

Comparando o dimensionamento de perfis I com o Método dos Estados Limites (LRFD) e das Tensões Admissíveis (ASD) de acordo com a AISC 2005 e a proposta de revisão da NBR 8800

ZACARIAS M. CHAMBERLAIN PRAVIA¹

RESUMO

O presente trabalho objetiva apresentar a lógica do processo de determinação de carga resistente para colunas de seção I laminadas ou soldadas, usando os métodos de tensões admissíveis e de estados limites últimos, segundo a prescrição do AISC de 2005. Através de exemplos, pretende-se comparar e comentar as diferenças entre a NBR 8800 de 1986 e a proposta de revisão da NBR 8800, em relação à norma americana AISC 2005, considerando as combinações de carregamento para obter a solicitação de projeto dos perfis.

1. Introdução

Dimensionamento de perfis laminados e soldados sujeitos à compressão dependem diretamente do fenômeno de flambagem, quanto maior a esbeltez da peça menor a capacidade resistente (vide figura 1). A flambagem pode se processar globalmente, localmente, ou ainda, por flexo-torção ou uma interação entre todas as anteriores. O processo de dimensionamento é conduzido pelo menor valor da carga de flambagem obtido para os diferentes tipos de flambagem, e por curvas com ajustes experimentais que levam em conta imperfeições iniciais e tensões residuais.

A prescrição, para perfis soldados e laminados, norte-americana válida

atualmente é o AISC 2005, para considerar as imperfeições iniciais, tensões residuais na avaliação da flambagem, define uma única curva que relaciona a esbeltez da peça e o coeficiente de redução da tensão de escoamento (tensão elástica ou inelástica de flambagem). Tal curva é baseada na curva do SSRC (Structural Stability Research Council). Em contrapartida, a NBR8800, na sua versão de 1986 e na sua proposta de revisão, fornece diversas curvas para diferentes tipos de seções, baseada no EUROCODE e, estas, nas curvas apresentadas pelo ECCS (European Convention for Constructional Steel Research). Para se ter uma idéia de como essas curvas se relacionam, foi desenhada a curva "b" da Norma

Brasileira (1986, 2007) e a curva única do AISC. Observa-se, na Figura 2, que a NBR 8800:1986 e a proposta da NBR 8800(2007) são equivalentes e mais conservadoras que a curva do AISC 2005. É importante notar que as curvas do ECCS fornecem diferentes valores para diferentes seções.

A norma brasileira define como método de dimensionamento: o de estados limites últimos e de utilização. Já a AISC prevê a alternativa para o uso dos dois métodos de dimensionamento: tensões admissíveis e estados limites últimos. Deve se observar que os coeficientes de segurança da AISC foram ajustados para não existirem diferenças no dimensionamento para ambos os métodos, principalmente em casos em

¹ Prof. Dr. da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo – UPF. E-mail: zacarias@upf.br

que a carga acidental seja ao menos três vezes maior que a carga permanente.

2. Sobre a Determinação de Carga de Projeto

Para determinar a carga máxima ou de projeto que um elemento deve suportar são realizadas combinações de esforços, as normas AISC sempre se basearam em outras normas (ASCE-7 - *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*). Para entender

como essas combinações são feitas, vamos observar o quadro 1. Já, no caso da NBR 8800, as combinações são oferecidas no texto da própria norma, porém não de maneira explícita como o ASCE-7.

Devemos observar no quadro 1, que a carga de projeto varia muito entre os métodos de tensões admissíveis (ASD) e de estados limites (LRFD) da AISC. No caso da NBR 8800 (1986) e a AISC/LRFD, há uma diferença significativa nas estimativas, já que a norma americana aplica um fator para a carga permanente de 1,2 e a NBR

8800 de 1,3, na sua versão de 1986 e de valores que oscilam de 1,25 até 1,5 na versão da proposta de revisão apresentada em abril de 2007.

