



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



# **CALIBRAÇÃO DE COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM BARRAS E LIGAÇÕES DE PERFIS FORMADOS A FRIO**

**ANDRÉ LUÍS RIQUEIRA BRANDÃO**

ORIENTADORES: Prof. Dr. Marcílio Sousa da Rocha Freitas  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Arlene Maria Sarmanho Freitas

Tese 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: Construção Metálica.

Ouro Preto, novembro de 2012.

# **CALIBRAÇÃO DE COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM BARRAS E LIGAÇÕES DE PERFIS FORMADOS A FRIO**

**AUTOR: ANDRÉ LUÍS RIQUEIRA BRANDÃO**

Esta tese foi apresentada em sessão pública e aprovada em 22 de novembro de 2012, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Marcílio Sousa da Rocha Freitas (Orientador / UFOP)

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Arlene Maria Sarmanho Freitas (Orientadora/UFOP)

Prof. Dr. João Batista Marques de Sousa Jr (UFOP)

Prof. Dr. Eduardo de Miranda Batista (UFRJ)

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sofia Maria Carrato Diniz (UFMG)

"As dificuldades são o aço estrutural que entra na construção do caráter."

Carlos Drummond de Andrade

*Dedico à minha linda filha Eloá.*

## *Agradecimentos*

A Deus, em primeiro lugar, por tudo.

Aos meus pais, Brandão e Antônia, pelos valiosos ensinamentos em todas as etapas de minha vida.

À minha esposa Erly e à minha filha Eloá, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando com muita paciência, compreensão e amor.

Aos meus irmãos, Marcelo e Patrícia, por todo apoio e incentivo.

À República Taranóia, pela amizade e incentivo durante a realização deste trabalho.

Aos meus professores orientadores, Marcílio e Arlene, pelos ensinamentos, motivação e sobretudo pela atuação comprometida.

À Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROPEC), pela oportunidade.

À CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## *Resumo*

O objetivo deste trabalho é aplicar um procedimento para análise confiabilidade estrutural de barras e ligações em perfis formados a frio projetadas segundo a norma brasileira ABNT NBR 14762 (2010). Desta forma, foram calculados coeficientes de ponderação da resistência com o emprego do método de confiabilidade de primeira ordem e segundo momento, denominado FOSM (*First Order Second Moment*). No total 2495 resultados de ensaios experimentais obtidos de vários pesquisadores foram analisados, para obtenção das estatísticas da relação entre a resistência medida ou ensaiada e a prevista pelas equações de projeto.

Os coeficientes de ponderação da resistência foram obtidos para combinações de ações gravitacionais obtidas da norma americana AISI S100 (2007) e da norma brasileira, além das relações entre ação permanente e ação variável,  $D_n/L_n$ , iguais a 1/5 e 1/3. Foram considerados índices de confiabilidade alvo usualmente empregados na calibração das principais normas internacionais de perfis formados a frio, principalmente a norma americana. Os coeficientes de ponderação da resistência foram comparados com os valores recomendados pelas normas brasileira e americana, considerando a similaridade entre ambas as especificações para os estados-limites abordados neste trabalho.

Os resultados obtidos mostram para a maioria dos estados-limites, que os coeficientes de ponderação da resistência são adequados em relação aos adotados pela norma brasileira e americana, quando se utiliza a combinação de ações do modelo americano. Além disso, observou-se que os coeficientes de ponderação da resistência obtidos para um mesmo nível de confiabilidade são mais conservadores com a menor relação entre as ações,  $D_n/L_n$ , sobretudo para a combinação de ações gravitacionais extraída da norma brasileira. Esse fato indica que os coeficientes de ponderação da resistência deveriam ser revisados, com o emprego da combinação de ações adequada e a partir da definição de uma relação  $D_n/L_n$  representativa para as construções metálicas no Brasil.

Palavras chave: perfis formados a frio, calibração, coeficiente de ponderação da resistência, confiabilidade estrutural, FOSM.

## *Abstract*

The objective of this work is to apply a procedure for structural reliability analysis of cold-formed steel members and connections designed according to the Brazilian standard ABNT NBR 14762 (2010). Thus, resistance factors were calculated resistance by employing of the first order second moment method (FOSM). A total 2495 tests obtained from various researchers were analyzed to obtain the test-to-predicted strength statistics.

The resistance factors were calculated for gravity load combinations obtained from AISI S100 (2007) and the ABNT NBR 14762 (2010), beyond the values for nominal dead-to-live load ratio ( $D_n/L_n$ ) of 1/5 and 1/3. It was adopted target reliability indexes usually employed in calibration procedures of the main international standards of the cold-formed steel, mainly American Standard. The resistance factors were compared with the values recommended by Brazilian and American standards, due to the similarity between both specifications to limit states approached in this thesis.

The results showed for most states limit, the resistance factors of resistance are adequate relative to standard adopted by Brazilian and American, when used the combination of the American model. In addition, it was observed that the resistance factors obtained for the same reliability index are more conservative with the lowest dead-to-live load ratio ( $D_n/L_n$ ), especially for the gravity load combination extracted from the Brazilian code. This fact indicates that the resistance factors should be reviewed, by employing of appropriate load combination and from the definition of a relation  $D_n/L_n$  representative for steel construction in Brazil.

Keywords: cold-formed steel, calibration, resistance factor, Structural reliability, FOSM

## *Sumário*

<i>AGRADECIMENTOS</i> .....	<b>IV</b>
<i>RESUMO</i> .....	<b>V</b>
<i>ABSTRACT</i> .....	<b>VI</b>
<i>SUMÁRIO</i> .....	<b>VII</b>
<i>LISTA DE TABELAS</i> .....	<b>XI</b>
<i>LISTA DE SÍMBOLOS</i> .....	<b>XVI</b>
<i>CAPÍTULO 1</i> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Metodologia.....	5
1.4 Estrutura do trabalho .....	6
<i>CAPÍTULO 2</i> .....	<b>8</b>
<b>CONFIABILIDADE ESTRUTURAL</b> .....	<b>8</b>
2.1 Introdução .....	8
2.2 Classificação das incertezas .....	9
2.3 A Função das normas de projeto .....	11
2.4 Classificação dos métodos de confiabilidade .....	12
2.5 Considerações de Segurança nas Normas .....	13
2.5.1 Método das Tensões Admissíveis .....	15
2.5.2 Método dos Estados-Limites .....	15
2.5.3 Combinações últimas normais de ações.....	18
2.6 Métodos para análise da confiabilidade.....	19
2.6.1 Problema básico da confiabilidade.....	19
2.6.2 Métodos de Confiabilidade de Primeira Ordem (FORM).....	24
2.6.2.1 Método do Segundo Momento e Primeira Ordem (FOSM) .....	24
2.6.2.2 Método AFOSM para Variáveis Normais e independentes (Método de Hasofer-Lind).....	28
2.6.2.3 Método de confiabilidade selecionado .....	34
2.7 Estatísticas da resistência .....	35

2.7.1	Dados estatísticos do material e propriedade geométrica .....	36
2.7.2	Coefficiente Profissional (Erro do Modelo).....	38
2.8.	Variabilidade das ações .....	39
2.9.	Valores alvo para os índices de confiabilidade .....	40
2.10	Procedimentos de calibração para o caso geral .....	41
2.10.1	Conceitos probabilísticos .....	41
2.10.2	Formulação baseada no método dos estados-limites .....	41
2.10.3	Adaptações na formulação do índice de confiabilidade e coeficiente de ponderação da resistência.....	44
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>		<b>48</b>
<b>PERFIS FORMADOS A FRIO .....</b>		<b>48</b>
3.1	Considerações Gerais .....	48
3.2	Materiais e Fabricação.....	50
3.3	Considerações de Projeto .....	51
3.4	Particularidades do comportamento mecânico dos perfis formados a frio.....	53
3.5	Principais alterações após revisão da ABNT NBR 14762 .....	54
3.6	Previsões teóricas com base nas normas ABNT NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007) .....	55
3.6.1	Barras submetidas à força axial de tração .....	56
3.6.2	Barras submetidas à força axial de compressão .....	59
3.6.2.1	Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção .....	60
3.6.2.2	Flambagem local.....	61
3.6.2.3	Flambagem distorcional.....	64
3.6.2.4	Método da resistência direta .....	65
3.6.3	Ligações soldadas.....	67
3.6.3.1	Soldas de filete em superfícies planas .....	67
3.6.3.2	Soldas de filete em superfícies curvas .....	68
3.6.4	Ligações parafusadas .....	71
3.6.4.1	Rasgamento entre furos ou entre furo e borda.....	71
3.6.4.2	Pressão de contato (esmagamento) com a consideração da deformação do furo.....	72

3.6.4.3 Pressão de contato (esmagamento) sem a consideração da deformação do furo.....	72
3.6.5 Ligações com parafusos auto-atarraxantes.....	74
3.6.5.1 Pressão de contato (esmagamento) e inclinação do parafuso ( <i>tilting</i> ).....	74
3.6.5.2 Resistência ao arrancamento do parafuso ( <i>pull-out</i> ).....	75
3.6.5.3 Resistência ao rasgamento do metal-base ( <i>pull-over</i> ) .....	75
3.6.6. Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas .....	76
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>82</b>
<b>BANCO DE DADOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>82</b>
4.1 Visão geral sobre o banco de dados.....	82
4.2 Barras submetidas à força axial de tração (ruptura na seção líquida na região da ligação) .....	83
4.3 Barras submetidas à força axial de compressão .....	85
4.4 Ligações soldadas .....	90
4.5 Ligações parafusadas .....	92
4.6 Ligações com parafusos auto-atarraxantes .....	96
4.7 Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas (esmagamento da alma) .....	98
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>101</b>
<b>DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DA RESISTÊNCIA .....</b>	<b>101</b>
5.1 Introdução .....	101
5.2 Barras submetidas à força axial de tração .....	103
5.2.1 escoamento da seção bruta .....	103
5.2.2 Ruptura da seção líquida .....	104
5.3 Barras submetidas à força axial de compressão .....	105
5.4 Ligações Soldadas .....	111
5.5 Ligações Parafusadas.....	113
5.5.1 Pressão de contato (esmagamento) com a consideração da deformação do furo .....	113
5.5.2 Pressão de contato (esmagamento) sem a consideração da deformação do furo .....	115

5.5.3 Rasgamento entre furo e borda .....	117
5.6 Ligações com parafusos auto-atarraxantes .....	119
5.6.1 Força de cisalhamento resistente de cálculo .....	119
5.6.2 Força de tração resistente de cálculo.....	120
5.7 Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas (esmagamento da alma).....	121
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>130</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>130</b>
6.1 Barras submetidas à força axial de tração .....	130
6.2 Barras submetidas à força axial de compressão .....	131
6.3 Ligações soldadas .....	132
6.4 Ligações parafusadas .....	132
6.5 Ligações com parafusos auto-atarraxantes .....	134
6.6 Barras sujeitas a forças concentradas em regiões sem enrijecedores transversais (esmagamento da alma).....	135
6.7 Conclusões gerais .....	136
6.8 Sugestões para trabalhos futuros .....	138
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>147</b>
<b>FORÇA AXIAL DE TRAÇÃO .....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>151</b>
<b>FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>163</b>
<b>LIGAÇÕES SOLDADAS.....</b>	<b>163</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>170</b>
<b>LIGAÇÕES PARAFUSADAS.....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXO E .....</b>	<b>196</b>
<b>LIGAÇÕES COM PARAFUSOS AUTO-ATARRAXANTES .....</b>	<b>196</b>
<b>ANEXO F .....</b>	<b>205</b>
<b>BARRAS SEM ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS SUJEITAS A FORÇAS CONCENTRADAS.....</b>	<b>205</b>

