha do Brasil; fazer uso de banheiro e casos de força maior, comprovados pela supervisão do certame, sem que aconteça saída da área circunscrita para a realização da prova.
Em nenhum dos casos haverá prorrogação do tempo destinado à realização da prova e, em caso de retirada definitiva do recinto de prova, esta será corrigida até onde foi solucionada.
- 6- A solução deve ser apresentada nas páginas destinadas a cada questão.
- 7- Não é permitida a consulta a livros ou apontamentos.
- 8- A prova não poderá conter qualquer marca identificadora ou assinatura, o que implicará na atribuição de nota zero.
- 9- Será eliminado sumariamente do concurso e as suas provas não serão levadas em consideração, o candidato que:
 - a) der ou receber auxílio para a execução de qualquer prova;
 - b) utilizar-se de qualquer material não autorizado;
 - c) desrespeitar qualquer prescrição relativa à execução das provas;
 - d) escrever o nome ou introduzir marcas identificadoras noutro lugar que não o determinado para esse fim; e
 - e) cometer ato grave de indisciplina.
- 10- É PERMITIDO O USO DE CALCULADORA PADRÃO NÃO CIENTÍFICA, RÉGUA SIMPLES E COMPASSO SIMPLES.

NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR

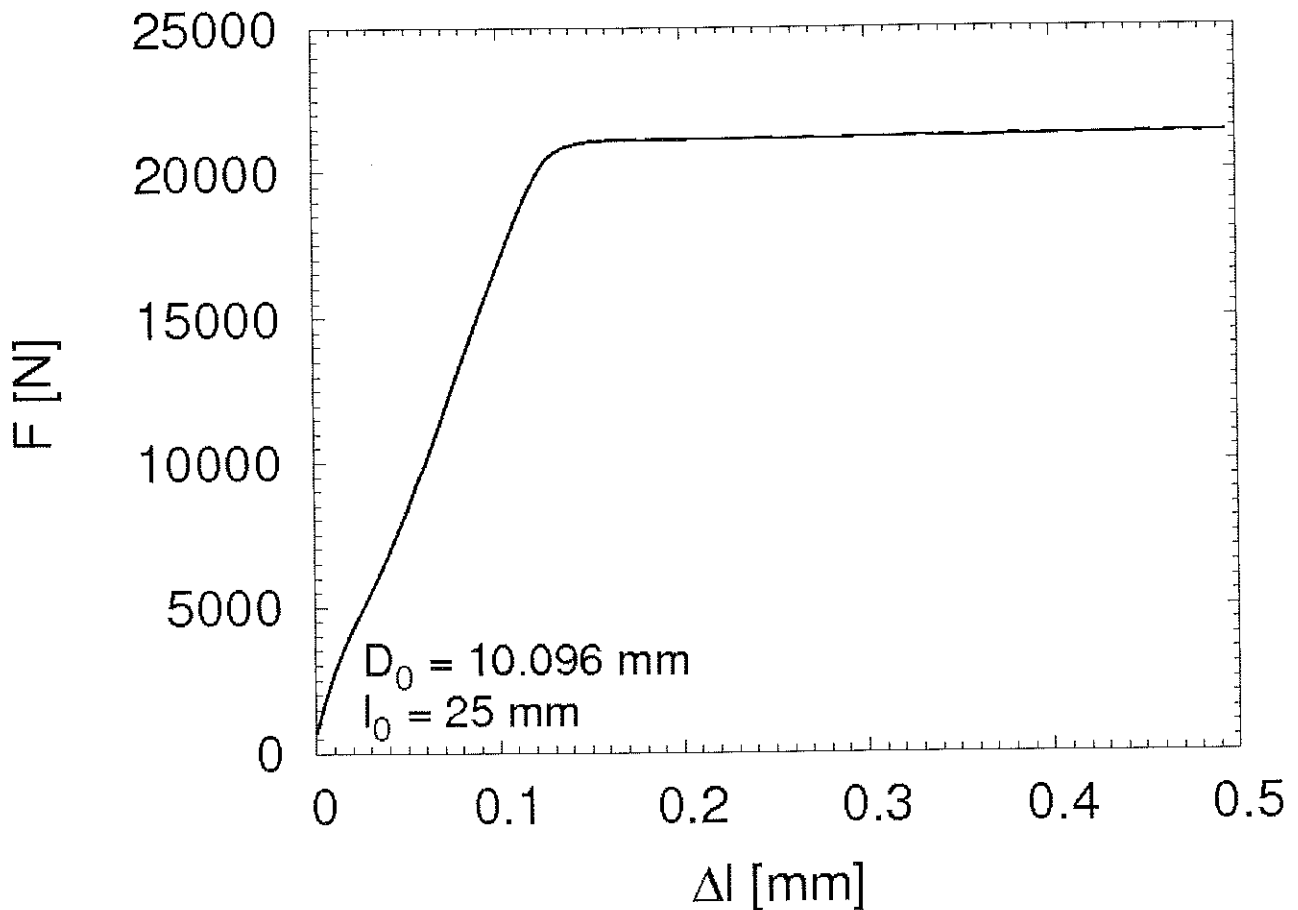
RUBRICA DO PROFESSOR	ESCALA DE	NOTA	USO DA DEnsM
	000 A 080		

