

Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas  
Departamento Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

# **ESTUDO DE LIGAÇÕES TIPO LUVA EM PERFIS TUBULARES**

**Lucas Roquete**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação 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 Doutor em Engenharia Civil, área de concentração: Estruturas e Construção.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Arlene Maria Cunha Sarmanho

Ouro Preto, dezembro de 2018

R786e

Roquete, Lucas.

Estudo de Ligações Tipo Luva em Perfis Tubulares [manuscrito] / Lucas Roquete. - 2018.

220f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Arlene Maria Cunha Sarmanho.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Perfil tubular circular. 2. Ligação de emenda. 3. Ligação Luva. 4. Ligação parafusada. I. Sarmanho, Arlene Maria Cunha. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624

Catálogo: [www.sisbin.ufop.br](http://www.sisbin.ufop.br)

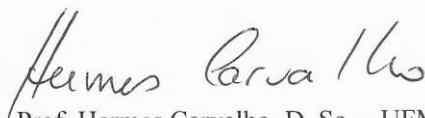
## ESTUDO DE LIGAÇÕES TIPO LUVA EM PERFIS TUBULARES

**AUTOR: LUCAS ROQUETE AMPARO**

Esta tese foi apresentada em sessão pública e aprovada em 14 de dezembro de 2018, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



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



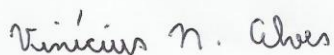
Prof. Hermes Carvalho, D. Sc. – UFMG



Profa. Eliane Maria Lopes Carvalho, D. Sc. – UFF



Profa. Ana Amélia Oliveira Mazon, D. Sc. – UFSJ



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

*" Three things cannot be long hidden: the sun, the moon, and the truth "*  
*(Autor desconhecido)*

*" Em tudo o que você fizer, seja sempre humilde, guardando zelosamente a pureza de seu coração. O caminho da perfeição é longo, tanto quanto a vida de cada um. Não paremos no caminho, e o Senhor nunca deixará de nos reconfortar com sua graça. O inverno passará e a primavera eterna virá. Quanto mais fortes forem as tempestades de inverno, tanto mais ricas serão as belezas da primavera. "*  
*(São Padre Pio de Pietrelcina)*

*Dedico este trabalho a minha mãe e minhas irmãs.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que é Pai e cuida de mim. Aquele que está acima de tudo. Obrigado Senhor pelo dom da vida e por me permitir chegar até aqui. Sou grato pelas oportunidades que me ofereces e pelos caminhos que surgiram em minha vida e vem me permitindo construir ser o que sou. Obrigado por todo conhecimento que adquiri durante todos esses anos de formação. E por ter me dado forças para caminhar e por terminar este trabalho. Obrigado também por todas as pessoas que tive a oportunidade de conviver até aqui.

Obrigado família, em especial aos meus pais Anete e Mauro. Sou eternamente grato por terem aceitado o desejo de Deus: me acolher como filho. Obrigado pelas orações, pelo aprendizado, por todo amor que me oferecestes. MÃE obrigado por ser minha maior inspiração, em todos os sentidos, melhor pessoa da minha vida. Se hoje sou quem eu sou, é só porque me espelho em ti, te amo. Às minhas irmãs, Maura e Tatiane, ter vocês do meu lado é mais que especial. Obrigado por tudo, por serem meu consolo, meu equilíbrio, meu exemplo e admiração, obrigado pelo carinho e pela presença. Amo vocês. À toda a minha família por todas as orações e torcidas.

Agradeço a professora Arlene pelos anos de orientação. Obrigado por não ter sido apenas orientadora, mas uma amiga. Obrigado por me inspirar. Sorte minha ter sido aluno seu e hoje ser um professor e começar a ser um pesquisador tendo você como inspiração. Alguém que me fez enxergar que, na engenharia, o ensino, a pesquisa e a vida de um profissional não caminham separadas. Um exemplo, não só profissional, mas de um grande ser humano, que se preocupa com o outro, que acredita em uma sociedade capaz de uma distribuição de conhecimento igualitária, sem segregações, afinal, somos todos iguais, somos todos humanos. Obrigado por me fazer desejar lutar por um mundo melhor e sem injustiças. Enfim, sem delongas, muitíssimo obrigado. Espero poder continuar aprendendo contigo.

