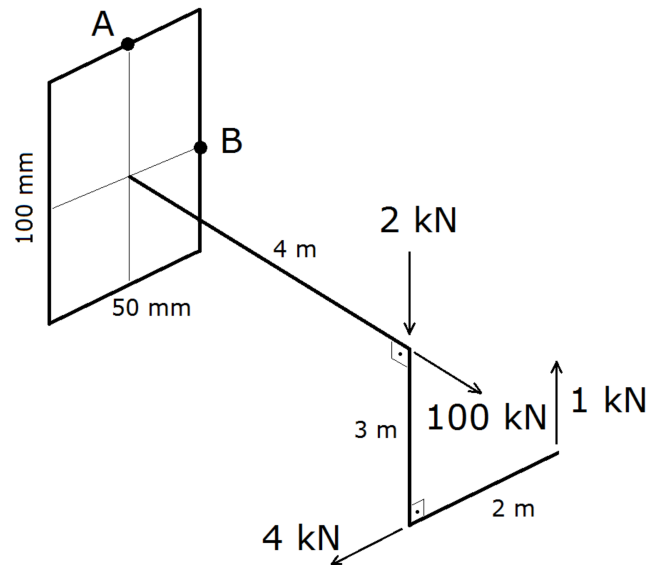


LISTA DE EXERCÍCIOS 3

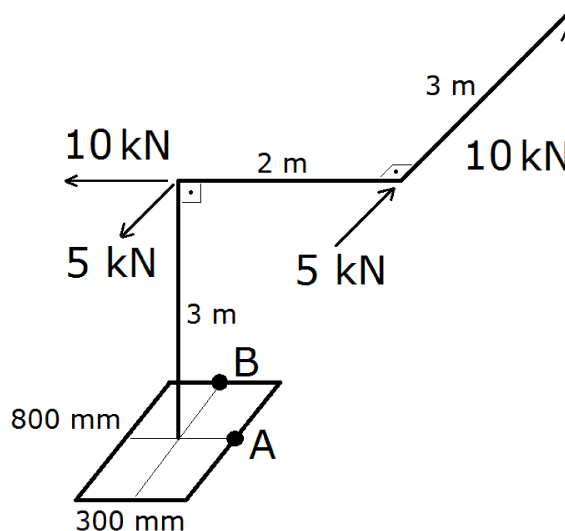
PARTE 1 - CRITÉRIOS DE FALHA E ESFORÇOS COMBINADOS

1. Verifique, pelo critério de von Mises, a estabilidade dos pontos *A* e *B* indicados no engaste da estrutura mostrada na figura abaixo. Considere $\sigma_e = 150$ MPa.



Respostas:

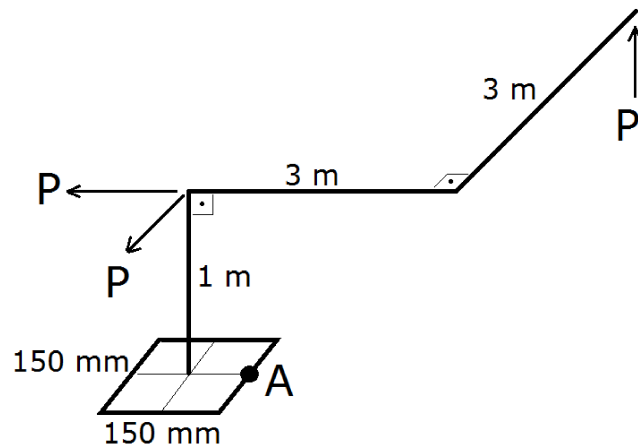
- (a) Ponto *A*: $\sigma_A = 68$ MPa, $\tau_A = -128,07$ MPa, $\sigma_{\text{von Mises}} = 232$ MPa (falha).
 - (b) Ponto *B*: $\sigma_B = 404$ MPa, $\tau_B = 162,90$ MPa, $\sigma_{\text{von Mises}} = 493$ MPa (falha).
2. Verifique, pelo critério de von Mises, a estabilidade dos pontos *A* e *B* indicados no engaste da estrutura mostrada na figura abaixo. Considere $\sigma_e = 80$ MPa.



Respostas:

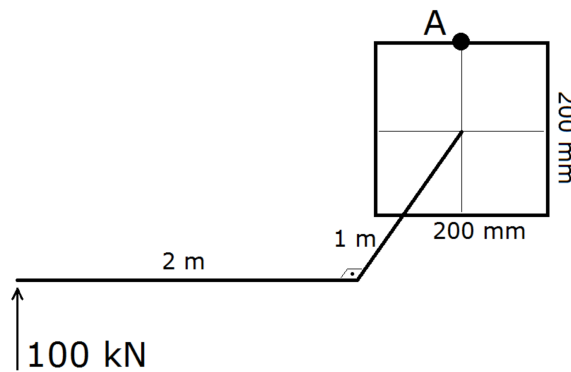
- (a) Ponto *A*: $\sigma_A = 4,21$ MPa, $\tau_A = -0,532$ MPa, $\sigma_{\text{von Mises}} = 4,31$ MPa (não falha).
- (b) Ponto *B*: $\sigma_B = 0,979$ MPa, $\tau_B = 0,468$ MPa, $\sigma_{\text{von Mises}} = 1,27$ MPa (não falha).

