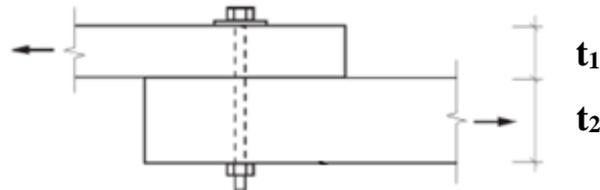


Tipo 1

1) Calcular a resistência ao corte do parafuso ϕ 10 mm em aço A307 ($f_{yk}=240$ MPa) na ligação de Angelim-ferro de 2ª categoria, de acordo com a NBR 7190 para as seguintes condições: carga de permanente duração e classe 2 de umidade. Adote $t_1=55$ mm, $t_2>t_1$.



$$f_{ed}=19,08 \text{ MPa}$$

$$R_d=3,23 \text{ kN}$$

$$\frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 0,4 f_{ed} d t$$

$$\frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}$$

Solução:

a) Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,60 \times 1,0 \times 0,8 \times \frac{0,7 \times 79,50}{1,4} = 19,08 \text{ MPa}$$

b) Resistência de uma seção de corte do parafuso ($f_{yk} = 240$ MPa)

$$\frac{t}{d} = \frac{55}{10,0} = 5,50$$

$$1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} = 1,25 \sqrt{\frac{240/1,1}{19,08}} = 4,23$$

$$R_d = 0,4 f_{ed} d t = 0,4 \times 19,08 \times 10,0 \times 55 = 4198 \text{ N}$$

$$R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}} = 0,5 \times 10,0^2 \times \sqrt{19,08 \times \frac{240}{1,1}} = 3226 \text{ N}$$

$$\frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \text{ então temos Mecanismo IV}$$

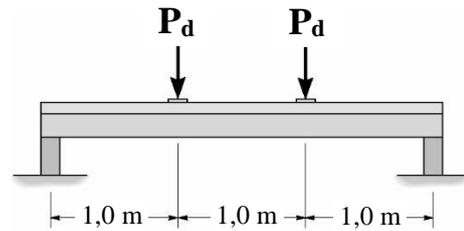
Resposta: A resistência ao corte do parafuso ϕ 10 mm em aço A307 é 3,23 kN.

2) Determinar a carga concentrada máxima de projeto, P_d , na viga de seção transversal quadrada de lado 15 cm vista figura abaixo, em Ipê de 2ª categoria, classe de umidade 2. Considere carga de longa duração.

$$f_{cd} = 21,28 \text{ MPa}$$

$$P_d = 11,97 \text{ kN}$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_{cd}$$



Solução:

A) Propriedades Mecânicas

$$k_{mod} = 0,70 \times 1,0 \times 0,80 = 0,56$$

$$f_c = 76,0 \text{ MPa} \quad \text{para Ipê}$$

$$\frac{f_{ck}}{f_c} = 0,70 \Rightarrow f_{ck} = 0,70 f_c$$

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,56 \times \frac{0,70 \times 76,0}{1,4} = 21,28 \text{ MPa}$$

B) Propriedade Geométrica W – Módulo de resistência à flexão

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{(15,0 \text{ cm})(15 \text{ cm})^2}{6} = 562,5 \text{ cm}^3$$

C) Cálculo de M_d para viga isostática

O momento máximo ocorre na região central (constante entre as forças P_d):

$$M_{max} = P_d(100 \text{ cm})$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{M_{max}}{W} \leq f_{cd}$$

$$\frac{P_d(100 \text{ cm})}{562,5 \text{ cm}^3} \leq 2,128 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow P_d \leq 11,97 \text{ kN}$$

Resposta: A carga concentrada máxima de projeto é 11,97 kN.

3) Para uma obra em estrutura de madeira será utilizada uma espécie da qual não se conhecem as propriedades mecânicas. Para isto foram realizados ensaios de amostras sem defeitos de um lote de madeira cujo grau de umidade médio é igual a 14%. Foram realizados oito ensaios de flexão e determinados os valores abaixo relacionados para a tensão resistente f_M . Determinar o valor característico da tensão resistente de cálculo f_{cd} referido à condição padrão de umidade.