Aos amigos, colegas e funcionários do Laboratório de Estruturas (LABEST), como o próprio nome diz, vocês são os melhores. Conviver ao lado de vocês foi

essencial para meu crescimento. Obrigado pelo convívio saudável, algo raro em ambientes como o que estamos. Obrigado pelos votos de sucesso e pela torcida. Obrigado pelas dicas, pelas ajudas com o abençoado Ansys e com os ensaios. Que continuemos sempre torcendo uns pelos outros. “Maravilhoosooooo!!!”

Ao professor Luciano, o qual tenho um grande apreço. Obrigado pelo carinho e por também ser um inspirador.

Obrigado aos amigos de Ouro Preto e aos que aqui conheci. Em especial aos que “sofreram” comigo mais de perto Wanderson, Débora, Thaís, Letícia, Renan, Luan, Jennefer, Everton, Marcela, Fillipe, Mateus, Tati, Ana e Lano obrigado pela presença, amizade, alegrias, comidas, conselhos, incentivos, torcidas e tudo mais, e por entender as vezes que foi preciso sumir. Obrigado, é bom ter vocês do meu lado.

Obrigado a todos do MUR.

Obrigado amigos de Ouro Branco. Aos colegas professores e técnicos da UFSJ, em especial ao meu colega de sala e um grande amigo professor Leandro e amigo professor Emmanuel.

Aos meus alunos, vocês me fazem querer a aprender mais e mais.

Agradeço à CAPES e FAPEMIG pelos apoios financeiros e a UFOP.

E a todos que estiveram comigo.

**OBRIGADO!**

## RESUMO

O uso de estruturas com perfis tubulares tem ganhado espaço na construção civil principalmente devido ao desempenho estrutural associado a resistência as forças axiais e alta rigidez torcional. O processo de fabricação e transporte de estruturas metálicas condiciona o comprimento dos perfis a valores máximos que em muitos casos não correspondem ao vão da edificação. Assim, tem-se a necessidade de utilização de algum mecanismo que possibilite a emenda dos perfis/elementos, e então obter o comprimento desejado. Nesta pesquisa apresenta-se um estudo teórico, numérico e experimental de uma nova tipologia de ligação de emenda de perfis tubulares, denominada por ligação luva. Sua composição é formada por perfis tubulares estruturais de aço, com seção transversal circular. A ligação dos tubos é feita utilizando-se um tubo adicional de menor diâmetro posicionado internamente aos tubos, e conectados por meio de parafusos passantes. Os parafusos podem estar posicionados de forma alinhada (em eixo) ou cruzada (em eixo cruzados). No programa experimental foram avaliados 43 protótipos da ligação luva com parafusos alinhados e com parafusos cruzados. A avaliação dos resultados experimentais contribuiu para o entendimento do comportamento da ligação luva e permitiu o desenvolvimento e calibração dos modelos numéricos. Com uso de um programa computacional, em elementos finitos, Ansys, foi desenvolvido um modelo numérico calibrado com os resultados experimentais, sendo esse a base para o estudo paramétrico. Na análise numérica paramétrica foram simulados e analisados um total de 374 modelos numéricos, considerando a ligação luva com parafusos alinhados e com parafusos cruzados. Dessa forma, a partir dos resultados numéricos, foi possível identificar e analisar adequadamente os possíveis modos de falhas da ligação: escoamento da seção bruta, ruptura da seção líquida, cisalhamento dos parafusos, ovalização dos furos e flexão dos parafusos, bem como limites geométricos de utilização da luva. Em seguida foram propostas formulações para os modos de falha da ligação com parafusos alinhados e cruzados e os bons resultados, demonstram a viabilidade da utilização dessa nova tipologia de ligação.

Palavras chave: Perfil tubular circular; Ligação de emenda; Ligação luva; Ligação parafusada.

