

Novos sistemas de conexão para pavimentos mistos em aço e betão, que utilizam perfis metálicos enformados a frio

Isabel B VALENTE, Prof^a Auxiliar, ISISE, Universidade do Minho

isabelv@civil.uminho.pt

A utilização de perfis enformados a frio em estruturas mistas de edifícios de pequeno porte tem-se mostrado vantajosa, apesar do seu emprego ser ainda reduzido, porque resulta num custo inferior ao que se obtém quando se utilizam perfis laminados, (Chaves *et al*, 2010).

Os sistemas mistos em aço e betão que se apresentam neste artigo utilizam perfis metálicos enformados a frio, tanto na viga como na laje mista. As vigas utilizam perfis metálicos enformados a frio com secção transversal em C, na posição *back-to-back*, que são unidos entre si por aparafusamento. Estes perfis são depois ligados à chapa e aço com forma trapezoidal que servirá de cofragem ao betão da laje. Esta chapa atua como cofragem na fase de construção e como elemento resistente quando em serviço. As secções abertas da viga de aço permitem uma montagem fácil que garante uma ligação adequada entre os vários elementos. A colocação da chapa trapezoidal evita o uso de cofragens temporárias.

Estes sistemas foram concebidos por vários autores, que estudaram, em simultâneo, o comportamento global do sistema misto e o comportamento específico da conexão entre elementos de aço e de betão. As investigações para avaliar o desempenho das soluções foram realizadas com recurso a ensaios experimentais (ensaios de corte direto, ensaios do tipo *push-out* e ensaios de flexão em vigas) e também modelação numérica.

1 Hanaor (2000)

A investigação realizada por Hanaor (2000) propôs a utilização de conectores de vários tipos em vigas mistas que utilizam perfis enformados a frio (ver Figura 1). As análises dos conectores e do comportamento global da estrutura foram realizadas através de ensaios do tipo *push-out* e por flexão direta em vigas mistas simplesmente apoiadas. O autor testou variantes de conectores embebidos na laje de betão, dividindo-os em dois grupos, onde a fixação ao perfil metálico é realizada por aparafusamento ou por soldadura. Apresenta-se na Figura 1 os conectores estudados nos dois tipos de sistema de conexão propostos por Hanaor (2000).

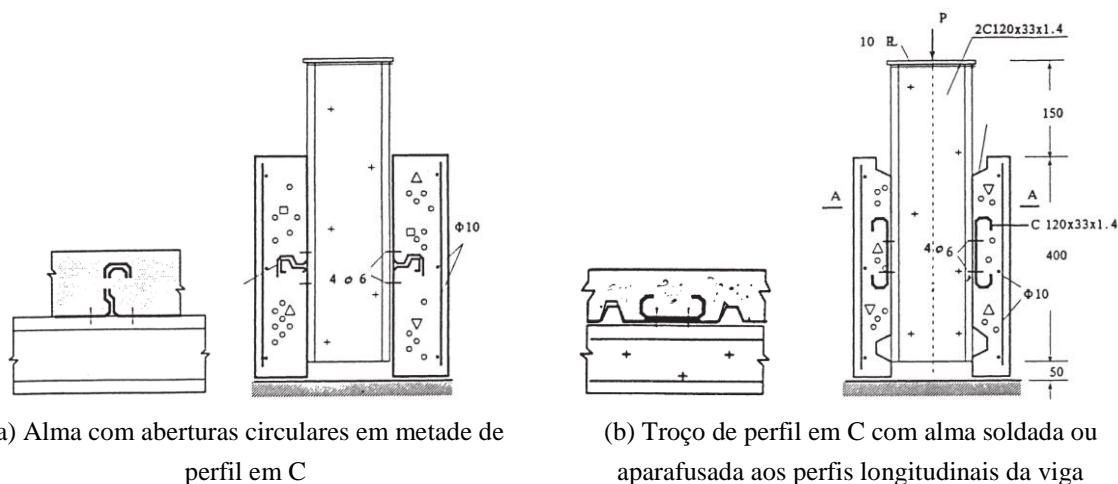


Figura 1 - Sistemas de conexão para pavimentos mistos propostos por Hanaor (2000). Fonte: Hanaor (2000).

De forma geral, os resultados indicaram que o comportamento do sistema misto é muito dúctil. Nos ensaios de tipo *push-out*, os conectores do tipo *embeded connection* apresentaram capacidade resistente superior à que tinha sido prevista. Nos ensaios das vigas, os provetes com conectores que foram fixados por soldadura apresentaram capacidade resistente ligeiramente superior à dos conectores fixados por aparafusamento. Neste ensaios, verificou-se escorregamento limitado entre as secções de aço e de betão, nas extremidades da vigas com ligações aparafusadas, tendo sido medidos valores que variam entre 0,5 e 0,8 mm. No caso das vigas com ligações soldadas, não foi observado escorregamento nas extremidades. Todas as vigas testadas atingiram a plastificação da secção transversal de meio vão.

