

Profa. Arlene Maria Sarmanho Freitas, D.Sc.
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Brasil
arlene@em.ufop.br

Prof. João Alberto Venegas Requena, D.Sc.
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Brasil
requena@fec.unicamp.br

Afonso Henrique Mascarenhas de Araújo, Eng.
V&M do Brasil, Brasil
afonso@vmtubes.com.br

Estruturas metálicas tubulares de aço

Introdução

Os perfis tubulares possuem propriedades geométricas que tornam possível a elaboração das mais variadas obras com soluções arrojadas e econômicas (FIRMO, 2003). Estes perfis, devido à geometria, possuem também grande resistência à torção e resistência equilibrada à flexão. Os tubos possibilitam ainda o enchimento com o concreto, não necessitando de formas e assim aumentando a resistência mecânica e resistência ao fogo.

Os perfis tubulares possuem, na maioria das vezes, seções circulares, quadradas e retangulares. Sua fabricação pode ser laminada a quente ou dobrada a frio, com ou sem costura.

O aumento do uso de perfis tubulares em estruturas metálicas tem destacado a necessidade de métodos de cálculo que racionalizem as ligações com barras tubulares. No estudo das ligações é necessário avaliar o comportamento destas, uma vez que provocam tensões no tubo, que devem ser conhecidas para que seja possível a elaboração de projetos otimizados, como observado na figura 1.

Atualmente, um grupo de estudos coordenado pela V&M do Brasil está elabo-

rando um texto base para ser apresentado à ABNT, sobre a Norma Brasileira de Perfis Tubulares de Aço.

As pesquisas desenvolvidas utilizando perfis tubulares indicam a crescente demanda destes em diversos usos na construção civil. Um espectro geral destas pesquisas é apresentado neste artigo.

Pesquisas em perfis tubulares

Apresenta-se a seguir, uma visão geral sobre alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil nos últimos anos e que abordam especificamente perfis tubulares.



FOTOS: V&M DO BRASIL



Exemplos de ligações utilizando perfis tubulares (Fonte: Arquivo pessoal)

Michillo (2003) apresentou análises de ligações metálicas tubulares de placas de bases para pilares de perfis de seção circular por meio de modelagem pelo método dos elementos finitos. O estudo foi desenvolvido de forma comparativa entre a modelagem computacional e as expressões analíticas encontradas em normas internacionais, tais como: AISC-Hollow Structural Sections (Connections Manual), AISC-LRFD (1996) e o Eurocode3 (2003).

Santos (2003) apresentou uma avaliação do comportamento de ligações em barras tubulares de estruturas metálicas planas por meio da análise das metodologias de cálculo utilizadas por normas e especificações nacionais e internacionais. Como resultado, foi desenvolvido um programa computacional para automatizar o dimensionamento e a verificação das ligações estudadas, visando a racionalização do sistema de cálculo.

Caixeta, Rade e Gesualdo (2003) avaliaram diversas condições de contorno e diferentes parâmetros adimensionais, tais como a relação entre a altura das diagonais e banço (β), a altura da barra pela sua espessura (γ) e a relação entre as espessuras das diagonais e banço (τ). Diversas conclusões quanto a resistência última foram obtidas.

Caldas (2004) desenvolveu e implementou procedimentos numéricos voltados para análise de sistemas mistos baseados em uma formulação de deslocamentos do método de elementos finitos, sendo capaz de avaliar a não-linearidade física e geométrica. Resultados numéricos e experimentais foram utilizados em comparações para a verificação da eficácia do procedimento proposto.

Costa (2004) pesquisou o emprego da estrutura metálica, especificamente dos perfis tubulares, apresentando aspectos que necessitam ser previstos e planejados durante a elaboração do projeto arquitetônico e fatores que interferem na ligação entre a estrutura e o subsistema de fechamento vertical externo.

Pellico (2004) pesquisou sistemas modulados tridimensionais de cobertura, do ponto de vista arquitetônico e estrutural, utilizando-se perfis tubulares e propôs três sistemas para cobertura onde foi valorizada ainda a ambientação interna.

