ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE VIGAS DE AÇO COM ABERTURAS NA ALMA DUPLAMENTE CASTELADAS

Yasmim Souza de Oliveira (PIBIC/CNPq/UEM), Alexandre Rossi (Orientador), Felipe Piana Vendramell Ferreira (Coorientador). E-mail:ra140606@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, **Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil**, Maringá, PR.

Engenharias / Engenharia Civil / Estruturas.

Palavras-chave: Perfis celulares; Método dos Elementos Finitos; Instabilidade estrutural.

RESUMO

As vigas de aço com aberturas na alma apresentam vantagens estruturais, como redução do peso próprio, aumento da rigidez à flexão e possibilidade de passagem de instalações. Entretanto, essas aberturas alteram a distribuição das tensões, favorecendo a ocorrência de fenômenos de instabilidade, especialmente a flambagem dos montantes da alma. Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento estrutural de vigas de aço duplamente casteladas por meio de modelagem numérica utilizando o Método dos Elementos Finitos no software Abaqus. Inicialmente, os modelos foram validados por comparação com resultados experimentais da literatura. Em seguida, foi analisada a influência das imperfeições geométricas iniciais e realizado um estudo paramétrico com diferentes geometrias de vigas. Os resultados apresentaram boa concordância entre os modelos numéricos e experimentais, sendo a imperfeição geométrica L/1000 a que apresentou a menor diferença média, com erro de 4,5%, e posteriormente adotada no estudo paramétrico. Verificou-se também que as alterações na geometria das aberturas influenciaram a solicitação dos montantes da alma. Por fim, a aplicação da formulação de Ward (1991) resultou em valores de V/Vfe entre 0,85 e 2,10, evidenciando diferenças na solicitação dos montantes em função das geometrias analisadas.

INTRODUÇÃO

As vigas de aço com aberturas na alma vêm sendo amplamente empregadas na construção civil devido à redução do peso próprio, ao aumento da rigidez à flexão e à possibilidade de passagem de instalações. Entretanto, a presença dessas aberturas modifica a distribuição das tensões e pode favorecer a ocorrência de instabilidades, especialmente a flambagem dos montantes da alma, comprometendo o desempenho estrutural. Nesse contexto, a utilização do Método dos Elementos Finitos permite analisar com maior precisão o comportamento dessas estruturas e

avaliar a influência de diferentes parâmetros geométricos. Assim, este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento estrutural de vigas de aço duplamente casteladas por meio de modelagem numérica no software Abaqus, considerando a influência das imperfeições geométricas iniciais e da geometria das aberturas na resposta estrutural das vigas.

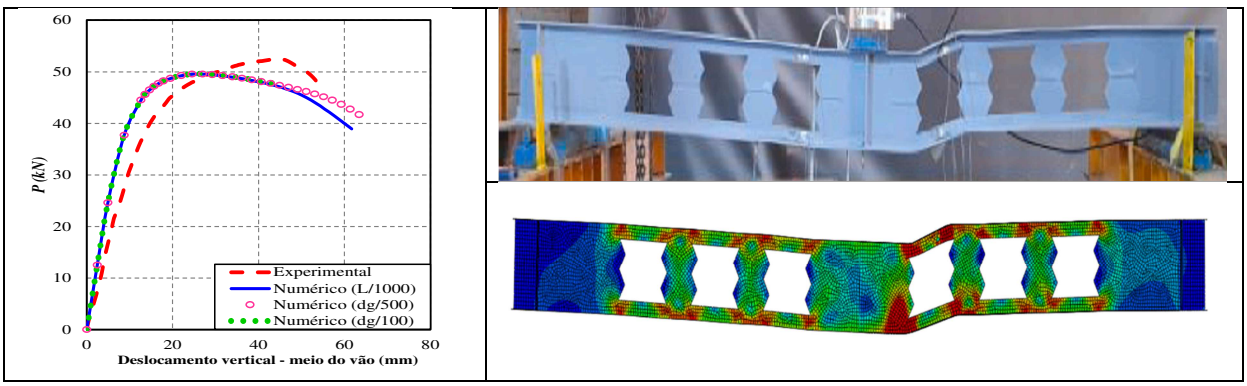
MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida por meio de simulações numéricas utilizando o software Abaqus. Inicialmente, foram reproduzidos modelos experimentais descritos na literatura para validação da metodologia empregada. Na modelagem foram consideradas as propriedades mecânicas do aço, as dimensões geométricas dos perfis, as condições de contorno, o carregamento aplicado e as não linearidades geométricas e do material, possibilitando representar adequadamente o comportamento estrutural das vigas.
Após a validação, realizou-se uma análise de sensibilidade considerando diferentes amplitudes de imperfeições geométricas iniciais. Posteriormente, foi desenvolvido um estudo paramétrico envolvendo oito novas geometrias de vigas duplamente casteladas, variando principalmente as dimensões das aberturas na alma. Os resultados obtidos por meio da modelagem numérica foram comparados às estimativas fornecidas pelo método analítico de Ward (1991), permitindo avaliar sua aplicabilidade na estimativa da resistência dos montantes da alma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validação dos modelos numéricos apresentou boa concordância com os resultados experimentais, confirmando a capacidade da metodologia em representar o comportamento estrutural das vigas duplamente casteladas. A Figura 1 apresenta a comparação entre as curvas carga–deslocamento obtidas experimentalmente e numericamente para diferentes amplitudes de imperfeição geométrica, bem como a comparação das deformadas experimental e numérica da viga.

