

# ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE BARRAS EM DUPLA CANTONEIRA DE AÇO FORMADAS A FRIO SUBMETIDAS À COMPRESSÃO

Wanderson Fernando Maia<sup>1</sup> & Maximiliano Malite<sup>2</sup>

## Resumo

*Apresenta-se no trabalho análises numérica e experimental de barras em dupla cantoneira simples e enrijecida com travejamento em quadro submetidas à compressão centrada e excêntrica. Nas análises variou-se o número de chapas separadoras buscando estudar a eficiência das mesmas na força normal resistente das barras. Os resultados mostraram que a introdução de chapas separadoras melhorou significativamente o comportamento das barras, principalmente para compressão excêntrica, no entanto o estudo também mostra que a partir de certo número de chapas separadoras a força normal resistente tende a permanecer praticamente constante.*

*Palavras-chave: Estruturas de aço. Perfis de aço formados a frio. Dupla cantoneira.*

## THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF COLD-FORMED STEEL DOUBLE ANGLE MEMBERS UNDER COMPRESSION

### Abstract

*In the present work a numerical and experimental analysis of paired simple and lipped angles with battened plates subjected to centered and eccentric compression is presented. In the analysis the number of batten plates was changed to study the influence on the nominal axial strength. The results show that the introduction of batten plates significantly improved the behavior of the members, especially for eccentric compression, but the study shows that after a certain number of batten plates the nominal axial strength tends to remain fairly constant.*

*Keywords: Steel structures. Cold-formed steel members. Double angle.*

*Linha de Pesquisa: Estruturas Metálicas.*

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema aqui apresentado é bastante utilizado, principalmente em estruturas treliçadas leves, no entanto, a carência de estudos específicos sobre seu comportamento faz com que as normas de cálculo não forneçam subsídios para o projeto desse componente estrutural.

As tradicionais cantoneiras laminadas a quente apresentam em geral abas compactas, portanto, não sujeitas ao modo de instabilidade local e pouco propensas ao modo de instabilidade global por flexo-torção para a faixa usual de comprimento. Entretanto, as cantoneiras simples formadas a frio, em geral com paredes delgadas (elevadas relações largura/espessura), apresentam dois modos de instabilidade: (i) modo global de flexão, dominante no caso de barras longas, e um modo coincidente local-chapa/global de flexo-torção, que é crítico para barras de menor comprimento.

É relevante estudar o comportamento de barras em dupla cantoneira, já que neste caso, além dos modos de instabilidade associados à cantoneira isolada, poderão ocorrer modos de instabilidade

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, wfmaia@sc.usp.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, mamalite@sc.usp.br



associados à barra composta em função da presença das chapas separadoras, que tendem a modificar o comportamento do sistema.

Apresenta-se no trabalho análises numérica e experimental sobre o comportamento de barras em dupla cantoneira simples e enrijecida com chapas separadoras. A análise numérica foi realizada no programa ANSYS. Nas análises numérica e experimental variou-se o número de chapas separadoras buscando estudar a eficiência das mesmas na força normal resistente das barras.

## **2 ANÁLISE EXPERIMENTAL**

Foi realizada uma série de ensaios em dupla cantoneira simples (2L 60x2,00) e enrijecida (2Le 50x13x2,00) formadas a frio e cantoneira laminada (2L 50x5). Em todos os casos foram ensaiadas barras com força centrada, aplicada por meio de uma chapa espessa (12,5 mm) soldada nas extremidades, e barras com força excêntrica aplicada nas abas. Foram ensaiadas barras com diferentes índices de esbeltez, além disso, também variou-se o número de chapas separadoras. Na maioria dos ensaios foram utilizadas chapas separadoras parafusadas, o que permitiu sua reutilização. Para a dupla cantoneira enrijecida (2Le 50x13x2,00) também foram adotadas chapas separadoras soldadas em alguns ensaios com o objetivo de se comparar os resultados. Os ensaios de dupla cantoneira laminada (2L 50x5) foram realizados com objetivo de serem utilizados como referência, já que neste caso, por se tratar de uma seção compacta não está sujeita ao modo de instabilidade local e é pouco propensa ao modo de instabilidade global por flexo-torção.

