

## 5 CONCLUSÕES

A publicação da edição revisada da NBR 7190/97 sinalizou o início de uma fase de progressos no projeto das estruturas de madeira. Nesse novo texto, os critérios para a verificação das peças comprimidas sofreram marcantes modificações, que culminaram em solicitações de flexo-compressão pela consideração das distintas excentricidades, dos efeitos da fluência e suas devidas amplificações. Estes critérios tornaram-se alvo de críticas por apresentarem as descontinuidades averiguadas nos diagramas  $N_d \times \lambda$ , pela complexidade da equação que pondera o efeito da fluência e outras. Assim, as constatações apresentadas ao longo deste estudo indicam que a NBR 7190/97 requer visíveis reformulações, como as que se indicam em seguida, e que, numa próxima revisão, algumas seções sejam reescritas, conferindo-lhe uma maior clareza textual.

Ao apresentar os critérios para a verificação da estabilidade das barras comprimidas e flexocomprimidas, a NBR 7190/97 – em seu item 7.5.1 – define o índice de esbeltez em função do raio de giração mínimo da seção transversal. Embora um pouco mais adiante, no item 7.5.4, o texto faça referência ao índice de esbeltez correspondente, seria interessante uma revisão na forma de apresentação desse conceito, pois situações de projeto evidenciam a probabilidade de ocorrência da flambagem em torno do eixo de maior inércia, especialmente nas peças contraventadas ao longo do comprimento.

Outrossim, em comparação com as demais normas analisadas, cabe afirmar que a NBR 7190/97, em seu item 7.5.1, restringe excessivamente as possibilidades de vinculação das extremidades de barras. As tabelas constantes no Anexo A demonstram que as normas australiana, canadense e norte-americanas são bem mais abrangentes nas especificações das condições de apoio. Além disso, ressalta-se que a limitação da esbeltez em 140 deve ser reavaliada com base nos parâmetros de classificação do material e segurança estrutural. Demonstrou-se, na seção 2.4 deste trabalho, que essa limitação de esbeltez da norma brasileira se mostra, em alguns casos, bastante conservadora.

Com relação à consideração da excentricidade acidental há um equívoco na redação da NBR 7190/97, no item 7.5.5, que, no caso de peças esbeltas, recomenda uma excentricidade acidental mínima ao invés de uma excentricidade inicial mínima, que não deve ter valor menor que  $h/30$ . Essa restrição não tem sentido, pois se demonstrou na seção 2.2.3.2 deste trabalho que, para peças esbeltas de seção retangular,  $e_a \geq h/13$ .

Por outro lado, observa-se que as recomendações contidas no item 7.5.4 têm gerado dúvidas e controvérsias entre os projetistas, relativamente ao dimensionamento das peças sujeitas à flexo-compressão oblíqua, questionando-se se a aplicação isolada da Equação [2.24], segundo os planos de rigidez mínima e máxima da peça, é a melhor solução para o caso. Ressalta-se que as normas norte-americanas, européia e australiana oferecem interessantes alternativas para a verificação de peças sob tal solicitação. A norma brasileira também é omissa quanto à possibilidade do esforço de compressão atuar por intermédio de braçadeiras ou cantoneiras, que podem gerar elevadas excentricidades iniciais. Para esse caso, as normas norte-americanas indicam limitações e procedimentos considerados seguros.

A determinação do valor de projeto da resistência à compressão paralela às fibras ou à flexão não faz parte do enfoque principal deste trabalho. Contudo, desperta a atenção o número de fatores de ajuste ainda não contemplados pela NBR 7190/97. Dentre eles estão os fatores: de efeitos da temperatura, de tratamentos preservativos e retardantes da ação do fogo, de compartilhamento das ações, de dimensões, de forma da seção transversal e outros. Essa constatação sugere a necessidade de atualização dos coeficientes de modificação da NBR 7190/97, incorporando os resultados de recentes pesquisas e, eventualmente, inserindo novos parâmetros modificadores.

