

INFLUÊNCIA DA LARGURA DA MESA DA VIGA DE SEÇÃO I NA RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO COM O PILAR TUBULAR DE SEÇÃO CIRCULAR

THE INFLUENCE OF THE WIDTH OF THE FLANGE OF SECTION I-BEAM IN THE CONNECTION STRENGTH WITH THE CIRCULAR HOLLOW SECTION COLUMN

Coutinho, Felipe Botelho

Aluno de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo
felipecoutinho@msn.com

Azevedo, Macksuel Soares de

Professor Doutor, Universidade Federal do Espírito Santo
macksuelazevedo@gmail.com

Ferreira, Walnório Graça

Professor Doutor, Universidade Federal do Espírito Santo
walnorio@gmail.com

RESUMO

O propósito deste trabalho é apresentar um estudo numérico sobre a influência da largura da mesa da viga de seção I na resistência da ligação com o pilar tubular de seção circular – razão entre essas duas propriedades geométricas denominado β pela norma brasileira NBR 16239:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares. Os resultados obtidos demonstram a proporcionalidade do aumento da rigidez e da resistência da ligação com o aumento da largura da mesa da viga, além da mudança do modo de falha, alterando de flambagem na face do pilar para tensão máxima resistente do seu aço. Ao comparar a resistência máxima obtidos pela equação da norma brasileira com os resultados numéricos, é verificada correlação entre os valores, o que atesta a aplicabilidade da NBR 16239:2013.

Palavras-chave: Ligação viga-pilar. Estrutura tubular circular. Estrutura em aço.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present a numerical study of the influence of the width of the flange of section I-beam in the connection strength with the circular hollow section column – the ratio between these two geometric properties is called β by the Brazilian NBR 16239: 2013 - Project steel and composite structures of steel and concrete structures of buildings with tubular hollow section. The results show proportionality of the increase in rigidity and connection strength with increasing width of the beam flange, in addition to the failure mode changes, altering from buckling at the column face to its maximum steel stress resistive. By comparing the maximum strength obtained by the equation of the Brazilian standard with the numerical results, it is verified correlation between the values, which proves the applicability of the NBR 16239:2013.

Keywords: Beam-column connection. Circular hollow section structure. Steel

1. INTRODUÇÃO

Os perfis tubulares possuem maior resistência à torção e à compressão quando comparados com os perfis de seção aberta. Além de não possuírem arestas vivas, o que evita pontos de concentração de ferrugem e facilita a pintura, também podem ser preenchidos com concreto, armado ou não, aumentando a sua resistência mecânica. Para as estruturas tubulares em aço, diversos são os estudos sobre a sua aplicação, desde pesquisas independentes até normas técnicas que englobam da concepção de um projeto à sua execução.

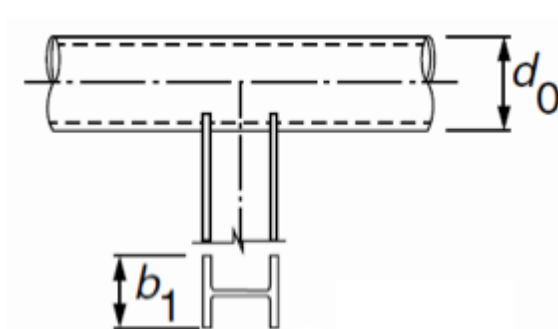
Figura 1: Exemplo de ligação entre viga de seção I e pilar tubular circular



Fonte: Autor, 2016.

No entanto para as ligações dessas estruturas são poucas as informações sobre o seu comportamento, em especial entre a viga de seção I e o pilar tubular de seção circular, principalmente quanto a razão entre a largura da mesa da viga com o diâmetro do pilar, o qual corresponde ao β da NBR 16239:2013, e possui valor mínimo de aplicabilidade na equação igual a 0,4.

Figura 2: Ligação entre viga de seção I e pilar tubular circular conforme NBR 16239:2013



Fonte: NBR 16239:2013

Onde:

$$\beta = \frac{b_1}{d_0}$$

Sendo:

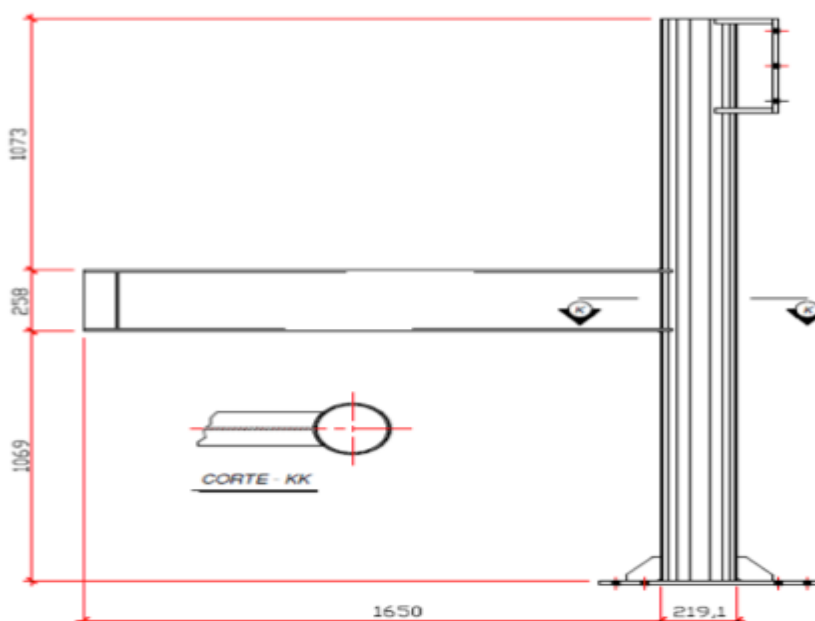
b_1 -Largura da mesa da viga
 d_0 -diâmetro do pilar

Nesse sentido, o propósito desse estudo é analisar numericamente a influência da variação do β no comportamento da ligação quanto aos critérios de resistência, rigidez e modo de falha.

2. METODOLOGIA

O experimento para validação da análise numérica é conforme o estudo de Masioli, (2011), em seu segundo protótipo, TCR-W. A ligação é do tipo T, entre a viga de seção I e o pilar tubular de seção circular. O fato de ter sido utilizada solda na ligação entre a viga e o pilar facilita, na análise numérica, a variação da largura da mesa da viga. O pilar é engastado nas extremidades e a análise do comportamento da ligação ocorre em função da força aplicada na ponta livre da viga, especificamente no enrijecedor vertical.

Figura 3: Protótipo de Masioli (2011). As medidas estão em mm

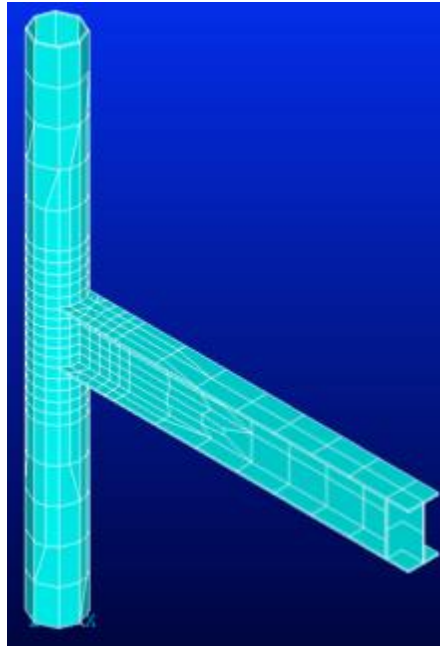


Fonte: Masioli, 2011.

O elemento adotado para o modelo numérico é tipo casca, equivalente as formas que

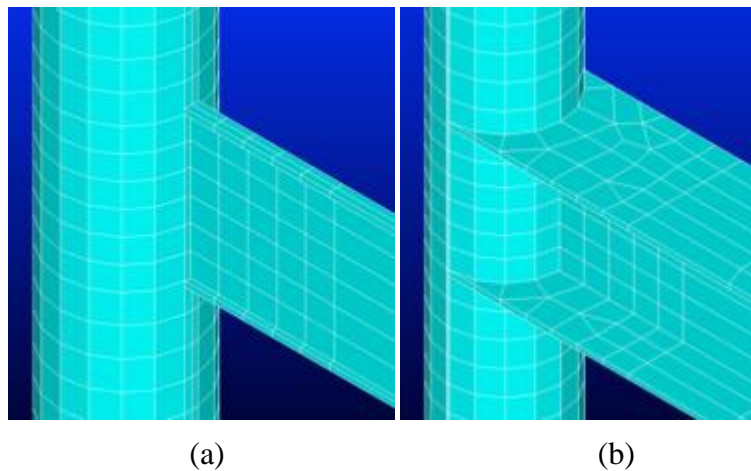
compõem a viga e o pilar, governado pela teoria de Mindlin-Reissner, derivado da análise de estruturas de placa fina e moderadamente espessa – adequado para aplicações com grandes rotações e grandes deformações não lineares. Na análise da influência do β é adotado a variação da mesa da viga em intervalos de 5% em relação ao diâmetro do pilar, iniciado a partir de 10%, alcançando os 100%.

