

ENGENHARIA CIVIL

CAPITULO 6:

SEGURANÇA DE ELEMENTOS DE MADEIRA SUJEITOS A TRAÇÃO AXIAL E FLEXO TRACÇÃO, SEGUNDO A NBR 7190/2010.

NOV / 2012

1- Suficiência a tração axial.

A = área da seção transversal

Por falta de notação própria, adotaremos:

A_{liq} = área líquida da seção transversal, correspondente a área bruta (A_w), descontada as áreas das furações.

$$A_{liq} = A_w - A_{furos}$$

σ_{td} = tensão normal de tração de cálculo

F_d = combinação das ações em estados limites últimos

$$\sigma_{Ntd} = \frac{F_d}{A_{liq}}$$

Condições de segurança:

$$\sigma_{Ntd} \leq f_{td} = f_{t0d} \quad \text{se } \alpha \leq 6^\circ$$

$$\sigma_{Ntd} \leq f_{td} = f_{t\alpha,d} \quad \text{se } \alpha > 6^\circ$$

2- Suficiência a flexo-tração:

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t0,d}} + K_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t0,d}} \leq 1 \quad \text{para } \alpha \leq 6^\circ$$

ou

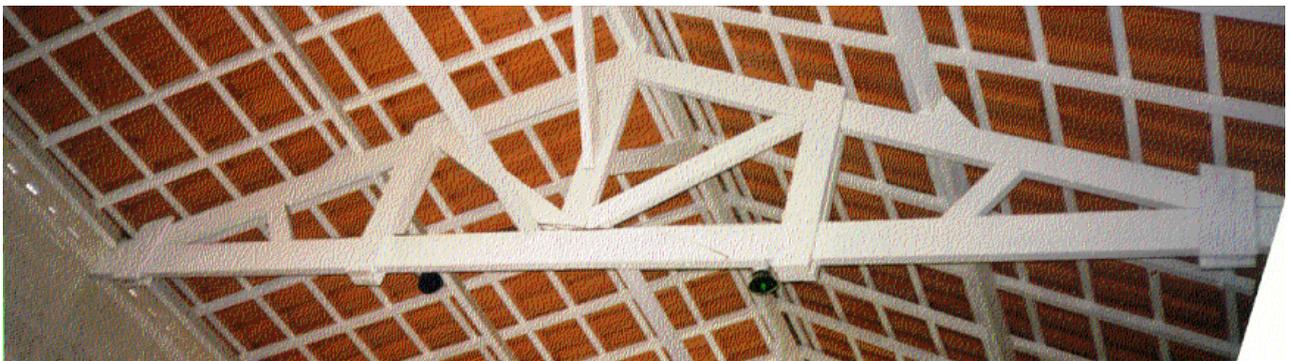
$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + K_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t0,d}} \leq 1 \quad \text{para } \alpha \leq 6^\circ$$

- Para $\alpha > 6^\circ$, nas fórmulas acima, substitui-se $f_{t0,d}$ por $f_{t\alpha,d}$.
- $K_M = 0,5$ para seção retangular, $K_M = 1,0$ para demais seções.
-

3. LIGAÇÕES DE BARRAS TRACIONADAS:

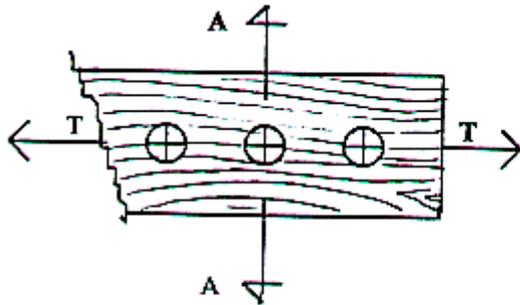
3.1. LIGAÇÕES PARAFUSADAS E CAVILHADAS:



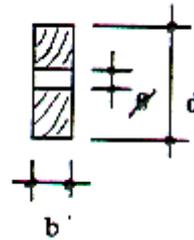


3.2. ÁREAS LÍQUIDAS PARA O DIMENSIONAMENTO

TRAÇÃO SIMPLES :



