AVALIAÇÃO NUMÉRICA DE LIGAÇÕES TUBULARES SOLDADAS ENTRE PERFIS CIRCULARES E VIGAS I CONSIDERANDO O EFEITO DAS CARGAS AXIAIS

Reis,S. L. F. [a], Freitas, A. M.S.[a], Araujo, A. H. M[b] e Lima, L.R.O[c]

[a]*PROPEC, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Universitário s/n, Morro do Cruzeiro, 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil, sylvialetizia@ig.com.br, arlene@em.ufop.br*

[b]*Vallourec Mannesmann do Brasil, afonso@vmtubes.com.br*

[c]*Departamento de Estruturas e Fundações - UERJ - Rio de Janeiro - Brasil luciano@eng.uerj.br*

Palavra Chave: Tubular Connections, Numerical Modeling, Nonlinear Analysis.

Resumo *Os perfis tubulares sem costura são largamente utilizados em diversos países. No Brasil, o uso desses perfis na construção civil era bastante limitado, restringindo-se praticamente a coberturas espaciais. Considerando uma nova realidade com o incremento do uso de perfis tubulares, este trabalho apresenta uma análise de ligação tipo "X" uniplanar com perfis tubulares circulares para a coluna e perfis "I" para a viga. A rigidez da ligação foi avaliada através de um modelo em elementos finitos desenvolvido no programa Ansys. Foi feito um estudo considerando-se as relações entre diâmetro e espessura do tubo e o comprimento da mesa da viga de perfil "I" que influenciam na transmissão do momento, portanto na rigidez da ligação. Após a validação da metodologia empregada para modelagem das ligações, são apresentados os resultados obtidos numericamente e analiticamente. É analisado o comportamento momento versus rotação das ligações, portanto sua semi-rigidez. As não-linearidades físicas e geométricas foram incorporadas aos modelos, a fim de se mobilizar totalmente a capacidade resistente dessa ligação. Os resultados numéricos são comparados com resultados teóricos para a ligação em estudo e são avaliados os modos de falha e as cargas limites obtidas.*

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um aumento considerável do uso e aplicação dos perfis tubulares como elementos estruturais. No Brasil tem-se intensificado o uso de elementos estruturais metálicos associados a diversos fatores dentre eles, a rapidez de execução como ilustra a Fig. 1. A forma, a tipologia e a seção dos elementos estruturais estão associadas ao tipo de aplicação, estética, condição de uso, etc. Muitos são os exemplos na natureza que ilustram o uso dos perfis tubulares não somente como tubos para transmissão de fluidos, mas também por suas excelentes propriedades de resistência à compressão, torção e flexão nas diversas direções. Os perfis tubulares podem ter três geometrias diferentes, a circular (CHS), a retangular (RHS) e a quadrada (SHS). A geometria desses perfis representa sua principal vantagem, pois sua seção fechada permite que haja um aumento significativo de sua resistência para que possa vencer grandes vãos além de diminuir efetivamente a estrutura das fundações gerando dessa forma, uma grande economia para essas construções.

a) Estádio João Havelange "Engenhão", Rio de Janeiro. Fonte: Revista Arquitetura & Aço, jan.. 2010.

b) Prédio da Escola de Farmácia, UFOP. Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 1: Exemplos de estruturas com perfis tubulares no Brasil.

Com relação às ligações entre coluna tubular de seção circular (CHS) e viga de seção transversal tipo I que é objeto de estudo desse trabalho, existem poucas contribuições em pesquisas, principalmente no Brasil (Fig. 2). Sendo assim, neste trabalho é feito uma avaliação numérica, através de um modelo em elementos finitos desenvolvido pelo software Ansys, de ligação soldada utilizando uma coluna de perfil tubular circular de aço e uma viga em perfil I em cada lado da coluna, onde as não-linearidades físicas e geométricas foram incorporadas aos modelos. Foi feito um estudo entre as relações entre diâmetro e espessura do tubo, e largura da mesa da viga de perfil I que influenciam diretamente tanto na transmissibilidade do momento e na rigidez da ligação. Faz-se também uma análise do comportamento momento versus rotação das ligações e a avaliação das prescrições existentes.

a) Pavilhão de aulas, UFOP. Fonte: Arquivo pessoal.

b) Ligação soldada entre coluna tubular circular e viga tipo I. Fonte: Revista Finestra 2000.

Figura 2: Exemplos de estruturas com perfis tubulares em aço no Brasil.

Entretanto, deve-se ressaltar que nenhuma norma de dimensionamento de perfis tubulares no Brasil considera o dimensionamento de ligações entre perfis tubulares.

2. RIGIDEZ DAS LIGAÇÕES

Levando-se em consideração o comportamento rotacional de uma ligação, caracterizado por uma curva momento-rotação, observa-se que não existem rótulas perfeitas e nem ligações perfeitamente rígidas, sendo necessária a consideração de um caráter semi-rígido para o comportamento das ligações. Para isso é requerida uma nova filosofia de análise e dimensionamento das estruturas metálicas que, além de proporcionar maior rigor, pode conduzir a economias substanciais, uma vez que a rigidez rotacional e a resistência ao momento fletor de uma ligação viga-coluna influenciam significativamente a resposta estrutural das estruturas de aço, afetando sua deformabilidade e a sua capacidade de resistir aos carregamentos.