Amostra i	1	2	3	4	5	6	7	8
f_{Mi} (MPa)	64	75	63	73	68	77	72	60

O local de construção tem umidade relativa do ar média igual a 74%. A madeira é serrada de 2ª categoria e deve ser verificada de acordo com a norma NBR 7190 para cargas de média duração.

$$f_m = \frac{\sum f_i}{n} \quad i = 1, n \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_m - f_i)^2}{n}} \quad i = 1, n \quad f_k = f_m - 1,645\sigma$$

$$f_k = 59,48 \text{ MPa (U=14\%)}$$

$$f_{cd} = 22,19 \text{ MPa (U=12\%)}$$

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(U - 12)}{100} \right]$$

Solução:

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(14 - 12)}{100} \right] = f_U \times 1,06$$

$$k_{mod} = 0,80 \times 1,0 \times 0,8 = 0,64$$

$$f_{Mm} = \frac{\sum f_{Mi}}{n} = \frac{552}{8} = 69$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_{Mm} - f_{Mi})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (69 - f_{Mi})^2}{8}} = \sqrt{\frac{268,00}{8}} = 5,788 \text{ MPa}$$

$$f_{Mk} = f_{Mm} - 1,645\sigma = 69 - 1,645 \times 5,788 = 59,48 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = \left(0,64 \times \frac{0,77 \times 59,48}{1,4} \right) \times 1,06 = 22,19 \text{ MPa}$$

Resposta: O valor característico da tensão resistente de cálculo referido à condição padrão de umidade é $f_{cd} = 22,19 \text{ MPa}$.

4) Para uma coluna (7 cm × 11 cm) de Canafistula de 2ª categoria, classe de umidade 2, sujeito à compressão simples, calcular a carga máxima de projeto N_d para a peça com $L_{fl} = 155$ cm. Considere carga de longa duração.

$$N_{cr} = 105,70 \text{ kN}$$

$$N_d = 57,10 \text{ kN}$$

$$40 < \lambda \leq 80 \Rightarrow \sigma_{td} + \sigma_{Md} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{N_d}{A} + \frac{M_d}{W} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{N_d}{A f_{cd}} + \frac{N_d e}{W f_{cd}} \left(\frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} \right) \leq 1,0$$

$$e = \frac{L_{fl}}{300} \quad I_x = \frac{b h^3}{12} \quad W = \frac{b h^2}{6} \quad r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{c,ef} I_x}{L_{fl}^2} \quad \lambda = \frac{L_{fl}}{r}$$

Solução:

A) Propriedades Mecânicas

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,70 \times 1,0 \times 0,80 \times \frac{0,70 \times 52,0}{1,4} = 14,56 \text{ MPa}$$

$$E_{c,ef} = k_{mod} E_c = 0,56 \times 14613,0 = 8183,28 \text{ MPa}$$

B) Propriedades Geométricas

$$A = b h = 11,0 \text{ cm} \times 7,0 \text{ cm} = 77,0 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{11,0 \text{ cm} \times (7,0 \text{ cm})^3}{12} = 314,4 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{11,0 \text{ cm} \times (7,0 \text{ cm})^2}{6} = 89,8 \text{ cm}^3$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{b h}} = \frac{7,0 \text{ cm}}{\sqrt{12}} = 2,021 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{155 \text{ cm}}{2,021 \text{ cm}} = 76,7$$

C) Cálculo de N_d para coluna medianamente esbelta

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 818,328 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 314,4 \text{ cm}^4}{(155 \text{ cm})^2} = 105,6986 \text{ kN}$$

$$e = \frac{155 \text{ cm}}{300} = 0,517 \text{ cm}$$

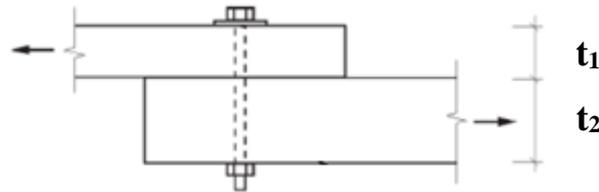
$$\frac{N_d}{77,0 \times 1,456} + \frac{N_d \times 0,517}{89,8 \times 1,456} \left(\frac{105,6986}{105,6986 - N_d} \right) \leq 1,0$$

$$N_d^2 - 264,620 N_d + 11850,1 = 0 \Rightarrow N_d = 57,10 \text{ kN}$$

Resposta: A carga máxima de projeto N_d para a coluna é 57,10 kN.

