



## ANÁLISE PARAMÉTRICA DE LIGAÇÕES ENTRE COLUNAS TUBULARES RETANGULARES E VIGA DE PERFIS I SOB MOMENTO FLETOR

Pedro Lucas dos Santos Melo<sup>1</sup>; Matheus Miranda de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bolsista (IFMG), Engenharia de Produção, IFMG Campus Congonhas, Congonhas - MG; [pedromelu77@gmail.com](mailto:pedromelu77@gmail.com)

<sup>2</sup> Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus Congonhas; [matheus.miranda@ifmg.edu.br](mailto:matheus.miranda@ifmg.edu.br)

### RESUMO

O uso e dimensionamento de ligações soldadas entre colunas de perfis tubulares retangulares de aço e vigas com seção transversal em I é atualmente restrito pelas prescrições normativas, especialmente quando envolve parâmetros geométricos que excedem os limites de validade estabelecidos, limitando o emprego dessas ligações. Diante disso, torna-se essencial avaliar a influência das características geométricas dessas ligações, considerando a diversidade existente em suas formas e geometrias existente atualmente. Este projeto tem como objetivo conduzir um estudo numérico paramétrico, utilizando o método dos elementos finitos e um modelo numérico validado, para determinar a capacidade resistente de ligações entre colunas de perfis tubulares retangulares e vigas em I sob momento fletor. A análise está sendo realizada em um software comercial (versão educacional) de elementos finitos, com foco na obtenção das curvas momento-rotação, estado de tensões e deformações após o carregamento e a configuração deformada dos modelos, permitindo a avaliação do momento fletor resistente das ligações.

**PALAVRAS CHAVES:** Estruturas de aço, perfis tubulares retangulares, ligações, análise numérica.

### INTRODUÇÃO:

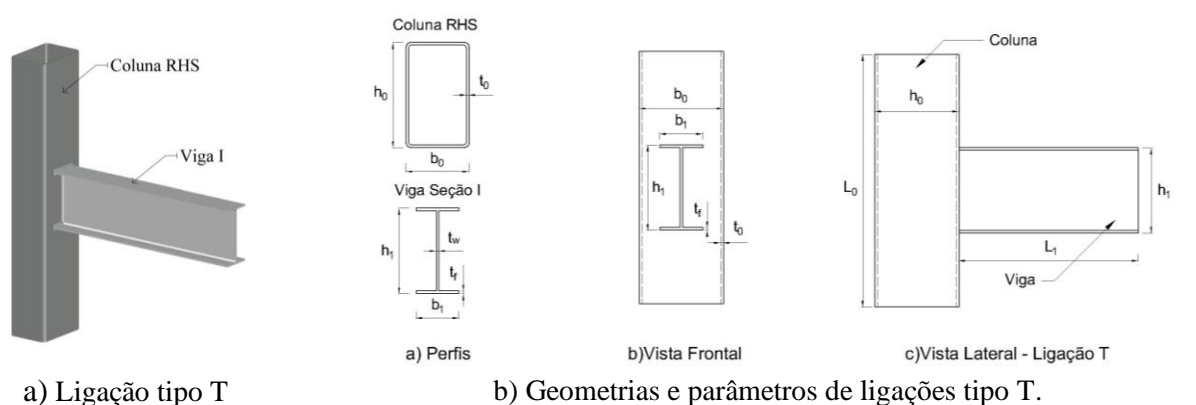
O uso do aço na construção civil oferece diversas vantagens, como a redução do tempo de execução das obras, precisão e uniformidade nas dimensões dos elementos estruturais, controle na fabricação, facilidade de transporte e manuseio, além da eficiência na montagem (Oliveira, 2023). Os perfis tubulares, que podem ter forma geométrica quadrada (SHS), circular (CHS) ou retangular (RHS), permitem a criação de estruturas leves e a superação de grandes vãos, devido à sua elevada resistência à tração e compressão. Essas vantagens decorrem de sua geometria, que proporciona uma boa distribuição de massa em relação ao centro de gravidade e altos valores de raio de giração em torno dos eixos principais de inércia (Resende, 2008).

No entanto, apesar do crescimento e da disseminação do uso de perfis tubulares no Brasil, ainda há uma carência de pesquisas que consigam prever com precisão o comportamento real dos elementos estruturais de aço com essa tipologia de perfis. É fundamental que o dimensionamento dos elementos construtivos, bem como a configuração das ligações, resulte em uma capacidade adequada de deformação e rotação, o que exige investigações experimentais e numéricas (Affonso, 2014).