Para poder ter uma idéia de valores comparativos entre métodos e normas, iremos assumir o dimensionamento de uma coluna com pé direito de 3000mm, e carga permanente nominal de $D=116\text{kN}$, acidental de $L=354\text{kN}$ e de vento no valor de $W=135\text{kN}$ (sobrepessão). Observam-se, no mesmo quadro 1, os valores das combinações e os máximos para dimensionamento.

Quadro 1 – Combinações de Carregamentos para determinar carga de projeto

Norma	Combinações de Carga	Carga de projeto do elemento
AISC/ASD- 2005 ^(1,2)	D	116
	D+L	116+354=470kN
	D+Lr	(sem carga de cobertura)
	D+0.75L+0.75Lr	116+0.75(354)=381.5kN
	D+W	116+135=251kN
	D+0.75W+0.75L+0.75Lr	216+0.75(135)+0.75(354)=582.75kN
	0.6D+W	(apenas para combinação de vento a sucção)
AISC/LRFD-2005 ^(1,2)	1.4D	1.4(116)=162.4kN
	1.2D+1.6L+0.5Lr	1.2(116)+1.6(354)=705.6kN
	1.2D+1.6W+L+0.5Lr	1.2(116)+1.6(135)+(354)=709.2kN
	0.9D+1.6W	(apenas para combinação de vento a sucção)
NBR 8800 (1986)	1.3G+1.5Q ₁	1.3(116)+1.5(354)=681.8kN
	1.3G+1.4Q ₂	1.3(116)+1.4(135)=339.8kN
	1.3G+1.5Q ₁ +(0.6)(1.4)Q ₂	1.3(116)+1.5(354)+(0.6)(1.4)(135)=795.2kN
	1.3G+1.4 Q ₁ +(0.75)(1.5)Q ₂	1.3(116)+1.4(135)+(0.75)(1.5)(354)=738.05kN
NBR 8800 (2005) ⁽³⁾	1.25 F _{Gk} +1.5 F _{Qk}	1.25(116)+1.5(354)=676kN
	1.25 F _{Gk} +1.4 F _{Qk}	1.25(116)+1.4(135)=334kN
	1.25 F _{Gk} +1.5 F _{Qk} +(0.6)(1.4) F _{Qk}	1.25(116)+1.5(354)+(0.6)(1.4)(135)=789.4kN
	1.25 F _{Gk} +1.4 F _{Qk} +(0.75)(1.5) F _{Qk}	1.25(116)+1.4(135)+(0.75)(1.5)(354)=726.45kN

(1) A AISC 360:05 não explicita as combinações e usa aquelas propostas no ASCE-7(2005)

(2) D = Carga permanente, L= Carga acidental, W = carga devida ao vento, Lr= Carga acidental em coberturas.

(3) O coeficiente de majoração da carga permanente varia de 1,25 para peso próprio de estruturas metálicas até 1,40 para elementos construtivos industrializados com adições in loco, ou ainda 1,5 para elementos construtivos e equipamentos.

(4) equivalências de simbologia para as cargas: D = F_{Gk}, L = F_{Qk}.

Não sendo possível comparar a carga de projeto (grifada na coluna de carga de projeto no quadro 1) de métodos de tensões admissíveis com de estados limites, apenas, observa-se que entre a AISC LRFD (2005) e a NBR 8800 (1986, 2007), existem diferenças de aproximadamente 10%, para este exemplo específico. Na maioria das vezes

esta diferença, na prática, não excede 15%. Por outro lado, embora o coeficiente de ponderação das ações permanentes de pequena variabilidade (peso de estruturas metálicas na proposta de revisão NBR 8800) tenha diminuído de 1,3 para 1,25, o valor da combinação que define o dimensionamento mudou menos que 1%.

