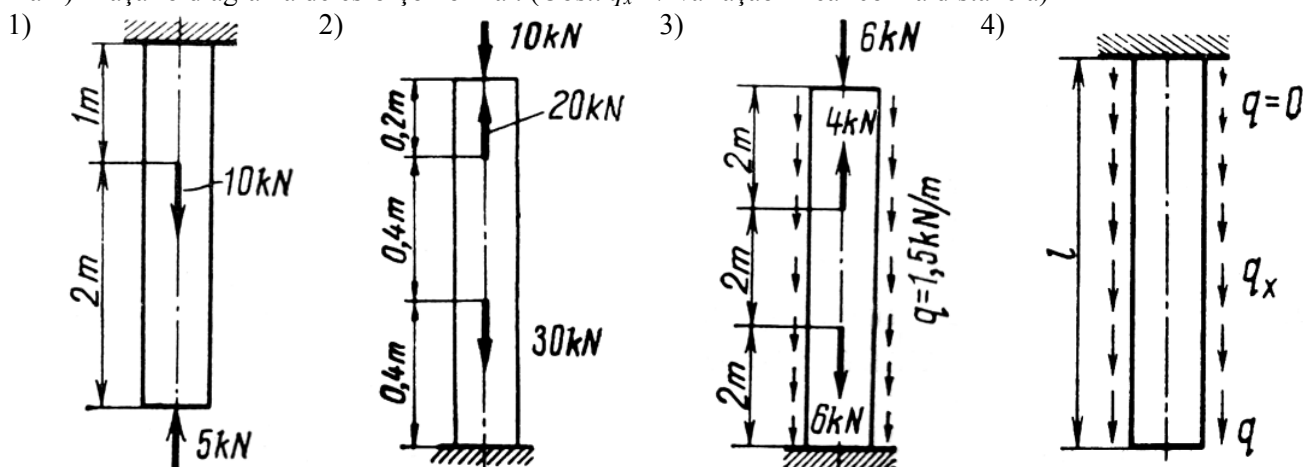




3ª LISTA DE EXERCÍCIOS

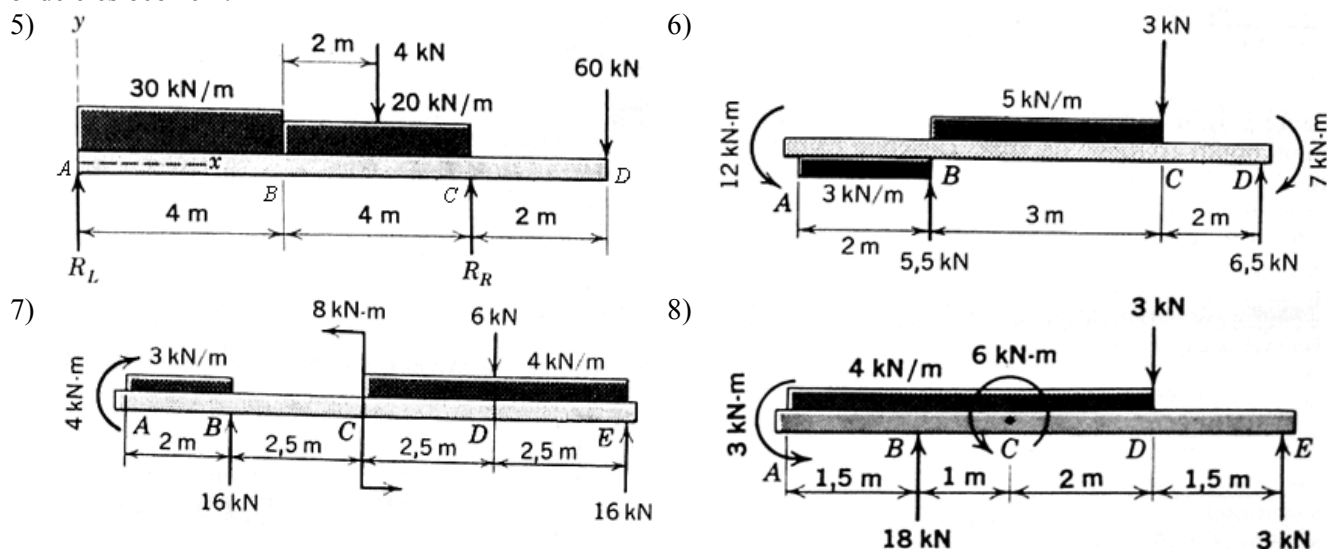
PROBLEMAS ENVOLVENDO DIAGRAMA DE ESFORÇO NORMAL

1 a 4) Traçar o diagrama de esforço normal. (Obs.: $q_x \rightarrow$ variação linear com a distância)

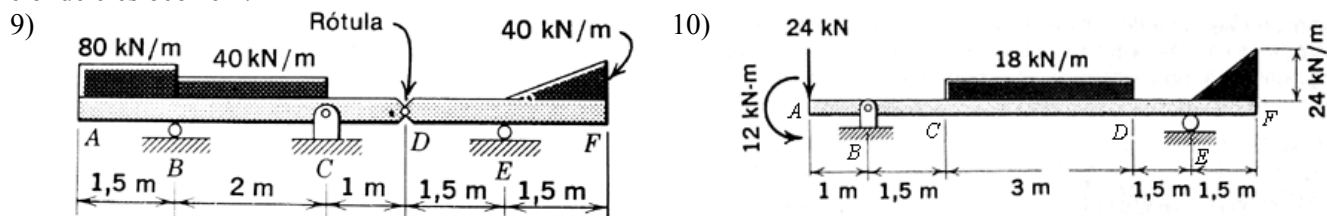


PROBL. ENVOLVENDO DIAGRAMA DE ESFORÇO CORTANTE E MOMENTO FLETOR

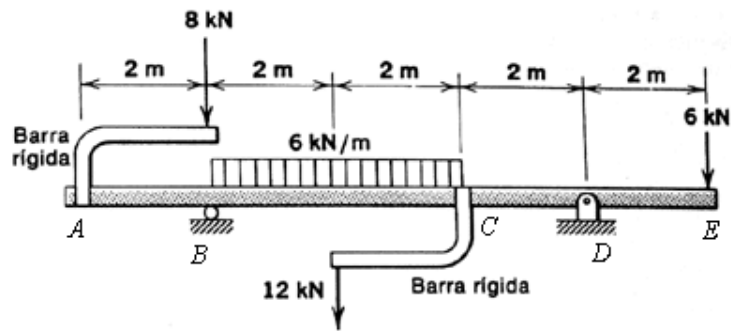
5 a 8) Para as vigas a seguir, pede-se: a) escrever as equações do esforço cortante e do momento fletor em cada trecho; b) traçar os diagramas de esforço cortante e momento fletor; c) indicar os valores máximos de V e M e onde eles ocorrem.



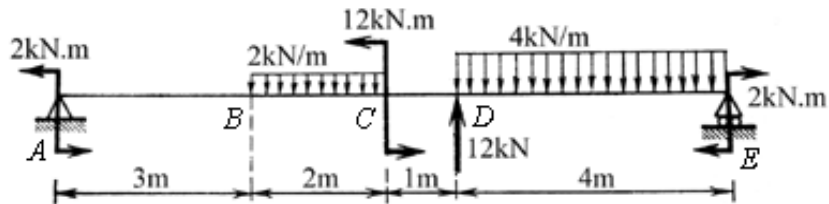
9 a 13) Para as vigas a seguir, pede-se: a) traçar os diagramas de esforço cortante e momento fletor utilizando as relações diferenciais entre carregamento, cortante e momento fletor; b) indicar os valores máximos de V e M e onde eles ocorrem.