## **3 ANÁLISE NUMÉRICA**

As simulações numéricas foram realizadas no programa ANSYS. Em todas as simulações foi utilizado o elemento SHELL 181 para modelagem das cantoneiras e dos perfis “U” das extremidades. Também foi utilizado o elemento SOLID 45 para modelagem dos dispositivos de extremidades da máquina de ensaios para os modelos ensaiados com rotação livre em relação ao eixo de menor inércia do conjunto. A estratégia adotada para inserção das imperfeições geométricas iniciais foi a mesma utilizada por Maia et al (2008). Inicialmente foi realizada uma análise de autovalor, que fornece como resultado tanto o autovalor (valor de força crítica) como o autovetor (deformada da barra) para os modelos. Nesta análise buscou-se identificar os modos críticos isolados de interesse para cada seção: flexo-torção e flexão para dupla cantoneira simples; local, flexo-torção e flexão para dupla cantoneira enrijecida. A partir da configuração deformada referente a cada um dos modos críticos escolhidos para cada caso, foi adotado um critério a fim de se aumentar ou reduzir esta amplitude, obtendo assim uma nova geometria de todos os nós da malha de elementos finitos da barra.

Com relação à amplitude das imperfeições geométricas iniciais foram utilizados os valores de imperfeições apresentados por Schafer & Peköz (1998). Para dupla cantoneira simples foram adotadas imperfeições do tipo 2 associadas ao modo de flexo-torção, enquanto para dupla cantoneira enrijecida foram adotadas imperfeições do tipo 1 associada ao modo local e do tipo 2 associada ao modo de flexo-torção. Para imperfeição associada ao modo de flexão foi adotado o valor de  $L_c/1500$ . Para modelagem das chapas separadoras optou-se por fazer acoplamento de deslocamentos dos nós na posição das mesmas. Foram acoplados dois nós de cada cantoneira localizados no centro da aba.

## **4 RESULTADOS OBTIDOS**

Para comparação dos resultados, foram utilizadas duas hipóteses de cálculo com base no procedimento da ABNT NBR 14762:2010, considerando compressão centrada. Na primeira

considerou-se cada cantoneira como uma barra isolada independente da presença das chapas separadoras, admitindo-se instabilidade local, global por flexo-torção e global por flexão. Na segunda, considerou-se barra composta admitindo-se apenas instabilidade local e global por flexão em relação ao eixo principal de menor inércia do conjunto. Nas Figuras 1 e 2 são apresentados resultados da análise experimental comparados com resultados das previsões teóricas adotadas.

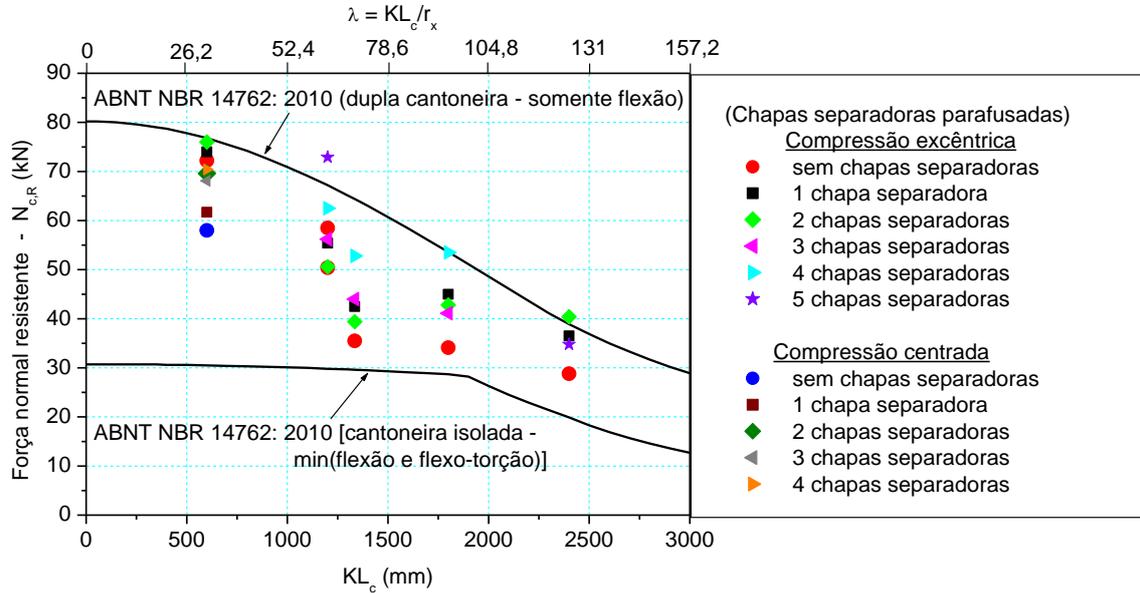


Figura 1 – Resultados da análise experimental comparados com os resultados das previsões teóricas adotadas (perfil: 2L 60x2,00).

