

Sobre a revisão da norma brasileira de projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto, a NBR 8800

(The revision of the Brazilian Standard for design of steel structures and composite steel and concrete structures, NBR 8800)

Ricardo Hallal Fakury

Professor Doutor da Universidade Federal de Minas Gerais
E-mail: fakury@dees.ufmg.br

Resumo

Esse artigo apresenta, inicialmente, um breve histórico dos trabalhos de revisão da norma brasileira de projeto de estruturas de aço e mistas de aço e concreto, que culminaram no projeto de norma de setembro de 2006, denominado aqui de PR NBR 8800:2006. Em seguida, procura fornecer as bases utilizadas na produção do PR NBR 8800:2006, as diretrizes fundamentais seguidas e as principais mudanças ocorridas em relação à norma em vigência, datada de 1986. Finalmente, procura destacar a importância de se ter uma norma atualizada para o avanço consistente da construção metálica no Brasil.

Palavras-chave: Estruturas de aço, estruturas mistas de aço e concreto, projeto estrutural, norma brasileira.

Abstract

This paper starts with a historical account of the revision work being done on the Brazilian Standard for the design of steel structures and steel/concrete structures. This revision led to the September 2006 draft, here referred to as PR NBR 8800:2006. The paper then presents the basis for the development of PR NBR 8800:2006, its main guidelines and the main changes in relation to the valid Standard, released in 1986. Finally, the importance of having an up to date norm for the consistent advance of the steel construction in Brazil is highlighted.

Keywords: Steel structures, composite steel and concrete structures, structural design, Brazilian Standard.

1. Introdução

1.1 Breve histórico

A primeira norma brasileira que tratava do projeto e da execução de estruturas de aço de edifícios constituídas por perfis laminados e soldados à temperatura ambiente foi a NB-14 (1958), que sofreu uma revisão em 1968. Essa norma se baseava, principalmente, na norma alemã DIN 4114 (1952) e utilizava o método de cálculo das tensões admissíveis, o mais difundido na época, e, com o passar dos anos, foi ficando ultrapassada, conduzindo, em certos casos, a estruturas inadequadas.

A partir dos anos 70, a falta de uma norma brasileira atualizada forçava o uso de normas e especificações estrangeiras. Tal fato prejudicava a difusão e o desenvolvimento das estruturas de aço no país, pois dificultava uma padronização do ensino oferecido nas escolas técnicas e superiores, impedia que profissionais de regiões distintas do Brasil, ou mesmo de empresas distintas, pudessem usar as mesmas referências e desestimulava a pesquisa científica e tecnológica e a produção de textos e artigos técnicos. Adicionalmente, não eram devidamente contempladas as particularidades da construção metálica nacional.

No início dos anos 80, especialistas começaram a trabalhar na produção de uma nova norma brasileira para estruturas de aço de edifícios. Como resultado, foi editada a norma ABNT NBR 8800:1986, trazendo um importante avanço na questão da segurança estrutural, ao substituir o método das tensões admissíveis pelo método dos estados-limites, ou seja, trocava-se um método de cálculo antigo, de base determinística, que se encontrava em desuso em grande parte do mundo, por outro mais moderno, de base probabilística. A ABNT NBR 8800:1986 incluía, ainda, como grande novidade, prescrições para o projeto vigas mistas de aço e concreto, que começavam a ser cada vez mais utilizadas no Brasil.

Com exceção das curvas múltiplas de flambagem, que seguiram o modelo

proposto na Europa pelo ECCS (1976), e dos anexos relacionados a valores de deformações, a vibrações em pisos, à consideração do efeito p -delta, à flambagem de barras axialmente comprimidas por flexo-torção e a aberturas em almas de vigas, que seguiram a norma canadense CAN/CSA-S16.1 (1984), a ABNT NBR 8800:1986 baseou-se nas recomendações de uma versão preliminar da especificação americana do AISC-LRFD (1986).