Tipo 2

1) Calcular a resistência ao corte do parafuso ϕ 10 mm em aço A307 ($f_{yk}=240$ MPa) na ligação de Branquilha de 2ª categoria, de acordo com a NBR 7190 para as seguintes condições: carga de permanente duração e classe 2 de umidade. Adote $t_1=53$ mm, $t_2>t_1$.



$$f_{ed}=11,54 \text{ MPa}$$

$$R_d=2,45 \text{ kN}$$

$$\frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 0,4 f_{ed} d t$$

$$\frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}$$

Solução:

a) Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,60 \times 1,0 \times 0,8 \times \frac{0,7 \times 48,10}{1,4} = 11,54 \text{ MPa}$$

b) Resistência de uma seção de corte do parafuso ($f_{yk} = 240$ MPa)

$$\frac{t}{d} = \frac{53}{10,0} = 5,30$$

$$1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} = 1,25 \sqrt{\frac{240/1,1}{11,54}} = 5,43$$

$$R_d = 0,4 f_{ed} d t = 0,4 \times 11,54 \times 10,0 \times 53 = 2447 \text{ N}$$

$$R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}} = 0,5 \times 10,0^2 \times \sqrt{11,54 \times \frac{240}{1,1}} = 2509 \text{ N}$$

$$\frac{t}{d} < 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \text{ então temos Mecanismo II}$$

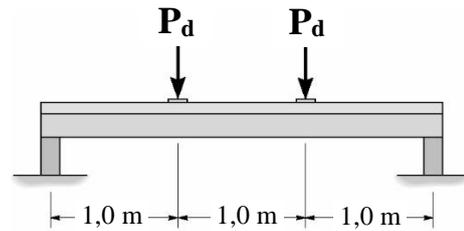
Resposta: A resistência ao corte do parafuso ϕ 10 mm em aço A307 é 2,45 kN.

2) Determinar a carga concentrada máxima de projeto, P_d , na viga de seção transversal quadrada de lado 15 cm vista figura abaixo, em Jatobá de 2ª categoria, classe de umidade 2. Considere carga de longa duração.

$$f_{cd} = 26,12 \text{ MPa}$$

$$P_d = 14,69 \text{ kN}$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_{cd}$$



Solução:

A) Propriedades Mecânicas

$$k_{mod} = 0,70 \times 1,0 \times 0,80 = 0,56$$

$$f_c = 93,3 \text{ MPa} \text{ para Jatobá}$$

$$\frac{f_{ck}}{f_c} = 0,70 \Rightarrow f_{ck} = 0,70 f_c$$

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,56 \times \frac{0,70 \times 93,3}{1,4} = 26,12 \text{ MPa}$$

B) Propriedade Geométrica W – Módulo de resistência à flexão

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{(15,0 \text{ cm})(15 \text{ cm})^2}{6} = 562,5 \text{ cm}^3$$

C) Cálculo de M_d para viga isostática

O momento máximo ocorre na região central (constante entre as forças P_d):

$$M_{max} = P_d(100 \text{ cm})$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{M_{max}}{W} \leq f_{cd}$$

$$\frac{P_d(100 \text{ cm})}{562,5 \text{ cm}^3} \leq 2,612 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow P_d \leq 14,69 \text{ kN}$$

Resposta: A carga concentrada máxima de projeto é 14,69 kN.

3) Para uma obra em estrutura de madeira será utilizada uma espécie da qual não se conhecem as propriedades mecânicas. Para isto foram realizados ensaios de amostras sem defeitos de um lote de madeira cujo grau de umidade médio é igual a 15%. Foram realizados oito ensaios de flexão e determinados os valores abaixo relacionados para a tensão resistente f_M . Determinar o valor característico da tensão resistente de cálculo f_{cd} referido à condição padrão de umidade.