Figura 1 – Comparação dos resultados experimentais e numéricos.



Fonte: Elaboração própria (2026).

A análise das imperfeições geométricas mostrou que a amplitude L/1000 apresentou melhor aproximação aos resultados experimentais, com erro médio de 4,5%. O estudo paramétrico mostrou que a geometria das aberturas influencia a distribuição das tensões e a resistência dos montantes da alma. A aplicação do método de Ward (1991) apresentou boa concordância para as geometrias analisadas, com valores de V/Vfe entre 0,85 e 2,10, conforme apresentado na Tabela 1.

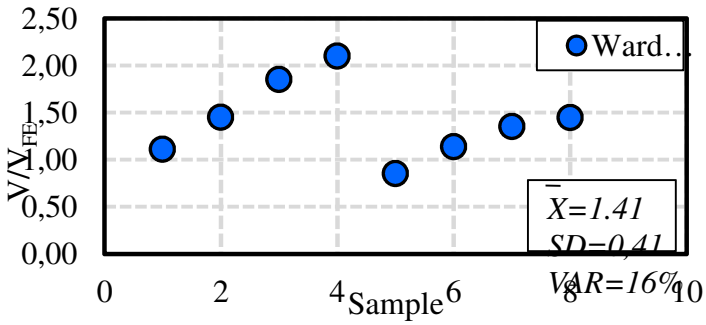
Tabela 1: Parâmetros de cálculo e resistência das vigas segundo Ward (1991).

V	Modo de Falha	Momento Ultimo (kN.m)	C1	C2	C3	Mwe (kN.m)	Vwrk (kN)	V/Vfe
24,27	WPB	34,83	7,89	2,69	5,22	11,55	26,97	1,11
26,375	WPB	37,85	7,89	2,69	5,22	14,20	38,27	1,45
26,225	WPB	37,63	7,89	2,69	5,22	17,12	48,59	1,85
26,725	WPB	38,35	7,89	2,69	5,22	20,32	56,16	2,10
35,37	WPB	50,76	7,83	2,66	5,19	12,11	30,24	0,85
35,34	WPB	50,71	7,83	2,66	5,19	14,82	40,27	1,14
35,685	WPB	51,21	7,83	2,66	5,19	17,80	48,31	1,35
36,085	WPB	51,78	7,83	2,66	5,19	21,05	52,33	1,45

Fonte: Elaboração própria com base em Ward (1991).

Observa-se que os valores da razão V/Vfe variaram entre **0,85 e 2,10**, evidenciando a influência das diferentes configurações geométricas na resistência dos montantes da alma. Esses resultados demonstram que alterações nas dimensões das aberturas podem modificar o comportamento estrutural das vigas.

Figura 2–Distribuição da razão V/Vfe para as vigas analisadas segundo o método de Ward (1991).



Fonte: Elaboração própria com base em Ward (1991).

A Figura 2 apresenta a distribuição da razão V/Vfe para as geometrias avaliadas. Os valores variaram entre 0,85 e 2,10, evidenciando que as alterações na geometria das aberturas modificam o nível de solicitação dos montantes da alma.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o modelo numérico desenvolvido no Abaqus foi capaz de representar adequadamente o comportamento estrutural das vigas de aço duplamente casteladas, apresentando boa concordância com os resultados experimentais. Entre as imperfeições geométricas avaliadas, a amplitude L/1000 apresentou a menor diferença média em relação aos resultados experimentais, com erro médio de 4,5%, sendo adotada no estudo paramétrico. Também foi observado que as alterações na geometria das aberturas influenciaram a solicitação dos montantes da alma. A aplicação da formulação de Ward (1991) resultou em valores de V/Vfe entre 0,85 e 2,10, indicando diferenças na solicitação dos montantes em função da geometria analisada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao orientador pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

NAJI, A. I.; KADHIM AL-SHAMAA, M. F. Structural performance of double castellated steel beams with innovative opening configuration. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, v. 15, n. 2, p. 20616–20622, 2025.

WARD, J. K. *Design of composite and non-composite cellular beams*. Berkshire: The Steel Construction Institute, 1991.