A combinação de colunas de seção tubular retangular com vigas de seção I explora as melhores propriedades mecânicas desses perfis. Essas ligações podem ser uniplanares ou multiplanares, dependendo do número de paredes conectadas. Este estudo aborda as ligações uniplanares tipo T,

onde vigas são conectadas em apenas uma parede da coluna tubular retangular, conforme ilustrado na Figura 1 a).

As ligações que o presente trabalho avalia, conectam os elementos da estrutura formando um ângulo de 90°. Dessa forma, as ligações são executadas por meio de soldagem, e parâmetros geométricos são utilizados para a sua definição e análise, como ilustrado na Figura 1b).



**Figura 1.** Ligação tipo T

Diversos estudos têm investigado ligações soldadas entre vigas de seção I e colunas tubulares. Lu *et al.* (1994, 1997) analisaram modos de falha e propuseram critérios para o estado limite último, enquanto López-Colina *et al.* (2014, 2019) avaliaram a rigidez e resistência sob diferentes condições, propondo adaptações normativas. Serrano-López *et al.* (2016, 2019) exploraram modelagens numéricas e variações geométricas, e Reis (2019) identificou o impacto da altura das vigas na capacidade resistente. Barros (2021) adaptou o método dos componentes e classificou ligações conforme normas, ressaltando a necessidade de estudos adicionais.

Na última década, a utilização de estruturas de aço compostas por perfis tubulares evoluiu no Brasil, devido a grandes obras de infraestrutura destinadas a eventos esportivos realizados no país e a publicação da norma brasileira para projeto de estruturas de aço com perfis tubulares, ABNT NBR 16239 (2013). Essa evolução tem permitido a introdução de soluções eficientes e esteticamente agradáveis, combinando colunas tubulares retangulares e vigas em seção transversal I.

Nesse cenário, é fundamental incorporar estudos sobre ligações soldadas nas etapas de análise e dimensionamento das estruturas. O entendimento aprofundado dessas ligações contribui significativamente para a avaliação do comportamento global das estruturas, incluindo a determinação dos modos de falha e a ampliação das condições de validade das formulações. É essencial considerar a influência dos parâmetros geométricos, dos índices de esbeltez ( $2\gamma$ ), a relação entre as larguras da viga e da coluna ( $\beta$ ) e da relação entre a altura da viga e a largura da coluna ( $\eta$ ). Portanto, a realização de um estudo numérico/paramétrico favorece o entendimento da capacidade resistente das ligações.

Portanto, este trabalho tem como objetivo determinação da capacidade resistente de ligações tubulares soldadas formadas por colunas seção tubular retangular e vigas de seção transversal I, submetidas a momento fletor por meio de uma análise numérica/paramétrica via elementos finitos. A partir de um modelo numérico validado, a análise numérica será composta de um estudo paramétrico com variações dos parâmetros geométricos dos elementos da ligação. Serão considerados as variações



geométricas, a identificação dos modos de falha, distribuição de tensões, configuração deformada e comportamento na fase elástica e plástica da ligação.

### **METODOLOGIA:**

A análise paramétrica da pesquisa está sendo realizada via método dos elementos finitos por meio do programa comercial ANSYS 18.2 (ANSYS Inc., 2017) e um modelo numérico validado por Oliveira (2023), com detalhe na Figura 2a). Inicialmente, é gerado um arquivo de entrada para especificação dos seguintes parâmetros:

- Características mecânicas dos materiais da coluna, viga e da solda;
- Geometria dos modelos;
- Tipos de elementos finitos a serem utilizados;
- Tamanho da malha de elementos finitos na geometria do modelo;
- Aplicação do carregamento externo e condições de contorno;
- Tipo de análise e método de solução;

As características devem atender toda a configuração dos perfis avaliados. Após a definição de todos os parâmetros e possível convergência do modelo numérico, pode-se obter os valores de resistência da ligação através do Critério de Deformação Limite, além das tensões e deformações em cada ponto dos elementos da ligação.

Levando em consideração que a plastificação da face superior do banzo é um modo de falha predominante em ligações com relações entre largura da viga e a largura da coluna inferiores a 0,85. Lu *et al.* (1994) estabeleceram um critério geral para determinação da resistência da mesma, limitando o deslocamento de 3% da largura da face conectada como um estado limite último.