Amostra i	1	2	3	4	5	6	7	8
f_{Mi} (MPa)	64	75	63	73	68	77	72	68

O local de construção tem umidade relativa do ar média igual a 74%. A madeira é serrada de 2ª categoria e deve ser verificada de acordo com a norma NBR 7190 para cargas de média duração.

$$f_m = \frac{\sum f_i}{n} \quad i = 1, n \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_m - f_i)^2}{n}} \quad i = 1, n \quad f_k = f_m - 1,645\sigma$$

$$f_k = 62,20 \text{ MPa (U=15\%)}$$

$$f_{cd} = 23,86 \text{ MPa (U=12\%)}$$

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(U - 12)}{100} \right]$$

Solução:

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(15 - 12)}{100} \right] = f_U \times 1,09$$

$$k_{mod} = 0,80 \times 1,0 \times 0,8 = 0,64$$

$$f_{Mm} = \frac{\sum f_{Mi}}{n} = \frac{560}{8} = 70$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_{Mm} - f_{Mi})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (70 - f_{Mi})^2}{8}} = \sqrt{\frac{180,00}{8}} = 4,743 \text{ MPa}$$

$$f_{Mk} = f_{Mm} - 1,645\sigma = 70 - 1,645 \times 4,743 = 62,20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = \left(0,64 \times \frac{0,77 \times 62,20}{1,4} \right) \times 1,09 = 23,86 \text{ MPa}$$

Resposta: O valor característico da tensão resistente de cálculo referido à condição padrão de umidade é $f_{cd} = 23,86 \text{ MPa}$.

4) Para uma coluna (9 cm × 10 cm) de Cupiúba de 2ª categoria, classe de umidade 2, sujeito à compressão simples, calcular a carga máxima de projeto N_d para a peça com $L_{fl} = 200$ cm. Considere carga de longa duração.

$$N_{cr} = 114,39 \text{ kN}$$

$$N_d = 66,50 \text{ kN}$$

$$40 < \lambda \leq 80 \Rightarrow \sigma_{td} + \sigma_{Md} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{N_d}{A} + \frac{M_d}{W} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{N_d}{A f_{cd}} + \frac{N_d e}{W f_{cd}} \left(\frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} \right) \leq 1,0$$

$$e = \frac{L_{fl}}{300} \quad I_x = \frac{b h^3}{12} \quad W = \frac{b h^2}{6} \quad r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{c,ef} I_x}{L_{fl}^2} \quad \lambda = \frac{L_{fl}}{r}$$

Solução:

A) Propriedades Mecânicas

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,70 \times 1,0 \times 0,80 \times \frac{0,70 \times 54,4}{1,4} = 15,23 \text{ MPa}$$

$$E_{c,ef} = k_{mod} E_c = 0,56 \times 13627,0 = 7631,12 \text{ MPa}$$

B) Propriedades Geométricas

$$A = b h = 10,0 \text{ cm} \times 9,0 \text{ cm} = 90,0 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{10,0 \text{ cm} \times (9,0 \text{ cm})^3}{12} = 607,5 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{10,0 \text{ cm} \times (9,0 \text{ cm})^2}{6} = 135,0 \text{ cm}^3$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{b h}} = \frac{9,0 \text{ cm}}{\sqrt{12}} = 2,598 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{200 \text{ cm}}{2,598 \text{ cm}} = 77,0$$

C) Cálculo de N_d para coluna medianamente esbelta

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 763,112 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 607,5 \text{ cm}^4}{(200 \text{ cm})^2} = 114,3864 \text{ kN}$$

$$e = \frac{200 \text{ cm}}{300} = 0,667 \text{ cm}$$

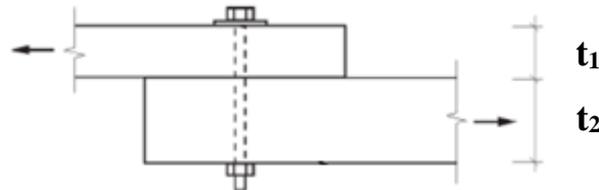
$$\frac{N_d}{90,0 \times 1,523} + \frac{N_d \times 0,667}{135,0 \times 1,523} \left(\frac{114,3864}{114,3864 - N_d} \right) \leq 1,0$$

$$N_d^2 - 302,313 N_d + 15681,0 = 0 \Rightarrow N_d = 66,50 \text{ kN}$$

Resposta: A carga máxima de projeto N_d para a coluna é 66,50 kN.