3. Determine o valor máximo da carga P para que a tensão de von Mises no ponto A , indicado na figura abaixo, não ultrapasse 200 MPa.



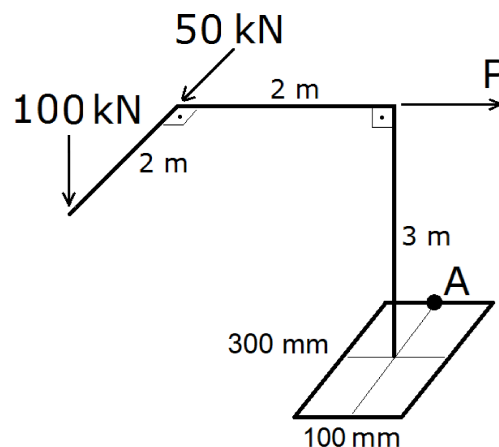
Respostas: $\sigma_A = 7,15 \times 10^{-3}|P|$ MPa; $\tau_A = 6,67 \times 10^{-5}|P|$ MPa; $P \leq 27,95$ kN.

4. Verifique, pelo critério de Tresca, se o ponto A indicado na figura abaixo não ultrapassa 150 MPa.



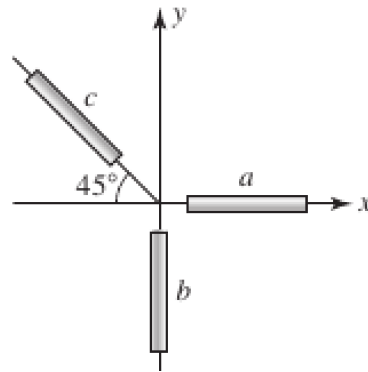
Respostas: $\sigma_A = -75$ MPa; $\tau_A = 120,2$ MPa; $\sigma_{\text{Tresca}} = 251,8$ MPa (falha).

5. Determine o valor máximo que a carga P , mostrada na figura pode assumir para que o critério de von Mises no ponto A seja atendido. Considere $\sigma_e = 230$ MPa.



Resposta: $P = 1,88$ MN.

6. Em uma superfície de aço ($E = 210 \text{ GPa}$, $\nu = 0,28$, $\sigma = 210 \text{ MPa}$), as deformações medidas pela roseta de *strain-gages* mostrada na figura abaixo foram: $\varepsilon_a = -800 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_b = -300 \times 10^{-6}$, $\varepsilon_c = -700 \times 10^{-6}$. Adotando o critério de von Mises, determine se o material falha.

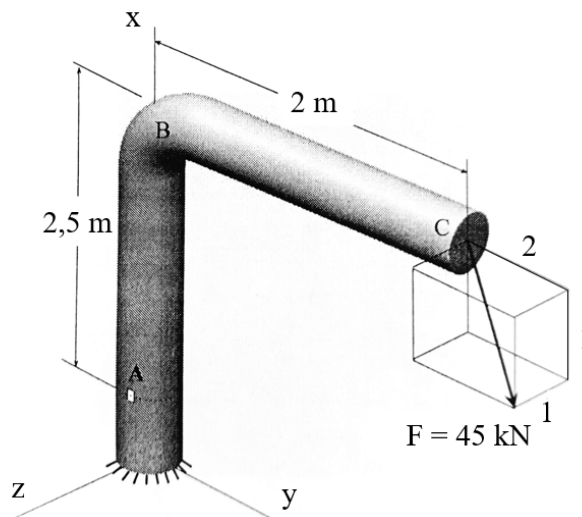


Resposta: $\sigma_{\text{von Mises}} = 180,55 \text{ MPa}$ (não falha).

7. Uma força F com módulo de 45 kN é aplicada na extremidade C do componente de máquina representado a seguir, com componentes nas direções x, y e z, conforme proporções indicadas na imagem. O componente é feito de um material com $\sigma_e = 250 \text{ MPa}$. Ele possui uma seção transversal circular vazada com diâmetro externo de 25 cm e diâmetro interno de $23,4 \text{ cm}$. Determine:

- as tensões principais no ponto A localizado na superfície da estrutura;
- a tensão máxima de cisalhamento;
- a margem de segurança neste ponto, considerando o critério de Tresca.

