INSTITUTO DE TECNOLOGIA - UFPA
FACULDADE DE ENG. MECÂNICA

DISCIPLINA: MECÂNICA DOS SÓLIDOS I

Parte 5:
Flexão

Professor: Leonardo Dantas Rodrigues

Godden Collection, National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley

Classificações

Classificação das vigas de acordo com seus apoios.

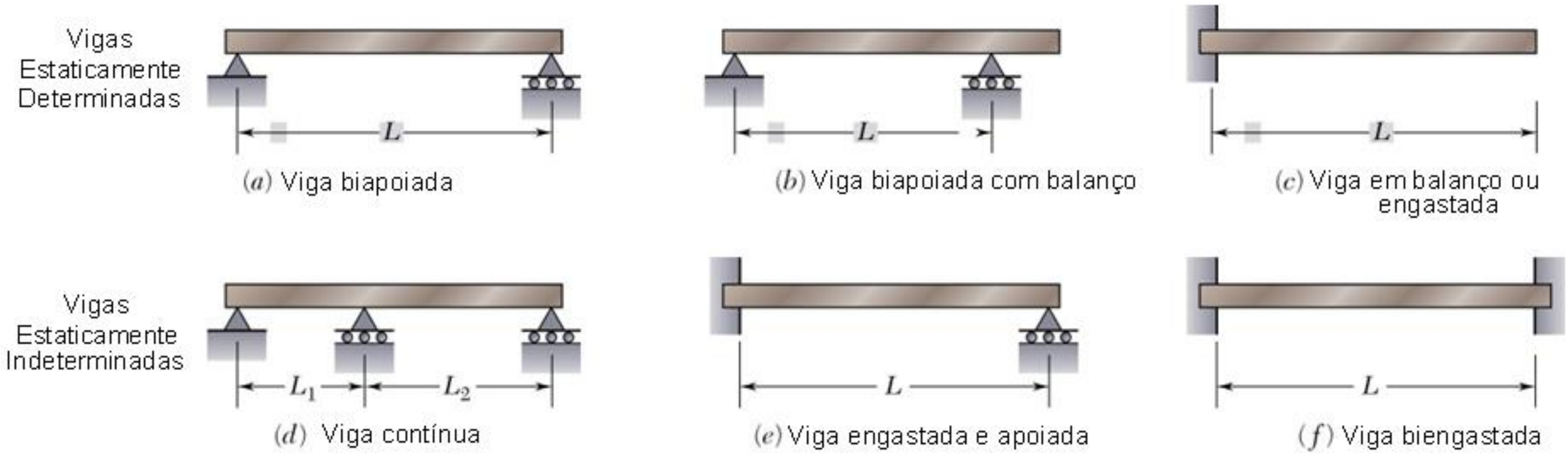


Figura 5.1

Força cortante e momento fletor

Carregamentos transversais de vigas são classificados como forças *concentradas* ou como forças *distribuídas*.

As cargas aplicadas resultam em esforços internos consistindo de força cortante, que provoca tensões de cisalhamento, e momento fletor, que provoca tensões normais.

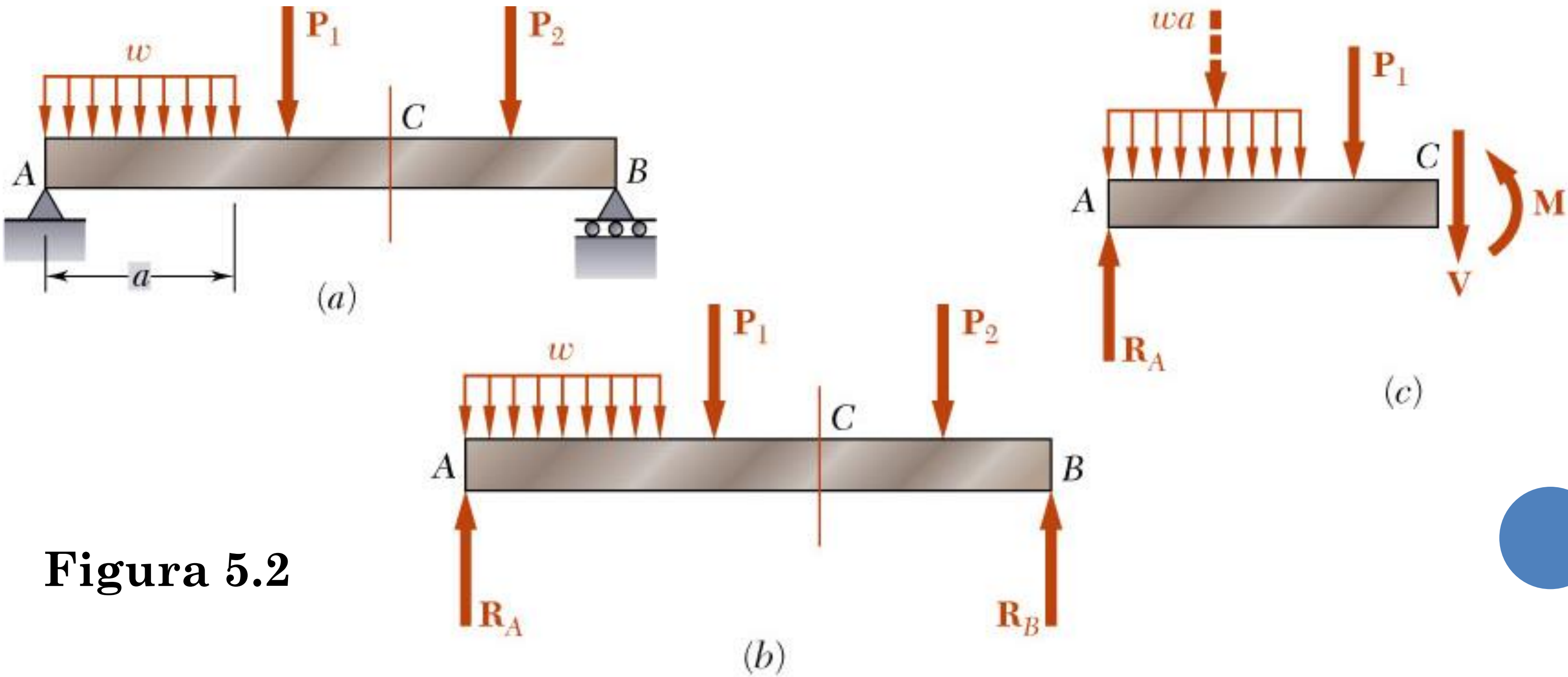
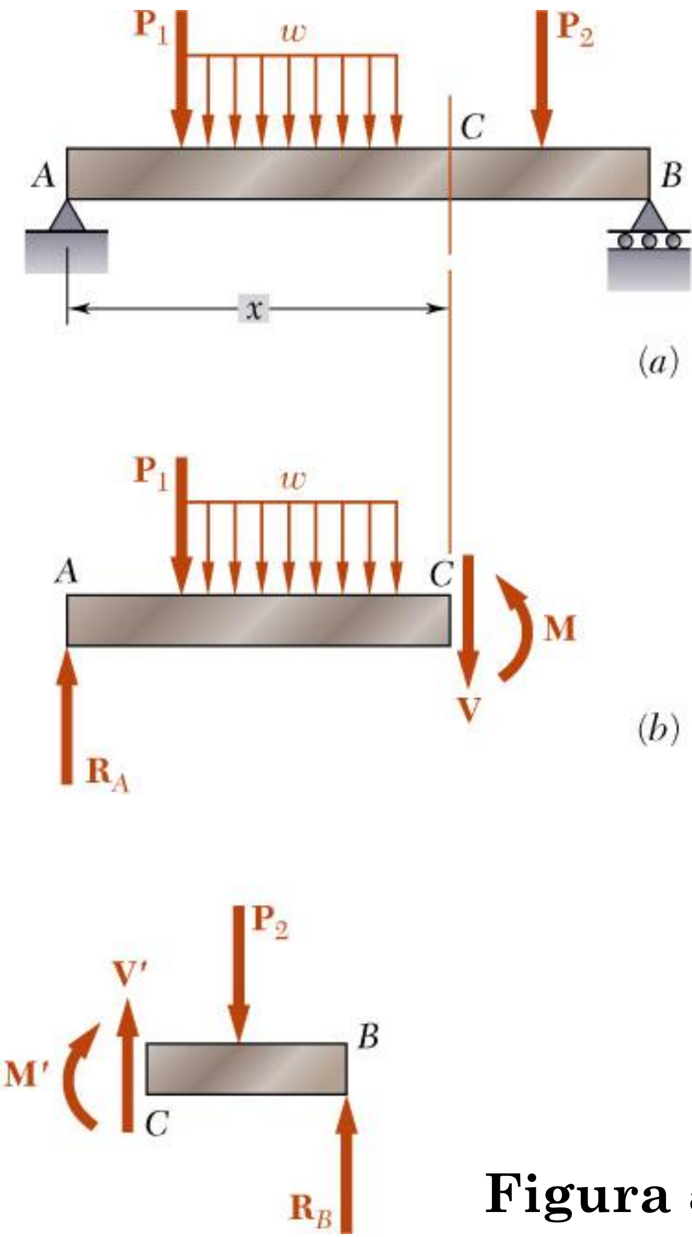


Figura 5.2

Força cortante e momento fletor



A determinação dos valores máximos absolutos da força cortante e do momento fletor exige a identificação da força e do momento fletor em cada seção solicitada.

Método de seccionamento: a força cisalhante e momento fletor em uma seção são determinadas pela passagem de um corte na seção de aplicação e uma análise de equilíbrio nas partes de cada lado do corte.

A convenção para estabelecer os sinais positivos dos momentos fletores internos e dos esforços cortantes foi mostrada na **Parte 1** do curso e está representada na figura 5.3

(d)

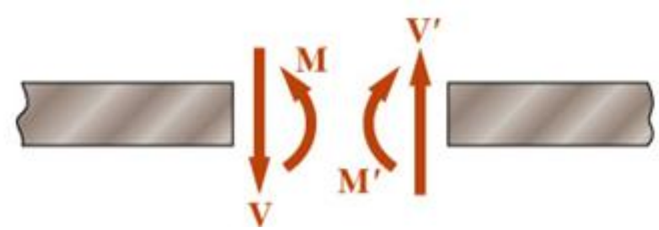
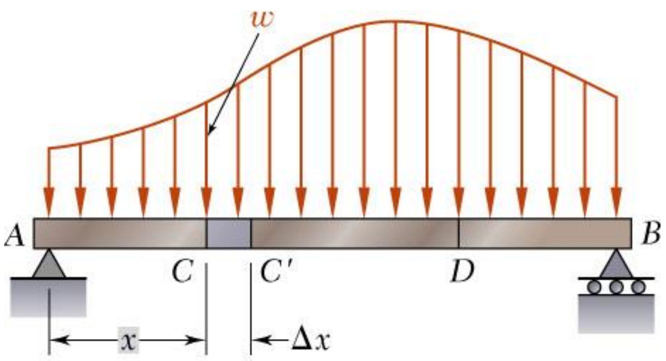


Figura 5.3

Relações entre esforço distribuído, força cortante e momento fletor

Método menos trabalhoso para casos de muitos esforços ao longo da viga.

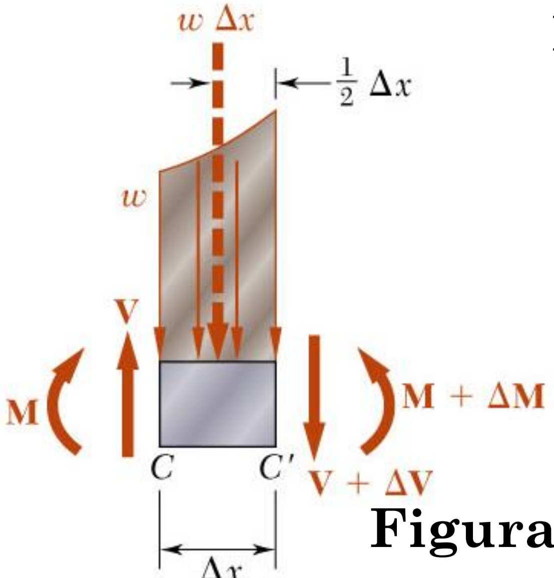


Relações entre força e força cortante:

$$\sum F_y = 0: \quad V - (V + \Delta V) - w\Delta x = 0$$

$$\Delta V = -w\Delta x$$

$$\frac{dV}{dx} = -w \qquad (5.1) \qquad\qquad V(x) = -\int w\, dx$$



Relações entre força cortante e momento fletor:

$$\sum M_{C'} = 0: \quad (M + \Delta M) - M - V\,\Delta x + w\Delta x \frac{\Delta x}{2} = 0$$

$$\Delta M = V\,\Delta x - \tfrac{1}{2} w (\Delta x)^2$$

$$\frac{dM}{dx} = V \qquad (5.2) \qquad\qquad M(x) = \int V\, dx$$

Figura 5.5

Relações entre esforço distribuído, força cortante e momento fletor

Exemplo 5.1: Trace os diagramas de força cortante e momento fletor para a viga e o carregamento mostrados na figura 5.6.

