



Tema: Estruturas Metálicas e Mistas

## **DIAFRAGMAS EXTERNOS NAS LIGAÇÕES ENTRE VIGA DE SEÇÃO I E PILAR TUBULAR DE SEÇÃO CIRCULAR**

Felipe Botelho Coutinho<sup>1</sup>  
Macksuel Soares Azevedo<sup>2</sup>  
Walnório Graça Ferreira<sup>2</sup>

### **Resumo**

O estudo sobre a utilização de diafragma externo na ligação entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular em aço teve início na década de 1970, no Japão, onde foram feitas análises teóricas e experimentais da sua aplicação. No Brasil, as pesquisas são recentes e iniciaram em 2005 com Carvalho [3], que realizou as primeiras análises numéricas com e sem o uso de diafragma externo na ligação. A recém lançada norma brasileira ABNT NBR 16239:2013 [2] de perfis tubulares não trata especificamente deste assunto, sendo necessário pesquisas para embasamento teórico. O objetivo deste artigo é verificar as equações existentes para aplicação do diafragma externo de diferentes dimensões na ligação entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular, comparando com pesquisa numérica realizada por Rink et al. [11].

**Palavras-chave:** Diafragma externo; Ligação viga-pilar; Estrutura tubular; Estruturas de aço.

### **EXTERNAL DIAPHRAGMS CONNECTIONS BETWEEN THE I BEAM AND CIRCULAR HOLLOW SECTION COLUMN IN STEEL**

#### **Abstract**

The researches about the use of external diaphragm connection between I beam and circular hollow section column have began in the 1970s in Japan, where theoretical and experimental analysis of its application were made. In Brazil, the researchers are recent and started in 2005 with Carvalho [3], who performed the first numerical analyzes with and without the use of external diaphragm on the connection. The recently launched Brazilian standard hollow sections, ABNT NBR 16239:2013 [2], does not address of this subject specifically, being necessary the use of researches to theoretical basis. The purpose of this article is to verify the existing equations regarding the application of the external diaphragm connection between the different dimensions of the tubular section I beam and column of circular cross section, comparing numerical study by Rink et al. [11].

**Keywords:** External diaphragm; Beam-column connection; Tubular structure; Steel structures

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, Aluno de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - UFES - ES, Universidade Federal do Espírito Santo - Centro Tecnológico - Campus de Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil - UFES - ES, Universidade Federal do Espírito Santo - Centro Tecnológico - Campus de Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil.

## 1. INTRODUÇÃO

A associação entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular fornece uma boa solução estrutural para as edificações. Com respeito a tal concepção, quando os seus elementos são analisados separadamente, é de certo modo simples calcular as suas resistências. No entanto, para a ligação, é necessário um estudo específico do seu correto dimensionamento, tendo em vista as diferentes configurações possíveis.

Neste aspecto, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas com o propósito de compreender o comportamento real destas ligações. Em especial neste artigo, falaremos das que utilizam diafragma externo, segundo Kurobane et al. [8], melhor forma para o enrijecimento e combate às falhas locais nas ligações entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular.

Estudos com diafragmas externos foram feitos no Japão nas décadas de 1970 e 1980, sendo posteriormente absorvidos pela norma japonesa “Recomendações para Projeto e Fabricação de Estrutura Tubular em Aço” (1990) do Instituto de Arquitetura do Japão (AIJ) e pelo CIDECT (*Comité International Pour Le Développement Et L'étude De La Construction Tubulaire*) em seu manual *Design Guide 9: Design guide for structural hollow section column connections*, escrito por Kurobane et al. [8]. A Figura 1 mostra exemplo de diafragma externo e suas principais características geométricas.

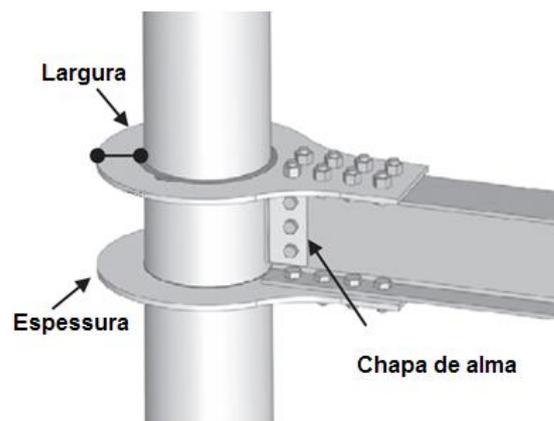


Figura 1 - Exemplo de ligação viga-pilar com o uso do diafragma externo (Sabbagh et al. [12]).

Nota: Figura adaptada pelo autor.

### 1.1. Objetivo

O objetivo deste artigo é o estudo analítico das equações existentes na ligação entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular utilizando diafragma externo. A pesquisa é viabilizada através de modelagem numérica via método de elementos finitos realizada por Rink et al. [11]. Esta análise tem como base as equações do AIJ, conforme Kamba e Kanatani [7] e Rink et al. [11], e do CIDECT, segundo Kurobane et al. [8], uma vez que as normas brasileira, europeia e americana não contemplam o uso dos diafragmas externos nas ligações entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular.



