

ANais

V
EBRAMEM

1995

VOLUME I

PROMOÇÃO

CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
EEUFMG	Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia de Estruturas - Departamento de Materiais e Construção Civil
IBRAMEM	Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira

PATROCÍNIO

FINEP
Fundação Christiano Ottoni
GANG-NAIL do Brasil
Governo do Estado de Minas Gerais
IBAMA/LPF
Korum Turismo
Montana Química
Projeto da Qualidade Total

*Sperling, R. - Roofs for Warm Climates - Ministry of Public Buildings and Works - England - 1970.

*Timber Engineering Company - Timber design and Construction Handbook - Mc. Graw Hill - 1956.

SEÇÕES TRANSVERSAIS COMPOSTAS EM PEÇAS DE MADEIRA - SOLIDARIZAÇÃO POR PREGOS

LÍVIO TÚLIO BARALDI *

CARLITO CALIL JUNIOR **

RESUMO

Pelo fato da norma brasileira, NBR 7190 - Cálculo e execução de estruturas de madeira (3), não apresentar nenhum critério de cálculo para composição de peças de madeira buscou-se com este trabalho analisar os processos encontrados nas normas internacionais e apresentar um roteiro de cálculo para este tipo de ligação, com verificação experimental do modelo proposto.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Generalidades

Em muitos casos, de estruturas de madeira, utiliza-se peças com seção transversal composta do tipo T, I simétrica ou assimétrica, e caixão. Um caso frequente de uso são as terças que, com a utilização de seções compostas adquirem maior rigidez e com isso alcançam vãos maiores diminuindo o número de tesouras e consequentemente o volume de madeira utilizado, gerando com isso uma diminuição nos custos de material e mão de obra para a execução das estruturas de cobertura.

No dimensionamento de peças deste tipo, o ponto limitante torna-se a flecha da viga. A resistência dos materiais nos mostra que no cálculo das flechas a rigidez da peça é de fundamental importância.

A norma brasileira não apresenta nenhuma metodologia de cálculo para o dimensionamento de peças com seção transversal composta, recomendando apenas a redução em 30% da inércia da peça para levar em conta a não solidarização total das peças que compõem a seção transversal

* MESTRANDO - ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP

** PROF. DR. DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP

0889868

04/295

SYSNO	0889868
PROD	000618
ACERVO EESC	

1.2 - Motivos e interesse do estudo

Como a norma brasileira não oferece um critério de cálculo para o dimensionamento destas ligações procurou-se em normas internacionais processos de cálculo que auxiliassem os profissionais de engenharia civil no dimensionamento destas peças

As normas estudadas foram o EUROCODE n.º 5 (1) e a DIN 1052 (2), que oferecem processos rápidos de cálculo dando possibilidade a um dimensionamento seguro e económico, trabalhando com a rigidez da peça de acordo com o espaçamento entre os pregos

Além da elaboração do roteiro de cálculo adaptado à nomenclatura brasileira, foram realizados ensaios para a verificação dos valores de resistência da ligação efetuada. Estes primeiros ensaios mostraram a necessidade de realizar-se novos ensaios para a verificação da rigidez que as ligações oferecem a uma peça, como é apresentado no item 3

1.3 - Método de cálculo

Um roteiro sobre as condições gerais do método e o roteiro de cálculo é apresentado no item 2. Cabe aqui ressaltar alguns aspectos importantes sobre o método utilizado

(a) Rigidez efetiva (EI)_{ef}

Como a ligação por pregos não fornece uma união completa entre as peças de madeira, adota-se uma redução no cálculo do momento de inércia da peça. Esta redução é determinada através do coeficiente α , que leva em consideração as características do prego, da espécie de madeira utilizada e do espaçamento entre os pregos. Cabe destacar aqui o fato da utilização dos espaçamentos entre os pregos, uma vez que a quantidade e diâmetro dos pregos é que define a resistência desta ligação e consequentemente a rigidez da peça.

