



ANÁLISE NUMÉRICA DE PILARES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA COM SEÇÃO H SOLDADA SUBMETIDOS À COMPRESSÃO AXIAL

Marcelo Gomes de Oliveira¹; Elisson Rodrigo Maciel de Oliveira²; Harley Francisco Viana³(Dr.),
Renata Gomes Lanna da Silva⁴(Dra.), Rodrigo Sernizon Costa⁵(Dr.)

1 Universidade Anhembi Morumbi, marcelogomdo@gmail.com;

2 Centro Universitário Sociesc, elissono387@gmail.com;

3 Centro Universitário Una, harley.viana@prof.una.br;

4 Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, renatalanna@cefetmg.br

5 Universidade Federal da Bahia, rodrigo.sernizon@ufba.br

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo numérico sobre o comportamento estrutural de pilares de aço com seção H soldada, fabricados com aços de alta resistência (800 MPa e 960 MPa) e flanges cortados a chama, submetidos à flambagem em torno do eixo de menor inércia. Para isso, foi conduzida uma análise paramétrica por meio do software PPLANLEP, variando-se as dimensões da seção transversal, o índice de esbeltez e a resistência ao escoamento. Os resultados obtidos foram confrontados com as curvas de flambagem prescritas pelo Eurocode e com a curva única adotada pela NBR 8800 (2024). Os achados indicam que a curva do Eurocode apresenta comportamento conservador para os perfis analisados, enquanto a curva única da NBR 8800 (2024) fornece uma representação mais compatível com as respostas numéricas. Esses resultados reforçam a necessidade de aprimoramentos normativos para contemplar adequadamente as particularidades dos aços de alta resistência e subsidiar critérios mais alinhados ao comportamento real desses materiais.

Palavras-chave: Aço de alta resistência, Pilares soldados, Flambagem.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento recente de técnicas metalúrgicas e melhorias no processo de laminação tem viabilizado a fabricação de perfis de aço com níveis de resistência substancialmente superiores aos utilizados tradicionalmente em edificações. Nesse cenário, ganham destaque os aços de alta resistência (AAR), caracterizados por apresentarem limites de escoamento (f_y) acima de 460 MPa, que se mostram particularmente adequados para estruturas de grande porte, tais como edifícios em



altura e sistemas com vãos elevados. Entre suas principais vantagens destacam-se a possibilidade de adoção de perfis mais esbeltos e eficientes, a redução de peso próprio e, consequentemente, a diminuição dos custos relacionados ao consumo de aço, transporte, montagem e fundações (Wang *et al.*, 2014).

Apesar dos benefícios técnicos e econômicos associados ao emprego dos AAR, sua aplicação em projetos estruturais ainda é relativamente restrita, motivada sobretudo pela ausência de diretrizes consolidadas que contemplem suas particularidades. Normas internacionais como a ANSI/AISC 360-16 (2016) e o Eurocode 3 já permitem o uso de aços com limites de escoamento entre 460 MPa e 690 MPa; entretanto, os procedimentos normativos vigentes se fundamentam em extensas bases experimentais envolvendo aços convencionais, tipicamente com f_y variando de 250 MPa a 345 MPa. No âmbito brasileiro, a NBR 8800 (2024) limita-se a contemplar aços estruturais com f_y de até 450 MPa, sem fornecer recomendações específicas relacionadas aos AAR, o que se traduz em um obstáculo para sua implementação em projetos nacionais.

As propriedades mecânicas diferenciadas desses materiais, aliadas à maior sensibilidade à soldagem, podem modificar de maneira significativa o comportamento resistente de seções soldadas e compostas, particularmente no que se refere aos efeitos de imperfeições geométricas iniciais e ao padrão de tensões residuais. Diversos autores ressaltam que critérios adotados para aços convencionais nem sempre se estendem adequadamente aos AAR, justificando a necessidade de novas investigações experimentais e numéricas (Ban *et al.*, 2013).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento à compressão centrada de pilares de aço de alta resistência ($f_y = 800$ MPa e $f_y = 960$ MPa) com seção soldada composta por flanges cortados a chama, suscetíveis à flambagem em torno do eixo de menor inércia. Busca-se, dessa forma, contribuir para o entendimento do desempenho desses elementos e fornecer subsídios para futuras revisões normativas e diretrizes de projeto aplicáveis no cenário brasileiro.