Tipo 3

1) Calcular a resistência ao corte do parafuso ϕ 10 mm em aço A307 ($f_{yk}=240$ MPa) na ligação de Canafistula de 2ª categoria, de acordo com a NBR 7190 para as seguintes condições: carga de permanente duração e classe 2 de umidade. Adote $t_1=59$ mm, $t_2>t_1$.



$$f_{ed}=12,48 \text{ MPa}$$

$$R_d=2,61 \text{ kN}$$

$$\frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 0,4 f_{ed} d t$$

$$\frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}$$

Solução:

a) Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,60 \times 1,0 \times 0,8 \times \frac{0,7 \times 52,00}{1,4} = 12,48 \text{ MPa}$$

b) Resistência de uma seção de corte do parafuso ($f_{yk} = 240$ MPa)

$$\frac{t}{d} = \frac{59}{10,0} = 5,90$$

$$1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} = 1,25 \sqrt{\frac{240/1,1}{12,48}} = 5,23$$

$$R_d = 0,4 f_{ed} d t = 0,4 \times 12,48 \times 10,0 \times 59 = 2945 \text{ N}$$

$$R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}} = 0,5 \times 10,0^2 \times \sqrt{12,48 \times \frac{240}{1,1}} = 2609 \text{ N}$$

$$\frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \text{ então temos Mecanismo IV}$$

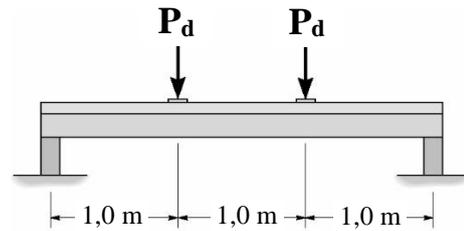
Resposta: A resistência ao corte do parafuso ϕ 10 mm em aço A307 é 2,61 kN.

2) Determinar a carga concentrada máxima de projeto, P_d , na viga de seção transversal quadrada de lado 15 cm vista figura abaixo, em Sucupira de 2ª categoria, classe de umidade 2. Considere carga de longa duração.

$$f_{cd} = 26,66 \text{ MPa}$$

$$P_d = 14,99 \text{ kN}$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_{cd}$$



Solução:

A) Propriedades Mecânicas

$$k_{mod} = 0,70 \times 1,0 \times 0,80 = 0,56$$

$$f_c = 95,2 \text{ MPa} \quad \text{para Sucupira}$$

$$\frac{f_{ck}}{f_c} = 0,70 \quad \Rightarrow \quad f_{ck} = 0,70 f_c$$

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,56 \times \frac{0,70 \times 95,2}{1,4} = 26,66 \text{ MPa}$$

B) Propriedade Geométrica W – Módulo de resistência à flexão

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{(15,0 \text{ cm})(15 \text{ cm})^2}{6} = 562,5 \text{ cm}^3$$

C) Cálculo de M_d para viga isostática

O momento máximo ocorre na região central (constante entre as forças P_d):

$$M_{max} = P_d(100 \text{ cm})$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_{cd} \quad \Rightarrow \quad \frac{M_{max}}{W} \leq f_{cd}$$

$$\frac{P_d(100 \text{ cm})}{562,5 \text{ cm}^3} \leq 2,666 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \Rightarrow \quad P_d \leq 14,99 \text{ kN}$$

Resposta: A carga concentrada máxima de projeto é 14,99 kN.

3) Para uma obra em estrutura de madeira será utilizada uma espécie da qual não se conhecem as propriedades mecânicas. Para isto foram realizados ensaios de amostras sem defeitos de um lote de madeira cujo grau de umidade médio é igual a 16%. Foram realizados oito ensaios de flexão e determinados os valores abaixo relacionados para a tensão resistente f_M . Determinar o valor característico da tensão resistente de cálculo f_{cd} referido à condição padrão de umidade.