(b) Força aplicada nos pregos

Uma vez determinada a rigidez da peça verifica-se a força aplicada em cada prego de acordo com a força cortante que é crítica em peças de seção composta por gerar o deslizamento entre elas. Este valor da força aplicada deve então ser comparada com a força admissível do prego, e no caso da força aplicada ser maior, um novo espaçamento deve ser adotado.

(c) Tensões

O processo também fornece critérios para a verificação das tensões normal e cisalhante existentes na peça levando em conta a rigidez da ligação.

2 - MODELO DE CÁLCULO ADOPTADO

2.1 - Objetivos

Esta pesquisa corresponde ao estudo das seções transversais compostas T, I e Caixa, de peças de madeira com seções comerciais (3x12 ; 3x16 ; 6x12 ; 6x16), solidarizadas por pregos, com a finalidade principal da utilização destas peças em vigas flechadas

2.2 - Notações e unidades utilizadas

- E - Módulo de elasticidade (KN/cm^2),
 I - Momento de inércia (cm^4);
 A - Área da seção transversal (cm^2),
 V - Força cortante (KN),
 F - Força aplicada no fixador (KN);
 F_p - Força admissível no fixador (KN);
 K - Módulo de cisalhamento (KN/cm),
 K_{def} - Fator de deformação = 0,8;
 b - Base da peça da seção transversal cisalhada (cm);
 c - Constante de cisalhamento,
 h - Altura da peça da seção transversal cisalhada (cm),
 a - Distância entre centros de gravidade (cm),
 s - Espaçamento entre fixadores (cm),
 l - Vão da viga (cm),
 d - Diâmetro do fixador (mm),
 α - Coeficiente de redução da rigidez da peça
 τ - Tensão de cisalhamento (KN/cm^2);
 τ_f - Tensão de cisalhamento admissível na flexão (KN/cm^2);
 σ - Tensão normal (KN/cm^2);
 σ_f - Tensão normal admissível na flexão (KN/cm^2);
 γ - Peso específico da madeira (KN/m^3).

2.3 - Nomenclatura e dimensões adotadas (ver figura 2)

a) Seção I (simétrica)

- alma - 2) 6x12; 6x16;
mesas - 1 e 3) 3x12 ou 3x16;

b) Seção I (assimétrica)

- alma - 2) 6x12,
mesas - 1 e 3) 3x12 e 3x8; 3x16 e 3x8 ou 3x12,

- alma - 2) 6x16,
mesas - 1 e 3) 3x12 e 3x8; 3x16 e 3x8 ou 3x12

c) Seção T

- alma - 2) 6x12; 6x16;

mesa : 1) 3x12 ou 3x16;

d) Seção caixão .

almas: 2) 6x12; 6x16;

mesas: 1) 3x16; 6x16;

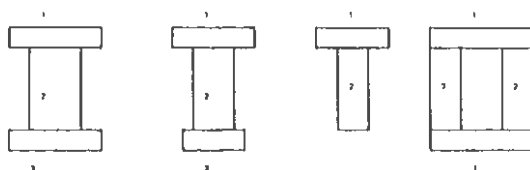


Figura 2 - seções transversais

2.4 - Considerações finais

O método apresentado a seguir está baseado na teoria da elasticidade linear. E devem ser verificadas as seguintes condições :

a) Vãos de vigas :

- Vigas simplesmente apoiadas $l = l$;
- Vigas contínuas $l = 4/5l$;
- Vigas em balanço $l = 2l$;

b) As ligações são feitas com fixadores metálicos que apresentam módulo de cisalhamento K, determinado de acordo com o item 2.5.2 ;

c) A escolha dos fixadores deve obedecer as recomendações da NBR 7190

- Penetração na peça principal do lado da ponta de pelo menos 2/3 de seu comprimento total.

- Diâmetro menor que 1/6 da espessura de tábuas menos espessa ;

d) Para a consideração das deformações são utilizados nos cálculos os conceitos de rigidez efetiva $(EI)_{ef}$ e módulo de cisalhamento K do fixador em conjunto com a espécie de madeira utilizada.