## 1.2. Revisão bibliográfica

Atualmente, apenas a norma do AIJ contempla o uso de diafragmas externos na ligação entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular. As demais normas, em especial a americana AISC 360-10(2010) [1], a europeia EN 1993-1-8 [5] e a brasileira NBR 16239:2013 [2] não fazem referência a sua utilização e dimensionamento. O manual do CIDECT para ligações tubulares, escrito por Kurobane et al. [8], *Design Guide 9 - For Structural Hollow Section Column Connections*, apresenta equações para este tipo de ligação em versões aprimoradas daquelas utilizadas pela norma japonesa, segundo relato dos próprios autores. A seguir serão apresentados alguns estudos importantes sobre a aplicação de diafragma externo nas ligações para estruturas em aço.

Wakabayashi et al. [14] realizaram ensaios experimentais para ligações entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular submetidos aos esforços verticais e horizontais. Diversos parâmetros foram investigados, como a espessura da parede do pilar, o tamanho do diafragma externo e a espessura da mesa da viga que foi a mesma do diafragma externo. Os experimentos revelaram que as ligações com diafragmas externos tiveram um comportamento mais resistente em relação àquelas em que eles não foram adotados.

Rink et al. [11] analisaram numericamente e compararam com a norma japonesa a aplicação de diafragmas externos nas estruturas de plataforma *offshore*. O modelo numérico foi validado de acordo com o experimento de Wakabayashi et al. [14] e os resultados foram analisados para 19 configurações de diferentes propriedades geométricas e carregamentos. O principal mecanismo de falha foi a flambagem local do diafragma, sendo que os resultados obtidos foram próximos aos considerados pela norma japonesa. Além disso, verificou-se que a resistência da ligação decresce consideravelmente com a aplicação de carregamento axial ao tubo ou quando há esforços oriundos de momentos assimétricos, cujas situações não são contempladas pela norma japonesa ou pelo CIDECT.

Kamba e Kanatani [7] analisaram as equações da norma do Instituto de Arquitetura do Japão “Recomendações para projeto e fabricação de estruturas tubulares em aço” (1990) e sua aplicação em Rink et al. [11]. Também traduziram para língua inglesa as equações e procedimentos para cálculo de diafragmas externos da seção 4.4.5 “Ligação tubular viga-pilar” da mesma norma e relataram que o mecanismo de falha encontrado por Rink et. al [11] não é o mesmo contemplado pela norma, a qual compreende a falha local da ligação causada pela força normal da mesa da viga.

Kurobane et al. [8], que elaboraram o manual do CIDECT para ligações em estruturas tubulares - *Design Guide 9 - For Structural Hollow Section Column Connections*, propuseram equações para o cálculo da força resistente diferentes das apresentadas pela norma japonesa. Segundo os próprios autores, estas equações são melhores do que aquelas adotadas pelo AIJ, pois apresentaram uma melhor validação e confiabilidade com base numa série de resultados numéricos.

Carvalho [3] foi um dos pioneiros nas pesquisas com diafragmas externos no Brasil. Por meio de análise numérica da ligação viga-pilar com chapa simples, e sua validação experimental, avaliou a resistência de pilar de seção tubular circular e viga de seção I com e sem diafragma



externo. Os resultados encontrados demonstraram a importância da adoção do diafragma nas ligações.

Sui e Yamanari [13] deduziram equações de força e rigidez utilizando regressão linear dos resultados obtidos por meio de modelos numéricos com diferentes geometrias para ligação entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular com diafragma externo. Trinta e dois modelos foram utilizados na pesquisa, na qual também foram analisadas forças de compressão axial e lateral no pilar.

Freitas [6], com base nos estudos realizados por Carvalho [3], também analisou numericamente ligações entre vigas de seção I e pilar tubular de seção circular. Foram analisados diversos modelos geométricos para diferentes aplicações de força. Através de trinta diferentes configurações, classificou as ligações conforme a rigidez e a resistência, de acordo com a norma Europeia EN 1993-1-8 [5]. Concluiu que a presença de diafragmas externos foi positiva na absorção das forças provenientes do binário oriundo da mesa da viga, reduzindo as forças de plastificação na face do pilar. A utilização de enrijecedores na placa inferior do diafragma também foi estudada. No entanto, este elemento provocou concentração de forças na face do pilar e na mesa da viga, diminuindo a resistência da ligação.

Masioli [9] continuou as pesquisas realizadas por Carvalho [3] e Freitas [6], onde também foram feitas análises numéricas e experimentais de ligações entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular. No programa experimental foi avaliada a presença ou não do diafragma externo. Quatro modelos foram utilizados na análise experimental a fim de calibrar os dados numéricos. Os modelos de ligações foram compostos por chapa simples; viga soldada diretamente no pilar; com diafragma externo; com diafragma externo e enrijecedor. Como resultado da pesquisa, concluiu-se que a utilização do diafragma externo aumentou consideravelmente a resistência das ligações. O uso do enrijecedor, seguindo os resultados encontrados por Freitas [6], contribuiu de forma negativa na resistência da ligação.