3. Dimensionamento à Compressão

Um resumo das formulações para dimensionamento à compressão de elementos para as normas aqui analisadas está apresentada no Quadro 3. Deve-se lembrar que, apenas, é uma forma simplificada de

mostrar tais formulações, sendo necessário lembrar que existem diversas exigências e verificações a serem realizadas para obter a capacidade resistente das peças. Principalmente, em relação a

relações largura-espessura de mesas e abas. Neste estudo, foram usados perfis com relações largura-espessura que impedem a flambagem local (na prática, a maioria dos perfis laminados é

produzida com seções compactas). Para se ter uma idéia de comparação, foram determinadas as combinações, expostas no Quadro 1, para uma coluna de seção W310x38,7.

Quadro 2 – Exemplo de verificação de coluna

Norma	Perfil	Carga Projeto (Ns)	Capacidade Resistente (Nr)	Relação Ns/Nr
AISC/ASD 2005	W310x38,7	519,75kN	691,52kN	0,76
AISC/LRFD 2005	W310x38,7	709,2kN	1039,35kN	0,68
NBR 8800 1986	W310x38,7	795,2kN	819,75kN	0,97
NBR 8800 2007	W310x38,7	789,4kN	862,92kN	0,91

Quadro 3 – Formulações para dimensionamento de elementos

Norma	Esforço	Formulação para resistência
AISC-2005	Compressão (Uma única curva para determinar o valor resistente a compressão)	$P_n = F_{cr} A_g$ $F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$ $F_e \geq 0.44 F_y: \quad F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_e}{F_y}}\right) F_y$ $F_e < 0.44 F_y: \quad F_{cr} = 0.877 F_e$ $\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$
NBR 8800 (1986)	Compressão (Os valores de α variam de acordo com o tipo de seção, são 4 curvas diferentes!)	$N_{c,Rd} = 0,9 \rho Q A_g f_y$ $\rho = 1,00 \quad \text{para } 0 \leq \bar{\lambda} < 0,20$ $\rho = \beta - \sqrt{\beta^2 - \frac{1}{\bar{\lambda}^2}} \quad \text{para } \bar{\lambda} > 0,20$ $\beta = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \left[1 + \alpha \sqrt{\bar{\lambda}^2 - 0,04 + \bar{\lambda}^2} \right]$ $\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{KL}{r} \cdot \sqrt{\frac{Q f_y}{E}}$
NBR 8800 (2005)	Compressão (Os valores de α variam de acordo com o tipo de seção, são 4 curvas diferentes!, comparando os valores observa-se o mesmo resultado que a NBR 8800-1986)	$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{al}} \quad \chi = \frac{1}{\beta + \sqrt{\beta^2 - \lambda_o^2}} \leq 1,0$ $\beta = 0,5 [1 + \alpha (\lambda_o - 0,2) + \lambda_o^2]$

Observa-se, no Quadro 2, que todas as relações entre a carga de projeto requerida (N_s) e a carga resistente (N_r) mostram que o perfil é menor que a unidade. Uma relação igual à unidade, mostra que é um perfil aproveitando toda a capacidade da seção, um valor acima, o perfil não tem capacidade para resistir e, por último, um valor muito abaixo da unidade, mostra que o perfil está sendo usado com sobra de capacidade resistente.

A carga de solicitação de projeto tem pouca mudança entre a NBR8800:1986 e a proposta da NBR8800:2007. Já, a solicitação obtida, com as combinações do ASCE07:05, é menor que àquelas obtidas com a NBR8800 de 1986 e de 2007.

É necessário lembrar que a AISC360:05 fornece procedimento para obtenção da carga nominal resistente, e só, depois, determina a carga resistente de projeto, conforme mostrado, no quadro 3. Na definição dos métodos de estados limites e de tensões admissíveis, foram ajustados tais coeficientes para que não houvesse grandes diferenças entre o uso de um ou outro método de dimensionamento.

4. Comentários e observações

Foram aqui apresentados os procedimentos básicos para dimensionamento de perfis I laminados e soldados, para as prescrições ou norma americana AISC360:05, para a NBR8800:1986 e para a proposta da NBR8800:2007. No exemplo apresentado, usando as mesmas carga nominais, e os respectivos coeficientes de ponderação dos estados limites, mostrou-se que o perfil teria capacidade resistente adequada à solicitação prevista.