## *Lista de Tabelas*

Tabela 1.1 – Seleção dos estados-limites da NBR 14762 (2010), modos de falha e respectivos coeficientes de ponderação. ....	4
Tabela 2.1 – Comparação entre os métodos de confiabilidade AFOSM e FOSM. ....	35
Tabela 2.2 – Dados estatísticos do fator material e do fator fabricação (Adaptado: Hsiao, 1989; ABNT NBR 14762 e 2010; AISI S100, 2007) .....	37
Tabela 2.3 – Estatísticas das ações consideradas (Galambos <i>et al.</i> , 1982).....	40
Tabela 3.1 – Fator de contato, $C$ (Adaptado: AISI S100, 2007).....	73
Tabela 3.2 – Fator de modificação, $m_f$ , para o tipo de ligação por contato (Adaptado: AISI S100, 2007) .....	73
Tabela 3.3 – Coeficientes de ponderação da resistência e coeficientes para cálculo de $F_{Rd}$ em perfis I ( $c/h \leq 1,0$ ) .....	80
Tabela 3.4 – Coeficientes de ponderação da resistência e coeficientes para cálculo de $F_{Rd}$ em perfil U ( $c/h \leq 2,0$ ) .....	80
Tabela 3.5 – Coeficientes de ponderação da resistência e coeficientes para cálculo de $F_{Rd}$ em perfil Z ( $c/h \leq 2,0$ ).....	81
Tabela 3.6 – Coeficientes de ponderação da resistência e coeficientes para cálculo de $F_{Rd}$ em perfil cartola ( $c/h \leq 2,0$ ) .....	81
Tabela 4.1 – Grupos de dados experimentais de barras tracionadas (RSL) .....	85
Tabela 4.2 – Grupos de dados experimentais de barras submetidas à compressão centrada .....	89
Tabela 4.3 – Grupos de dados experimentais de ligações soldadas.....	92
Tabela 4.4 – Grupos de dados experimentais de ligações parafusadas .....	95
Tabela 4.5 – Grupos de dados experimentais de ligações com parafusos auto-atarraxantes .....	98
Tabela 4.6 – Grupos de dados experimentais de barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas .....	100
Tabela 5.1 – Coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para escoamento da seção bruta .....	104
Tabela 5.2 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para o estado-limite RSL.....	105

Tabela 5.3 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para compressão (todos os dados).....	106
Tabela 5.4 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para compressão (Perfis U) .....	107
Tabela 5.5 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para compressão (Perfis U <sub>e</sub> ).....	108
Tabela 5.6 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para compressão (modo global) .....	109
Tabela 5.7 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para compressão (modo local) .....	109
Tabela 5.8 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para compressão (modo distorcional)	110
Tabela 5.9 – Estado-limite último de ruptura do metal-base .....	111
Tabela 5.10 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para ligações soldadas .....	112
Tabela 5.11 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para EPF (chapas) .....	114
Tabela 5.12 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para EPF (perfis) .....	115
Tabela 5.13 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para EPF (chapas) .....	116
Tabela 5.14 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para rasgamento entre furo e borda....	118
Tabela 5.15 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para rasgamento entre furo e borda (novo cálculo).....	119
Tabela 5.16 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para força de cisalhamento (PAA).....	120
Tabela 5.17 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para força de tração (PAA) .....	121

Tabela 5.18 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para esmagamento da alma (perfil $I_e$ )	123
Tabela 5.19 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para esmagamento da alma (perfil $U_e$ )	124
Tabela 5.20 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para esmagamento da alma (perfil U)	125
Tabela 5.21 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para esmagamento da alma (seção $Z_e$ )	126
Tabela 5.22 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade $\beta$ e coeficiente de ponderação da resistência $\gamma$ para esmagamento da alma (perfil $C_r$ )	127
Tabela 5.23 – Coeficientes de ponderação da resistência obtidos com os dados de calibração do AISI-LRFD e AISI-LSD para barra composta (perfil I)	128
Tabela 5.24 – Coeficientes de ponderação da resistência obtidos com os dados de calibração do AISI-LRFD e AISI-LSD para perfil U (simples e enrijecido)	128
Tabela 5.25 – Coeficientes de ponderação da resistência obtidos com os dados de calibração do AISI-LRFD e AISI-LSD para perfil $Z_e$	128
Tabela 5.26 – Coeficientes de ponderação da resistência obtidos com os dados de calibração do AISI-LRFD e AISI-LSD para perfil $C_r$	129
Tabela 6.1 – Coeficientes de ponderação sugeridos para a combinação de ações da ABNT NBR 14762 (2010), em função de $\beta_o$ e da razão $D_n/L_n$	137

## *Lista de Figuras*

Figura 2.1 – Evolução das normas de projeto.....	12
Figura 2.2 – Função densidade de probabilidade $f_R(r)$ e $f_Q(q)$ (Ang e Tang, 1990). .....	20
Figura 2.3 – Ilustração do conceito de estado-limite. ....	22
Figura 2.4 – Região de integração para determinação da probabilidade de falha (adaptado de Melchers, 1999).....	22
Figura 2.5 – Classificação dos métodos de análise de confiabilidade (adaptado de Hurtado e Alvarez, 2003).....	24
Figura 2.6 – Curva de distribuição normal .....	27
Figura 2.7 – Definição do índice de confiabilidade $\beta$ .....	27
Figura 2.8 – Problema linear no sistema de coordenadas originais (Hsiao, 1989).....	30
Figura 2.9 – Problema linear no sistema de coordenadas reduzidas (Hsiao, 1989) .....	30
Figura 2.10 – Índice de confiabilidade de Hasofer-Lind: função desempenho não linear .....	31
Figura 2.11 – Fluxograma do método AFOSM (Hasofer-Lind).....	34
Figura 2.12 – Distribuição de frequência e PDF (lognormal) de $P$ (compressão).....	39
Figura 2.13 – Função densidade de probabilidade de $\ln(P')$ : distribuição <i>t de Student</i> ..	45
Figura 2.14 – Variação do fator de correção $C_p$ com o número de ensaios.....	47
Figura 3.1 – Alguns tipos de seções transversais de perfis formados a frio .....	49
Figura 3.2 – Seções transversais dos perfis formados a frio de chapas corrugadas .....	49
Figura 3.3 – Processo de fabricação das chapas metálicas .....	50
Figura 3.4 – (a) Processo de conformação a frio do tipo perfilagem (b) Processo de conformação a frio por dobragem.....	51
Figura 3.5 – Distribuição de tensões residuais em chapas.....	52
Figura 3.6 – Gráfico de encruamento (Adaptado: AISI S100, 2007).....	53
Figura 3.9 - Curva de flambagem: NBR 14762 (2010) .....	61
Figura 3.10 – Coeficientes de flambagem local para vários tipos de seções.....	63
Figura 3.11 – Análise de estabilidade elástica de um perfil U enrijecido via CUFSM: protótipo C4 120x60 ensaiado por Mulligan (1983).....	65
Figura 3.12 – Solda de filete em superfícies planas (ABNT NBR 14762, 2010).....	68

Figura 3.13 – Solda de filete em superfícies curvas (Adaptado: ABNT NBR 14762, 2010) .....	70
Figura 3.14 – Dimensões para cálculo da resistência ao rasgamento do metal-base (Adaptado: ABNT NBR 14762, 2010) .....	76
Figura 4.1 – ruptura da seção líquida ocorrida em duas cantoneiras com uma aba conectada (Paula, 2006) .....	84
Figura 4.2 – Definição das condições de apoio .....	85
Figura 4.3 - Definição das condições de apoio .....	90
Figura 4.6 – Esmagamento da parede do furo em ensaio de Maiola (2004) .....	94
Figura 4.7 – Falha por rasgamento entre furo e borda da amostra SS-118-118-A307-9/16x3/4-1-DS-1.5-T1 .....	95
Figura 4.8 – Falha por esmagamento do furo/inclinação do parafuso em ligação com 4 parafusos dispostos em "quadrado" (Rogers e Hancock, 1997) .....	96
Figura 4.9 - Modos de falha observado em ligações com parafusos auto-atarraxantes (Freitas, 2004) .....	97
Figura 5.1 – Resumo das situações de calibração utilizadas .....	102

## *Lista de Símbolos*

### Letras Romanas Maiúsculas:

- $A$  - área bruta da seção transversal da barra
- $A_{ef}$  - área efetiva da seção transversal da barra
- $A_n$  - área líquida da seção transversal da barra na região da ligação
- $A_{n0}$  - área líquida da seção transversal da barra fora da região da ligação
- $C$  - fator de contato empregado no cálculo da força resistente ao esmagamento em ligações parafusadas
- $C_\gamma$  - coeficiente de calibração
- $C_p$  - fator de correção
- $C_t$  - coeficiente de redução da área líquida efetiva
- $D$  - ação permanente, *dead load*
- distância da superfície de falha à origem no espaço das variáveis reduzidas
- largura nominal do enrijecedor de borda
- $D_m$  - valor médio da ação permanente
- $D_n$  - ação permanente nominal
- $E$  - módulo de elasticidade transversal do aço
- $E_m$  - média do módulo de elasticidade transversal do aço
- $E(X)$  - valor esperado de  $X$
- $F_{a,Rd}$  - força de tração resistente de cálculo, associada ao arrancamento do parafuso
- $F_{c,Rd}$  - força de cisalhamento resistente de cálculo por parafuso, associada à resistência do metal-base
- $F_{AISI}$  - força resistente nominal obtida com base na norma americana AISI
- $F_{MLE}$  - força axial de compressão resistente nominal obtido pelo MLE
- $F_{MRD}$  - força axial de compressão resistente nominal obtido pelo MRD
- $F_{MSE}$  - força axial de compressão resistente nominal obtido pelo MSE
- $F_{NBR}$  - força resistente nominal obtida com base na norma brasileira
- $F_{teo}$  - força resistente teórica
- $F_{exp}$  - força resistente obtida experimentalmente
- $F_G$  - ação permanente
- $F_Q$  - ação variável

- $F_{G,k}$  - valor característico das ação permanente,  
 $F_{Q1}$  - ação variável principal  
 $F_{Q,k}$  - representa o valor característico da ação variável  
 $F_R$  - função de distribuição cumulativa da variável  $R$   
 $F_{Rd}$  - força resistente de cálculo, em geral  
 $F$  - variável aleatória fator fabricação  
 $F_m$  - média do fator fabricação  
 $FS$  - fator de segurança  
 $L$  - ação variável, *live load*  
- comprimento de referência empregado no cálculo do efeito *shear lag*  
- comprimento do filete de solda  
- comprimento da ligação  
- ação variável  
- comprimento da barra  
 $L_m$  - valor médio da ação variável  
 $L_n$  - ação variável nominal  
 $N_{t,Rd}$  - força axial de tração resistente de cálculo  
 $M$  - variável aleatória fator material  
 $M_m$  - média do fator material  
 $N_{c,Rd}$  - força axial de compressão resistente de cálculo  
 $N_{c,Re}$  - valor característico da força axial de compressão resistente, associado à flambagem global  
 $N_{c,Rk}$  - valor característico da força axial de compressão resistente  
 $N_{c,Rl}$  - valor característico da força axial de compressão resistente, associado à flambagem local  
 $N_{c,Rdist}$  - valor característico da força axial de compressão resistente, associado à flambagem distorcional  
 $N_{dist}$  - força axial de flambagem distorcional elástica  
 $N_e$  - força axial de flambagem global elástica  
 $N_1$  - força axial de flambagem local elástica  
 $P$  - variável aleatória coeficiente profissional  
 $P_m$  - média do coeficiente profissional