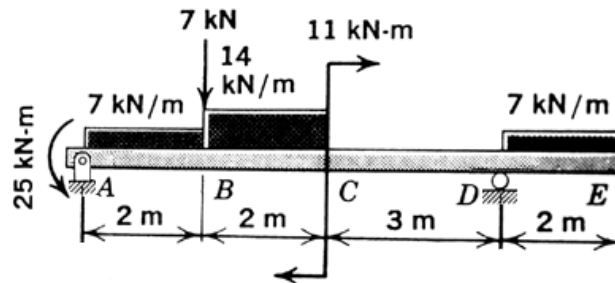
11)



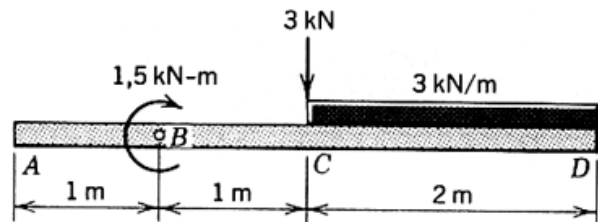
12)



13)

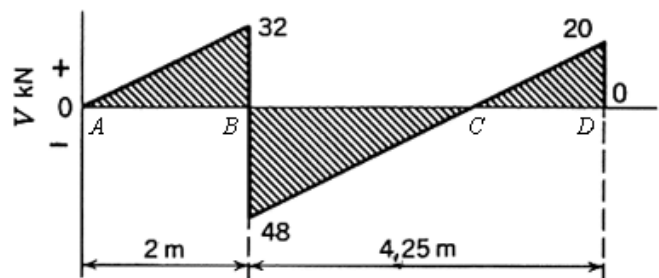


14) O cortante e o momento fletor na extremidade A do segmento da viga (em equilíbrio) da figura ao lado são $+3 \text{ kN}$ e -2 kN.m , respectivamente, e o cortante e o momento fletor na extremidade D são desconhecidos. Desenhe os diagramas completos de cortante e de momento fletor para o segmento da viga, e escreva a equação de momento no intervalo CD .



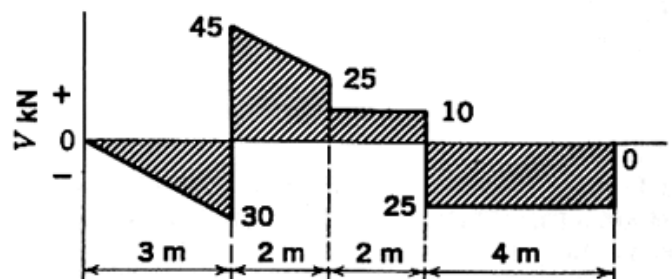
15) A figura ilustra o diagrama do cortante para uma viga com momento fletor nulo na extremidade esquerda e sem momento externo aplicado entre os extremos. Desenhe os diagramas de:

- carregamento;
- momento fletor.



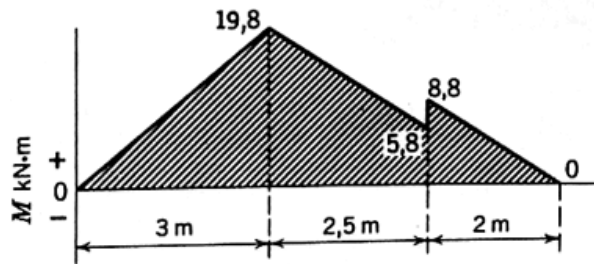
16) A figura mostra o diagrama do cortante para uma viga engastada na extremidade direita. Não há momentos externos aplicados em nenhum ponto ao longo da viga. Desenhe os diagramas de:

- carregamento;
- momento fletor.

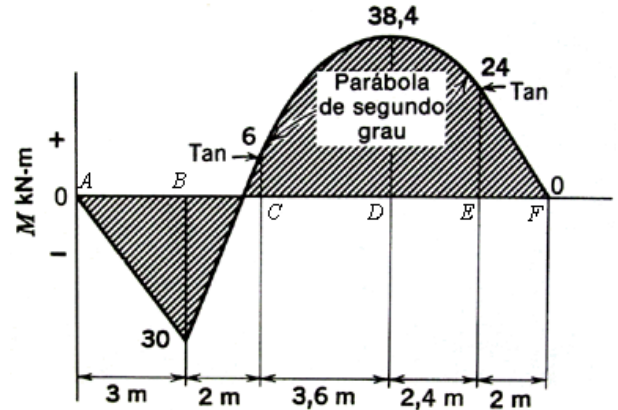


17 e 18) A figura ilustra o diagrama de momento fletor para uma viga. Desenhe os diagramas de esforço cortante e de carregamento para a viga.

17)

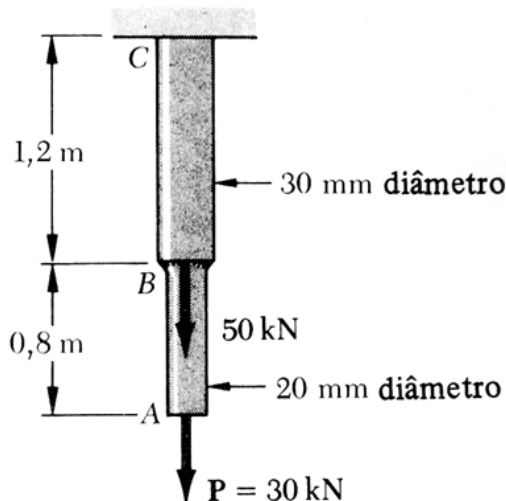


18)

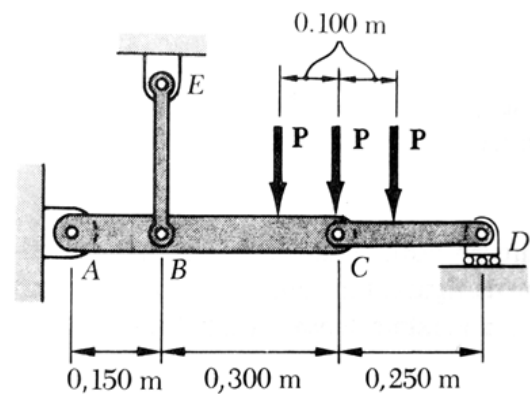


PROBLEMAS ENVOLVENDO CONCEITO DE TENSÃO, DEFORMAÇÃO E SEGURANÇA

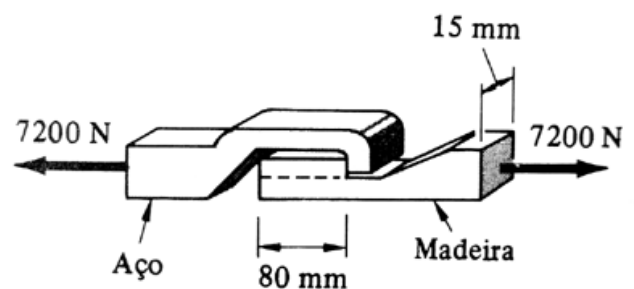
19) Duas barras circulares maciças são soldadas no ponto B , como mostra a figura. Trace o diagrama de esforço normal e determine a tensão normal no ponto médio de cada barra.



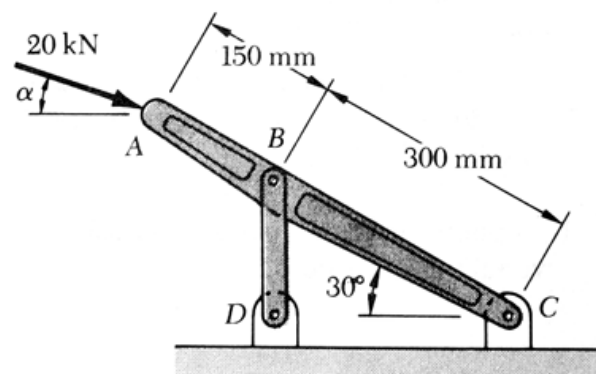
20) Sabe-se que a parte central da haste BE tem seção transversal retangular uniforme de 12×25 mm. Determinar a intensidade P das forças aplicadas, de forma que a tensão normal em BE seja de $+90$ MPa.



