

CONCURSO PÚBLICO – 05/2025

Área de Conhecimento: Projetos de Sistemas Mecânicos

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 1: _____

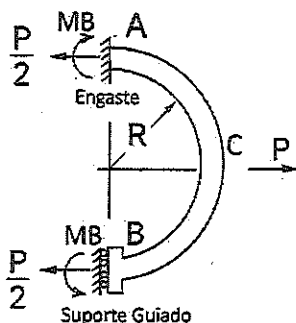
Solução

Considerando simetria, determina-se a expressão do momento $M(\theta)$, incluindo explicitamente MB, o qual é inicialmente desconhecido. Aplicando as equações (1) e (2) respectivamente para Castigliano ou PTV, e considerando o fato da rotação ser nula em A e B, encontra-se o momento desejado. Depois, MB é substituído na expressão de $M(\theta)$, possibilitando a determinação do valor máximo do momento ao longo da viga e a localização onde ocorre.

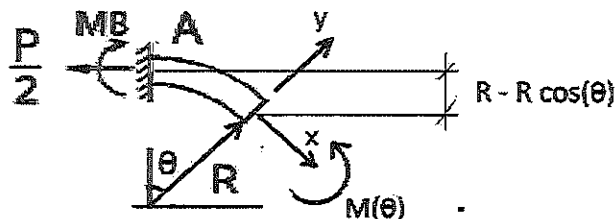
$$\theta = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \frac{M(\theta)}{EI} \frac{dM(\theta)}{dM} R d\theta \quad (1)$$

$$1 \times \theta = \int_{\theta_i}^{\theta_f} m(\theta) \frac{M(\theta)}{EI} R d\theta \quad (2)$$

1. Expressão do momento $M(\theta)$



Trecho AC



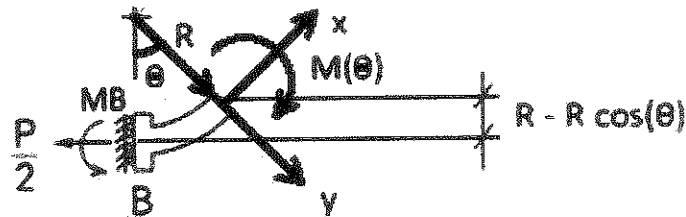
$$\sum M_{oz} = 0 \quad \text{ou}$$

$$M^{AC}(\theta) - MB + \frac{PR}{2}(1 - \cos(\theta)) = 0$$

$$M^{AC}(\theta) = MB - \frac{PR}{2}(1 - \cos(\theta))$$

$$\frac{dM^{AC}(\theta)}{dMB} = 1$$

Trecho BC



$$\sum M_{oz} = 0 \quad \cup +$$

$$-M^{BC}(\theta) + MB - \frac{PR}{2}(1 - \cos(\theta)) = 0$$

$$M^{BC}(\theta) = MB - \frac{PR}{2}(1 - \cos(\theta))$$

$$\frac{dM^{BC}(\theta)}{dMB} = 1$$

2. Resolução pelo teorema de Castigliano

$$\theta_B = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{M^{AC}(\theta)}{EI} \frac{dM^{AC}(\theta)}{dMB} R d\theta + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{M^{BC}(\theta)}{EI} \frac{dM^{BC}(\theta)}{dMB} R d\theta = 0 \quad (1)$$

$$\frac{2R}{EI} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[MB - \frac{PR}{2}(1 - \cos(\theta)) \right] d\theta = 0$$

$$MB\theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} - \frac{PR}{2} \left(\theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} - \sin(\theta) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} \right) = 0$$

$$MB \frac{\pi}{2} = \frac{PR}{2} \left[\frac{\pi}{2} - \left(\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) - \sin(0) \right) \right]$$

$$MB\pi = PR \left[\frac{\pi}{2} - 1 \right]$$

$$MB = \frac{PR}{2\pi} (\pi - 2)$$

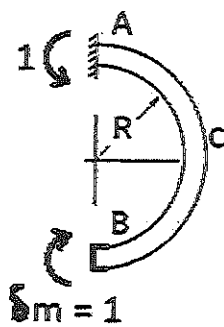
3. Resolução pelo PTV (alternativo)