Sabbagh et al. [12] pesquisaram a influência da utilização de diafragmas externos e enrijecedores verticais para ligação entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular para estrutura submetida a sismo. No seu artigo foi destacado os principais modos de falha do uso do diafragma externo, que são a distorção do pilar na altura da região da alma da viga e a concentração de tensões de cisalhamento no diafragma. Foram realizadas análises numéricas e foi constatado ganho considerável da resistência para este tipo de ligação.

Pereira [10], com base nos estudos realizados por Masioli [9], analisou numericamente o comportamento estrutural de ligações entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular para situações de canto e quando solicitado por quatro vigas simultaneamente. Ele verificou a utilização ou não de diafragmas externos, com e sem enrijecedores verticais e analisou a influência das diferentes geometrias do diafragma externo bem como a sua influência na resistência da ligação. Concluiu-se que, mesmo com a presença do diafragma externo na ligação, não foi possível classificá-la como rígida.

Dessouki et al. [4] analisaram numericamente a ligação com diafragma externo entre viga de seção I e pilar tubular, de seção circular e quadrada, preenchidos ou não com concreto. Quatro formatos de geometria para o diafragma foram adotados. Concluiu-se que houve acréscimo de resistência na ligação com a utilização do diafragma sendo diretamente proporcional à sua largura. Além disso, relatou-se a vantagem deste tipo de ligação quando a seção do pilar é circular em relação à quadrada, já que não há aresta viva para concentração de tensões e consequentemente surgimento de flambagem local do diafragma no pilar.

## 2. ESTUDO ANALITICO

O estudo analítico é baseado no AIJ, conforme artigos de Rink et al. [11] e Kamba e Kanatani [7], e nas recomendações do manual do CIDECT para ligações, por Kurobane et al. [8]. Uma recomendação inicial geométrica em ambos os institutos de pesquisas é a prevenção de cantos reentrantes na região da ligação, a fim de evitar a ocorrência de fissuras a partir de pontos de concentração de tensões do diafragma ou de juntas soldadas entre o diafragma e a mesa da viga, considerando um raio mínimo de aresta de 10 mm. A Figura 2 mostra alguns exemplos de diafragmas externos.

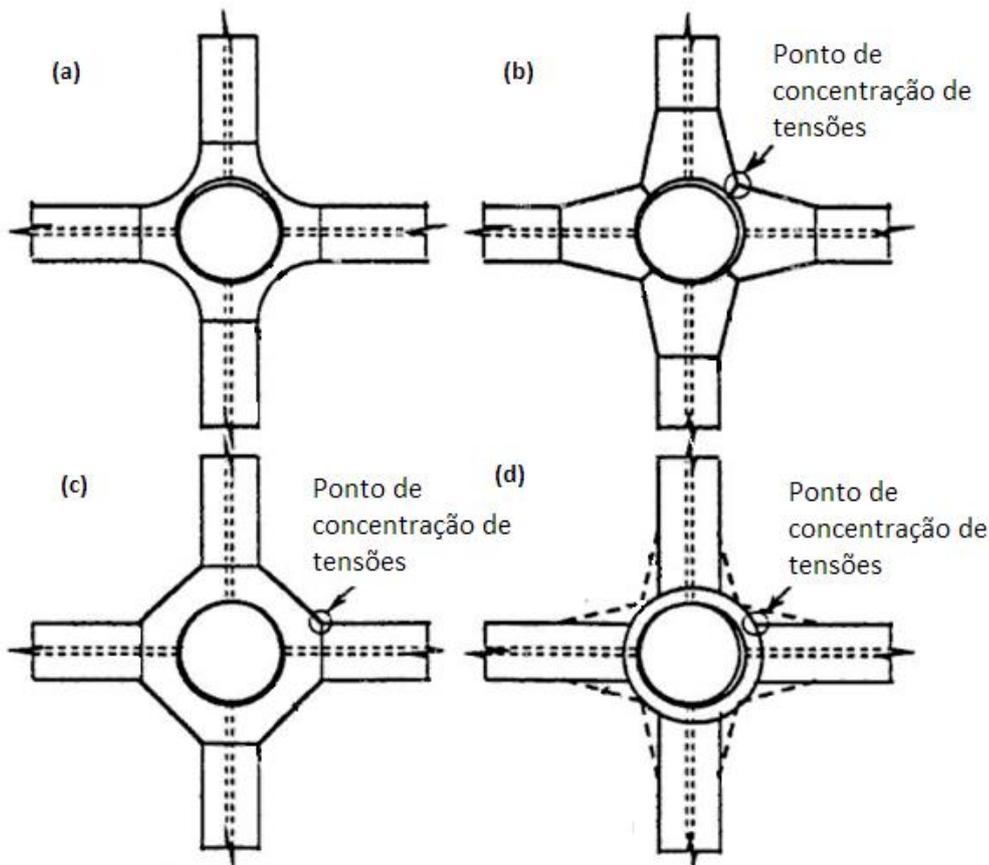


Figura 2 – Exemplos de diafragmas externos sem e com pontos de concentração de tensões (a), (b), (c) e (d) (Kamba e Kanatani [7]).