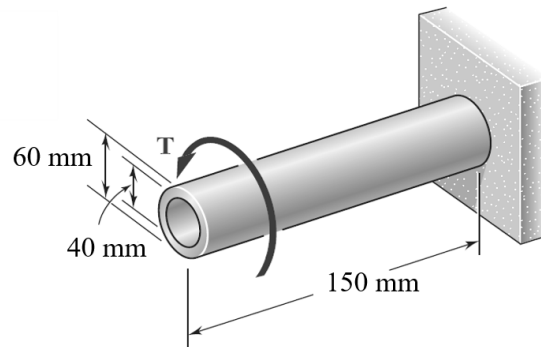
OBS: o centro de gravidade de um semicírculo de raio r encontra-se a uma distância de $\frac{4r}{3\pi}$ da sua base, medida ao longo do eixo de simetria do semicírculo.



Respostas:

- $\sigma_1 = +10,9 \text{ MPa}$; $\sigma_2 = 0$; $\sigma_3 = -142,7 \text{ MPa}$.
- $\tau_{\text{max}} = 76,8 \text{ MPa}$.
- Coefficiente de segurança = $1,628$.

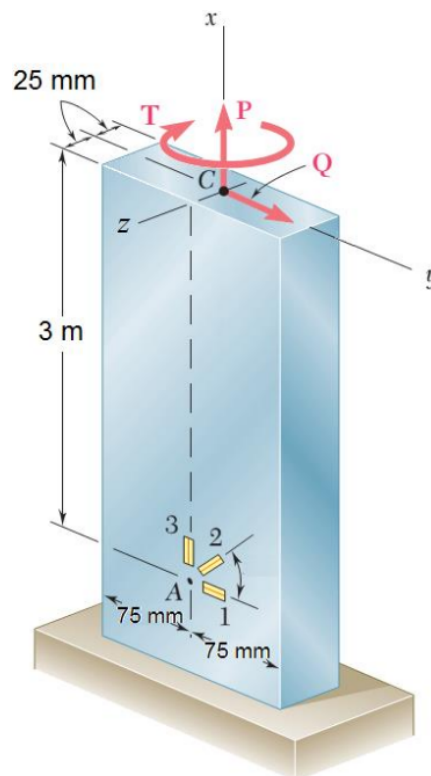
8. Uma barra sujeita ao torque T indicado na figura é feita de um material frágil com resistência à tração $\sigma_{rt} = 70$ MPa e resistência à compressão $\sigma_{rc} = 175$ MPa. Aplicando o Critério de Mohr, calcule o máximo torque que pode ser aplicado, de modo a evitar a falha da estrutura.



Resposta: 1,702 kN.m

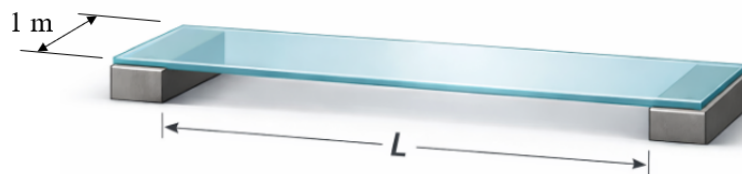
9. Uma carga axial $P = 300$ kN, uma carga horizontal $Q = 180$ kN e um momento torsor $T = 5$ kNm são aplicados no topo da barra de seção retangular 50×150 mm, mostrada na figura abaixo. Além disso, uma roseta de deformações é colada na superfície desta barra, no ponto A. Considerando $E = 200$ GPa e $\nu = 0,30$:

- Verifique a estabilidade do ponto A, utilizando os critérios de Tresca e von Mises. Considere $\sigma_e = 47,5$ MPa;
- Determine o ângulo formado entre os strain-gages 1 e 2, sabendo-se que o strain-gage 2 mede uma deformação no valor de $70 \mu\epsilon$.



Respostas: a) Tresca (48,75 MPa); von Mises (46,72 MPa); b) $62,44^\circ$.

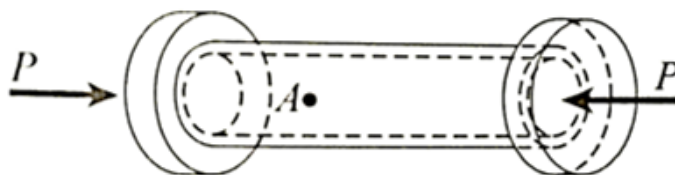
10. Uma placa de vidro temperado com densidade de 2500 kg/m^3 , 1 m de largura e 8 mm de espessura é apoiada em suas duas extremidades, conforme apresentado na figura a seguir. Sabendo que o material tem resistência $\sigma_r = 120 \text{ MPa}$, utilize a Teoria de Rankine para determinar o vão máximo L entre os apoios.



