

2.3.3 Norma canadense

Nos anos 80, o projeto de estruturas de madeira no Canadá passou a incorporar as mudanças que se manifestaram em outros países e, sobretudo, tornando o método de projeto das estruturas de madeira similar ao das estruturas de concreto armado e aço. Assim, o projeto de estruturas de madeira de acordo com a última edição da norma canadense – CSA 086.1 *Engineering Design in Wood (Limit States Design)* –, publicada em 1989, é baseado no método dos estados limites e usa os fatores de carga requeridos pelo *National Building Code of Canada (NBCC)* na determinação das solicitações de projeto.

O projeto, segundo o código canadense, implica em exigências quanto ao material a ser empregado. Para serem válidas suas recomendações, a madeira deve ser classificada visualmente ou por meios mecânicos (MSR ou MEL) e identificada por meio de um selo. Essa exigência se faz necessária visto que algumas características afetam a resistência e a rigidez da madeira, tais como: o tamanho e a localização dos nós, a inclinação das fibras, esmoados, profundidade e localização das fissuras, presença de alburno e outras.

2.3.3.1 Parâmetros para o dimensionamento

a) Parâmetros de resistência e rigidez

A resistência específica para uma determinada espécie de madeira é fornecida pelo documento normativo canadense e leva em conta a espécie botânica considerada, o tipo de classificação da madeira, a condição padrão de duração de aplicação do carregamento e as condições de serviço em que a estrutura ficará submetida. Logo, as resistências específicas e capacidades dos materiais e conectores devem ser multiplicadas pelos fatores de modificação apropriados para se obter a resistência de projeto.

b) Fatores de modificação

A CSA 086.1/89 indica os fatores de modificação, apresentados em seguida, que são utilizados para ajustar os parâmetros de resistência e rigidez da madeira às condições de uso e de permanência dos elementos estruturais.

b.1) Fator de duração do carregamento, K_D

A dependência da duração da força aplicada, para as madeiras estruturais canadenses, está bem documentada a partir de estudos dos efeitos de duração do carregamento e a partir de modelos conceituais. Para a consideração desse efeito no projeto, a norma canadense define o *fator de duração de carregamento*, K_D , que tem valor unitário para as cargas de curta duração (duração padrão de realização dos ensaios), nunca excedendo o valor 1,15. Conceitualmente esse fator equivale ao $k_{mod,1}$ da norma brasileira.

b.2) Fator de sistema, K_H

A norma CSA 086.1/89 propõe o *fator de sistema*, K_H , que considera a hipótese de compartilhamento de ações pelos elementos estruturais adjacentes, assemelhando-se ao fator k_8 da norma australiana. Indica os seus respectivos valores e as condições específicas que devem, simultaneamente, serem verificadas.

b.3) Fator de condição de serviço, K_S

O fator K_S é diferenciado para a determinação da resistência (denominando-se K_{Sc} para a compressão paralela às fibras) e da rigidez (K_{SE}). Para a umidade de referência (média do teor de umidade de equilíbrio da madeira, durante 1 ano, inferior a 15%, não sendo superado o valor de 19%) o fator K_S é igual a 1,00. Em caso contrário, o valor de K_S varia de 0,67 a 1,00, dependendo das dimensões da peça e da natureza da solicitação. Esse valor equivale ao $k_{mod,2}$ proposto pela norma brasileira.

b.4) Fator de dimensão, K_Z

O *fator de dimensão*, K_Z , leva em conta o efeito da dimensão da peça em sua resistência e depende da propriedade em consideração, bem como da maior dimensão da seção transversal. Para a resistência à compressão paralela às fibras, o fator K_{Zc} varia com o comprimento da peça, sendo calculado pela expressão:

$$K_{Zc} = 6,3 (d \cdot L)^{-0,13} \leq 1,3 \quad [2.82]$$

Na expressão acima, tem-se:

d = dimensão na direção da flambagem (largura ou espessura), em mm;