Figura 4: Modelo numérico segundo o experimento de Masioli (2011)



Fonte: Masioli, 2011.

Figura 5: Destaque para a ligação no modelo numérico. β igual a 0,1 em (a) e β igual a 1,0 em (b)



Fonte: Masioli, 2011.

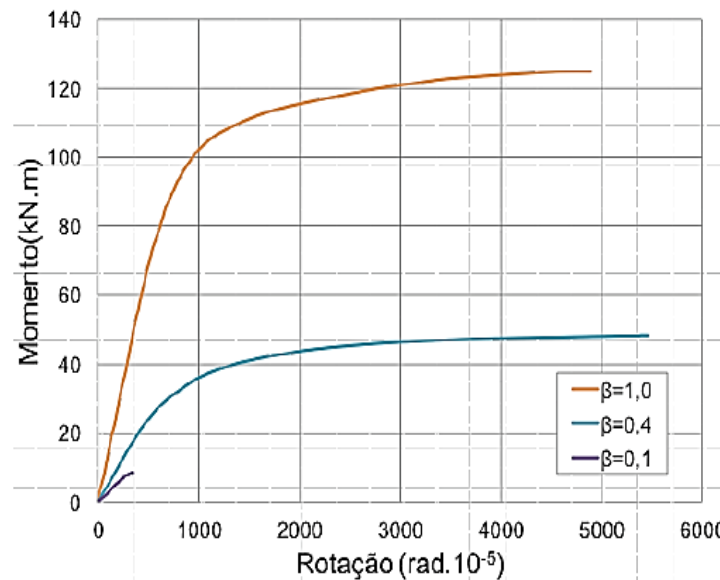
3. RESULTADOS

Após a validação do modelo numérico é analisado o comportamento momento-rotação da ligação com os valores máximos de β deste estudo, correspondentes às situação da largura da mesa da viga igual à 10% e a 100% do diâmetro do pilar, além da condição mínima permitido pela norma brasileira, equivalente à 40 % da largura do tubo.

Para o menor valor de β é constatado que a curva momento-rotação da ligação concerne à falha por flambagem local na face do pilar, caracterizado por sua pequena projeção, o que a limita exclusivamente a fase elástica. Para a largura da mesa da viga igual ao diâmetro do pilar, β igual a 1,0, o modo de falha é constituído pelo escoamento do aço do pilar – onde é possível identificar a ocorrência da rótula plástica na ligação.

Quando β é igual a 0,4 a ligação também apresenta as fases elásticas e plásticas, no entanto a curva de transição entre estes dois comportamentos não é tão acentuada quanto em β igual a 1,0.

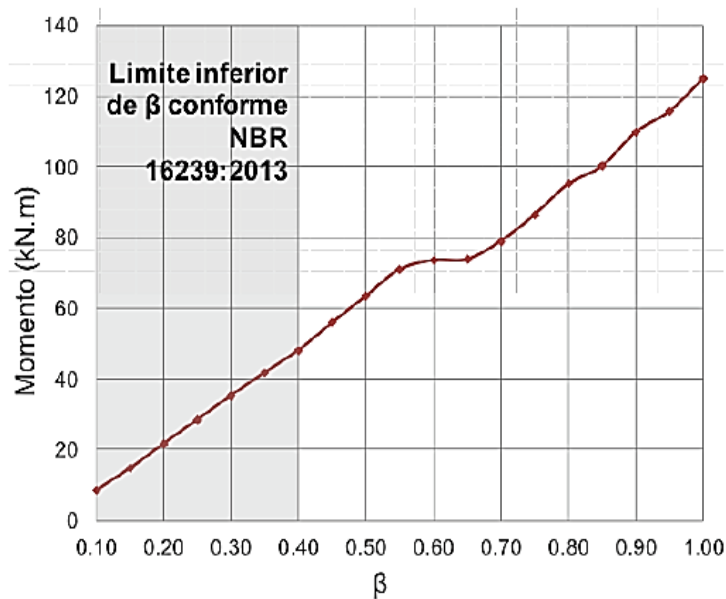
Figura 6: Comportamento da ligação para os principais valores de β considerados nesta análise



Fonte: Autor, 2016.