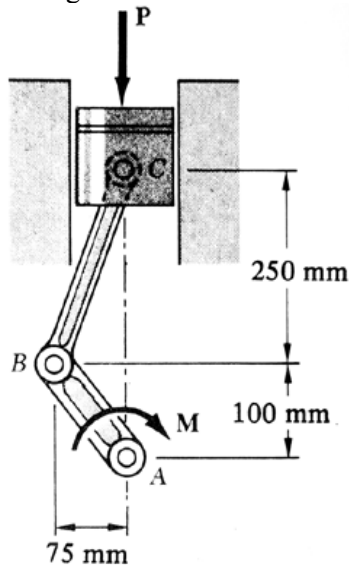
21) Ao se aplicar a força indicada, a peça de madeira se rompeu por corte ao longo da superfície indicada pela linha tracejada. Determine a tensão média de cisalhamento na superfície de ruptura.



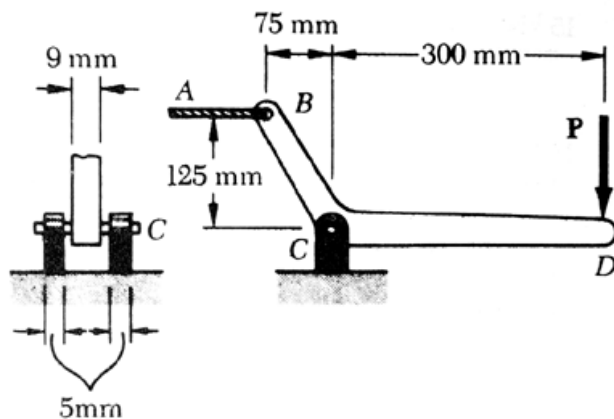
22) A barra BD é de aço e tem seção uniforme de 12×40 mm. Cada pino tem 10 mm de diâmetro. Determinar a máxima tensão normal média na barra nos casos: a) $\alpha = 0^\circ$; b) $\alpha = 90^\circ$.



23) Um conjugado M de 1500 N.m é aplicado ao eixo da manivela, no esquema de motor mostrado na figura. Para a posição indicada, determinar: a) a força P necessária para manter o sistema em equilíbrio; b) a tensão normal na barra BC , que tem seção transversal uniforme de área igual a 470 mm^2 .

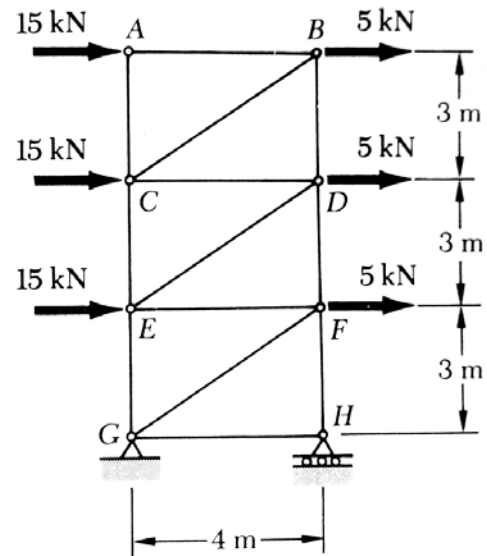


25) O pedal indicado na figura é ligado ao ponto C por um pino de 6 mm de diâmetro. Sabendo-se que $P = 500 \text{ N}$, determinar: a) a tensão média de cisalhamento no pino; b) a tensão nominal de esmagamento no pedal no ponto C; c) a tensão nominal de esmagamento em cada chapa de ligação no ponto C.

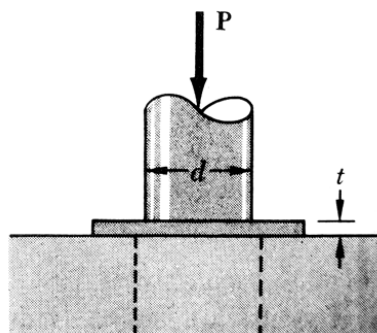
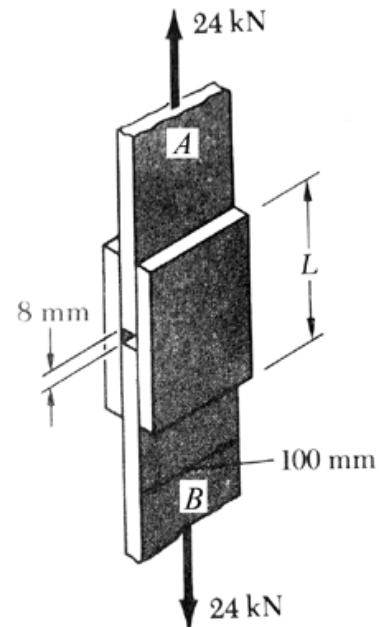


27) Sabendo-se que a tensão de ruptura a cisalhamento de uma chapa de aço é 330 MPa, determinar: a) a força P necessária para produzir, por punção, um furo de 30 mm de diâmetro em uma chapa de 9 mm de espessura; b) o valor da correspondente tensão normal no furador.

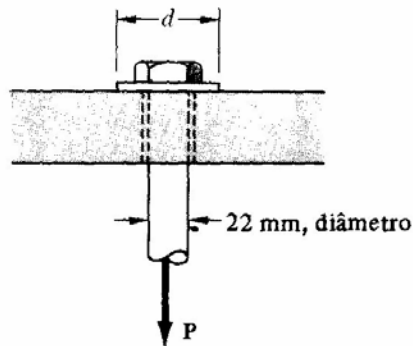
24) Determine as tensões normais nas barras a) CE , b) DE , sabendo que elas têm seção transversal uniforme retangular de $20 \times 50 \text{ mm}$.



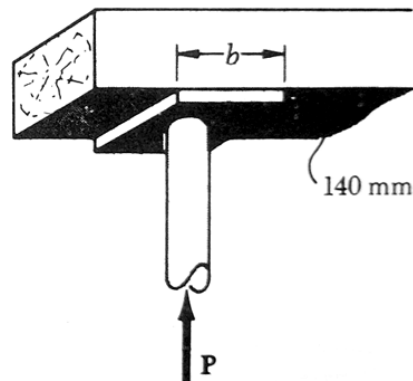
26) As peças de madeira A e B são ligadas por cobre juntas de madeira que são coladas nas superfícies de contato com as peças. Deixa-se uma folga de 8 mm entre as extremidades das peças A e B . Determinar o valor do comprimento L , para que a tensão média de cisalhamento na superfície colada seja de 800 kPa.



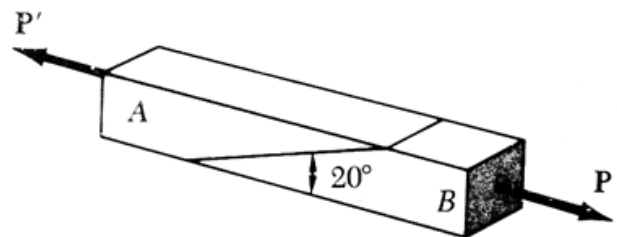
28) A carga P aplicada a uma barra de aço é transmitida para um suporte de madeira por intermédio de uma arruela, de diâmetro interno de 25 mm, e de diâmetro externo d . Sabendo-se que a tensão normal axial na barra de aço é de 35 MPa e que a tensão média de esmagamento entre a peça de madeira e a arruela não deve exceder a 5 MPa, calcule o diâmetro externo d necessário para a arruela.



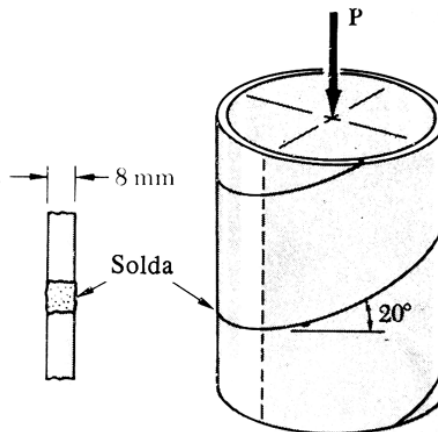
29) A força axial na coluna que sustenta a viga de madeira indicada é de 75 kN. Determinar a dimensão da chapa de apoio para que a tensão de esmagamento média na madeira seja de 3,0 MPa.