2.5 - Método de cálculo

2.5.1 - Rigidez efetiva

$$(EI)_{ef} = \sum (E_i I_i + \alpha E_i A_i a_i^2) \quad (2.1)$$

2.5.2 - Módulo de cisalhamento (KN/cm)

A norma alemã, DIN 1052, apresenta os seguintes valores para o módulo de cisalhamento em KN/cm

Seção I simétrica : Prego com corte simples $K = 6,0$

Prego com corte duplo $K = 7,0$

Seção caixa : Prego com corte simples $K = 6,0$

Prego com corte duplo $K = 7,0$

Seção T : Prego com corte simples $K = 6,0$

Seção I assimétrica : Prego com corte simples $K = 6,0$

Prego com corte duplo $K = 7,0$

Já pelo Eurocode n.º5 os valores do módulo de cisalhamento podem ser calculados pela seguinte expressão :

$$K = \frac{0,5 \cdot S \cdot \gamma}{I + K_{def}} \quad (2.3)$$

2.5.3 - Constante de cisalhamento

$$c = \frac{\pi^2 E_s A_s}{K I^2} \quad (2.4)$$

ONS : A_s = área da peça ligada na peça principal.

2.5.4 - Coeficiente de redução de rigidez da peça

$$\alpha = \frac{1}{1 + c} \quad (2.5)$$

ONS : Para as almas adotar $\alpha = 1$.

2.5.5 - Verificações

2.5.5.1 - Tensão normal

a) Alma :

$$\sigma = \frac{E_s M y}{(EI)_s} \quad (2.6)$$

b) Mesa :

$$\sigma = \frac{\alpha E_s M y}{(EI)_s} \quad (2.7)$$

2.5.5.2 - Tensão máxima de cisalhamento

A verificação é feita nos pontos onde $\sigma = 0$, pois, aí resulta $\tau_{\max}$. Para as seções adotadas anteriormente a $\tau_{\max}$ ocorre sempre na alma.

- Para seções do tipo I e II :

$$\tau_{\max} = \frac{(\alpha_1 E_s A_1 a_1 + 0,5 E_s b_1 h_1) V}{b_1 (EI)_s} \quad (2.8)$$

- Para seções T :

$$\tau_{\max} = \frac{M_s E_s V}{b_1 (EI)_s} \quad (2.9)$$

OBSE.: Os valores das tensões devem ser comparados com os valores das tensões admissíveis à flexão da madeira utilizada.

2.5.5.3. Força aplicada nos fixadores

$$F = \frac{\alpha E_s A_1 a_1 s V}{(EI)_s} \quad (2.10)$$

Os esforços admissíveis nos fixadores pode ser calculado de acordo com a NBR 7190, pela seguinte expressão :

$$F_p = (1/100) \beta d^{3/2} ; \quad (2.11)$$

onde :

$\beta =$ etc = 7,5 para madeiras com densidade $> 0,65$;

= 4,5 para madeiras com densidade $\leq 0,65$;

d = diâmetro do prego em mm.

Pela DIN 1052 a força admissível no prego é calculada pela seguinte fórmula:

$$F_p = \frac{500d^2}{1+d} \cdot (1/100) \quad (2.12)$$

para d em cm e F em KN.

Acrescentar: 25% com furação prévia;

50% com furação prévia em madeira dura.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Equipamentos

3.1.1 - Unidade de ensaio VICKERS

Os ensaios foram realizados em vigas solicitadas à flexão com uma carga concentrada e controlada aplicada no meio do vão da peça. Foi adaptado à unidade um anel dinamométrico para medir a força aplicada na viga, e nesta estava adaptado um relógio comparador de precisão 0,01 mm para controle da flecha, como mostra a figura 1.

3.1.2 - Outros equipamentos

Foram utilizados também máquinas para a preparação das vigas para os ensaios, como : serras, plainas, desempenadeiras, lupias, etc..

3.2 - EXPERIMENTAÇÃO PRELIMINAR

3.2.1 - Generalidades

Organizado o roteiro de cálculo aos padrões brasileiros, ver item 4, realizou-se o dimensionamento de uma viga com seção transversal tipo I e a montagem desta viga em laboratório para ensaio de verificação dos valores obtidos nos cálculos.