As características do comportamento rotacional das ligações são o momento resistente, a rigidez rotacioanal e a capacidade de rotação (‘ductilidade’) da ligação.

São muitos os benefícios da consideração do comportamento semi-rígido das ligações, devido às vantagens que esta abordagem oferece como a redução de momentos fletores de extremidade e também do meio do vão da viga, o que leva a um dimensionamento mais econômico da estrutura.

O conhecimento do comportamento estrutural da ligação vem pela determinação da relação momento-rotação que fornece os parâmetros necessários para sua classificação, assim como a análise da estrutura na qual a ligação está inserida, considerando-se seu comportamento não-linear.

De forma geral, o diagrama Momento-Rotação pode ser determinado de várias maneiras tais como simulações numéricas, modelos teóricos, modelos semi-empíricos ou ensaios experimentais. O Eurocode 3 estabelece os limites de rigidez que classificam a ligação a partir do diagrama Momento-Rotação, tais limites são mostrados na Fig. 3.

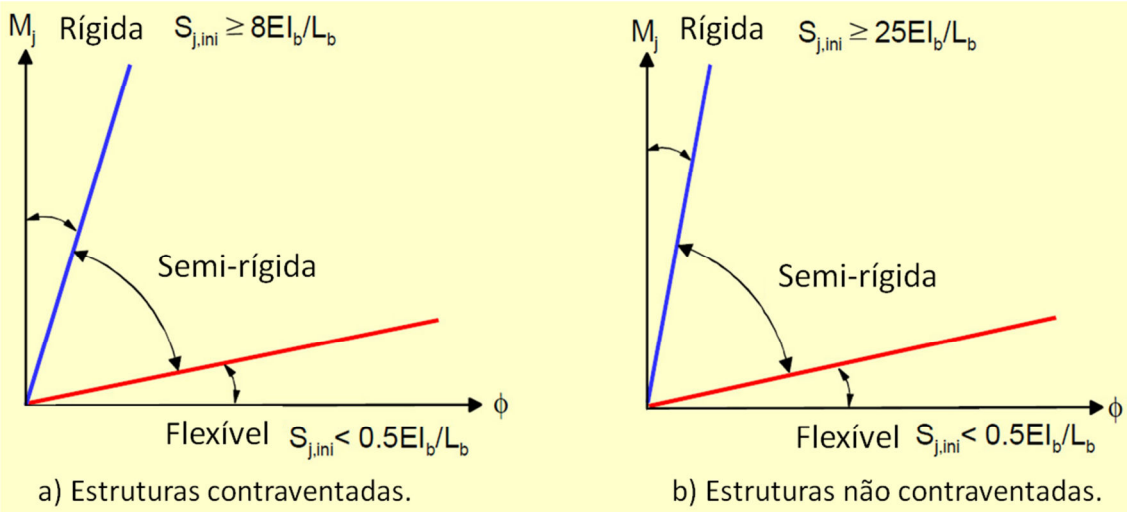


Figura 3: Limites para classificação da rigidez de ligação viga-coluna conforme o EUROCODE 3. Fonte: Wardenier *et al* 2010.

3. ANÁLISES TEÓRICAS

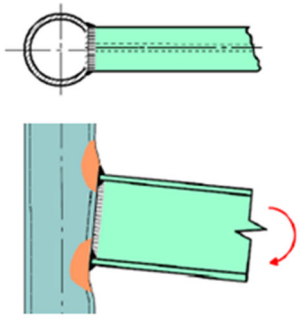
Ao longo dos anos, o crescimento de estudos experimentais e numéricos em diversos tipos de ligação vem dando suporte para que haja o desenvolvimento de modelos analíticos cada vez mais consistentes. Tais modelos são ferramentas fundamentais no auxílio a projetos e permitem a determinação da resistência, rigidez e ductilidade de uma ligação.

As formulações de dimensionamento são definidas baseando-se em como a estrutura irá se

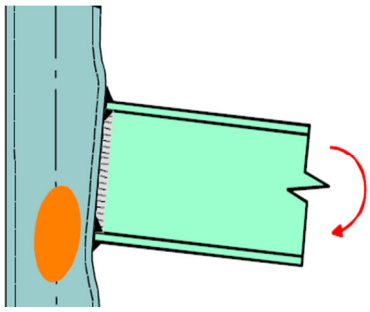
comportar e quais serão os estados limites últimos que poderão ocasionar a ruptura da ligação. O comportamento de cada ligação durante o colapso é função da distribuição de tensão na região da ligação, o que é dependente das características geométricas dos elementos conectados.