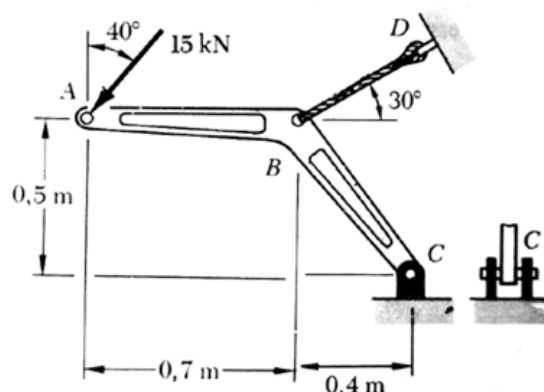
30) Duas peças de madeira de seção transversal uniforme de 89 x 140 mm são coladas uma a outra em um entalhe inclinado. A tensão de cisalhamento admissível da cola é 517 kPa. Determine a maior carga axial P que pode ser aplicada.



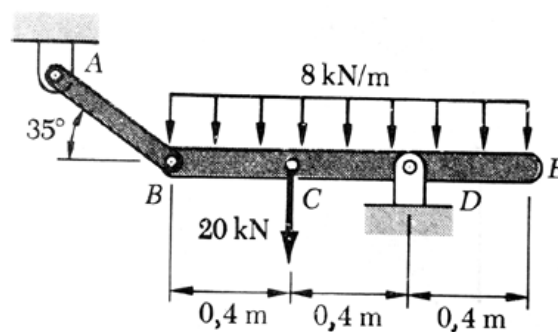
31) Uma tubulação metálica de diâmetro externo de 300 mm é fabricada com chapa de aço de 8 mm de espessura por meio de um cordão de solda ao longo de uma hélice que forma um ângulo de 20° com o plano perpendicular ao eixo do tubo. Sabendo-se que uma força axial $P = 250$ kN é aplicada ao tubo, determine σ e τ , nas direções normal e tangencial, respectivamente, ao eixo da solda.



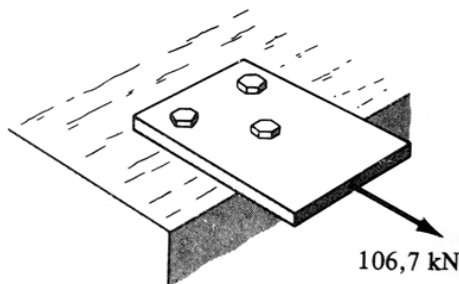
32) Sabendo-se que a carga de ruptura do cabo BD é 100 kN, determine o coeficiente de segurança do cabo para o carregamento indicado.



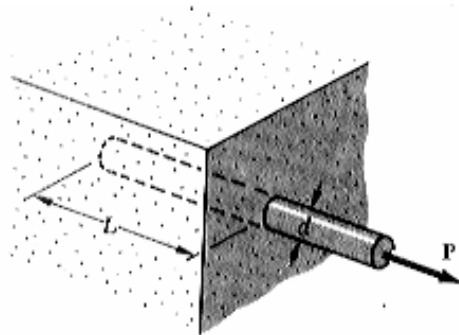
33) A haste AB será construída de aço, para o qual a tensão última normal é de 450 MPa. Determine a área da seção transversal de AB para um coeficiente de segurança 3,5. A haste será adequadamente reforçada em torno dos pinos A e B .



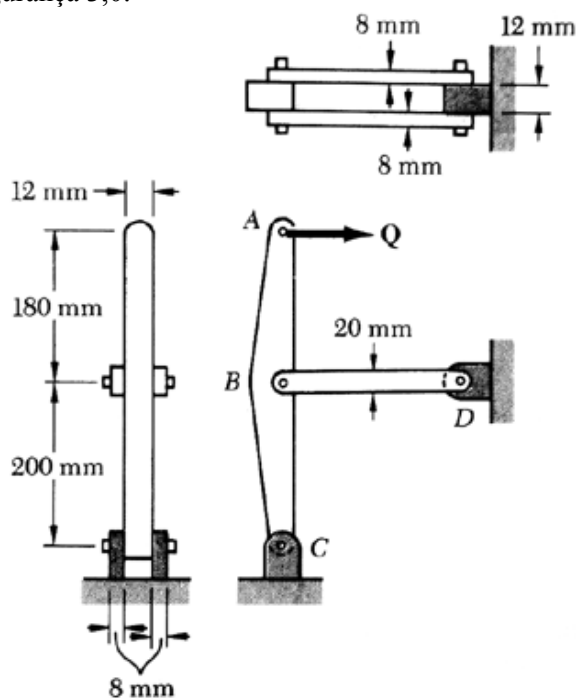
34) A placa indicada é presa à base por meio de três parafusos de aço. A tensão de cisalhamento última do aço utilizado é de 331 MPa, e deseja-se um coeficiente de segurança de 3,5. Determine a dimensão dos parafusos a serem usados.



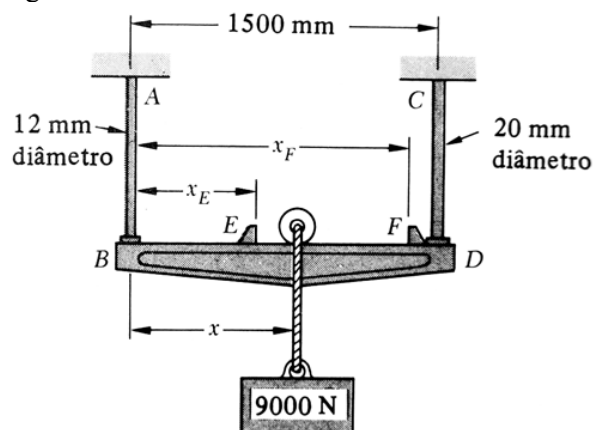
35) Uma força P é aplicada a uma barra de aço que foi imersa em um bloco de concreto. Determinar o menor valor do comprimento L para o qual possa se desenvolver toda a capacidade admissível de tensão normal da barra. Expresse o resultado em função do diâmetro d da barra, da tensão admissível σ_{adm} do aço e em função da tensão média admissível de aderência entre o concreto e a superfície cilíndrica da barra (desprezar as tensões normais entre o concreto e a extremidade da barra).



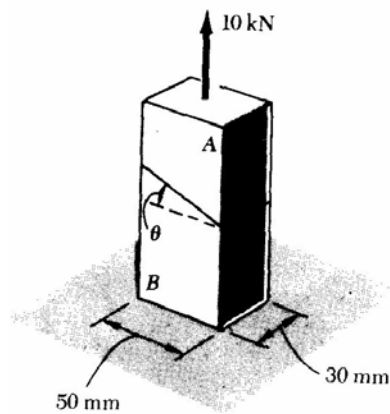
36) Um pino de 8 mm é usado no ponto C , enquanto em B e D usam-se pinos de 12 mm de diâmetro. A tensão de cisalhamento última para todas as ligações é 100 MPa, enquanto a tensão última na haste BD é 250 MPa. Determine a carga Q para um coeficiente de segurança 3,0.



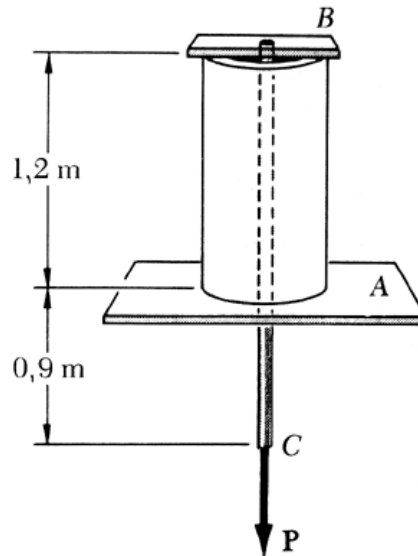
37) A carga de 9000 N pode mover-se ao longo da viga BD , entre os anteparos E e F . Sabendo-se que o aço para as barras AB e CD tem $\sigma_{adm} = 45$ MPa, determinar o ponto de localização dos anteparos que permita a maior movimentação possível para a carga.