3.2.2 - Montagem do corpo de prova

Optou-se pelo uso de madeira da espécie peróba rosa, muito utilizada na prática em estruturas de madeira. Trabalhou-se com uma viga de vão livre de 3,00 m, pregos 18x30 ($\delta = 3,4 \text{ mm}$ e $l = 60 \text{ mm}$), unindo mesas e alma com espaçamento de 9,0 cm entre os pregos

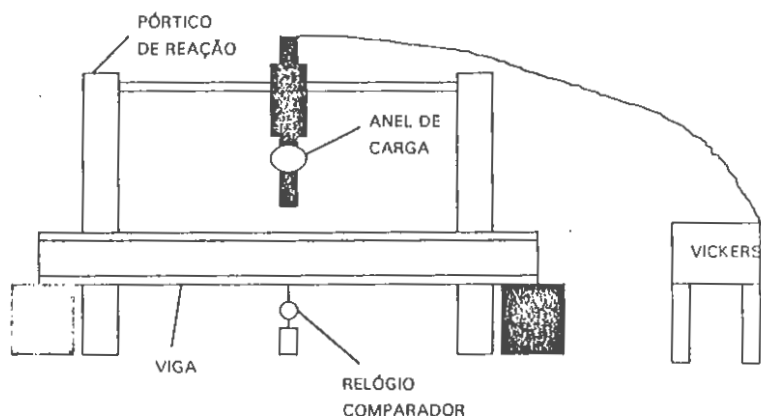


FIGURA 1 - MODELO DE ENSAIO

3 2 3 - Resultados do ensaio

Primeiramente classificou-se as peças (mesas e alma), separadamente, determinando-se assim o módulo de elasticidade da viga ($E = 960,90 \text{ KN/cm}^2$). Em seguida levou-se a viga já montada para ensaio até a ruptura, que ocorreu com uma carga de 23,16 KN

3 2 4 - Análise dos resultados da experimentação inicial

Com base nos resultados verificou-se que a peça apresentava uma rigidez muito elevada e resistiu a valores muito superiores aos calculados, rompendo por falha da madeira.

Pela norma brasileira cada prego resistiria a 0,41 KN de carga. Na ruptura, cada prego resistiu a uma carga de 0,77 KN, supondo distribuição uniforme dos esforços ao longo da viga

Este fato levou-nos a duas conclusões importantes :

- (a) Rever o cálculo da carga admissível para o prego;
- (b) Estudar mais detalhadamente a variação da inércia de acordo com número de pregos utilizados.

Para a questão da carga admissível uma nova pesquisa nas normas utilizadas apresentou um cálculo diferente para a resistência do prego com valores superiores aos apresentados pela norma brasileira. Já para a análise da rigidez da peça optou-se pela realização de novos ensaios com mais duas vigas de seções transversais T e caixa, aumentando-se gradativamente o número de pregos e calculando-se a inércia real e comparando-a com os valores apresentados pelas normas internacionais e a NBR 7190 (3). Nesta etapa trabalhou-se com as vigas somente até o regime elástico e utilizou-se para a resistência dos pregos os valores indicados pela DIN 1052 (2).

3.3 - SEGUNDA ETAPA DE EXPERIMENTAÇÃO

3.3.1 - Generalidades

Nesta fase optou-se pela montagem de vigas com seção transversal tipos T e caixa, calculadas pelos critérios de dimensionamento apresentados no item 4. Inicialmente, como foi executado na experimentação inicial, classificou-se cada peça em separado determinando-se assim o módulo de elasticidade de cada viga a ser ensaiada.

3.3.2 - Montagem dos corpos de prova e ensaio

Após a classificação cada viga foi montada com 3 pregos com furação prévia de 0,98, distribuídos um em cada apoio e um no meio do vão. Em seguida aplicou-se uma carga crescente até atingir o deslocamento de 1/350, marcando-se a flecha existente a cada variação da carga de aproximadamente 0,18 kN. Com estes valores em mãos calculou-se as inércias das vigas que foram comparadas com as inércias teóricas calculadas de acordo com a NBR 7190 (3) e o roteiro apresentado no item 2.