No caso de ligações viga-coluna onde a viga é soldada diretamente á face da coluna, o Eurocode 3 e o CIDECT (Comité International pour le Dévoloppement et l'Etude de La Construction Tubulaire), que é responsável pela compilação e síntese de grande parte dos estudos em estruturas tubulares desde a década de sessenta servindo como base para os procedimentos e formulações publicados pelo Eurocode 3,fornecem uma análise direta de sua resistência, sem a necessidade de se decompor o comportamento da ligação em ações localizadas. Para o dimensionamento dessas ligações, diversos estados limites últimos devem ser observados, a saber:

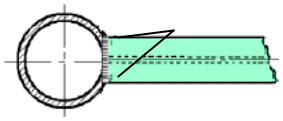
- plastificação da face da coluna, Figura 4(a);
- flambagem local da parede da coluna, Figura 4(b);
- ruptura do flange da viga, Figura 4(c);
- ruptura da solda, Figura 4(d);
- ruína por punção da parede da coluna, Figura 4(e);
- ruptura por cisalhamento da coluna, Figura 4(f).



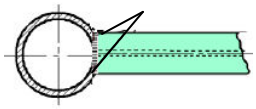
a) Plastificação da face da coluna.



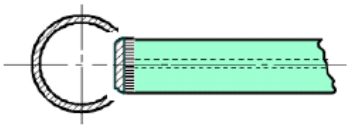
b) Flambagem local da parede da coluna.



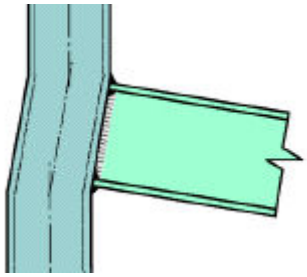
c) Ruptura do flange da viga.



d) Ruptura da solda.



e) Ruína por punção da parede da coluna.



f) Ruptura por cisalhamento na coluna.

Figura 4: Modos de falha para ligações soldadas entre viga tipo I e coluna CHS. Fonte: Wardenier et al (2010) adaptado.

As recomendações normativas do CIDECT, mostradas a seguir, foram baseadas em estudos feitos por Kurobane (1981), Wardenier (1982) e posteriormente por *apud* Makino *et al* (2000), que foram adotadas pelo Eurocode 3 (Fig. 5). No caso das ligações viga-coluna, as ações consideradas são aquelas provenientes de chapas soldadas à coluna, onde é contemplado o modo de falha da plastificação da parede da coluna.

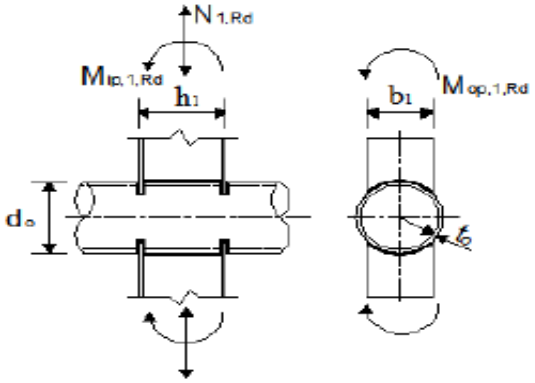


Figura 5: Ligação soldada entre coluna tubular circular e viga tipo I, ligação X.

Para o modo de falha da Plastificação da Parede da Coluna, têm-se as seguintes equações:

$$N_{1,Rd} = \left(\frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{(1-0{,}81\beta)} \right) \left(\frac{1+0{,}25\eta}{\gamma_{M5}} \right) \tag{1}$$

$$M_{ip,1,Rd} = \frac{h_1 N_{1,Rd}}{(1+0{,}25\eta)} \tag{2}$$

$$M_{op,1,Rd} = 0{,}5 b_1 \; N_{1,Rd} \tag{3}$$

$$n' = \frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}} \tag{4}$$

quando a coluna estiver comprimida:

$$k_p = 1 - 0{,}3n'(1-n') \leq 1 \tag{5}$$

quando a coluna estiver tracionada:

$$k_p = 1 \tag{6}$$

Onde:
$N_{1,Rd}$ = força normal resistente de cálculo;
$M_{ip,1\,Rd}$ = momento fletor resistente de cálculo no plano da ligação;
$M_{op,1\,Rd}$ = momento fletor resistente de cálculo fora do plano da ligação;
$\sigma_{p,Ed}$ = tensão axial solicitante na coluna;
f_{y0} = tensão de escoamento do aço da coluna;
$\beta = b_1/d_0$;
$\eta = h_1/d_0$;
$\gamma_{M5} = 1{,}0$

Deve-se ressaltar que não existem formulações para o cálculo da rigidez de ligações soldadas entre coluna tubular circular e viga tipo I.

4. DESCRIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO

O modelo numérico utilizado neste trabalho para caracterização de ligações tubulares soldadas entre colunas CHS e viga de perfil tipo I foi desenvolvido no programa de elementos finitos Ansys 11 utilizando elementos de casca com quatro nós, SHELL181, existente na biblioteca de elementos do referido programa. Este elemento possui seis graus de liberdade em cada nó, translação nas direções X, Y e Z e rotações em X, Y e Z. Este elemento considera esforços de flexão, corte e efeito de membrana. A malha adotada é de forma mais regular quanto possível com proporções adequadas entre elementos a fim de se evitar problemas

numéricos. A solda foi considerada como elemento de casca como um material linear elástico já que esta solução já foi testada anteriormente para outros tipos de ligações tubulares com boa correlação de resultado Lee (1999), Mendanha (2006) e Mayor (2010). A Fig. 6 a seguir, ilustra o modelo numérico utilizado em elementos finitos.