CAMPOS PREENCHIDOS PELOS CANDIDATOS	CONCURSO: CP-CEM/2015		
	NOME DO CANDIDATO:		
	Nº DA INSCRIÇÃO	DV	
	ESCALA DE	NOTA	USO DA DEnsM
	000 A 080		

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

Observe a figura a seguir, que representa o ensaio de tração de uma liga de alumínio.



A Figura acima apresenta o trecho inicial da curva tensão-deformação realizado em um corpo de prova cilíndrico de liga de alumínio. As dimensões (diâmetro D_0 e comprimento l_0) da zona útil do corpo de prova são dadas na figura. Com base nesses resultados determine:

- O módulo de Young desse material. (2 pontos)
- O limite de escoamento desse material. (2 pontos)

Em seguida, considere uma barra de seção quadrada (lado $a = 8$ cm) e comprimento de 45 cm que será solicitada em tração em sua aplicação final. As especificações de projeto exigem que a carga máxima corresponda a 85% do limite de escoamento do material, sendo assim, determine:

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

Continuação da 1ª questão

- c) A carga máxima de tração que poderá ser suportada pela barra.
(2 pontos)
- d) O comprimento da barra sob carga máxima (2 pontos)

Observação: Os resultados devem ser expressos em unidades do sistema internacional (SI) e as construções gráficas devem constar da resposta do candidato.

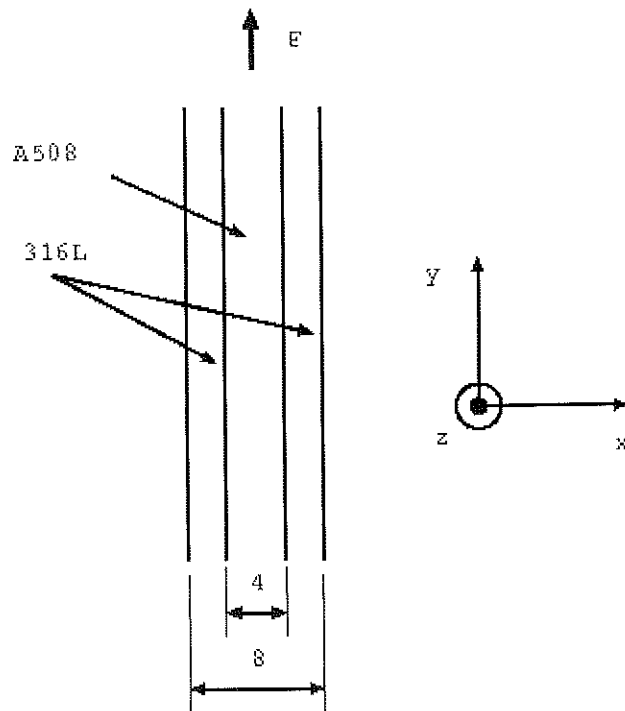
Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

2ª QUESTÃO (8 pontos)

Observe a figura, que representa a seção transversal de um compósito, e a tabela, que apresenta as propriedades dos materiais que compõem um compósito, apresentadas abaixo.