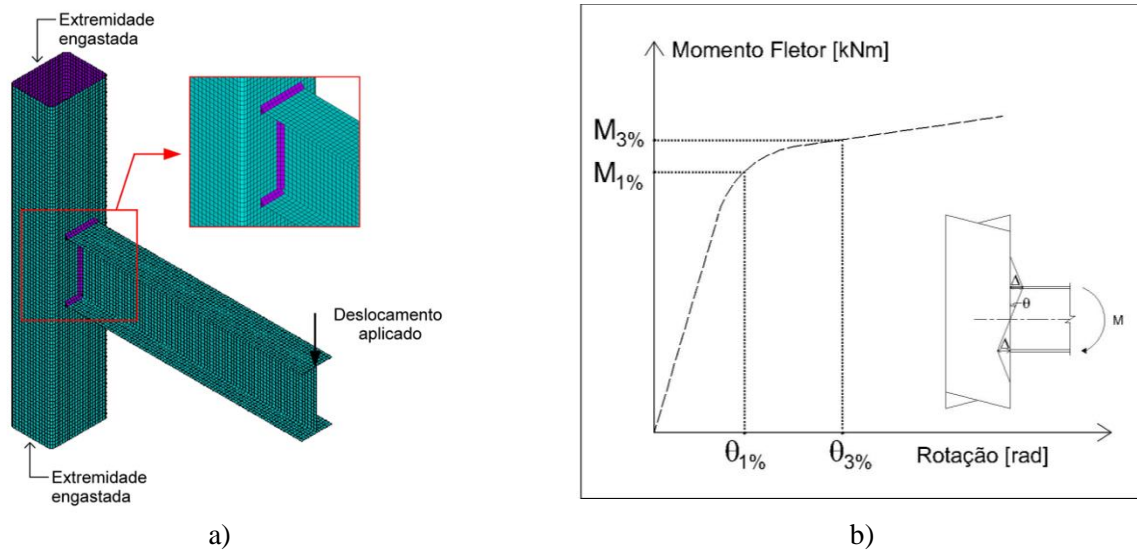
Nas ligações estudadas no presente trabalho, submetidas a esforços de flexão, o Critério de Deformação Limite pode ser adotado e verificado na curva Momento-Rotação. O valor do momento resistente último ( $M_{3\%}$ ) é obtido quando conforme uma rotação equivalente a deformação 3% ( $\theta_{3\%}$ ) da largura da face e do momento resistente de serviço ( $M_{1\%}$ ) uma rotação equivalente a deformação 1% ( $\theta_{1\%}$ ), exemplificado na Figura 2b). Assim a capacidade resistente da ligação pode ser determinada utilizando esse critério.

A partir do modelo em elementos finitos definido, uma análise da influência dos parâmetros geométricos será desenvolvida para verificar a capacidade resistente referente a falha por plastificação da parede frontal, os resultados a serem analisados serão:

- Curva Momento-Rotação, e a rotação da ligação medida por meio da face da coluna e na viga;
- Distribuição de tensões e deformações;
- Configuração deformada após aplicação de carga;

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

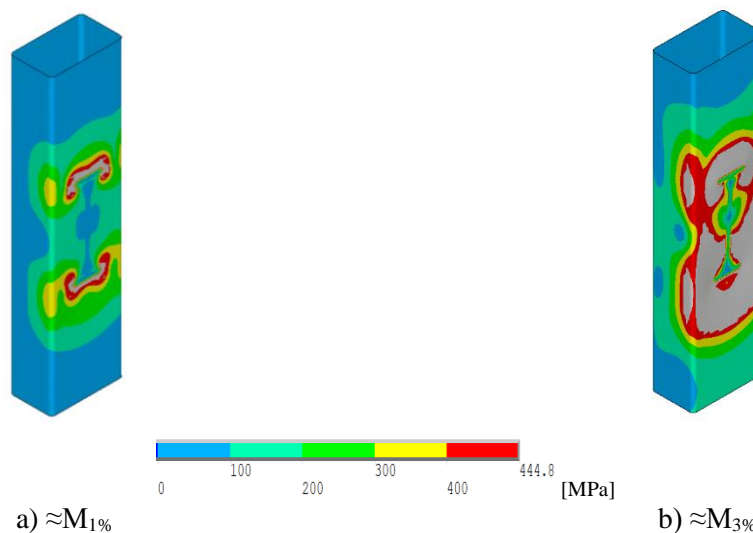
Os detalhes dos modelos para o estudo paramétrico ainda estão sendo definidos. Atualmente o trabalho se encontra na fase da avaliação dos parâmetros que influenciam no comportamento da ligação, para então definir os modelos analisados a partir das variações dos parâmetros adimensionais comumente adotados em avaliações entre ligações tubulares de acordo com relações geométricas da viga e da coluna.