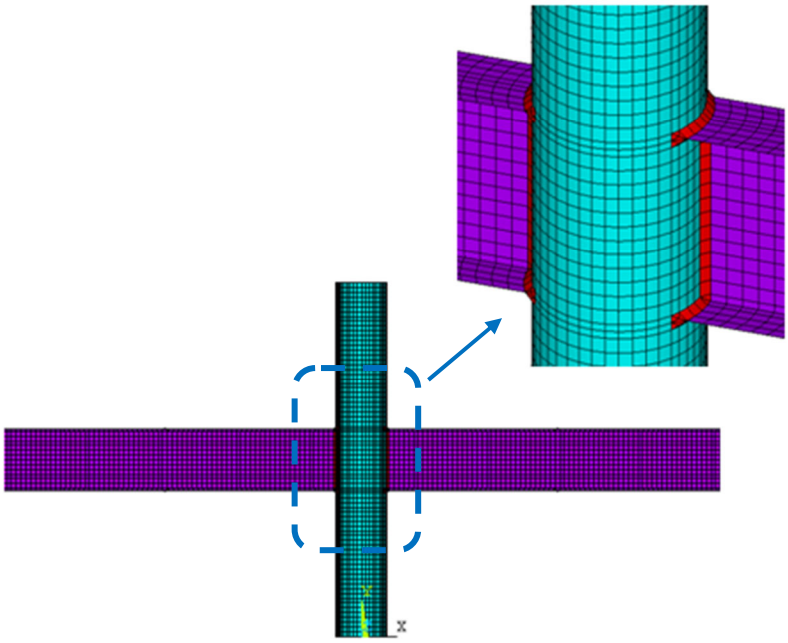


Figura 6: Modelo numérico avaliado.

Com o objetivo de se obter o comportamento global destas ligações em termos de rigidez, resistência e capacidade de deformação, efetuou-se uma análise não linear geométrica e de material. A lei constitutiva do material adotada foi bi-linear com comportamento elasto-plástico perfeito considerando-se uma tensão de escoamento para a coluna conforme o ensaio de caracterização do material fornecido pelo fabricante. Na Tabela 1 tem-se os valores das dimensões dos perfis CHS componentes das ligações e as características mecânicas do material considerado.

Tabela 1: Propriedades mecânicas do aço dos perfis das colunas dos protótipos.

Perfis da Coluna		Limite de Escoamento	Limite de Ruptura
d_0 (mm)	t_0 (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
219,1	8,2	385	582
219,1	9,5	374	571
219,1	12,7	374	571
219,1	15,1	384	598

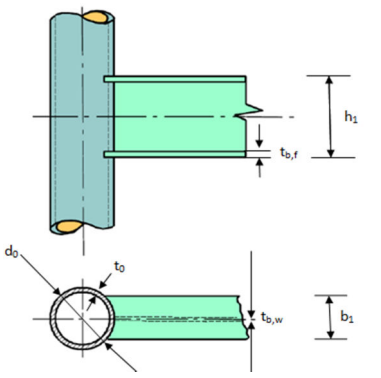
Para as vigas dos modelos numéricos foi considerado os valores nominais de catálogo do fabricante, Gerdau Açominas, em que a tensão de escoamento é igual a 345 MPa e a de ruptura 485 MPa.

5. ANÁLISE PARAMÉTRICA

A análise paramétrica desenvolvida neste trabalho compreendeu a análise de 8 modelos diferentes buscando uma maior abrangência de acordo com a gama de perfis tubulares disponíveis comercialmente no Brasil através da Vallourec & Mannesmann e para as vigas foi utilizado os perfis laminados da Gerdau Açominas. Conforme a Tabela 2 a seguir, foram adotados quatro perfis CHS, com mesmo diâmetro e espessuras diferentes. Também utilizou-se dois tipos perfis de seção transversal I para as vigas.

Tabela 2: Dimensões nominais dos perfis utilizados nas modelagens numéricas.

Coluna		Viga				
d_0 (mm)	t_0 (mm)	Perfil	h_1 (mm)	b_1 (mm)	$t_{b,f}$ (mm)	t_w (mm)
219,1	8,2	W250x28,4	260	102	10,0	6,4
		W310x38,7	310	165	9,7	5,8
219,1	9,5	W250x28,4	260	102	10,0	6,4
		W310x38,7	310	165	9,7	5,8
219,1	12,7	W250x28,4	260	102	10,0	6,4
		W310x38,7	310	165	9,7	5,8
219,1	15,1	W250x28,4	260	102	10,0	6,4
		W310x38,7	310	165	9,7	5,8



Considerou-se a altura da coluna CHS e o comprimento das vigas de 1,5 metros.