## 2.1. Norma japonesa de acordo com Kamba e Kanatani [7]

A Equação (1) estabelece a resistência local da ligação ao nível da mesa da viga, de acordo com as dimensões mostradas na Figura 3.

$$P_{AIJ} = \left( 6,56 \frac{B'_f}{D} + 2,86 \right) t \sqrt{ts(t + hs)} \cdot f_{y,2} \quad (1)$$

Onde:

- $P_{AIJ}$  - Resistência axial da ligação na altura da mesa da viga, segundo o AIJ;
- $B_f$  - Largura da mesa da viga;
- $B'_f$  - Largura cônica do encontro da mesa da viga com o diafragma externo;
- $D$  - Diâmetro externo do pilar;
- $T$  - Espessura da parede do pilar;
- $t_s$  - Espessura do diafragma;
- $h_s$  - Largura mínima do diafragma externo;
- $f_{y,2}$  - Tensão de escoamento do aço do pilar.

Sendo os valores de  $B'_f$  conforme Equações (2) e (3):

$$\text{Para: } \sqrt{2} \left( \frac{D}{2} + hs \right) \geq D, \quad B'_f = D, \text{ conforme modelo (a) da Figura (3)} \quad (2)$$

$$\text{Para: } \sqrt{2} \left( \frac{D}{2} + hs \right) < D, \quad B'_f \text{ deverá ser determinado geometricamente, conforme modelo (b) da Figura 3.} \quad (3)$$

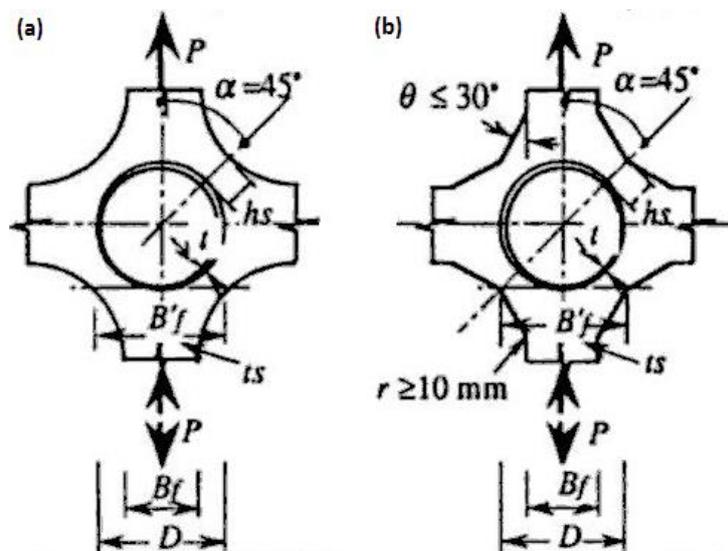


Figura 3 – Propriedades geométricas do diafragma externo conforme o AIJ (Kamba e Kanatani [7])

Os intervalos de validade para a Equação (1) estão descritos nas Equações (4) a (6).

$$15 \leq \frac{D}{t} \leq 55 \quad (4)$$

$$\frac{B'_f}{2t_s} \leq \frac{237}{\sqrt{f_{y,1}}} \quad (5)$$

$$\theta \leq 30^\circ \quad (6)$$

Onde:

$f_{y,1}$  - Tensão de escoamento do aço do diafragma externo;

O momento resistente da ligação,  $M_{RD,AIJ}$ , é conforme a Equação (7):

$$M_{RD,AIJ} = P_{AIJ}(H - t_f) \quad (7)$$

Onde:

H - Altura da viga

$t_f$  - Espessura da mesa da viga;

## 2.2. Manual do CIDECT segundo Kurobane et al. [8]

A Equação (8) determina a resistência local da ligação ao nível da mesa da viga, conforme as dimensões apresentadas na Figura 4.

$$P_{CID} = 19,6 \left(\frac{D}{t}\right)^{-1,54} \left(\frac{h_s}{D}\right)^{0,14} \left(\frac{t_s}{t}\right)^{0,34} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot f_{y,2} \quad (8)$$

Onde:

$P_{CID}$  - Resistência axial da ligação na altura da mesa da viga, segundo o CIDECT;

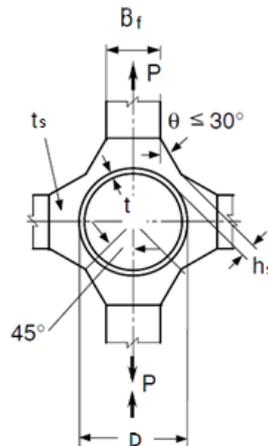


Figura 4 - Propriedades geométricas do diafragma externo conforme o CIDECT (Kurobane et al. [8])