Problema Real

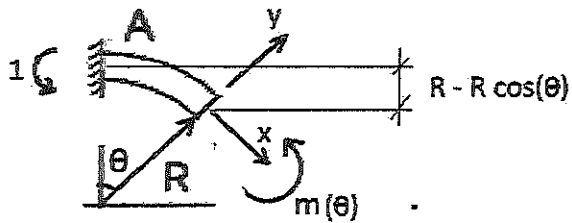
$$M^{AC}(\theta) = MB - \frac{PR}{2}(1 - \cos(\theta))$$

$$M^{BC}(\theta) = MB - \frac{PR}{2}(1 - \cos(\theta))$$

Problema Virtual



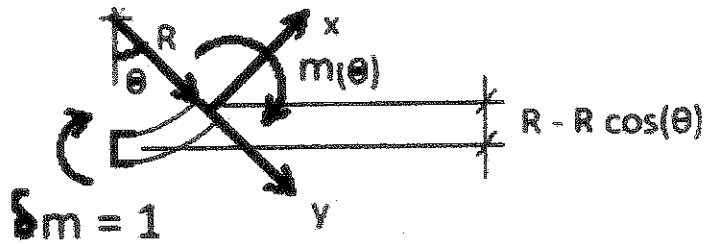
Trecho AC



$$\sum m_{oz} = 0 \quad \cup +$$

$$m^{AC}(\theta) = -1$$

Trecho BC



$$\sum m_{oz} = 0 \quad \text{ou}$$

$$m^{BC}(\theta) = -1$$

$$\theta_B = \int_0^{\frac{\pi}{2}} m^{AC}(\theta) \frac{M^{AC}(\theta)}{EI} R d\theta + \int_0^{\frac{\pi}{2}} m^{BC}(\theta) \frac{M^{BC}(\theta)}{EI} R d\theta = 0 \quad (1)$$

$$\frac{2R}{EI} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[MB - \frac{PR}{2} (1 - \cos(\theta)) \right] d\theta = 0$$

$$MB \theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} - \frac{PR}{2} \left(\theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} - \sin(\theta) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} \right) = 0$$

$$MB \frac{\pi}{2} = \frac{PR}{2} \left[\frac{\pi}{2} - \left(\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) - \sin(0) \right) \right]$$

$$MB\pi = PR \left[\frac{\pi}{2} - 1 \right]$$

$$MB = \frac{PR}{2\pi} (\pi - 2)$$

4. Apresentação de $M(\theta)$ incluindo MB e determinação do valor máximo absoluto

Substituindo MB na expressão de $M^{AC}(\theta)$,

$$M^{AC}(\theta) = \frac{PR}{2\pi} (\pi - 2) - \frac{PR}{2} (1 - \cos(\theta))$$

$$M^{AC}(\theta) = -\frac{PR}{\pi} + \frac{PR}{2} \cos(\theta) \quad 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

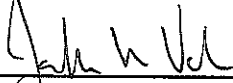
O valor máximo de $M^{AC}(\theta)$ (absoluto) ocorre para $\theta = \frac{\pi}{2}$,

$$|M^{AC}(\theta)|_{max} = \frac{PR}{\pi}$$

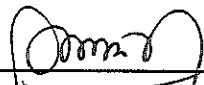
Questão extraída do livro do Popov, página 484 (problema proposto 13.36). Resolução de acordo com o exemplo 13.13 (página 475) adaptado para Castigliano usando $\theta_B = 0$ para determinar MB. Equação do teorema de Castigliano de acordo com Hibbeler, página 561.