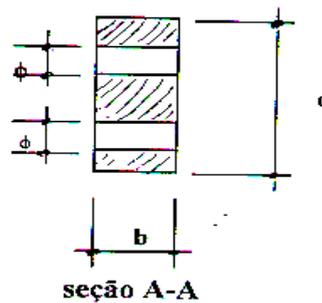
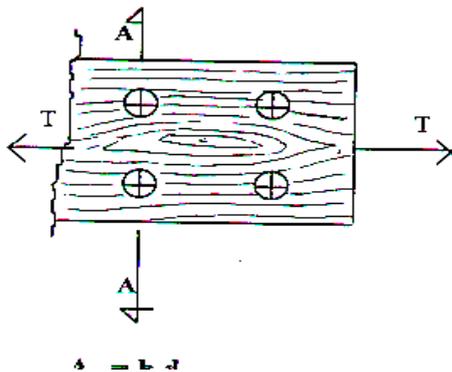
Áreas para o dimensionamento



CORTE A-A

$$A_w = \text{área bruta} = b \cdot d$$

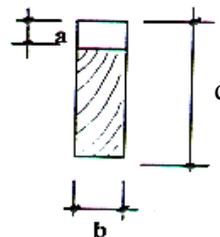
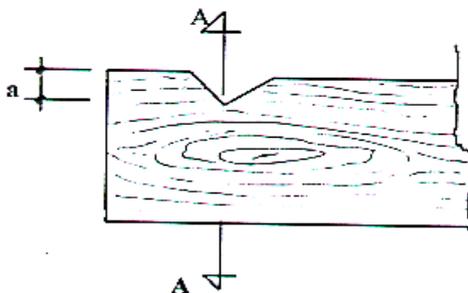
$$A_{liq} = \text{área líquida} = b (d - \phi)$$



seção A-A

$$A_w = b \cdot d$$

$$A_{liq} = (d - 2\phi) \cdot b$$



seção A-A

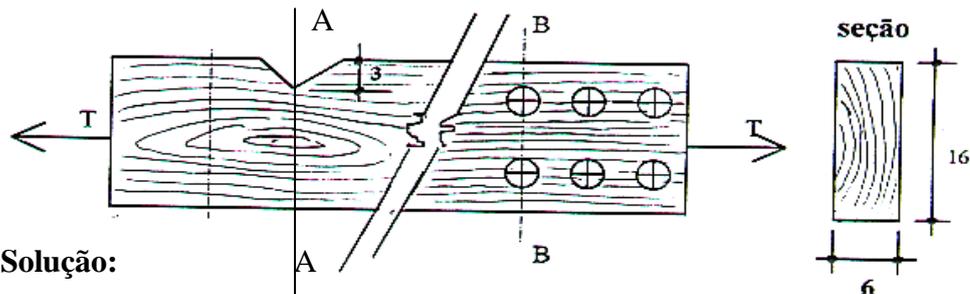
$$A_w = b \cdot d$$

$$A_{liq} = (d - a) \cdot b$$

4) Exercícios resolvidos:

Ex.1: Determinar o valor do máximo esforço característico de tração ($N_{K,max}$), a ser aplicado na barra cavilhada abaixo, em função da sua resistência a tração simples, nas condições padrão de umidade, considerando:

- Madeira: Pinho do Paraná, não classificada com $\alpha < 6^\circ$;
- Carregamento de longa duração com $\gamma_g = \gamma_q = 1,4$;
- Considerar cavilhas com $\phi = 20$ mm;
- Considerar atendida a suficiência ao embutimento.



Solução:

-Seção líquida crítica:

$$\begin{aligned} \text{Seção A-A} \quad A_{liq} &= (16 - 3) 6 = 78 \text{ cm}^2 \\ \text{Seção B-B} \quad A_{liq} &= (16 - 2 \times 2,00) \times 6 = 72 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Adota-se: $A_{liq} = 72 \text{ cm}^2$