Resposta: 7,16 m

11. Um vaso de pressão cilíndrico de paredes finas (raio interno de 50 mm e espessura da parede de 4 mm) está sujeito à ação combinada de uma pressão de gás interna p e de uma carga de compressão axial $P = 55 \text{ kN}$, conforme mostrado na figura. Sabendo-se que a máxima tensão de cisalhamento que o material suporta é 45 MPa (no plano ou fora do plano) e que a área da seção transversal em tubos de parede fina pode ser calculado como $S = 2\pi r t$, determine:

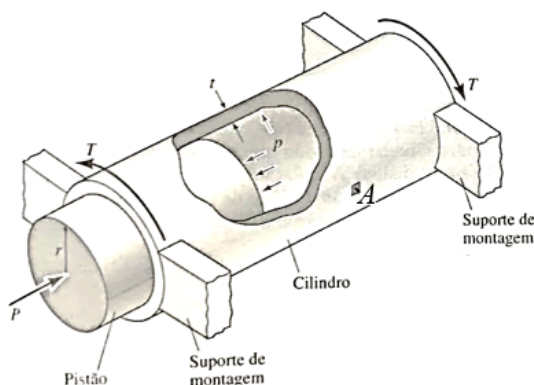
- a máxima pressão interna admissível, de modo a garantir a segurança no ponto A;
- as tensões principais no ponto A, quando atua a máxima pressão interna admissível.



Respostas:

- 7,2 MPa;
- $\sigma_1 = 90 \text{ MPa}$; $\sigma_2 = 1,23 \text{ MPa}$; $\sigma_3 = 0$.

12. Um cilindro hidráulico com espessura $t = 10 \text{ mm}$ suporta uma pressão interna p causada por uma carga axial $P = 700 \text{ kN}$ aplicada ao pistão, de raio $r = 220 \text{ mm}$. O cilindro é inadvertidamente carregado por um torque $T = 150 \text{ N.m}$ em seu berço. Calcule as tensões principais e a tensão de cisalhamento máxima no ponto A do cilindro, sabendo-se que o momento polar de inércia em tubos de parede fina pode ser calculado como $J = 2\pi r^3 t$.

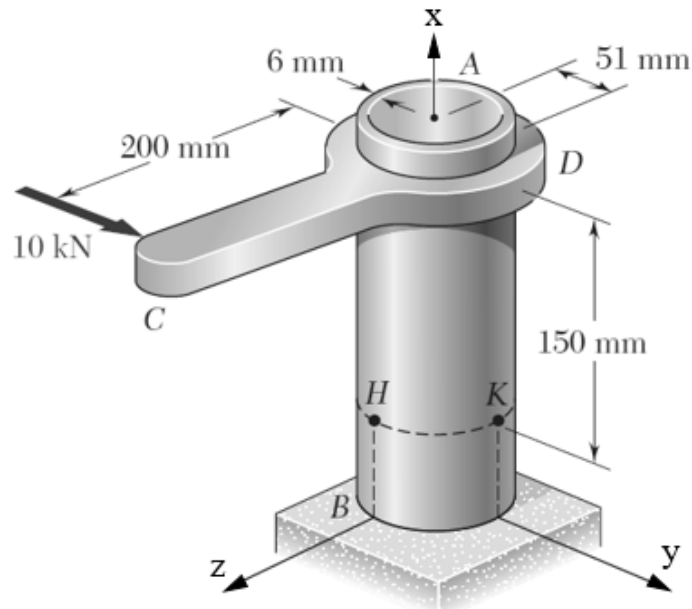


Respostas: $\sigma_1 = 131,3 \text{ MPa}$; $\sigma_2 = 20,5 \text{ MPa}$; $\sigma_3 = 0$; $\tau_{\max} = 65,6 \text{ MPa}$.

13. O tubo de aço AB tem 102 mm de diâmetro externo e uma espessura de parede de 6 mm. Sabendo-se que o braço CD está rigidamente fixado ao tubo, determine:

- (a) as tensões normais máxima e mínima nos pontos K e H ;
- (b) a tensão de cisalhamento máxima nos pontos K e H .

OBS: o centro de gravidade de um semicírculo de raio r encontra-se a uma distância de $\frac{4r}{3\pi}$ da sua base, medida ao longo do eixo de simetria do semicírculo.

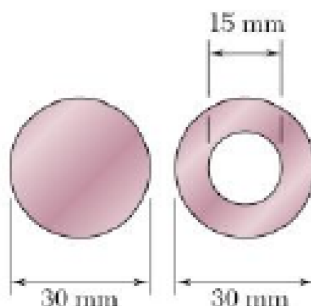


Respostas:

- a) Ponto K : 12,18 MPa, $-48,7$ MPa; Ponto H : 35,4 MPa, $-35,4$ MPa;
- b) Ponto K : 30,5 MPa; Ponto H : 35,4 MPa.

