

William Oliveira Bessa

**ANÁLISE EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DE
LIGAÇÕES VIGA MISTA-PILAR COM
CANTONEIRAS DE ALMA E ASSENTO –
PAVIMENTO TIPO E LIGAÇÕES ISOLADAS**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Estruturas.

Orientador: Professor associado Roberto Martins Gonçalves

São Carlos
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B557a Bessa, William Oliveira
Análise experimental e numérica de ligações viga
mista-pilar com cantoneiras de alma e assento-pavimento
tipo e ligações isoladas / William Oliveira Bessa ;
orientador Roberto Martins Gonçalves. -- São Carlos,
2009.

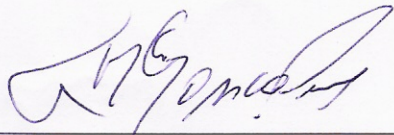
Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de
Concentração em Engenharia de Estruturas) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2009.

1. Ligações viga-pilar. 2. Ligações mistas.
3. Pavimento tipo. 4. Cantoneiras de alma e assento.
I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

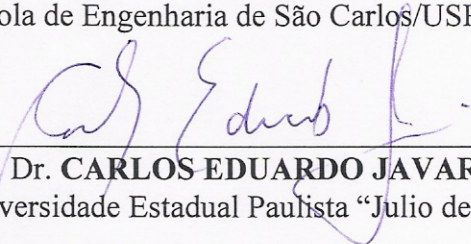
Candidato: Engenheiro **WILLIAM OLIVEIRA BESSA**

Tese defendida e julgada em 8.12.2009 perante a Comissão Julgadora:



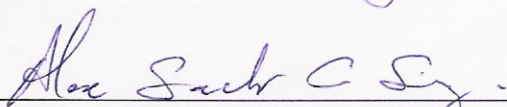
APROVADO

Prof. Associado **ROBERTO MARTINS GONÇALVES (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)



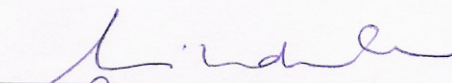
APROVADO

Prof. Dr. **CARLOS EDUARDO JAVARONI**
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP-Campus de Bauru)



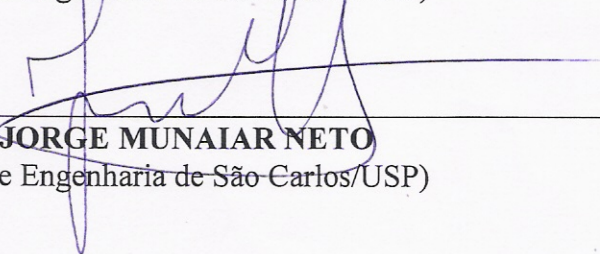
APROVADO

Prof. Dr. **ALEX SANDER CLEMENTE DE SOUZA**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)



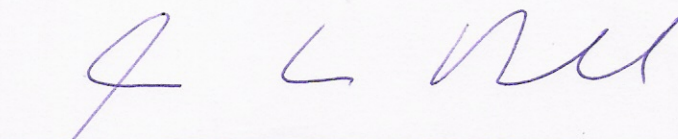
Aprovado

Prof^a. Associada **ANA LUCIA HOMCE DE CRESCE EL DEBS**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

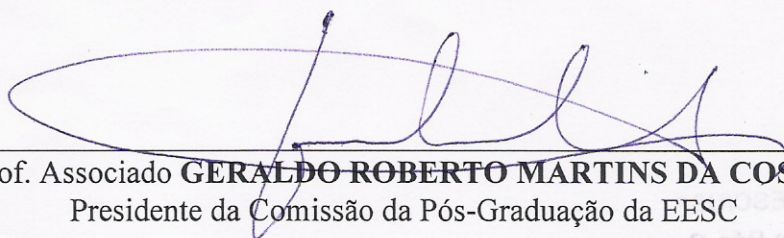


Aprovado

Prof. Dr. **JORGE MUNAIAR NETO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)



Prof. Associado **MARCIO ANTONIO RAMALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas)



Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

“The only limit to our realization of tomorrow will be our doubts of today. Let us move forward with strong and active faith”

President Franklin D. Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Ao professor Roberto Martins Gonçalves pela confiança, incentivo, amizade e pela dedicação com a qual sempre pude contar não só para o desenvolvimento deste trabalho, mas principalmente para o meu amadurecimento pessoal e profissional como engenheiro.