Os intervalos de validade para a Equação (8) estão descritos nas Equações (9) a (12).

$$14 \leq \frac{D}{t} \leq 36 \quad (9)$$

$$0,05 \leq \frac{h_s}{D} \leq 0,14 \quad (10)$$

$$0,75 \leq \frac{t_s}{t} \leq 2,0 \quad (11)$$

$$\theta \leq 30^\circ \quad (12)$$

O momento resistente da ligação,  $M_{RD,CID}$ , é conforme a Equação (13):

$$M_{RD,CID} = P_{CID}(H - t_f) \quad (13)$$

### 3. EXEMPLO DE CÁLCULO

O modelo adotado será o mesmo utilizado por Rink et al. [11], conforme Figura 5, e corresponde a uma ligação viga-pilar de estrutura *offshore* com a utilização de diafragma externo. Serão analisados apenas os nove primeiros modelos da sua pesquisa, denominados HB1 à HB9, devido à investigação direta da relação entre a largura do diafragma pela largura da mesa da viga, um dos objetivos deste artigo. Os valores adotados para  $B'_f$  serão os corrigidos por Kamba e Kanatani [7], obtidos por meio da geometria do modelo. Serão utilizados os mesmos valores de Rink et al. [11] para o momento de plastificação da viga ( $M_{pv}$ ), obtido de forma analítica, e o momento último resistente ( $M_u$ ) da ligação, obtido por método numérico.

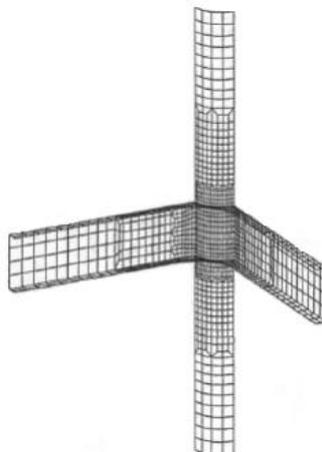


Figura 5 – Modelo de ligação viga-pilar com diafragma externo utilizado por Rink et al. [11]

A Tabela 1 mostra uma planilha de cálculo que utilizou diafragma externo com espessura de 30mm, pilar com 1000mm de diâmetro e 30mm de espessura de parede. Para as vigas foram adotadas altura, espessura da alma e da mesa da viga respectivamente 1000mm, 12mm e 30mm.

Tabela 1: Cálculo comparativo de resistência da ligação com diafragma externo

Propriedades geométricas			Cálculo do momento resistente e comparativos entre os resultados																								
Nº	Modelo	Viga	Diaf.	hs	hs/ (bf/2)	AU				CIDECT				Valores Obtidos				Relações Adotadas									
						VA1	B'f Geom	B'f	VA2	VA3	PAU	VC1	VC2	VC3	Pcd	MAU	Mcd	Mu	Mpv	Mu/Mpv	Mu/MAU	Mu/Mcib					
1	HB1	300	70	0,47	806,10	NOK	639,00	639,00	10,65	OK	33,33	OK	3,823,83	33,33	OK	0,07	OK	1,00	OK	5,032,58	3,709,11	4,881,60	4,589,00	4,040,00	1,14	1,24	0,94
2	HB2	300	120	0,80	876,81	NOK	764,00	764,00	12,73	NOK	33,33	OK	5,227,78	33,33	OK	0,12	OK	1,00	OK	5,427,03	5,070,95	5,264,22	5,348,00	4,040,00	1,32	1,05	1,02
3	HB3	300	200	1,33	989,95	NOK	980,00	980,00	16,33	NOK	33,33	OK	7,638,70	33,33	OK	0,20	NOK	1,00	OK	5,829,36	7,409,54	5,654,48	6,363,00	4,040,00	1,58	0,86	1,13
4	HB4	400	70	0,35	806,10	NOK	645,00	645,00	10,75	OK	33,33	OK	3,845,17	33,33	OK	0,07	OK	1,00	OK	5,032,58	3,729,81	4,881,60	4,741,00	5,073,00	0,93	1,27	0,97
5	HB5	400	120	0,60	876,81	NOK	766,00	766,00	12,77	NOK	33,33	OK	5,236,50	33,33	OK	0,12	OK	1,00	OK	5,427,03	5,079,40	5,264,22	5,504,00	5,073,00	1,08	1,08	1,05
6	HB6	400	200	1,00	989,95	NOK	980,00	980,00	16,33	NOK	33,33	OK	7,638,70	33,33	OK	0,20	NOK	1,00	OK	5,829,36	7,409,54	5,654,48	6,466,00	5,073,00	1,27	0,87	1,14
7	HB7	500	70	0,28	806,10	NOK	653,00	653,00	10,88	OK	33,33	OK	3,873,63	33,33	OK	0,07	OK	1,00	OK	5,032,58	3,757,42	4,881,60	4,940,00	6,106,00	0,81	1,31	1,01
8	HB8	500	120	0,48	876,81	NOK	768,00	768,00	12,80	NOK	33,33	OK	5,245,21	33,33	OK	0,12	OK	1,00	OK	5,427,03	5,087,85	5,264,22	5,668,00	6,106,00	0,93	1,11	1,08
9	HB9	500	200	0,80	989,95	NOK	980,00	980,00	16,33	NOK	33,33	OK	7,638,70	33,33	OK	0,20	NOK	1,00	OK	5,829,36	7,409,54	5,654,48	6,697,00	6,106,00	1,10	0,90	1,18
Propriedades dos materiais			<p>VA1: Verificação 1 da normal japonesa                      Se <math>raiz(2) * ((D/2) + hs) \geq D</math>, OK; temos que B'f = D                      Se <math>raiz(2) * ((D/2) + hs) &lt; D</math>, NOK; então B'f deverá ser calculado geometricamente; B'f</p> <p>VA2: Verificação 2 da normal japonesa                      Se <math>Bf/2ts \leq 237/raiz(\sigma y1)</math> OK, senão NOK                      Sendo <math>237/raiz(\sigma y1) = 12,079</math></p> <p>VA3: Verificação 3 da normal japonesa                      Se <math>15 \leq D/t \leq 55</math> OK, senão NOK</p> <p>VC1: Verificação 1 do CIDECT                      Se <math>14 \leq D/t \leq 36</math> OK, senão NOK</p> <p>VC2: Verificação 2 do CIDECT                      Se <math>0,05 \leq hs/D \leq 0,14</math> OK, senão NOK</p> <p>VC3: Verificação 3 de CIDECT                      Se <math>0,75 \leq ts/t \leq 2,0</math> OK, senão NOK</p>																								