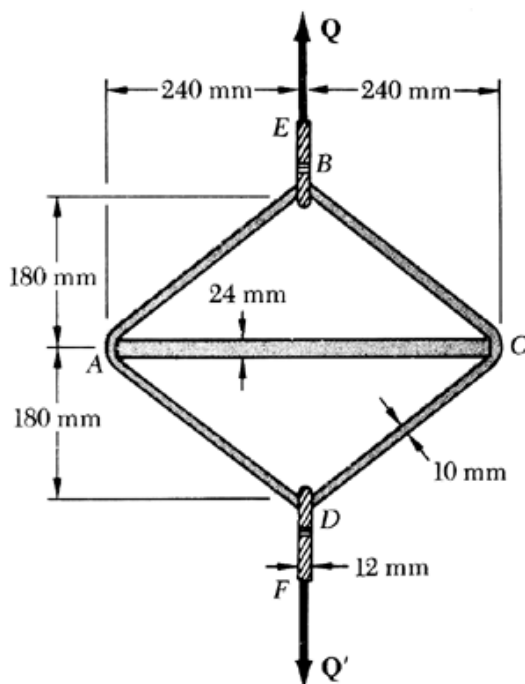
38) As duas partes da peça AB são coladas em um plano que forma um ângulo θ com a horizontal. As tensões últimas para a união colada são $\sigma_U = 17 \text{ MPa}$ e $\tau_U = 9 \text{ MPa}$. Determine quais são os valores de θ para os quais o coeficiente de segurança é pelo menos igual a 3,0.



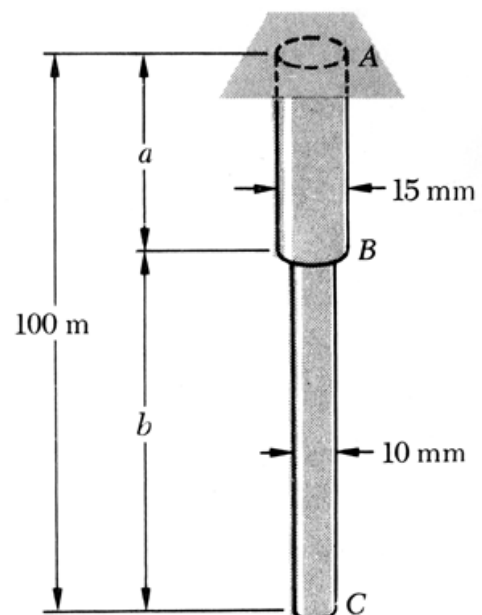
39) Um trecho de um tubo de alumínio de 1,2 m e seção transversal de área de 1100 mm^2 está apoiado em um suporte fixo em A . Uma barra de aço BC de 15 mm de diâmetro está pendurada em uma placa rígida que se apóia sobre o tubo, em B . Conhecendo o módulo de elasticidade do aço (200 GPa) e do alumínio (70 GPa), calcular o deslocamento do ponto C quando $P = 60 \text{ kN}$.



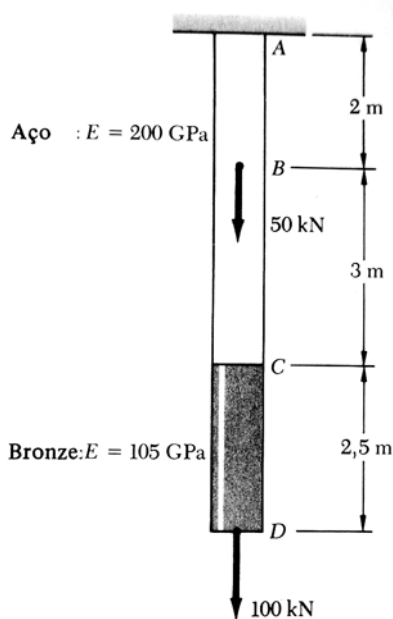
40) Uma alça de aço $ABCD$ de 1,2 m de comprimento e 10 mm de diâmetro é colocada em volta de uma barra de aço circular AC , de 24 mm de diâmetro. Aplica-se a carga Q por meio dos cabos BE e DF , de 12 mm de diâmetro. Sabendo-se que para a barra $\sigma_{adm} = 60 \text{ MPa}$, e para a alça e os cabos $\sigma_{adm} = 180 \text{ MPa}$, determinar a maior carga Q que pode ser aplicada.



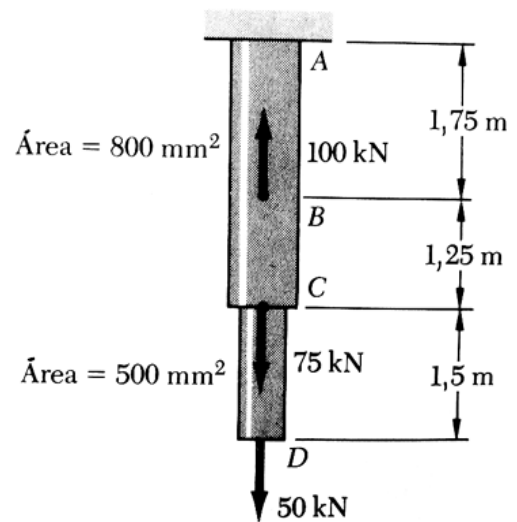
41) Duas barras de latão AB e BC serão ligadas no ponto B . As duas barras de diâmetro constante formam uma barra única de comprimento total 100 m, que será suspensa de um suporte pelo ponto A . Sabe-se que a massa específica do latão é de 8500 kg/m^3 . Pede-se determinar: a) o comprimento da barra AB que leva a um valor mínimo o maior valor da tensão em ABC ; b) o valor da tensão normal máxima correspondente.



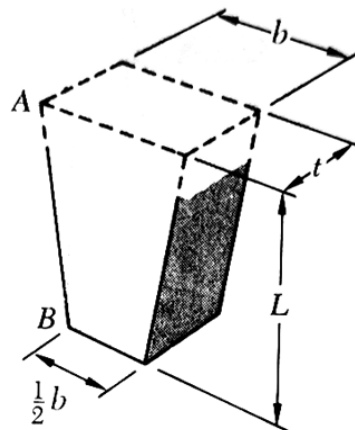
42) Duas barras de 36 mm de diâmetro, ABC de aço e CD de bronze, são ligadas no ponto C e formam uma barra $ABCD$ de 7,5 m de comprimento. Determinar, para a carga aplicada e desprezando o peso da barra, os deslocamentos: a) do ponto C e b) do ponto D .



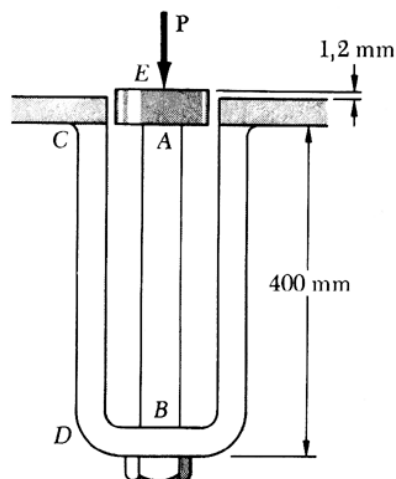
43) A haste $ABCD$ é feita de alumínio com $E = 70$ GPa. Determinar, para as cargas indicadas, desprezando o peso próprio: a) o deslocamento do ponto B ; b) o deslocamento do ponto D .



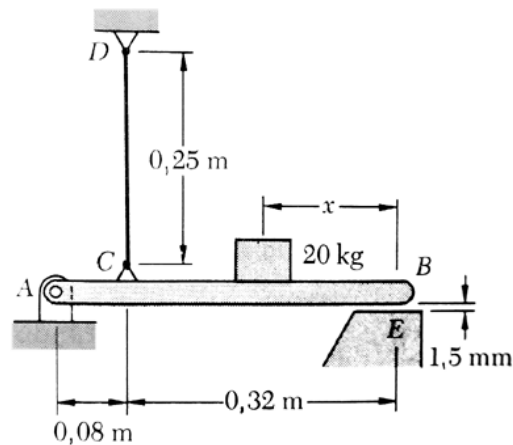
44) Um bloco de forma trapezoidal com espessura constante t fica suspenso de uma superfície fixa A . Chamando de ρ a massa específica (massa por unidade de volume) do material, determine o alongamento do bloco devido à ação do seu peso.