2 Lakkavalli & Liu (2006)

Lakkavalli & Liu (2006) desenvolveram uma investigação sobre vigas mistas onde a conexão entre os elementos de aço e de betão foi conseguida embebendo parte dos perfis em aço enformado a frio, na laje de betão. Além de inserir parte do perfil na laje, os investigadores propuseram introduzir três tipos de alterações nos banzos superiores do perfil para melhorar a conexão: aberturas circulares, cortes e dobragens e parafusos auto perfurantes. Exibe-se na Figura 2 os três tipos modificações aplicados nos banzos superiores dos perfis metálicos.

Para avaliar o comportamento dos sistemas de conexão foram realizados ensaios do tipo *push-out* e ensaios de flexão. Foram também criadas algumas variações na espessura do perfil e alterações nas abas superiores do perfil. Os autores ensaiaram também perfis embebidos na laje, sem alterações nos banzos, de forma a avaliar a eficácia dos conectores. Entre os três tipos de conexão avaliados, o de corte e dobragem apresentou o melhor comportamento, seguido pelo de aberturas circulares. Os sistemas de conexão propostos melhoraram a capacidade resistente do elemento estrutural, especialmente, nos casos em que os perfis eram mais espessos. Apesar do bom comportamento observado nas vigas com de conexão obtidas por

corte e dobragem, salienta-se que sistema que consiste em aberturas circulares é vantajoso, sob o ponto de vista industrial.

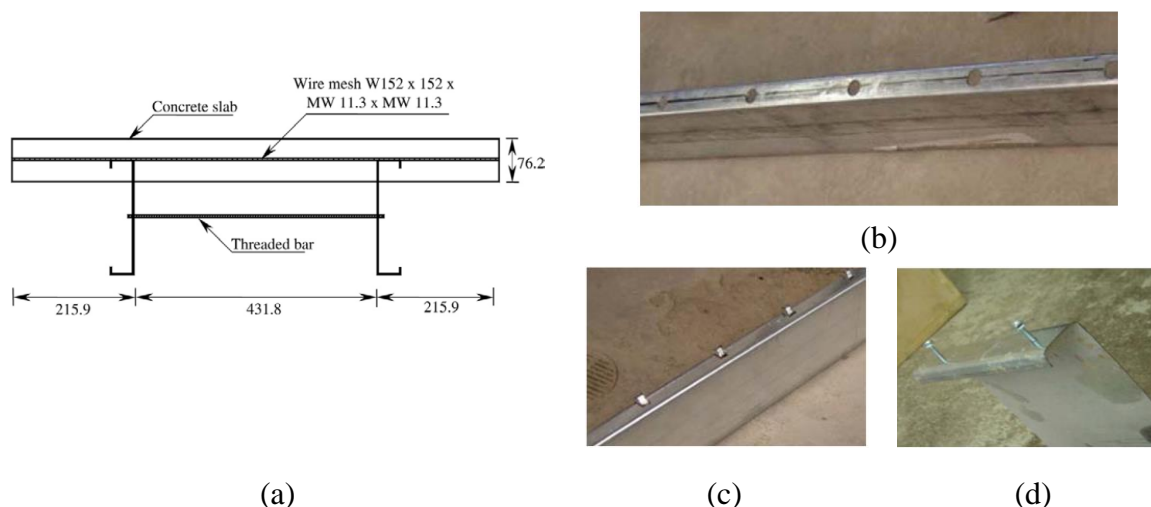


Figura 2 - Sistemas de conexão para pavimentos mistos propostos por Lakkavalli e Liu (2006): (a) secção transversal tipo; (b) aberturas circulares no perfil; (c) cortes e dobragens no perfil; (d) parafusos auto perfurantes. Fonte: Lakkavalli e Liu (2006).

3 Irwan *et al.* (2009 e 2011)

Irwan *et al.* (2009 e 2011) deram seguimento ao trabalho de Lakkavalli & Liu (2006) e criaram um sistema de conexão mecânica em vigas mistas, denominado BTTST. O sistema é composto pelo próprio perfil metálico e são realizados recortes triangulares e dobragens no banzo do perfil metálico, como é possível visualizar através da Figura 3. Os investigadores analisaram o sistema por meio de ensaios experimentais à flexão. Os diversos provetes testados apresentavam variações nas dimensões do perfil e dos triângulos recortados.

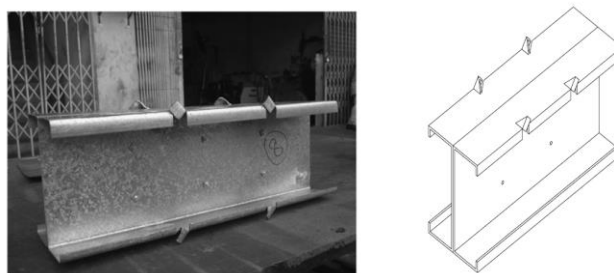


Figura 3 - Sistema de conexão para pavimentos mistos proposto por Irwan et al (2009 e 2011). Fonte: Irwan *et al.* (2009 e 2011).