Relativamente ao dimensionamento das peças sujeitas à compressão centrada, destaca-se inicialmente o critério contido na AF&PA/ASCE 16-95/96. Por ser uma norma fundamentada no método dos estados limites, tem uma condição de verificação padrão muito semelhante à da NBR 7190/97, porém, com algumas vantagens. Os resultados dela decorrentes demonstram uma desejável continuidade nos diagramas  $N_d \times \lambda$  e as curvas podem ser ajustadas a partir da manipulação da constante “c” que aparece no denominador da Equação [2.134]. Seu critério é de fácil emprego, podendo ser programado em planilhas eletrônicas. Da confrontação dos resultados obtidos segundo a NBR 7190/97 e a AF&PA/ASCE 16-95/96, concluiu-se que a norma brasileira trata de forma conservadora o

dimensionamento das peças esbeltas, tendo seus resultados superados pelos desta norma norte-americana em 41%, quando  $\lambda = 90$  e as madeiras são dicotiledôneas de classe C40.

Outros modelos para o cálculo das peças comprimidas se mostram também versáteis, como é o caso daquele proposto pela CSA 086.1/89. Os resultados dela decorrentes demonstram continuidade nos diagramas  $N_d \times \lambda$  e a curvas podem ser facilmente ajustadas a partir da manipulação da constante que aparece no denominador da Equação [2.83]. Também foi possível concluir que, de um modo geral, a norma canadense é menos conservadora que a brasileira na delimitação dos esforços resistentes de projeto à compressão paralela às fibras, especialmente quando as peças têm esbeltez menor que 100. Exceto para as coníferas de classe C20, a norma alemã produz resultados muito próximos aos da norma brasileira, para barras medianamente esbeltas e esbeltas. Contudo, como a DIN 1052/88 é baseada no método das tensões admissíveis, o esforço normal de compressão não sofre as majorações que conduzem ao valor de cálculo ( $N_d$ ) do método dos estados limites, influenciando então diretamente na margem de segurança.

As peças flexocomprimidas foram avaliadas para duas hipóteses de solicitação excêntrica. Dentre os códigos normativos estudados, ressalta-se que a AF&PA/ASCE 16-95/96 tem um critério, para a flexo-compressão, que se ampara em uma sólida base teórica. Além disso, a continuidade no diagrama  $N_d \times \lambda$  e a desejável consideração do dimensionamento de peças sujeitas à flexo-compressão oblíqua, possibilitando uma transição correta para os casos de flexo-compressão reta ou compressão axial, torna o método interessante. A aplicação desse modelo, contudo, conduz à resolução de equações razoavelmente trabalhosas, especialmente quando se deseja obter o valor do esforço de cálculo,  $N_d$ , a partir de uma dada seção transversal. Destaca-se que os critérios apresentados pela NBR 7190/97, nos itens 7.5.4 e 7.5.5, para a verificação das peças flexocomprimidas, devem incorporar esclarecimentos sobre o procedimento de análise das peças sujeitas à flexo-compressão oblíqua.

Embora o método proposto pelo EUROCODE 5/93 apresente uma solução muito mais simplificada para a obtenção dos valores de  $N_d$ , sem a necessidade de recorrer a processos numéricos, destaca-se negativamente a descontinuidade da curva  $N_d \times \lambda$ , na região intermediária do intervalo de validade das peças curtas. Ainda, as elevadas diferenças constatadas entre os resultados da NBR 7190/97 e do EUROCODE 5/93 permitem refletir sobre o conservadorismo desse método, particularmente para as peças esbeltas.

É interessante acrescentar que, na implantação de critérios para o projeto das peças flexocomprimidas, é conveniente que o texto normativo diferencie os momentos devidos às ações transversais e aqueles relativos à excentricidade da força axial, como acontece no modelo desenvolvido por Zahn e adotado pela NDS/91.

O método para a consideração da fluência, recomendado pela NBR 7190/97, não foi detectado em nenhuma outra norma estudada. Ainda que o procedimento seja teoricamente bem fundamentado e que seus efeitos não possam ser ignorados no domínio das peças esbeltas, conclui-se que essa propriedade também pode ser modelada de uma maneira simplificada pela norma brasileira – através de uma possível redução das propriedades de rigidez da madeira –, como fazem alguns códigos normativos de outros países.