Material	Propriedade	Valor
316L	E1	156,15 GPa
316L	v1	0,31
A508	E2	202,41 GPa
A508	v2	0,34

A figura acima mostra um compósito feito de três chapas de aço caldeadas. As chapas externas são feitas de aço inoxidável 316L e o núcleo é feito de aço carbono A508. As propriedades elásticas dos dois materiais são apresentadas na tabela acima. A chapa em questão será carregada em serviço com uma tensão $\sigma = 75$ MPa ao longo de seu comprimento. Sob essas condições, observa-se que o compósito se deforma de acordo com a expressão:

$$\varepsilon = \sigma / E_{ef}$$

Com

$$E_{ef} = \frac{1}{2} [E1/(1 - v1^2) + E2/(1 - v2^2)]$$

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
 Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

Continuação da 2ª questão

onde E_1 , E_2 , ν_1 e ν_2 são as constantes elásticas dos dois materiais, definidas na tabela acima.

O estado de tensão dos dois materiais que compõem o compósito é dado pelas seguintes tensões principais:

$$\sigma_{1x} = 0$$

$$\sigma_{1y} = [E_1/(1 - \nu_1^2)]\varepsilon$$

$$\sigma_{1z} = [\nu_1 E_1/(1 - \nu_1^2)]\varepsilon$$

para o aço 316L e

$$\sigma_{2x} = 0$$

$$\sigma_{2y} = [E_2/(1 - \nu_2^2)]\varepsilon$$

$$\sigma_{2z} = [\nu_2 E_2/(1 - \nu_2^2)]\varepsilon$$

para o aço A508.

O estado de deformação dos dois materiais que compõem o compósito é dado pelas seguintes deformações principais:

$$\varepsilon_{1x} = -[\nu_1 / (1 - \nu_1)]\varepsilon$$

$$\varepsilon_{1y} = 0$$

$$\varepsilon_{1z} = \varepsilon$$

para o aço 316 L e

$$\varepsilon_{2x} = -[\nu_2 / (1 - \nu_2)]\varepsilon$$

$$\varepsilon_{2y} = 0$$

$$\varepsilon_{2z} = \varepsilon$$

para o aço A508.

Com base nessas informações, resolva:

- Desenhe o círculo de Mohr das tensões para o aço 316L quando o compósito está carregado na tensão dada no enunciado (75 MPa ao longo da direção y). (2 pontos)
- Desenhe o círculo de Mohr das deformações para o aço A508 quando o compósito está carregado na tensão dada no enunciado (75 MPa ao longo da direção y). (2 pontos)
- Determine o valor da máxima tensão de cisalhamento no plano que contém as direções y e z no aço 316L e no aço A508 quando o compósito está carregado na tensão dada no enunciado (75 MPa ao longo da direção y). (2 pontos)

Continuação da 2ª questão

- d) Determine o valor da tensão média (σ_m) no aço 316L e no aço A508 quando o compósito está carregado na tensão dada no enunciado (75 MPa ao longo da direção y). (2 pontos)

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

3ª QUESTÃO (8 pontos)

Observe a tabela a seguir que apresenta as propriedades elásticas da zircônia, da alumina e do compósito.