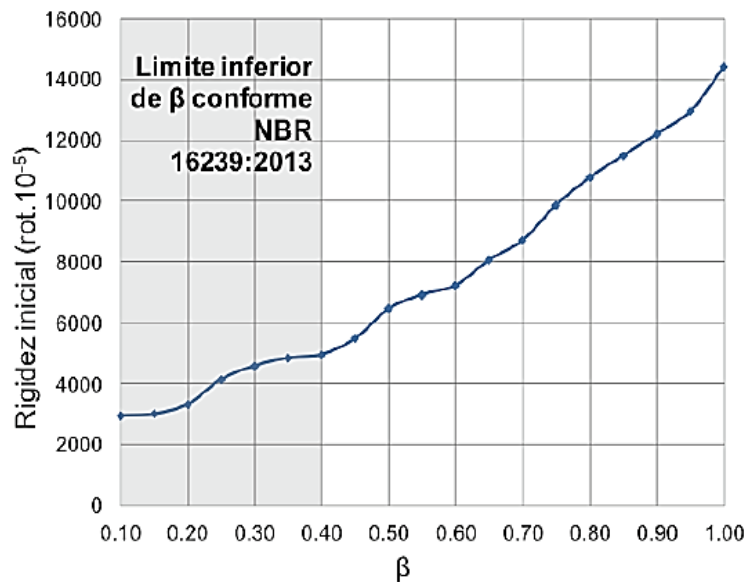
Na análise do momento máximo resistente da ligação é verificado um considerável aumento dos seus valores, proporcionais ao aumento do β . Quanto a rigidez da ligação, também é constatado a equivalência entre o seu aumento com o β .

Figura 7: Resistência da ligação



Fonte: Autor, 2016.

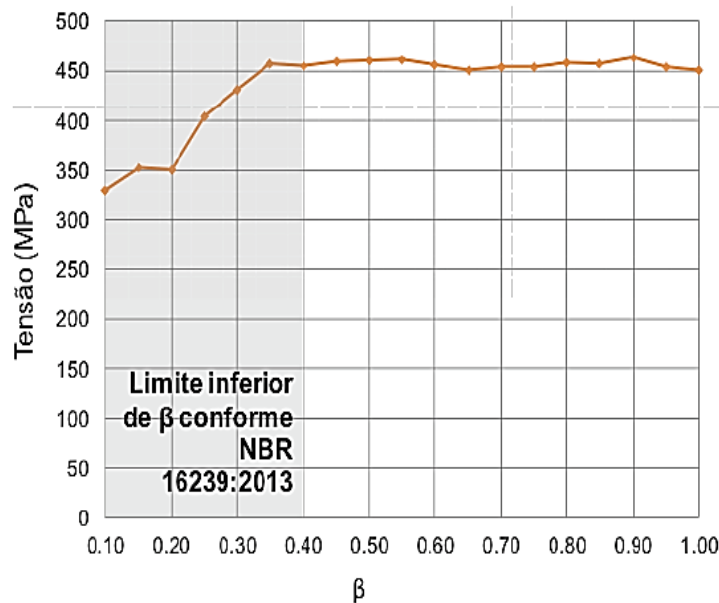
Figura 8: Rigidez da ligação



Fonte: Autor, 2016.

Além das análises de resistência e rigidez, também é feita uma avaliação da tensão máxima na face do pilar junto a ligação, quando na ocorrência da falha. Nesse sentido considera-se a correlação entre a tensão no pilar e o β , onde é constatado o aumento dos seus valores até 0,35, quando é alcançado a tensão máxima do aço do pilar – permanecendo estável até a largura da mesa da viga ser igual ao diâmetro do pilar ($\beta = 1,0$).

Figura 9: Tensão máxima na face do pilar na ligação

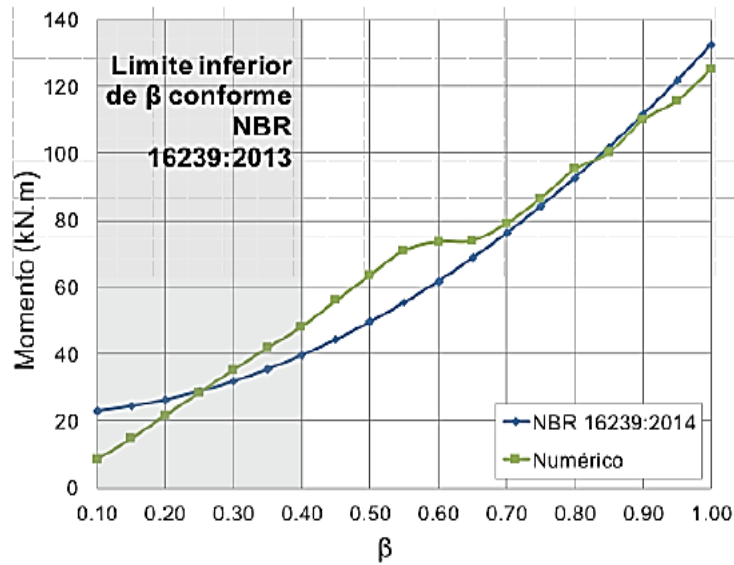


Fonte: Autor, 2016.