Na sequência acrescentava-se pregos na metade dos espaçamentos adotados anteriormente, aumentando a rigidez das peças e um novo carregamento foi executado verificando-se novamente as inércias.

3.3.3 - Dados obtidos no laboratório

3.3.3.1 - Viga com seção T (ver tabela 1)

$$E_{med} = 161.590 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Pregos} = 18 \times 27 \text{ ;}$$

$$\text{Pela DIN 1052 : } F_{adm} = 0,65 \text{ KN (pela fórmula 2.12)}$$

$$\text{Pela NBR 7190 : } I = 870 \text{ cm}^4$$

$$F_{adm} = 0,47 \text{ KN (pela fórmula 2.11)}$$

Tabela 1 - viga seção T

s(cm)	145	73	36	18
α	0,011	0,021	0,041	0,079
F _{at}	23	22,7	21,9	20,6
I _{DIN}	756	761	771	790
I _{lab}	799	894	972	1083

3.3.3.2 Viga com seção caixão (Ver tabela 2)

$$E_{med} = 1080,00 \text{ KN/cm}^2$$

Pregos 18x27 ;

$$\text{Pela DIN 1052 ; } F_{adm} = 0,65 \text{ KN} \quad (\text{pela fórmula 2.12})$$

$$\text{Pela NBR 7190 : } I = 3840 \text{ cm}^4 \quad (\text{pela fórmula 2.11})$$

$$F_{adm} = 0,47 \text{ KN}$$

Tabela 2 - viga de seção caixão

s (cm)	140	70	35	17,5
α	0,011	0,021	0,042	0,081
F _{at}	36,3	34,8	32,3	28,2
I _{DIN}	1120	1153	1218	1338
I _{lab}	1030	1366	1928	2291

onde

α = coeficiente de redução do transporte da inércia ;

s = espaçamento entre pregos em cm ;

I_{DIN} = momento de inércia calculado pela norma em cm⁴ ;

I_{lab} = momento de inércia calculado no laboratório em cm⁴ ;

F_{at} = força atuante no prego em KN.

4 - CONCLUSÕES

4.1 - Conclusões finais

Analisando os dados obtidos nos ensaios da segunda etapa de experimentação observou-se que para a viga com seção transversal tipo T os valores calculados pelo método apresentado leva a valores mais baixos de inércia do que os calculados pela NBR 7190 (3), pois, leva em consideração uma redução grande no cálculo do transporte da inércia, mas os dois métodos são conservadores em relação aos valores obtidos experimentalmente.

Já para as vigas de seção transversal tipo caixão, os valores da inércia calculados pelo roteiro das normas internacionais estão bem abaixo dos valores apresentados pela NBR 7190 (3), o mesmo ocorre com os valores obtidos em laboratório.

Cabe ressaltar que o processo apresentado pelas normas internacionais leva em conta nos cálculos a rigidez apresentada pelas ligações tomando os valores mais confiáveis e mais próximos dos obtidos experimentalmente.

4.2 - Sugestões para o prosseguimento do trabalho

Diante dos resultados obtidos, torna-se necessário a realização de um maior número de ensaios, com espécies diferentes de madeira, para uma análise mais criteriosa das variações da inércia e das cargas de ruptura dos pregos. Sugere-se a realização de vários ensaios com um tipo de seção a fim de se observar com maior exatidão os valores calculados com os obtidos em laboratório.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- (1) Eurocode no. 5, Common Unified Rules for Timber Structures - EUR 9887, 136p.
- (2) DIN 1052, Construcciones de Madera - Calculo y Ejecucion, 1973, 41p.
- (3) NBR 7190, Cálculo e execução de estruturas de madeira, 1982, 22p.

ABSTRACT

The aim of this work is the theoretical and experimental analysis of composed wood beams using nails. The Brazilian Standard NBR 7190, Design and Construction of Timber Structures, doesn't present any rules to the design of this kind of beam. The experimental results showed a good agreement with the Eurocode and DIN rules.