Por volta de 1995, surgiu a necessidade de se ter, no Brasil, uma norma de projeto de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio, um assunto praticamente desconhecido no país. Algumas universidades, como a UFMG, a USP e a UFOP, começaram a desenvolver estudos e pesquisas sobre o assunto, a partir dos quais tornou-se possível a edição da norma brasileira que trata da questão, a ABNT NBR 14323:1999. Essa norma, no entanto, inclui, também, elementos estruturais mistos de aço e concreto, quais sejam, vigas mistas, pilares mistos e lajes mistas, e, no caso dos dois últimos, também as prescrições para o projeto à temperatura ambiente (isso, embora pareça estranho, foi feito porque não existia norma brasileira que tratasse de pilares mistos e lajes mistas à temperatura ambiente, etapa inicial do projeto em situação de incêndio).

Em maio de 2001, um grupo de especialistas das áreas de estruturas de aço e estruturas mistas, formado por professores e pesquisadores de importantes universidades, representantes de órgãos de classe e da ABNT e engenheiros especializados, com apoio do IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia), sob coordenação do autor deste artigo e subcoordenação do professor Gilson Queiroz, começou a produzir um texto-base de revisão da norma ABNT NBR 8800:1986. Novos processos e produtos haviam surgido no mercado, novos conhecimentos técnicos e científicos estavam disponíveis, inclusive produzidos por centros de pesquisas brasileiros, e novas normas e especificações de reconhecimento internacional foram editadas. Logo de início se constatou que a ABNT

NBR 8800:1986 se encontrava tão obsoleta que o processo de revisão, na verdade, teria de ser transformado na elaboração de uma nova norma.

Em junho de 2003, foi concluído, disponibilizado aos interessados via internet e encaminhado à ABNT para os procedimentos formais de discussão e aprovação o primeiro texto-base de revisão da ABNT NBR 8800:1986. Formou-se a Comissão de Estudos CE-02:125.03, tendo sido eleito coordenador o Prof. Julio Fruchtengarten e nomeado secretário o autor do presente artigo. Três reuniões dessa Comissão foram realizadas em São Paulo, no Instituto de Engenharia, nos meses de novembro de 2003, fevereiro e abril de 2004, quando puderam ser percebidas as expectativas dos integrantes com relação ao conteúdo que a norma deveria ter. Assim, decidiu-se elaborar um novo texto-base para o prosseguimento das discussões.

O novo texto-base foi divulgado pela internet em dezembro de 2005. Resolveu-se pedir à comunidade interessada que se manifestasse sobre o mesmo, de preferência por escrito. Muitas sugestões de melhoria foram encaminhadas, a grande maioria acatada pela coordenação dos trabalhos de revisão da norma. Em abril de 2006, foi divulgada pela internet uma nova versão do texto-base, incorporando as citadas sugestões e, mais uma vez, solicitou-se aos interessados que se posicionassem. Adicionalmente, palestras e discussões foram feitas em entidades representativas da área de engenharia, como o Instituto de Engenharia de São Paulo, o Clube de Engenharia do Rio de Janeiro e a ABECE, Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural, sediada em São Paulo. De novo, dezenas de comentários chagaram à coordenação dos trabalhos, os quais foram devidamente avaliados e, muitas vezes, incorporados ao texto-base. Finalmente, foi produzido e divulgado pela internet um último texto-base, versão de setembro de 2006, que, acredita-se, deverá ser aprovado em futuras reuniões da Comissão de Estudos da ABNT e submetido à consulta pública sem alterações substanciais.

1.2 Sobre o presente trabalho

Esse artigo procura apresentar as bases utilizadas na produção dos textos-base de revisão da ABNT NBR 8800:1986, as diretrizes fundamentais seguidas e as principais mudanças ocorridas em relação à norma em vigência, datada de 1986. Procura, também, destacar a importância de se ter uma norma atualizada para o avanço consistente da construção metálica no Brasil. Por simplicidade, todas as citações aos textos-base de revisão estão relacionadas às prescrições do último texto-base divulgado, ou seja, o de setembro de 2006, que será tratado nesse trabalho de PR NBR 8800:2006, onde a sigla inicial PR significa *Projeto de Revisão*.

