

## ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ESTABILIDADE DE VIGAS DE AÇO CELULARES COM SEÇÃO TRANSVERSAL VARIÁVEL EM BALANÇO

Giovanna Gasparotto (PIBIC/CNPq/UEM), Gustavo Henrique Beffa (PIBIC/CNPq/UEM), Vinicius Moura de Oliveira (Coorientador), Alexandre Rossi, Carlos Humberto Martins (Orientador). E-mail: giovannagasparotto.sl@gmail.com

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

### Engenharias – Engenharia Civil

**Palavras-chave:** Vigas alveolares; Método dos elementos finitos; Seção variável.

### RESUMO

A utilização de vigas alveolares com seção variável permite a otimização da resistência estrutural com menor uso de material, contribuindo para uma construção mais sustentável e eficiente. Dada a complexidade e a variedade de modelos possíveis, este estudo avalia tais perfis por meio do método dos elementos finitos, utilizando o *software* Abaqus. A pesquisa valida os resultados numéricos com dados experimentais e realiza um estudo paramétrico. Observou-se que a flambagem do montante da alma (FMA) é mais frequente que a flambagem lateral com torção (FLT) nesses perfis. Mesmo com variações na espessura e altura da seção, o comportamento estrutural permaneceu similar, indicando que o desempenho é principalmente influenciado pela capacidade de carga, que é superior em perfis de seção regular devido à maior esbelteza na região de carregamento.

### INTRODUÇÃO

Devido ao contínuo esforço presente nos estudos da engenharia a fim de criar soluções mais eficazes e econômicas para vencer grandes vãos, as vigas celulares com seção variável em balanço se destacaram como uma inovação fundamental para a otimização do uso de materiais sob flexão. Esses componentes possuem seções transversais reforçadas nas áreas de maior demanda, assegurando uma utilização econômica e eficiente dos materiais, sem comprometer a resistência da estrutura às cargas aplicadas (Su; Zhou, 2022). No entanto, o dimensionamento dessas vigas é desafiador devido às variações na seção transversal ao longo do comprimento. Métodos analíticos tradicionais são insuficientes, exigindo o uso de técnicas avançadas de análise estrutural, como o Método dos Elementos Finitos

(MEF).

## MATERIAIS E MÉTODOS

As análises realizadas para a determinação das cargas críticas foram feitas através da utilização do ABAQUS, versão 6.14, um software de análise de elementos finitos. Isto foi conseguido empregando o método de perturbação linear (*Buckle*). Posteriormente, foram realizadas análises pós-flambagem utilizando o método *Static Riks* para obtenção da carga última. Através do exame das trajetórias de equilíbrio do componente, foi determinada a carga última do elemento.

Para garantir a precisão do modelo numérico desenvolvido, foram realizadas análises de validação tendo em conta as imperfeições geométricas que surgiram durante a criação dos perfis.

Para a calibração dos modelos numéricos, foram usados perfis testados por Amrous, Yossef e El-Boghdabi (2023), obtendo as seguintes características:

I - Malha dos elementos do tipo casca, com utilização de elementos S3 e S4R, com tamanho médio de 10 mm.

II - Nas análises não lineares foi considerada uma imperfeição geométrica equivalente ao valor de  $t_f$ , onde  $t_f$  é o valor da espessura da mesa do perfil. Além disso foram inseridas tensões residuais através do modelo de Couto e Vila Real (2019).

III - Nas análises foi utilizado um carregamento pontual, além de vinculações do tipo engaste em uma extremidade e outro vínculo de 1º gênero para impedir deslocamentos laterais provocados pela FLT.

IV - As propriedades do aço utilizado foram obtidas através de análises experimentais da literatura e adaptados através do modelo constitutivo de Earls (1999).

### *Análise paramétrica*

Visando avaliar como a variação na altura do perfil pode influenciar em seus valores de carga e em seu modo de falha, foram utilizados dois tipos de variação nos modelos, variando a espessura da alma de 4, 6, 8, 10 e 12 mm, e variando a própria altura da alma na região do carregamento, usando valores de 300, 400, 500 e 600 mm, sempre mantendo a altura na região do engaste de 600 mm e o restante dos parâmetros encontrados no estudo apresentado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tem-se que as diferentes respostas dos modelos em relação à capacidade de carga, em função das suas modificações geométricas, foram adequadamente demonstradas, apesar de algumas oscilações observadas, os comportamentos dos perfis numéricos foram satisfatórios para evidenciar o impacto das variações de altura na seção de carregamento ( $H_L$ ), altura na região do engaste ( $H_0$ ) e espessura de alma ( $t_w$ ) no desempenho estrutural. Esses resultados destacam a importância de considerar as modificações geométricas no desenvolvimento de modelos para otimização de capacidade de carga.