Amostra i	1	2	3	4	5	6	7	8
f_{Mi} (MPa)	64	75	63	73	68	77	72	76

O local de construção tem umidade relativa do ar média igual a 74%. A madeira é serrada de 2ª categoria e deve ser verificada de acordo com a norma NBR 7190 para cargas de média duração.

$$f_m = \frac{\sum f_i}{n} \quad i = 1, n \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_m - f_i)^2}{n}} \quad i = 1, n \quad f_k = f_m - 1,645\sigma$$

$$f_k = 62,69 \text{ MPa (U=16\%)}$$

$$f_{cd} = 24,72 \text{ MPa (U=12\%)}$$

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(U - 12)}{100} \right]$$

Solução:

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(16 - 12)}{100} \right] = f_U \times 1,12$$

$$k_{mod} = 0,80 \times 1,0 \times 0,8 = 0,64$$

$$f_{Mm} = \frac{\sum f_{Mi}}{n} = \frac{568}{8} = 71$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_{Mm} - f_{Mi})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (71 - f_{Mi})^2}{8}} = \sqrt{\frac{204,00}{8}} = 5,050 \text{ MPa}$$

$$f_{Mk} = f_{Mm} - 1,645\sigma = 71 - 1,645 \times 5,050 = 62,69 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = \left(0,64 \times \frac{0,77 \times 62,69}{1,4} \right) \times 1,12 = 24,72 \text{ MPa}$$

Resposta: O valor característico da tensão resistente de cálculo referido à condição padrão de umidade é $f_{cd} = 24,72 \text{ MPa}$.

4) Para uma coluna (8 cm × 11 cm) de Ipê de 2ª categoria, classe de umidade 2, sujeito à compressão simples, calcular a carga máxima de projeto N_d para a peça com $L_{fl} = 175$ cm. Considere carga de longa duração.

$$N_{cr} = 152,56 \text{ kN}$$

$$N_d = 90,34 \text{ kN}$$

$$40 < \lambda \leq 80 \Rightarrow \sigma_{td} + \sigma_{Md} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{N_d}{A} + \frac{M_d}{W} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{N_d}{A f_{cd}} + \frac{N_d e}{W f_{cd}} \left(\frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} \right) \leq 1,0$$

$$e = \frac{L_{fl}}{300} \quad I_x = \frac{b h^3}{12} \quad W = \frac{b h^2}{6} \quad r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{c,ef} I_x}{L_{fl}^2} \quad \lambda = \frac{L_{fl}}{r}$$

Solução:

A) Propriedades Mecânicas

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,70 \times 1,0 \times 0,80 \times \frac{0,70 \times 76,0}{1,4} = 21,28 \text{ MPa}$$

$$E_{c,ef} = k_{mod} E_c = 0,56 \times 18011,0 = 10086,16 \text{ MPa}$$

B) Propriedades Geométricas

$$A = b h = 11,0 \text{ cm} \times 8,0 \text{ cm} = 88,0 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{11,0 \text{ cm} \times (8,0 \text{ cm})^3}{12} = 469,3 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{11,0 \text{ cm} \times (8,0 \text{ cm})^2}{6} = 117,3 \text{ cm}^3$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{b h}} = \frac{8,0 \text{ cm}}{\sqrt{12}} = 2,309 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{175 \text{ cm}}{2,309 \text{ cm}} = 75,8$$

C) Cálculo de N_d para coluna medianamente esbelta

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 1008,616 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 469,3 \text{ cm}^4}{(175 \text{ cm})^2} = 152,5566 \text{ kN}$$

$$e = \frac{175 \text{ cm}}{300} = 0,583 \text{ cm}$$

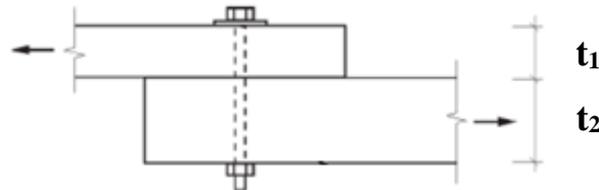
$$\frac{N_d}{88,0 \times 2,128} + \frac{N_d \times 0,583}{117,3 \times 2,128} \left(\frac{152,5566}{152,5566 - N_d} \right) \leq 1,0$$

$$N_d^2 - 406,564 N_d + 28568,4 = 0 \Rightarrow N_d = 90,34 \text{ kN}$$

Resposta: A carga máxima de projeto N_d para a coluna é 90,34 kN.

