



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Mestrado em Engenharia Civil



Tiago Henrique Silva Santos

Estudo de Ligações Tipo “T” Bird-Beak com Perfis Tubulares de Paredes Esbeltas

Ouro Preto - MG
Setembro – 2019

Tiago Henrique Silva Santos

Estudo de Ligações Tipo “T” Bird-Beak com Perfis Tubulares de Paredes Esbeltas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Estruturas e Construção.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Arlene Maria Cunha Sarmanho

Co-orientador: Prof. Dr. Gabriel Vieira Nunes

Ouro Preto - MG

Setembro - 2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237e Santos, Tiago Henrique Silva .
Estudo de Ligações Tipo "T" Bird-Beak com Perfis Tubulares de Paredes
Esbeltas. [manuscrito] / Tiago Henrique Silva Santos. - 2019.
83 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Arlene Maria Cunha Sarmanho.
Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Vieira Nunes.
Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto.
Departamento de Engenharia Civil. Programa de Engenharia Civil.
Área de Concentração: Estruturas e Construção.

1. Ligações Metálicas. 2. Perfil Tubular. 3. Ligação Bird-Beak. I. Santos, Tiago
Henrique Silva . II. Nunes, Gabriel Vieira. III. Sarmanho, Arlene Maria Cunha. IV.
Universidade Federal de Ouro Preto. V. Título.

CDU 624.01

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB: 1716

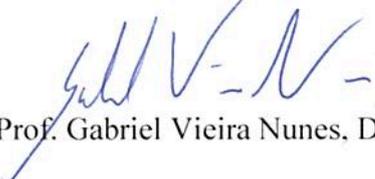
ESTUDO DE LIGAÇÕES TIPO “T” BIRD-BEAK COM PERFIS TUBULARES DE PAREDES ESBELTAS

AUTOR: TIAGO HENRIQUE SILVA SANTOS

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 25 de setembro de 2019, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:


Prof. Arlene Maria Cunha Sarmanho, D. Sc. – UFOP (Presidente)


Prof. Vinícius Nicchio Alves, D. Sc. – UFOP


Prof. Gabriel Vieira Nunes, D. Sc. – IFMG


Prof. Luciano Rodrigues Ornelas de Lima, D. Sc. – UERJ

AGRADECIMENTO

Agradeço aos professores Arlene e Gabriel pelas orientações e suporte, essenciais para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos companheiros do Laboratório de Estruturas “Prof. Altamiro Tibiriçá Dias”, pela amizade e pela ajuda na pesquisa.

A CAPES pelo apoio financeiro para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos meus pais José Mario e Neusa e toda minha família que sempre me apoiaram.

A minha esposa Nivânia que me apoiou nesse mestrado e dividiu todas as dificuldades.

Por fim, porém o mais importante, a Deus, pois não seria nada sem a fé que tenho Nele.

RESUMO

Tradicionalmente, as ligações tubulares do tipo “T” são soldadas e quando o banzo tem como seção transversal um perfil tubular quadrado, esse é posicionado de forma que as faces planas superior e inferior sejam perpendiculares ao montante. No presente trabalho é estudado um outro tipo de ligação soldada do tipo “T”, a ligação “T” *Bird-Beak* sendo divididas em dois tipos: a *Square Bird-Beak* que é formada pelo giro do banzo de uma ligação tradicional em 45° em torno do seu eixo longitudinal; e a *Diamond Bird-Beak*, formada pelo giro tanto do banzo quanto do montante de uma ligação tradicional em 45°, também em torno dos seus eixos longitudinais. Além dessas duas tipologias com montantes quadrados, foi estudado uma tipologia com montante circular denominada de *Circular Bird-Beak*, sendo que essas três tipologias de ligação são compostas por banzo de paredes esbeltas e montantes com carregamento axial de compressão. Foram desenvolvidos modelos numéricos utilizando o software ANSYS, sendo realizados estudos sobre o refinamento da malha e sobre as condições de contorno, com a intenção de definir o modelo mais eficiente para as análises. Após os estudos dos modelos, foi feito um estudo paramétrico variando os parâmetros geométricos β (relação entre a largura/diâmetro do montante e largura do banzo) e 2γ (relação entre a largura e a espessura da face do banzo). As cargas resistentes dos modelos numéricos, obtidas pelo método da deformação limite, foram comparadas com as cargas obtidas pelas equações desenvolvidas na pesquisa de Chen (2015b). Posteriormente, as cargas resistentes dos modelos do tipo *Circular Bird-Beak* foram comparadas com as cargas de modelos com ligações “T” tradicionais e por último, foram desenvolvidas equações para o dimensionamento teórico das tipologias de ligações “T” *Bird-Beak* apresentadas. Na comparação entre as ligações “T” *Bird-Beak*, a que apresentou, na maioria dos casos, a maior resistência foi a *Diamond Bird-Beak*. Os cálculos utilizando as equações de Chen (2015b) resultaram em resistências menores do que as resistências dadas pelos modelos numéricos e na comparação entre a ligação T *Circular Bird-Beak* e a ligação “T” tradicional, a primeira apresentou, em todos os casos, a maior resistência.