-Caracterização das propriedades da madeira:

$$\begin{aligned} \text{da tabela E 3 da NBR 7190/97, vem: } f_{t0m,12\%} &= 93,1 \text{ MPa} \\ \therefore f_{t0,k 12\%} &= 0,7 f_{t0m,12\%} = 0,7 \times 93,1 = 65,17 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{mod 1} &= 0,7 \text{ (tabela 4 da NBR7190/2010- longa duração)} \\ K_{mod 2} &= 1,0 \text{ (} U < 65\% \text{, condição padrão de umidade, classe 1)} \\ K_{mod 3} &= 0,6 \text{ (conífera não classificada)} \\ K_{mod} &= 0,7 \times 1,0 \times 0,6 = 0,42 \end{aligned}$$

$$\gamma_t = \gamma_{wt} = 1,8$$

$$f_{t0d,12\%} = K_{mod} \frac{f_{t0,k 12\%}}{\gamma_t} = 0,42 \times \frac{65,17}{1,8} = 15,21 \text{ MPa} \quad f_{t0d,12\%} = 1,521 \text{ kN/cm}^2$$

-Máximo esforço característico de tração ($N_{K,max}$):

$$\text{Mas: } \gamma_g = \gamma_q = \gamma = 1,4; \quad N_d = \gamma_g N_g + \gamma_q N_q \Rightarrow N_d = \gamma (N_g + N_q) \Rightarrow N_d = \gamma N_K \Rightarrow N_d = 1,4 N_K$$

$$\sigma_{Ntd} = \frac{N_d}{A_{liq}} \leq f_{t0d,12\%} \Rightarrow 1,4 N_{K \max} = A_{liq} f_{t0d,12\%} \Rightarrow$$

$$N_{K \max} = 72,0 \times \frac{1,521}{1,4} \quad \therefore \quad N_{K \max} = 78,22 \text{ kN}$$

Ex.2) Verificar a suficiência a tração paralela às fibras da ligação abaixo esquematizada, na condição padrão de umidade.

Dados:

a) Madeira:

Dados obtidos por ensaio de compressão axial efetuado em **laboratório idôneo**.

- Peroba rosa (*Aspidosperma Peroba*), classe S1, classificação visual + ultrasom;
- Inclinação das fibras em relação a linha de ação dos esforços: $\alpha < 6^\circ$
- Umidade das amostras: 18%
- Limite de resistência médio à compressão axial paralela às fibras: 53,6 MPa
- Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras: 13.818 MPa

b) Na falta de determinação experimental, caracterizar a resistência a esforços normais, de forma simplificada, de acordo com o item 5.3.3 da NBR 7190/2010.

c) Cavilhas com diâmetro de 18mm

d) Umidade relativa do ambiente: $U < 65\%$

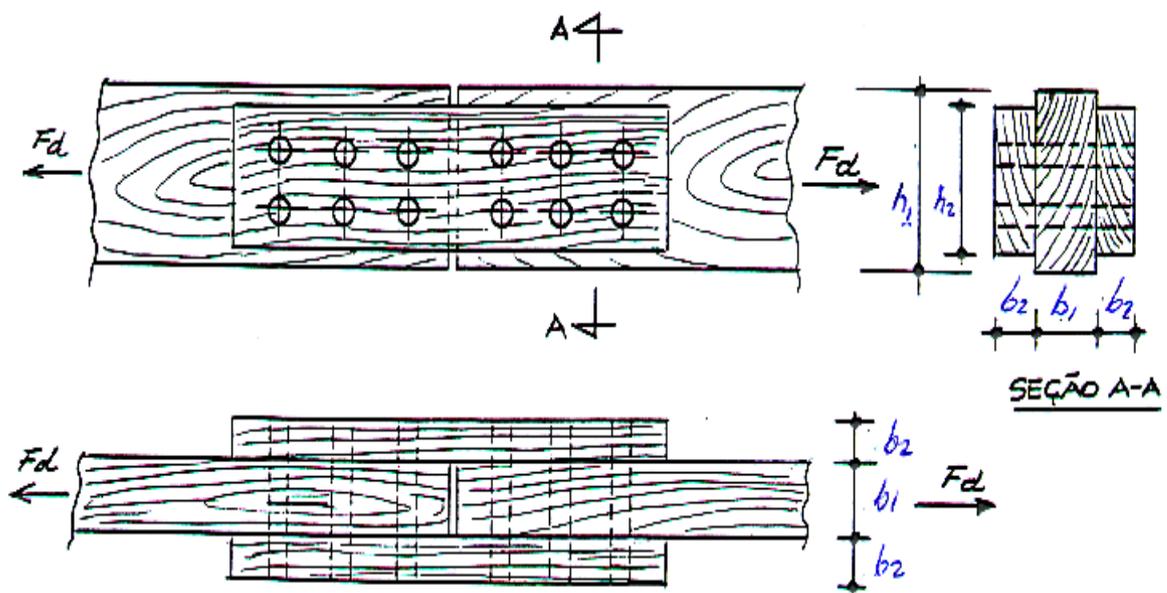
e) Solicitação axial de tração de cálculo:

$F_d = 131,4 \text{ kN}$ (combinação mais desfavorável para carregamentos de longa duração)

f) Seções empregadas: - barras: $(6,0 \times 16,0) \text{ cm} = b_1 \times h_1$
 - cobrejuntas: $(3,5 \times 14,0) \text{ cm} = b_2 \times h_2$

g) $1 \text{ MPa} = 0,1 \text{ kN/cm}^2 \cong 10 \text{ kgf/cm}^2$
 $1 \text{ kN} \cong 100 \text{ kgf}$

h) considerar verificada a suficiência ao embutimento.



Solução:**Caracterização das propriedades da madeira:**

$$f_{c0m, 18\%} = 53,6 \text{ MPa}$$

$$f_{c0m, 12\%} = 53,6 \left[1 + \frac{3(18 - 12)}{100} \right] = 63,25 \text{ MPa}$$

$$f_{c0k, 12\%} = 0,7 f_{c0m, 12\%} = 44,28 \text{ MPa}$$

Do item 5.3.3 da NBR 7190 / 2010, por procedimentos simplificados, vem:

$$\frac{f_{c0k, 12\%}}{f_{t0, k 12\%}} = 0,77 \Rightarrow f_{t0, k 12\%} = \frac{f_{c0k, 12\%}}{0,77} = \frac{44,28}{0,77} \Rightarrow f_{t0, k 12\%} = 57,51 \text{ MPa}$$

$$K_{\text{mod}1} = 0,7 \text{ (longa duração) ;}$$

$$K_{\text{mod}2} = 1,0 \text{ (umidade padrão = classe 1) ;}$$

$$K_{\text{mod}3} = 0,85 \text{ (folhosa, classe S1, visual + ultra-som) ;}$$

$$K_{\text{mod}} = 0,7 \times 1 \times 0,85 = 0,595$$

$$\gamma_{\tau} = 1,8$$

$$f_{t0, d} = 0,595 \cdot \frac{57,51}{1,8}$$

$$f_{t0, d} = 19,01 \text{ MPa} \cong 1,901 \text{ kN/cm}^2$$

Seção líquida crítica na ligação (área da barra ou da cobrejunta):

$$\text{Seção líquida} \begin{cases} \text{barra: } A_{\text{liq}} = 6(16 - 2 \times 1,8) = 74,4 \text{ cm}^2 \\ \text{ou} \\ \text{cobrejunta: } A_{\text{liq}} = 2 \times 3,5 \times (14 - 2 \times 1,8) = 72,8 \text{ cm}^2 \text{ (2 peças)} \end{cases}$$

\therefore para tração simples, mais desfavorável = cobrejunta com $A_{\text{liq}} = 72,8 \text{ cm}^2$

Verificação da suficiência a tração simples:

$$\sigma_{\text{Ntd}} = \frac{F_d}{A_{\text{liq}}} = \frac{131,4 \text{ kN}}{72,8 \text{ cm}^2} = 1,901 \text{ kN/cm}^2$$