O sistema de conexão proposto apresentou aumento da capacidade de carga em relação aos provetes concebidos sem nenhuma conexão (apenas com o perfil embebido no betão) e em relação aos conectores criados por Lakkavalli & Liu (2006). Outros fatores, como o aumento da espessura do perfil utilizado e a resistência do betão, propiciaram melhorias de desempenho.

4 Hsu *et al.* (2014a e 2014b)

Hsu *et al.* (2014a e 2014b) realizaram um estudo experimental e numérico de uma viga mista, em que o sistema de conexão proposto inclui um conector do tipo trapezoidal que é fixado ao perfil metálico da viga por meio de parafusos dispostos de forma contínua. Os autores analisaram um segundo conector com vista a melhorar o desempenho do conector trapezoidal, adicionando a inserção de cortes e dobragens com forma triangular nas abas. Todos os elementos metálicos da solução são concebidos por aço enformado a frio. A partir da Figura 4 é possível identificar a proposta destes autores.

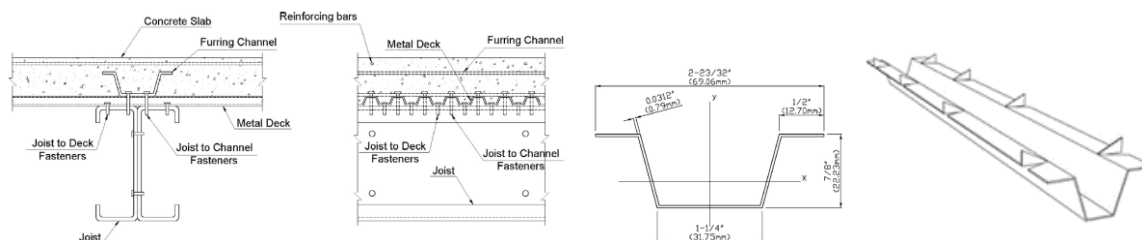


Figura 4 - Sistema de conexão para pavimentos mistos proposto por Hsu *et al.* (2014). Fonte: Hsu *et al.* (2014).

Durante o estudo experimental, foram ensaiadas à flexão vigas mistas e vigas sem funcionamento misto (sem a colocação do conector). Os sistemas mistos e não mistos apresentam deformações semelhantes até à ocorrência das primeiras fissuras no betão. A partir deste momento, a viga mista suporta acréscimos de carregamento, sem sofrer grandes fissurações, até atingir a capacidade de carga máxima. Os ensaios mostraram um melhor comportamento do sistema misto, tanto para resistência última quanto para ductilidade.

Foram também realizadas vigas mistas com armadura na face superior da laje que apresentaram um melhor comportamento. A solução proposta apresentou ainda maior ligação entre o aço e betão, permitindo que fosse atingida uma maior capacidade de carga sem ocorrência de instabilidade lateral na seção da viga e um comportamento dúctil. Os dois conectores propostos (com e sem a inserção de cortes e dobragens no elemento de conexão) mostraram desempenhos estruturais semelhantes e possuem comportamentos adequados para utilização em edifícios, porém as alterações realizadas no segundo conector promoveram uma maior ductilidade no elemento estrutural.

Referências bibliográficas

- Chaves, I.A., Beck, A.T. & Malite, M (2010): Reliability based Evaluation of Design Guidelines for Cold-Formed Steel-Concrete Composite Beams. *Journal of the Brazilian Society of Mech. Sci. & Eng.* 32, 442-449.
- Hanaor, A. (2000). Tests of Composite Beams with Cold-formed Sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 54(2), 245–264. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(99\)00046-2](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(99)00046-2)
- Hsu, C.-T. T., Punurai, S., Punuri, W., & Majdi, Y. (2014a). New Composite Beams having Cold-formed Steel Joists and Concrete Slab. *Engineering Structures*, 71, 187–200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.04.011>
- Irwan, J. M., Hanizah, A. H., & Azmi, I. (2009). Test of shear transfer enhancement in symmetric cold-formed steel-concrete composite beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(12), 2087–2098. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2009.07.008>.
- Irwan, J. M., Hanizah, A. H., Azmi, I., & Koh, H. B. (2011). Large-scale Test of Symmetric Cold-formed Steel (CFS) - Concrete composite beams with BTTST enhancement. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(4), 720–726. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcsr.2010.11.008>.
- Lakkavalli, B. S., & Liu, Y. (2006). Experimental study of composite cold-formed steel C-section floor joists. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 995-1006. <http://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.02.003>.
- Majdi, Y., Hsu, C.-T. T., & Zarei, M. (2014b). Finite Element Analysis of New Composite Floors having Cold-formed Steel and Concrete Slab. *Engineering Structures*, 77, 65–83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.07.030>.