- $P_f$  - probabilidade de falha
- $Q$  - ações estruturais devido às cargas aplicadas
- $Q_m$  - valor médio da variável  $Q$
- $R$  - resistência
- $R_m$  - valor médio da variável  $R$
- $R_n$  - resistência nominal
- $U$  - coeficiente de redução da área líquida efetiva, conforme norma americana
- $V_P$  - coeficiente de variação do coeficiente profissional
- $V_M$  - coeficiente de variação do fator material
- $V_F$  - coeficiente de variação do fator fabricação
- $V_R$  - coeficiente de variação da variável  $Q$
- $V_R$  - coeficiente de variação da variável  $R$
- $\underline{X}$  - vetor das variáveis básicas de projeto  $X_1, X_2, \dots X_n$
- $\underline{X}^*$  - ponto de projeto no espaço das variáveis originais
- $Y_i$  - variável aleatória reduzida
- $Z_i$  - variável aleatória reduzida normal padrão

Letras Romanas Minúsculas:

- $b$  - largura do elemento, é a dimensão plana do elemento sem incluir dobras
- $b_{ef}$  - largura efetiva
- $b_f$  - largura nominal da mesa
- $b_w$  - largura nominal da alma
- $b_1, b_2$  - larguras das abas de cantoneiras
- $c$  - coeficiente determinístico
- comprimento, na direção longitudinal da barra, de atuação da força concentrada
- $d_f$  - dimensão do furo na direção perpendicular à sollicitação
- $d$  - diâmetro nominal do parafuso
- $d_h$  - diâmetro da cabeça ou do flange do parafuso auto-atarraxante
- $d_w$  - diâmetro da arruela do parafuso auto-atarraxante
- $d_{we}$  - diâmetro efetivo associado ao rasgamento do metal-base (*pull-over*)

- $e$  - distância, na direção da força, do centro do furo-padrão à borda mais próxima do furo adjacente ou à extremidade do elemento conectado
- base do logaritmo natural, igual a 2,718...
- $e_1; e_2$  - distâncias do centro dos furos de extremidade às respectivas bordas, na direção perpendicular à solicitação
- $f_u$  - resistência à ruptura do aço na tração
- $f_{u1}$  - resistência à ruptura na tração do elemento conectado em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso auto-atarraxante
- $f_{u2}$  - resistência à ruptura na tração do elemento conectado que não está em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso auto-atarraxante
- $f_w$  - resistência à ruptura da solda
- $f_y$  - resistência ao escoamento do aço
- $f_{ya}$  - resistência ao escoamento do aço modificada, considerando o trabalho a frio
- $f_n$  - tensão nominal
- $f_x(x)$  - função densidade de probabilidade da variável  $X$
- $f_R(r)$  - função densidade de probabilidade da variável  $R$
- $f_{R,S}(r,q)$  - função densidade de probabilidade conjunta das variáveis  $R$  e  $Q$
- $f_Q(q)$  - função densidade de probabilidade da variável  $Q$
- $g(\underline{X})$  - função de desempenho
- $g(\underline{Z})$  - estado-limite reduzido
- $g$  - espaçamento dos parafusos na direção perpendicular à solicitação
- distância entre os parafusos ou soldas na direção perpendicular ao eixo da barra
- $h$  - largura da alma (altura da parte plana da alma)
- dimensão do enrijecedor em ligações com solda de filete em superfície curva
- $k$  - coeficiente de flambagem local do elemento
- $k_l$  - coeficiente de flambagem local para a seção completa
- $k_x, k_y, k_t$  - coeficientes de flambagem global
- $\ln$  - logaritmo natural
- $\ln(R)_m$  - valor médio da variável  $\ln(R)$
- $\ln(Q)_m$  - valor médio da variável  $\ln(Q)$
- $\ln\left(\frac{R}{Q}\right)_m$  - valor médio da variável  $\ln(R/Q)$

- $m$  - grau de liberdade  
 - margem de segurança
- $m_f$  - fator de modificação para o tipo de ligação por contato empregado no cálculo da força resistente ao esmagamento em ligações parafusadas
- $n$  - número de ensaios
- $n_f$  - quantidade de furos contidos na linha de ruptura analisada
- $n_{par}$  - quantidade de parafusos
- $r_e$  - raio externo de dobramento
- $r_i$  - raio interno de dobramento
- $s$  - espaçamento dos parafusos na direção da solicitação
- $t$  - espessura da chapa ou do elemento  
 - menor espessura da parte conectada
- $t_c$  - profundidade de penetração do parafuso auto-atarraxante
- $t_{ef}$  - dimensão efetiva (garganta efetiva) da solda de penetração ou de filete
- $t_w$  - espessura da arruela
- $t_1$  - espessura do elemento conectado em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso auto-atarraxante
- $t_2$  - espessura do elemento conectado que não está em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso auto-atarraxante
- $w_1; w_2$  - pernas do filete de solda em superfícies planas
- $x$  - excentricidade da ligação
- $x^*$  - coordenada no espaço original
- $z^*$  - ponto de projeto no espaço gaussiano padrão

### Letras Gregas Maiúsculas

- $\Phi()$  - função de distribuição acumulada da variável normal padrão
- $\Sigma$  - somatório

### Letras Gregas Minúsculas

- $\alpha_i$  - cosseno diretor em relação ao eixo coordenado  $Z_i$

- $\alpha$ ;  $\alpha_r$ ;  $\alpha_c$ ;  $\alpha_h$  - coeficientes empregados no cálculo da força resistente em barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas
- $\alpha_e$  - coeficiente empregado no cálculo da força resistente ao esmagamento em ligações parafusadas
- $\beta$  - índice de confiabilidade
- $\beta_o$  - índice de confiabilidade alvo
- $\beta_g$  - índice de confiabilidade generalizado
- $\beta_{H-L}$  - índice de confiabilidade de *Hasofer e Lind*
- $\gamma$  - coeficiente de ponderação da resistência
- $\gamma_D$  - coeficiente de ponderação da ação permanente
- $\gamma_L$  - coeficiente de ponderação da ação variável
- $\gamma_g$  - coeficiente de ponderação da ação permanente
- $\gamma_q$  - coeficiente de ponderação da ação variável
- $\lambda_{dist}$  - índice de esbeltez reduzido associado à flambagem distorcional
- $\lambda_l$  - índice de esbeltez reduzido associado à flambagem local
- $\lambda_p$  - índice de esbeltez reduzido do elemento ou da seção completa
- $\lambda_o$  - índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global
- $\phi(\ )$  - função densidade de probabilidade da distribuição normal padrão
- $\phi$  - coeficiente de ponderação da resistência da norma americana AISI
- $\nu$  - coeficiente de Poisson do aço, adotado igual a 0,3
- $\theta$  - ângulo entre o plano da mesa e o plano do enrijecedor de borda simples  
- ângulo entre o plano da alma e o plano da superfície de apoio
- $\chi$  - fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem global
- $\chi_{dist}$  - fator de redução do esforço resistente, associado à flambagem distorcional
- $\mu$  - média ou valor esperado
- $\mu_g$  - valor médio da função  $g$
- $\mu_R$  - valor médio da variável  $R$
- $\mu_Q$  - valor médio da variável  $Q$
- $\mu_{R-Q}$  - valor médio da variável  $R-Q$

$\mu_{X_i}$	- valor médio da variável básica de projeto $X_i$
$\sigma$	- desvio-padrão - tensão normal, em geral
$\sigma_{adm}$	- tensão admissível
$\sigma_{cr}$	- tensão convencional de flambagem elástica de chapa
$\sigma_{lim}$	- tensão limite do comportamento elástico linear
$\sigma_g$	- desvio-padrão da função $g$
$\sigma_R$	- desvio-padrão da variável $R$
$\sigma_Q$	- desvio-padrão da variável $Q$
$\sigma_{R-Q}$	- desvio-padrão da variável $R-Q$
$\sigma_{ln(R/Q)}$	- desvio padrão da variável $\ln(R/Q)$
$\sigma^2$	- variância
$\psi$	- fator de redução das ações, fator de combinação de ações

#### Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFOSM	- Advanced First Order Second Moment
AISC	- American Institute of Steel Construction
AISI	- American Iron and Steel Institute
ASCE	- American Society of Civil Engineers
ASD	- Allowable Stress Design ou Allowable Strength Design
ASTM	- American Society for Testing and Materials
CB	- Comitês Brasileiros
CE	- Comissões de Estudos
CEE	- Comissões de Estudos Especiais
CUFSM	- Cornell University Finite Strip Method
FORM	- First Order Reliability Method
FOSM	- First Order Second Moment
FLT	- Flambagem Lateral por Torção
FS	- Fator de Segurança

LRFD	- Load and Resistance Factor Design
LSD	- Limit State Design
MLE	- Método da Largura Efetiva
MRD	- Método da Resistência Direta
MSE	- Método da Seção Efetiva
MVFOSM	- Mean-value First-order Second-moment Method
NBR	- Norma Brasileira Registrada
ONS	- Organismos de Normalização Setorial
SORM	- Second Order Reliability Method

# *Capítulo 1*

## **Introdução**

### **1.1 Generalidades**

Em um projeto estrutural, procura-se a solução mais econômica e segura possível. Isto significa que a estrutura deve apresentar-se resistente, estável, duradoura e com o menor custo.

A estrutura deve, durante toda a sua vida útil, apresentar resistência superior às solicitações, seja no âmbito da capacidade resistente dos materiais, bem como no seu aspecto global ou perda de equilíbrio. Com este intuito as normas de projeto definem uma série de restrições que se traduzem em critérios de segurança adotados para o projeto de estruturas. Tais critérios definem os estágios a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades para as quais foi projetada: são os chamados estados-limites. Assim, as estruturas são projetadas com o uso de coeficientes parciais de segurança, aplicados sobre as resistências nominal dos elementos e ações atuantes na estrutura, que tem como objetivo suprir todas as incertezas inerentes às variáveis de projeto.

Ocasionalmente, as estruturas podem deixar de desempenhar a função para qual foram projetadas. Percebe-se que o risco é inerente a um projeto estrutural, dado que as incertezas estão sempre presentes nas variáveis envolvidas, seja na avaliação das dimensões, dos valores das ações e das propriedades dos materiais, seja nas simplificações de hipóteses adotadas para o modelo estrutural. Considerando que incertezas estão sempre presentes, só é possível assegurar um desempenho adequado em termos probabilísticos, ou seja, em termos de uma probabilidade de falha.

A Teoria da Confiabilidade Estrutural é empregada com o objetivo de melhor avaliar o desempenho estrutural. As variáveis de projeto são tratadas como aleatórias, com a modelagem de suas incertezas por meio de distribuições de probabilidade adequadas.

A partir dos trabalhos básicos de Freudenthal (1947, 1961 e 1966) e das contribuições posteriores de Moses (1967), Ang (1974), Cornell (1967), Pugsley (1966) e outros, a teoria e os métodos de avaliação da confiabilidade experimentaram um grande desenvolvimento.