2. Compatibilidade com outras Normas Brasileiras

Procurou-se, sempre que possível, manter a compatibilidade do PR NBR 8800:2006 com todas as normas brasileiras correlacionadas. Esse procedimento abrange desde os símbolos gráficos utilizados para representar as diversas grandezas, que obedecem à ABNT NBR 7808:1983, até os critérios de segurança adotados, que seguem fielmente a norma ABNT NBR 8681:2003. Assim, por exemplo, os coeficientes de ponderação da resistência, ao invés de terem valores inferiores ou iguais a 1,0 e aparecerem nas expressões dos esforços resistentes de cálculo no numerador (multiplicando os esforços nominais), como na ABNT NBR 8800:1986, agora situam-se no denominador das expressões e são, evidentemente, superiores ou iguais a 1,0. Também segue fielmente a ABNT NBR 8681:2003 toda a parte relacionada a ações e suas combinações. No caso das estruturas mistas de aço e concreto, as referências a este último material são direcionadas à ABNT NBR 6118:2003, com exceção do concreto de baixa densidade, que não é previsto pela mesma.

3. Formato e filosofia

O PR NBR 8800:2006 é constituído por um corpo principal e um número muito grande de anexos, a rigor dezoito normativos, portanto de uso obrigatório, e um informativo. Na verdade, esse formato já é adotado pela ABNT NBR 8800:1986 e simplesmente foi mantido, considerando que: (a) os usuários já estão habituados ao mesmo, e; (b) apresenta a vantagem de permitir que sejam compartimentadas, em uma mesma parte da norma, todas as regras relacionadas a um determinado assunto.

Procurou-se, na medida do possível, produzir uma norma aberta, não restritiva, permitindo que os projetistas usem os seus melhores conhecimentos técnicos para que as estruturas de aço e mistas sejam exploradas em todas as suas potencialidades. Por exemplo, há autorização explícita para que, nas situações não cobertas pela norma, o projetista empregue um procedimento aceito pela comunidade técnico-científica, acompanhado de estudos para manter o nível de segurança previsto. Nas situações cobertas de maneira simplificada, o projetista poderá usar um procedimento mais preciso.

4. Principais mudanças em relação à ABNT NBR 8800:1986

4.1 Conteúdo

Em termos de conteúdo, merecem, inicialmente, destaque duas mudanças marcantes. A primeira é a eliminação no PR NBR 8800:2006 da parte relacionada à execução de estruturas (atual anexo P da ABNT NBR 8800:1986). Considerou-se que esse assunto, presentemente, é bastante amplo e deve constituir uma norma própria. Dessa forma, a futura ABNT NBR 8800 passará a ser uma norma exclusivamente de projeto de estruturas. Tal procedimento já é seguido pelas normas de concreto, onde a ABNT NBR 6118:2003 trata de projeto e a ABNT

NBR 14931:2004 trata de execução. A segunda é a inclusão dos elementos estruturais mistos de aço e concreto que não constavam da norma de 1986, caso de pilares e lajes, e, ainda, de ligações mistas. Com isso, a futura ABNT NBR 8800 pode ser considerada, de fato, uma norma de estruturas de aço e mistas. Essas duas mudanças se refletiram, diretamente, no seu próprio título, que passa a ser *Projeto de Estruturas de Aço e Mistas de Aço e Concreto de Edifícios* (a palavra *Execução* foi eliminada e acrescentada a referência às estruturas mistas).

Uma outra mudança importante é o acréscimo de um anexo relacionado à durabilidade das estruturas de aço, que é o único anexo informativo do PR NBR 8800:2006. Esse anexo trata da questão da proteção do aço frente à corrosão atmosférica, não apenas para garantir sua durabilidade, mas, também, por razões estéticas.

Outras mudanças são a inclusão de um anexo com os requisitos para dimensionamento de barras de aço de seção variável em formas de I, H ou caixão, tendo em vista o uso crescente das mesmas, e a eliminação do anexo relacionado à determinação da força cortante resistente levando em conta o efeito do campo de tração (atual anexo G da ABNT NBR 8800:1986), pelo fato de esse procedimento encontrar-se em desuso nas vigas de edifícios.