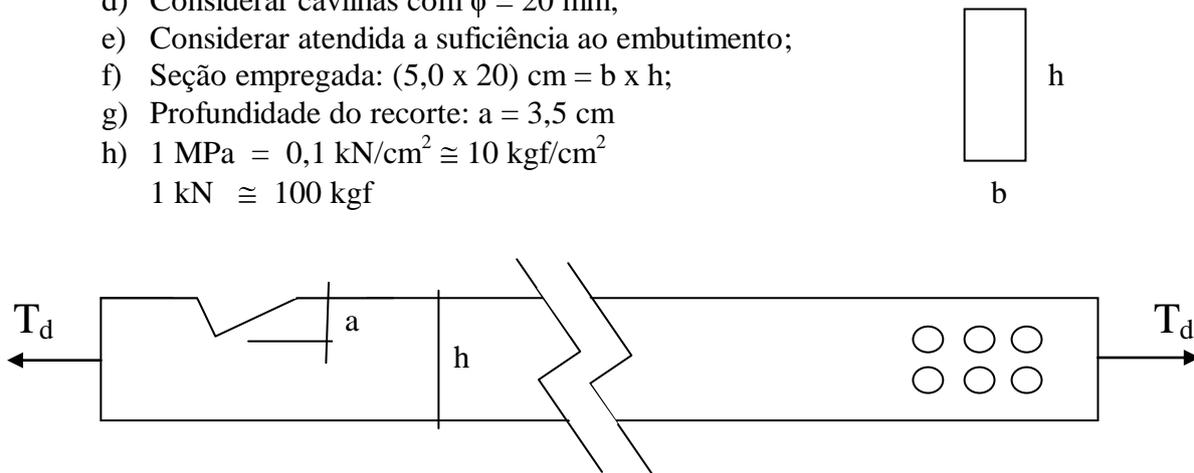
$$\sigma_{\text{Ntd}} = 1,805 \text{ kN/cm}^2 < f_{t0, d} = 1,901 \text{ kN/cm}^2 \therefore \text{ aceita-se a peça!}$$

5) Exercícios propostos para serem resolvidos em aula:

Ex.1) Verificar a suficiência a tração paralela às fibras da peça abaixo esquematizada, na condição padrão de umidade.

Dados:

- Madeira: Pinus Elliottii com $\alpha < 6^\circ$;
- $K_{\text{mod}} = 0,56$;
- Cargas características atuantes: $G_K = 10 \text{ kN}$, $Q_K = 25 \text{ kN}$, $\gamma_g = 1,3$, $\gamma_q = 1,4$;
- Considerar cavilhas com $\phi = 20 \text{ mm}$;
- Considerar atendida a suficiência ao embutimento;
- Seção empregada: $(5,0 \times 20) \text{ cm} = b \times h$;
- Profundidade do recorte: $a = 3,5 \text{ cm}$
- $1 \text{ MPa} = 0,1 \text{ kN/cm}^2 \cong 10 \text{ kgf/cm}^2$
 $1 \text{ kN} \cong 100 \text{ kgf}$

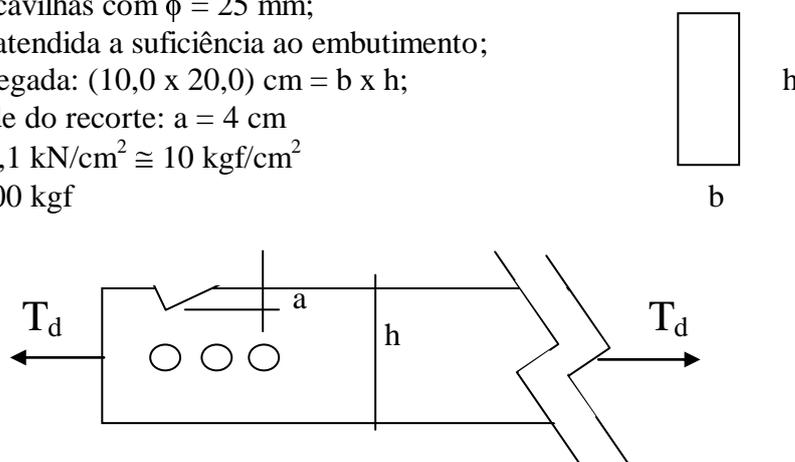


Ex.2) No exemplo anterior, determinar o valor da máxima sobrecarga característica de tração paralela às fibras (Q_K) que a barra suporta, nas condições padrão de umidade.

Ex.3) Determinar o valor da máxima característica de tração paralela às fibras (T_K) que a barra abaixo suporta, nas condições padrão de umidade.