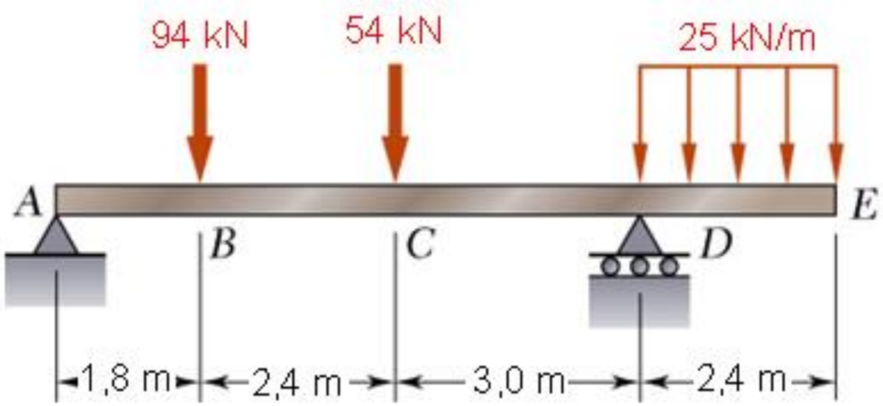
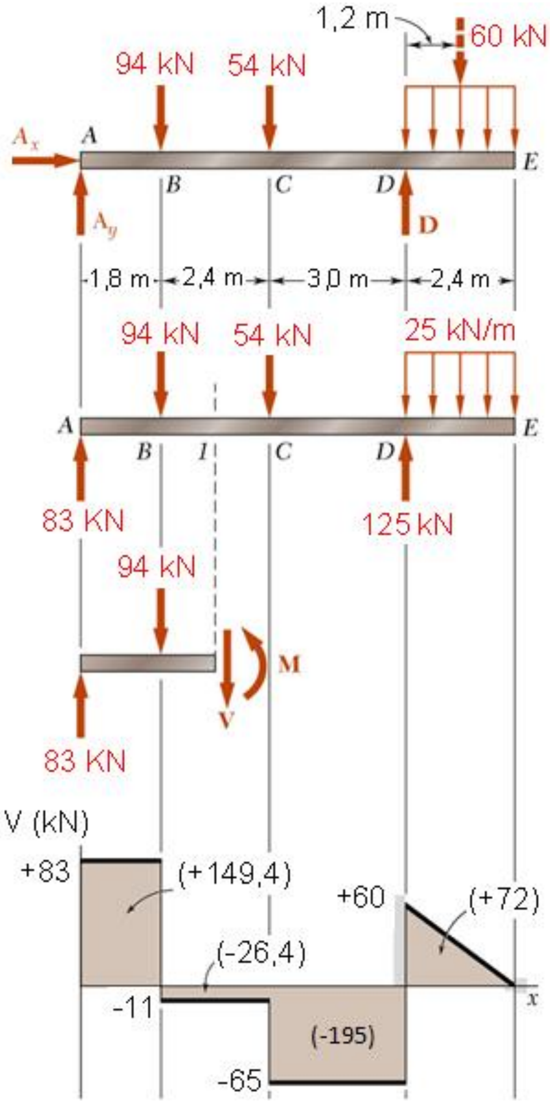


Figura 5.6

Relações entre esforço distribuído, força cortante e momento fletor

Exemplo 5.1: SOLUÇÃO



DCL e reações e A e D:

$$\sum M_A = 0$$

$$0 = D(7{,}2\,\text{m}) - (94\,\text{kN})(1{,}8\,\text{m}) - (54\,\text{kN})(4{,}2\,\text{m}) - (60\,\text{kN})(8{,}4\,\text{m})$$

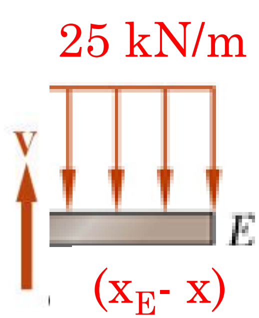
$$D = 125\,\text{kN}$$

$$\sum \text{F}_\text{y} = 0$$

$$0 = A_y - 94\,\text{kN} - 54\,\text{kN} + 125\,\text{kN} - 60\,\text{kN}$$

$$A_y = 83\,\text{kN}$$

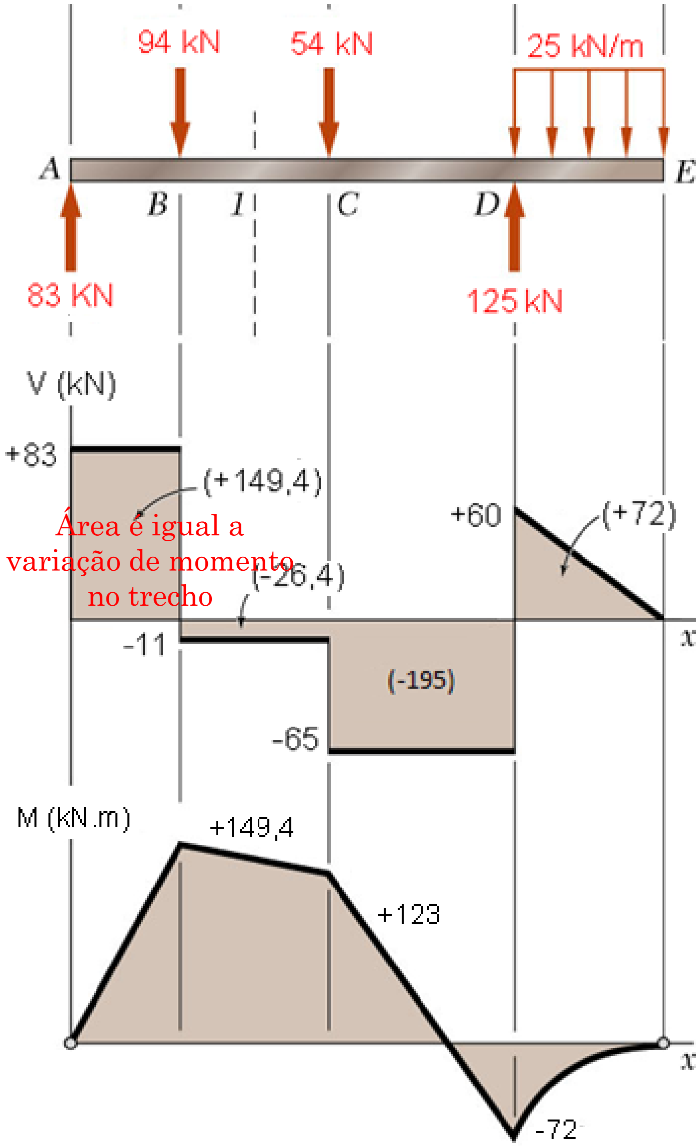
No trecho DE:



$$\boxed{V(x) = 25(x_E - x)}$$

Relações entre força cortante e momento fletor

Exemplo 5.1: SOLUÇÃO



Observações:

- O momento fletor em A e E é igual a zero.

- Variação do momento fletor entre A, B, C e D é linear.

- Como o esforço cortante é linear entre **D e E,** a variação do momento fletor neste trecho é quadrática:

$$M_x(x) = \int V(x)dx = \int [25(x_E - x)]dx = 25(x_E x - \frac{x^2}{2}) + C_2$$

$$em\ x = x_E = 9,6m \Rightarrow M = 0,\ então\ C_2 = -12,5x_E{}^2$$

$$\boxed{M(x) = -12,5(x_E - x)^2\ kN.m}$$

$$V_{máx} = 83kN \text{ e } M_{máx} = 149,4kN.m$$

Relações entre força cortante e momento fletor

Exercício 5.1: Esboce os diagramas de força cortante e momento fletor para a viga em balanço mostrada na figura 5.7.

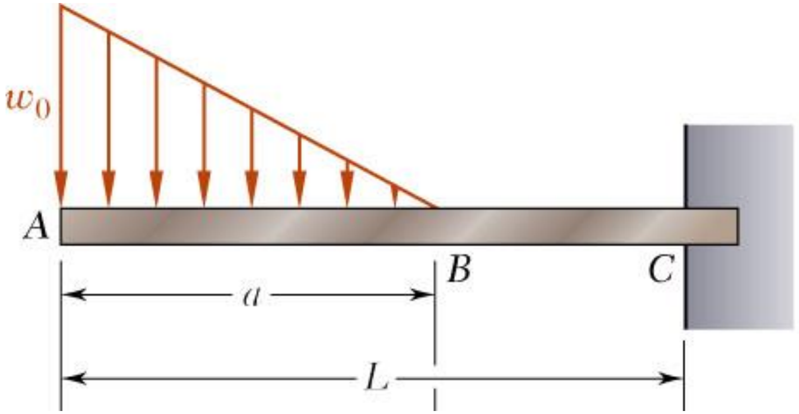
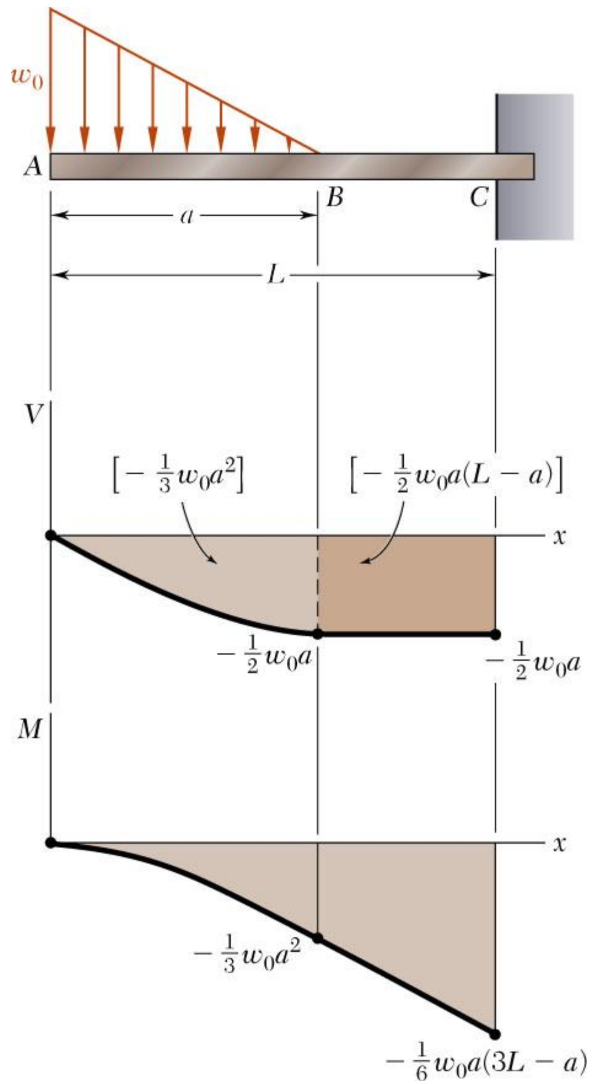


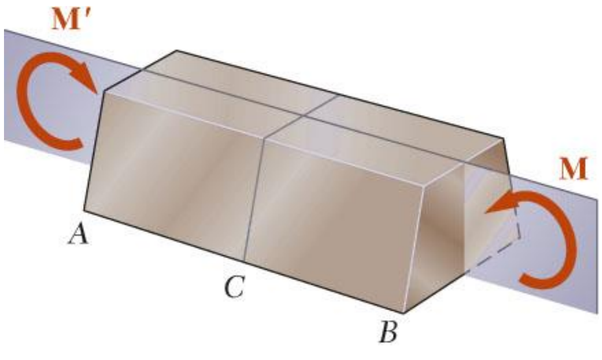
Figura 5.7

RELAÇÕES ENTRE FORÇA CORTANTE E MOMENTO FLETOR

Exercício 5.1: Resposta



Barra sob flexão pura



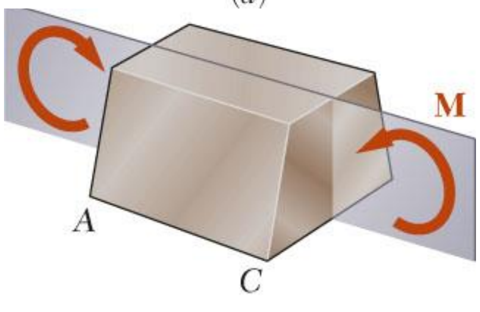


Figura 5.8

A soma das componentes das forças em qualquer direção é zero.