4.2 Análise e estabilidade estrutural

Uma mudança importante diz respeito ao procedimento para análise estrutural. Optou-se por utilizar as prescrições da norma americana ANSI/AISC 360-05, com inserções adicionais para facilitar o entendimento e algumas simplificações para tornar a análise mais expedita. Em linhas gerais, a análise estrutural deve ser feita em teoria de segunda ordem, em regime elástico, levando-se em conta as influências das imperfeições iniciais geométricas e de material. É fornecido um método simplificado para a análise de segunda ordem, chamado de

Método da Amplificação dos Esforços Solicitantes, que conduz a resultados considerados bons na prática. As imperfeições geométricas iniciais podem ser consideradas assumindo para a estrutura um desaprumo especificado ou substituindo esse desaprumo por forças horizontais equivalentes, chamadas de forças nocionais. As imperfeições de material são consideradas reduzindo-se a rigidez axial e a rigidez à flexão das barras.

A intensidade da consideração das imperfeições iniciais geométricas e de material depende da sensibilidade da estrutura a deslocamentos laterais. Se, em todos os andares, a relação entre o deslocamento lateral obtido na análise de segunda ordem e o obtido na análise de primeira ordem for igual ou inferior a 1,1, a estrutura é classificada como de pequena deslocabilidade, se a relação for superior a 1,1 e igual ou inferior a 1,5, de média deslocabilidade e, se a relação superar 1,5, de grande deslocabilidade. Nas estruturas de pequena deslocabilidade, pode-se dispensar a consideração das imperfeições iniciais de material. Nas estruturas de pequena e média deslocabilidades, as imperfeições geométricas não precisam ser consideradas em conjunto com o vento. Nessas últimas estruturas, no entanto, permite-se que seja feita análise de primeira ordem, desde que as forças axiais de compressão nas barras não superem certos limites e que sejam aplicadas forças nocionais de valores mais elevados.

Com a análise estrutural sendo feita em segunda ordem, ou mesmo em primeira ordem caso isso seja permitido, o coeficiente de flambagem das barras comprimidas pode ser tomado igual a 1,00 no dimensionamento. Isso facilita, enormemente, o cálculo estrutural, pois evita que o projetista tenha de fazer estudos complexos e de resultados, às vezes, pouco precisos para obtenção do citado coeficiente.

No PR NBR 8800:2006 foram incluídas exigências de resistência e rigidez que as contenções (escoras) devem possuir para que o comprimento destravado de pilares e vigas possa ser tomado igual

à distância entre os pontos nos quais essas contenções estejam presentes, de maneira similar à ANSI/AISC 360-05. Isso é muito importante para um projeto estrutural mais consciente, pois evita a necessidade de avaliações subjetivas como as que, normalmente, são feitas para se saber se determinada contenção é ou não efetiva.

4.3 Dimensionamento de barras de aço

No dimensionamento de barras axialmente tracionadas, a única alteração diz respeito ao coeficiente de redução da área líquida de seções abertas, C_r , no *estado limite* último de ruptura da seção líquida. Ao invés de se usarem valores fixos de 0,90, 0,85 ou 0,75, de precisão discutível, como na ABNT NBR 8800:1986, esse coeficiente no PR NBR 8800:2006 é fornecido por uma expressão igual à da ANSI/AISC 360-05, que leva em conta o efeito favorável do comprimento da ligação e o efeito desfavorável da excentricidade da ligação. Essa expressão é empírica e fornece resultados com desvios máximos da ordem de 10% em relação aos ensaios até então realizados. Uma outra vantagem da mesma é a possibilidade de seu emprego à ruptura da seção líquida de seções fechadas, como as tubulares retangulares, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica ou por chapas de ligação em dois lados opostos da seção, e as tubulares circulares, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica.

Nas barras axialmente comprimidas, não existem grandes alterações. As mais significativas são as mudanças na curva de resistência à compressão de algumas seções transversais. É o caso das cantoneiras laminadas, que passam da curva c para a curva b , em decorrência de pesquisas recentes, seguindo o EN 1993-1-1:2005. É, também, o caso dos perfis I ou H soldados, fabricados por deposição de metal de solda e com chapas cortadas a maçarico, comuns na construção metálica nacional, que, dependendo do eixo

de instabilidade e das dimensões das mesas, passam da curva c ou d para curva b . Tal mudança é justificada por esses perfis apresentarem tensão residual de tração nas bordas das mesas, o que os torna mais resistentes à instabilidade por flexão, o que foi comprovado em pesquisas feitas no Brasil. Observa-se que a permissão para uso dessas curvas mais favoráveis para os perfis soldados não consta do EN 1993-1-1:2005, que serviu de referência para o PR NBR 8800:2006.