Agradeço a todos os meus familiares pelo incentivo durante este período. Aos meus queridos sobrinhos Luis Felipe e Eduardo e, em especial, para a minha mãe Cleusa, pela confiança e ajuda na superação dos momentos difíceis.

A CAPES, CNPq e FAPESP pelo auxílio financeiro ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

Aos professores Toshiaki Takeya e José Samuel Giongo pela contribuição ao desenvolvimento da abrangente análise experimental.

Ao desenhista Francisco Brito, cuja contribuição foi fundamental no processo de concepção e elaboração dos desenhos do programa experimental.

Um agradecimento especial aos amigos Pedro César, Calil Zumerle e Bruno Higaki pela convivência e contribuição durante o longo processo de concepção e desenvolvimento da análise experimental.

A todos os funcionários da Secretária do Departamento de Estruturas pela disponibilidade de ajudar no dia-dia de nosso trabalho.

A todos os funcionários do Laboratório de Estruturas.

Aos grandes amigos Leonardo, Junio, Osvaldo e Márcia, pela gratificante e prazerosa convivência ao longo destes anos em São Carlos.

Por fim, aos novos colegas e amigos do Departamento de Arquitetura e Engenharia do MPDFT.

RESUMO

BESSA, W. O. (2009). *Análise Teórica e Experimental de Ligações Viga Mista-Pilar com Cantoneiras de Alma e Assento – Pavimento Tipo e Ligações Isoladas*. São Carlos. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.

Esta pesquisa apresenta um amplo programa experimental de ligações viga mista-pilar com cantoneiras de alma e assento, incluindo protótipos isolados e ligações inseridas num pavimento tipo constituído de laje pré-moldada com vigotas e lajotas cerâmicas. Os objetivos do trabalho foram avaliar os efeitos da fissuração da laje no comportamento da ligação (rigidez inicial e momento resistente), o acréscimo da taxa de armadura secundária e os detalhes propostos para a ancoragem das armaduras longitudinais.

Nos ensaios experimentais foram analisadas as rotações das ligações, deslocamentos e deformações nos elementos. Para o estudo teórico, tomou-se como referência o Método das Componentes do EUROCODE 3 e 4. Paralelamente, um estudo numérico para ligações mistas foi desenvolvido com o objetivo de incluir a laje de concreto, as armaduras longitudinais e transversais, além da não linearidade física e geométrica na análise por elementos finitos.

De acordo com os resultados, a condição prévia de fissuração da laje mostrou-se menos relevante que a continuidade das vigas na direção do eixo de menor inércia do pilar, no que se refere à determinação da rigidez inicial e resistência das ligações mista inseridas num pavimento tipo. A metodologia de modelagem numérica foi capaz de representar de forma satisfatória os mecanismos plásticos e os estados limites últimos da ligação.

Palavras-chave: estruturas mistas, pavimento tipo, ligações mistas, método das componentes, vigotas pré-moldadas, ligações com cantoneiras.

ABSTRACT

BESSA, W. O. (2009). *Theoretical and Experimental Analysis of Beam-to-Column Composite Connections with Bottom and Web Angle – Typical Floor and Isolated Prototypes*. São Carlos. Thesis (Doctorate). São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, Brazil.

This research presents an extensive experimental study of the structural behavior of the beam-to-column composite connections with bottom and web angle, including isolated prototypes and typical floor with slab made of precast joist with lattice and bricks. The objectives were to evaluate concrete slab cracking effects in the composite connections behavior (initial stiffness and resistant moment), the secondary steel ratio increase and the proposed details for the longitudinal steel bars anchorage.

In the experimental tests, it was analyzed the connection total rotation, the displacements and deformations in the connection components. The theoretical study was developed based on EUROCODE 3 and 4 methodologies. Besides, a numerical study was developed with the purpose of including the concrete slab modelling, the longitudinal and transversal steel bars, and the geometrical and material non-linearity in the finite element analysis.

According to the results, the beam continuity through to the column minor axis showed to be more important than the concrete slab previous cracking, for the initial stiffness and resistant moment composite connections behavior in the typical floor. The numerical models represented satisfactorily the plastic mechanism connection and the ultimate limit states.