A confiabilidade estrutural constitui-se, portanto, em uma ferramenta valiosa para a análise da segurança das estruturas, de alternativas de projeto, fornecendo uma medida mais precisa do grau de segurança, visto que se baseia na determinação de probabilidades de falha ou índices de confiabilidade de eventos específicos traduzidos por estados-limites. Também é possível, mediante o emprego dos conceitos de confiabilidade, determinar os estados-limites mais críticos para uma determinada estrutura em função de seus elementos constituintes, resistência e condições de carregamento.

A avaliação da confiabilidade tem exercido papel importante na engenharia estrutural, uma vez que a demanda por estruturas com melhor desempenho e menor custo está aumentando, associada ao requerimento de menor probabilidade de falha. Em regra geral pode-se afirmar que quanto menor o nível de confiabilidade, maior o risco de custos envolvidos com falhas, reparos e revisões de projeto (Lewis, 1987).

Alguns trabalhos relacionados à aplicação da teoria de confiabilidade estrutural em normas de projeto têm sido desenvolvidos no Brasil, tais como Santos (2000), Castanheira (2004), Brandão (2007), Brandão *et al.* (2007, 2008a, 2008b, 2010, 2011, 2012), Bolandim (2011) e Sily (2012) que analisaram diferentes aspectos da utilização da teoria da confiabilidade a estruturas de aço.

Santos (2000) desenvolveu um trabalho sobre a confiabilidade na flexão de vigas de perfis I soldados, segundo a norma brasileira ABNT NBR 8800 (2008) “Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios”. Ele utilizou a técnica de Simulação de Monte Carlo com Amostragem por Importância Adaptativa, fazendo uma análise qualitativa da variabilidade para um mesmo critério de dimensionamento (função de estado-limite). Também foi apresentada uma metodologia prática para a uniformização da confiabilidade, permitindo o cálculo do coeficiente de resistência  $\phi$  em função de um índice de confiabilidade pré-estabelecido.

Castanheira (2004) analisou a confiabilidade de perfis laminados para a mesma situação abordada por Santos (2000). Foram utilizados dois métodos de confiabilidade: método FORM e Simulação de Monte Carlo. Os resultados obtidos foram semelhantes aos apresentados por Santos (2000).

Brandão (2007) apresentou um estudo da segurança de elementos de barras e ligações de perfis formados a frio, para vários estados-limites, abordados em algumas normas de projeto. Foram calculados índices de confiabilidade,  $\beta$ , para diversas relações "ação permanente/ação variável" e combinações de ações. O procedimento de calibração também foi abordado, com a avaliação dos coeficientes de ponderação da resistência, para as combinações de ações definidas. Os dados experimentais e a metodologia foram os mesmos utilizados na calibração da norma AISI-LRFD (2001).

Bolandim (2011) investigou modelos analíticos de previsão de força de tração resistente para ligações parafusadas em chapas finas de perfis formados a frio, de acordo com quatro especificações de projeto, incluindo a ABNT NBR 14762 (2010).

Sily (2012) fez uma avaliação probabilística da resistência à compressão axial de perfis de aço formados a frio utilizando as normas brasileira e norte-americana com o uso de simulação de Monte Carlo.

No que diz respeito ao projeto e dimensionamento de estruturas metálicas, muitos aspectos se modificaram ultimamente. Pode-se dizer que, a nível mundial, houve uma mudança conceitual, com a adoção de normas baseadas no Método dos Estados-Limites. A simplicidade dos cálculos baseados no Método das Tensões Admissíveis foi substituída pelo maior volume de cálculos baseados no Método dos Estados-Limites. O emprego de análises probabilísticas por parte das normas modernas proporciona mais informações sobre a influência das diferentes variáveis aleatórias no desempenho estrutural.

No Brasil, houve a introdução da NBR 8800 (1986) a partir do final da década de 80, baseada no Método dos Estados-Limites. Somente na década seguinte ocorreu a publicação da norma brasileira NBR 14762 (2001) – *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio*, que, baseada no método dos estados-limites, estabeleceu princípios gerais para o dimensionamento de perfis estruturais de aço formados a frio, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, com espessura máxima igual a 8 mm, conectados por parafusos ou soldas e destinados a

estruturas em geral. Em 2010 passou a vigorar uma revisão desta norma com a denominação de ABNT NBR 14762 (2010).

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo a análise da confiabilidade para barras e ligações de perfis formados a frio para os estados-limites apresentados na tabela 1.1, seguindo a metodologia de calibração utilizada na norma americana AISI S100 (2007).

**Tabela 1.1 – Seleção dos estados-limites da NBR 14762 (2010), modos de falha e respectivos coeficientes de ponderação.**

Item da norma	Modo de falha	$\gamma$
<b>9.6</b>	<b>Barras submetidas à força axial de tração</b>	
9.6.2 (a)	Escoamento da seção bruta	1,10
9.6.2 (c)	Ruptura da seção líquida na região da ligação	1,65
<b>9.7</b>	<b>Barras submetidas à força axial de compressão</b>	
9.7.2	Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção	1,20
9.7.3	Flambagem distorcional	1,20
<b>Anexo C</b>	<b>Método da Resistência Direta</b>	
C.3	Barras submetidas à compressão centrada	1,20
<b>10.2</b>	<b>Ligações soldadas</b>	
10.2.3	Soldas de filete em superfícies planas	
10.2.3 (a)	Ruptura do metal-base: solitação paralela ao eixo da solda	
	- para $L/t < 25$	1,65
	- para $L/t \geq 25$	2,00
10.2.3 (b)	Ruptura do metal-base: solitação normal ao eixo da solda	1,55
<b>10.2.4</b>	<b>Soldas de filete em superfícies curvas</b>	
10.2.4 (a)	Ruptura do metal-base: solitação normal ao eixo da solda	1,65
10.2.4 (b)	Ruptura do metal-base: solitação paralela ao eixo da solda	1,80
<b>10.3</b>	<b>Ligações parafusadas</b>	
10.3.4	Rasgamento entre furos ou entre furo e borda	1,45
10.3.5	Pressão de contato (esmagamento)	1,55
<b>10.5</b>	<b>Ligações com parafusos auto-atarraxantes</b>	
10.5.2	Força de cisalhamento resistente de cálculo	
10.5.2.1	- Resistência do metal-base	2,00
10.5.3	Força de tração resistente de cálculo	
10.5.3.1	- Arrancamento do parafuso ( <i>pull-out</i> )	2,00
10.5.3.2	- Resistência ao rasgamento do metal-base ( <i>pull-over</i> )	2,00
<b>Anexo D</b>	<b>Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas</b>	
D.1, D.2	Esmagamento da alma ( <i>web crippling</i> )	1,35

Os dados de calibração incluem os parâmetros estatísticos das variáveis aleatórias envolvidas, o nível de confiabilidade requerido, as relações entre as ações permanente e variável, além das combinações de ações. As relações entre as ações permanente e variável adotadas foram as mesmas utilizadas na calibração da norma americana, 1/5 (LRFD-*Load and Resistance Factor Design*) e 1/3 (LSD-*Limit States Design*). As combinações de ações foram obtidas das normas americana e brasileira:  $1,2D_n + 1,6L_n$  (AISI-LRFD, 2007) e  $1,25D_n + 1,5L_n$  (AISI-LSD, 2007, NBR 14762, 2010).

A determinação dos coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , para os estados-limites considerados neste trabalho, foi obtida para os níveis de confiabilidade geralmente empregados nos procedimentos de calibração de normas de perfis formados a frio.

Para a realização desta tarefa foi utilizado na análise da confiabilidade estrutural o Método de Primeira Ordem e do Segundo Momento (FOSM - *First Order Second Moment Method*), onde a incerteza é expressa através da variância ou do coeficiente de variação.

### **1.3 Metodologia**

Para cumprir os objetivos deste trabalho, primeiramente foi elaborado um banco de dados de resultados experimentais de diversos autores, para barras e ligações, conforme os estados-limites apresentados na tabela 1.1. Para cada um dos protótipos dos ensaios foram obtidas as forças resistentes teóricas, segundo a ABNT NBR 14762 (2010). A relação entre os resultados teóricos e experimentais fornece um resultado estatístico que representa o erro do modelo de cálculo, também chamado de coeficiente profissional. Essa relação possui características estocásticas e pode ser considerada mais uma variável aleatória que caracteriza a variabilidade da resistência de barras e ligações. Os parâmetros estatísticos que representam incertezas do material, geométricas e das ações, foram obtidos de Galambos *et al.* (1982), Hsiao (1989), além das normas ABNT NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007).

Em seguida foram definidos os demais parâmetros de calibração, ou seja, as relações "ação permanente/ação variável", as combinações de ações últimas normais e

os níveis de segurança. Foi empregado o método FOSM para obtenção dos índices de confiabilidade,  $\beta$ , em função de coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , definidos pela norma brasileira. Finalmente, foram calculados os coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , uma vez definido o nível de segurança a ser adotado.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. No presente capítulo é apresentada uma visão geral do trabalho desenvolvido e seus objetivos. Além disso, este capítulo apresenta uma breve descrição do papel da confiabilidade estrutural em normas de projeto.

O capítulo 2 apresenta uma introdução à confiabilidade estrutural, incluindo teoria e métodos de análise da confiabilidade, Método das Tensões Admissíveis, Método dos Estados-Limites, calibração de normas e método do segundo momento. Neste capítulo também são apresentadas as estatísticas (média e coeficiente de variação) das variáveis básicas das propriedades mecânicas do material, propriedades geométricas e ações.

O capítulo 3 apresenta algumas considerações sobre perfis formados a frio. Também apresenta um breve histórico sobre o desenvolvimento das normas de projeto. Em seguida são apresentadas as recomendações de cálculo da ABNT NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007), relativas ao dimensionamento de barras e ligações, conforme os itens abaixo:

- barras submetidas à força axial de tração,
- barras submetidas à força axial de compressão,
- ligações soldadas, ligações parafusadas,
- ligações com parafusos auto-atarraxantes,
- barras sujeitas ao esmagamento da alma (*web crippling*).

O capítulo 4 apresenta o banco de dados de ensaios de barras e ligações que foram utilizados na obtenção das estatísticas do coeficiente profissional. São realizadas abordagens sobre a referência de cada conjunto de dados, além da descrição dos programas experimentais e dos tipos de falha envolvidos.

O capítulo 5 trata da avaliação da confiabilidade de barras e ligações. São apresentados os resultados das estatísticas do coeficiente profissional, ou seja, a média e coeficiente de variação. Também são apresentados os resultados da calibração, representados pelo coeficiente de ponderação da resistência correspondente a cada estado-limite estudado.

Conclusões acerca do trabalho realizado e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no capítulo 6.

Os anexos A a F apresentam o banco de dados completo com detalhes sobre cada arranjo experimental, juntamente com as relações entre os valores das resistências medidas ou ensaiadas e as previstas pelas equações de projeto (previsões normativas).

## *Capítulo 2*

# **Confiabilidade Estrutural**

## **2.1 Introdução**

As estruturas devem oferecer segurança e boas condições de utilização. O termo segurança significa que o artefato, seja um edifício, uma ponte ou um aeroplano, não se romperá ou falhará, durante sua vida útil, de nenhuma maneira que possa matar ou ferir seus usuários ou causá-los grande perda econômica. O termo utilização cobre o requerimento que os ocupantes da estrutura não sintam desconforto ou perdas financeiras devido aos esforços aos quais a estrutura fica sujeita. Uma estrutura bem projetada deve ser segura, útil e otimizada em termos de custos. Entretanto, na prática, não é fácil alcançar este princípio de otimização (Galambos, 1982).