Nas barras fletidas, a maior novidade é a adoção do mesmo fator de momento equivalente, C_b , instrumento importante no cálculo de determinadas vigas à flambagem lateral com torção, indicado pela ANSI/AISC 360-05, mais preciso e abrangente que o existente na ABNT NBR 8800:1986. Por ser mais preciso, torna possível obter vigas com seção transversal mais leve, especialmente aquelas com cargas transversais atuantes ao longo dos comprimentos destravados e com grandes comprimentos destravados. A maior abrangência implica a possibilidade de se tratarem situações anteriormente não previstas na norma, como a de vigas com uma das mesas livre para se deslocar lateralmente submetida à tensão normal de compressão em algum trecho de seu comprimento e a outra mesa com contenção lateral contínua contra esse tipo de deslocamento. Um exemplo dessa situação, muito comum na prática, ocorre nos pórticos rígidos em que as vigas de aço são sobrepostas por laje de concreto solidarizada à mesa superior (a mesa superior fica com deslocamento impedido e a inferior apresenta compressão nos trechos junto às ligações com os pilares).

Outra mudança importante nas barras fletidas foi um ajustamento geral das equações que fornecem os momentos resistentes e as forças cortantes resistentes, seguindo em grande parte as prescrições da ANSI/AISC 360-05. No caso do momento resistente, as equações referentes ao *estado limite* de flambagem lateral com torção se aplicam a cargas aplicadas na semi-altura da seção transversal, mesmo nas seções mo-

nossimétricas, o que fica mais próximo do que ocorre na prática. Embora a ANSI/AISC 360-05 apresente uma formulação que incorpora o estado limite de flambagem local da alma na flambagem lateral com torção, optou-se, no PR NBR 8800:2006, por manter esses dois estados-limites separados para efeito de dimensionamento, preservando uma forma de tratamento familiar aos profissionais brasileiros e facilitando o entendimento dos fenômenos de flambagem. Uma outra diferença entre a ANSI/AISC 360-05 e o PR NBR 8800:2006 é que o primeiro utiliza um valor único de tensão residual de compressão nas mesas de perfis I, igual a 30% da resistência ao escoamento do aço, enquanto o segundo procura contemplar melhor a realidade brasileira, assumindo um valor de 70 MPa nos perfis laminados e perfis soldados fabricados por deposição de metal de solda com chapas cortadas a maçarico e igual a 115 MPa nos demais perfis soldados, o que permite chegar, em alguns casos, a um momento resistente um pouco superior.

Para as barras submetidas à combinação de esforços solicitantes, no caso comum da atuação conjunta de força axial e momentos fletores em relação aos eixos centrais de inércia, o modo de dimensionamento previsto pela ABNT NBR 8888:1986 foi, significativamente, alterado no PR NBR 8800:2006. Pela norma de 1986, deveriam ser atendidas duas expressões de interação relacionando os esforços solicitantes e resistentes de cálculo, uma ligada ao colapso por escoamento da seção transversal e outra ao colapso por instabilidade. O projeto de revisão adota o mesmo procedimento da ANSI/AISC 360-05, que resume a verificação ao atendimento de uma única expressão de interação e que consegue representar adequadamente a curva de resistência das barras, considerando a possibilidade de ruína por escoamento ou instabilidade. Na verdade, apenas uma expressão de interação é utilizada, mas esta deve ser escolhida entre duas, em função do valor da relação entre a força axial solicitante de cálculo e a força axial resistente de cálculo. Adicionalmen-

te, o PR NBR 8800:2006 apresenta, como novidade, prescrições para o dimensionamento de barras de seção fechada quando um dos esforços solicitantes é o momento de torção, também seguindo o ANSI/AISC 360-05. Trata-se, sem dúvida, de um avanço que vem solucionar um problema muitas vezes enfrentado pelos projetistas, que tinham grandes dificuldades para efetuar o dimensionamento, quando atuava sobre a barra um momento de torção.