MÉTODOS

A investigação foi organizada em quatro fases principais. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para reunir dados experimentais e numéricos sobre pilares de aço de alta resistência (com f_y igual a 800 MPa e 960 MPa), com seções H soldadas fabricadas com placas cortadas por chama, e submetidos à compressão axial. Em seguida, foram desenvolvidos modelos numéricos de pilares com articulação em ambas as extremidades, variando o índice de esbeltez entre 20 e 200, e as dimensões da seção transversal. A análise paramétrica envolveu a execução de 176 simulações. As propriedades geométricas das oito seções analisadas estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades geométricas das seções analisadas

Seção	H (mm)	B (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	b_f/t_f	h_o/t_w
S1	150	150	10	10	7.00	13.00
S2	360	280	16	12	8.38	27.33
S3	350	230	12	12	9.08	27.17
S4	300	220	12	10	8.75	27.60
S5	400	260	14	14	8.79	26.57
S6	550	350	18	14	9.33	36.71
S7	800	500	26	22	9.19	34.00
S8	1000	550	30	26	8.73	36.15

Fonte: Ban *et al.*, 2018.

O comportamento do material foi representado pelo modelo de tensão-deformação proposto por Ban, Shi e Shi (2014), fundamentado em experimentos com aços de alta resistência submetidos a carregamento uniaxial. Para simular as tensões residuais, foi utilizada a distribuição proposta por Ban *et al.* (2018), especificamente para pilares de alta resistência com seções soldadas fabricadas com flanges cortados a chama. Imperfeições geométricas iniciais foram introduzidas por meio de um perfil senoidal, gerado pela modificação direta das posições dos nós, com uma amplitude de deflexão (δ_o) de $L/1000$, sendo L o comprimento total do pilar e a deflexão aplicada no ponto médio da altura.

As análises foram realizadas no software PPLANLEP (Viana *et al.*, 2020), que permite uma

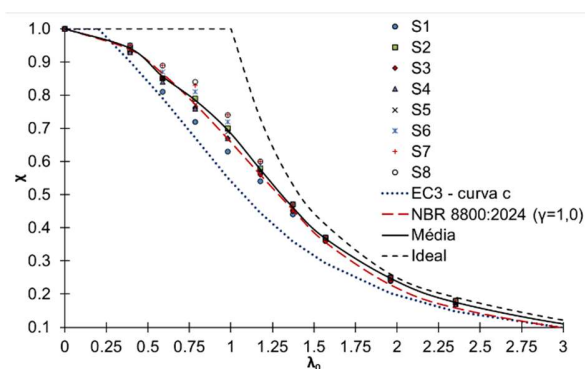


análise elasto-plástica não linear, incorporando efeitos de segunda ordem, plasticidade distribuída, tensões residuais e imperfeições geométricas. Por fim, os resultados numéricos foram confrontados com as curvas de flambagem fornecidas pelas normas EN 1993-1-1 (2005) (EC3) e ABNT NBR 8800 (2024), a fim de verificar a validade e aplicabilidade dos critérios normativos para o dimensionamento dos pilares estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

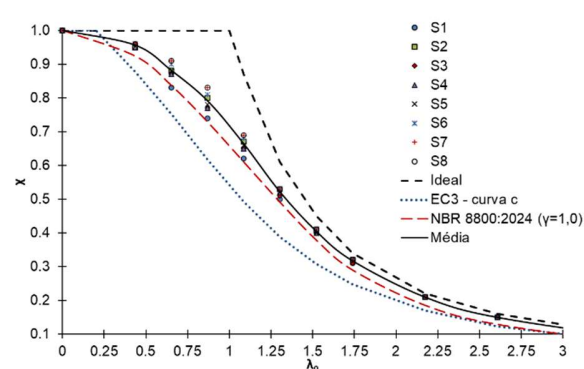
As Figuras 1 e 2 apresentam a comparação das curvas do fator de redução associado à resistência à compressão (χ) propostas pela ABNT NBR 8800:2024 e o Eurocode 3, com os resultados obtidos numericamente para as seções analisadas de AAR com $f_y = 800$ MPa e 960 MPa, considerando flambagem em relação ao eixo de menor inércia. Além disso, as Figuras 1 e 2 apresentam a curva construída a partir da média dos valores de χ obtidos para as oito seções analisadas.

Figura 1 - Resultados numéricos para flambagem em torno do eixo de menor inércia ($f_y = 800$ MPa)



Fonte: Os autores, 2025.