**Figura 2.** Ligação tipo T: a) detalhe do modelo numérico em elementos finitos e condições de contorno; b) Critério de Deformação limite para comportamento Momento-Rotação.

O comportamento observado dos modelos inicialmente avaliados é característico do modo de falha por plastificação da parede frontal. Em todos os modelos, foi possível observar o aumento de rigidez da ligação após alcançarem o valor de momento equivalente a 3% do deslocamento da parede frontal, conforme mostrado na Figura 2b).

Na Figura 3 está apresentada a evolução das tensões de von Mises para valores próximos de  $M_{1\%}$  e  $M_{3\%}$  de um modelo numérico analisado, com características de  $\beta=0,40$ ,  $2\gamma=39,0$  e  $\eta=1,20$ . Observou-se que para valores de  $M_{1\%}$  o escoamento foi atingido na parede frontal em regiões próximo as mesas da viga (em cinza).



**Figura 3.** Distribuição das tensões de von Mises [MPa] de um modelo numérico



## CONCLUSÕES:

Apesar de ainda não concluído, pretende-se contribuir para um melhor entendimento da influência dos parâmetros geométricos na capacidade resistente da ligação. O estudo paramétrico com a inclusão da variação das propriedades geométricas deverá permitir resultados mais abrangentes e conclusivos. Sendo possível determinar os valores de rigidez e capacidade resistente da ligação, Além de identificar e avaliar o comportamento do modo de falha por plastificação da parede frontal em ligações soldadas entre colunas tubulares retangulares e vigas de seção I.

## REFERÊNCIAS:

- AFFONSO, G. R. Avaliação de ligações soldadas “T” entre vigas de perfil I ou H e colunas em perfis tubulares circulares. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2014.
- ANSYS INC. ANSYS Version 18.2. EUA: Swanson Analysis System, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16239: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BARROS, H. T. G. DE. Análise numérica de ligações soldadas entre pilar de seção RHS e viga de seção “I.” Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2021.
- LÓPEZ-COLINA, C.; SERRANO, M. A.; GAYARRE, F. L.; GONZÁLEZ, J. The component ‘lateral faces of RHS’ under compression at ambient and high temperature. *International Journal of Steel Structures*, v. 14, n. 1, p. 13–22, 15 Mar. 2014.
- LÓPEZ-COLINA, C.; SERRANO, M. A.; LOZANO, M.; GAYARRE, F. L.; SUÁREZ, J. M.; WILKINSON, T. Characterization of the main component of equal width welded I-beam-to-RHS-column connections. *Steel and Composite Structures*, v. 32, n. 3, p. 337–346, 2019.
- LU, L. H. The static strength of I-beam to rectangular hollow section column connections. Ph.D. Thesis. Delft, The Netherlands: Technische Universiteit Delft, 1997.
- LU, L. H.; DE WINKEL, G. D.; YU, Y.; WARDENIER, J. Deformation limit for the strength of hollow section joints. *Tubular Structures VI*, p. 341–347, 1994a.
- OLIVEIRA, M. M. DE. Análise de ligações entre vigas de perfis I e colunas em perfis tubulares retangulares. Tese de Doutorado - Em andamento. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2023.
- REIS, S. L. F. Análise de ligações entre perfis de aço de seção tubular e perfis “I.” Tese de Doutorado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.
- RESENDE, A. D. F. L. Diagnóstico numérico de vigas Vierendeel formadas por perfis tubulares metálicos de seção circular. Dissertação de Mestrado. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2008.
- SERRANO-LÓPEZ, M. A.; LÓPEZ-COLINA, C.; WANG, Y. C.; LOZANO, M.; GAYARRE, F. L. Comparative behaviour of ‘I beam- RHS column’ joints with and without web weld. *Journal of Constructional Steel Research*, v. 159, p. 330–340, Aug. 2019.
- SERRANO-LÓPEZ, M. A.; LÓPEZ-COLINA, C.; GONZÁLEZ, J.; LÓPEZ-GAYARRE, F. A simplified FE simulation of welded I beam-to-RHS column joints. *International Journal of Steel Structures*, v. 16, n. 4, p. 1095–1105, 31 Dec. 2016.