Neste contexto, normas de dimensionamento se tornaram necessárias no intuito de buscar uma maior uniformidade. Os critérios de dimensionamento devem ser tão simples quanto possível e desenvolvidos de maneira que possam ser usados pelos profissionais, sem incorrer em complicações desnecessárias. Independente do formato do critério adotado, este deve garantir a segurança estrutural.

Uma estrutura deve ser projetada prevendo-se a possibilidade de excesso de carga, que pode surgir a partir de mudanças no uso para o qual foi proposta, subestimação dos efeitos das cargas, simplificação na análise estrutural e variações no processo construtivo. Além disso, deve-se prevenir a possibilidade da resistência dos materiais ser menor do que a especificada, bem como desvios nas dimensões dos componentes estruturais (Salmon e Johnson, 1990). Concluí-se que a confiabilidade estrutural está relacionada com as variáveis que descrevem o sistema estrutural, mais precisamente com a variabilidade das mesmas. Esta variabilidade apresenta-se nos sistemas estruturais sob forma de incertezas.

Em uma análise de confiabilidade, nem todas as incertezas podem ser levadas em conta, o que resulta em uma confiabilidade estimada, chamada de confiabilidade “nominal” ou “formal”. O uso desta confiabilidade “nominal” fica restrito a

comparações entre sistemas estruturais em que as mesmas incertezas são adotadas. Entretanto, para objetivos práticos, a confiabilidade “nominal” pode ser aceita como uma medida da probabilidade de falha determinada mais acuradamente se for interpretada no mesmo sentido que o coeficiente de ponderação da resistência e o coeficiente de ponderação das ações têm sido usados, como medida puramente nominal.

Quando a confiabilidade “nominal” é usada como uma medida de segurança de uma estrutura contra o critério de risco mais geral, as incertezas relacionadas aos erros humanos passam a ser mais influentes. No entanto, tal influência não altera o valor mais apropriado da confiabilidade “nominal”. Por esta razão é racional o uso de medidas de segurança nominais para a verificação de projetos e avaliação de risco, bem como nas normas de dimensionamento estrutural (Melchers, 1999).

## **2.2 Classificação das incertezas**

Uma vez definidos pelo projetista os estados-limites relevantes ao sistema estrutural, deve-se calcular o nível de segurança com respeito aos mesmos. O primeiro passo é identificar as incertezas presentes no projeto.

Em geral, o desempenho de um sistema estrutural responde a leis complexas. Portanto, vários tipos de incertezas podem estar presentes no projeto deste sistema. As incertezas podem ser devidas à experiência não consolidada, à capacidade intelectual humana limitada e ao caráter incerto do futuro.

A identificação de todas as incertezas envolvidas em projeto estrutural é praticamente impossível. Apesar desta limitação, existem várias maneiras de se classificar os tipos de incertezas. Uma delas classifica as incertezas em dois grandes grupos: (1) incertezas aleatórias ou intrínsecas, que se referem àquelas incertezas inerentes a um sistema; e (2) incertezas epistêmicas, aquelas que podem ser reduzidas com dados e informações adicionais, com modelos mais refinados e com melhor estimativa dos parâmetros.

Uma classificação mais detalhada das incertezas é apresentada por Melchers (1999):

- *Incertezas fenomenológicas*, associadas à ocorrência de eventos imprevisíveis, devidas ao desconhecimento de qualquer aspecto de um possível comportamento estrutural sob condições de serviço ou condições extremas;
- *Incertezas de avaliação*, associadas à definição e à quantificação do desempenho do sistema estrutural, bem como à caracterização dos estados-limites;
- *Incertezas do modelo*, associadas às simplificações e às hipóteses adotadas na modelagem do sistema estrutural, ao emprego de novos materiais, ao uso de técnicas construtivas. Este tipo de incerteza é devido, em geral, à falta de conhecimento, mas pode ser reduzida com pesquisa ou aumento da informação disponível;
- *Incertezas estatísticas*, associadas à extrapolação dos parâmetros estatísticos extraídos de populações finitas;
- *Incertezas devidas a fatores humanos*, associadas aos erros humanos ou à intervenção humana no comportamento do sistema estrutural;
- *Incertezas físicas*, associadas à aleatoriedade inerente às variáveis de projeto. Podem ser reduzidas com aumento dos dados disponíveis, ou em alguns casos, com o controle de qualidade.

Como exemplo de incertezas físicas presentes em um projeto estrutural, cita-se, com relação:

1. Aos materiais
  - resistência ao escoamento do aço,
  - módulo de elasticidade do aço;
2. Às dimensões
  - dimensões da seção transversal,
3. Às ações
  - ações permanentes,
  - ações variáveis,
  - ações impostas (exemplos: temperatura, recalque).

## 2.3 A Função das normas de projeto

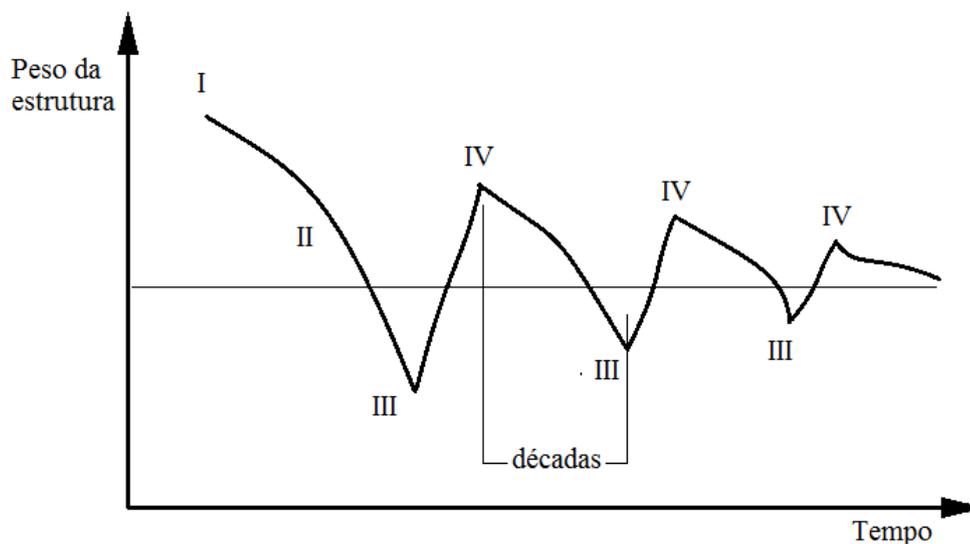
Uma norma de projeto é um padrão comum a partir do qual todas as estruturas de um mesmo tipo são mensuradas. Na fase de projeto, a norma faz o papel de regulador para assegurar que todas as estruturas daquela população de edificações obedeçam aos mesmos critérios mínimos. A verificação da conformidade com a norma é um trabalho árduo, porém necessário. A conformidade com a norma protege os projetistas contra difamação, caso o que ocorra errado esteja coberto pela norma. Usualmente, conformidade com uma norma é identificada pelos engenheiros, governo e sociedade, como segurança estrutural. Na realidade, isto não é totalmente verdade, porque conformidade com a norma assegura para sociedade que existe uma chance pequena, mas aceitável, que um mau funcionamento da estrutura ocorra (Galambos, 1982).

As normas podem ser interpretadas também como ferramentas de previsão, no sentido em que o engenheiro calculista, seguindo suas prescrições, pode esperar que a estrutura resultante seja suficientemente segura e útil, durante o período de vida esperado. Entretanto, durante a etapa de projeto, alguns problemas não são conhecidos com qualquer grau de certeza e apenas podem ser estimados. A maneira como uma norma é estruturada para incluir estas incertezas afetar a utilidade esperada para estruturas projetadas segundo seus critérios.

A evolução das normas de cálculo é ilustrada na figura 2.1, onde o peso da estrutura, representando o custo da construção, é expresso em função do tempo. Quando uma determinada estrutura é utilizada pela primeira vez (estágio I), geralmente seu custo é elevado em consequência devido do peso, devido à inexperiência e falta de convicção. Se experiências bem sucedidas são conseguidas, os engenheiros de cálculo ficam mais confiantes e o peso tende a diminuir (estágio II). Esta tendência às vezes continua até ocorrerem falhas estruturais (estágio III), quando as exigências de peso aumentam novamente, em geral mais do que o necessário. O peso eventualmente decresce gradualmente até que um nível de cálculo satisfatório, testado com o tempo, seja alcançado (estágio IV).

O processo descrito pela figura 2.1 é lento, oneroso e algumas vezes calamitoso. Diversas pesquisas em cálculo probabilístico têm como objetivo a redução deste tempo

bem como o desenvolvimento de esquemas de calibração de normas que permitam evolução mais rápida de otimização.



**Figura 2.1 – Evolução das normas de projeto**

A partir de 1960 surgem os estudos para o projeto em estados-limites e a ideia de que os parâmetros de cálculo podem ser racionalmente quantificados através da teoria da probabilidade. Do ponto de vista científico, é necessária uma abordagem que melhor quantifique o desempenho das estruturas, o que pode ser feito através da teoria da confiabilidade.

## 2.4 Classificação dos métodos de confiabilidade

Devido à grande variedade de idealizações nos modelos de confiabilidade estrutural e às várias maneiras de combinar estas idealizações de modo a adequá-las a um tipo de dimensionamento, uma classificação faz-se necessária. Os métodos de confiabilidade estrutural são divididos em níveis, de acordo com a quantidade de informação usada e disponível sobre o problema estrutural.

Os métodos de confiabilidade que usam os princípios das “tensões admissíveis” são chamados *métodos do nível 0*. No método das tensões admissíveis todas as ações são tratadas similarmente e as tensões limites são reduzidas por um fator de segurança global.

Os métodos de confiabilidade que empregam um valor característico para cada valor “incerto” são chamados *métodos do nível I*. Como exemplos têm-se os formatos do tipo Método dos Estados-Limites.

Os métodos de confiabilidade que empregam dois valores para cada parâmetro “incerto” (usualmente média e variância) e uma medida da correlação entre parâmetros (usualmente covariância) são chamados *métodos do nível II*. Os métodos do índice de confiabilidade são exemplos de métodos do nível II.

Os métodos de confiabilidade que empregam a probabilidade de falha da estrutura como medida de sua confiabilidade, nos quais a função densidade de probabilidade das variáveis básicas é requerida, são chamados *métodos do nível III*.

Os métodos que combinam a confiabilidade com a otimização estrutural, são chamados *métodos do nível IV*. Nestes métodos, todos os custos incorridos ao longo da vida útil devem ser calculados e referidos ao tempo presente. O objetivo então é a minimização do custo total. Uma abordagem probabilística do problema da segurança estrutural combinada com processos de otimização é considerado um grande avanço para a engenharia.

O princípio de um método de confiabilidade é justificado em termos de um método de nível mais elevado. Desta maneira, um método de nível II pode ser justificado no nível II, no qual o método de nível I deve fornecer um índice de confiabilidade que é próximo a um valor alvo. Os parâmetros de um dado método são então determinados por calibração para aproximar o nível mais elevado. Os métodos do nível I nas novas normas de dimensionamento são rotineiramente calibrados pelos métodos do nível II ou nível III (Madsen *et al.*, 1986).