Material	Propriedade	Valor
Alumina	E_A	380 GPa
Alumina	ν_A	0,26
Alumina	α_A	$8,91 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Zircônia	E_Z	210 GPa
Zircônia	ν_Z	0,31
Zircônia	α_Z	$10,39 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Compósito	α_m	$9,37 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Compósitos lamelares cerâmica-cerâmica são materiais em que lâminas de dois tipos de cerâmica são intercaladas alternadamente. O objetivo é introduzir tensões residuais compressivas na superfície da cerâmica. Essas tensões residuais contrapõem as tensões externas trativas que agem sobre os defeitos superficiais da cerâmica, provocando a fratura. Portanto elas aumentam sua tenacidade. A magnitude das tensões residuais em cada camada é dada por:

$$\sigma_{res,i} = (E_i / 1 - \nu_i) \Delta \epsilon_i$$

onde E_i é o módulo de Young da camada i , ν_i é o coeficiente de Poisson da camada i , $\Delta \epsilon_i$ é dado por:

$$\Delta \epsilon_i = (\alpha_m - \alpha_i)(T - T_0)$$

onde α_m é o coeficiente linear de expansão térmica do compósito, α_i é o coeficiente linear de expansão térmica da camada i , T é a temperatura de trabalho e T_0 é a temperatura de referência na qual se assume que o compósito está livre de tensões residuais.

Um compósito lamelar de zircônia e alumina contendo 21 camadas foi preparado. As propriedades elásticas dos dois materiais são dadas na tabela apresentada acima.

A temperatura de referência, T_0 , para esse compósito é 1470°C . Com base nessas informações, responda:

- Qual é a magnitude das tensões residuais induzidas nas duas camadas à temperatura ambiente ($T = 27^\circ\text{C}$)? (2 pontos)
- Considerando que o compósito possui 21 camadas de igual espessura, e que essas devem ser alternadas, qual deverá ser a sequência de camadas que maximizará a tenacidade do compósito? (6 pontos)

Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

4ª QUESTÃO (8 pontos)

Aços resistentes ao calor, com 9 a 12% de cromo, são ligas novas para uso em geração termoelétrica e nuclear. Eles são conhecidos coletivamente como aços T92 e têm uma microestrutura martensítica em ripas (*lath*). Uma das grandes vantagens desses aços é ter uma excelente resistência à ruptura por fluência, propriedade essencial para esse tipo de aplicação. Ensaios de ruptura em fluência realizados nesse material permitiram deduzir os parâmetros para a curva mestra de Larson-Miller na forma $P_{LM} = T (C + \log t_R)$, onde P_{LM} é o parâmetro de Larson-Miller, T é a temperatura absoluta, $C = 33,58$ é a constante característica do material, t_R é o tempo de ruptura em horas e o logaritmo é de base 10.

O parâmetro de Larson-Miller, por seu lado, pode ser expresso em função da tensão de tração que atua sobre o material (em MPa), σ , como $P_{LM} = -7049,47\sigma + 48384,28$.

Com base nessas informações, responda:

- a) Qual a máxima temperatura de trabalho dessa liga, supondo-se que ela deve sobreviver por 100000 h em trabalho contínuo, a 100 MPa, sem sofrer fratura? (2 pontos)
- b) Execute um novo ensaio de ruptura em fluência a 633°C, dispondo de massas que são múltiplas de 5 kg (a máquina transforma essas massas em carga de tração sob corpos de prova cilíndricos com diâmetro de zona útil de 10 mm). Qual deve ser a carga selecionada para um ensaio de ruptura em fluência que resulte em fratura em um tempo máximo de 10000 h a 633°C (escolha a maior carga que leve à fratura no tempo mais próximo a 10000 h)? (6 pontos)

Observação: Não é necessário calculadora para calcular os logaritmos.

Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Ensaaios de propagação de trincas em fadiga realizados em uma liga de alumínio (AA7475-T6) com $R=0,1$ resultaram em uma dependência da velocidade de propagação (da/dN , onde a é o comprimento instantâneo de trinca e N o número de ciclos), seguindo uma relação de Paris modificada, na forma $da/dN = A (\Delta K - \Delta K_{th})^m$, onde $A = 2 \times 10^{-3}$ mm/ciclo e $m = 4$ são parâmetros característicos do material, $\Delta K_{th} = 1,5 \text{ MPa m}^{1/2}$ é o limiar de fadiga.