Sérgio Junichi Idehara



Jackson Manfredini Vassoler



Pablo Andrés Muñoz Rojas

Membros da Banca:



Marco Lúcio Bittencourt



Vitor Takashi Endo

CONCURSO PÚBLICO – 05/2025

Área de Conhecimento: Projetos de Sistemas Mecânicos

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 2: _____

Solução

$$S_{ut} = 68 \text{ kpsi}$$

$$S_m = 0,9 (68) = 61,2 \text{ kpsi}$$

$$S'_{f@5 \times 10^8} = 19 \text{ kpsi}$$

$$C_{superf} = 2,7(68)^{-0,265} = 0,882$$

$$C_{tamanho} = 0,869(d_{equiv})^{-0,097}$$

$$d_{equiv} = \sqrt{\frac{0,01046 (2)^2}{0,0766}} = 0,739$$

$$C_{tamanho} = 0,869(0,739)^{-0,097} = 0,895$$

$$C_{conf} = 0,753$$

$$S_f = 0,882 \cdot 0,895 \cdot 0,753 \cdot 19 = 11,3 \text{ kpsi}$$

Curva de Woehler

$$z = \log(10^3) - \log(5 \times 10^8) = -5,699$$

$$b = \frac{1}{-5,699} \log\left(\frac{61,2}{11,3}\right) = -0,1287$$

$$\log(a) = \log(61,2) - 3(-0,1287) = 2,1729 \rightarrow a = 148,92$$

$$S_n = 148,92 N^{-0,1287} \text{ kpsi}$$

Fatores de concentração de tensão em fadiga

$$q = 0,773$$

$$k_{f,fl} = 1 + 0,773(1,7 - 1) = 1,54$$

$$k_{f,to} = 1 + 0,773(1,35 - 1) = 1,27$$

Tensões Nominais

Flexão

$$\sigma_{0,fl} = -\frac{M \left(\frac{D_e}{2} \right)}{I}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D_e^4 - D_i^4) = 0,5369 \text{ pol}^4$$

$$M = F \cdot l$$

Parcela alternante

$$\sigma_{0,fl}^a = \frac{6}{0,5369} \left(\frac{F_{max} - F_{min}}{2} \right) = 3017,3 \frac{lb}{pol^2}$$

Parcela média

$$\sigma_{0,fl}^m = \frac{6}{0,5369} \left(\frac{F_{max} + F_{min}}{2} \right) = 782,26 \frac{lb}{pol^2}$$

Torção

$$\tau_{0,to} = \frac{T \left(\frac{D_e}{2} \right)}{J}$$

$$J = \frac{\pi}{32} (D_e^4 - D_i^4) = 1,0738 \text{ pol}^4$$

$$T = F \cdot a$$

Parcela alternante

$$\tau_{0,fl}^a = \frac{8}{1,0738} \left(\frac{F_{max} - F_{min}}{2} \right) = 2011,55 \frac{lb}{pol^2}$$

Parcela média

$$\tau_{0,fl}^m = \frac{8}{1,0738} \left(\frac{F_{max} + F_{min}}{2} \right) = 521,51 \frac{lb}{pol^2}$$

Tensões Equivalentes

$$\sigma_{eq}^a = \sqrt{(k_{f,fl} \cdot \sigma_{0,fl}^a)^2 + 3(k_{f,to} \cdot \tau_{0,fl}^a)^2} = 6,4164 \text{ kpsi}$$

$$\sigma_{eq}^m = \sqrt{(k_{f,fl} \cdot \sigma_{0,fl}^m)^2 + 3(k_{f,to} \cdot \tau_{0,fl}^m)^2} = 1,6635 \text{ kpsi}$$

Fator de Segurança

$$S_n = 148,92(6 \times 10^7)^{-0,1287} = 14,86 \text{ kpsi}$$

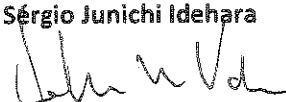
$$N_f = \frac{S_n \cdot S_{ut}}{\sigma_{eq}^a \cdot S_{ut} + \sigma_{eq}^m \cdot S_n} = \frac{14,86 \cdot 68}{6,4164 \cdot 68 + 1,6635 \cdot 14,86} = 2,2$$

$$N_f = 2,2$$

Exercício extraído do livro do Norton (2013), 4ª edição, página 383.