## ABSTRACT

The use of structures with tubular profiles has gained space in civil construction due to its excellent structural performance. Due to the excellent response under tension, compression and torsion tubular profiles are widely used in structural trusses, especially in large lengths. The profiles have a limited length, due to the manufacturing and transport process. Therefore, there is a need to use some mechanism to carry out performs the joint of the profiles and obtain the desired length. The goal of this work is to develop a new type of connection called sleeve connection, used in circular hollow sections (CHS). The sleeve connection consists of two tubes internally connected through a third tube with a smaller diameter with bolts through to the tubes and arranged in line (staggered bolts) or cross. This research presents a theoretical, experimental and numerical study of sleeve connection in CHS. 43 prototypes of sleeve connection with staggered bolts or with crossed bolts were evaluated in experimental program. The evaluation of the experimental results contributed to the understanding of the behavior of sleeve connection and allowed the development and calibration of the numerical models. By Ansys computational software, a numerical model was developed using the finite element method (FEM). In the parametric numerical analysis, 374 numerical models were simulated and analyzed considering sleeve connection with staggered bolts and crossed bolts. Thus, from the numerical results, it was possible to adequately analyze the possible failure modes of the connection: yielding of gross cross-section, fracture through the effective net area, shear failure of bolt, bearing failure of plate and bending failure of bolts. The evaluation of the numerical models studied in this work allowed the proposal of formulations capable of evaluating the behavior of the sleeve connections with staggered and crossed bolts as a function of the failure modes. The good results, obtained according to proposed design procedure, demonstrated the viability of the use of this new type of connection.

Keywords: Circular hollow section, Connections, Sleeve connections; Bolt connections.



## Sumário

Lista de Figuras.....	XI
Lista de Tabelas .....	XVI
CAPÍTULO 1 .....	17
1    INTRODUÇÃO.....	17
1.1    Histórico e uso dos perfis tubulares .....	17
1.2    Justificativa .....	21
1.3    Objetivo.....	24
1.4    Metodologia .....	24
1.5    Detalhamento do corpo do trabalho.....	26
CAPÍTULO 2 .....	27
2    REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	27
2.1    Ligações de emenda em perfis tubulares .....	27
2.2    Histórico e evolução dos estudos relacionados à ligação luva .....	35
CAPÍTULO 3 .....	45
3    ANÁLISE TEÓRICA DA LIGAÇÃO LUVA .....	45
3.1    Escoamento da seção bruta – ESB .....	48
3.2    Ruptura da seção líquida – RSL .....	49
3.3    Esmagamento da parede do furo (ovalização do furo – OF) .....	52
3.4    Cisalhamento do parafuso - CP .....	53
3.5    Flexão nos parafusos– FP .....	53
3.6    Proposta de avaliação da resistência da ligação luva segundo Vieira (2014).....	57
3.7    Formulações de estudo.....	61
CAPÍTULO 4 .....	63
4    ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	63
4.1    Características, definição e montagem dos protótipos.....	63
4.2    Instrumentação .....	68
4.3    Propriedades dos materiais .....	70
4.4    Metodologia de ensaio.....	72
4.5    Resultados experimentais.....	72
4.6    Resultados experimentais anteriores .....	87
4.7    Discussão dos resultados experimentais .....	98
CAPÍTULO 5 .....	102
5    MODELO NUMÉRICO.....	102
5.1    Desenvolvimento do modelo numérico .....	103
5.2    Elementos finitos.....	105

5.3	Malha .....	108
5.4	Condições de contorno e carregamento .....	111
5.5	Critérios de falha .....	113
CAPÍTULO 6 .....		117
6	CALIBRAÇÃO E ANÁLISE DOS MODELOS NUMÉRICOS.....	117
6.1	Modelos com parafusos alinhados.....	119
6.2	Modelos com parafusos cruzados.....	139
6.3	Síntese dos resultados.....	145
CAPÍTULO 7 .....		147
7	ANÁLISE PARAMÉTRICA E PROPOSTAS DE FORMULAÇÕES.....	147
7.1	Modo: ruptura da seção líquida - RSL.....	149
7.2	Modo: ovalização do furo – OF .....	162
7.3	Modo: flexão nos parafusos – FP .....	171
7.4	Formulações para dimensionamento da ligação luva .....	180
CAPÍTULO 8 .....		184
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	184
Referências Bibliográficas .....		189
Apêndice A .....		193
Apêndice B.....		201
Apêndice C.....		205
Apêndice D.....		208
Apêndice E .....		210
Anexo A.....		214