O fator de intensificação de tensão cíclico, ΔK , por sua vez, é definido como, $\Delta K = Y \Delta \sigma (\pi a)^{1/2}$, onde $\Delta \sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ é a amplitude de tensão e Y é o fator de forma da trinca.

R é a razão de fadiga, definida como $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$.

Assumindo que, em serviço, um componente feito desse material apresentará trincas circulares com tamanho inicial $a_0 = 3,5 \times 10^{-1}$ mm, sendo $Y = 2/\pi$ o fator de forma para trincas circulares, e que a tenacidade à fratura em deformação plana da liga é $K_{Ic} = 41 \text{ MPa m}^{1/2}$, determine:

- O valor estimado para o limite de fadiga desse material. (2 pontos)
- O tamanho que a trinca circular deveria ter para resultar na fratura do componente em função de $\Delta \sigma$, para o valor de R do ensaio. (4 pontos)
- A velocidade de crescimento de uma trinca com tamanho $a = 2 \times 10^{-4}$ m para a amplitude de tensão $\Delta \sigma = 200 \text{ MPa}$, para o valor de R do ensaio. (2 pontos)

Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

6ª QUESTÃO (8 pontos)

Suponha que Boro tenha sido difundido numa pastilha de silício, durante 8h, a 1000°C, sendo que essa pastilha estava inicialmente isenta de Boro. Qual será a profundidade, abaixo da superfície, na qual a concentração em Boro será de 10^{18} átomos/cm³, se a concentração em Boro na superfície for de 10^{20} átomos/cm³ ?

Dados:

Uma solução para a segunda lei de Fick (para difusão em estado não estacionário ou em condições transientes) é aquela para um sólido semi-infinito, em que a concentração na superfície é mantida constante. As seguintes hipóteses são adotadas:

I - Antes da difusão, todos os átomos de soluto em difusão que estejam presentes no sólido estão ali distribuídos uniformemente, mantendo uma concentração C_0 .

II - O valor de x na superfície é zero e aumenta com a distância para dentro do sólido.

III - O tempo zero é tomado como sendo o instante imediatamente anterior ao início do processo de difusão.

Assim, as condições de contorno são expressas por:

Para t (tempo) = 0, C (concentração) = C_0 , em $0 \leq x \leq \infty$

Para $t > 0$, $C = C_s$ (a concentração superficial constante) em $x = 0$

$C = C_0$ em $x = \infty$

A aplicação dessas condições de contorno fornece a seguinte solução para a segunda lei de Fick:

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

onde C_x representa a concentração a uma profundidade x após decorrido um tempo t . A expressão $\operatorname{erf}(x/2\sqrt{Dt})$ é uma função erro de Gauss. D = coeficiente de difusão.

Coeficiente de difusão do B no Si a 1000°C: $4,0 \times 10^{-13}$ cm²/s

Continuação da 6ª questão

Tabela da função de erro							
<i>z</i>	<i>erf (z)</i>	<i>z</i>	<i>erf (z)</i>	<i>z</i>	<i>erf (z)</i>	<i>Z</i>	<i>erf (z)</i>
0	0	0,40	0,4284	0,85	0,7707	1,6	0,9763
0,025	0,0282	0,45	0,4755	0,90	0,7970	1,7	0,9838
0,05	0,0564	0,50	0,5205	0,95	0,8209	1,8	0,9891
0,10	0,1125	0,55	0,5633	1,0	0,8427	1,9	0,9928
0,15	0,1680	0,60	0,6039	1,1	0,8802	2,0	0,9953
0,20	0,2227	0,65	0,6420	1,2	0,9103	2,2	0,9981
0,25	0,2763	0,70	0,6778	1,3	0,9340	2,4	0,9993
0,30	0,3286	0,75	0,7112	1,4	0,9523	2,6	0,9998
0,35	0,3794	0,80	0,7421	1,5	0,9661	2,8	0,9999