Figura 2 - Resultados numéricos para flambagem em torno do eixo de menor inércia ($f_y = 960$ MPa)



Fonte: Os autores, 2025.

Destaca-se que, para perfis H soldados em aço com resistência superior a 460 MPa, submetidos à flexão em torno do eixo de menor inércia, a norma EN 1993-1-1 (2005) (EC3) recomenda expressamente a utilização da curva c para o dimensionamento estrutural de seções com flanges com espessura menor que 40 mm, conforme o caso estudado.



No regime de baixa esbeltez ($\lambda_o < 0,5$), observa-se convergência significativa entre os resultados numéricos obtidos para as diferentes seções estudadas, com valores de χ próximos de 1, indicando que a resistência é governada pela plastificação da seção, uma vez que os efeitos de instabilidade são pouco significativos. Verifica-se que na faixa de esbeltez $0,5 < \lambda_o < 1,3$, manifestam-se as maiores discrepâncias entre os modelos estudados. A curva c do Eurocode 3, recomendada para o dimensionamento dos pilares analisados em relação ao eixo de menor inércia, apresenta valores de χ inferiores aos obtidos numericamente e aos previstos pela NBR 8800:2024, evidenciando uma abordagem mais conservadora. Verifica-se ainda que a curva única proposta pela norma brasileira apresenta um desempenho satisfatório no dimensionamento à compressão de pilares em AAR ao longo de toda a faixa de esbeltez considerada, demonstrando boa aderência aos valores médios de carga crítica obtidos pela análise numérica, especialmente para os aços de $f_y = 800$ MPa. Por fim, em níveis elevados de esbeltez ($\lambda_o > 2,0$), o comportamento estrutural passa a ser governado pela flambagem elástica, e tanto os resultados numéricos quanto as previsões normativas passam a apresentar valores de χ semelhantes.

CONCLUSÕES

As análises numéricas permitiram avaliar o comportamento de pilares biarticulados em aço de alta resistência, com seção H soldada, fletidos em relação ao eixo de menor inércia. Verificou-se que a curva de flambagem c do Eurocode 3 (EN 1993-1-1) mostrou-se excessivamente conservadora, enquanto a adoção de uma curva única, conforme a ABNT NBR 8800:2024, representou de forma satisfatória o comportamento dos perfis estudados. Esses resultados indicam a necessidade de ajustes normativos que considerem as particularidades dos AAR e apoiem critérios mais alinhados ao desempenho real do material, estimulando seu uso na engenharia estrutural nacional.

FOMENTO

Este estudo contou com apoio institucional do Programa PróCiência do Ecosistema Ânima, responsável pela concessão da remuneração de pesquisa vinculada ao projeto.



REFERÊNCIAS

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **ANSI/AISC 360-16: Specification for structural steel buildings**. Illinois, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BAN, Huiyong; SHI, Gang; SHI, Yongjiu; WANG, Yuanqing. Overall buckling behavior of 460 MPa high strength steel columns: Experimental investigation and design method. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 74, p. 140-150, 2012.

BAN, Huiyong; SHI, Gang; BAI, Yu; SHI, Yongjiu; WANG, Yuanqing. Residual stress of 460 MPa high strength steel welded I section: experimental investigation and modeling. **International Journal of Steel Structures**, v. 13, n. 4, p. 691–705, 2013.

BAN, Huiyong; SHI, Gang; SHI, Yongjiu. Experimental and unified model investigations on residual stress within high strength steel welded I-sections. **Engineering Mechanics**, v. 31, p. 83–91, 2014.

BAN, Huiyong; SHI, Gang. Overall buckling behaviour and design of high-strength steel welded section columns. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 143, p. 180–195, 2018.

CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1993-1-1 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, 2005.

SHI, Gang; HU, Fangxin; SHI, Yongjiu. Recent research advances of high strength steel structures and codification of design specification in China. **International Journal of Steel Structures**, vol. 14, pp. 873-887, 2014.

VIANA, H. et al. Formulation for nonlinear dynamic analysis of steel frames considering the plastic zone method. **Engineering Structures**, v. 223, p. 111197, 2020.

WANG, Yan-Bo; LI, Guo-Qiang; CHEN, Su-Wen; SUN, Fei-Fei. Experimental and numerical study on the behavior of axially compressed high strength steel box-columns. **Engineering Structures**, v. 58, p. 79–91, 2014.