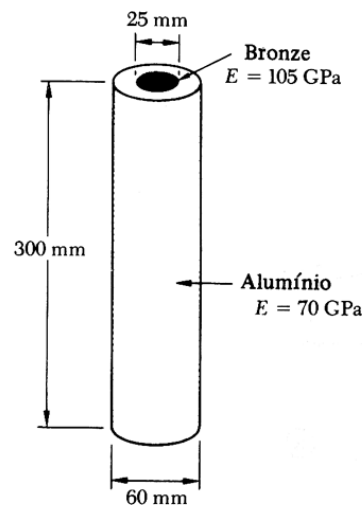
45) Uma barra cilíndrica de latão de 9 mm de diâmetro, AB , está presa à base de um recipiente cilíndrico de latão CD que tem área de seção transversal de 300 mm^2 . O recipiente CD é fixado ao suporte fixo em C e um tampão E é preso na extremidade da barra em A . Sabendo-se que o módulo de elasticidade do latão é 85 GPa, determinar a intensidade de P para que o tampão se desloque 1,2 mm para baixo.



46) O fio de aço CD de 2 mm de diâmetro tem o seu comprimento ajustado de forma que, se nenhum carregamento atuar, existe uma distância de 1,5 mm entre a extremidade B , da viga rígida ABC , e um ponto de contato E . Pede-se determinar em que ponto deve ser colocado um bloco de 20 kg sobre a viga de modo a causar contato entre B e E . Sabe-se que $E = 200$ GPa.

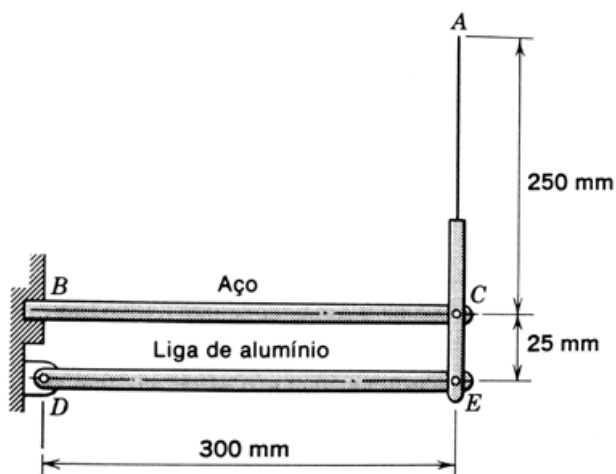


47) O cilindro de bronze e o cilindro oco de alumínio da figura formam um conjunto que encurta de 0,40 mm quando recebe uma força axial aplicada em placas rígidas nas extremidades. Determinar: a) a intensidade da força aplicada; b) A tensão na barra de bronze.

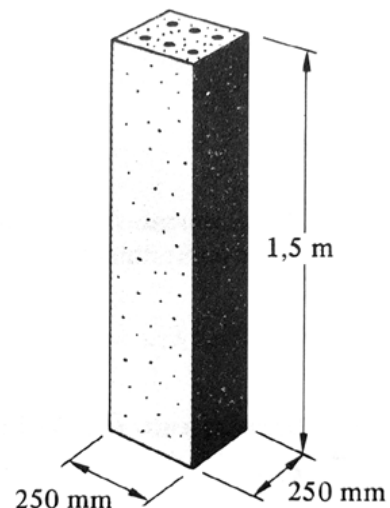


PROBLEMAS ENVOLVENDO VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

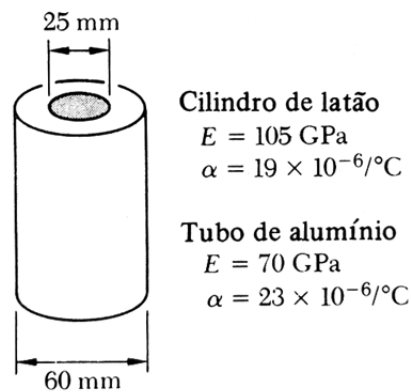
48) Determine o movimento horizontal do ponto A , devido a uma queda de 45°C na temperatura. Admita que o membro AE tenha um coeficiente de dilatação térmica insignificante. Adotar para o aço estrutural $E = 200$ GPa e $\alpha = 11,9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ e para a liga de alumínio $E = 70$ GPa e $\alpha = 22,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$.



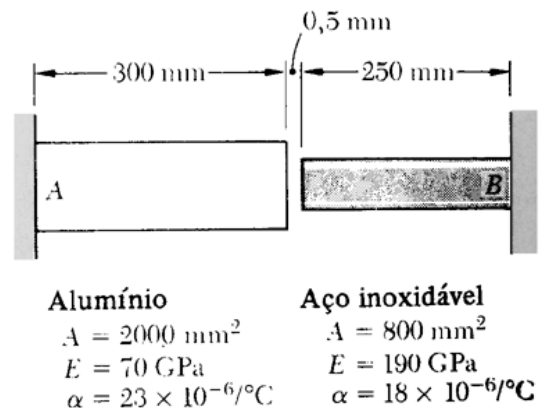
49) Uma coluna de concreto de 1,5 m de comprimento é reforçada por seis barras de aço, cada uma de 15 mm de diâmetro. Sabendo-se que para o aço $E = 200$ GPa e $\alpha = 11,7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ e para o concreto $E = 25$ GPa e $\alpha = 9,9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, determinar as tensões normais induzidas no aço e no concreto após um aumento de temperatura de 50°C .



50) O tubo de alumínio é totalmente preenchido pelo cilindro de latão e o conjunto se encontra sem efeitos de tensão à temperatura de 15°C . Considerando apenas deformações axiais, determinar as tensões no alumínio, quando a temperatura for de 195°C .

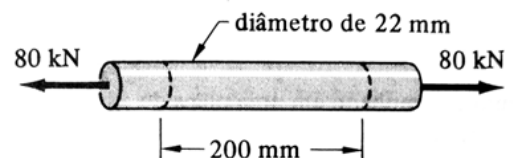


51) As barras da figura estão distanciadas de 0,5 mm quando a temperatura é de 20°C . Determinar: a) a que temperatura a tensão normal na barra de aço inoxidável atinge o valor $\sigma = -150 \text{ MPa}$; b) o correspondente comprimento da barra de aço inoxidável.

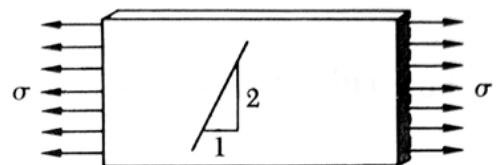


PROBLEMAS ENVOLVENDO LEI DE HOOKE GENERALIZADA

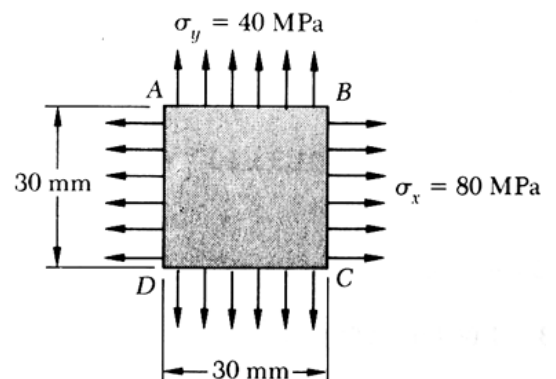
52) Em um teste de tração axial, uma barra de aço de 22 mm de diâmetro é submetida a uma força de 80 kN. Sabe-se que $\nu = 0,3$ e que $E = 200 \text{ GPa}$. Determinar: a) o alongamento de um trecho de 200 mm da barra; b) a variação do diâmetro da barra.