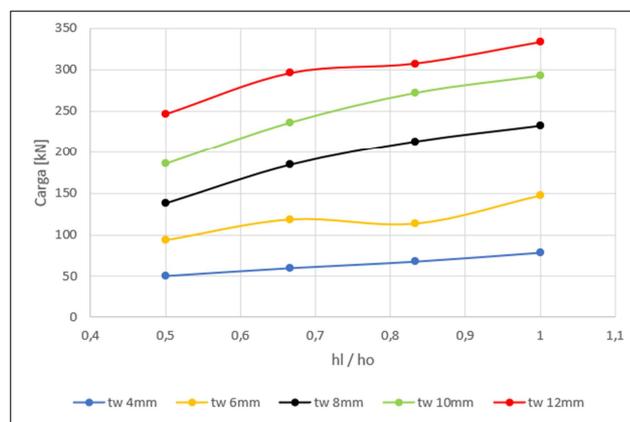


Figura 1 - Influência dos parâmetros geométricos na capacidade de carga

Os resultados das análises numéricas mostraram que a instabilidade predominante nos perfis estudados é a flambagem do montante da alma (FMA), especialmente em perfis de menor esbeltez. Perfis de seção variável apresentaram desempenho similar ao de perfis de seção regular, confirmando que a capacidade de carga é o principal fator de influência no comportamento estrutural. A comparação com métodos experimentais indicou que esses métodos tendem a ser menos precisos para perfis com variações na seção transversal, destacando a importância de análises numéricas detalhadas.

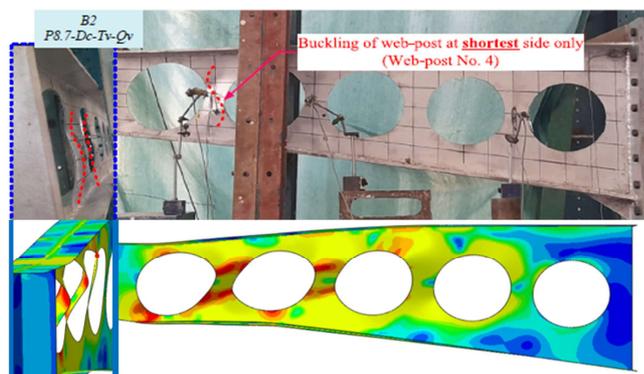


Figura 2 – Comparação entre modos de falhas experimentais e numéricos.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar o comportamento de vigas celulares com seção transversal em balanço submetidas a momentos fletores, conclui-se que:

- A falha ocorreu no montante da alma, característico de vigas alveolares, ocorrem por conta do enfraquecimento das regiões de “alma cheia” derivados das cavidades do perfil;
- A espessura teve mais influência no desempenho que a variação da altura ao longo da viga, por conta do seu aumento na rigidez à compressão;
- Para fins econômicos, é importante ressaltar que a redução de material e do peso próprio da estrutura, podem diminuir consideravelmente o orçamento de um empreendimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo incentivo à execução do projeto de pesquisa, ao orientador Carlos Humberto Martins e ao Vinicius Moura de Oliveira por todo o apoio, confiança e paciência no desenvolvimento do trabalho.

## REFERÊNCIAS

AMROUS, H.; YOSSEF, N. M.; EL-BOGHADADI, M. H. Experimental study and structural analysis of tapered steel beams with cellular openings. **Engineering Structures**, v. 288, n. August, 2023.

COUTO, C.; VILA REAL, P. A proposal based on the effective section factor for the

lateral-torsional buckling of beams with slender I-shaped welded sections. **Thin-Walled Structures**, v. 145, p. 106389, dez. 2019a.

EARLS, C. J. Effects of material property stratification and residual stresses on single angle flexural ductility. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 51, n. 2, p. 147–175, 1999.

SU, X.; ZHOU, M. Analysis of shear stresses in tapered beams under bending, shear and axial force. **Structures**, v. 41, n. March, p. 849–865, 2022.