PARTE 2 - FLAMBAGEM EM COLUNAS SUJEITAS À CARGA AXIAL

14. Uma barra de seção circular cheia, com diâmetro de 30 mm, está submetida à compressão. Para reduzir o peso da barra em 25%, a seção cheia foi substituída por uma seção vazada, com diâmetro interno igual a 15 mm. Considerando $E = 105 \text{ GPa}$, determine a redução percentual da carga crítica.

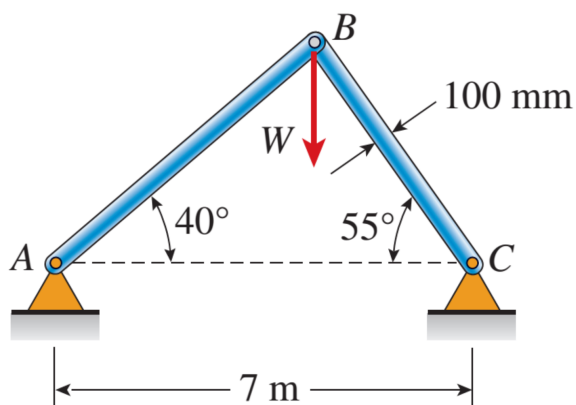


Resposta: 6,25%.

15. Uma coluna tubular de alumínio ($E = 70 \text{ GPa}$), com comprimento $L = 3 \text{ m}$, possui diâmetros interno e externo $d_1 = 130 \text{ mm}$ e $d_2 = 150 \text{ mm}$, respectivamente. A coluna está apoiada nas extremidades e pode flambar em qualquer direção. Calcule o carregamento crítico para as seguintes condições de apoio: a) rótula-rótula; b) livre-engaste; c) engaste-rótula; d) engaste-engaste.

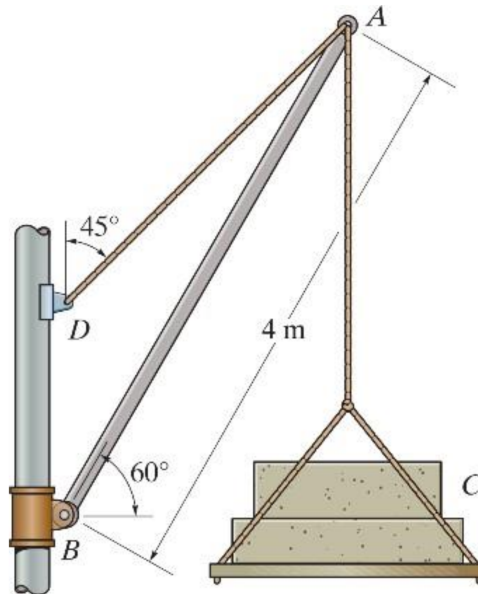
Respostas: a) 831 kN, b) 208 kN, c) 1700 kN, d) 3330 kN.

16. A treliça plana ABC abaixo suporta um carregamento vertical em B . Cada barra é feita de aço ($E = 210 \text{ GPa}$), com diâmetro externo de 100 mm e espessura de 6 mm. Determine o valor máximo de W de modo que as barras não flambem.



Resposta: 213 kN.

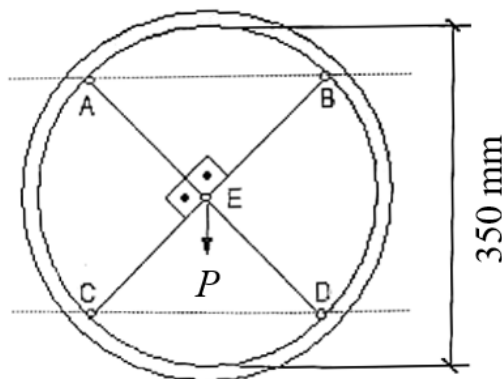
17. Um conjunto de blocos de concreto (500 g, cada) é sustentado por uma corda e uma barra de aço birrotulada AB de seção circular ($D = 50 \text{ mm}$). Determine o número máximo de blocos que o sistema pode suportar de modo que a barra AB não flambe. Considere $E = 200 \text{ GPa}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $I = 30,68 \times 10^4 \text{ mm}^4$ e despreze o peso das cordas e das barras do sistema estrutural.



Resposta: 2770 blocos.