Sérgio Junichi Idehara



Jakson Manfredini Vassoler



Pablo Andrés Muñoz Rojas

Membros da Banca:



Marco Lúcio Bittencourt



Vitor Takashi Endo

CONCURSO PÚBLICO – 05/2025

Área de Conhecimento: Projetos de Sistemas Mecânicos

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

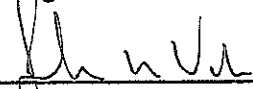
QUESTÃO 3: _____

A solução é com base no exemplo 11-4 da bibliografia do Norton (2013), página 664.

- Inicialmente, calcula-se o coeficiente de razão entre a força axial (F_a) e a carga estática básica (nominal) do mancal (C_o) adotado como possível solução. Esse último proveniente do catálogo do fabricante de rolamentos e é baseado na máxima rotação de trabalho;
- Por essa razão de F_a/C_o , no catálogo do fabricante, verifica-se o valor do fator “e”;
- Depois determina-se a razão entre a força axial pela força radial (F_r) de trabalho, considerando o fator de rotação (V): $F_a/(V \cdot F_r)$. Neste caso, o fator de rotação é igual à 1,0 por ter o anel interno rodando;
- Comparamos se o valor de $F_a/(V \cdot F_r)$ é maior ou menor do que o fator “e” e, pela tabela do catálogo do fabricante, definimos os coeficientes X e Y , respectivamente, fator radial e axial;
- Os fatores radial e axial são empregados para determinar a carga equivalente no rolamento (P): $P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a$;
- A vida em fadiga do mancal é definida a partir dessa carga equivalente e carga nominal dinâmica (C) determinada no catálogo do fabricante, que resulta em número de revoluções ($L = [C/P]^3$);
- Se a vida L_{10} do mancal calculado for superior ao requerido na aplicação, este pode ser selecionado. O processo de seleção pode exigir iterações com diferentes rolamentos até determinar um rolamento que tenha vida útil igual ou superior ao requisitado.



Sérgio Junichi Idehara

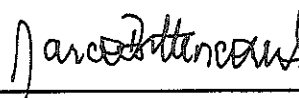


Jakson Manfredini Vassoler



Pablo Andrés Muñoz Rojas

Membros da Banca:



Marco Lúcio Bittencourt



Vitor Takashi Endo

CONCURSO PÚBLICO – 05/2025

Área de Conhecimento: Projetos de Sistemas Mecânicos

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 4: _____

Questão 4. A questão sobre o tema *Critérios de falha* foi baseada a partir do conteúdo teórico do livro de Hibbeler (2010).

O embasamento dos critérios de falha de Rankine, Tresca e Von Mises pode ser encontrado na seção intitulada *Teoria de falhas* (Hibbeler, 2010, pág. 387). São descritas teorias voltadas a materiais com comportamento dúctil (Hibbeler, 2010, pág. 388) e frágil (Hibbeler, 2010, pág. 391).

Referências. Hibbeler, R. C. (2010). Resistência dos Materiais. Pearson, São Paulo, 7a edição.



Sérgio Junichi Idehara



Jakson Manfredini Vassoler



Pablo Andrés Muñoz Rojas

Membros da Banca:



Marco Lúcio Bittencourt



Vitor Takashi Endo

CONCURSO PÚBLICO – 05/2025

Área de Conhecimento: Projetos de Sistemas Mecânicos

PROVA ESCRITA – PADRÃO DE RESPOSTA

QUESTÃO 5:

Questão 5. A questão sobre o tema *Tensões*, especificamente *Círculo de Mohr*, foi baseada no Problema 9-62 (Hibbeler, 2010, pág. 384). Foi utilizada a mesma figura do enunciado original, mantendo-se os mesmos valores para as variáveis da questão. Os principais procedimentos concernentes à construção e ao uso do círculo de Mohr são descritos por Hibbeler (2010, pág. 340).

Resolução. A construção do círculo de Mohr pode ser dividida em algumas etapas, descritas nas seções a seguir.

Entendimento dos dados do enunciado. A partir da figura é possível definir o estado de tensões no ponto, em MPa, conforme:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 45 & 30 \\ 30 & -60 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Identificação da coordenada do centro da circunferência. O centro da circunferência é dado pela definição da tensão média σ_m (Hibbeler, 2010, pág. 328):

$$\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{45 - 60}{2} = -7,5 \text{ MPa} \quad (2)$$

Portanto, sabe-se que o centro da circunferência está localizado na coordenada $C(\sigma_m; 0)$, ou seja $C(-7,5; 0)$.

