

## ANÁLISE NUMÉRICA, TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE LIGAÇÕES VIGA MISTA-PILAR

William Oliveira Bessa<sup>1</sup> & Roberto Martins Gonçalves<sup>2</sup>

### Resumo

*O presente trabalho consiste em um estudo numérico, teórico e experimental de ligações viga mista-pilar, com enfoque principal nas ligações em pilares internos de pórticos com cantoneira de alma e assento. Os modelos numéricos consideram elementos finitos tridimensionais para todos os componentes da ligação: pilar, viga, enrijecedores, laje de concreto, parafusos, chapa de topo e cantoneiras de alma e assento; exceto para os conectores de cisalhamento em que se utiliza um elemento tipo viga. Todas as descontinuidades geométricas são consideradas por meio de elementos de contato e, além disso, são incorporadas as não-linearidades físicas e geométricas. Além da análise numérica, busca-se avaliar a metodologia de dimensionamento dos EUROCODE 3 e 4 comparando com os procedimentos analíticos e resultados experimentais.*

*Palavras-chave: estruturas mistas, vigas mistas, ligações mistas, semi-rígidas.*

## NUMERICAL, ANALITICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF COMPOSITE BEAM-COLUMN CONNECTIONS

### Abstract

*This work consists of a theoretical, numerical and experimental study of the structural behavior of beam-to-column composite joints in the internal columns of buildings with bottom and web angle connections. The 3D numerical models have been developed for all components of connection: column, beam, plate stiffeners, concrete slab, top and bottom angle, bolts and end plate; except the shear connectors that have been modeled with beam element. The discontinuities are considered through contact elements, moreover, are considered the geometric and physical non linearity. Finally, this work studs the methodology of EUROCODE 3 and 4, comparing the numerical models with the analytical methods and experimental results.*

*Keywords: composite structures, composite beam, composite joints, semi-rigid.*

*Linha de Pesquisa: Estruturas Metálicas.*

---

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, wbessa@sc.usp.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, goncalve@sc.usp.br

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos métodos construtivos, da tecnologia de materiais e dos programas computacionais para a análise estrutural vem possibilitando novos procedimentos de construção e análise estrutural em edifícios de andares múltiplos.

De maneira geral, na viga mista a viga de aço é conectada por conectores de cisalhamento à laje de concreto, possuindo assim grande capacidade de resistir a momentos positivos, o que leva a possibilidade de se utilizar vãos maiores e um número menor de pilares. Na região de momento fletor negativo, a laje do concreto será tracionada e somente a armadura contribui para resistência ao momento fletor.

As ligações mistas possuem maior resistência e rigidez se comparadas com a mesma ligação em aço (mesmos perfis) sem a consideração da laje, com uma capacidade rotacional compatível. Dentre os benefícios das ligações mistas incluem a redução da altura e peso próprio das vigas e um melhor desempenho em serviço, com a redução das fissuras junto aos pilares devido à presença de armadura na laje. Entretanto a utilização das ligações mistas requer métodos mais avançados e controle na disposição das armaduras longitudinais.

Nas últimas décadas, estudos desenvolvidos na Europa e Estados Unidos procuram avaliar o real comportamento das ligações viga mista-pilar através de ensaios experimentais, métodos analíticos e alguns modelos numéricos, utilizando detalhes de ligações soldadas, com cantoneiras de alma e assento e chapa de topo.

Diante do contexto apresentado, este trabalho em desenvolvimento possui os seguintes objetivos:

- ✓ Avaliar a metodologia apresentada pelo EUROCODE 3 e 4 para determinação da rigidez inicial e momento resistente de ligações mistas com cantoneiras de alma e assento, principalmente ligações em pilares internos de pórticos submetidos a momentos balanceados ou desbalanceados.
- ✓ Realizar uma análise numérica de ligações viga mista-pilar com enfoque voltado para a utilização de cantoneiras de alma e de assento submetidas a carregamento monotônico, servindo de complementação à análise experimental.
- ✓ Proporcionar um maior conhecimento do comportamento global e do dimensionamento das ligações viga mista-pilar no eixo de maior e menor inércia do pilar.

Este trabalho insere-se na linha de pesquisa do SET-EESC em estruturas metálicas e mistas, mais especificamente no estudo do comportamento das ligações que teve início com Prelorentzou (1992), seguido por Ribeiro (1998), Maggi (2004), Figueiredo (2004) e Tristão (2006).

## 2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho envolve abordagens teóricas e experimentais. No presente momento, está sendo desenvolvido a modelagem numérica e a revisão bibliográfica, bem como a análise dos métodos analíticos disponíveis para a avaliação do comportamento das ligações mistas.

A revisão bibliográfica está sendo realizada com o objetivo de aprimorar os principais conceitos relativos ao comportamento das vigas mistas e das ligações viga mista-pilar, servindo de embasamento para as investigações numéricas e teóricas.

Os modelos numéricos estão sendo desenvolvidos e analisados utilizando os programas comerciais *TRUEGRID* e *ANSYS*, sendo que a comprovação de sua confiabilidade será feita pela comparação dos resultados experimentais e analíticos.

A definição e detalhamento de todo o programa experimental a ser realizado será feito juntamente com o professor Roberto Martins Gonçalves, orientador deste trabalho, logo que este retornar do pós-doutoramento.