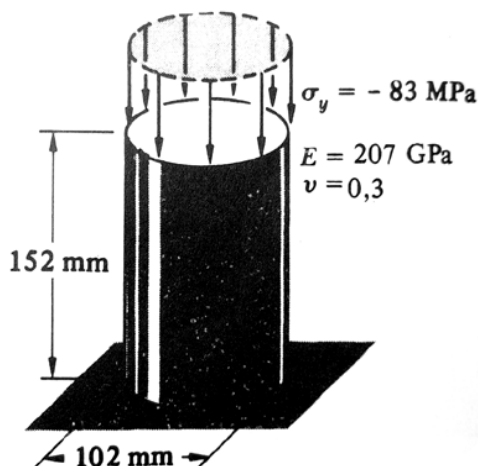
53) Uma placa de alumínio é submetida a uma força axial centrada que causa uma tensão normal σ . Uma linha reta de inclinação 2:1 é desenhada na placa de alumínio antes da aplicação da força. Determinar a inclinação da linha quando a tensão for $\sigma = 125 \text{ MPa}$. Usar $E = 70 \text{ GPa}$, $\nu = 0,33$.



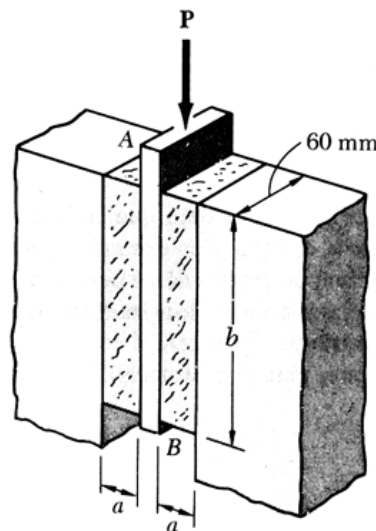
54) Na parede de um vaso de pressão de aço de grandes dimensões é desenhado um quadrado de lado igual a 30 mm. Quando o vaso é submetido à pressão interna, o estado biaxial de tensões no quadrado é mostrado na figura. Sendo $E = 200 \text{ GPa}$, e $\nu = 0,30$, determinar: a) a variação no comprimento do lado AB ; b) a variação do lado BC ; c) a variação na diagonal AC .



55) a) Determinar a variação da altura e do volume do cilindro de aço da figura, para o carregamento indicado; b) Resolver o item (a) admitindo carregamento hidrostático, com $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = -83 \text{ MPa}$.

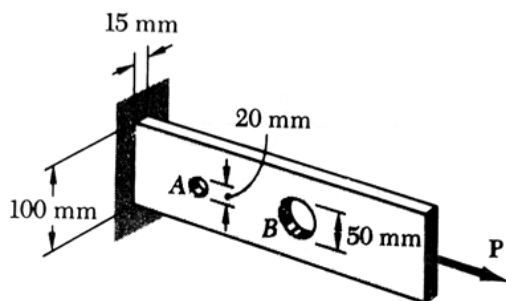


56) Uma unidade de amortecimento de vibrações consiste de dois blocos de borracha dura coladas à placa AB e dois suportes fixos. Para o tipo de borracha usado, $\tau_{adm} = 1,5 \text{ MPa}$ e $G = 18 \text{ MPa}$. Sabendo-se que uma força vertical e centrada P de intensidade 27 kN deve causar uma deflexão vertical de 2 mm na placa AB , determinar o menor valor admissível para os lados a e b dos blocos.

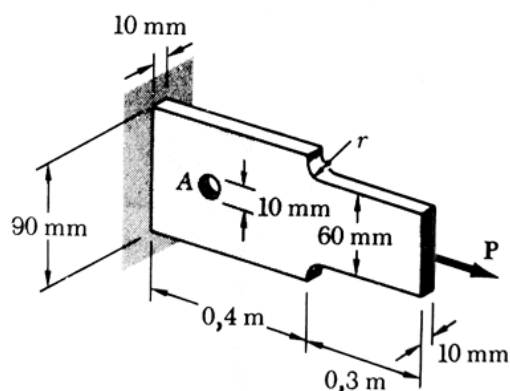


PROBLEMAS ENVOLVENDO CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES E DEFORM. PLÁSTICAS

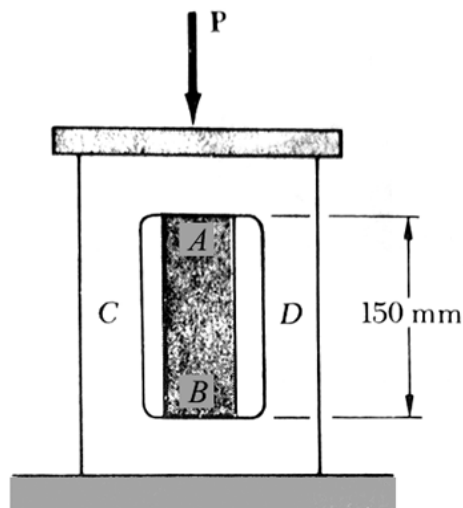
57) Uma barra longa de aço foi furada em dois pontos, e a barra foi submetida à força axial $P = 32 \text{ kN}$. Determinar o maior valor da tensão: a) no ponto A ; b) no ponto B .



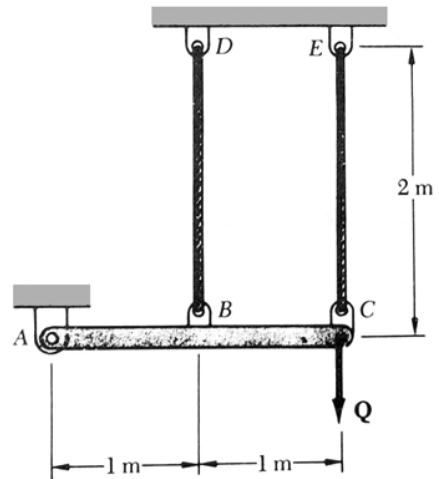
58) a) Determinar para qual valor r do raio dos arredondamentos a tensão será a mesma em A e nos arredondamentos. b) Se a tensão admissível é de 150 MPa , que valor tem a carga admissível P ?



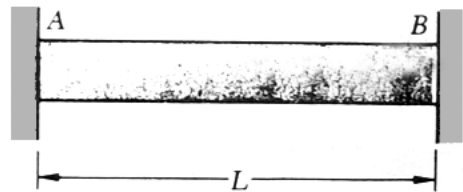
59) A barra AB é feita de aço de alta resistência, para o qual $\sigma_y = 600 \text{ MPa}$ e tem área de seção transversal de 800 mm^2 . Quando $P = 0$, a barra se encaixa exatamente em uma moldura de aço doce, que é adotado como sendo elasto-plástico, com $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$. As hastes C e D da moldura têm cada uma 600 mm^2 de área de seção transversal. A moldura está apoiada em uma máquina de testes, que aplica a força P , aumentada-a gradualmente até o valor de 750 kN , depois diminuindo-a até zero. Para os dois aços, $E = 200 \text{ GPa}$. Determinar a tensão na barra AB : a) quando $P = 750 \text{ kN}$; b) depois da remoção da carga.



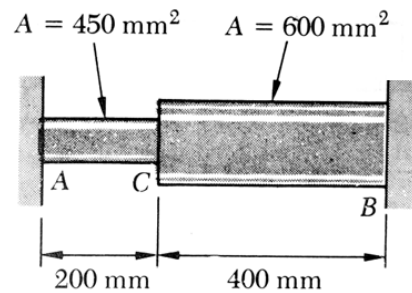
60) Cada cabo tem seção transversal de 100 mm^2 , e é feito de material elasto-plástico com $\sigma_y = 320 \text{ MPa}$ e $E = 200 \text{ GPa}$. Uma força Q é aplicada em C à barra rígida ABC e aumentada gradualmente de zero até 45 kN , quando então se reduz a zero. Sabendo-se que os cabos estão inicialmente esticados, determinar: a) a maior tensão no cabo BD ; b) a máxima deflexão do ponto C ; c) a deflexão final do ponto C . (Sugestão: na parte (c), o cabo CE não está esticado).