Possato (2004) apresentou um estudo teórico-experimental para a determinação da resistência de placas de base de colunas

formadas por tubos metálicos circulares e comparou com as expressões analíticas das normas Eurocode 3 (2003), AISC (1997) e NBR8800 (1986). Concluiu que as formulações propostas pela maioria dos autores são muito conservadoras e uma alternativa de cálculo foi proposta (Freitas (2006)).

Muniz (2005) apresentou formulações numéricas alternativas às apresentadas por Caldas (2004) para análise de elementos finitos de barra, que levam em consideração as não-linearidades física e geométrica, com foco principal, no comportamento de pilares mistos formados de perfis tubulares.

Lima et al (2005) apresentaram uma análise numérica através do Método dos Elementos Finitos de ligações soldadas entre perfis tubulares quadrados. Os resultados obtidos mostraram que determinados limites considerados pelo Eurocode (2003) podem fornecer levar os resultados contra a segurança.

Mendanha (2006) desenvolveu um trabalho no qual apresenta um estudo de ligações soldadas do tipo K e KT com barras afastadas, formadas por perfis tubulares de seção retangular no banço e circular para diagonais e montantes. O trabalho envolveu estudo teórico a partir de prescrições normativas, e a calibração de modelos numéricos em elementos finitos, utilizando o software ANSYS.

Samarra (2007) estudou o comportamento de grandes vãos em estruturas tubulares. Para isso foi montada em tamanho real uma estrutura de cobertura de 900 m2 e ensaiada simulando os carregamentos de

uma estrutura padrão. Após os ensaios foram feitas análises numéricas no SAP2000 visando comparar os deslocamentos e as deformações da estrutura global e entender o seu mecanismo estático.

Vieira (2007) estudou as ligações soldadas entre barras tubulares lamina-das sem costuras circulares de aço do tipo YT. O estudo realizado teve a abordagem numérico-experimental. O estudo numérico foi feito com o software Ansys utilizando elementos de casca não-lineares.

Mendes (2008) realizou análises e testes experimentais de ligações T, K e KT com barras afastadas formadas por perfis tubulares retangulares no banzo e circular nas diagonais e montantes. O estudo propiciou a avaliação da capacidade de carga, modo de colapso e comportamento destas ligações.

Araujo (2008) estudou o efeito do fogo em pilares tubulares de aço preenchidos de concreto a partir de ensaios realizados a temperatura ambiente e ensaios de laboratório em forno que simularam a situação de incêndio nos pilares.

Quanto à automação, **Branco (2006)** estudou e desenvolveu um software para projeto de estruturas planas treliçadas tubulares de aço com estudo comparativo entre treliças compostas por barras com ligações rotuladas e rígidas.

Montagner (2006) desenvolveu um estudo teórico sobre o dimensionamento e automação do projeto de vigas mistas treliçadas planas, compostas por barras tubulares de aço associadas a uma mesa de concreto armado para pisos.

Souza (2006) desenvolveu um estudo para detalhamento das ligações tubulares, principalmente das do tipo K. E desenvolveu um software para automação e integração CAD/CAE no projeto de estruturas metálicas com perfis tubulares.

No caso de pesquisas no âmbito internacional podem-se destacar diversas pesquisas recentes, como **Wardenier (2007)**, **Packer (2007)** e **Zhao (2007)**. Como espectro da divulgação das pesquisas com perfis de aço tubulares, tem-se o evento intitulado International Symposium on Tubular Structures (ISTS), com periodicidade de dois anos. Destacam-se ainda as publicações do CIDECT – Comité International pour Le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire.

Ligações em sistemas treliçados – aplicação

As treliças são usuais nas construções por apresentarem pequeno peso próprio em relação a outros tipos de elementos com a mesma função estrutural. Partindo do princípio que o perfil tubular apresenta excelente capacidade de resistência aos esforços de tração e compressão, as treliças formadas a partir deste tipo de perfil apresentam um excelente desempenho. Apresentam também uma capacidade de vencer maiores vãos com menor número de nós, o que torna o custo de fabricação reduzido.