Observa-se, nesse exemplo, e em outros analisados, que ainda que tenha

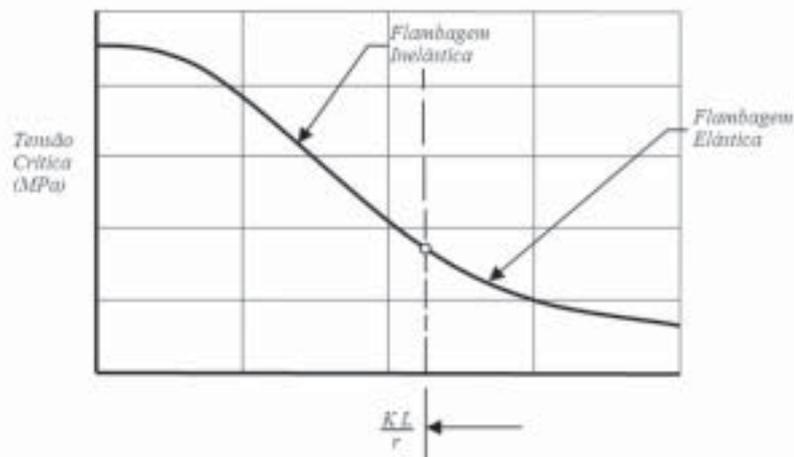


Fig. 1 – Curva de relação parâmetro de flambagem e tensão crítica

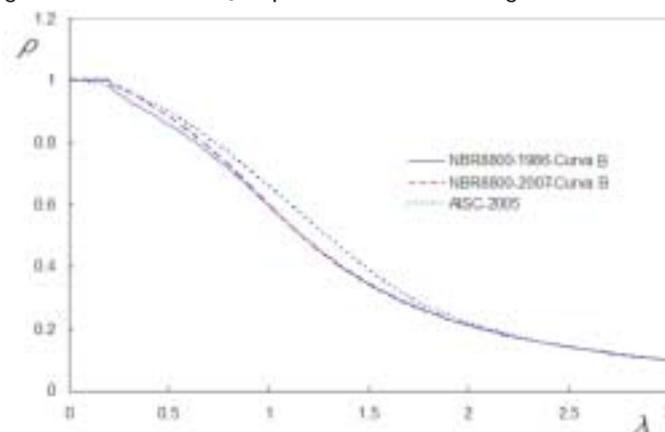


Figura 2 – Comparativo entre a curva de coeficiente de redução de flambagem para a NBR 8800:1986, a proposta da NBR 8800(2007) e o AISC2005.

sido reduzido o coeficiente de carga permanente de pouca variabilidade de 1,3 para 1,25, a solicitação de projeto pouco muda, principalmente, porque as cargas acidentais sempre são maiores que as permanentes.

A maior diferença encontrada entre a NBR8800:1986, a proposta da NBR8800:2007 e a AISC360:05, para dimensionamento à compressão está nas diferentes curvas usadas para determinar a tensão crítica de flambagem, sendo que as NBR

baseiam-se nas curvas do ECCS, e a norma americana, na curva do SSRC.

Por último, é importante notar que, nas referências, apresentam-se os endereços da internet onde é possível obter cópias da AISC360:05, que está disponível de maneira gratuita para acesso e o endereço da versão de abril da revisão da NBR8800. Ambos os documentos permitirão observar diversas novidades no processo de projeto de estruturas metálicas para aqueles que trabalham na área. ■

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION(AISC). 2005, Specification for structural Buildings (AISC 360-05) (http://www.aisc.org/Content/ContentGroups/Documents/2005_Specification2005Specification_second_printing.pdf)
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE-7), 2005, Minimum Design Loads for Buildings ant Others Structures.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1986, NBR 8800: Projeto e Execução de estruturas de aço de edifícios.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2007, NBR 8800: Projeto e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios (em revisão) (<http://www.pos.dees.ufmg.br/noticias/147897.pdf>)