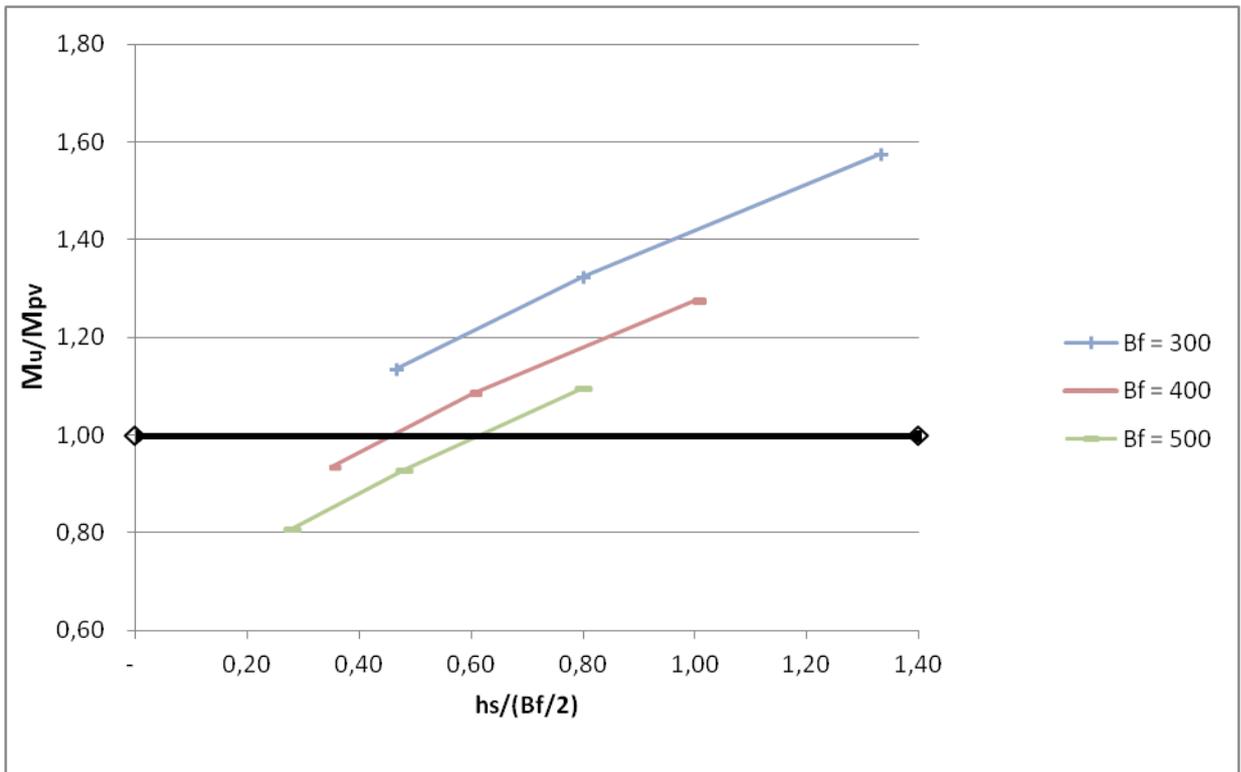


Figura 6 – Relação entre o momento resistente numérico e o momento de plastificação analítico da viga