# Lista de Figuras

Figura 1.1 - Ponte Conway Railway .....	18
Figura 1.2 - Seção transversal .....	18
Figura 1.3 - Ponte do Forth .....	18
Figura 1.4 - Sistemas treliçados em coberturas de estádios .....	18
Figura 1.5 - Sistema treliçado em cobertura do Estádio Mineirão em Belo Horizonte.....	19
Figura 1.6 - Sistema treliçado com perfis tubulares no Parque Aquático Maria Lenk.....	19
Figura 1.7 – Configuração representativa da ligação luva.....	21
Figura 1.8 - Ligação flangeada em perfis circulares e retangulares .....	23
Figura 2.1 - Tipologias de ligação em treliças .....	29
Figura 2.2 - (a) Treliça de cobertura de grandes vãos; (b) detalhe da ligação banzo-banzo com ligação flangeada .....	29
Figura 2.3 - Tipologias de flanges (a) vista lateral; (b) flange circular; (c) flange retangular/quadrado .....	30
Figura 2.4 - Ligação para perfis tubulares de seção circular .....	32
Figura 2.5 - Ligação com chapa escondida para perfis tubulares .....	33
Figura 2.6 - Ligação com chapa escondida.....	34
Figura 2.7 - Ligação de emenda com tubo interior em setores .....	34
Figura 2.8 - Tensões de von Mises nos tubos externos, modelos numéricos com 3 e 4 parafusos.....	36
Figura 2.9 - Esquema geral das luvas ensaiadas com parafusos em linha.....	37
Figura 2.10 - Ligação tipo "luva" com parafusos cruzados a 90° .....	39
Figura 2.11 - Modelo numérico: (a) ligação modelada; (b) detalhe na região dos furos. ....	40
Figura 2.12 - Ligação luva quadrada: (a) esquema da ligação (b) protótipo de ensaio.....	41
Figura 2.13 - Distribuição real das tensões .....	42
Figura 2.14 - Ligação parafusada entre um perfil cantoneira e uma chapa de ligação .....	43
Figura 2.15 - Ligação soldada de chapa de ligação concêntrica em perfil de seção tubular circular: (a) shear lag, (b) seção transversal.....	44
Figura 3.1 - Modos de falha em conexões parafusadas.....	46
Figura 3.2 - Representação esquemática da ligação luva com parafusos alinhados.....	47

Figura 3.3 - Área bruta da seção transversal de um tubo.....	49
Figura 3.4 - Ilustração dos espaçamentos $s$ e $g$ entre os furos 1 e 2 .....	50
Figura 3.5 - Planificação do tubo e configuração de linhas de ruptura da seção líquida.....	51
Figura 3.6 – Esquema geral do modelo mecânico para o modo de flexão do parafuso .....	55
Figura 3.7 - Esquema da influência do carregamento e da região de ação de $f_b$ considerando a planificação da geometria do tubo .....	56
Figura 4.1 - Representação das tipologias dos protótipos ensaiados .....	64
Figura 4.2 - Representação do esquema de furação do tubo externo e do interno .....	65
Figura 4.3 - Componentes de fixação dos protótipos .....	65
Figura 4.4 - Ligaçãõ “luva com 2TE” .....	66
Figura 4.5 - Comparação das dimensões dos protótipos para o modo RSL ....	67
Figura 4.6 – Vista geral do Protótipo L3P2 posicionado na máquina de ensaio .....	68
Figura 4.7 - Equipamentos, instrumentação dos protótipos .....	69
Figura 4.8 - Esquema da instrumentação dos parafusos .....	69
Figura 4.9 - Sistema de aquisição de dados, software Partner .....	70
Figura 4.10 - Sistema de aquisição de dados .....	70
Figura 4.11 - Curva carga $P$ versus deslocamento dos protótipos 1, 2 e 3 .....	74
Figura 4.12 - Configuração após ensaios e detalhe da estricção e ruptura.....	75
Figura 4.13 - Evolução da abertura no protótipo 1 durante o ensaio.....	76
Figura 4.14 - Flexão nos parafusos.....	76
Figura 4.15 - Curva de carga versus deformação nos parafusos.....	77
Figura 4.16 - Curva carga $P$ versus deslocamento dos protótipos em “luva com 2TE” e em “luva com 1TE” .....	78
Figura 4.17 - Curva carga $P$ versus deslocamento dos protótipos com 2 parafusos.....	80
Figura 4.18 - Protótipo L2P1 após realização do ensaio .....	81
Figura 4.19 - Protótipo L2P2 após realização do ensaio .....	82
Figura 4.20 - Curva carga $P$ versus deslocamento dos protótipos com 3 parafusos.....	83
Figura 4.21 - Protótipo L3P1 após realização do ensaio .....	84
Figura 4.22 - Protótipo L3P2 após realização do ensaio .....	85
Figura 4.23 - Tubo externo do protótipo L3P3 após realização do ensaio .....	86
Figura 4.24 - Curvas carga $P$ versus deslocamento dos protótipos L2P1, L2P1, L3P1, L3P2 e L3P3 .....	86