O momento fletor é o mesmo em relação à qualquer eixo perpendicular a seu plano (**valor M**) e é zero em relação a qualquer eixo contido naquele plano.

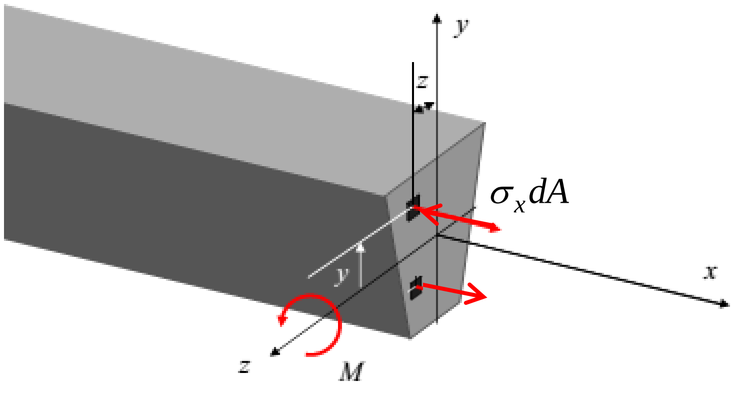


Figura 5.9

$$F_x = \int \sigma_x \, dA = 0 \qquad (5.1)$$

$$M_y = \int z\sigma_x \, dA = 0 \qquad (5.2)$$

$$M_z = \int -y\sigma_x \, dA = M \qquad (5.3)$$

Deformações sob flexão pura

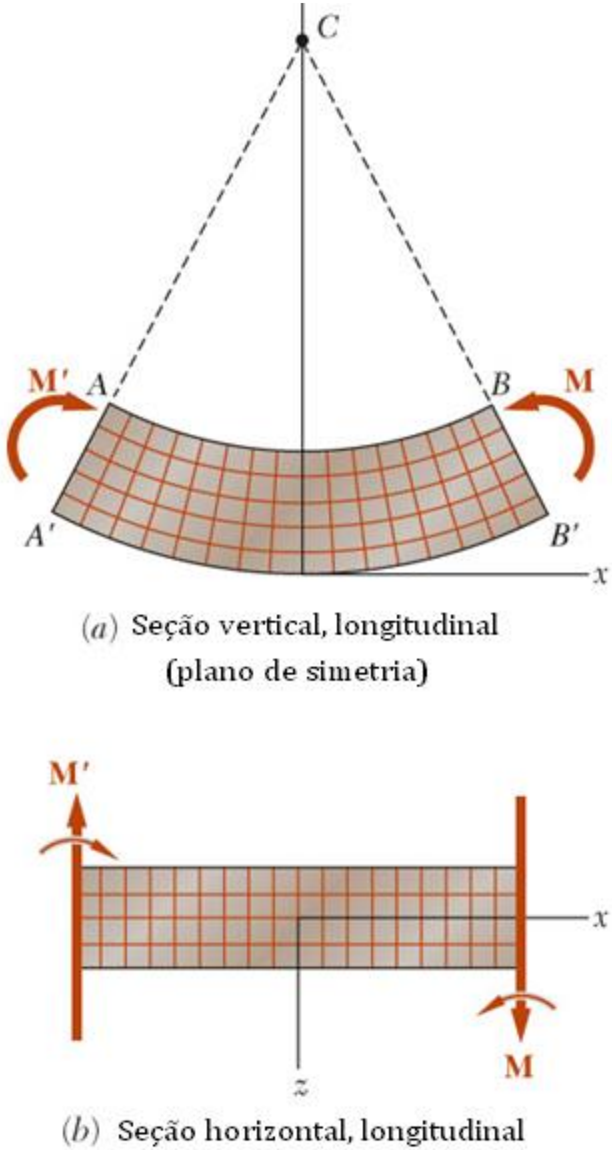
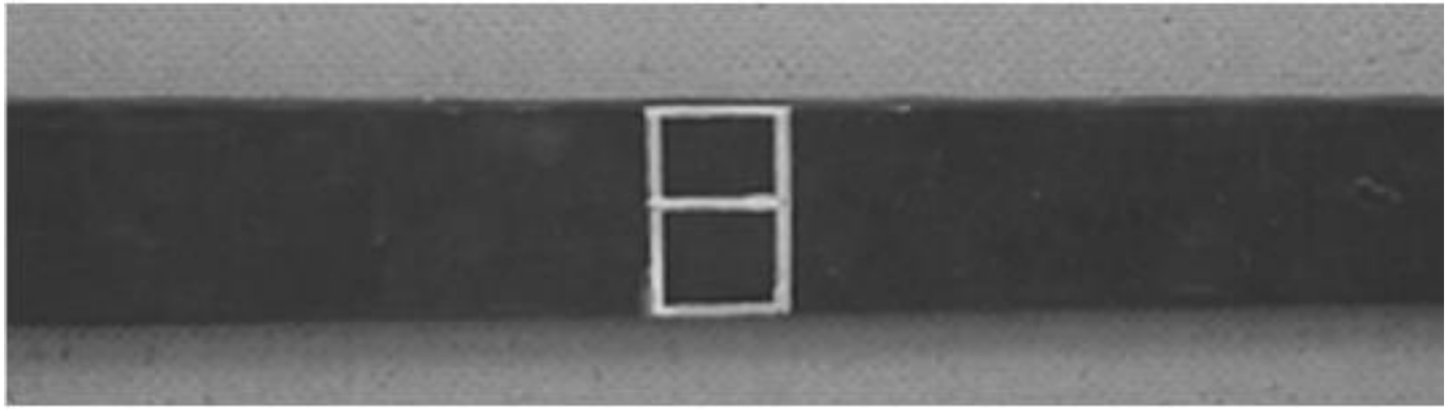


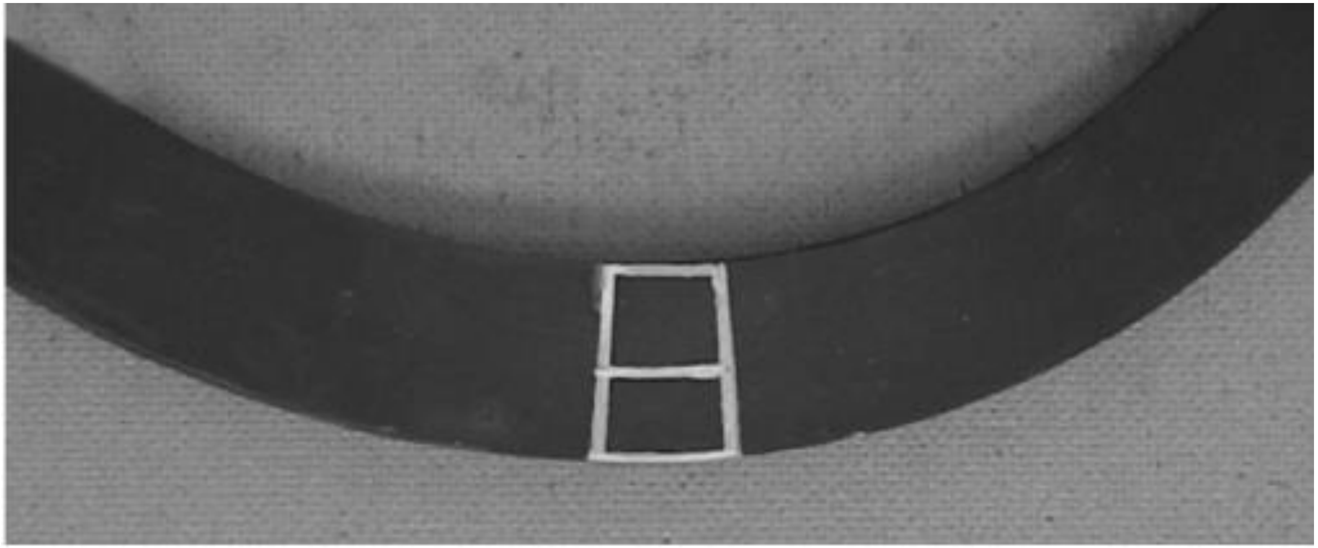
Figura 5.10

Condições e hipóteses:

1. Elemento permanece simétrico. Não há distorções.
2. A linha AB ao longo da qual a face superior da barra intercepta o plano dos momentos fletores terá curvatura constante.
3. Qualquer seção transversal perpendicular ao eixo da barra permanece plana e o plano da seção passa pelo centro C.
4. Quando $M > 0$ a linha AB diminui o comprimento enquanto A'B' aumenta o comprimento.
5. A *superfície (linha) neutra* mantém o comprimento inalterado e é paralela às superfícies superior e inferior.

Deformações sob flexão pura





Deformações sob flexão pura

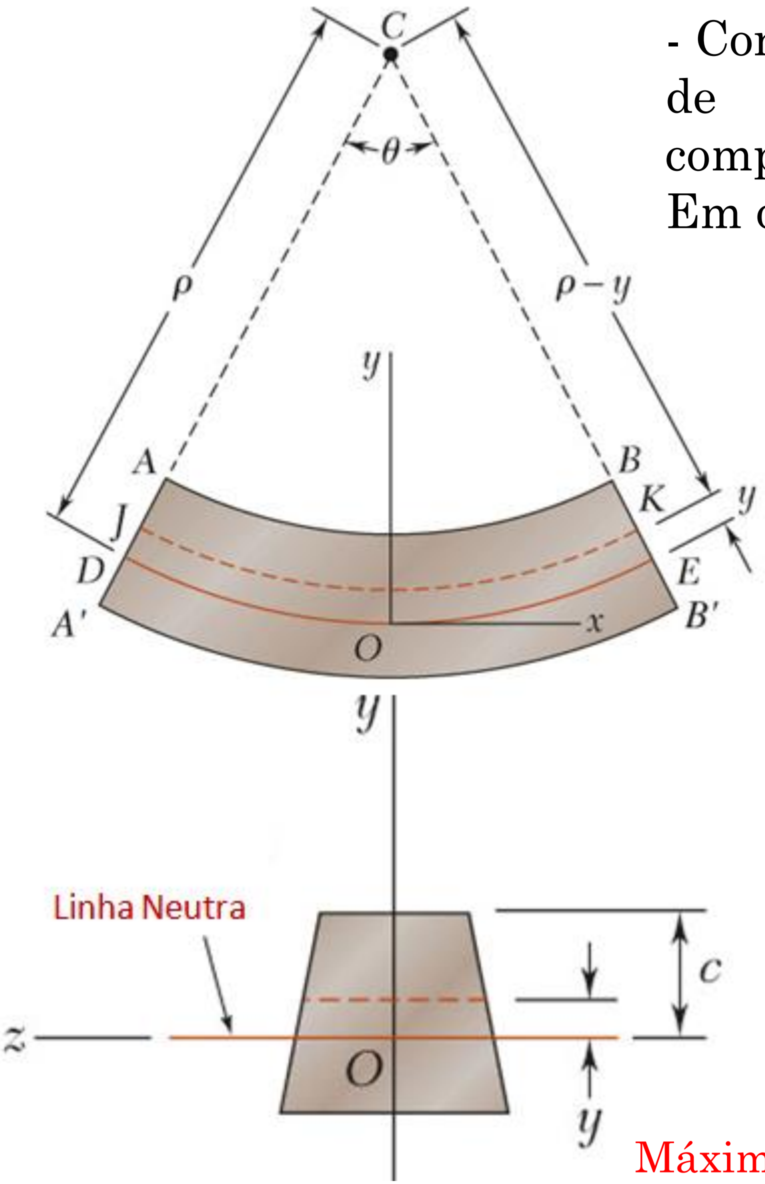


Figura 5.11

- Considerando um segmento de barra prismática de comprimento L. Após a deformação, o comprimento da superfície neutra permanece L. Em outras seções o comprimento varia:

Comprimento do segmento DE (linha neutra):

$$L = \rho\theta \qquad (5.4)$$

Comprimento do segmento JK:

$$L' = (\rho - y)\theta \qquad (5.5)$$

O comprimento inicial de JK era o mesmo de DE, ou seja, sua deformação foi:

$$\delta = L' - L = (\rho - y)\theta - \rho\theta = -y\theta \qquad (5.6)$$

Deformação específica:

$$\varepsilon_x = \frac{\delta}{L} = \frac{-y\cancel{\theta}}{\rho\cancel{\theta}} \Rightarrow \boxed{\varepsilon_x = -\frac{y}{\rho}} \qquad (5.7)$$

Máxima absoluta

$$\varepsilon_{max} = \frac{c}{\rho} \qquad (5.8) \qquad \varepsilon_x = -\frac{y}{c}\varepsilon_{max} \qquad (5.9)$$

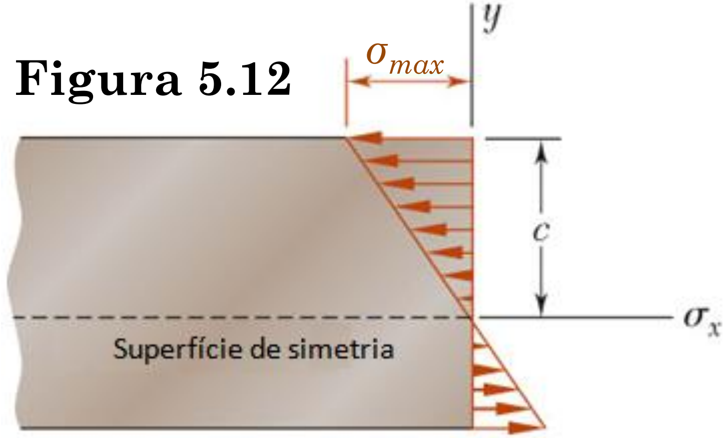
Tensões e Deformações no Regime Elástico

Das relações constitutivas, para um estado uniaxial em um material linear elástico, tem-se

$$\sigma_x = E\varepsilon_x = -\frac{y}{c}E\varepsilon_{\max} \qquad (5.10)$$

$$\sigma_x = -\frac{y}{c}\sigma_{\max} \quad \text{(tensão varia linearmente)}$$

Figura 5.12



Para o equilíbrio estático,

$$F_x = 0 = \int \sigma_x \, dA = \int -\frac{y}{c}\sigma_{max} \, dA$$

$$0 = -\frac{\sigma_{max}}{c}\int y \, dA$$

Momento de primeira ordem da seção transversal em relação à linha neutra é zero, portanto, **no regime elástico, a linha neutra deve passar pelo centróide da seção**.

Para o equilíbrio estático, usando a eq. 5.3, tem-se:

$$M = \int(-y\sigma_x \, dA) = \int(-y)\left(-\frac{y}{c}\sigma_{\max}\right)dA$$

$$M = \frac{\sigma_{\max}}{c}\int y^2 \, dA = \frac{\sigma_{\max} I}{c}$$

Momento de inércia da seção

Substituindo $\sigma_{\max} = -\frac{c}{y}\sigma_x$

$$\boxed{\sigma_x = -\frac{M_z y}{I_z}} \qquad (5.11)$$

Relação Momento - Curvatura

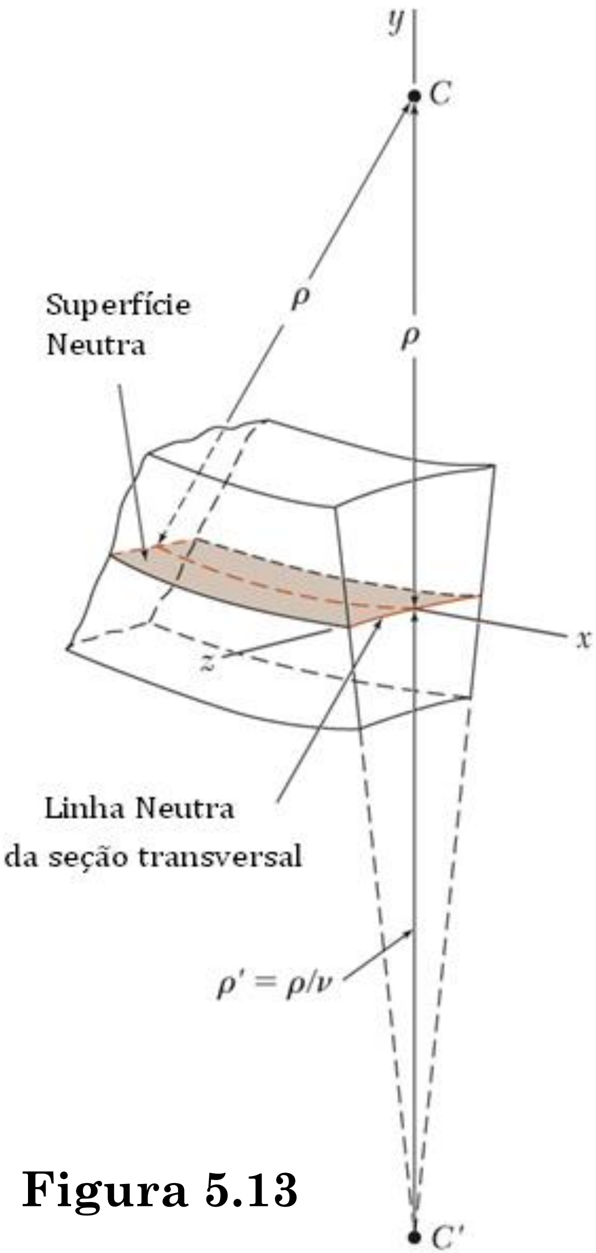


Figura 5.13

Deformação devido ao momento fletor M é quantificada pela curvatura da superfície neutra

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_{\max}}{c} = \frac{\sigma_{\max}}{Ec} = \frac{M¢}{I}\left(\frac{1}{E¢}\right)$$

$$\boxed{\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}} \qquad (5.12)$$

$$\varepsilon_y = -\nu\varepsilon_x = \frac{\nu y}{\rho} \qquad (5.13)$$

$$\varepsilon_z = -\nu\varepsilon_x = \frac{\nu y}{\rho} \qquad (5.14)$$

Expansão acima da superfície (linha) neutra e contração abaixo dela, causa uma curvatura no plano y-z, igual a:

$$\frac{1}{\rho'} = \frac{\nu}{\rho} \qquad (5.15)$$

Tensões e Deformações no Regime Elástico

Exemplo 5.2: A peça de ferro fundido da figura 5.14 é carregada por um momento M = 3 kN.m. Sabendo-se que o módulo de elasticidade E = 165 GPa e desprezando os efeitos dos adoçamentos, determine (a) as tensões máximas de tração e compressão, (b) o raio de curvatura.

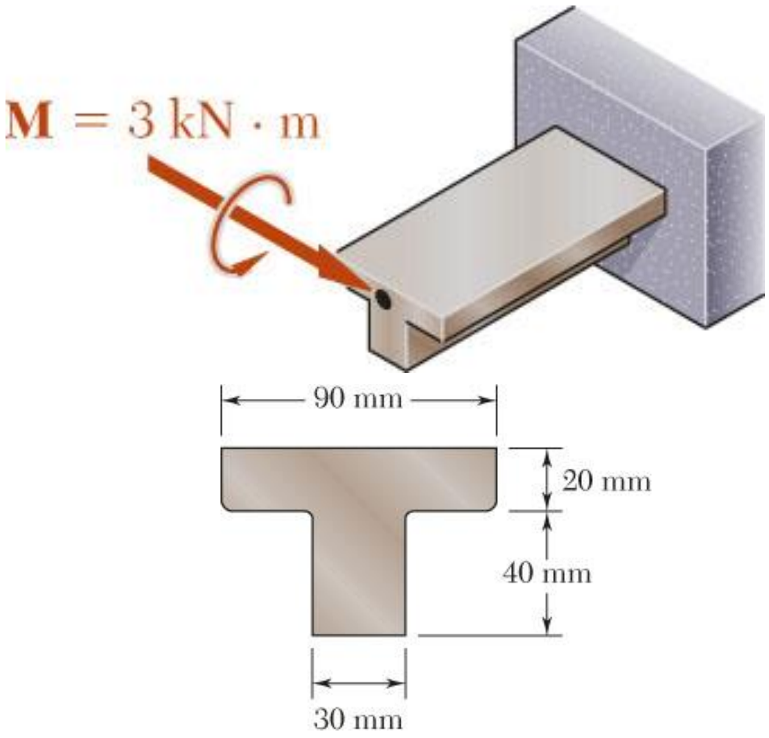


Figura 5.14

Etapas para solução:

- Baseado na geometria da seção transversal, calcular a localização do centróide e momento de inércia.

$$\bar{Y} = \frac{\sum \bar{y}A}{\sum A} \quad (5.16) \qquad I_{x'} = \sum\left(\bar{I} + Ad^2\right) \quad (5.17)$$

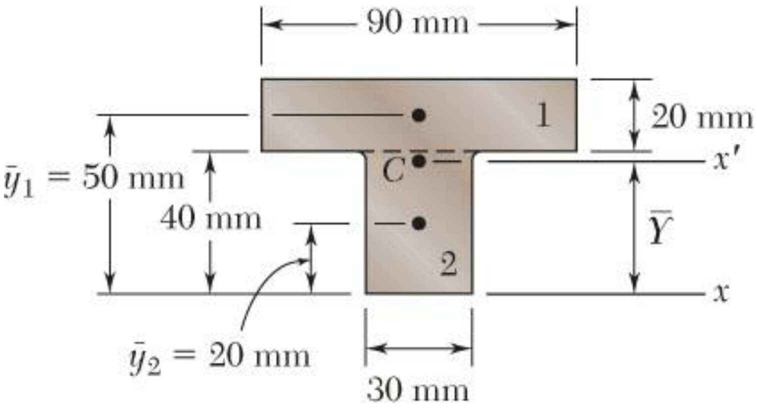
- Aplicar a fórmula da flexão elástica para encontrar as tensões máximas de tração e compressão por

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

- Calcular a curvatura por

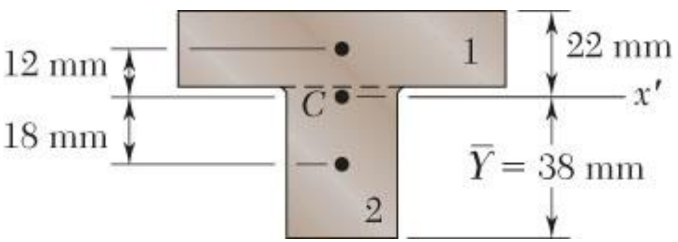
$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

Exemplo 5.2: SOLUÇÃO



De posse das dimensões da seção transversal, calculamos a localização do centróide e momento de inércia.