Ligações Tubulares em Estruturas Planas

Dependendo da configuração estrutural e arquitetônica, podem ser utilizados vários tipos de treliças, com diferentes disposições das barras. A escolha do tipo a ser usado depende do vão e da arquitetura da edificação. Para treliças de banzos paralelos, a figura 2 ilustra ligações em treliças utilizando perfis de seção tubular.



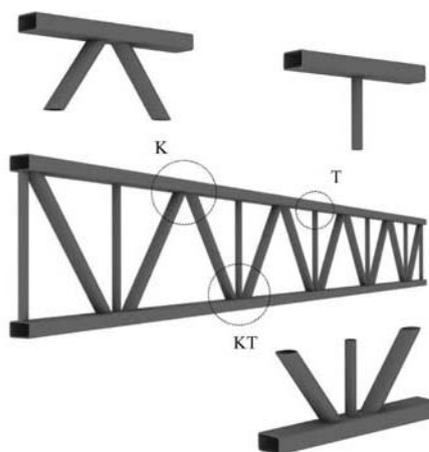
Sede administrativa da V&M do BRASIL (Fonte: arquivo pessoal)

As treliças tubulares podem ser formadas por diversas combinações de seções transversais. Quando fazem uso de perfis tubulares sem costura, podem ser formadas por perfis com seções circulares e/ou retangulares. Para ligações entre barras de treliça emprega-se uma terminologia associada ao tipo de disposição encontrada. Utilizam-se letras do alfabeto para designar a disposição entre as barras, tais como ligação “K” para o encontro dos banzos com as diagonais inclinadas. As configurações possíveis são exemplificadas na Figura 3.

Treliças produzidas a partir de tubos circulares apresentam uma melhor distribuição de tensões na região da ligação e, conseqüentemente, um menor peso de aço para o mesmo vão a ser vencido. Em contrapartida, a ligação soldada entre perfis tubulares circulares tem a fabricação mais detalhada devido aos cortes das barras e a soldagem.

Para o caso onde as diagonais têm o diâmetro muito menor que o banzo, o corte com serra pode ser executado plano, mas, caso o afastamento entre as peças a serem soldadas forem iguais a um diâmetro da peça menos espessa ou 3 mm, a opção mais usada é o

oxicorte, onde vários cortes planos são feitos (Araújo et al, 2001). Neste caso podem-se utilizar as máquinas de corte a plasma e a laser, que executa cortes em perfis tubulares com elevada precisão. No caso de perfis retangulares, a execução da ligação é feita em superfície plana.



Ligações em sistemas treliçados com perfis tubulares (Mendes 2008)

CISER. MARCA DE INOVAÇÃO, PRODUTOS DE CONFIABILIDADE.

STUD-BOLTS
CISER

(Conectores de cisalhamento)
A melhor solução
para estruturas mistas
de aço-concreto



FENTE

Para vibrações
extremãs



TENEX

Nem mais, nem menos.
A solução exata
para estruturas
metálicas



Soluções em fixadores para Construções Metálicas, entrar em contato
com nossa equipe técnica pelo e-mail construcaometalica@ciser.com.br
www.ciser.com.br • Fone: (47) 3441 3999 • Teleciser: 0800 474500

CISER
Parafusos e Porcas



Comentários finais

No Brasil, o perfil tubular começou a ser aplicado em estruturas na construção civil e, devido a seu bom comportamento estrutural e aparência moderna e arrojada, esse emprego apresenta-se em crescimento acelerado. Este aumento foi impulsionado pela produção de perfis tubulares sem costura para a construção civil pela V & M do BRASIL, a partir do ano 2000.

Neste trabalho, são apresentados os espectros das pesquisas no Brasil em estruturas tubulares e ainda pesquisas recentes coordenadas pelos autores com resultados numéricos e experimentais (Freitas e Requena, 2008).