### 3 DESENVOLVIMENTO

A filosofia usada para a concepção dos modelos numéricos foi adotar procedimentos que possibilitam a análise de qualquer configuração de ligação e carregamento, seguindo a mesma filosofia e procedimentos adotados nos trabalhos de Maggi (2000), Maggi (2004) e Tristão (2006).

Os fatores mais importantes, para a obtenção de um modelo numérico representativo, são a definição dos elementos finitos e a escolha dos modelos de não linearidade dos materiais, com as respectivas descrições da relação tensão-deformação. Diante disso, estão sendo utilizados elementos finitos tridimensionais para todos os componentes do modelo (viga, pilar, chapas, cantoneiras, parafusos e laje de concreto), exceto para os conectores de cisalhamento que estão sendo simulados por meio de um elemento finito tipo viga, conforme indica a figura 1. Assim, objetiva-se modelar o mais próximo possível da realidade cada componente da ligação.

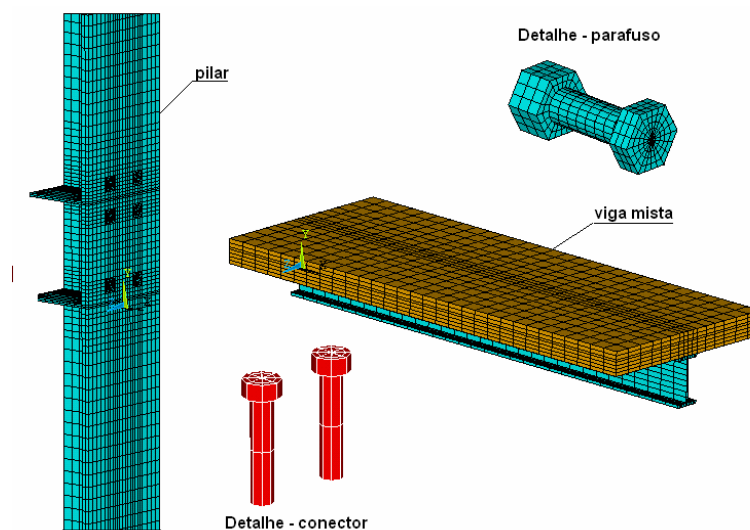


Figura 1 - Modelagem no ANSYS dos elementos da ligação.

Nesta fase está sendo desenvolvida também a análise de modelos numéricos de ligações em aço, parafusadas e soldadas, submetidas a ações cíclicas. Os resultados estão sendo comparados com os protótipos ensaiados no Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais (LERM) do Departamento de Engenharia e Arquitetura do Instituto Superior Técnico (IST), Portugal, pelo professor Luis Calado, e servirão de subsídio para a continuidade das análises, inclusive para o programa experimental.

### 4 RESULTADOS ESPERADOS

Diante da proposta e metodologia adotadas para o trabalho, espera-se obter uma evolução da análise em elementos finitos com a incorporação da laje de concreto

e de sua não-linearidade, nos modelos de ligações mistas, possibilitando avaliar os estados limites de utilização e último do concreto da laje; associando sempre os resultados obtidos com os procedimentos analíticos propostos pelo EUROCODE 3 e 4 e com os ensaios experimentais.

## 5 AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo suporte financeiro a pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

AISC. (2005). **Load and resistance Factor Design Specification** – Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, USA (“Draft da versão de 1999).

BESSA, W. O. (2004). **Análise numérica tridimensional de ligações viga-coluna com chapa de topo na direção do eixo de menor inércia do pilar**. Ouro Preto. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto.

CALADO, L.; MELE, L. (2000). Experimental behaviour of steel beam-to-column joints: fully welded vs bolted connections. In: WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, 12., Auckland, New Zealand, 2000. **Proceedings...** Paper n 2570/6/A.

CALADO, L. (2003). Non-linear cyclic model of top and seat with web angle for steel beam-to-column connections. **Engineering Structures**, n. 25, p. 1189–1197, Mar.

EUROCODE 3. (2000). **Design of Joints, Part 1.8: Design of Steel Structures**, Draft 2 Revisions. CEN, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EUROCODE 4 (2002). **prEN 1994-1-1 Design of composite steel and concrete structures – Part1-1: General rules and rules for buildings**. European Committee for Standardization, Bruxelas (final Draft).

FIGUEIREDO, L. M. B. (2004). **Ligações mistas aço concreto – Análise teórica e experimental**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

MAGGI, Y. I. (2000). **Análise Numérica, via MEF do Comportamento de Ligações Parafusadas Viga-Coluna com Chapa de Topo**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

MAGGI, Y. I. (2004). **Análise do comportamento estrutural de ligações parafusadas viga-pilar com chapa de topo estendida**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

NBR 8800. (2006). **Projeto e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto em edifícios**. Projeto de revisão da NBR 8800, Draft.

PRELORENTZOU, P. A. (1992). **Um estudo sobre ligações viga-coluna em estruturas de aço**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, L. F. L. (1998). **Estudo do comportamento estrutural de ligações parafusadas viga-coluna com chapa de topo: análise teórico-experimental**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

TRISTÃO, G. A. (2006). **Análise teórica e experimental de ligações mista viga-pilar de extremidade com cantoneiras de alma e assento**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.