61) Uma barra de aço de seção uniforme de área A é presa a suportes rígidos e se encontra isenta de tensões quando a temperatura é de 60°F . Adota-se o aço como sendo elasto-plástico, com $\sigma_y = 248 \text{ MPa}$ e $E = 207 \text{ GPa}$. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação térmica é $\alpha = 6,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{F}$, determinar: a) a tensão quando a temperatura é aumentada até 360°F ; b) a tensão quando a temperatura tiver retornado a 60°F .



62) A barra de aço ABC está ligada a suportes fixos e não tem tensões à temperatura de 20°C . O aço é elasto-plástico com $E = 200 \text{ GPa}$ e $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$. As duas porções da barra têm sua temperatura elevada para 120°C . Sabendo-se que $\alpha = 11,7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, determinar: a) as tensões normais nas partes AC e CB ; b) o deslocamento do ponto C .



RESPOSTAS AOS PROBLEMAS DA 3ª LISTA DE EXERCÍCIOS

- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5) a); b); c).
- 6) a) com a origem em A e x positivo à direita:
 $V_{AB} = 3x$; $M_{AB} = 1,5x^2 - 12$;
 $V_{BC} = -5x + 21,5$; $M_{BC} = -2,5x^2 + 21,5x - 39$;
 $V_{CD} = -6,5$; $M_{CD} = -6,5x + 38,5$;
 b) $V_A = 0$; $V_B = +6$ e $+11,5$ kN; $V_C = -3,5$ e $-6,5$ kN;
 $V_D = -6,5$ kN; $M_A = -12$ kN.m; $M_B = -6$ kN.m;
 $M_{4,3m} = +7,23$ kN.m; $M_C = +6$ kN.m; $M_D = -7$ kN.m;
 c) $V_{max} = +11,5$ kN no ponto B ; $M_{max} = -12$ kN.m no ponto A .
- 7) a) com a origem em B e x positivo à direita:
 $M_{CD} = -2x^2 + 20x - 22,5$;
 b) $M_{2m} = -2$ kN.m; $M_{4,5m} = +23$ e $+15$ kN.m;
 $M_{7m} = +27,5$ kN.m;
 c)
- 8) a) com a origem em B e x positivo à direita:
 $M_{BC} = -2x^2 + 12x - 7,5$;
 b) $M_B = -7,5$ kN.m; $M_C = +2,5$ e $-3,5$ kN.m;
 $M_D = +4,5$ kN.m;
 c)
- 9) a) $V_A = 0$; $V_B = -120$ e $+95$ kN; $V_C = +15$ e -20 kN;
 $V_E = -20$ e $+30$ kN; $V_F = 0$; $M_A = 0$; $M_B = -90$ kN.m;
 $M_C = +20$ kN.m; $M_D = 0$; $M_E = -30$ kN.m; $M_F = 0$;
 b) $V_{max} = -120$ kN no ponto B ; $M_{max} = -90$ kN.m em B .
- 10) a); b).
- 11) a) $V_A = -8,0$ kN; $V_B = -8,0$ e $+22$ kN; $V_C = -2,0$ e -14 kN; $V_D = -14$ e $+6,0$ kN; $V_E = +6,0$ kN;
 $M_A = +16$ kN.m; $M_B = 0$; $M_C = +40$ kN.m e -16 kN.m; $M_D = -12$ kN.m; $M_E = 0$;
 b) $V_{max} = +22$ kN no ponto B ; $M_{max} = +40,33$ kN.m num ponto $3,67$ m à direita de B .
- 12) a); b).
- 13)
- 14) $V_C = +3$ kN e zero, $V_D = -6$ kN; $M_B = +1$ kN.m e $+2,5$ kN.m, $M_C = +5,5$ kN.m, $M_D = -0,5$ kN.m;
 origem em A e x positivo à direita:
 $M = -1,5x^2 + 6x - 0,5$
- 15) a) $q_{AD} = +16$ kN/m; $F_B = 80$ kN ↓; $F_D = 20$ kN ↓;
 $M_D = +27,5$ kN.m ∪;
 b) $M_A = 0$; $M_B = +32$ kN.m; $M_C = -40$ kN.m;
 $M_D = -27,5$ kN.m.
- 16) a) $q_{AC} = -10$ kN/m; $F_B = 75$ kN ↑; $F_C = 15$ kN ↓;
 $F_D = 35$ kN ↑; $F_E = 25$ kN ↑; $M_E = 55$ kN.m ∪;
 b) $M_B = -45$ kN.m; $M_C = +25$ kN.m; $M_D = +45$ kN.m;
 $M_E = -55$ kN.m.
- 17)
- 18) $V_A = -10$ kN; $V_B = -10$ e $+18$ kN; $V_C = +18$ kN;
 $V_E = -12$ kN; $V_F = -12$ kN; $F_A = 10$ kN ↓;
 $F_B = 28$ kN ↑; $F_F = 12$ kN ↑; $q_{CE} = -5$ kN/m.
- 19) $\sigma_{AB} = 95,5$ MPa T; $\sigma_{BC} = 113,2$ MPa T
- 20) $P = 3785$ N
- 21) $\tau = 6,0$ MPa
- 22) a) $\sigma = 48,1$ MPa T b) $\sigma = 62,5$ MPa C
- 23) a) $P = 14,3$ kN b) $\sigma = 31,7$ MPa C
- 24) a) $\sigma_{CE} = 15,0$ MPa T b) $\sigma_{DE} = 50,0$ MPa T
- 25) a) $\tau = 23,0$ MPa b) $\sigma_e = 24,1$ MPa
 c) $\sigma_e = 21,7$ MPa
- 26) $L = 308$ mm
- 27) a) $P = 280$ kN b) $\sigma = 396$ MPa C
- 28) $d = 63,3$ mm
- 29) $b = 178,6$ mm
- 30) $P = 20,0$ kN
- 31) $\sigma = 30,1$ MPa C $\tau = 10,95$ MPa
- 32) c.s. = $3,63$
- 33) $A = 168,1$ mm²
- 34) $d = 22$ mm
- 35) $L = d/4 \cdot \sigma_{adm} / \tau_{adm}$
- 36) $Q = 3,72$ kN
- 37) $x_e = 652$ mm $x_f = 1.500$ mm
- 38) $22,8^\circ \leq \theta \leq 32,1^\circ$ e $57,9^\circ \leq \theta \leq 90,0^\circ$
- 39) $\delta_C = 4,50$ mm ↓
- 40) $Q_{max} = 16,96$ kN
- 41) a) $a = 35,7$ m b) $\sigma = 5,36$ MPa T
- 42) a) $\delta_C = 2,95$ mm ↓ b) $\delta_D = 5,29$ mm ↓
- 43) a) $\delta_B = 0,781$ mm ↓ b) $\delta_D = 5,71$ mm ↓
- 44)
- 45) $P = 13,38$ kN
- 46) $x = 92,6$ mm
- 47) a) $P = 287$ kN b) $\sigma = 140,0$ MPa C
- 48) $1,27$ mm →
- 49) $\sigma_a = 15,82$ MPa C $\sigma_e = 273$ kPa T
- 50) $\sigma = 12,08$ MPa C
- 51) a) $T = 103,7^\circ\text{C}$ b) $L = 250,1794$ mm
- 52) a) $+0,210$ mm b) $-6,94$ μm
- 53) $1,9952$
- 54) a) $10,2$ μm b) $2,40$ μm c) $8,90$ μm
- 55) a) -61×10^{-3} mm; -198 mm³
 b) -24×10^{-3} mm; -594 mm³
- 56) $a = 24$ mm $b = 150$ mm
- 57) a) $65,1$ MPa b) $90,5$ MPa
- 58)
- 59) a) $\sigma = 562,5$ MPa C b) $\sigma = 187,5$ MPa C
- 60) a) $\sigma_{BD\ max} = 260$ MPa T b) $\delta_{C\ max} = 5,20$ mm
 c) $\delta_{C\ final} = \text{zero}$
- 61) a) $\sigma = 248$ MPa C b) $\sigma = 155$ MPa T
- 62) a) $\sigma_{AC} = 250$ MPa C $\sigma_{CB} = 187,5$ MPa C;
 b) $\delta_C = 93$ μm ←