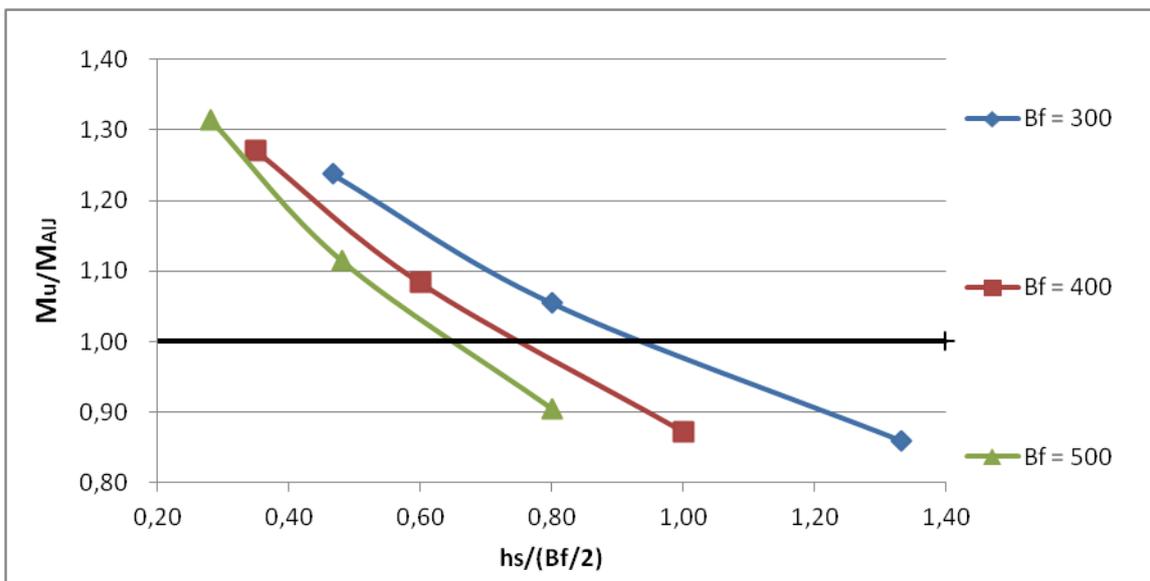


Figura 7 – Relação entre o momento resistente numérico e o momento resistente calculado segundo a norma japonesa

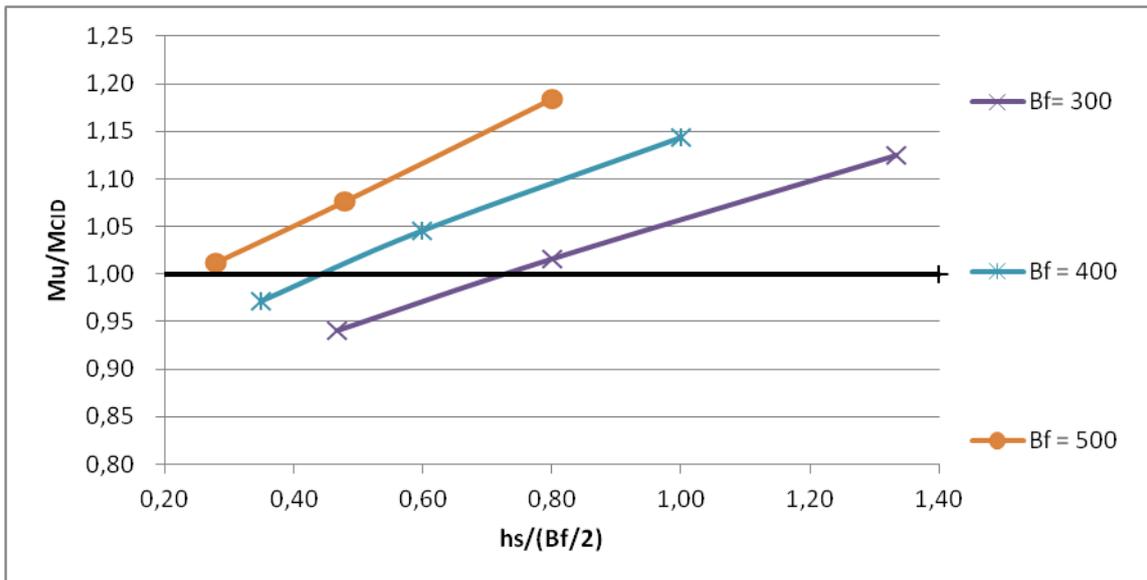


Figura 8 – Relação entre o momento resistente numérico e o momento resistente calculado segundo o CIDECT

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 1 mostra que algumas propriedades geométricas da viga ou do pilar utilizadas nas ligações estão fora dos limites estabelecidos pelos métodos de cálculo do AIJ e do CIDECT. Provavelmente devido à utilização de elementos estruturais *offshore*, não comum a construção civil e não contemplados na elaboração destas equações. No entanto, para Kamba e Kanatani [7], os intervalos de validade apresentados pelo AIJ não são de restrição, mas seu desvio deverá ser analisado. A mesma consideração será aplicada aos limites estabelecidos pelo CIDECT. Sendo assim, pode-se perceber na Tabela 1 que, para a norma japonesa, alguns valores em VA2 ficaram próximos ao limite estabelecido, podendo dar continuidade à análise conforme Kamba e Kanatani [7]. Quanto ao CIDECT, na mesma tabela, pôde-se verificar que apenas alguns valores de VC2 ficaram fora dos limites.