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
 Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

Continuação da 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

7ª QUESTÃO (8 pontos)

Vidros contendo exclusivamente sílica (SiO_2) apresentam excelente resistência química à ácidos e bases. No entanto, requerem temperaturas de obtenção extremamente elevadas. A adição de B_2O_3 à sílica abaixa a temperatura de obtenção de forma monotônica, tornando o processo mais simples e mais econômico em relação à produção de vidros de sílica. A adição de B_2O_3 à sílica (SiO_2) mantém parcialmente a resistência química. Num determinado processo, para conseguir produzir vidros que tenham as propriedades adequadas, é desejável manter a relação O/Si (dada em base molar) em valores inferiores a 2,5. Considerando essas informações, qual é a porcentagem mássica de B_2O_3 a ser adicionada para se produzir um vidro contendo apenas sílica e B_2O_3 nas condições mais econômicas possíveis, ou seja, na menor temperatura de processamento?

Dados:

Massas molares: Si = 28,09 g/mol; B = 10,81 g/mol; O = 16,00 g/mol.

Continuação da 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

8ª QUESTÃO (8 pontos)

Um esmalte cerâmico deve ser aplicado na superfície de uma peça de aço 1020. O material cerâmico apresenta as seguintes propriedades mecânicas: resistência à ruptura de 5000 Pa e módulo de Young (também chamado de módulo de elasticidade) de $16,0 \times 10^6$ Pa. Sabendo-se que os coeficientes lineares de expansão térmica do esmalte e do aço são respectivamente $10,0 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $16,0 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, indique qual é a máxima variação de temperatura à qual a peça esmaltada pode ser submetida sem risco de que o esmalte trinque. Por simplificação, assumamos que os materiais podem ser submetidos apenas a esforços de tração.

Dados:

$$\frac{(L_0 - L_F)}{L_0} = \varepsilon = \alpha_L (T_0 - T_F)$$

Onde:

T_0 = temperatura inicial, em $^\circ\text{C}$

T_F = temperatura final, em $^\circ\text{C}$

L_0 = dimensão inicial, em cm

L_F = dimensão final, em cm

α_L = coeficiente linear de expansão térmica, em $^\circ\text{C}^{-1}$

$$\sigma = E\varepsilon$$

Onde:

σ = tensão

E = módulo de elasticidade (módulo de Young)

ε = deformação

Continuação da 8ª questão

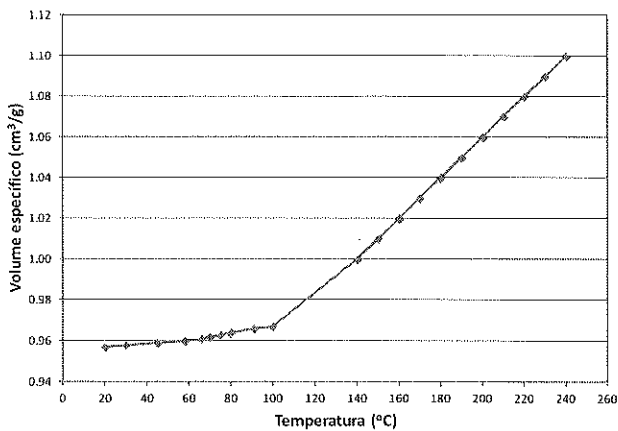
Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