4.4 Dimensionamento de ligações metálicas

No dimensionamento de ligações metálicas, foi feita uma atualização generalizada dos procedimentos, seguindo as prescrições da ANSI/AISC 360-05. Chama-se a atenção para a permissão, não existente na ABNT NBR 8800:1986, para o uso de parafusos de alta resistência sem protensão inicial, em algumas situações.

Merecem, também, ser mencionadas as novas prescrições para consideração do efeito de alavanca, na determinação da força de tração de cálculo em parafusos e barras redondas rosqueadas, produzido pelas deformações das partes ligadas. Trata-se de prescrições simplificadas, de uso bastante simples, que substituem, com bons resultados, verificações complexas e de uso complicado na prática.

4.5 Dimensionamento de elementos estruturais mistos

Conforme já foi exposto, o PR NBR 8800:2006 trata de pilares mistos, vigas mistas, incluindo o controle de fissuras do concreto nessas vigas, lajes mistas e ligações mistas de aço e concreto.

O PR NBR 8800:2006 fornece prescrições para pilares mistos submetidos à força axial e a momentos fletores, com seções transversais totalmente revestidas com concreto (perfis I ou H completamente envoltos por concreto), parcialmente revestidas com concreto (per-

fis I ou H com concreto entre as faces internas das mesas), tubulares retangulares preenchidas com concreto e circulares preenchidas com concreto. Essas quatro seções são previstas também pelo EN 1994-1-1:2004, mas a ANSI/AISC 360-05 não trata das seções parcialmente revestidas com concreto, justamente as mais utilizadas no Brasil. Para a verificação dos efeitos da força axial de compressão e dos momentos fletores, são oferecidos dois modelos de cálculo, um mais simples, baseado na ANSI/AISC 360-05 e outro mais rigoroso, baseado no EN 1994-1-1:2004. O modelo mais simples, denominado *Modelo de Cálculo I*, utiliza as mesmas expressões de interação entre esforços solicitantes desenvolvidas para os pilares puramente de aço. O modelo mais rigoroso, *Modelo de Cálculo II*, baseia-se na obtenção do diagrama de interação dos esforços solicitantes considerando uma distribuição plástica das tensões, com as imperfeições ao longo do pilar tratadas como excentricidades proporcionais ao comprimento destravado da peça. Embora o *Modelo de Cálculo I* seja mais fácil de usar, fornece resultados conservadores nos pilares com esbeltez baixa e pequena contribuição do perfil de aço na capacidade resistente.

Nas vigas mistas, destacam-se três grandes novidades, que, certamente, contribuirão para o uso cada vez maior desses elementos estruturais em nosso país. A primeira são prescrições para o emprego de treliças mistas biapoiadas, elemento estrutural com enorme potencial de uso, baseadas na norma canadense em vigor, CAN/CSA S16-01:2001. A segunda novidade é a permissão para emprego de conectores de cisalhamento constituídos por perfis C formados a frio, fundamentada em pesquisas realizadas no Brasil, uma vez que tal prática não existe nos países europeus e da América do Norte. Curiosamente, esse tipo de conector já é muito empregado, especialmente em pequenas obras, mesmo sem o necessário amparo normativo. E a terceira novidade é a introdução no PR NBR 8800:2006 de procedimentos que permitem o uso de vigas mistas contínu-

as e semicontínuas, que apresentam em diversas situações a vantagem de levar a perfis de aço mais leves. Esses procedimentos são baseados no EN 1994-1-1:2004 e incluem um processo para verificação da flambagem lateral com distorção, *estado limite* último relacionado às regiões de momentos negativos das vigas.

O PR NBR 8800:2006 fornece regras para o dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto, apoiadas na direção perpendicular às nervuras, tendo por base o EN 1994-1-1:2004. Embora o dimensionamento desses elementos não seja simples, dependendo de parâmetros obtidos experimentalmente, sua inclusão na norma tem o importante papel de difusão do uso e de servir de base para indicar os parâmetros que devem ser obtidos nos ensaios. A realidade mostra que a prática usual consiste em os próprios fabricantes encomendarem os ensaios e, com os parâmetros relevantes obtidos, fazerem tabelas de uso prático específicas para seus produtos.

