

## ANÁLISE E MODELAGEM NUMÉRICA DA ESTABILIDADE DE VIGAS DE AÇO EM BALANÇO COM SEÇÃO TRANSVERSAL VARIÁVEL

Enzo Martinez Vieira (PIBIC /FA/UEM), Vinicius Moura de Oliveira (Coorientador), Alexandre Rossi, Carlos Humberto Martins (Orientador). E-mail: ra124223@uem.br

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

### Engenharias /Engenharia Civil

**Palavras-chave:** Vigas com perfil transversal variável; Método dos elementos finitos; Flambagem lateral com torção.

### RESUMO

Vigas de aço com seção transversal variável são amplamente utilizadas na engenharia estrutural por otimizarem o uso de material e aumentarem a eficiência das estruturas. Essas vigas adaptam-se às variações de carregamento ao longo do comprimento, com seções mais robustas onde o momento fletor é maior e seções mais esbeltas onde a carga é menor. Este estudo avaliou os efeitos de diferentes espessuras de alma, alturas da seção variável e resistências do material ( $f_y$ ) na capacidade de carga última dessas vigas em balanço, utilizando o método dos elementos finitos. Os resultados indicaram que aumentos na espessura da alma, na resistência do material ( $f_y$ ), e na altura da seção variável em relação à seção constante, resultaram em maior carga última. A falha predominante foi por flambagem lateral com torção (FLT), uma instabilidade crítica que combina deformações laterais e torção, afetando a estabilidade estrutural.

### INTRODUÇÃO

Vigas de aço com seção transversal variável são projetadas para otimizar a distribuição de material ao longo de seu comprimento, adaptando a seção às variações de carga. Essa abordagem permite uma utilização mais eficiente do material, resultando em estruturas mais leves e econômicas.

Os membros de aço com seção transversal variável ao longo de seu comprimento oferecem soluções eficientes para vigas de grandes vãos ao ajustar a profundidade das seções transversais de acordo com a distribuição do momento fletor. (TANKOVA et al., 2018). Em projetos onde a carga não é uniforme, ajustar a geometria da viga

pode melhorar a rigidez e reduzir o peso da estrutura sem comprometer a segurança.

No entanto, uma viga esbelta e fina com seção transversal variável, quando carregada em compressão, pode sofrer flambagem por torção ou em um modo combinado de torção e flexão (MASCOLO et al., 2018).

## MATERIAIS E MÉTODOS

As análises foram conduzidas no software ABAQUS, versão 6.14, utilizando o método *Static Riks* para determinar as cargas últimas das vigas. A viga analisada, com comprimento total de 5,8 m, possui 1,8 m de seção constante de 1000 mm como engaste, e 4 m de seção variável. A modelagem utilizou uma malha de cascas com elementos S3R e S4R, e tamanho médio de 10 mm. Consideraram-se imperfeições geométricas de  $L/1000$  e tensões residuais conforme o modelo ECCS (1984) para perfis soldados.

O carregamento foi aplicado pontualmente na extremidade menor da viga, comprimindo a seção variável superior e tracionando a inferior constante. Nas condições de contorno, a extremidade de maior seção foi engastada, enquanto na extremidade variável foram impedidas as translações nos eixos  $y$  e  $z$  e a rotação em torno do eixo  $x$ , com restrição dos deslocamentos nos eixos  $y$  e  $x$  no apoio intermediário. Foram estudados os aços S235 e S460, com módulos de elasticidade de 210 GPa e comportamento elasto-plástico perfeito.

A análise paramétrica incluiu variações na espessura da alma entre 10, 12 e 14 mm, e na altura da seção variável com extremidades menores de 250, 500, 750 e 1000 mm. No total, 32 análises foram realizadas, além de uma validação com base em um estudo experimental de Tankova (2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 exibe o gráfico de tensão versus deformação no ponto V10 estudado da viga utilizada na validação do modelo numérico, conforme o estudo experimental de Tankova (2018). Este gráfico demonstra o comportamento elasto-plástico da viga sob carga, permitindo a comparação entre os resultados experimentais e os obtidos na simulação.

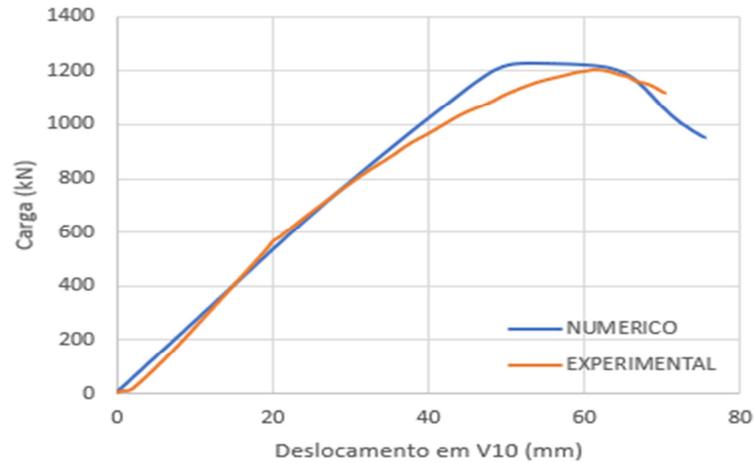


Figura 1 – Curva carga-deslocamento em V10 na viga de validação.

