ESTABILIDADE LOCAL DE COLUNAS I EM AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA SOBRE COMPRESSÃO AXIAL

Julia de Souza Rodrigues (PIC/UEM), Felipe Piana Vendramell Ferreira (Orientador), Alexandre Rossi (Coorientador). E-mail: ra133625@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Civil, Estruturas / Estruturas Metálicas.

Palavras-chave: Instabilidade; Colunas I; Análise numérica.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise numérica da estabilidade local de colunas de seção I em aço de alta resistência S690 submetidas à compressão axial, utilizando o Método dos Elementos Finitos via ABAQUS, tomando como referência os ensaios experimentais de Sun, Liang e Zhao (2019). Foram desenvolvidos modelos numéricos considerando propriedades mecânicas, geometria, condições de contorno, tensões residuais e imperfeições geométricas, validados por comparação com os resultados experimentais. Em seguida, realizou-se estudo paramétrico variando o comprimento (200, 300 e 400 mm) e a espessura das chapas (2, 5, 7 e 10 mm). Os resultados indicaram pouca influência do comprimento sobre a carga última, embora tenha alterado a rigidez axial e o comportamento pós-pico. Já a espessura teve impacto significativo: seu aumento elevou a carga última e reduziu as deformações, com os modelos de 2 mm exibindo maior esbeltez local e flambagem mais pronunciada, e os de maior espessura apresentando maior rigidez e comportamento pós-pico mais estável. Conclui-se que a geometria da seção, sobretudo a espessura das chapas, é determinante para a capacidade resistente e estabilidade de colunas I em aço S690 sob compressão axial.

INTRODUÇÃO

O comportamento de um elemento estrutural é definido pela resistência, pelas deformações e pela estabilidade (HIBBELER, 2010), aspecto crítico em peças comprimidas, já que a flambagem pode ocorrer antes do material atingir sua resistência máxima (ZIEMIAN, 2010). Nos perfis I, destaca-se a flambagem local, isto é, a perda de estabilidade da alma e das mesas, associada à esbeltez desses elementos (PFEIL; PFEIL, 2009) e mais relevante em aços de alta resistência, que tendem a seções mais esbeltas e sofrem influência de imperfeições geométricas e tensões residuais.

O Método dos Elementos Finitos (MEF) destaca-se como ferramenta para simular esse comportamento, reduzindo a necessidade de ensaios experimentais. Sun, Liang e Zhao (2019) analisaram colunas curtas soldadas de seção I em aço

S690, constatando que a flambagem local foi o principal modo de falha, o que motiva este trabalho, cujo objetivo é analisar numericamente, via MEF (ABAQUS), a influência de parâmetros geométricos e mecânicos em colunas I de aço de alta resistência sob compressão axial, contribuindo para futuros critérios de dimensionamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido por meio do MEF (software ABAQUS), com base nos ensaios experimentais de colunas curtas soldadas de seção I em aço S690 de Sun, Liang e Zhao (2019), que compreenderam 8 configurações geométricas em duplicata (16 corpos de prova). Foram modeladas as geometrias com enrijecedores nas extremidades, simulando as condições de apoio e carregamento axial, além das tensões residuais de tração e compressão conforme a distribuição proposta pelos autores de referência e das imperfeições geométricas iniciais, essenciais para representar o comportamento real das colunas. As propriedades mecânicas do aço S690 foram definidas com base nos ensaios de tração de referência, adotando-se coeficiente de Poisson de 0,30 e curva tensão-deformação experimental.

A validação dos modelos foi feita por comparação com os resultados experimentais (carga de falha, curvas carga × deslocamento e modos de flambagem), complementada por análise estatística. Em seguida, realizou-se estudo paramétrico variando o comprimento (200, 300 e 400 mm) e a espessura das chapas (2, 5, 7 e 10 mm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos numéricos desenvolvidos apresentaram resultados compatíveis com os dados experimentais de Sun, Liang e Zhao (2019), validando a metodologia adotada. O perfil 200×100 mm apresentou a menor diferença entre carga numérica e experimental (1214,27 kN vs. 1217,05 kN; desvio de 2,78 kN), sendo o caso de maior proximidade entre as duas abordagens (Figura 01). Também foram observadas diferenças reduzidas nos perfis 140×70 mm e 150×150 mm (desvios de 12,55 kN e 13,63 kN, respectivamente), enquanto os perfis 100×100 mm e 50×50 mm apresentaram os maiores desvios (100,86 kN e 64,38 kN). A análise estatística confirmou boa concordância entre os modelos, com razão média Fabaqus/Fensaio de 0,956 e desvio padrão de 0,038.