L = comprimento associado com a dimensão da peça, em mm.

b.5) Fator de tratamento, K_T

A influência dos processos de tratamento químico e sob pressão nas propriedades de resistência específica da madeira é levada em conta pelo uso de um fator multiplicador, K_T , denominado *fator de tratamento*, avaliado para tratamentos preservativos e retardantes da ação do fogo. No caso desse último tratamento, o documento normativo recomenda que as informações sobre o seu efeito, nos valores da resistência, sejam obtidas junto aos fabricantes dos produtos de tratamento químico, pois, como avisa o CWC (1996), algumas formulações têm efeitos significantes nas propriedades da madeira.

b.6) Fator de esbeltez, K_C

De acordo com o CWC (1996), usa-se o *fator de esbeltez*, K_C , para relacionar a esbeltez com a capacidade de carga de um pilar de madeira serrada. O algoritmo usado para o cálculo de K_C , apresentado pela CSA 086.1/89, é baseado na expressão cúbica de Rankine-Gordon, como afirma Johns (1991), sendo representado por:

$$K_C = \left[1,0 + \frac{f_{e0,d} K_{Zc} \lambda_C^3}{35 E_{0,05} K_{SE} K_T} \right]^{-1} \quad [2.83]$$

$E_{0,05}$ = módulo de elasticidade referente ao 5º quantil, em MPa ($E_{0,05} = 0,82E$ para MSR).

c) Parâmetros geométricos

O comprimento efetivo, L_e , é calculado de acordo com a expressão:

$$L_e = K_e \cdot L \quad [2.84]$$

Os *fatores de comprimento efetivo*, K_e , são apresentados na Tabela A.3 (Anexo A) para diferentes condições de vinculação das extremidades, com valores variando de 0,65 a 2,00, dependendo do caso. Na expressão de cálculo do comprimento efetivo, L é a distância entre os centros dos suportes laterais da peça comprimida, no plano em que a flambagem está sendo considerada.

O *índice de esbeltez*, λ_C , para peças simples comprimidas de madeira serrada e com seção transversal retangular constante, é restringido ao valor máximo de 50 (no qual os pilares de madeira serrada só podem ter aproximadamente 10 a 25% da capacidade que eles têm a um índice de esbeltez de cerca de 5) e será considerado como o maior de:

$$\lambda_C = \frac{\text{comprimento efetivo relacionado com a largura}}{\text{largura da peça}} \quad [2.85]$$

e

$$\lambda_C = \frac{\text{comprimento efetivo relacionado com a altura}}{\text{altura da peça}} \quad [2.86]$$

2.3.3.2 Peças comprimidas

A resistência de projeto à compressão paralela às fibras, N_{rd} , pode ser calculada pela equação:

$$N_{rd} = \phi f_{c0,d} A K_{Zc} K_C \quad [2.87]$$

em que:

$$f_{c0,d} = K_D \cdot K_H \cdot K_{Sc} \cdot K_T \cdot f_{c0,k} \quad [2.88]$$

ϕ = fator de performance, calibrado por critérios de segurança ($\phi = 0,8$);

$f_{c0,k}$ = resistência especificada para a compressão paralela às fibras, em MPa;

A = área da seção transversal, em mm^2 .

Talvez a maior quantidade de madeira estrutural usada em peças comprimidas de edificações residenciais, no Canadá, está nos painéis do tipo *stud wall*, afirma o CWC (1996). Esse é um uso muito eficiente, considerando-se que o revestimento dos painéis confere suporte contra a flambagem sobre o eixo de menor resistência dos elementos internos de tais painéis. Assim, a dimensão da seção transversal dessa peça interna do painel – que é perpendicular ao revestimento – é usada na determinação do índice de esbeltez.