Dados:

- Madeira: Eucalipto Saligna com $\alpha < 6^\circ$;
- $K_{\text{mod}} = 0,56$;
- Combinação de cálculo: $T_d = 1,4 T_K$;
- Considerar cavilhas com $\phi = 25 \text{ mm}$;
- Considerar atendida a suficiência ao embutimento;
- Seção empregada: $(10,0 \times 20,0) \text{ cm} = b \times h$;
- Profundidade do recorte: $a = 4 \text{ cm}$
- $1 \text{ MPa} = 0,1 \text{ kN/cm}^2 \cong 10 \text{ kgf/cm}^2$
 $1 \text{ kN} \cong 100 \text{ kgf}$

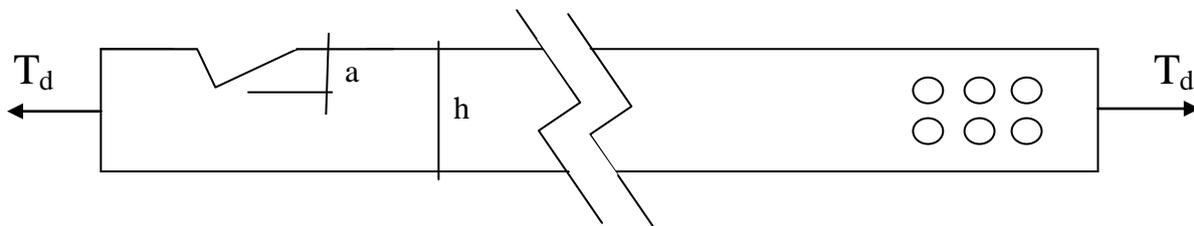
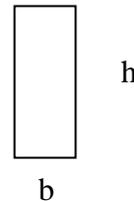


6) Exercícios propostos:

Ex.1) Verificar a suficiência a tração paralela às fibras da peça abaixo esquematizada, na condição padrão de umidade.

Dados:

- Madeira: Canafístula com $\alpha < 6^\circ$;
- $K_{\text{mod}} = 0,56$;
- Cargas características atuantes: $G_K = 30 \text{ kN}$, $Q_K = 50 \text{ kN}$, $\gamma_g = 1,3$, $\gamma_q = 1,4$;
- Considerar cavilhas com $\phi = 19 \text{ mm}$;
- Considerar atendida a suficiência ao embutimento;
- Seção empregada: $(6,0 \times 16,0) \text{ cm} = b \times h$;
- Profundidade do recorte: $a = 2,0 \text{ cm}$
- $1 \text{ MPa} = 0,1 \text{ kN/cm}^2 \cong 10 \text{ kgf/cm}^2$
 $1 \text{ kN} \cong 100 \text{ kgf}$



$$\text{Resp: } \sigma_{\text{Ntd}} = 1,56 \text{ kN/cm}^2 < f_{\text{td},12\%} = 1,8 \text{ kN/cm}^2$$

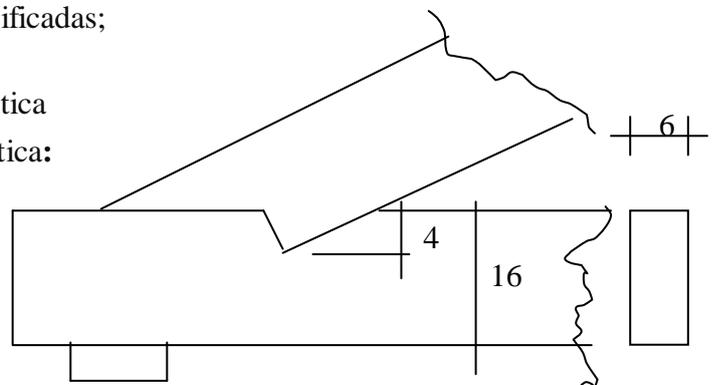
Ex.2) No exemplo anterior, determinar o valor da máxima sobrecarga característica de tração paralela às fibras (Q_K) que a barra suporta, nas condições padrão de umidade.

$$\text{Resp: } Q_K = 66,26 \text{ kN}$$

Ex.3) No nó de apoio da treliça abaixo representado, nas condições padrão de umidade, pede-se verificar a suficiência da barra do banzo inferior, sujeita unicamente a ação de uma carga permanente de tração axial paralela às fibras, devida a elementos construtivos com adições *in loco*.