Figura 4.25 - Curvas carga P versus deslocamento para os protótipos com parafusos alinhados .....	88
Figura 4.26 - Curvas carga P versus deslocamento para os protótipos com parafusos cruzados .....	96
Figura 4.27 - Protótipos ensaiados.....	100
Figura 5.1 - Curvas de tensão x deformação utilizadas .....	104
Figura 5.2 - Modelos numéricos .....	105
Figura 5.3 - Configuração do volume cilíndrico dos parafusos.....	105
Figura 5.4 - Elemento SHELL 181.....	106
Figura 5.5 - Elemento SOLID 186 .....	106
Figura 5.6 - Elementos de contato .....	107
Figura 5.7 - Normais de contato no modelo numérico.....	107
Figura 5.8 - Contato tubo externo-tubo interno.....	108
Figura 5.9 - Divisão das áreas no modelo numérico .....	109
Figura 5.10 - Subdivisão das linhas nas regiões próximas aos furos .....	109
Figura 5.11 - Configuração da malha dos modelos numéricos .....	110
Figura 5.12 - Condições de contorno de extremidade.....	111
Figura 5.13 - Condições de contorno de extremidade dos parafusos .....	112
Figura 5.14 - Modelo numérico final para configuração de parafusos alinhados .....	113
Figura 5.15 - Deformação e tensão de von Mises para a identificação do início das falhas nos modelos numéricos .....	116
Figura 6.1 - Representação da eliminação das folgas nas curvas experimentais .....	117
Figura 6.2 – Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L1.....	120
Figura 6.3 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L2.....	122
Figura 6.4 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L3.....	123
Figura 6.5 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L4.....	125
Figura 6.6 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L5.....	126
Figura 6.7 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L6.....	127
Figura 6.8 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L7.....	129

Figura 6.9 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L8.....	130
Figura 6.10 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L9.....	132
Figura 6.11 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L10.....	133
Figura 6.12 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L11.....	134
Figura 6.13 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L12.....	136
Figura 6.14 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo L13.....	137
Figura 6.15 - Instante em que o TE encosta no TI, na simulação do modelo L12 .....	138
Figura 6.16 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo C1.....	140
Figura 6.17 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo C2.....	141
Figura 6.18 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo C3.....	143
Figura 6.19 - Comparação dos resultados experimentais e numéricos para o Modelo C2.....	144
Figura 6.20 - Comparação entre as análises numérica e experimental .....	146
Figura 7.1 – Relação entre carregamento numérico e teórico para o modo de falha de RSL.....	150
Figura 7.2 - Limite de esbeltez relativa para o modo de falha de RSL para modelos numéricos da ligação luva com parafusos alinhados.....	151
Figura 7.3 - Relação entre carregamento numérico e teórico para RSL no TE .....	153
Figura 7.4 - Ilustração do valor de $e_c$ na seção tubular circular da ligação luva com parafusos alinhados.....	155
Figura 7.5 - Relação entre carregamento numérico e teórico com aplicação da formulação proposta para RSL em tubos da ligação luva com parafusos alinhados.....	156
Figura 7.6 - Limite de esbeltez relativa para o modo de falha de RSL para modelos numéricos da ligação luva com parafusos cruzados.....	158
Figura 7.7 - Relação entre carregamento numérico e teórico para RSL no TE na ligação luva com parafusos cruzados .....	159
Figura 7.8 - Linhas de rupturas para determinação da área líquida da seção transversal do tubo para a ligação luva com parafusos cruzados .....	160