A Figura 6 mostra o ganho de resistência da ligação conforme aumento da relação entre a largura do diafragma e a largura da mesa da viga. Quanto maior for a relação entre  $h_s$  e a metade da mesa da viga, maior será a resistência ao momento fletor. Quando analisado percentualmente, é possível verificar um ganho de resistência próximo a 35%. Isso considerando apenas o ganho percentual da situação com diafragma externo, variando apenas a sua largura.

Para aplicação das equações de resistência na parede do pilar utilizando diafragma externo, primeiramente é necessário verificar a consistência das equações existentes. Para isso, as Figuras 7 e 8 apresentam a relação entre os resultados obtidos de forma numérica e analítica.

A primeira análise será feita segundo o AIJ. No gráfico da Figura 7, para valores da relação entre  $h_s$  e  $B_f/2$  pequenos, há uma distância considerável da resistência para os resultados numéricos, aceitáveis por serem a favor da segurança. Já o contrário ocorre para essa relação próxima a 1,0, em que os resultados, apesar de serem convergentes, são maiores que os



numéricos, sendo contrários à segurança. Desfavorecendo o seu uso, pois ao aumentar a largura do diafragma com o objetivo de aumentar a resistência, os valores encontrados superestimam a resistência real da ligação.

Na Figura 8, que utiliza a equação fornecida pelo CIDECT, é possível notar que acontece o oposto aos resultados da norma japonesa, pois a resistência ao momento é maior conforme a largura do diafragma externo e conseqüentemente terá um maior coeficiente de segurança no cálculo da resistência da ligação, favorecendo o seu uso.

## 5. CONCLUSÃO

É possível concluir que ao utilizar o diafragma externo na ligação entre viga de seção I e pilar tubular de seção circular ocorre um aumento considerável da resistência ao momento. Além disso, os valores apresentados pelas equações existentes são próximos aos obtidos do modelo numérico, validando assim a sua aplicação. Sendo recomendada a adoção das equações apresentadas pelo CIDECT, que demonstraram maior confiabilidade em seus resultados.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio recebido pelo PPGE/UFES – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo.

## REFERÊNCIAS

- 1 American National Standards Institute, American Institute Of Steel Construction, Specification for structural steel buildings. ANSI/AISC 360-10. Chicago.(2010)
- 2 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)
- 3 Carvalho, P. H.. Avaliação numérica do comportamento estrutural de ligação entre pilar de seção tubular circular e viga de seção "I". Dissertação (Mestrado) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto (2005).
- 4 Dessouki A. K.; Yousef A. H.; Fawzy M. M.. Stiffener Configurations in Moment Connections Between Steel I-Beams and Concrete-Filled Steel Tube Columns. World Applied Sciences Journal 30 (2),p. 120-132. (2014).
- 5 European Committee For Standardization. Design of steel structures: Part 1-8 - Design of Joints. Eurocode 3 Part 1-8, EN 1993-1-8:2005, Brussels.(2005)
- 6 Freitas, P. C. B.. Análise numérica de ligações metálicas viga-coluna com coluna tubular circular. 188 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.(2009).



7 Kamba, T.; Kanatani, H.. Design formulae for CHS column-to-beam connections with exterior diaphragms. Proceedings of the V International Symposium on Tubular Structures, Nottingham, p. 249-256.(1993).

8 Kurobane, Y. et al.. CIDECT design guide 9: Design guide for structural hollow section column connections. Köln: CIDECT and Verlag TÜV Rheinland. 213 p. (2004)

9 Masioli, C. Z.. Análise teórica e experimental de ligações em aço entre pilar tubular de seção circular e viga de seção I. 137 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (2011).

10 Pereira, D. H. F.. Análise do comportamento estrutural de ligações em aço entre viga de seção I e pilar de seção tubular circular. 200 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.(2013).

11 Rink H.D., Winkel G.D., Wardenier J., Puthli R.S, Tubular Structures, 4º International Symposium, p. 461-470, Delft (1991).

12 Sabbagh, A.B., CHAN, T.M., MOTTRAM J.T.. Detailing of I-beam-to-CHS column joints with external diaphragm plates for seismic actions, Journal of Constructional Steel Research, p. 31-33(2013).

13 Sui W., Yamanari M., Evaluation of the characteristics of external diaphragm connections with steel CHS columns and wide-flange steel beams, Pacific Structural Steel Conference, Wairakei (2007).

14 Wakabayashi M., Sasaki R., Kishima Y.. An Experimental Study on Centrifugally-Cast Steel Pipe to H-Beam Connections Annuals(Abstract), Disaster Prevention Research Institute. Kyoto University, No. 14, April, 1971, pp. 343-369 (in Japanese ).