Foram feitos dois conjuntos de estudos numéricos, um conjunto utilizando um carregamento axial na coluna de 30 % da tensão de escoamento do material da mesma. A solicitação foi feita por meio de aplicação de deslocamento na direção vertical à distância de um metro e meio ao eixo da coluna, aplicada sobre a mesa superior da viga. Em um outro conjunto não foi aplicado carregamento axial da coluna, somente deslocamentos nas vigas. Restrições de deslocamento nulo foram aplicadas na extremidade inferior da coluna nos modelos com aplicação de compressão axial na mesma, aos quais todos os nós pertencentes à seção dessa extremidade inferior, foram impedidos de transladar e rotacionar em qualquer uma das três direções ortogonais. Para os modelos sem a consideração da compressão axial da coluna, os nós das extremidades superior e inferior também foram restringidos. A análise numérica foi interrompida quando não se atendeu o critério de convergência para o menor incremento de carga, em uma dada etapa de aplicação do carregamento, após o número máximo de iterações especificado. Neste trabalho foi utilizado o método iterativo de Newton-Raphson, onde a matriz de rigidez é atualizada em cada iteração, foi adotado também o critério de plastificação de von Mises.

A seguir é apresentada a avaliação da ligação envolvendo uma coluna CHS e uma viga de seção tipo I onde é feita uma investigação através do conhecimento do comportamento momento-rotação e pela determinação dos parâmetros que o caracterizam (rigidez, resistência e ductilidade da ligação). O estudo foi feito por meio de modelagem numérica, via Método dos Elementos Finitos utilizando o software Ansys.

6. RESULTADOS

A exposição dos resultados é feita de modo a se estabelecer uma comparação entre os resultados numéricos e analíticos obtidos a partir do CIDECT e EUROCODE 3. O confronto dos resultados numéricos e analíticos é feito por meio do momento fletor correspondente à rotação de 0,02rad, rotação citada pelo Eurocode 3 como a rotação a partir da qual deve ser tomado o momento de plastificação (M_n), quando o diagrama Momento-Rotação não apresentar ponto de máximo. A partir deste diagrama são extraídas as grandezas que caracterizam o comportamento da ligação, relativos à resistência, rigidez e ductilidade.

Como visto anteriormente, são consideradas quatro espessuras de perfis CHS para as colunas e dois tipos de perfis para as vigas. Para cada espessura foi combinado dois perfis procurando-se avaliar o comportamento da ligação frente a diferentes relações de rigidez da coluna e da viga. O carregamento foi aplicado de forma incremental até que atingisse o colapso da ligação através da transmissão de esforços da viga para a coluna conectada e foi aplicado um deslocamento axial na coluna.

As Figuras 7 e 8, mostram as curvas Momento-Rotação das ligações utilizando as vigas de perfil W 250 x 28,4 e W 310 x 38,7 respectivamente, considerando a análise numérica dos modelos obedecendo-se o mesmo carregamento para os mesmos tipos de vigas. As denominações CC e SC referem-se respectivamente aos modelos com aplicação de carga de

compressão axial na coluna e aos modelos sem considerar a aplicação de carregamento na coluna.

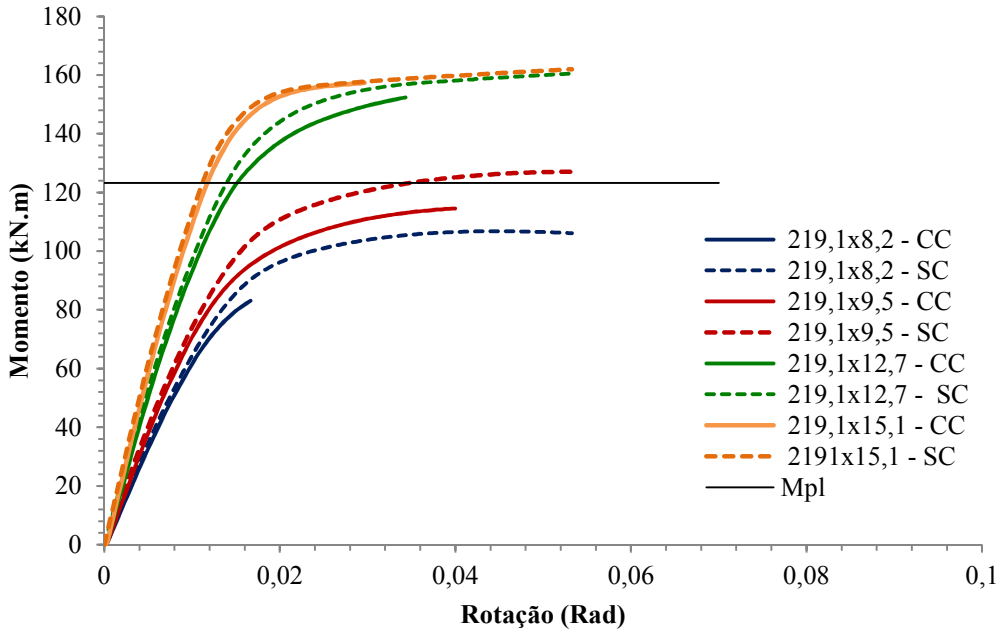


Figura 7: Gráfico Momento x Rotação dos modelos numéricos CHS ligados à viga de perfil W 250 x 28,4.