4.6 Ligações mistas

De forma completamente inédita no Brasil, o PR NBR 8800:2006 apresenta as prescrições necessárias para o dimensionamento de ligações mistas, que são ligações em que a laje de concreto participa da transmissão de *momento fletor* de uma viga mista para um pilar ou para outra viga mista no vão adjacente, em região de momento negativo. São abordadas ligações mistas com três configurações predefinidas, pertencentes a vigas mistas semicontínuas que não participam do sistema de estabilidade lateral da edificação.

4.7 Estados-limites de serviço

O PR NBR 8800:2006 trata dos seguintes estados-limites de serviço: deslocamentos excessivos, fadiga, vibrações inaceitáveis em pisos, vibrações inaceitáveis devidas ao vento, fissuras inaceitáveis do concreto em vigas mistas.

A forma de verificação dos limites

aceitáveis para os deslocamentos da estrutura sofreu substancial mudança em relação à ABNT NBR 8800:1986. Embora o PR NBR 8800:2006 indique *valores limites* para os deslocamentos, cabe ao projetista definir quais combinações de serviço devem ser usadas no cálculo dos deslocamentos (quase permanentes, frequentes ou raras), conforme o elemento estrutural considerado, as funções previstas para a estrutura, as características dos materiais de acabamento vinculados à mesma e a seqüência de construção. Trata-se de um procedimento inovador no Brasil, que segue a filosofia do EN 1993-1-1:2005. Os *valores limites* tabelados se basearam nessa norma européia e também na experiência brasileira.

A avaliação da vibração em pisos é sempre um problema complexo, que depende de análise dinâmica, devendo-se levar em conta fatores como as características e a natureza das excitações dinâmicas, os critérios de aceitação para conforto humano em função do uso e ocupação, a razão de amortecimento modal e os pesos efetivos do piso. O PR NBR 8800:2006 fornece uma bibliografia referencial para uma avaliação considerada precisa da questão e regras de uso imediato para uma avaliação simplificada nos casos de atividades humanas normais, como o caminhar de pessoas e movimentos rítmicos de salto ou dança.

Da mesma forma que a vibração em pisos, o movimento causado pelo vento em estruturas de edifícios de andares múltiplos ou outras estruturas similares pode gerar desconforto aos usuários. O PR NBR 8800:2006 fornece indicações para uma avaliação mais rigorosa do problema e providências que devem ser tomadas na fase de projeto para sua minimização.

O *estado limite* de serviço relacionado à fissuração do concreto deve ser, obrigatoriamente, verificado nas regiões de momento negativo ou com tendência de continuidade das vigas mistas, como por exemplo, junto aos apoios de vigas biapoiadas. Para esse *estado limite*, o PR NBR 8800:2006 tomou, como base, a ABNT NBR 6118:2003.

5. A importância da Norma Brasileira

Ao longo dos trabalhos de revisão da ABNT NBR 8800:1986, certos setores da comunidade de estruturas de aço chegaram a discutir a conveniência da adoção, no Brasil, da norma americana ANSI/AISC 360-05, que poderia, inclusive, ser traduzida para a língua portuguesa. Os defensores da idéia alegavam, até com certa dose de lógica, que ficaríamos livres da desgastante, demorada e onerosa missão de “fazer norma” e estaríamos inseridos em um cenário internacional, ainda mais que, possivelmente, a ALCA, Associação de Livre Comércio das Américas, em breve poderia alcançar o Brasil, levando a uma inevitável padronização das normas técnicas no continente americano.

Caso esse pensamento prevalecesse, certamente a construção metálica brasileira sofreria um baque, uma vez que a norma americana não atende, totalmente, às necessidades nacionais. Os seguintes inconvenientes, entre outros, se fariam presentes:

- a) As particularidades do comportamento dos perfis I ou H soldados, fabricados por deposição de metal de solda e com chapas cortadas a maçarico, largamente utilizados no Brasil, não seriam contempladas.
- b) Não haveria regras referentes aos estados-limites de serviço, tendo em vista que a ANSI/AISC 360-05 não contém limitações para deslocamentos e procedimentos, mesmo que simplificados, para avaliação de vibrações em pisos devidas ao vento, e, também, regras para controle de fissuras do concreto em vigas mistas. É de se imaginar, por exemplo, a intensidade dos problemas que surgiriam quando houvesse alguma discussão sobre qual seria a melhor limitação para a flecha de determinada viga.
- c) Não haveria possibilidade de uso de procedimentos simplificados, exis-

tentes apenas no PR NBR 8800:2006, para tratar, de forma segura, situações complexas, como o efeito de alavanca na determinação da força de tração de cálculo em parafusos e barras redondas rosqueadas.