Tipo 4

1) Calcular a resistência ao corte do parafuso ϕ 10 mm em aço A307 ($f_{yk}=240$ MPa) na ligação de Cupiúba de 2ª categoria, de acordo com a NBR 7190 para as seguintes condições: carga de permanente duração e classe 2 de umidade. Adote $t_1=51$ mm, $t_2>t_1$.



$$f_{ed}=13,06 \text{ MPa}$$

$$R_d=2,66 \text{ kN}$$

$$\frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 0,4 f_{ed} d t$$

$$\frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \Rightarrow R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}$$

Solução:

a) Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,60 \times 1,0 \times 0,8 \times \frac{0,7 \times 54,40}{1,4} = 13,06 \text{ MPa}$$

b) Resistência de uma seção de corte do parafuso ($f_{yk} = 240$ MPa)

$$\frac{t}{d} = \frac{51}{10,0} = 5,10$$

$$1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} = 1,25 \sqrt{\frac{240/1,1}{13,06}} = 5,11$$

$$R_d = 0,4 f_{ed} d t = 0,4 \times 13,06 \times 10,0 \times 51 = 2663 \text{ N}$$

$$R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}} = 0,5 \times 10,0^2 \times \sqrt{13,06 \times \frac{240}{1,1}} = 2669 \text{ N}$$

$$\frac{t}{d} < 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \text{ então temos Mecanismo II}$$

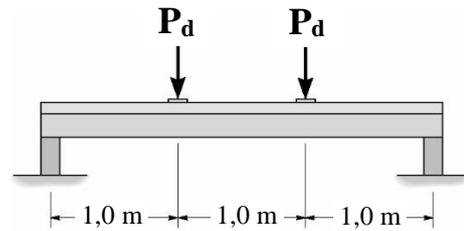
Resposta: A resistência ao corte do parafuso ϕ 10 mm em aço A307 é 2,66 kN.

2) Determinar a carga concentrada máxima de projeto, P_d , na viga de seção transversal quadrada de lado 15 cm vista figura abaixo, em Tatajuba de 2ª categoria, classe de umidade 2. Considere carga de longa duração.

$$f_{cd} = 22,26 \text{ MPa}$$

$$P_d = 12,52 \text{ kN}$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_{cd}$$



Solução:

A) Propriedades Mecânicas

$$k_{\text{mod}} = 0,70 \times 1,0 \times 0,80 = 0,56$$

$$f_c = 79,5 \text{ MPa} \quad \text{para Tatajuba}$$

$$\frac{f_{ck}}{f_c} = 0,70 \quad \Rightarrow \quad f_{ck} = 0,70 f_c$$

$$f_{cd} = k_{\text{mod}} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,56 \times \frac{0,70 \times 79,5}{1,4} = 22,26 \text{ MPa}$$

B) Propriedade Geométrica W – Módulo de resistência à flexão

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{(15,0 \text{ cm})(15 \text{ cm})^2}{6} = 562,5 \text{ cm}^3$$

C) Cálculo de M_d para viga isostática

O momento máximo ocorre na região central (constante entre as forças P_d):

$$M_{\text{max}} = P_d(100 \text{ cm})$$

$$\frac{M_d}{W} \leq f_{cd} \quad \Rightarrow \quad \frac{M_{\text{max}}}{W} \leq f_{cd}$$

$$\frac{P_d(100 \text{ cm})}{562,5 \text{ cm}^3} \leq 2,226 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \Rightarrow \quad P_d \leq 12,52 \text{ kN}$$

Resposta: A carga concentrada máxima de projeto é 12,52 kN.

3) Para uma obra em estrutura de madeira será utilizada uma espécie da qual não se conhecem as propriedades mecânicas. Para isto foram realizados ensaios de amostras sem defeitos de um lote de madeira cujo grau de umidade médio é igual a 17%. Foram realizados oito ensaios de flexão e determinados os valores abaixo relacionados para a tensão resistente f_M . Determinar o valor característico da tensão resistente de cálculo f_{cd} referido à condição padrão de umidade.