Portanto, verifica-se a ocorrência da falha na ligação devido a flambagem da face do pilar até β próximo ao limite inferior da NBR 16239:2013, igual a 0,4. Ao se estabilizar a tensão nesta região, ocorre a mudança da falha predominante, correspondendo agora à tensão última do aço do pilar – o que justifica em uma análise preliminar o limite inferior de β igual a 0,4 para que a falha ocorra em função da tensão máxima resistente do aço do pilar, e descarta a consideração do modo de falha por flambagem.

Para a análise da equação resistente apresentada pela NBR 16239:2013 neste tipo de ligação, e aplicando-se as geometrias desse estudo, é verificado o comportamento linear nos seus resultados – neste caso ampliado o limite da sua aplicação para melhor compreensão. Além disso, ao comparar os resultados com os numéricos, é possível verificar proporcionalidade entre os valores, o que atesta a sua aplicabilidade. No intervalo de β entre 0,25 e 0,9 os valores são inferiores aos numéricos, o que demonstra ser a favor da segurança no cálculo estrutural.

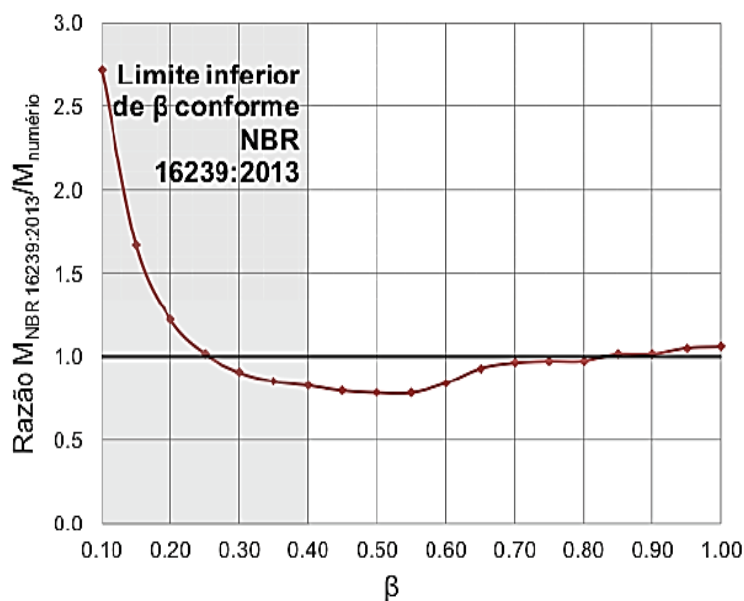
Figura 10: Resultados analítico e numérico da resistência máxima da ligação



Fonte: Autor, 2016.

Para a razão entre o resultado numérico e analítico, verifica-se nas situações de β inferior a 0,25 e superior a 0,85, que a resistência do primeiro é inferior ao segundo, especialmente para os valores abaixo do limite inferior estabelecidos pela NBR 16239:2013 – o que reforça a sua concepção considerando apenas a falha da ligação em função do escoamento do aço do pilar.

Figura 11: Razão entre os resultados analítico e numérico



Fonte: Autor, 2016.

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram a linearidade do aumento da largura da mesa da viga com o

acréscimo de resistência e rigidez da ligação. Quanto ao modo de falha, ao se analisar a tensão máxima no pilar na região da ligação, é possível verificar a até aproximadamente β igual a 0,4, limite inferior da NBR 16239:2013, que a falha ocorre pela flambagem da face do pilar. Para valores acima desse limite, o colapso sucede pela resistência máxima do aço do pilar – situação que demonstra claramente que a análise analítica está condicionada a apenas este modo de falha. Nos resultados da equação da NBR 16239:2013, verifica-se a proximidade entre os valores numéricos e analíticos, o que atesta a aplicabilidade da equação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 2013.

MASIOLI, C. Z. **Análise teórica e experimental de ligações em aço entre pilar tubular de seção circular e viga de seção I**. **Dissertação (Mestrado)** - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.