Ao analisar a figura, conclui-se que o modelo numérico adotado incorpora todos os parâmetros relevantes e reproduz com boa precisão o comportamento da viga. A Figura 2 ilustra a relação entre a carga última e a razão entre a altura da seção variável ( $H_i$ ) e a altura da seção constante de 1000mm ( $H_f$ ), das vigas. O gráfico visa evidenciar o impacto das variações na altura da seção variável sobre a capacidade de carga última das vigas, fornecendo uma visão clara de como a proporção  $H_i/H_f$  afeta a performance estrutural.

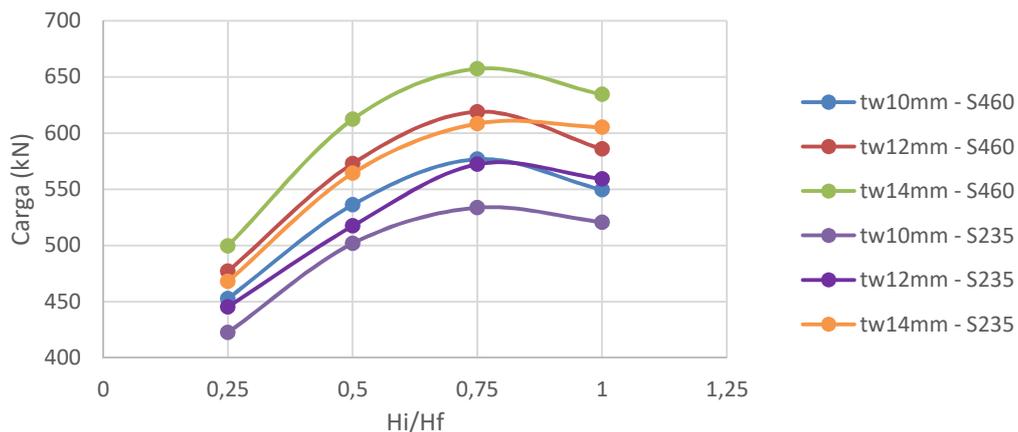


Figura 2 – Curva Carga Última x Razão entre alturas para as vigas estudadas.

As curvas indicam que, para vigas com seção variável, o aumento na altura da seção variável está ligado a um incremento na carga última devido ao maior

momento de inércia e rigidez da viga. Contudo, ao atingir 1000 mm, transformando a viga em seção constante ( $H_i/H_f = 1$ ), a carga última diminui ligeiramente, visto que vigas de seção constante são mais suscetíveis à Flambagem Lateral com Torção (FLT). Vigas com maior resistência ao escoamento ( $f_y$ ) suportam cargas superiores, pois materiais com  $f_y$  mais elevado resistem a tensões maiores antes de sofrer deformações permanentes. O aumento da espessura da alma também eleva a rigidez e a carga última, melhorando a resistência à flambagem e ao colapso estrutural.

## CONCLUSÕES

Este estudo visou avaliar o comportamento de vigas de aço com seção transversal variável, considerando diferentes espessuras da alma, alturas da seção variável e tipos de aço, utilizando o método dos elementos finitos. Verificou-se que vigas com maior resistência ao escoamento e espessura da alma apresentaram maior capacidade de carga última. Além disso, observou-se que quanto maior a altura da extremidade menor da seção variável, maior a capacidade de carga das vigas, isso ocorre devido ao incremento no momento de inércia da seção. Vigas com seção variável demonstraram uma melhor distribuição das tensões e, no caso das vigas com  $H_i/H_f = 0.75$ , maior capacidade resistente à FLT em comparação com vigas de seção constante. Esses resultados destacam a importância da escolha adequada dos parâmetros geométricos e materiais para otimizar a estabilidade das vigas em aplicações estruturais.

## AGRADECIMENTOS

O autor expressa sua gratidão à Fundação Araucária (FA) pela concessão da bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS

MASCOLO, I. et al. Experimental and Numerical Study on the Lateral-Torsional Buckling of Steel C-Beams with Variable Cross-Section. **Metals**, v. 8, n. 11, p. 941, 13 nov. 2018.

ECCS - **European Convention for Constructional Steelwork**. Ultimate Limit State Calculations of Sway Frames with Rigid Joints. No. 33, 1984

33° Encontro Anual de Iniciação Científica  
13° Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior



10 e 11 de Outubro de 2024

TANKOVA, T. et al. Experimental lateral-torsional buckling behaviour of web tapered I-section steel beams. **Engineering Structures**, v. 168, p. 355–370, ago. 2018.