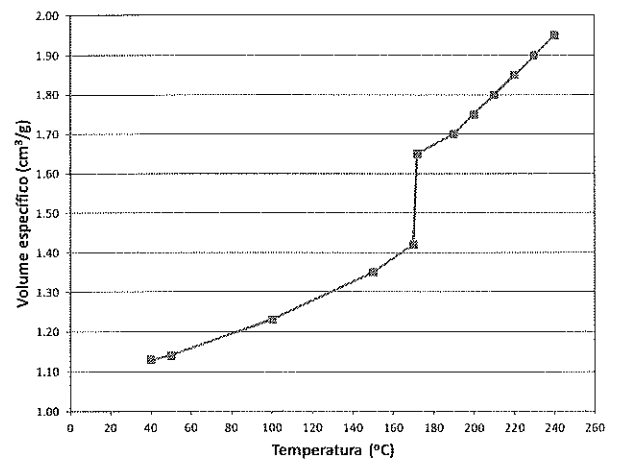
9ª QUESTÃO (8 pontos)

Analise os gráficos abaixo.

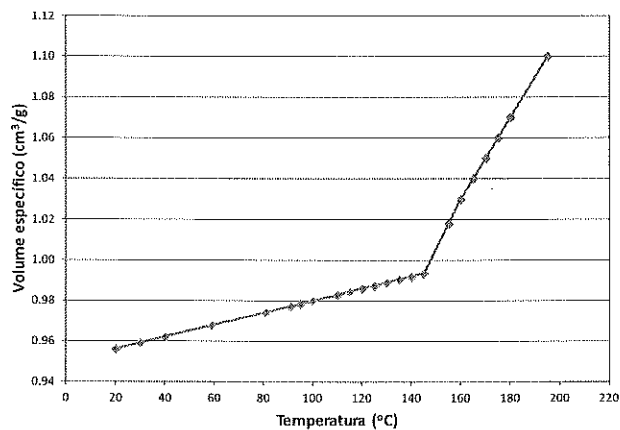
Polímero 1



Polímero 2



Polímero 3



As Figuras acima apresentam resultados de ensaios de dilatometria de três polímeros, na forma de gráficos de volume específico de polímero contra a temperatura.

A partir dos resultados apresentados, responda:

- Identifique o tipo de transição que sofre cada um dos polímeros, assim como as temperaturas de transição. Os polímeros 1, 2 e 3, à temperatura ambiente, são semicristalinos ou amorfos? (4 pontos)
- Considerando os valores fornecidos na Tabela 1, apresentada abaixo, identifique os três polímeros. (2 pontos)

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

Continuação da 9ª questão

c) Precisa-se de materiais para serem utilizados em peças flexíveis, que devem preservar essa propriedade mesmo quando submetidas a temperaturas de -40°C . A partir dos dados contidos na Tabela 1 apresentada abaixo, quais dos polímeros poderiam atender a tal especificação? Por quê? (2 pontos)

Tabela 1 : Valores de T_g e T_m de vários polímeros		
Polímero	T_g	T_m
Poliestireno	100°C	-
Policarbonato	145°C	-
Polipropileno	-13°C	170°C
Polietileno (baixa densidade)	-130°C	125°C
Polietileno (alta densidade)	-125°C	140°C
Nylon 6	40°C	220°C

T_g = Temperatura de transição vítrea

T_m = Temperatura de fusão

Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015

10ª QUESTÃO (8 pontos)

Ao analisar um difratograma, obtido por difração de raios X de uma amostra de metal puro, um pesquisador se equivocou. Ele supôs que o metal tivesse estrutura cristalina cúbica de faces centradas (CFC) e, a partir do primeiro pico do difratograma (menor ângulo de difração), cujos índices de Miller para um metal CFC são (111), ele determinou um parâmetro de rede de 0,396 nm. Na realidade, o metal era cúbico de corpo centrado (CCC) e, nesse caso, o primeiro pico de difração é referente aos planos com índices de Miller (110). Qual o parâmetro de rede correto do metal?

Dados:

Para os metais cúbicos, sejam eles CFC ou CCC, o parâmetro de rede (a) e a distância (d) entre planos de índices de Miller (hkl) estão relacionados pela fórmula: $a^2 = d^2 (h^2 + k^2 + l^2)$.

continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA DE MATERIAIS

Concurso: CP-CEM/2015