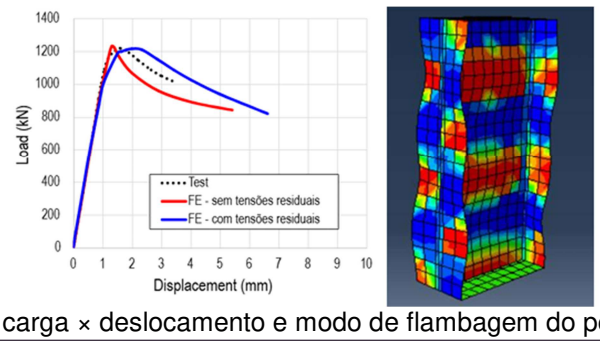


Figura 01 - Curva carga × deslocamento e modo de flambagem do perfil 200×100 mm.

Validados os modelos, procedeu-se ao estudo paramétrico. A variação do comprimento (200, 300 e 400 mm) mostrou pouca influência sobre a carga última, uma vez que, em colunas curtas de seção I, a flambagem local da alma e das mesas antecede a flambagem global, mantendo a resistência controlada pela estabilidade local da seção, comportamento consistente com Trahair et al. (2008). Esse efeito pode ser observado no perfil 100×100 mm (Figura 02), no qual as três curvas atingem cargas de pico semelhantes, embora com rigidez inicial ligeiramente decrescente e comportamento pós-pico mais gradual à medida que o comprimento aumenta.

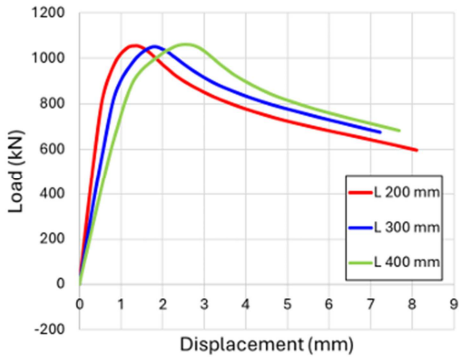


Figura 02 - Curva carga × deslocamento do perfil 100×100 mm, variando o comprimento.

Já a variação da espessura (2, 5, 7 e 10 mm) foi o parâmetro de maior influência sobre o comportamento estrutural, como ilustrado no perfil 50×50 mm (Figura 03). O modelo com 2 mm apresentou elevada relação largura-espessura, favorecendo flambagem local precoce, carga última muito inferior e perda rápida de capacidade logo após um pico pouco pronunciado, de acordo com a teoria de estabilidade de placas (EN 1993-1-5, 2006). Em contraste, os modelos com 5, 7 e 10 mm mostraram aumento expressivo e praticamente proporcional da carga última, além de comportamento mais estável ao longo do deslocamento, evidenciando o ganho de rigidez local com a redução da esbeltez da seção.

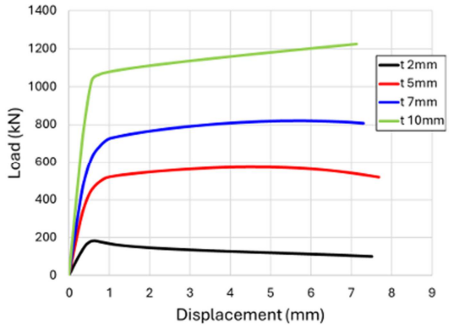


Figura 03 - Curva carga × deslocamento do perfil 50x50 mm, variando a espessura.

Esses resultados corroboram os achados de Sun, Liang e Zhao (2019) quanto à flambagem local como principal modo de falha em colunas curtas de seção I em

aço S690, reforçando a espessura das chapas como parâmetro determinante da estabilidade local, em contraposição à influência limitada do comprimento nas faixas analisadas.

CONCLUSÕES

Os resultados confirmam que a estabilidade local de colunas I em aço S690 sob compressão axial depende fortemente da geometria da seção. O comprimento (200, 300 e 400 mm) teve influência limitada sobre a carga última, já que a resistência das colunas curtas foi governada principalmente pela estabilidade local, enquanto a espessura das chapas (2, 5, 7 e 10 mm) mostrou-se o parâmetro mais relevante: menores espessuras resultaram em maior esbeltez, flambagem local precoce e menor carga última, ao passo que espessuras maiores proporcionaram maior rigidez, maior resistência e comportamento pós-pico mais estável. Esses resultados reforçam a importância da esbeltez local no comportamento de colunas I em aço de alta resistência e confirmam a aplicabilidade do MEF como ferramenta confiável de análise, contribuindo para estudos futuros e para a avaliação de critérios de dimensionamento.

REFERÊNCIAS

SUN, Y.; LIANG, Y.; ZHAO, O. Testing, numerical modelling and design of S690 high strength steel welded I-section stub columns. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 159, p. 521-533, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X19303347.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

ZIEMIAN, R. D. **Guide to stability design criteria for metal structures**. 6. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TRAHAIR, N. S. et al. **The behaviour and design of steel structures to EC3**. 4. ed. London: Taylor & Francis, 2008.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1993-1-5: **Eurocode 3: design of steel structures — part 1-5: plated structural elements**. Brussels: CEN, 2006.