Palavras-chaves: Perfis tubulares, ligações, seção esbelta, *Circular Bird-Beak*, *Square Bird-Beak*, *Diamond Bird-Beak*,

ABSTRACT

Traditionally, hollow steel sections T-joint are welded and when the chord has a square hollow section, it is positioned so that the upper and lower planar faces are parallel to the horizontal plane. In the present work another type of welded hollow steel section T-joint is studied, the Bird-Beak T joint, being divided into two types: The Square Bird-Beak which is formed by rotating of the chord of a traditional T-joint in 45° around its longitudinal axis; and Diamond Bird-Beak, formed by rotating both the chord and the brace of a traditional T-joint in 45° around their longitudinal axis. In addition to these two type with square hollow section brace, a circular hollow section brace called Circular Bird-Beak was studied too. These three type of T-joint was composed of hollow steel sections with thin-walled chord and brace under compression. Numerical models were developed using the software ANSYS as well as studies about of mesh refinement and boundary conditions, with the intention of defining the most efficient model for the analysis. Furthermore, a parametric study was made by varying the geometrical parameters β (ratio between the diameter of the brace / width of the chord face) and 2γ (ratio between the width and thickness of the chord face). The resistances of the numerical models, obtained by the method of deformation limit criteria, were compared with the resistances obtained by the equations developed in the research of Cheng (2015b). Subsequently, the resistance of the type models Circular Bird-Beak were compared with the resistance of the models with traditional T-joint. Finally, equations were developed for the theoretical design of the typology of Bird-Beak T-joints presented. The diamond bird-beak T-joint had the highest resistance in most cases. Calculations using the equations of Chen (2015b) resulted in resistances smaller than the resistances given by numerical models. Circular Bird-Beak T joint showed higher resistances than traditional T joint.

Keywords: Hollow steel sections, joints, thin-walled sections, Circular Bird-Beak, Square Bird-Beak Diamond Bird-Beak.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Histórico da construção metálica	13
1.2	Fabricação de perfis tubulares	15
1.3	Estruturas treliçadas.....	17
1.4	Ligações em perfis tubulares	19
1.5	Objetivos	21
1.6	Justificativa.....	21
1.7	Metodologia.....	22
1.8	Revisão Bibliográfica.....	22
1.9	Descrição do Trabalho	26
2	ANÁLISE TEÓRICA.....	27
2.1	Nomenclatura e Parâmetros Geométricos	27
2.2	Classificação das Ligações Quanto às Esbeltezas	28
2.3	Deformação Limite	30
2.4	Modos de Falha	32
2.5	Equações de Dimensionamento desenvolvidas	34
3	MODELO NÚMÉRICO	36
3.1	Elemento Finito	36
3.2	Propriedades mecânicas dos Materiais.....	37
3.3	Comprimento, Especificação de Solda e Raio de Dobramento.....	37
3.4	Condições de Contorno.....	38
3.5	Malha	39
4	ANÁLISE PARAMÉTRICA	52
4.1	Geometria dos modelos numéricos.....	52
4.2	Comportamento carga-deslocamento	53
4.3	Carga Resistente Numérica	60
4.4	Comparação entre as tipologias.....	63
4.5	Cálculo Teórico	64
4.6	Comparação entre ligação t tradicional e circular bird-beak.....	67