2.3.3.3 Peças flexocomprimidas

Banzos superiores de treliças e componentes de estruturas do tipo plataforma, sujeitos à ação do vento ou empuxos de solos, devem ser projetados para resistir à flexão e às cargas axiais – geralmente de compressão –, como indica a Figura 2.14.

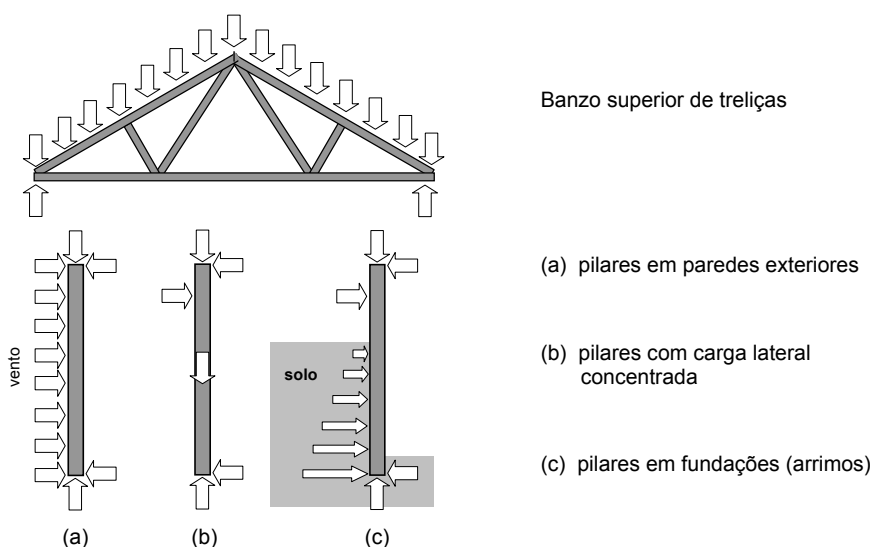


Figura 2.14 – Flexão associada com cargas axiais de compressão. Fonte: CWC (1996)

A resistência das peças sujeitas à flexo-compressão deve ser avaliada usando-se a condição:

$$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} + \frac{M_{sd}}{M_{rd}} \leq 1,0 \quad [2.89]$$

em que:

N_{sd} = esforço solicitante axial de compressão – valor de projeto;

N_{rd} = esforço resistente à compressão paralela às fibras, calculado de acordo com a Equação [2.87] – valor de projeto;

M_{sd} = momento fletor que leva em conta os momentos de extremidade e os momentos ampliados devidos ao carregamento axial em peças lateralmente carregadas (efeito de segunda ordem) – valor de projeto;

M_{rd} = momento fletor resistente, calculado de acordo com as exigências da CSA 086.1/89 – valor de projeto.

É possível que, em alguns casos, o momento de 2ª ordem não atue no mesmo plano que o momento de 1ª ordem (por exemplo, onde a excentricidade final está envolvida).

As tensões de flexão e de compressão podem não ser causadas pelo mesmo carregamento. Na Expressão [2.89], todavia, o mesmo fator de duração de carregamento, K_D , é geralmente usado para calcular N_{rd} e M_{rd} , embora diferentes valores são usados para checar as tensões individuais, separadamente.

Quando uma peça comprimida é lateralmente carregada, um momento de segunda ordem aparece como resultado do produto da carga axial pela deflexão lateral total (efeito $P - \Delta$). O momento total pode ser calculado por:

$$M_{sd} = M_{L,d} + N_{sd} \cdot u_T \quad [2.90]$$

sendo:

$M_{L,d}$ = momento fletor devido somente ao carregamento lateral – valor de projeto;

N_{sd} = esforço axial solicitante – valor de projeto;

u_T = deslocamento lateral total.

O deslocamento lateral total, u_T , é obtido amplificando-se o deslocamento lateral inicial devido ao carregamento lateral, u_L , pelo efeito de segunda ordem. A amplificação é feita usando-se o operador definido na Equação [2.25].