keywords: composite structures, typical floor, composite connections, component method, lattice girder, angle connections.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Considerações Iniciais	1
1.2 – Objetivos e Justificativa ..	3
1.3 – Metodologia	5
1.4 – Apresentação dos Capítulos	5
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONCEITOS GERAIS	9
2.1 – Revisão Bibliográfica	9
2.1.1 – Considerações gerais	9
2.1.2 – Aspectos gerais das ligações mistas	10
2.1.3 – Comportamento $M-\theta$ das ligações mistas aço concreto	17
2.1.4 – Resistência e rigidez das ligações	21
2.2 – Conceitos Gerais	27
2.2.1 – Consideração da não-linearidade dos materiais	27
2.2.1.1 – Análise elástica linear para estado limite último	28
2.2.1.2 – Análise elástica linear para estado limite de serviço.....	31
2.2.1.3 – Análise rígido-plástica	32
2.2.1.4 – Análise elasto-plástica	34
2.2.2 – Vigas mistas aço-concreto	36
2.2.2.1 – Largura efetiva.....	38
2.2.2.2 – Comportamento em estado limite último	39
2.2.2.3 – Comportamento em estado limite de serviço	43
2.2.2.4 – Grau de conexão de cisalhamento	44
2.2.2.5 – Armaduras transversais na laje.....	46
2.2.2.6 – Armaduras longitudinais.....	49
2.3 – Considerações Finais	49
3 – DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES MISTAS COM CANTONEIRAS DE ALMA E ASSENTO	51
3.1 - Introdução.....	51

3.2 - Método Analítico Proposto pelo EUROCODE 3	52
3.2.1 – Considerações iniciais	52
3.2.2 – Solicitações atuantes na ligação	55
3.2.3 – “T-Stub” equivalente	58
3.2.4 – Componentes básicos tracionados	62
3.2.4.1 – Flexão na mesa do pilar	62
3.2.4.2 – Tração na alma do pilar	65
3.2.4.3 – Tração na alma da viga	66
3.2.4.4 – Flexão na chapa de topo	67
3.2.4.5 – Tração na armadura longitudinal da laje	68
3.2.5 – Componentes individuais em compressão	70
3.2.5.1 – Compressão transversal na alma do pilar	70
3.2.5.2 – Compressão na mesa e alma da viga	72
3.2.5.3 – Compressão na aba da cantoneira de assento	72
3.2.6 – Componente individual em cisalhamento horizontal	73
3.2.7 – Determinação do momento resistente	75
3.2.8 – Determinação da rigidez inicial da ligação	80
3.3 – Capacidade Rotacional	86
3.4 – Método Proposto pelo AISC	89
3.5 – Considerações Finais sobre os Métodos de Cálculo	91
4 – ENSAIOS EXPERIMENTAIS DOS PROTÓTIPOS ISOLADOS E	
PAVIMENTO TIPO	93
4.1 – Considerações Iniciais	93
4.2 – Modelos Isolados: Pilar de Canto e de Centro	94
4.2.1 – Geometria dos modelos	94
4.2.2 – Armaduras e montagem dos modelos	96
4.2.3 – Sistemas de aplicação dos carregamentos	100
4.2.4 – Instrumentação	102
4.3 – Pavimento Tipo	104
4.3.1 – Geometria do protótipo	104
4.3.2 – Montagem do pavimento tipo	107

4.3.3 – Etapas de aplicação do carregamento	111
4.3.4 – Instrumentação.....	119
4.4 – Caracterização dos Materiais	122
4.5 – Considerações Finais	126
5 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS	127
5.1 – Considerações Iniciais	127
5.2 – Modelos Isolados.....	127
5.2.1 – Modelo TNRSS.....	127
5.2.2 – Modelo TRSS	130
5.2.3 – Modelo CNRSS.....	133
5.2.4 – Modelo CRSS.....	136
5.3 – Pavimento Tipo.....	140
5.3.1 – Resultados da etapa de carregamento distribuído	140
5.3.2 – Resultados da etapa de carregamento concentrado	142
5.3.2.1 – Ligação [1].....	145
5.3.2.2 – Ligação [2].....	147
5.3.2.3 – Ligação [3].....	149
5.3.2.4 – Ligação [4].....	151
5.4 – Considerações Finais	153
6 – DESCRIÇÃO E RESULTADOS DA MODELAGEM NUMÉRICA.....	155
6.1 – Considerações Iniciais.....	155
6.2 - Critérios Adotados na Análise Numérica	155
6.2.1 - Não-Linearidade Física	156
6.2.2 - Descontinuidade Geométrica	157
6.3 – Elementos Finitos Adotados	158
6.3.1 – Elemento SOLID 45.....	158
6.3.2 – Elemento SOLID 65.....	159
6.3.3 – Elemento BEAM 23.....	160
6.3.4 – Elemento BEAM 4.....	161
6.3.5 – Elemento BEAM 189.....	162

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