Agradecimentos

Os autores agradecem a V&M do Brasil, pelo apoio através do programa de Pesquisa & Desenvolvimento - P&D, com a UFOP e a UNICAMP (www.fec.unicamp.br/~estruturastubulares). Os autores agradecem também ao CNPq, CAPES, FINEP, FAPEMIG e FAPESP ■

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A. H. M., REQUENA, J. A. V., MINCHILLO, D. G. V., THOMAZ, S. A. M. Projeto, Fabricação e Montagem de Estruturas com Perfis Tubulares. I Congresso Internacional da Construção Metálica - I CICOM. São Paulo, 2001.
- ARAÚJO, C. J. R. V. Estudo Experimental do Efeito do Fogo em Pilares Mistos Curtos de Aço e Concreto. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2008.
- BRANCO, R. H. F. Automação de Projetos de Estruturas Planas Treliçadas Tubulares de Aço com Estudo Comparativo entre Treliças Constituídas por Barras com Ligações Rotuladas e Rígidas. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, 2006.
- CALDAS, R. B. Análise Numérica de Pilares Mistos Aço-Concreto. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.
- CAIXETA, D. P., RADE, R. S. L., GESUALDO, F. A. R. Efeito das Condições de Contorno em Nós Tubulares Tipo K com "gap". Trabalho apresentado ao XXIV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Ouro Preto, 2003.
- COSTA, R. M. X. O Uso de Perfis Tubulares Metálicos em Estruturas de Edifícios e Sua Interface com o Sistema de Fechamento Vertical Externo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.
- FIRMO, C. S. Estruturas Tubulares Reticuladas Geradas e Enrijecidas por Planos de Dupla Curvatura (hiperbólicos). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2003.
- FREITAS, A. M. S. REQUENA, J. A. V. Ligações em Estruturas Metálicas Tubulares. In: Moacir Kripka, Zacarias M. Chamberlain. (Org.). Novos estudos e pesquisa em construção metálica. 1 ed. Passo Fundo - RS - Brasil: EDITORA UNIVERSITÁRIA, v. 1, p. 07-29, 2008.
- LIMA, L. R. O., NEVES, L. F. C., SILVA, J. G. S., VELLASCO, P. C. G. S. Análise Paramétrica de Ligações "T" com Perfis Tubulares em Aço Através de Um Modelo de Elementos Finitos. CILAMCE 2005. Guarapari, Espírito Santo, 2005.
- MENDANHA, F. Estudo de Ligações de Treliças Planas com Perfis de Seção Tubular. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2006.
- MENDES, F. C. Análise Teórica-Experimental de Ligações Tubulares Tipo T, K E KT. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.
- MICHILLO, D. G. V. Estudo de Comportamento de Ligações de Placa de Base para Estruturas Metálicas Tubulares. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2003.
- MONTAGNER, S. L. Análise de Viga Mista em Treliça Metálica com Barras Tubulares. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2005.
- MUNIZ, C. F. D. G. Modelos Numéricos para Análise de Elementos Estruturais Mistos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.
- PACKER, J. A. Tubular Brace Member Connections in Brace Steel Frames. Tubular Structures XI. Toronto, p 3-11, 2007.
- PELLICO, H. C. Proposta de Sistema Construtivo Modular para Coberturas Usando Perfis Tubulares. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.
- POSSATO, G. S. N. Análise Teórico Experimental de Placas de Base de Colunas Metálicas Tubulares. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.
- SAMARRA, F. A. Estudo Numérico-Experimental de Treliças Tubulares Planas para Coberturas Padronizadas para Grandes Vãos. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2007.
- SANTOS, A. L. E. F. Ligações de Barras Tubulares para Estruturas Metálicas Planas. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2003.
- SOUZA, M. G. Q. Automação e Integração CAD/CAE do Projeto de Estruturas Metálicas Planas, Utilizando Perfis Tubulares. Dissertação de Mestrado. UNICAMP, 2006.
- VIEIRA, R. F. Análise Teórico-Experimental de Ligações em Perfis Tubulares. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UNICAMP, 2007.
- ZHAO, X. VOTH, A. P. PACKER, J. A., WILLIBALD. Through-Plate Joints to Elliptical and Circular Hollow Section. Tubular Structures XI. Toronto, p. 221-228, 2007.
- WARDENIER, J. Liu, D. K. Effect of Chord Loads on the Strength of RHS Uniplanar Gap K-Joints. Tubular Structures XI. Toronto, p. 539-544, 2007.