Amostra i	1	2	3	4	5	6	7	8
f_{Mi} (MPa)	64	75	63	73	68	77	72	84

O local de construção tem umidade relativa do ar média igual a 74%. A madeira é serrada de 2ª categoria e deve ser verificada de acordo com a norma NBR 7190 para cargas de média duração.

$$f_m = \frac{\sum f_i}{n} \quad i = 1, n \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_m - f_i)^2}{n}} \quad i = 1, n \quad f_k = f_m - 1,645\sigma$$

$$f_k = 61,28 \text{ MPa (U=17\%)}$$

$$f_{cd} = 24,80 \text{ MPa (U=12\%)}$$

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(U - 12)}{100} \right]$$

Solução:

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(17 - 12)}{100} \right] = f_U \times 1,15$$

$$k_{mod} = 0,80 \times 1,0 \times 0,8 = 0,64$$

$$f_{Mm} = \frac{\sum f_{Mi}}{n} = \frac{576}{8} = 72$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_{Mm} - f_{Mi})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (72 - f_{Mi})^2}{8}} = \sqrt{\frac{340,00}{8}} = 6,519 \text{ MPa}$$

$$f_{Mk} = f_{Mm} - 1,645\sigma = 72 - 1,645 \times 6,519 = 61,28 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = \left(0,64 \times \frac{0,77 \times 61,28}{1,4} \right) \times 1,15 = 24,80 \text{ MPa}$$

Resposta: O valor característico da tensão resistente de cálculo referido à condição padrão de umidade é $f_{cd} = 24,80 \text{ MPa}$.

4) Para uma coluna (9 cm × 10 cm) de Branquilha de 2ª categoria, classe de umidade 2, sujeito à compressão simples, calcular a carga máxima de projeto N_d para a peça com $L_{fl} = 190$ cm. Considere carga de longa duração.

$$N_{cr} = 125,39 \text{ kN}$$

$$N_d = 64,72 \text{ kN}$$

$$40 < \lambda \leq 80 \Rightarrow \sigma_{td} + \sigma_{Md} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{N_d}{A} + \frac{M_d}{W} \leq f_{cd} \Rightarrow \frac{N_d}{A f_{cd}} + \frac{N_d e}{W f_{cd}} \left(\frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} \right) \leq 1,0$$

$$e = \frac{L_{fl}}{300} \quad I_x = \frac{b h^3}{12} \quad W = \frac{b h^2}{6} \quad r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{c,ef} I_x}{L_{fl}^2} \quad \lambda = \frac{L_{fl}}{r}$$

Solução:

A) Propriedades Mecânicas

$$f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,70 \times 1,0 \times 0,80 \times \frac{0,70 \times 48,1}{1,4} = 13,47 \text{ MPa}$$

$$E_{c,ef} = k_{mod} E_c = 0,56 \times 13481,0 = 7549,36 \text{ MPa}$$

B) Propriedades Geométricas

$$A = b h = 10,0 \text{ cm} \times 9,0 \text{ cm} = 90,0 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{10,0 \text{ cm} \times (9,0 \text{ cm})^3}{12} = 607,5 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{b h^2}{6} = \frac{10,0 \text{ cm} \times (9,0 \text{ cm})^2}{6} = 135,0 \text{ cm}^3$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{b h}} = \frac{9,0 \text{ cm}}{\sqrt{12}} = 2,598 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{190 \text{ cm}}{2,598 \text{ cm}} = 73,1$$

C) Cálculo de N_d para coluna medianamente esbelta

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 754,936 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 607,5 \text{ cm}^4}{(190 \text{ cm})^2} = 125,3860 \text{ kN}$$

$$e = \frac{190 \text{ cm}}{300} = 0,633 \text{ cm}$$

$$\frac{N_d}{90,0 \times 1,347} + \frac{N_d \times 0,633}{135,0 \times 1,347} \left(\frac{125,3860}{125,3860 - N_d} \right) \leq 1,0$$

$$N_d^2 - 299,539 N_d + 15198,3 = 0 \Rightarrow N_d = 64,72 \text{ kN}$$

Resposta: A carga máxima de projeto N_d para a coluna é 64,72 kN.