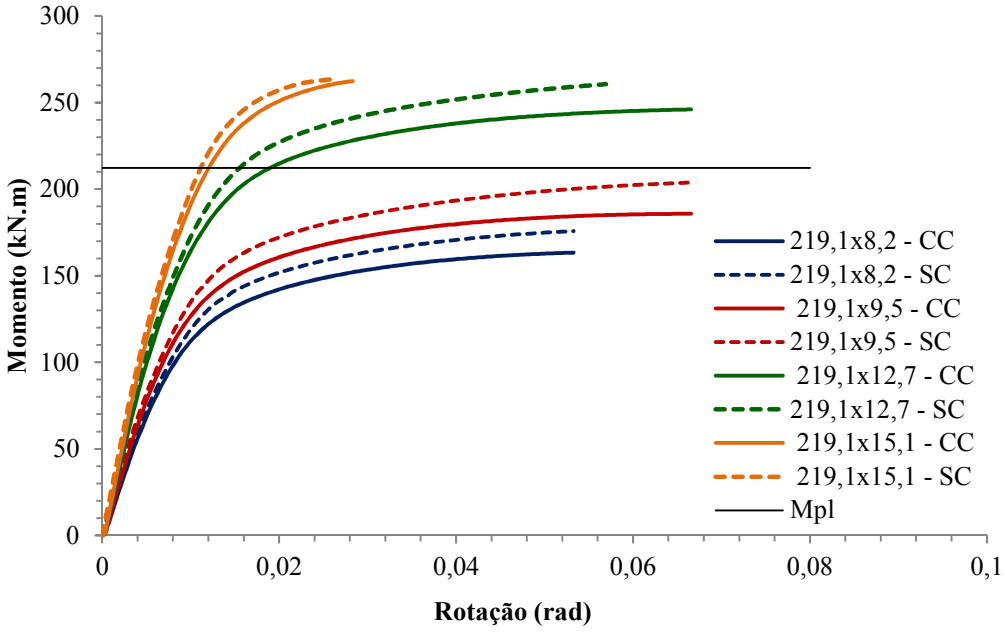


Figura 8: Gráfico Momento x Rotação dos modelos numéricos CHS ligados à viga de perfil W 310 x 38,7.

Pode-se observar que o colapso das ligações dos modelos com a coluna de espessura de 8,2 mm CC, SC, e 9,5 mm CC ligados à viga W 250 x 28,4 ocorreu antes da plastificação da mesma, ocasionando o modo de falha da plastificação da face da coluna. Para as ligações com a viga W 310 x 38,7, o colapso se deu pela plastificação da face da coluna para os modelos ligados às colunas com espessura de 8,2 mm CC, SC. e 9,5 mm CC e SC. Observa-se que para os modelos sem a aplicação de uma força de compressão na coluna, houve um aumento da resistência da ligação. Pode se bservar também que o aumento da inércia da viga ocasiona um decréscimo da rotação da ligação. A influência da espessura da coluna é considerável para a resistência da ligação, uma vez que o aumento da espessura ocasiona o aumento da rigidez da ligação como pode se observar nas Tabelas 5 e 6, que mostram os parâmetros obtidos nas

análises numéricas. Parâmetros tais, que informam características inerentes ao comportamento Momento-Rotação da ligação, onde (M_n) é o momento resistente último, (M_θ) é o momento para uma rotação de 0,02 rad, ($S_{j,ini}$) é a rigidez inicial da ligação e (θ_{Mn}) é a rotação correspondente a momento resistente último.

Tabela 5: Resultados teóricos e numéricos dos modelos ligados a viga W 250 x 28,4.

Viga W 250 x 28,4										
Coluna d_0=219,1 (mm)	Com carregamento axial da coluna					Sem carregamento axial da coluna				
	M_n (kNm)	M_θ=0.02rad (kN.m)		S_{jini} (kNm/rad)	θ_{Mn} (rad)	M_n (kNm)	M_θ=0.02rad (kN.m)		S_{jini} (kNm/rad)	θ_{Mn} (rad)
Espessura t_0(mm)		Num.	Anal.				Num.	Anal.		
8,2	82,50	-	65,55	6492,05	0,016	106,46	95,29	57,00	7049,70	0,019
9,5	113,79	100,35	98,60	7220,07	0,036	126,80	100,35	73,14	8223,50	0,029
12,7	150,55	136,50	120,54	9391,58	0,030	159,80	143,40	130,72	10904,36	0,045
15,1	156,53	151,82	132,72	11103,06	0,026	160,48	153,74	169,73	12640,51	0,046

Tabela 6: Resultados teóricos e numéricos dos modelos ligados a viga W 310 x 38,7.