## **2.5 Considerações de Segurança nas Normas**

Para uma estrutura ser considerada adequada, a mesma deve estar verificada tanto quanto aos possíveis estados-limites últimos, bem como quanto aos estados-limites de serviço. Os estados-limites últimos se relacionam com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil, durante a construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional. Os

estados-limites de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização.

A principal preocupação das normas é que na fase de projeto não são conhecidas com certeza as propriedades da estrutura nem a magnitude das cargas ao longo da vida útil. Para lidar com estas incertezas, tradicionalmente, as normas usam “fatores de segurança” (Galambos, 1992).

A metodologia de cálculo estrutural tradicional utilizada na maior parte do século XX foi a de tensões admissíveis. Ela teve origem na metade do século XIX quando os princípios de métodos viáveis de análise linear elástica foram formulados, o que levou convenientemente ao cálculo de tensões.

O cálculo em tensões admissíveis é muito atrativo, fácil de usar do ponto de vista computacional e é de fácil compreensão. Então, por que a mudança? Inicialmente, o método de cálculo em tensões admissíveis dá pouca informação sobre a capacidade real da estrutura. Para diferentes tipos de estruturas, a relação da ação limite baseada em tensões admissíveis para a resistência última é até certo ponto variável. Isto é especialmente verdade para estruturas estaticamente indeterminadas. Para muitas estruturas a suposição de linearidade entre tensões e deformações, esforços e ações, não é muito realista até mesmo sob níveis de ação de serviço. Ficou também evidente para muitos engenheiros, que o método de tensões admissíveis não foi uma ferramenta de cálculo muito econômica. Isto levou ao desenvolvimento de métodos de cálculo plástico para estruturas de aço no período de 1940 a 1950. Outros pesquisadores começaram a perceber a possibilidade de quantificar as incertezas que são a base dos fatores de segurança, usando teoria de probabilidade.

A partir de extensa pesquisa do comportamento de resistência última de diversos tipos de estruturas e ligações, surgiram as primeiras normas de projeto baseadas na capacidade última e, eventualmente, conhecidas como normas em estados-limites.

A seguir, discutem-se os principais métodos para a incorporação de critérios de segurança nas normas técnicas, a saber: o “Método das Tensões Admissíveis” e o “Método dos Estados-Limites”.

### 2.5.1 Método das Tensões Admissíveis

O Método das Tensões Admissíveis (*Allowable Stress Design - ASD*) assume linearidade entre tensões e deformações na estrutura. No método das tensões admissíveis, a filosofia de dimensionamento consiste em se calcular a tensão  $\sigma$ , no regime elástico-linear para o carregamento máximo esperado e compará-la à tensão admissível  $\sigma_{adm}$ , que é uma fração da tensão limite. A tensão limite define o nível de tensão a partir do qual o comportamento elástico-linear não mais se aplica.

Este critério de projeto pode ser definido como se segue:

$$\sigma \leq \sigma_{adm} = \frac{\sigma_{lim}}{FS} \quad (2.1)$$

onde  $FS$  é o fator de segurança.

A interpretação tradicional do método das tensões admissíveis é:

- sob cargas de serviço a estrutura tem um comportamento elástico-linear;
- resistência e carregamento são incertos, mas é postulado que, um limite superior para o carregamento e um limite inferior para a resistência (valores característicos) podem ser estabelecidos.

Tensões admissíveis têm sido a filosofia principal de projeto durante os últimos 100 anos. A partir da década de 1970, o projeto estrutural vem evoluindo em direção a procedimentos mais racionais, baseados em probabilidades, e que vem sendo conhecido como estados-limites. O projeto pelos estados-limites inclui o método conhecido como Método dos Estados-Limites (*Load and Resistance Factors Design, LRFD*).

### 2.5.2 Método dos Estados-Limites

Existem muitas objeções ao método das tensões admissíveis no tratamento do problema da segurança estrutural, tanto do ponto de vista científico, probabilístico ou econômico. Tais objeções já eram, em sua maioria, conhecidas dos pesquisadores há décadas. Os esforços para desenvolver outro método de projeto que acomodaria estas objeções começaram na década de 30 na União Soviética e, na década de 40 na Inglaterra e nos Estados Unidos (Galambos, 1992).

No sentido de minorar as objeções relativas ao Método das Tensões Admissíveis, foi desenvolvido o Método dos Estados-Limites. Um estado-limite é uma

condição onde a estrutura ou elemento estrutural torna-se inadequado para desempenhar a função proposta. No Método dos Estados-Limites, o projeto estrutural começará com a verificação da resistência última (para segurança humana), seguida da verificação do estado-limite de utilização.

O Método dos Estados-Limites é também conhecido com o método semi-probabilístico, fundamentado em análise estatística com coeficientes de ponderação aplicados tanto às ações quanto às resistências dos materiais, porém admitindo o comportamento estrutural como determinístico.

A ideia central deste critério é que as resistências devem ser minoradas e as cargas devem ser majoradas. O formato geral deste critério de projeto é:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (2.2)$$

onde,

$\phi < 1,0$  é o coeficiente de ponderação da resistência.

No formato da norma ABNT NBR 14762 (2010), é adotado  $1/\gamma$ , em lugar de  $\phi$ , com  $\gamma > 1,0$ . Neste formato, a equação (2.2) pode ser reescrita como:

$$\frac{R_n}{\gamma} \geq \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (2.3)$$

onde,

$F_{Gi,k}$  representa o valor característico da  $i$ -ésima ação permanente,  $F_{Q1,k}$  representa o valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação e  $\psi_{0j} F_{Qj,k}$  representa o valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis.  $\gamma_g$  e  $\gamma_q$  e representam os coeficientes de ponderação das ações permanentes e variáveis, respectivamente. Tais coeficientes serão representados no decorrer desta tese, por  $\gamma_D$  (do inglês *dead load*) para ação permanente e  $\gamma_L$  (do inglês *live load*) para ação variável.

As principais vantagens do método dos estados-limites, em relação ao das tensões admissíveis são:

- Confiabilidade mais uniforme, pois, os coeficientes de segurança, são determinados de modo a prevenir que algum estado-limite seja ultrapassado;

- A racionalidade do Método dos Estados Limites tem sido sempre atrativa, e se tornou incentivante ao permitir uso melhor e mais econômico do material em casos especiais de combinações de cargas e configurações estruturais.
- A utilização de diferentes coeficientes de ponderação das ações para combinações envolvendo de vários tipos de ações conduz a um dimensionamento mais econômico.
- O Método dos Estados Limites permite que novas informações sobre cargas e sua distribuição estatística sejam introduzidas assim que estiverem disponíveis. Enquanto nosso conhecimento sobre as resistências é bastante elevado, o conhecimento das cargas e respectivas distribuições estatísticas é relativamente reduzido.
- Alterações nos coeficientes de ponderação das resistências ou das ações são mais facilmente introduzidas no Método dos Estados Limites que modificações no fator de segurança do Método das Tensões Admissíveis.
- Método dos Estados Limites torna o projeto com diferentes materiais mais compatível.
- Ajustes na calibração do método no futuro podem ser realizados sem muita complicação.
- O emprego do Método dos Estados Limites resulta em estruturas mais seguras, uma vez que o método leva a uma melhor previsão do comportamento da estrutura durante a vida útil.

O Método dos Estados Limites pode ser entendido como uma transição entre o Método das Tensões Admissíveis e os métodos probabilísticos, os quais se baseiam na especificação de níveis aceitáveis de probabilidade de falha, deixando para o engenheiro a tarefa de combinar as diversas variáveis aleatórias envolvidas (ações, resistências, erros de cálculo, falhas na execução, etc.) para satisfazer as probabilidades especificadas.

Duas filosofias de projeto estão atualmente em uso na norma AISC (AISC, 2005 e AISC, 2010), o Método da Resistência Admissível e o Método dos Estados-Limites. Deve-se chamar a atenção para duas alterações ocorridas na mudança de tensão admissível para resistência admissível: as equações mudaram de tensões para forças e as equações de resistência nominal são as mesmas da filosofia em estados-limites (LRFD).

### 2.5.3 Combinações últimas normais de ações

As ações são as causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Na prática, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As ações a serem adotadas no projeto das estruturas de aço e seus componentes são as estipuladas pelas normas apropriadas. Os seguintes tipos de ações nominais devem ser consideradas:

- Ações Permanentes: Têm pequena variação em torno da média, durante o tempo de vida da construção (peso próprio, revestimentos, acabamentos).
- Ações Variáveis: Têm grandes variações em torno da média, durante a vida da construção (efeito de temperatura, divisórias, equipamentos, vento).
- Ações Excepcionais: Têm durações extremamente curtas e de baixa ocorrência durante a vida da construção (explosões, choques de veículos, terremotos, incêndio).

Na evolução do Método dos Estados-Limites, logo se compreendeu que alguns tipos de ações são conhecidos mais precisamente do que outros. Por exemplo, o peso próprio tem uma menor variabilidade do que a sobrecarga ou ação de vento. O conceito de coeficientes de ponderação das ações foi introduzido para levar em consideração este fato.

Uma vez introduzidos estes coeficientes, outro problema necessita de atenção. Não é conveniente adotar para ações de pouca duração, tais como sobrecarga, vento ou terremoto, valores máximos de vida útil, simultaneamente. Têm-se tomado cuidado com este fenômeno, adotando-se os chamados fatores de combinação e de redução para as ações variáveis.

Um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezáveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período pré-estabelecido. A combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. As combinações últimas normais decorrem do uso previsto para a edificação.

Os coeficientes de ponderação das ações e das resistências são ajustados de tal maneira a se obter maior uniformidade da probabilidade de falha  $P_f$ , considerada

aceitável para uma determinada classe de estruturas. O processo de ajuste dos coeficientes de ponderação das ações e das resistências é conhecido como calibração da norma.

O lado direito da desigualdade da equação (2.3) representa os valores de cálculo dos esforços atuantes (em alguns casos específicos, das tensões atuantes), obtidos com base nas combinações últimas de ações. Utilizando o critério de combinações últimas normais de ações presentes na ABNT NBR 14762 (2010), os coeficientes de ponderação das ações adotados são:

$$\gamma_g = 1,25 \text{ (coeficiente aplicável ao peso próprio de estruturas metálicas)}$$

$\gamma_q = 1,5$  (coeficiente aplicável às demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação).

A combinação típica neste caso será  $1,25D_n + 1,5L_n$ , onde,  $D_n$  é a ação permanente, do inglês *dead load*, e  $L_n$  é a ação variável, do inglês *live load*. O subscrito  $n$  representa valores nominais para as ações.

A norma americana AISI S100 (2007) emprega duas filosofias de projeto em estados limites, o LRFD (LRFD - *Load and Resistance Factor Design*), utilizado nos Estados Unidos e México, e o LSD (*Limit state design*), utilizado no Canadá. Tais conceitos são métodos de projeto de componentes estruturais tal que o estado limite aplicável não é excedido quando a estrutura está submetida a todas as combinações de ações apropriadas. O conceito de projeto usado para os métodos LRFD e o LSD é basicamente o mesmo, com exceção de que os coeficientes de ponderação da resistência, as combinações de ações, a relação  $D_n/L_n$  adotada, e os índices de confiabilidade são um pouco diferentes. As combinações últimas normais geralmente utilizadas na norma americana AISI S100 (2007) são:  $1,2D_n + 1,6L_n$  (LRFD) e  $1,25D_n + 1,5L_n$  (LSD).