	Area, mm^2	$\bar{y}$, mm	$\bar{y}A$, mm^3
1	$20\times90=1800$	50	90×10^3
2	$40\times30=1200$	20	24×10^3
	$\sum A=3000$		$\sum\bar{y}A=114\times10^3$



$$\bar{Y}=\frac{\sum\bar{y}A}{\sum A}=\frac{114\times10^3}{3000}=38\,\text{mm}$$

Centróide da seção, por onde passa a linha neutra

Momento de inércia com relação ao centróide da seção ou à linha neutra

$$I_{x'}=\sum\left(\bar{I}+Ad^2\right)=\sum\left(\tfrac{1}{12}bh^3+Ad^2\right)$$

$$=\left(\tfrac{1}{12}90\times20^3+1800\times12^2\right)+\left(\tfrac{1}{12}30\times40^3+1200\times18^2\right)$$

$$I_{x'}=868\times10^3\,\text{mm}^4 \;=\; 868\times10^{-9}\,\text{m}^4$$

Tensões e Deformações no Regime Elástico

Exemplo 5.2: SOLUÇÃO

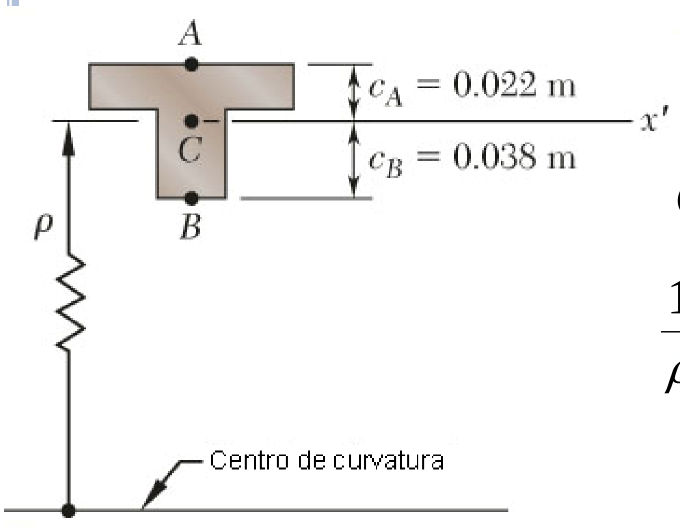
Aplicação a fórmula da flexão elástica para encontrar as tensões máximas de tração e compressão.

Notar que o uso ou não do sinal negativo na fórmula de flexão, depende também do sistema de coordenadas adotado. O mais importante é entender o que acontece fisicamente com relação ao sinal das tensões.

$$\sigma_{max} = \frac{M_x c}{I_{x'}}$$

$$\sigma_A = \frac{M_x c_A}{I_{x'}} = \frac{3\,\mathrm{kN\cdot m} \times 0.022\,\mathrm{m}}{868 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}^4} \qquad \boxed{\sigma_A = +76.0\,\mathrm{MPa}}$$

$$\sigma_B = -\frac{M_x c_B}{I_{x'}} = -\frac{3\,\mathrm{kN\cdot m} \times 0.038\,\mathrm{m}}{868 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}^4} \qquad \boxed{\sigma_B = -131.3\,\mathrm{MPa}}$$



Cálculo da curvatura

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} = \frac{3\,\mathrm{kN\cdot m}}{(165\,\mathrm{GPa})(868 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}^4)}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} \dfrac{1}{\rho} = 20.95 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}^{-1} \\ \rho = 47.7\,\mathrm{m} \end{array}}$$

FLEXÃO EM BARRAS COM DIFERENTES MATERIAIS

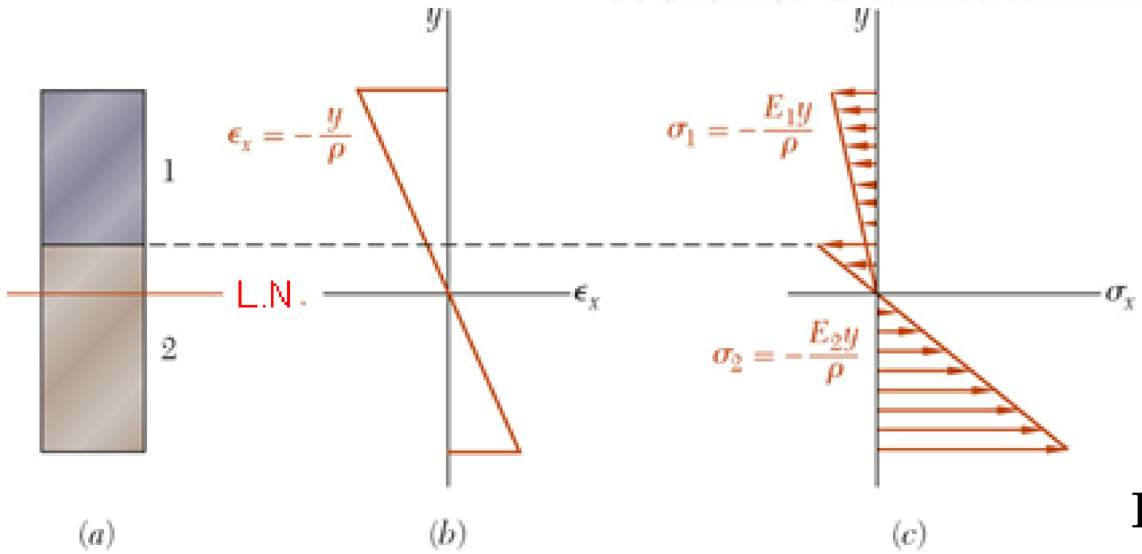


Figura 5.15

Considere uma barra composta por dois materiais E_1 e E_2, sendo $E_2 > E_1$.

A deformação normal ainda varia linearmente ao longo da altura da seção:

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{\rho}$$

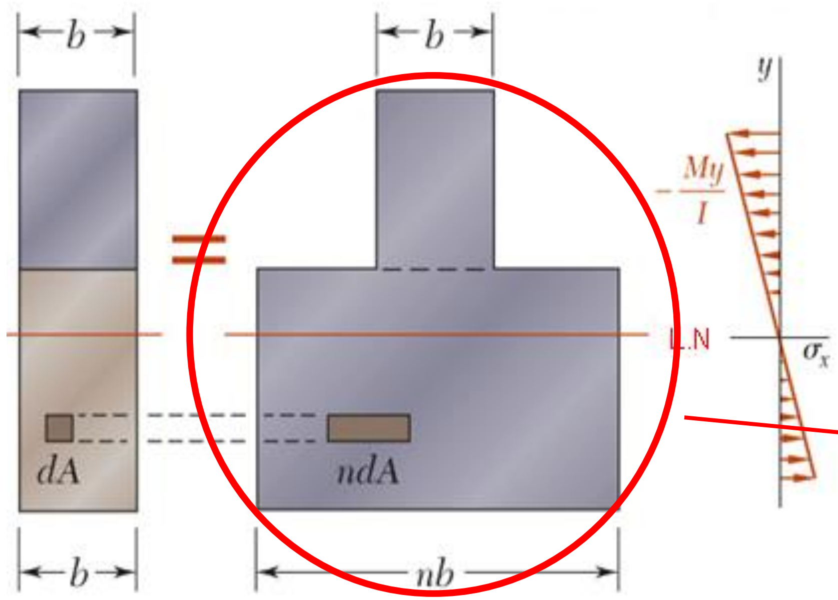
Tensões normais variam linearmente, mas agora haverá dois segmentos de reta distintos:

$$\sigma_1 = E_1 \varepsilon_x = -\frac{E_1 y}{\rho} \qquad \sigma_2 = E_2 \varepsilon_x = -\frac{E_2 y}{\rho} \qquad (5.16)$$

O eixo neutro não passa, necessariamente, pelo centróide da sessão composta.

Flexão em Barras com Diferentes Materiais

Método da transformação de áreas



$$\sigma_x = -\frac{M.y}{I_z^{'}}$$

Momento de inércia da seção transformada

As forças que atuam nos elementos são:

$$dF_1 = \sigma_1 dA = -\frac{E_1 y}{\rho} dA \qquad (5.17)$$

$$dF_2 = \sigma_2 dA = -\frac{E_2 y}{\rho} dA$$

Chamando de n a relação E_2/E_1, tem-se:

$$dF_2 = -\frac{(nE_1)y}{\rho} dA = -\frac{E_1 y}{\rho}(n\, dA) \qquad (5.18)$$

A distribuição de tensões em cada material (fig. 5.15c) :

$$\sigma_1 = \sigma_x = \frac{M.y}{I_z^{'}}; \quad \sigma_2 = n\sigma_x = n.\frac{M.y}{I_z^{'}} \qquad (5.19)$$

Flexão em Barras com Diferentes Materiais

Procedimento de análise (método da transformação de áreas)

1. Define-se um material de referência (de preferência, o de menor módulo de elasticidade) e modificam-se as áreas dos demais materiais (em dimensão na direção paralela à L.N., ou seja, paralela ao eixo em torno do qual o momento é aplicado). A modificação é feita a partir da relação do módulo de elasticidade do material de cada parte com o do material de referência.

2. Obtém-se, então, o momento de inércia *I'* da área total tansformada e calculam-se as tensões atuantes nesta.

3. Por fim, multiplicam-se as tensões calculadas para a área transformada pelas razões dos módulos de elasticidade ($\mathbf{E_2/E_1}$, $\mathbf{E_3/E_1}$, etc...) para as áreas com materiais diferentes do material de referência.

Flexão em Barras com Diferentes Materiais

Exemplo 5.4: A barra mostrada na figura 5.16 é feita da união de partes de aço ($E_{aço}$ = 203GPa) e latão ($E_{latão}$ = 105 GPa). Determinar a tensão máxima no aço e no latão, quando um momento M= 4,5 KN.m estiver aplicado.

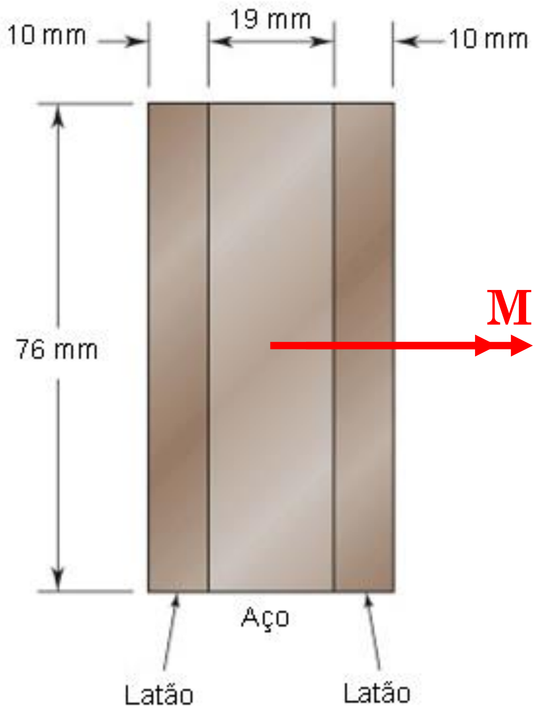
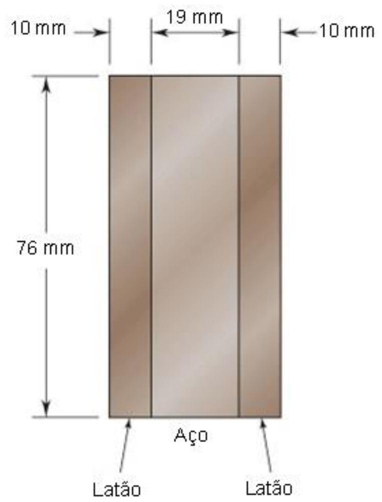


Figura 5.16

Etapas para solução:

- Transformar a barra em uma seção equivalente feita inteiramente de latão (referência).
- Calcular o momento de inércia da seção transversal da barra transformada.
- Calcular a tensão máxima na seção transformada. Sendo que esta já é a tensão máxima correta para a parte de latão da barra.
- Determinar a tensão máxima na parte de aço do barra, multiplicando a tensão máxima para a seção transformada pela razão entre os módulos de elasticidade.

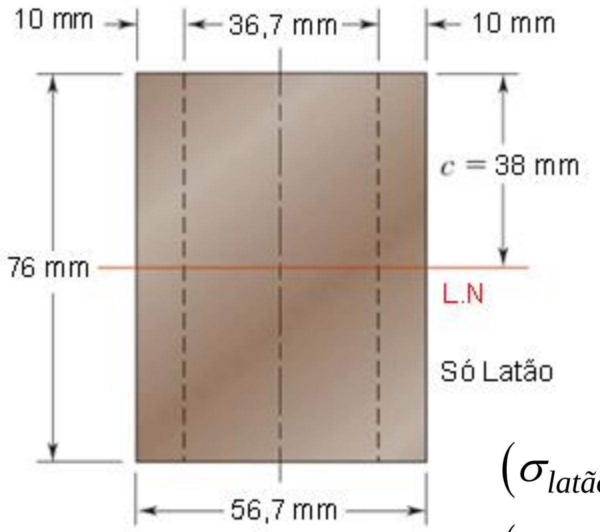
Exemplo 5.4: SOLUÇÃO



Transformação da barra em uma seção equivalente feita inteiramente de latão:

$$n = \frac{E_{aço}}{E_{latão}} = \frac{203\,\text{GPa}}{105\,\text{GPa}} = 1.933$$

$$b_T = 19\,\text{mm}\,.(1.933) = 36{,}7\,\text{mm}$$



Cálculo do momento de inércia da seção trasformada:

$$I = \tfrac{1}{12} b_T h^3 = \tfrac{1}{12}(0{,}0567\text{ m})(0{,}076\text{ m})^3 = 2{,}07.10^{-6}\text{ m}^4$$

Cálculo das tensões máximas:

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} = \frac{4{,}5kN.m.0.038m}{2{,}07.10^{-6}m^4} = 82{,}6MPa$$

$$(\sigma_{latão})_{\max} = \sigma_m$$

$$(\sigma_{aço})_{\max} = n\sigma_m = 1{,}933 \times 82{,}6\text{ MPa}$$

$$\boxed{\begin{aligned}(\sigma_{latão})_{\max} &= 82{,}6\text{ MPa}\\ (\sigma_{aço})_{\max} &= 159{,}4\text{ MPa}\end{aligned}}$$

Flexão Assimétrica

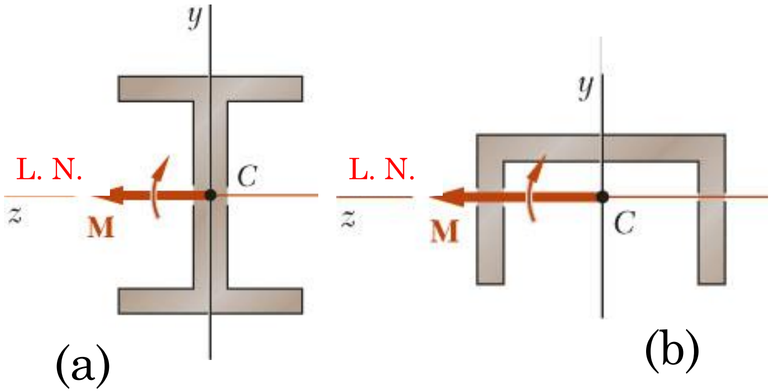


Figura 5.17

Até o momento, a análise da flexão pura tem sido limitada a barras submetidas a momentos fletores atuando em um plano de simetria. Como ocorre nas figuras 5.17.

Barras permanecem simétricas em relação ao plano de simetria se flexionadas nesse plano e a linha neutra coincide com o vetor do momento.

Vamos agora considerar situações em que os momentos fletores não atuam em um plano de simetria da barra ou em plano perpendicular a este (ou porque a barra não possui planos de simetria, ou porque os momentos atuam num plano diferente). <u>Neste caso, não se pode considerar que a linha neutra da seção coincide com a direção do momento.</u>

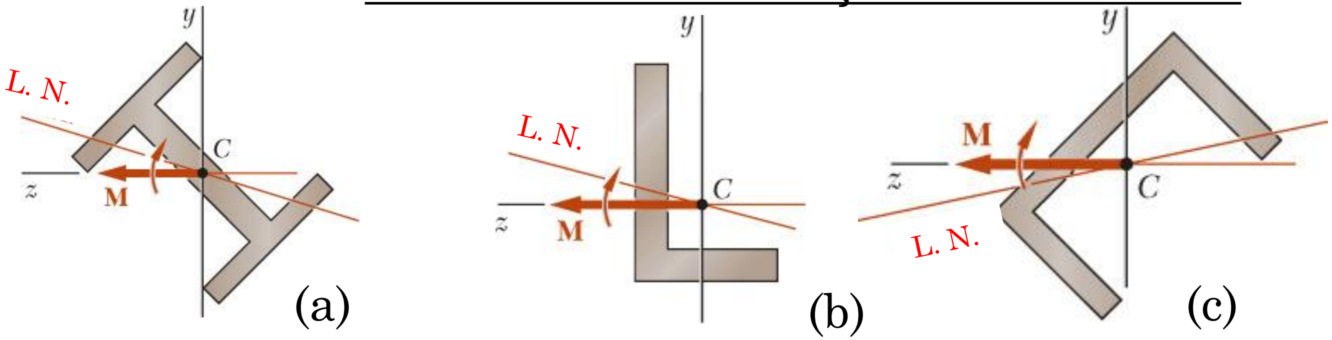


Figura 5.18

Flexão Assimétrica

O Princípio da superposição pode ser usado para determinar tensões no caso mais geral de flexão assimétrica.

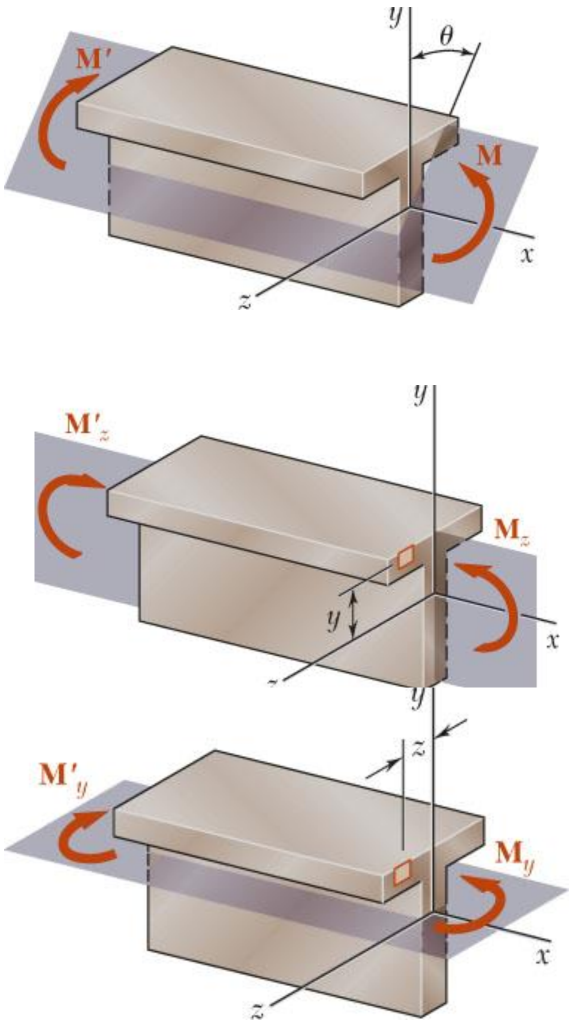


Figura 5.19

Decompondo o vetor momento em relação aos eixos principais (em relação aos quais se tem os momentos de inécia máximo e mínimo), temos:

$$M_z = M\cos\theta \qquad M_y = M sen\theta \quad (5.20)$$

A distribuição das tensões provocadas pelo momento M original é obtida pela superposição das distribuições de tensão:

$$\boxed{\sigma_x = -\frac{M_z y}{I_z} + \frac{M_y z}{I_y}} \quad (5.21)$$

Flexão Assimétrica

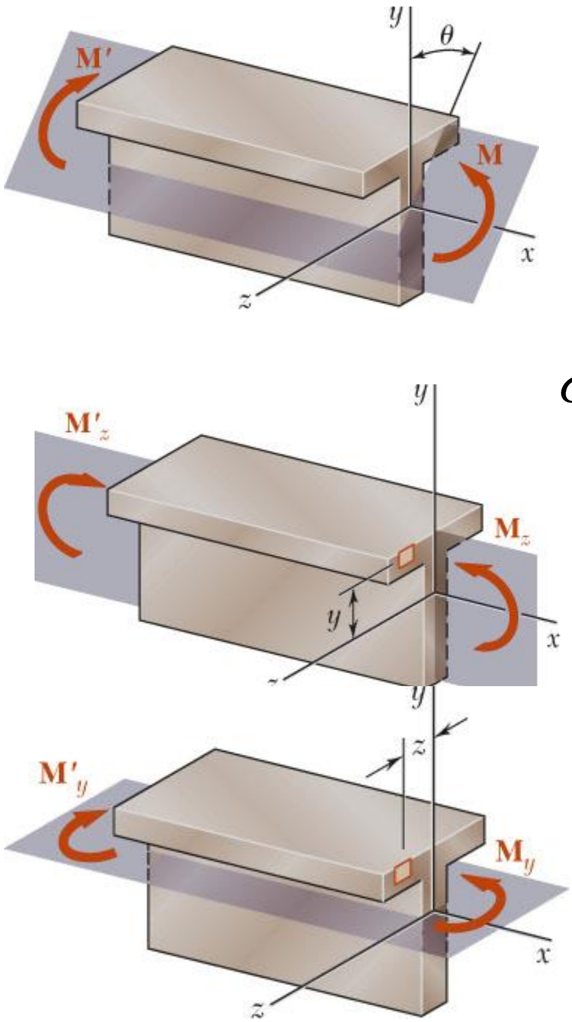


Figura 5.19

$$\boxed{\sigma_x = -\frac{M_z y}{I_z} + \frac{M_y z}{I_y}}$$

Ao longo do eixo neutro, tem-se:

$$\sigma_x = 0 = -\frac{M_z y}{I_z} + \frac{M_y z}{I_y} = -\frac{(M\cos\theta)\,y}{I_z} + \frac{(M sen\theta)\,z}{I_y}$$

$$\frac{y}{z} = \frac{I_z}{I_y}\tan\theta = \tan\phi$$

$$\boxed{\phi = \tan^{-1}\left(\frac{I_z}{I_y}\tan\theta\right)}$$

(5.22)

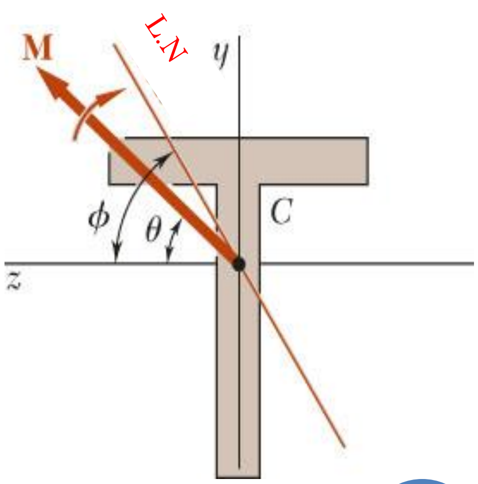


Figura 5.20

Inclinação da linha neutra em relação a z

Flexão Assimétrica

Exemplo 5.5: Um momento de 180 N.m é aplicado a uma viga de madeira retangular em um plano que forma um ângulo de 30 graus com a vertical (figura 5.21). Determine (a) a tensão máxima na viga, (b) o ângulo que o eixo neutro forma com o plano horizontal.

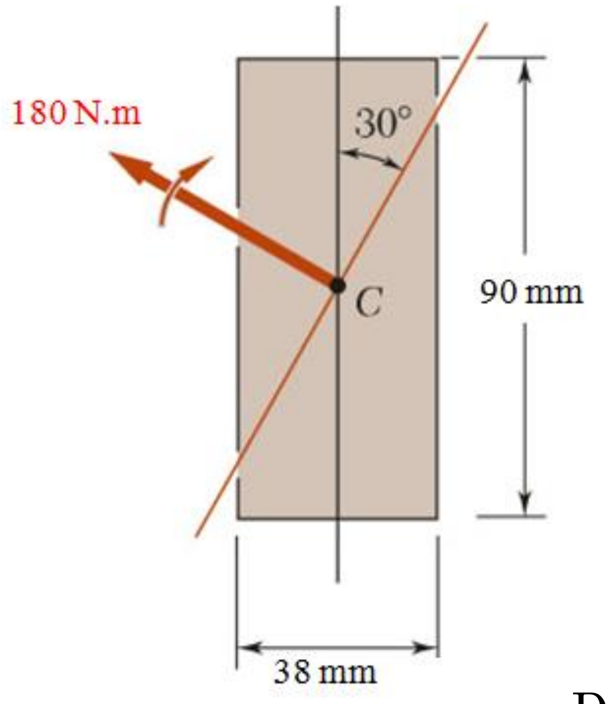


Figura 5.21

Etapas para solução:

- Decompor o vetor momento em componentes ao longo dos eixos principais e calcular as tensões máximas correspondentes.

$$M_z = M\cos\theta \qquad M_y = M sen\theta$$

- Determinar a máxima tensão de tração provocada pela carga combinada.

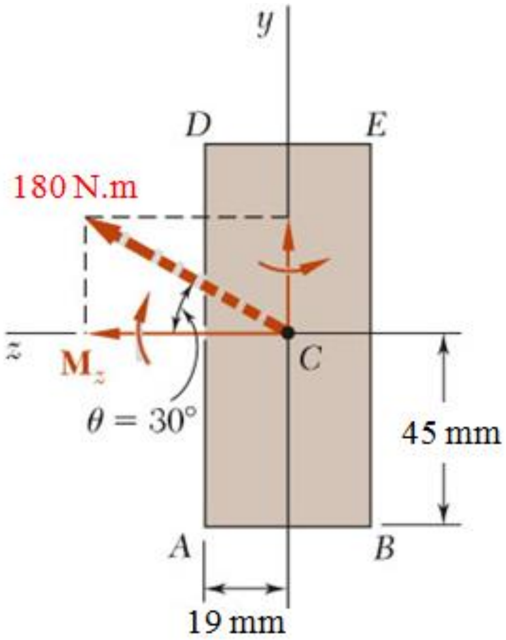
$$\sigma_x = -\frac{M_z y}{I_z} + \frac{M_y z}{I_y}$$

- Determinar o ângulo da superfície neutra com o plano horizontal.

$$\tan\phi = \frac{y}{z} = \frac{I_z}{I_y}\tan\theta$$

Flexão Assimétrica

Exemplo 5.5: SOLUÇÃO



Decomposição do vetor momento e cálculo das tensões máximas correspondentes aos componentes:

$$M_z = (180\,N\cdot m)\cos 30 = 156\,N\cdot m$$

$$M_y = (180\,N\cdot m)\,\mathrm{sen}\,30 = 90\,N\cdot m$$

$$I_z = \tfrac{1}{12}(0,038\,m)(0,090\,m)^3 = 2,31.10^{-6}\,m^4$$

$$I_y = \tfrac{1}{12}(0,090\,m)(0,038\,m)^3 = 0,41.10^{-6}\,m^4$$

A maior tensão de tração provocada por M_z ocorre ao longo de AB:

$$\sigma_1 = \frac{-M_z y}{I_z} = \frac{(-156\,N\cdot m)(-0,045\,m)}{2,31.10^{-6}\,m^4} = 3,03\,MPa$$

A maior tensão de tração provocada por M_y ocorre ao longo de AD:

$$\sigma_2 = \frac{M_y z}{I_y} = \frac{(90\,N\cdot m)(0,019\,m)}{0,41.10^{-6}\,m^4} = 4,17\,MPa$$

A maior tensão de tração provocada pela carga combinada ocorre em A.

$$\boxed{\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 = 7,2\,MPa}$$

Flexão Assimétrica

Exemplo 5.5: SOLUÇÃO

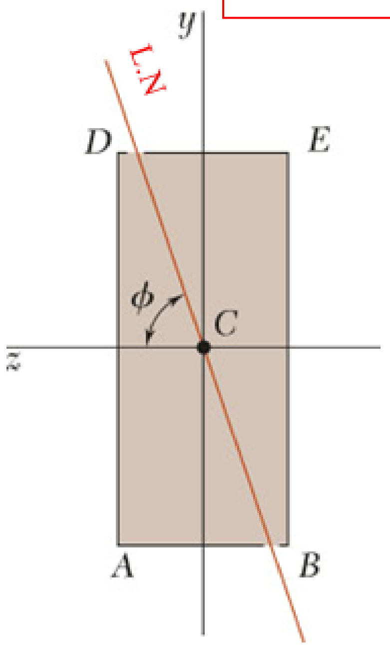
Ângulo do eixo neutro.

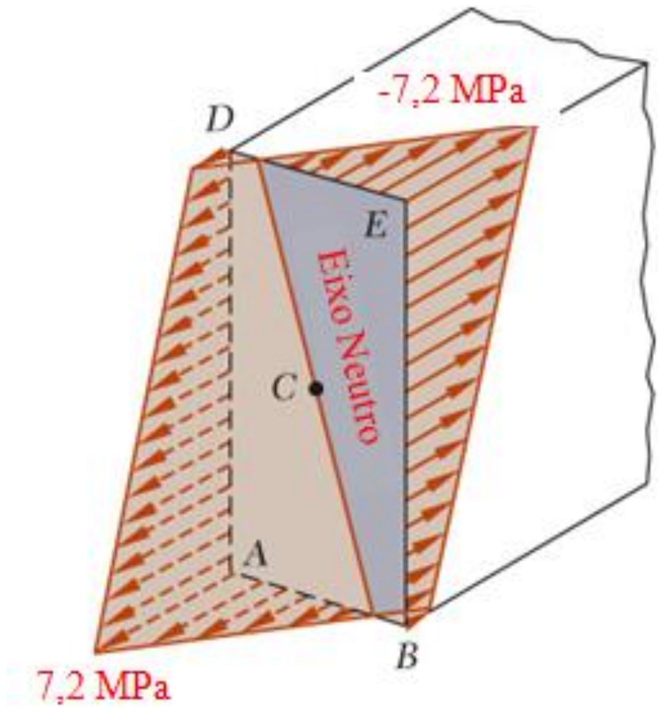
$$\tan\phi = \frac{I_z}{I_y}\tan\theta = \frac{2,31.10^{-6}\,m^4}{0,41.10^{-6}\,m^4}\tan 30^o$$

$$\tan\phi = 3,25$$

$$\boxed{\phi = 72.9^o}$$

A maior tensão de tração provocada pela carga combinada ocorre em A. E a maior de compressão ocorre em E.





EXERCÍCIOS GERAIS

EXERCÍCIOS GERAIS

Exercício 5.2: Duas forças transversais são aplicadas à viga com a seção transversal mostrada na figura 5.22. Determine as tensões máximas de tração e compressão na parte BC da viga.

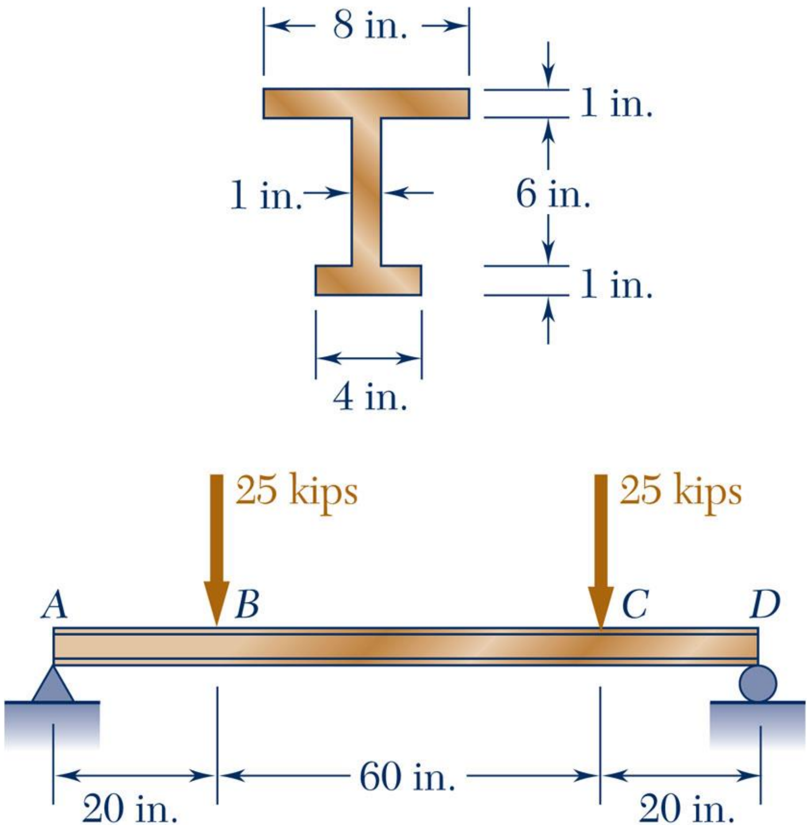
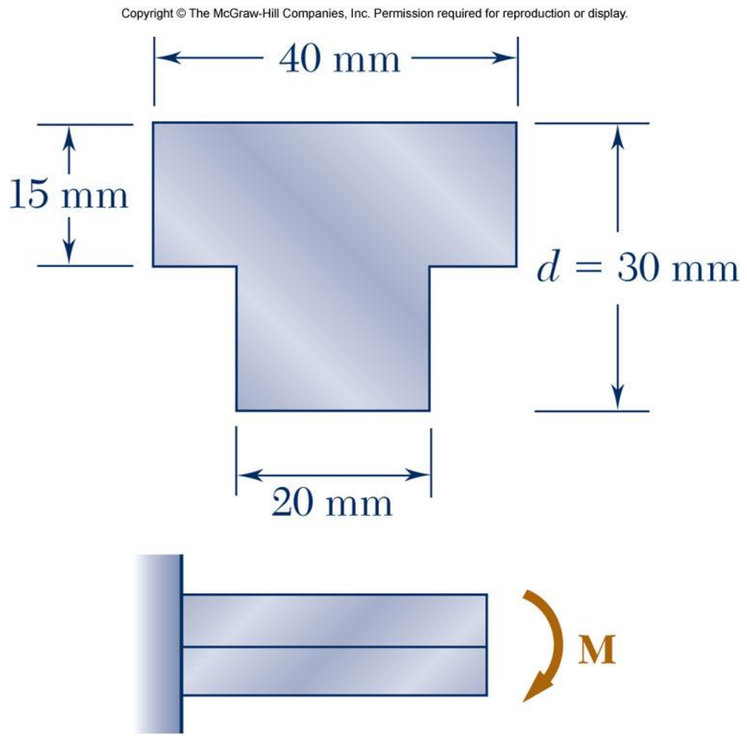


Figura 5.22

EXERCÍCIOS GERAIS

Exercício 5.3: A viga mostrada na figura 5.23 é feita de um tipo de náilon para a qual a tensão admissível é de 24 MPa em tração e de 30 MPa em compressão. Determine o maior momento fletor M que pode ser aplicado à viga.



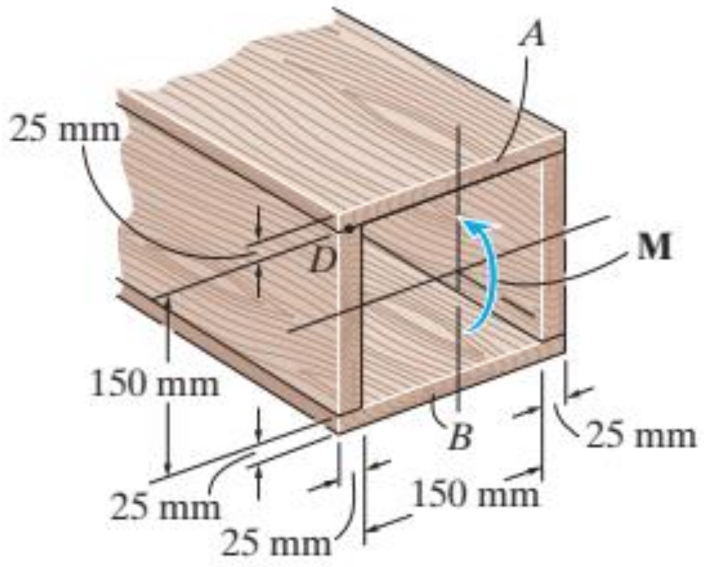
Resposta:

$M = 106,1 N.m$

Figura 5.23

EXERCÍCIOS GERAIS

Exercício 5.4: Determine o momento M que deve ser aplicado à viga a fim de criar um esforço de compressão de σ_D = 30 MPa no ponto D.



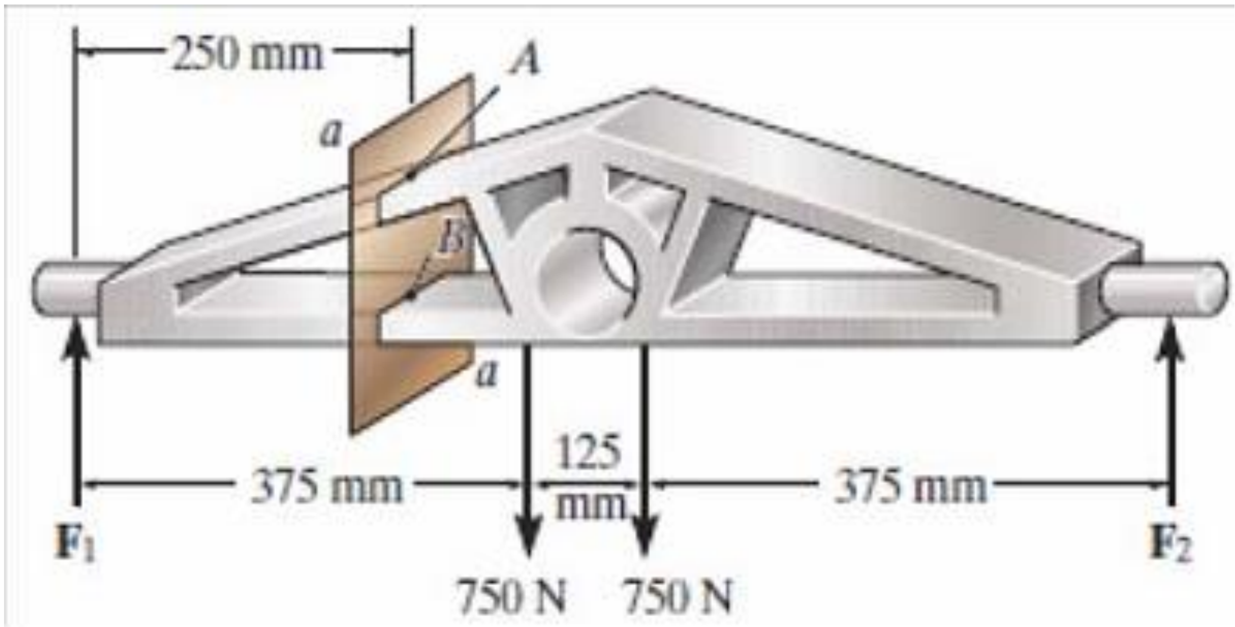
Resposta:

$M = 36,45 kN.m$

Figura 5.24

EXERCÍCIOS GERAIS

Exercício 5.5: A peça fundida cônica suporta a carga mostrada. Determine a tensão de flexão nos pontos A e B. A seção transversal na seção a-a é dada na figura.



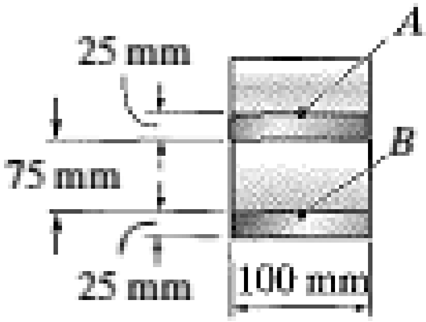


Figura 5.25

EXERCÍCIOS GERAIS

Exercício 5.6: O eixo tubular deve ter seção transversal tal que seus diâmetros interno e externo estejam na proporção $d_i = 0{,}8d_e$. Determinar essas dimensões se a tensão de flexão admissível for $\sigma_{adm} = 155$ MPa.

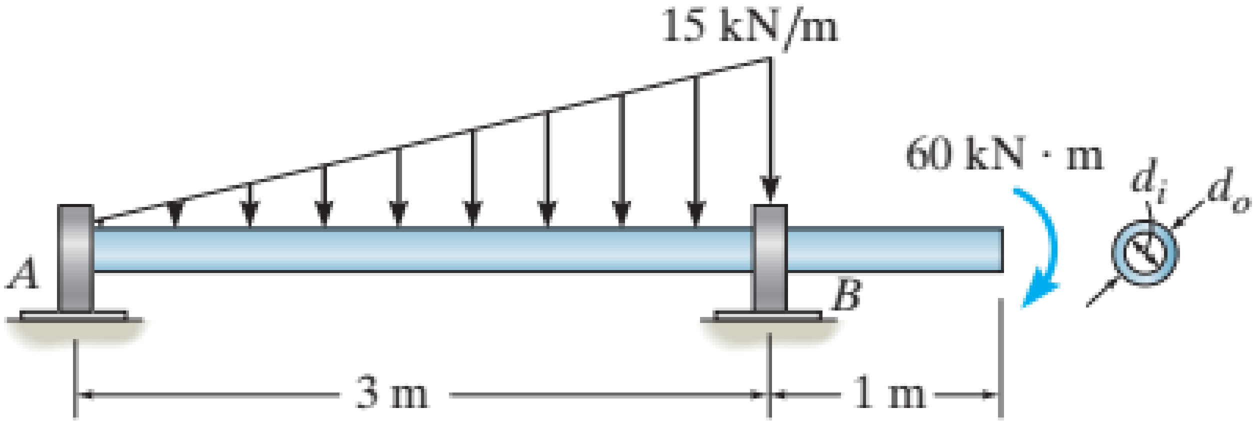


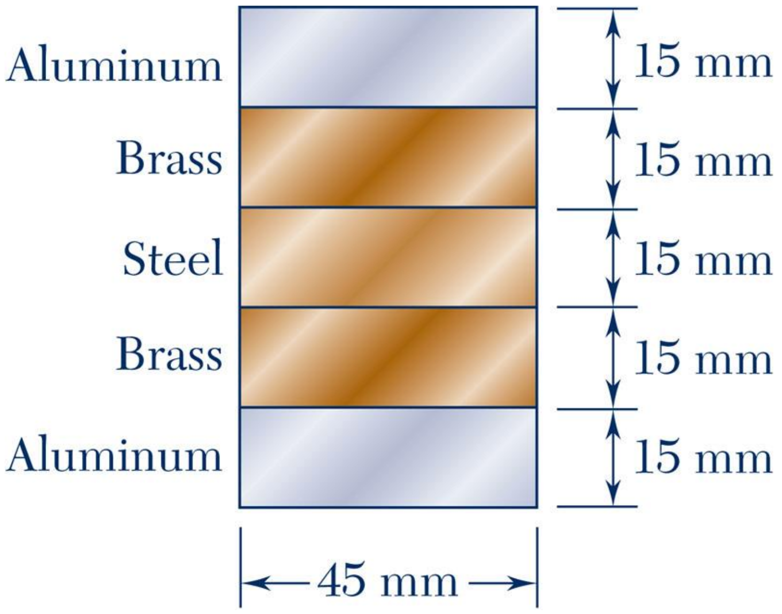
Figura 5.26

Resposta:

$d_e = 188{,}3mm$

EXERCÍCIOS GERAIS

Exercício 5.7: Cinco tiras de metal, cada uma com 15mm x 45 mm de seção transversal, são unidas para formar uma viga composta, mostrada na figura 5.27. Os módulos de elasticidade são de: 210 GPa para o aço, 105 GPa para o latão e 70 GPa para o alumínio. Sabendo que a viga é flexionada em torno do eixo horizontal por um momento de 1400 N.m, determine: **(a)** a tensão máxima em cada um dos três materiais e **(b)** o raio de curvatura da viga composta.



Resposta:

$\sigma_{Al} = 29,6 MPa$

$\sigma_{latão} = 26,7 MPa$

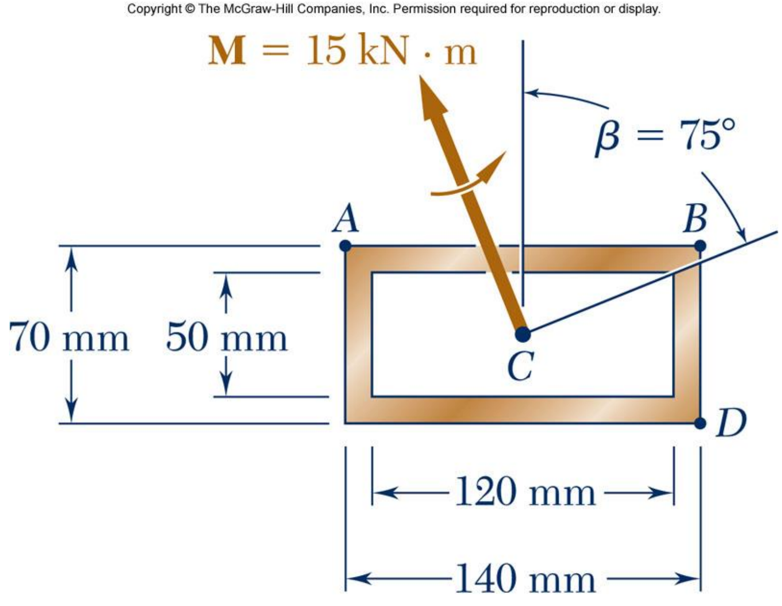
$\sigma_{aço} = 17,8 MPa$

$\rho = 88,6 m$

Figura 5.27

EXERCÍCIOS GERAIS

Exercício 5.8: Determinar a tensão atuante nos pontos A, B e D para a viga mostrada na figura.



Resposta:

$\sigma_{xA} = 65,6 MPa$

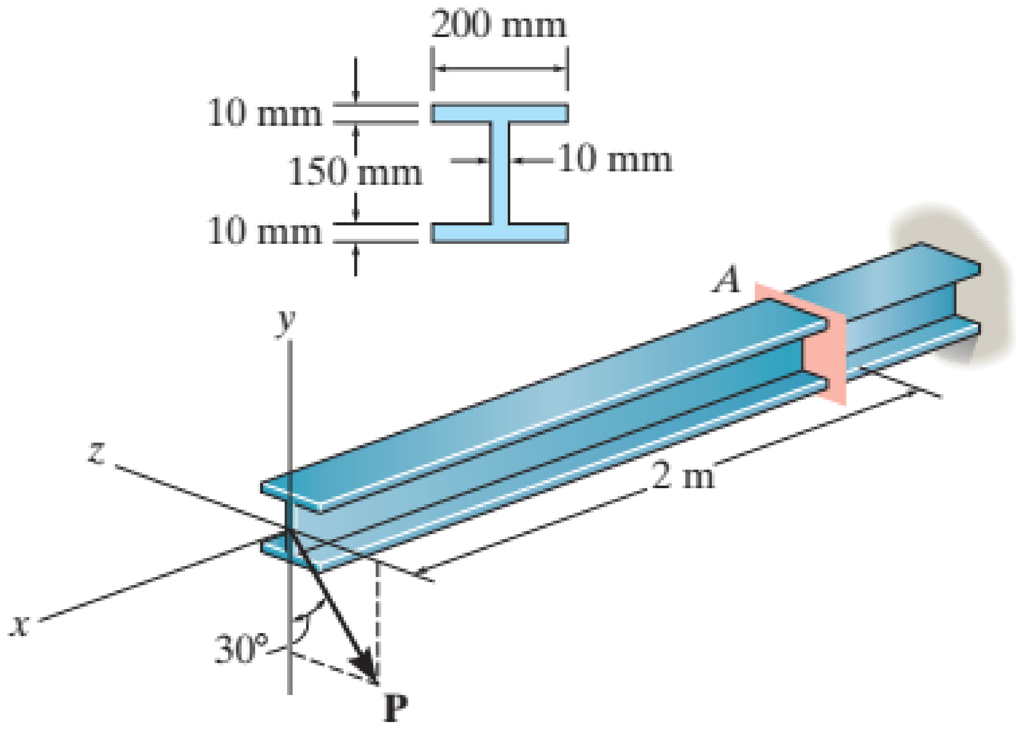
$\sigma_{xB} = -164,5 MPa$

$\sigma_{xD} = -65,6 MPa$

Figura 5.28

EXERCÍCIOS GERAIS

Exercício 5.9: A viga de aço com perfil em duplo T e em balanço está sujeita à força concentrada P = 600 N em sua extremidade. Determine a tensão de flexão máxima desenvolvida na seção A.



Resposta:

$\sigma_{T\,max} = 7{,}6 MPa$

$\sigma_{C\,max} = -7{,}6 MPa$

Figura 5.29