Viga W 310 x 38,7										
Coluna d_0=219,1 (mm)	Com carregamento axial da coluna					Sem carregamento axial da coluna				
	M_n (kNm)	M_θ=0.02rad (kN.m)		S_{jini} (kNm/rad)	θ_{Mn} (rad)	M_n (kNm)	M_θ=0.02rad (kN.m)		S_{jini} (kNm/rad)	θ_{Mn} (rad)
Espessura t_0(mm)		Num.	Anal.				Num.	Anal.		
8,2	152,00	141,58	120,53	13211,65	0,028	174,50	151,79	123,13	15704,05	0,049
9,5	185,17	160,06	143,81	15365,35	0,057	201,85	172,16	160,54	17868,27	0,058
12,7	244,68	212,31	201,86	20296,86	0,058	257,61	227,85	256,91	22546,46	0,049
15,1	254,42	252,39	235,76	21173,06	0,025	262,35	258,42	316,43	25449,46	0,024

Percebe-se que à medida que se aumenta a inércia da viga, aumenta-se também a resistência e a rigidez inicial da ligação, fato também observado pela não aplicação da compressão axial da coluna. Esta razão também é refletida nos resultados analíticos.

Para se ter entendimento do comportamento da ligação, é importante que se faça a análise do desenvolvimento das tensões na face da coluna CHS. Assim, podem-se identificar os pontos de plastificação, bem como a evolução desta à medida que o carregamento é incrementado. As Fig. 9 e 10 a seguir, mostram o desenvolvimento das tensões de von Mises para as ligações dos modelos com a viga W 250 x 28,4 e coluna 219,1 x 9,5 CC (com compressão axial da coluna) e coluna 219,1 x 9,5 SC (sem compressão axial da coluna) respectivamente com a porcentagem da força máxima aplicada a cada modelo.

20% 40% 60% 80% 100%

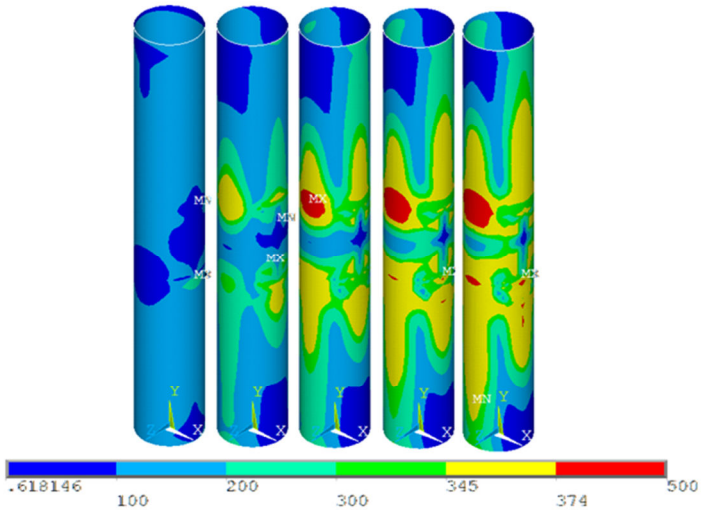


Figura 9: Distribuição das tensões de von Mises para a coluna 219,1 x 9,5 CC (com compressão axial da coluna). Tensões em MPa.

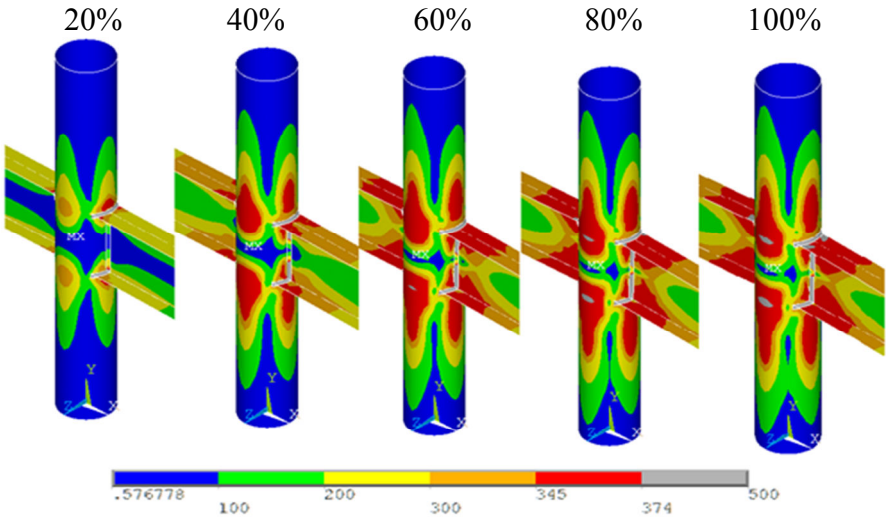


Figura 10: Distribuição das tensões de von Mises para a coluna 219,1 x 9,5 SC (sem compressão axial da coluna). Tensões em MPa.