## 2.6 Métodos para análise da confiabilidade

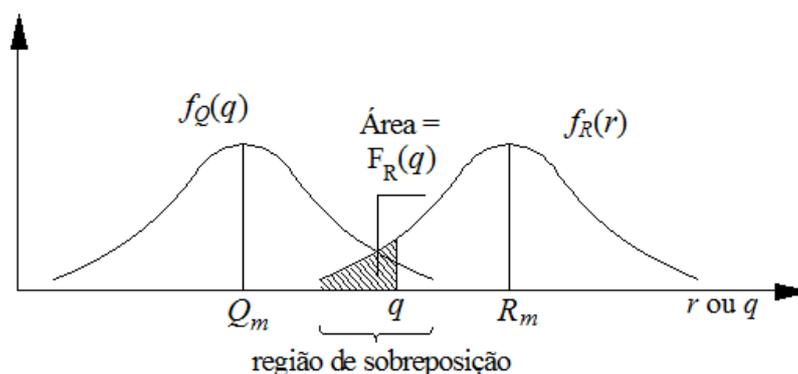
### 2.6.1 Problema básico da confiabilidade

Não é simples satisfazer aos requisitos básicos de um projeto na presença de incertezas. A figura 2.2 mostra um caso no qual se consideram apenas duas variáveis:

uma representando a demanda sobre o sistema, por exemplo, cargas na estrutura,  $Q$ , e a outra relacionada com a capacidade do sistema, por exemplo, resistência da estrutura,  $R$ . Tanto  $Q$  como  $R$  são variáveis aleatórias. Os parâmetros dessas variáveis aleatórias são suas médias,  $Q_m$  e  $R_m$ , e os seus respectivos desvios-padrão,  $\sigma_Q$  e  $\sigma_R$ . Suas correspondentes funções densidade de probabilidade podem ser representadas por  $f_Q(q)$  e  $f_R(r)$ . A probabilidade de falha depende essencialmente dos seguintes fatores:

1. *Posição relativa das duas curvas*: à medida que as duas curvas se distanciam, reduzindo a área de interseção, a probabilidade de falha diminui. A posição relativa das duas curvas é representada pelas médias  $Q_m$  e  $R_m$  das duas variáveis.

2. *A dispersão das duas curvas*: se a dispersão de ambas as curvas são reduzidas, a área de sobreposição e a probabilidade de falha também são pequenas. A dispersão é caracterizada pelos desvios padrão  $\sigma_Q$  e  $\sigma_R$  das duas variáveis. Assim, quanto melhor for a qualidade dos materiais empregados na obra, bem como a habilidade da mão de obra executora, menores serão os desvios padrão e, conseqüentemente, as curvas apresentarão menor grau de dispersão e a área de sobreposição será reduzida.



**Figura 2.2 – Função densidade de probabilidade  $f_R(r)$  e  $f_Q(q)$  (Ang e Tang, 1990).**

O problema básico da Confiabilidade Estrutural é o de garantir que a resistência,  $R$ , será superior ao efeito do carregamento,  $Q$ , ao longo da vida útil da estrutura. Considerando-se que resistência e efeito do carregamento são variáveis aleatórias, a confiabilidade de uma estrutura deve ser medida em termos da probabilidade de falha, como apresentado pela seguinte expressão:

$$P_f = P(\text{falha}) = P(R < Q) \quad (2.4)$$

Essa probabilidade pode ser calculada pela integração da função densidade de probabilidade conjunta  $f_{R,Q}(r,q)$  das variáveis aleatórias envolvidas. No caso de variáveis aleatórias independentes tem-se:

$$P_f = \int_0^{\infty} \left[ \int_0^q f_R(r) dr \right] f_Q(q) dq = \int_0^{\infty} F_R(q) f_Q(q) dq \quad (2.5)$$

onde  $F_R(q)$  é a função distribuição acumulada de  $R$  avaliada para o argumento  $q$ . A equação (2.5) estabelece que quando a carga  $Q = q$ , a probabilidade de falha é  $F_R(q)$  e como a carga é uma variável aleatória, a integração deve ser realizada para todos os valores possíveis de  $Q$ , com suas respectivas verossimilhanças representadas pela função densidade de  $Q$ . A equação (2.5) é a equação básica do conceito de projeto baseado em uma análise probabilística.

Uma das dificuldades na aplicação da equação (2.5) é o fato de que nem sempre a distribuição acumulada de  $R$  ou a função densidade de  $Q$  são disponíveis em forma explícita.

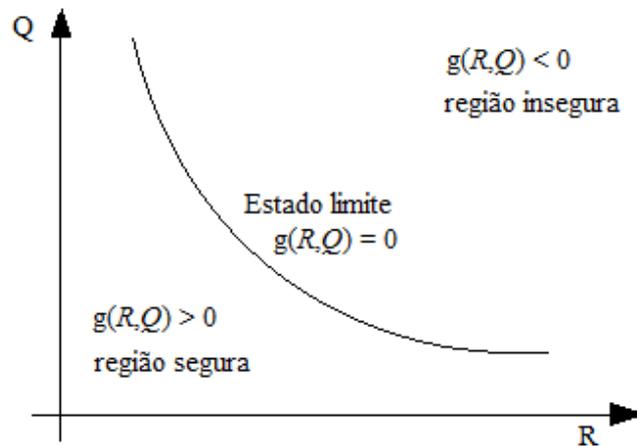
O primeiro passo para a avaliação da confiabilidade ou probabilidade de falha de uma estrutura é escolher critérios de desempenho da estrutura e os parâmetros de solicitações e resistências relevantes para o problema. Assim, no lugar das variáveis  $Q$  e  $R$  haverá um vetor de variáveis básicas  $\underline{X}$ , composto pelas variáveis aleatórias  $X_i$  e é necessário conhecer as relações funcionais entre as variáveis que correspondem a um determinado critério de desempenho. Matematicamente, essa relação é a chamada *função de desempenho*, que pode ser escrita como:

$$g(\underline{X}) = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.6)$$

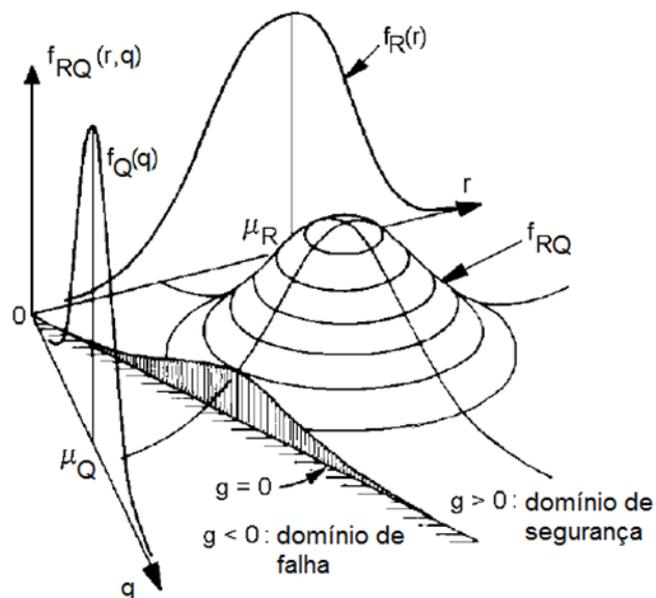
A chamada *superfície de falha*, ou *função de estado-limite* de interesse, pode ser definida no estado-limite no qual  $g(\underline{X}) = 0$ . Essa é a fronteira entre as regiões de segurança e de falha no espaço dos parâmetros de projeto e, também, representa o estado além do qual o sistema de engenharia não é mais capaz de desempenhar a função para a qual foi projetado.

O estado-limite e as regiões seguras e inseguras estão esquematizados na figura 2.3, onde, por simplicidade,  $R$  e  $Q$  são as duas variáveis aleatórias consideradas

no projeto. A figura 2.4 mostra funções densidade marginais  $f_R$  e  $f_Q$  para  $R$  e  $Q$ , respectivamente, juntamente com a função densidade bivariada  $f_{R,Q}(r,q)$ .



**Figura 2.3 – Ilustração do conceito de estado-limite.**



**Figura 2.4 – Região de integração para determinação da probabilidade de falha (adaptado de Melchers, 1999)**

A equação do estado-limite é uma parte importante no desenvolvimento de métodos de análise de confiabilidade estrutural. Um estado-limite pode ser uma função explícita ou implícita das variáveis aleatórias básicas e pode ser uma função simples ou complexa.

Usando a equação (2.5), pode-se estabelecer que a falha ocorre quando  $g(\underline{X}) < 0$ . A probabilidade de falha  $P_f$  é dada pela integral:

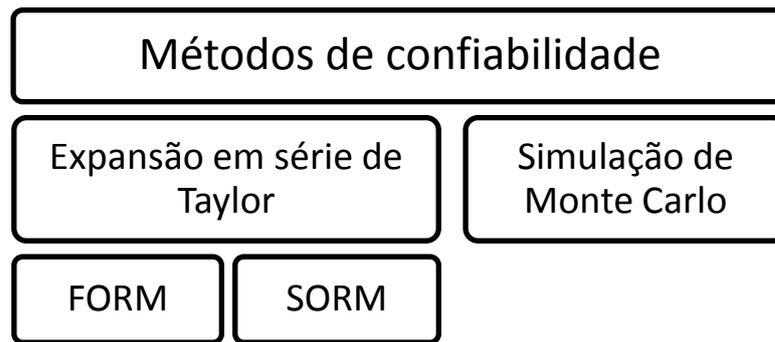
$$p_f = \int \dots \int_{g(\underline{X}) < 0} f_{\underline{X}}(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n \quad (2.7)$$

onde  $f_{\underline{X}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  é a função densidade de probabilidade conjunta para as variáveis básicas  $X_1, X_2, \dots, X_n$  e a integração é realizada na região de falha, isto é, onde  $g(\underline{X}) < 0$ . Se as variáveis básicas forem estatisticamente independentes, a distribuição conjunta pode ser substituída pelo produto das funções de densidade de probabilidade individuais.

O cálculo de  $p_f$  pela equação (2.7) é a equação fundamental da análise de confiabilidade. Em geral, a função densidade de probabilidade conjunta é muito difícil de se obter. Segundo Haldar e Mahadevan (2000), mesmo que esta informação estivesse disponível, seria extremamente complicado avaliar a integral múltipla da equação (2.7). Assim, uma possível abordagem é utilizar aproximações analíticas da integral que sejam mais simples de calcular.

Essa abordagem pode ser agrupada em dois conjuntos de métodos: *método de confiabilidade de primeira ordem* (da sigla inglesa, FORM) e *método de confiabilidade de segunda ordem* (SORM).

Hurtado e Alvarez (2003) apresentam uma classificação de métodos disponíveis para análises de confiabilidade (figura 2.5). Os métodos podem ser classificados como aqueles baseados na teoria das probabilidades (e expansões em séries de Taylor) e métodos baseados na geração de amostras sintéticas (Simulação de Monte Carlo). Na primeira categoria, podem ser encontrados métodos que procuram estimar a confiabilidade com momentos de baixa ordem (normalmente médias, variâncias e covariâncias) das respostas estruturais. A estimativa da confiabilidade de uma estrutura por esses métodos deve recorrer a várias hipóteses básicas, tais como a normalidade das variáveis analisadas. Segundo Hurtado e Alvarez (2003), dessa maneira a estimativa da confiabilidade poderia ser conseguida sem maiores dificuldades. Em outro extremo, existe a categoria dos métodos baseados na Simulação de Monte Carlo, os quais podem ser considerados métodos *diretos*, pois geralmente usam programas computacionais de Elementos Finitos para calcular as variáveis de resposta estrutural.