- d) Não haveria possibilidade de uso de conectores de cisalhamento constituídos por perfis U formados a frio.
- e) Não haveria procedimentos para dimensionamento de pilares mistos parcialmente revestidos com concreto, de vigas mistas contínuas e semi-contínuas, de treliças mistas, de lajes mistas e de ligações mistas.
- f) Não haveria um anexo relacionado à durabilidade das estruturas, de grande importância para orientação dos profissionais no quesito referente à corrosão.

Adicionalmente, as estruturas de aço e mistas de aço e concreto não teriam, no Brasil, uma norma compatível com as demais normas brasileiras. No mais, a ausência de uma norma genuinamente nacional inibiria as pesquisas científicas e tecnológicas feitas nas universidades e centros de pesquisa.

6. Conclusões

O PR NBR 8800:2006 é um texto atualizado, que, certamente, vai contribuir para o avanço da construção metálica e mista de edifícios no Brasil, uma vez que incorpora o que existe de mais moderno no mundo sobre o dimensionamento dessas estruturas. As normas internacionais usadas como principais referências, as européias EN 1993-1-1:2005 e

EN 1994-1-1:2004 e a americana ANSI/AISC 360-05 são muito recentes. A adaptação à realidade brasileira foi feita com cuidado, procurando tratar, com consciência, situações comuns em nosso país, que não têm paralelo em outros lugares, e procurando fornecer procedimentos simplificados para situações complexas, com objetivo de tornar o cálculo estrutural acessível ao maior número possível de profissionais.

7. Agradecimentos

Ao CBCA, Centro Brasileiro da Construção Metálica, e ao CNPq, Conselho Nacional de Pesquisa, que tornaram possível a elaboração desse trabalho.

8. Referências bibliográficas

- ABNT NBR 6118:2003. Projeto de estruturas de concreto. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT NBR 7808:1983. Símbolos gráficos para projetos de estruturas. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT NBR 8681:2003. Ações e segurança nas estruturas. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT NBR 8800:1986. Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT NBR 14323:1999. Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT NBR 14931:2004. Execução de estruturas de concreto. *Associação*

Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.

- AISC-LRFD-1986. Load and resistance factor design specification for structural steel buildings. *American Institute of Steel Construction*, Chicago, USA.
 - ANSI/AISC 360-05. Specification for structural steel buildings. *American Institute of Steel Construction*, Chicago, USA.
 - CAN/CSA S16.1:1984. Steel structures for buildings - limit states design. *Canadian Institute of Steel Construction*, Rexdale, Ontario, Canadian.
 - CAN/CSA S16-01:2001. Limit states design of steel structures. *Canadian Institute of Steel Construction*, Rexdale, Ontario, Canadian.
 - DIN 4114 (1952). Berechnungsgundlagen für stabilitätsfälle in stahlbau. *Deutsche Industrie Normen*, Knickung, Kippung, Beulung, Germany.
 - ECCS (1976). Manual on the stability of steel structures. *European Convention for Constructional Steelwork - Committee 8*, 2a. Ed.
 - EN 1993-1-1: 2005. Design of steel structures-Part 1.1: General rules and rules for buildings. EUROCODE 3, *European Committee for Standardization*, Brussels, Belgium.
 - EN 1994-1-1:2004. Design of composite steel and concrete structures: Part 1.1: General rules and rules for buildings. EUROCODE 4, *European Committee for Standardization*, Brussels, Belgium.
 - NB 14-1952 (revisada em 1968). Cálculo e execução de estruturas de aço (edifícios). *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, Brasil.
 - PR NBR 8800:2006. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, Projeto de Revisão, Versão Setembro de 2006. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Artigo recebido em 07/12/2006 e aprovado em 08/12/2006.**

REM - Revista Escola de Minas
71 anos divulgando CIÊNCIA.