## 5 CONCLUSÕES PARCIAIS

Em geral os resultados das análises experimental e numérica apresentaram valores intermediários aos obtidos com base nas duas hipóteses de cálculo adotadas, ou seja, considerando cantoneira isolada (modo local e mínimo entre global de flexão e global de flexo-torção) e dupla cantoneira (modo local e global de flexão em relação ao eixo de menor inércia do conjunto). Para cantoneiras isoladas os resultados tenderam para a hipótese teórica que considerou barra isolada e para cantoneiras com chapas separadoras os resultados tenderam para a hipótese que considerou barra composta.

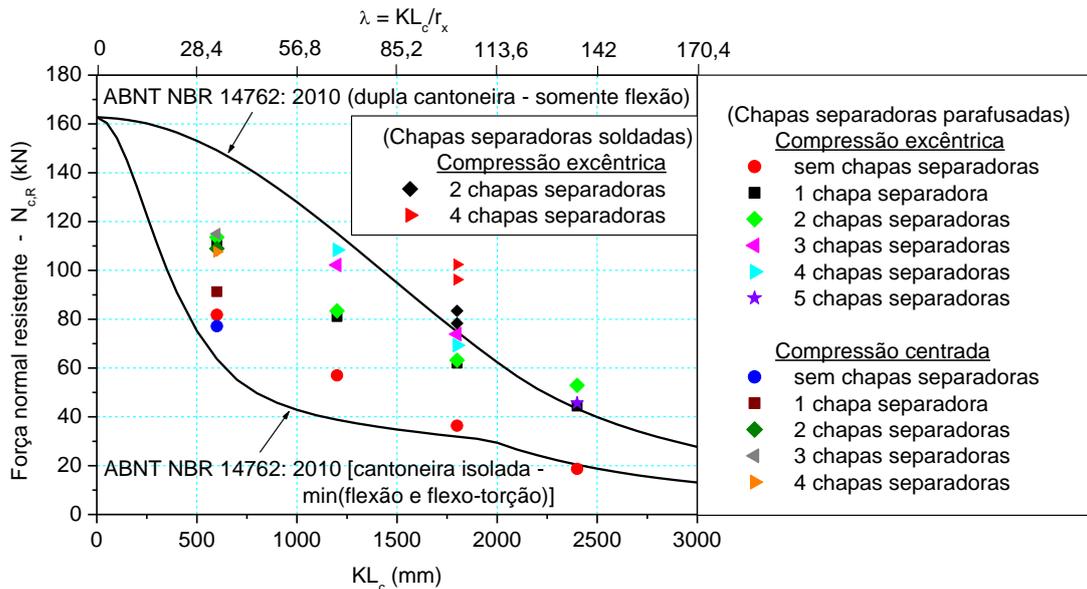


Figura 2 – Resultados da análise experimental comparados com os resultados das previsões teóricas adotadas (perfil: 2Le 50x13x2,00).

As barras com chapas separadoras soldadas (presilha engastada) apresentaram melhor desempenho que as correspondentes com chapas separadoras parafusadas (presilha rotulada). No entanto, ao dobrar a largura das mesmas, observou-se pouca mudança nos resultados, mostrando que o tipo de ligação é bem mais importante que as dimensões das chapas separadoras.

Com relação à análise numérica, em geral, os resultados foram coerentes com os resultados da análise experimental, exceto nos casos em que as barras apresentaram instabilidade por flexão em relação ao eixo paralelo à aba conectada. Neste caso observou-se tendência de redução na força normal resistente nos ensaios experimentais.

Como conclusão geral, pode-se dizer que a inserção de chapas separadoras melhorou de forma significativa o comportamento das barras, especialmente para as barras sob compressão excêntrica, no entanto percebeu-se também que a partir de certo número a força normal resistente tende a permanecer constante. Um fato interessante observado é que as barras apresentam melhor desempenho quando o número de chapas separadoras é ímpar, ou seja, é sempre interessante que se tenha uma chapa separadora na metade do comprimento. Em muitos casos, barras com uma chapa separadora apresentaram melhor desempenho que barras com duas chapas separadoras.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FIPAI pelos recursos financeiros concedidos.

## 7 REFERÊNCIAS

ANSYS. **Structural nonlinearities**. v.13.0, Houston, USA, 2011.

MAIA, W. F.; MUNAIAR NETO, J.; MALITE, M. Stability of cold-formed steel simple and lipped angles under compression. In: LaBoube, R.A.; Yu, W.W. (Ed). **Recent research and developments in cold-formed steel design and construction** (19th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, St. Louis, USA, Oct. 14 & 15, 2008). Missouri University of Science & Technology, Rolla, Missouri, USA, 2008.

SCHAFER, B.W.; PEKÖZ, T. Computational modeling of cold-formed steel: characterizing geometric imperfections and residual stresses. **Journal of Constructional Steel Research**, v.47, 193-210, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 14762:2010. Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.