Cálculo do raio da circunferência. O cálculo do raio da circunferência R pode ser conduzido com diferentes estratégias. A primeira opção se baseia numa dedução que envolve o uso do teorema de Pitágoras (Hibbeler, 2010, Fig. 9.15(b), pág. 339) e resulta na seguinte expressão:

$$R = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_m)^2 + (\tau_{xy})^2} = \sqrt{(45 + 7,5)^2 + (30)^2} = 60,467 \text{ MPa} \quad (3)$$

Alternativamente, a partir de uma análise geométrica do círculo de Mohr, é possível obter o valor de R a partir da equação da distância entre os pontos A e B. Considerando os pontos situados na circunferência $A(\sigma_x; \tau_{xy})$ e $B(\sigma_y; -\tau_{xy})$, de forma análoga ao apresentado na obra de Hibbeler (2010, Fig. 9.16, pág. 339), o raio da circunferência também pode ser calculado com a equação:

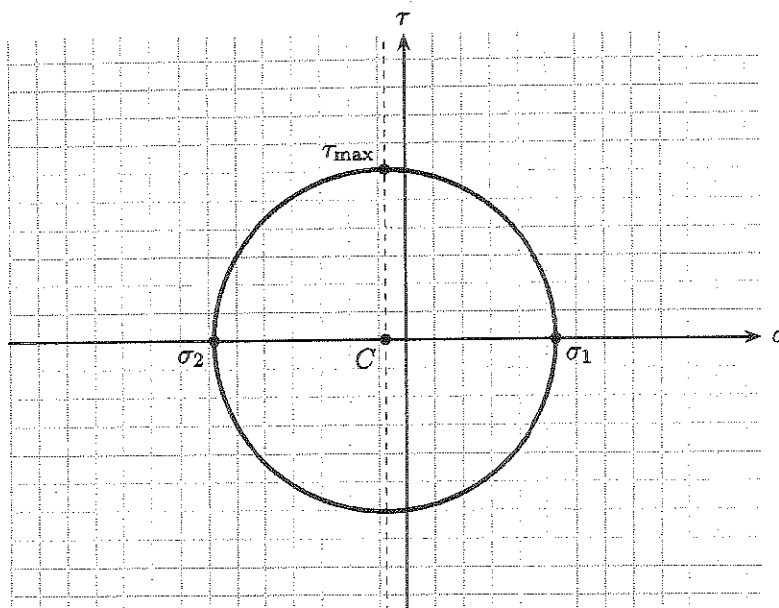
$$2R = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (2\tau_{xy})^2} \quad (4)$$

Tensões principais e máxima tensão de cisalhamento. A partir dos valores de σ_m (Eq. 2) e R (Eq. 3 ou 4) e considerando observações geométricas do círculo de Mohr, é possível obter as tensões principais σ_1 e σ_2 , assim como a máxima tensão de cisalhamento τ_{max} . Os resultados podem ser calculados com as seguintes expressões:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_m + R = -7,5 + 60,467 = 52,967 \text{ MPa} \\ \sigma_2 &= \sigma_m - R = -7,5 - 60,467 = -67,967 \text{ MPa} \\ \tau_{max} &= R = 60,467 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (5)$$

Esboço do círculo de Mohr. Com base nos itens calculados anteriormente (Eq. 5), o esboço do círculo de Mohr referente

ao estado de tensões do problema é apresentado na figura a seguir. Destaca-se que as tensões principais se localizam nos pontos onde o círculo intercepta o eixo σ , isto é, onde $\tau = 0$.



Referências. Hibbeler, R. C. (2010). Resistência dos Materiais. Pearson, São Paulo, 7a edição.

Sérgio Junichi Idehara

Jelson Manfredini Vassoler

Pablo Andrés Muñoz Rojas

Membros da Banca:

Marco Lúcio Bittencourt

Vitor Takashi Endo