18. Um elemento de máquina consiste em uma roda rígida conectada ao centro (ponto E) por meio de quatro barras biarticuladas de ferro fundido (AE, BE, CE e DE) com módulo de elasticidade E igual a 172 GPa, diâmetro da seção transversal de 5 mm, dispostas conforme apresentado na figura a seguir. O ponto E está impedido de transladar na direção perpendicular ao plano da estrutura. Calcule o maior valor da força vertical P que pode ser aplicada ao ponto E, de modo que nenhuma das quatro barras falhe, através de uma verificação:

- de flambagem das barras comprimidas, utilizando a curva de flambagem de Tetmajer para o ferro fundido, definida pelas equações ao lado da figura;
- de ruptura das barras tracionadas, considerando o limite de resistência à tração do ferro fundido igual a 267 MPa.



Se $0 < \lambda < 80$:

$$\bar{\sigma} = 7760 - 120\lambda + 0,56\lambda^2,$$

com $\bar{\sigma}$ e E em kgf/cm^2 .

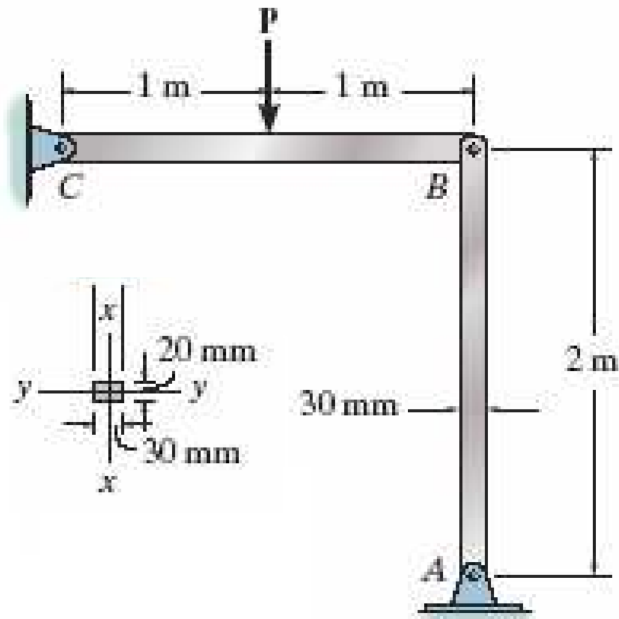
Se $\lambda \geq 80$:

$$\bar{\sigma} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Respostas:

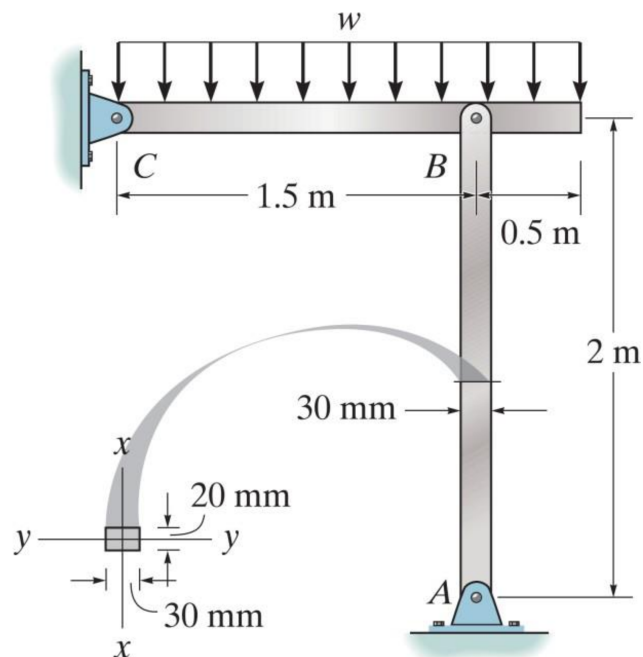
- $P \leq 4802 \text{ N}$;
- $P \leq 15305 \text{ N}$.

19. Uma carga $P = 20 \text{ kN}$ atua sobre o pórtico mostrado abaixo. Avalie a possibilidade de flambagem da barra de aço AB , considerando $E = 200 \text{ GPa}$ e que, em relação ao eixo $x-x$, a condição de apoio é rótula-rótula, e em relação ao eixo $y-y$, engaste-engaste.