Dados:

- Madeira: Pinho do Paraná com $\alpha < 6^\circ$;
peças serradas de madeira não classificadas;
- Seção empregada: $6 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$.
- Solicitação axial de tração característica
- Solicitação axial de tração característica:
 $N_{G,K} = 42,86 \text{ kN}$;

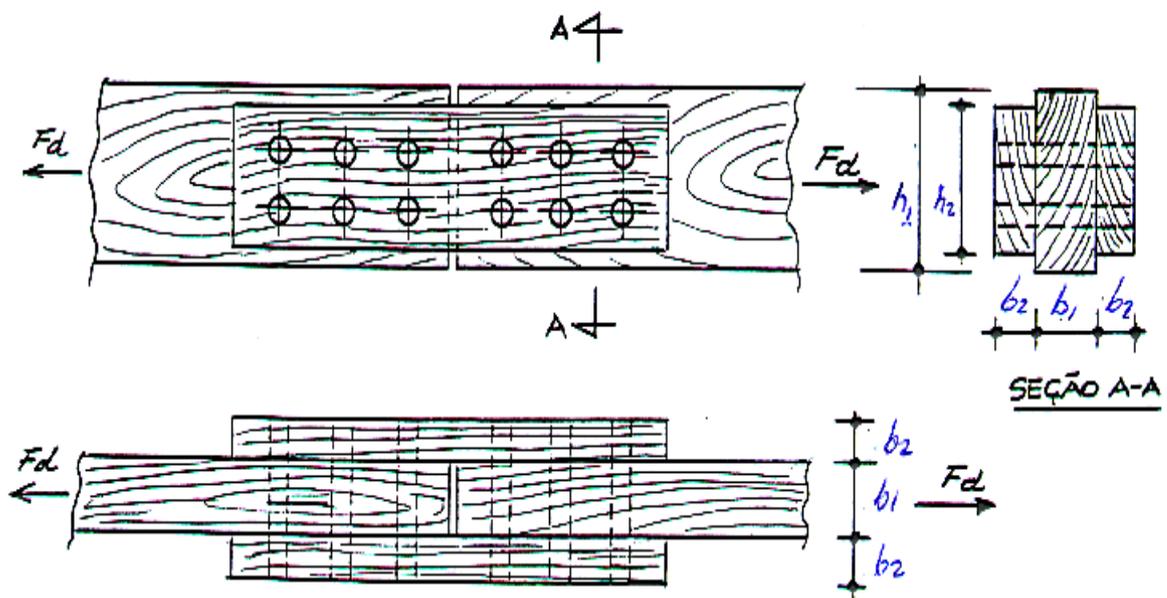


$$\text{Resp: } \sigma_{\text{Ntd}} = 0,833 \text{ kN/cm}^2 < f_{\text{td},12\%} = \quad \text{kN/cm}^2$$

Ex.4: Verificar a suficiência a tração paralela às fibras da ligação abaixo esquematizada, na condição padrão de umidade.

Dados:

- Madeira: Pinho do Paraná com $\alpha < 6^\circ$;
peças serradas de madeira não classificadas ;
- Cavilhas com diâmetro de 19 mm;
- Umidade relativa do ambiente: $U < 65\%$;
- Solicitação axial de tração característica: $N_{G,K}=42,86$ kN; (carga permanente)
- Coefficiente de ponderação da ação permanente de grande variabilidade: $\gamma_G = 1,4$;
- Seções empregadas: - barras: $(6,0 \times 16,0)$ cm = $b_1 \times h_1$
- cobrejuntas: $(2,9 \times 16,0)$ cm = $b_2 \times h_2$
- 1 MPa = $0,1$ kN/cm² \cong 10 kgf/cm² ; 1 kN \cong 100 kgf ;
- Considerar verificada a suficiência ao embutimento.



Resp: