

Detalhes de ligação entre pilares mistos preenchidos e vigas de aço

SILVANA DE NARDIN¹
ALEX SANDER C. DE SOUZA²
ANA LÚCIA H. C. EL DEBS³

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos pilares preenchidos é justificada por diversas vantagens que envolvem aspectos estruturais, construtivos e econômicos. Os detalhes de ligação entre estes e os demais elementos estruturais, entretanto, são uma preocupação em relação a sua utilização. Aspectos como comportamento estrutural e representatividade do custo da ligação em relação ao custo da estrutura como um todo devem ser considerados na elaboração de dispositivos de ligação viga-pilar preenchido. Em síntese, para que um detalhe de ligação seja considerado eficiente, ele deve reunir: capacidade resistente, capacidade de rotação e rigidez adequadas, facilidade de execução e montagem, e custo reduzido.

Estudos de detalhes de ligação entre pilares preenchidos e vigas metálicas são basicamente experimentais e ainda não culminaram em métodos e recomendações normativas para seu dimensionamento. Os detalhes de ligação encontrados na literatura decorrem de estudos em países onde as ações sísmicas, ao contrário do Brasil, são importantes. Entretanto, esses detalhes podem inspirar o desenvolvimento de ligações viga-pilar preenchido aplicáveis à realidade brasileira. Dentro deste contexto, são apresentados e discutidos detalhes de

Resumo

O dimensionamento de elementos mistos aço-concreto já está consolidado e vem sendo bastante utilizado. Com relação às ligações, no entanto, não há detalhes de ligação pré-qualificados desenvolvidos especificamente para unir vigas de aço a pilares mistos preenchidos. Sendo assim, neste trabalho encontram-se reunidas algumas das estratégias utilizadas para conectar pilares mistos preenchidos à vigas de aço de seção simétrica. Nos detalhes de ligação apresentados são utilizados dispositivos comuns em ligações entre elementos de aço, tais como: chapas de extremidade, cantoneiras, parafusos, soldas, enrijecedores, barras de armadura e diversos outros elementos que podem ser ancorados no núcleo de concreto do pilar preenchido. Naturalmente, cada detalhe é fruto da associação de vários dispositivos e o comportamento da ligação resultante depende do grau de continuidade obtido, conforme é discutido neste artigo.

ligação viga-pilar preenchido encontrados na literatura técnica e alguns investigados experimentalmente pelos autores.

O comportamento das ligações pode ser classificado quanto a rigidez e resistência. Em função da rigidez, as ligações podem ser: 1) *rigidas*, quando restringem acima de 90% da capacidade de rotação da ligação, ou seja, a deformação no nó é pequena e não exerce influência na distribuição de momentos; 2) *flexíveis*: quando permitem, no mínimo, 80% da rotação teórica esperada e; 3) *semi-rígidas*: quando a rotação relativa entre elementos varia entre 20 e 90% da rotação correspondente à ligação flexível. Em relação à resistência, as ligações podem ser: a) *nominalmente rotuladas*, quando transferem apenas esforços normais e cortantes; b) *de resistência total*, quando tem resistência ao momento fletor maior

que a dos elementos conectados, levando as rótulas plásticas para os elementos, e; c) *de resistência parcial*, quando a resistência de cálculo é menor que a resistência do elemento conectado, levando à formação da rótula plástica para a ligação.

2. Detalhes de ligação viga-pilar preenchido

As ligações podem ser classificadas em três grupos: ligações externas, ligações internas e ligações mistas.

2.1 Ligações externas

As ligações *externas* são caracterizadas pela transferência direta de forças da viga para o pilar, podendo ser subdivididas em *ligações externas enrijecidas* e *não enrijecidas*. Ligações *não enrijecidas* resultam da combinação entre a soldagem direta das mesas da viga I à face do perfil de

¹ Pesquisadora Pós-doutorado do Departamento de Engenharia de Estruturas – EESC-USP e Profa. Dra. Centro Universitário de Lins – UNILINS e-mail: snardin@sc.usp.br

² Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. E-mail: alex@power.ufscar.br

³ Profa. Dra do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP.

aço tubular e da utilização de chapas de aço que conectam a alma da viga ao pilar. Como aspectos positivos destacam-se: simplicidade, facilidade de execução, baixo custo e facilidade de concretagem. Em contrapartida, é necessário reduzir a concentração de tensões nas paredes do perfil tubular, pois podem ocorrer distorções acentuadas, comprometimento da redistribuição de esforços e ruína da mesa da viga ou das paredes do perfil. Outra característica negativa é a possibilidade de separação entre núcleo de concreto e perfil tubular com conseqüente sobrecarga do perfil e redução do efeito de confinamento.

As ligações *externas* são semelhantes às ligações entre elementos de aço. Os detalhes mais comuns são cantoneiras de alma ou de assento, chapas de extremidade ou soldagem direta (De Nardin 2003, 2004) – Figura 1a. Chapas de gusset também podem ser utilizadas para compor a ligação viga-pilar (Figura 1a). O detalhe de ligação com chapa de gusset foi utilizado no edifício *First Street Plaza Building* que tem 27 pavimentos e está localizado em São Francisco – Califórnia (Roeder et al. 2000).

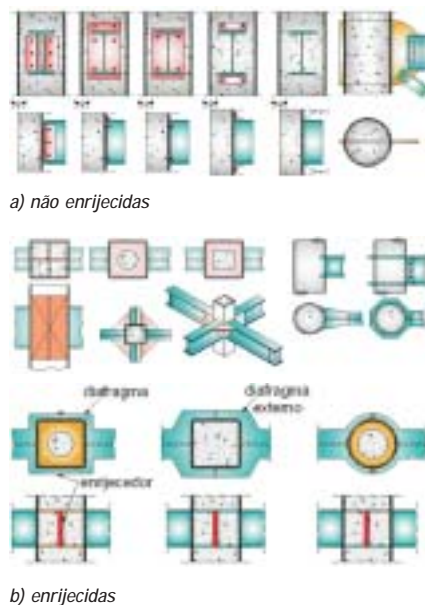


Figura 1. Ligações externas

Nas *ligações externas enrijecidas*, a região do perfil tubular sujeita a concentração de tensões é reforçada com chapas ou anéis que funcionam como enrijecedores, posicionados nas regiões correspondentes às mesas da viga I (Figura 1b), interna ou externamente ao perfil tubular. Detalhes semelhantes são utilizados para perfis tubulares de seção circular (Schneider & Alostaz 1996, 1998; Nishiyama et al. 2004). Naturalmente, adicionar novos elementos implica em aumentar os custos com consumo de aço e fabricação. As ligações externas não apresentam valores de resistência e rigidez suficientes para que sejam consideradas de resistência total ou rígida.

2.2 Ligações internas

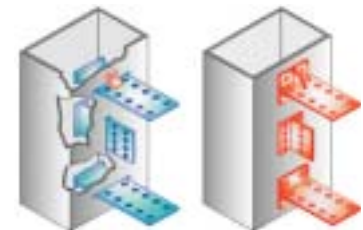
Nas *ligações internas* parte do esforço na viga é transferida diretamente para o núcleo de concreto do pilar; são caracterizadas por detalhes como a ancoragem completa da viga (Figura 2a) ou das mesas (Figura 2a). A utilização de parafusos passantes e chapas de extremidade, conectores de cisalhamento e/ou barras de armadura soldadas às mesas e ancoradas no núcleo de concreto do pilar também é possível. A “ancoragem” de toda a seção da viga no concreto facilita a industrialização da região de ligação, pois permite a fabricação do pilar com parte das vigas já conectada. A ancoragem de elementos ou de parafusos no núcleo de concreto torna a montagem mais simples (Figura 2b). No caso dos parafusos passantes, é necessário garantir a transferência das forças de cisalhamento da viga para o núcleo de concreto do pilar (Figura 2c). O comportamento *Momento vs. Rotação* de ligações com chapa de extremidade e parafusos passantes é mostrado na Figura 2f.

Conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça podem ser associados a chapas horizontais posicionadas na altura correspondente às mesas da viga. O acréscimo de

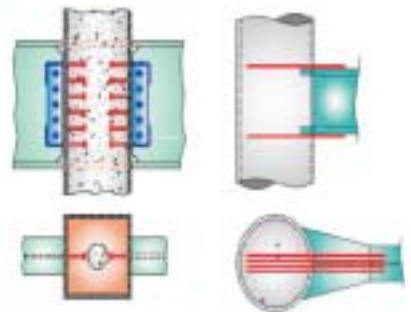
armaduras soldadas à mesa superior da viga e ancoradas no núcleo de concreto resulta em significativa melhora da transferência de esforços viga-pilar (Figura 2d).



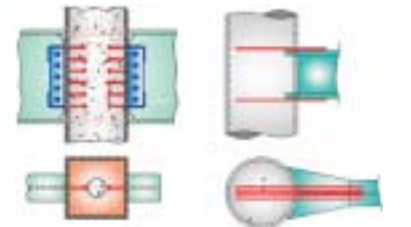
a) ancoragem da viga completa de seção I ou das mesas da viga



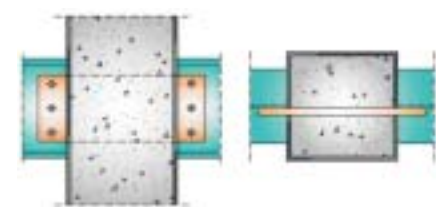
b) ancoragem de elementos ou de pequenos parafusos (Azizinamini & Prakash 1993)



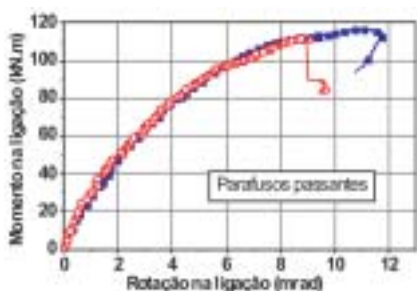
c) parafusos passantes e chapas de extremidade (Prion & Mclellan 1994, De Nardin 2003, 2004)



d) conectores de cisalhamento (RICLES et al. 2004) ou barras de armadura (Beutel et al. 2001, Schneider & Alostaz 1996, 1998)



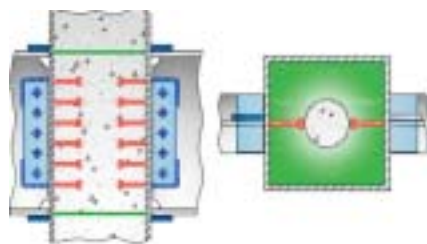
e) chapa passante (Malaska 2000)



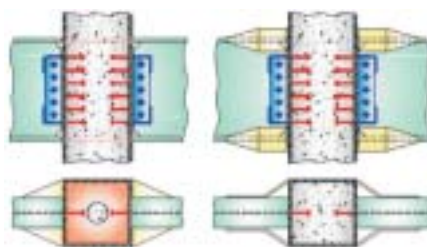
f) comportamento Momento vs. Rotação da ligação com chapa passante

Figura 2. Detalhes de ligação viga-pilar preenchido do tipo interna

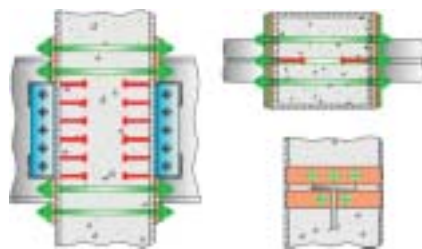
Em relação aos detalhes de ligação interna, é possível associar conectores de cisalhamento a parafusos passantes e chapas de extremidade ou a chapas horizontais, posicionadas interna ou externamente ao perfil de aço e que funcionam como enrijecedores – Figura 3. A simples adição de pequenas cantoneiras soldadas no interior do perfil tubular, na altura correspondente à mesa superior da viga já promove a transferência de parte do esforço para o núcleo de concreto (De Nardin 2003, 2004). Esses elementos de ancoragem interna só são possíveis quando o perfil tubular é composto a partir de seções abertas tipo U soldadas.



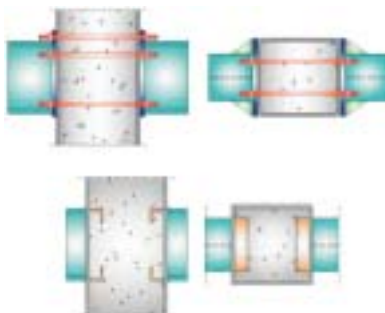
a) Enrijecedores internos, conectores e chapas de mesa (Prion & Mclellan 1994; Ricles et al, 2004)



b) Chapas externas de aço, sem ou com enrijecedor interno (Ricles et al., 2004)



c) Conectores e parafusos passantes (Ricles et al., 2004)



d) Parafusos e enrijecedores / Cantoneiras (De Nardin 2003, 2004)

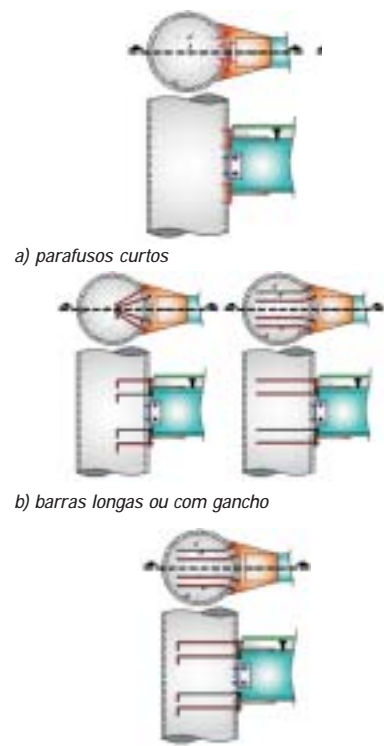
Figura 3. Detalhes de ligação internas associadas a enrijecedores, conectores e chapas

Comparadas às ligações externas, as ligações internas apresentam, na grande maioria dos casos, menor consumo de material e mão-de-obra durante a montagem. Em contrapartida, os dispositivos de ligação ancorados no concreto introduzem restrições à concretagem, podendo resultar na formação de vazios no núcleo do pilar preenchido. Além disso, a confecção dos detalhes de ligação torna-se mais complexa e trabalhosa, porém grande parte pode ser executada na fábrica. Por outro lado, ao permitir que parte do esforço seja transferido diretamente para o núcleo de concreto, a ligação torna-se mais resistente, como mostram alguns resultados experimentais (De Nardin 2003, 2004).

2.3 As ligações mistas aço-concreto

Uma ligação é denominada mista quando a laje de concreto participa da transmissão de momento fletor de uma viga mista para um pilar ou para outra viga mista no vão adjacente. Nas ligações mistas, os limites de capacidade resistente à flexão são definidos, respectivamente, pela

capacidade resistente à flexão da viga mista e da ligação mista. A capacidade resistente da região tracionada é limitada pela capacidade resistente da região comprimida. O comportamento das ligações mistas é influenciado pelos componentes e pela configuração da ligação. Entende-se por componentes: chapas, parafusos, enrijecedores, soldas, e outros; a influência dos componentes se dá pelo comportamento individual *força-deformação* e pelo braço de alavanca entre os diversos componentes. A configuração, por sua vez, influencia os principais parâmetros da ligação mista que são: rigidez inicial, resistência e capacidade rotacional. Em geral, cada componente tem comportamento não linear e limitações que podem ocasionar a falha da ligação como um todo. Ligações com chapa de extremidade ou com cantoneiras de alma e de mesa, para pilares de aço, são os detalhes de ligação mista mais estudados. Para pilares de seção circular, a idéia é ancorar a armadura ou parte dela no núcleo de concreto do pilar (Figura 4).



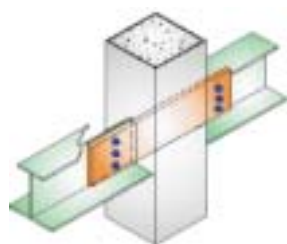
a) parafusos curtos

b) barras longas ou com gancho

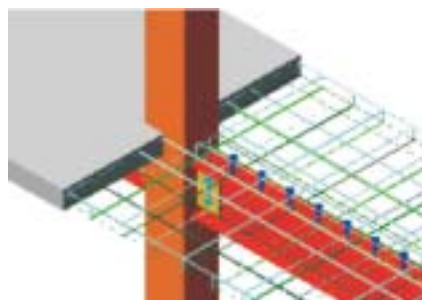
c) barras longas com gancho

Figura 4. Ligações mistas e pilares preenchidos circulares – Gardner et al. (2005)

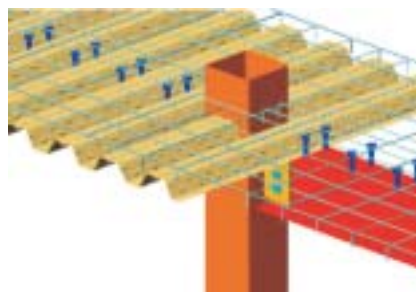
Para seções preenchidas quadradas, a proposta é utilizar chapa passante associada a laje (Figura 5). Resultados experimentais têm mostrado que a laje pode contribuir de forma significativa para a transferência de momento fletor na região de ligação viga-pilar. A incorporação da laje pode modificar o comportamento da ligação de flexível para semi-rígida.



a) chapa passante



b) com laje de CA incorporada



c) com laje mista incorporada

Figura 5. Ligação mista entre pilar preenchido quadrado e viga mista com laje convencional e laje mista aço-concreto

3. Conclusões

Foram apresentadas várias possibilidades de detalhes de ligação entre vigas de aço e pilares mistos preenchidos. Embora as normas brasileiras de dimensionamento e verificação ainda não apresentem procedimentos de cálculo para tais ligações, as recomendações existentes e discutidas aqui, podem ser utilizadas desde que adequadamente adaptadas para cada projeto. A consideração da laje na transmissão de momento fletor em ligações entre

viga e pilar de aço foi incorporada no texto base para revisão da NBR 8800 para algumas ligações pré-qualificadas. Resultados experimentais confirmam a contribuição da laje, quer seja em concreto armado ou com forma de aço incorporada, e evidenciam a necessidade de novos estudos a fim de desenvolver métodos de cálculo adequados para sua consideração.

Uma das dificuldades na utilização de elementos mistos aço-concreto ainda é a ligação entre estes e os demais elementos de aço ou de concreto armado. Este trabalho apresentou soluções utilizadas em outros países e desenvolvidas pelos autores a partir de trabalhos experimentais, adaptando e analisando detalhes de ligação voltados para a realidade brasileira.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo apoio financeiro para realização deste trabalho. ■

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZIZINAMINI, A.; PRAKASH, B. (1993). A tentative design guideline for a new steel beam connection detail to composite tube column. *Engineering Journal*, v.31, n.1, p.108-115.
- BEUTEL, J.; THAMBIRATNAM, D.; PERERA, N. (2001). "Monotonic behaviour of composite column to beam connections". *Engineering Structures*, v.23, n.9, p.1152-1161.
- DE NARDIN, S. (2003). Pilares mistos preenchidos: estudo da flexo-compressão e de ligações viga-pilar. São Carlos. 323p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DE NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. C. (2004). "An experimental study of connections between I-beams and concrete filled steel tubular columns". *Steel and Composite Structures*, v.04, n.04, p. 303-315.
- GARDNER, A. P.; GOLDSWORTHY, H. M. (2005). "Experimental investigation of the stiffness of critical components in a moment-resisting composite connection", *Journal of Constructional Steel Research*, v. 61, n.5, p.709-726.
- GREEN, T. P.; LEON, R. T.; RASSATI, G. A. (2004). Bidirectional tests on partially restrained, composite beam-to-column connections, *Journal of Structural Engineering*, v.130, n.2, p.320-327.
- MALASKA, M. (2000). Behaviour of a semi-continuous beam-column connection for composite slim floors. Helsinki. Doctoral Thesis – Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki University of Technology.
- NISHIYAMA, I.; FUJIMOTO, T.; FUKUMOTO, T.; YOSHIOKA, K. (2004). "Inelastic force-deformation response of joint shear panels in beam-column moment connections to concrete-filled tubes", *Journal of Structural Engineering*, v.130, n.2, p.244-252.
- PRION, H. G. L.; McLELLAN, A. B. (1994). Through-bolt connections for concrete-filled hollow structural steel sections. In: ANNUAL TASK GROUP TECHNICAL SESSION 1994. Proceedings. Bethlehem. p.239-250.
- RICLES, J. M.; PENG, S. W.; LU, L. W. (2004). "Seismic behavior of composite concrete filled steel tube column-wide flange beam moment connections", *Journal of Structural Engineering*, v.130, n.2, p.223-232.
- ROEDER, C. W.; MacRAE, G.; WATERS, C. (2000). Seismic behavior of steel braced frame connections to composite columns. In: FOURTH INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONNECTIONS IN STEEL STRUCTURES, Roanoke, 22-25 October. Proceedings of Connections in Steel Structures IV. p.51-62.
- SCHNEIDER, S. P.; ALOSTAZ, Y. M. (1996). "Analytical behaviour of connections to concrete-filled steel tubes", *Journal constructional steel research*, v.40, n.02, p.95-127.