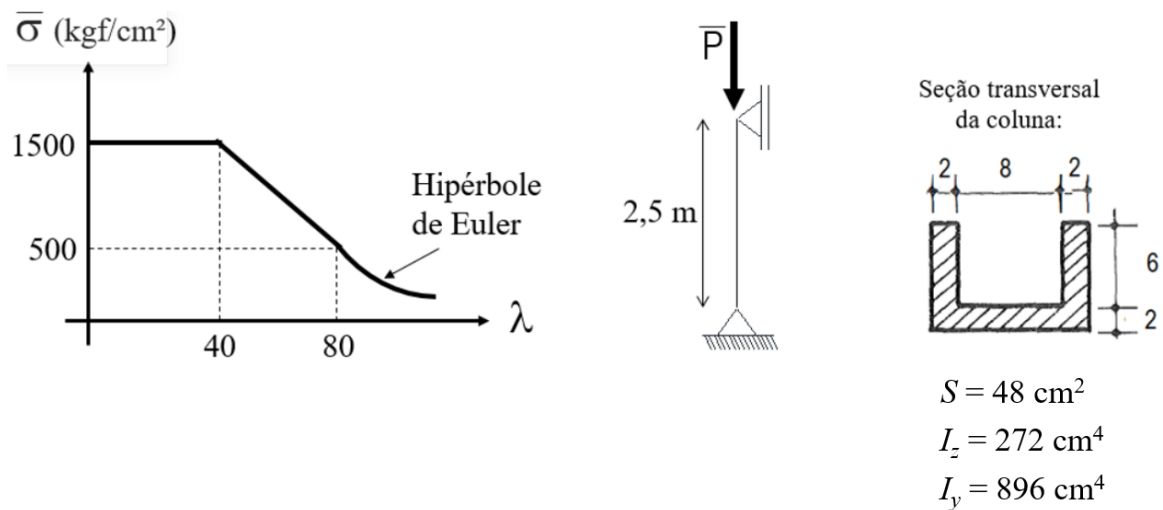
Resposta: $P_{cr} = 22,21 \text{ kN}$. Logo, a barra AB não irá flambar.

20. A viga de aço ($E = 200 \text{ GPa}$) mostrada abaixo está apoiada em C e em B (onde chega uma coluna de seção retangular) e está sujeita a uma carga distribuída w . Assim, pede-se determinar o valor máximo de w de forma que a coluna AB não flambe. Considere a coluna rotulada/rotulada em relação a $x-x$ e engastada/engastada em relação a $y-y$.



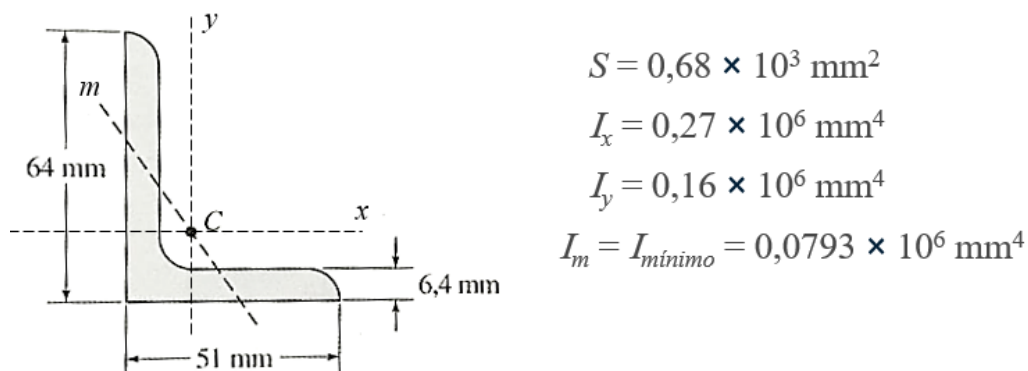
Resposta: $16,65 \text{ kN/m}$.

21. Considerando a curva de flambagem apresentada a seguir, calcule a máxima força de compressão que poderá ser aplicada a uma coluna biarticulada de altura 2,5 m, cuja seção transversal também está indicada na figura (cotas em centímetros).



Resposta: 13,926 tf

22. Um perfil cantoneira com abas de 64 mm e 51 mm e espessura de 6,4 mm deve operar como uma coluna rotulada nas extremidades e suportar uma carga de 40 kN com coeficiente de segurança $CS = 2$. Sabendo que o material possui módulo de elasticidade longitudinal igual a 210 GPa, determine o comprimento máximo L do componente, de modo a evitar flambagem elástica.



Resposta: 1,434 m.

23. Uma coluna de liga de alumínio 6061-T6 deve suportar uma carga axial de 100 kN. Determine o diâmetro necessário para a coluna, considerando que ela possui um comprimento efetivo de 0,4 m. As curvas de flambagem dessa liga estão apresentadas a seguir.

$$\sigma_{adm} = 130 \text{ MPa} \quad \left(\frac{L}{\rho} \leq 9,5 \right)$$

$$\sigma_{adm} = \left[140 - 0,87 \left(\frac{L}{\rho} \right) \right] \text{ MPa} \quad \left(9,5 < \frac{L}{\rho} < 66 \right)$$

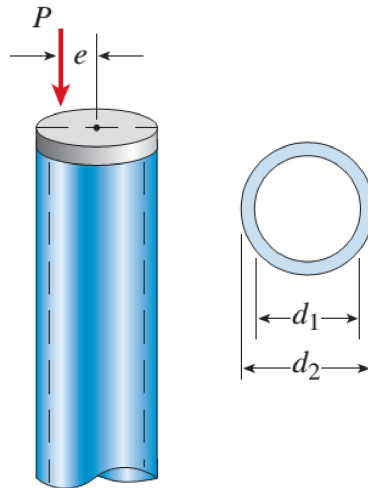
$$\sigma_{adm} = \frac{350 \times 10^3}{(L/\rho)^2} \text{ MPa} \quad \left(\frac{L}{\rho} \geq 66 \right)$$

Resposta: 35,5 mm.