Figura 7.9 - Relação entre carregamento numérico e teórico com aplicação da nova formulação para RSL em tubos da ligação luva com parafusos cruzados .....	161
Figura 7.10 - Esbeltez relativa dos modelos com parafusos alinhados com falha por OF .....	165
Figura 7.11 - Relação entre carregamento numérico e teórico pela formulação proposta para o modo de falha de OF nos modelos com parafusos alinhados .....	166
Figura 7.12 - Reavaliação da relação entre carregamento numérico e teórico pela formulação proposta para o modo de falha de OF nos modelos com parafusos alinhados .....	167
Figura 7.13 - Esbeltez relativa dos modelos com parafusos cruzados com falha por OF .....	168
Figura 7.14 - Relação entre carregamento numérico e teórico para o modo de falha de FP nos modelos com parafusos alinhados .....	172
Figura 7.15 - Esquema da influência do carregamento e da região de ação de $f_b$ considerando a planificação da geometria do tubo .....	173
Figura 7.16 - Relação entre carregamento numérico e teórico conforme formulação proposta para o modo de falha de FP nos modelos com parafusos alinhados e esbeltez relativa maior que 1,6 .....	175
Figura 7.17 - Esquema da influência do carregamento e da região de ação de $f_b$ considerando a planificação da geometria do tubo para a ligação luva com parafusos cruzados .....	178
Figura 7.18 - Relação entre carregamento numérico e teórico conforme formulação proposta para o modo de falha de FP nos modelos com parafusos cruzados .....	179

# Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Direcionamento para verificação da ligação luva .....	61
Tabela 4.1 - Características dos protótipos .....	67
Tabela 4.2 - Propriedades mecânicas dos tubos .....	71
Tabela 4.3 - Propriedades mecânicas dos parafusos .....	71
Tabela 4.4 - Propriedade geométricas e mecânicas dos protótipos.....	88
Tabela 5.1 - Respostas do estudo do tamanho de malhas .....	109
Tabela 6.1 – Características geométricas e mecânicas dos modelos numéricos .....	118
Tabela 6.2 - Capacidade máxima dos modelos numéricos e experimentais..	146
Tabela 7.1 – Resultados numéricos e teóricos para o modo de RSL nos modelos numéricos com parafusos alinhados .....	149
Tabela 7.2 - Relações limites para uso da formulação proposta para cálculo do $C_t$ .....	157
Tabela 7.3 - Resultados numéricos e teóricos para o modo de RSL nos modelos numéricos com parafusos cruzados .....	160
Tabela 7.4 - Procedimento para determinação da força axial resistente ( $N_t, R$ ) para o modo de RSL na ligação luva com parafusos cruzados.....	162
Tabela 7.5 - Resultados numéricos e teóricos para o modo de OF nos modelos numéricos com parafusos alinhados .....	163
Tabela 7.6 – Resultados numéricos e teóricos para o modo de OF nos modelos numéricos com parafusos cruzados.....	169
Tabela 7.7 - Propriedades geométricas, resistência numérica e teórica pela proposta de formulação para os modelos com ovalização do furo no tubo externo para ligação luva com parafusos cruzados .....	170
Tabela 7.8 - Resultados numéricos e teóricos para o modo de FP nos modelos numéricos com parafusos alinhados .....	172
Tabela 7.9 – Características geométricas e resultados numéricos e teóricos para o modo de FP nos modelos numéricos com parafusos cruzados .....	177
Tabela 7.10 - Resultados numéricos e teóricos conforme equação proposta para o modo de FP nos modelos numéricos com parafusos cruzados .....	179
Tabela 7.11 – Força axial resistente de cálculo da ligação luva com parafusos alinhados.....	181
Tabela 7.12 - Força axial resistente de cálculo da ligação luva com parafusos cruzados.....	182