5	PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO	71
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6.1	Trabalhos Futuros	79
	REFERÊNCIAS.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Exemplos de estruturas metálicas.....	14
Figura 1.2: Perfis tubulares sem costura	15
Figura 1.3: Perfis tubulares com costura	16
Figura 1.4: Fabricação de perfis tubulares quadrados	16
Figura 1.5: Tipos de treliças	18
Figura 1.6: Tipologias de vigas "treliçadas"	19
Figura 1.7: Tipos de ligações com perfis tubulares.	19
Figura 1.8: Possibilidades de geometria das seções transversais de uma ligação "T" ..	20
Figura 1.9: Diferenças entre as ligações do tipo "T"	20
Figura 1.10: Ligação Circular Bird-Beak (CBB)	21
Figura 2.1: Nomenclatura das ligações bird-beak	28
Figura 2.2: Gráfico Carga-Deslocamento e critério de deformação limite para as duas curvas.....	31
Figura 2.3: Deslocamentos da seção central dos modelos	31
Figura 2.4: Flambagem local do Montante.	32
Figura 2.5: Falha do banzo.....	32
Figura 2.6: Flexão do montante.....	33
Figura 2.7: Flambagem local do montante mais falha do banzo.	33
Figura 2.8: Falha do banzo.....	33
Figura 3.1: Elemento de casca SHELL 181	36
Figura 3.2: Diagrama bilinear adotado para o aço	37
Figura 3.3: Linha média da espessura da seção.....	38
Figura 3.4: Condições de contorno dos modelos numéricos.....	39
Figura 3.5: Gráfico de estudo de malha (CBB).....	43
Figura 3.6: Gráfico de estudo de malha (SBB).....	43
Figura 3.7: Gráfico de estudo de malha (DBB).....	44
Figura 3.8: Malha dos modelos CBB.....	44
Figura 3.9: Malha dos modelos SBB.	45
Figura 3.10: Malha dos modelos DBB.....	45

Figura 3.11: Modo de Falha: Falha do Banzo (CBB).....	46
Figura 3.12: Modo de Falha: Falha do Banzo (SBB).....	47
Figura 3.13: Modo de Falha: Falha do Banzo (DBB).....	47
Figura 3.14: Início de plastificação (CBB)	48
Figura 3.15: Banzo e extremidade do montante plastificados (CBB)	49
Figura 3.16: Início de plastificação (SBB)	49
Figura 3.17: Banzo e extremidade do montante plastificados (SBB)	50
Figura 3.18: Banzo e extremidade do montante plastificados (DBB)	50
Figura 3.19: Banzo e extremidade do montante plastificados (DBB)	51
Figura 4.1: Curvas carga-deslocamento dos modelos CBB com β entre 0,40 e 0,80	54
Figura 4.2: Comportamento carga-deslocamento dos modelos CBB com 2γ entre 40 e 70	55
Figura 4.3: Comportamento Carga-Deslocamento dos modelos SBB com β entre 0,40 e 0,80	56
Figura 4.4: Comportamento Carga-Deslocamento dos modelos SBB com 2γ entre 40 e 70.	57
Figura 4.5: Comportamento Carga-Deslocamento dos modelos DBB com β entre 0,40 e 0,80.	59
Figura 4.6: Comportamento Carga-Deslocamento dos modelos DBB com 2γ entre 40 e 70	60
Figura 4.7: Efeito da variação dos parâmetros geométricos na carga resistente das ligações CBB.....	62
Figura 4.8: Efeito da variação dos parâmetros geométricos na carga resistente das ligações SBB.....	62
Figura 4.9: Efeito da variação dos parâmetros geométricos na carga resistente das ligações <i>Diamond Bird Beak</i>	63
Figura 4.10: Comparação entre as tipologias de ligação.	64
Figura 4.11: Dimensões dos modelos com ligações T tradicionais	67
Figura 4.12: Comportamento Carga-Deslocamento Relativo dos modelos com ligação T tradicional com β entre 0,40 e 0,60.	68

Figura 4.13: Comportamento Carga-Deslocamento Relativo dos modelos com ligação T tradicional com 2γ entre 40 e 70	69
Figura 5.1: Gráfico de tendência - CBB.....	72
Figura 5.2: Função para fator de correção - CBB.....	73
Figura 5.3: Função para fator de correção - SBB.....	74
Figura 5.4: Função para fator de correção - DBB.....	75