PARTE 3 - FLAMBAGEM EM COLUNAS SUJEITAS À CARGA EXCÊNTRICA

24. Um tubo de aço ($E = 210 \text{ GPa}$) possui seção circular vazada ($d_1 = 60 \text{ mm}$ e $d_2 = 68 \text{ mm}$) e comprimento $L = 2,1 \text{ m}$. Assumindo condição birrotulada e considerando $P = 10 \text{ kN}$ e $e = 30 \text{ mm}$, determine:

- (a) a máxima tensão de compressão na barra;
- (b) o comprimento máximo L da barra, caso a tensão admissível no aço seja igual a 50 MPa .

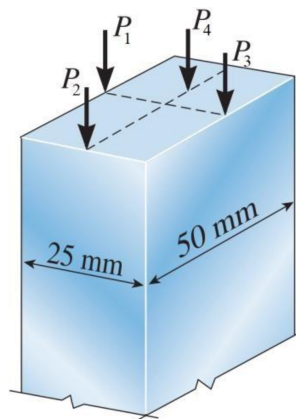


Respostas: $\sigma_{\max} = 38,8 \text{ MPa}$; $L_{\max} = 5,03 \text{ m}$.

25. Uma coluna de aço birrotulada de $3,0 \text{ m}$ de comprimento está sujeita ao carregamento indicado na figura abaixo. Para esta situação e considerando a carga P_4 a 10 mm do CG da seção e as demais aplicadas nas extremidades da seção, calcule:

- (a) o valor da máxima deflexão lateral;
- (b) a diferença entre as máximas tensões normais calculadas considerando-se ou não a flambagem.

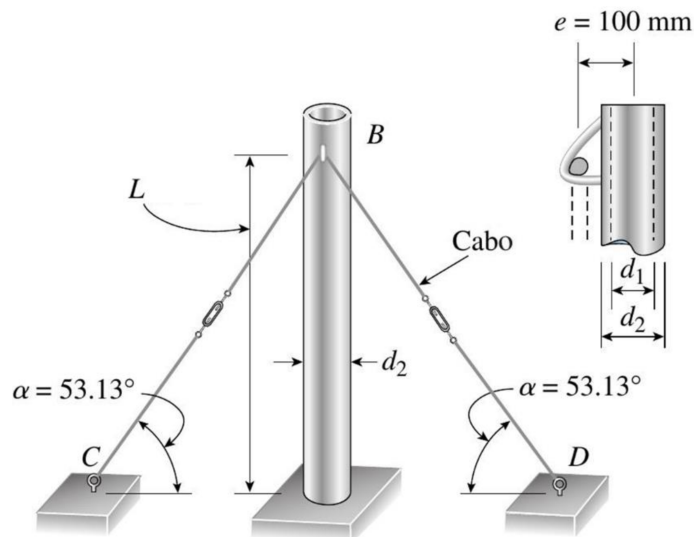
Dados: $E = 200 \text{ GPa}$, $P_1 = 5 \text{ kN}$, $P_2 = 10 \text{ kN}$, $P_3 = 5 \text{ kN}$, $P_4 = 2 \text{ kN}$.



Respostas: a) $8,17 \text{ mm}$; b) c/ flambagem: $56,94 \text{ MPa}$, s/ flambagem: $39,68 \text{ MPa}$.

26. Uma coluna de aço AB ($E = 200 \text{ GPa}$) de seção transversal anular com $L = 4 \text{ m}$ de altura está engastada na base e livre no topo. Os diâmetros interno e externo da seção transversal são $d_1 = 96 \text{ mm}$ e $d_2 = 110 \text{ mm}$, respectivamente. O cabo CBD passa por uma anilha que está soldada no topo da coluna. A distância entre o plano do cabo (plano CBD) e o eixo da coluna é dada por $e = 100 \text{ mm}$, e os ângulos formados entre o cabo e o solo são $\alpha = 53,13^\circ$. Assim, calcule:

- o valor máximo da força T no cabo, sabendo-se que a deflexão da coluna está limitada a 20 mm ;
- a máxima tensão normal usando a equação da secante;
- a máxima tensão normal pela teoria da flexão composta.



OBS: os pontos C, B e D são coplanares.

Respostas: a) 8,09 kN; b) 34 MPa; c) 29,30 MPa.