Pela Fig. 9, pode-se observar que o modo de falha da ligação foi a plastificação da face da coluna, já para a ligação sem compressão axial da coluna, Fig. 10, houve a plastificação da viga como modo de falha, tal como é mostrado no gráfico Momento x Rotação da Fig. 7.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em colunas tubulares circulares, à medida que se aumenta a esbeltez da sua seção transversal (relação entre o diâmetro da coluna e a espessura da sua parede) os efeitos locais na face do tubo se manifestam de forma mais significativa, devido à menor resistência da parede da coluna transmissão do momento fletor oriundo da viga conectada.

Ao se aumentar a altura da seção transversal da viga, é perceptível o aumento da rigidez da ligação e consequentemente a diminuição da sua capacidade de rotação.

A rigidez da ligação está associada à esbeltez da seção transversal do tubo circular da coluna, e a capacidade de rotação da viga conectada. Quanto menor a esbeltez do tubo, considerando uma mesma viga, a ligação tende para uma ligação rígida e no caso contrário, semi-rígida.

Observou-se que a aplicação da compressão axial da coluna acarreta uma diminuição da resistência da ligação e que a relação entre os momentos resistentes das ligações com compressão axial da coluna (CC) e das ligações sem compressão axial da coluna é de 90%.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem aos órgãos de fomento FAPEMIG, CNPq, CAPES e a empresa V&M DO BRASIL.

REFERENCIAS

Ansys, Inc. theory reference (version 11.0), 2007.

Araújo, A. H. M., Requena, J. A. V., Minchillo, D. G. V., Thomaz, S. A. M., 2001. Projeto, fabricação e montagem de estruturas com perfis tubulares. I CICOM, IV. Seminário Internacional do Uso de Estruturas Metálicas na Construção Civil. São Paulo, Brasil.

Aryioshi, M and Makino, Y., 2000: Load-deformation for gusset-plate to CHS tube joints under compression loads. Int. Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 10, Nº 4, pp 292-300.

Eurocode 3 (2003). Design of steel structures – Part 1-1: General Rules. European Committee for Standardization, Brussels.

Eurocode 3 (2003). Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints. European Committee for Standardization, Brussels.

Eurocode 3 (2005). Design of steel structures – Part 1-1: General Rules. European Committee for Standardization, Brussels.

Eurocode 3, ENV 1993-1-8, 2005: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints. CEN, European Committee for Standardization, Brussels.

Kamba, T and Taclendo, C., 1998: CHS column connections without stiffner. Proc. 8th Int. Symposium on Tubular Structures, Singapore, pp. 567-576.

Kurobane, Y., 1981: New developments and practices in tubular joint design (+ addendum) International Institute of Welding Commission XV, IIW Doc. XV-488-81.

Kurobane, Y., Packer, J.A., Wardenier, J., & Yeomans, N., 2004: Design guide for structural hollow section column connections. CIDECT Series "Construction with hollow steel sections" No. 9, TÜV-Verlag, Köln, Germany, ISBN 3-8249-0802-6.

Makino, Y., 1984: Experimental study on ultimate capacity and deformation for tubular joints. Ph.D. Thesis, Osaka University, Osaka, Japan. (in Japanese).

M.M.K. Lee, "Strength, stress and fracture analyses of offshore tubular joints using finite elements", Journal of Constructional Steel Research, vol. 51, pp 265-286, 1999.

Mendanha, F. O., 2006. Análise de ligações de perfis tubulares em aço do tipo K e KT. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Brasil.

Mayor, I. M. S. 2010. Análise Teórica-Experimental de Ligações Tipo “K” e “KT” Compostas por Perfis Tubulares de Seção Retangular e Circular. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

Reis, S.L.F.; de Paula, G.D.; Araújo, A.H.M.; Freitas, A.M.S.: Theoretical Analysis of Tubular and "I" Connections. In: XXXIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniaría Estrutural, San Juan, Argentina,2010.

Reis, S.L.F.(2011). Análise Teórico-Experimental de Ligações Metálicas Soldadas entre coluna em Perfil Tubular Circular e Viga em Perfil de Seção Transversal “I”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto.

Reis, S.L.F.; Freitas, A.M.S.: de Paula, G.D.; Lima, L. R. O.: Avaliação Numérica de Ligações Tubulares Soldadas entre Perfis Circulares e Vigas I. In: Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia 2011, Coimbra, Portugal. Anais APMTAC, Portugal, 2011.

Technical Information No. 1: Structural hollow sections (MSH) circular, square, rectangular. Valourec&Mannesmann(http://www.vmtubes.de/content/vmtubes/vmtubes000522/S_MSH 1_p.pdf), 2002.

Wardenier, J., 1982: Hollow section connectios. Delft University Press, Delft Netherlands.

Wardenier, J., Packer, J.A, Zhao, X.-L and Vegte, G. J. van der, 2010: Hollow Sections in Structural Applications. 2nd Edition, CIDECT, Geneva, Switzerland. ISBN 978-90-73830-86-9.

Winkel, G. D. de, 1998: The static strength of I-beam to circular hollow section column connections. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.