**Figura 2.5 – Classificação dos métodos de análise de confiabilidade (adaptado de Hurtado e Alvarez, 2003).**

## **2.6.2 Métodos de Confiabilidade de Primeira Ordem (FORM)**

Como comentado, o cálculo da probabilidade de falha  $p_f$  pela equação (2.7) geralmente não é possível na prática. Tornou-se necessário o desenvolvimento de métodos analíticos simplificados, dos quais será apresentado neste trabalho o *método de confiabilidade de primeira ordem* (FORM, “*First Order Reliability Method*”). Originalmente denominado *método avançado de primeira ordem e segundo momento* (AFOSM, “*Advanced First Order Second-Moment Method*”) é derivado do *método de primeira ordem e segundo momento* (FOSM, “*First Order Second-Moment Method*”).

No método FOSM, as informações sobre a distribuição das variáveis aleatórias são ignoradas, e na abordagem AFOSM estas informações são usadas de forma apropriada.

### **2.6.2.1 Método do Segundo Momento e Primeira Ordem (FOSM)**

O método FOSM também é conhecido na literatura como *método do valor médio segundo momento e primeira ordem* (MVFOSM - *Mean Value First Order Second-Moment Method*). A denominação é justificada pelo fato de que são baseados em aproximações em séries de Taylor de primeira ordem, onde a função desempenho é linearizada nos valores médios das variáveis aleatórias, e também porque o método usa apenas estatísticas até segunda ordem (médias, variâncias e covariâncias). Em sua forma mais simples, análises de confiabilidade em abordagens FOSM utilizam apenas os dois

primeiros momentos (médias e variâncias) das variáveis aleatórias envolvidas na análise.

Como foi dito anteriormente, os efeitos de carga,  $Q$ , e as resistências,  $R$ , são variáveis aleatórias e suas distribuições de probabilidades são geralmente desconhecidas. Apenas as médias,  $Q_m$  and  $R_m$  e os desvios-padrão,  $\sigma_Q$  e  $\sigma_R$ , são conhecidos. Com estes dados, uma medida relativa de segurança pode ser obtida utilizando o índice de confiabilidade,  $\beta$ .

Dado que a exata distribuição de probabilidade do efeito de carga,  $Q$ , e da resistência,  $R$ , não são conhecidas, é conveniente assumir que estas variáveis seguem uma distribuição de probabilidade lognormal e são estatisticamente independentes. Logo, as seguintes transformações são definidas:

$$\begin{aligned} X &= \ln(R) \\ Y &= \ln(Q) \end{aligned} \tag{2.8}$$

As equações (2.8) podem ser generalizadas para  $n$  variáveis aleatórias, cuja forma geral é  $Z = g(X_1, X_1, \dots, X_n)$ , onde  $X_1$  e  $X_2$  são variáveis aleatórias. Uma expansão em série de Taylor da função desempenho  $g(X_1, X_1, \dots, X_n)$  em torno da média resulta em:

$$Z = g(\mu_{X_1}, \mu_{X_2}, \dots, \mu_{X_n}) + \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_{X_i}) \frac{\partial g}{\partial X_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_i - \mu_{X_i})(X_j - \mu_{X_j}) \frac{\partial^2 g}{\partial X_i \partial X_j} \tag{2.9}$$

Truncando esta série nos termos lineares, obtém-se a aproximação de primeira ordem da média e variância como:

$$\begin{aligned} X_m &= \ln(R_m) \\ Y_m &= \ln(Q_m) \end{aligned} \tag{2.10}$$

A variância de  $X$  com base na aproximação de primeira ordem é obtido pela diferenciação da média,  $X_m$ , em relação à média da resistência,  $R_m$ :

$$\sigma_X^2 = \left[ \frac{d}{dR} (\ln(R_m)) \right] \sigma_R^2 \quad (2.11)$$

$$\Rightarrow \sigma_X^2 = \left[ \frac{1}{R_m} \right]^2 \sigma_R^2 = V_R^2$$

onde,  $V_R$  é o coeficiente de variação da resistência. Da mesma forma, pode-se mostrar que a variância de  $Y$  é também igual ao quadrado do coeficiente de variação do efeito de carga, isto é,  $\sigma_Y^2 = V_Q^2$ .

A média da função de falha,  $Z_m$ , em termos da média da resistência e do efeito de carga é definida como:

$$Z_m = \ln(R_m) - \ln(Q_m) = \ln\left(\frac{R_m}{Q_m}\right) \quad (2.12)$$

Uma vez que, o efeito da carga,  $Q$ , e a resistência,  $R$ , são de distribuições lognormal,  $\ln(Q)$  e  $\ln(R)$  serão de distribuição normal. Assim, a função de falha,  $Z$ , também é distribuído normalmente. A probabilidade de falha,  $p_f$ , é expresso como:

$$P_f = P(Z \leq 0) = 1 - \Phi\left(\frac{Z_m}{\sigma_Z}\right) \quad (2.13)$$

onde, o desvio padrão de  $z$ ,  $\sigma_Z \cong \sqrt{V_R^2 + V_Q^2}$ . O termo  $\Phi(z)$  representa a área sob a curva da distribuição normal até o valor de  $z$ . Se o valor de  $z$  é negativo, então usando a simetria da curva da distribuição normal,  $\Phi(-z)$  pode ser indicado por  $1 - \Phi(z)$ , como apresenta a figura 2.6.

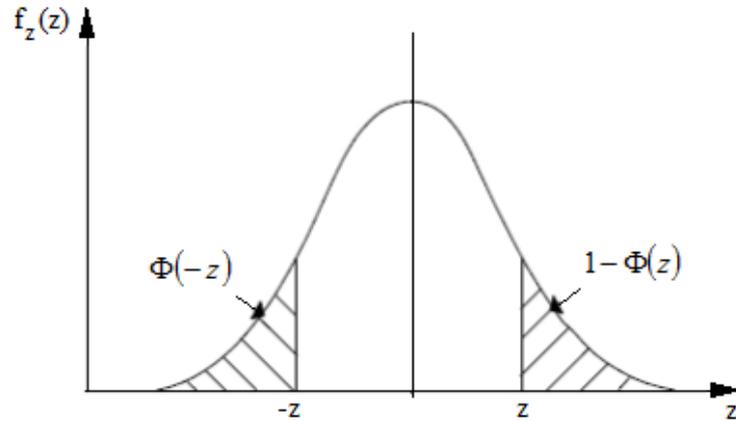
Substituindo a equação (2.12) na equação (2.13), tem-se:

$$P_f = 1 - \Phi\left(\frac{\ln\left(\frac{R_m}{Q_m}\right)}{\sqrt{V_R^2 + V_Q^2}}\right) = 1 - \Phi(\beta) \quad (2.14)$$

onde  $\Phi()$  é a função distribuição acumulada da variável normal padrão.

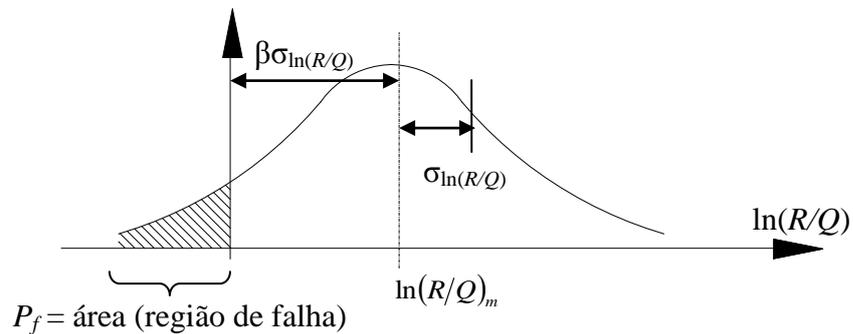
Deste modo, o índice de confiabilidade, tal como estabelecido por Ravindra e Galambos (1978), de acordo com a aproximação de primeira ordem, é expresso como:

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_m}{Q_m}\right)}{\sqrt{V_R^2 + V_Q^2}} \quad (2.15)$$



**Figura 2.6 – Curva de distribuição normal**

O índice de confiabilidade  $\beta$  constitui uma medida relativa da segurança do projeto. Quando se comparam dois ou mais projetos, o mais confiável será o que tiver o maior valor de  $\beta$ . É possível determinar as confiabilidades relativas de vários projetos mediante o esquema ilustrado na figura 2.7. Pela curva de distribuição para  $\ln(R/Q)$  mostrada na figura, observa-se que um estado-limite é atingido quando  $\ln(R/Q) \leq 0$ . A área abaixo da curva  $\ln(R/Q) \leq 0$  é a probabilidade de se violar o estado-limite. Esta área depende da distância entre a origem e o valor médio  $\ln(R/Q)_m$ .



**Figura 2.7 – Definição do índice de confiabilidade  $\beta$**

Segundo Haldar e Mahadevan (2000), o método FOSM possui algumas deficiências. O método não usa a informação da distribuição das variáveis quando esta é disponível. A função de desempenho é linearizada nos valores médios dos valores de  $X_i$ . Quando a função não é não linear, erros significativos podem ser introduzidos ao se desprezar os termos de ordem mais elevada. Além disso, o índice de confiabilidade definido na equação (2.15) não é constante sob formulações diferentes, mas mecanicamente equivalentes da mesma função desempenho. Por exemplo, os critérios de falha  $R-Q < 0$  e  $R/Q < 1$  são mecanicamente equivalentes, mas as probabilidades de falha fornecidas pelas equações podem ser diferentes, para as duas formulações.

Diversos trabalhos já foram publicados sobre o estudo e solução das deficiências acima apresentadas. Com um ganho considerável de complexidade matemática e custo computacional, é possível avaliar a confiabilidade para conjuntos de variáveis não normais, correlacionadas e com funções de desempenho não lineares, ou combinações dos casos anteriores. A abordagem conhecida como método de Hasofer-Lind é um dos procedimentos clássicos que podem ser utilizados para esta finalidade.

### 2.6.2.2 Método AFOSM para Variáveis Normais e independentes (Método de Hasofer-Lind)

O método de Hasofer-Lind (H-L) é aplicável às variáveis aleatórias com distribuição normal. O método usa variáveis normais reduzidas (padronizadas), ou seja:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}} ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.16)$$

onde  $Z_i$  é uma variável aleatória com média zero e desvio padrão unitário, ou seja, normal padrão. A equação (2.16) é utilizada para transformar o estado-limite original  $g(\underline{X}) = 0$  para o estado-limite em função das variáveis reduzidas  $g(\underline{Z}) = 0$ . Assim, transforma-se do espaço original de projeto para o espaço das variáveis reduzidas. O sistema de coordenadas  $\underline{X}$  é chamado de *sistema original de coordenadas* e o novo sistema  $\underline{Z}$  é o *sistema de coordenadas transformadas ou reduzidas*. É conveniente notar que, se a distribuição de probabilidade da variável  $X_i$  é normal, a distribuição de probabilidade de  $Z_i$  é normal padrão.

Pelo método de Hasofer-Lind, o índice de confiabilidade  $\beta_{H-L}$  é definido como a mínima distância da origem de um sistema de coordenadas formado pelas variáveis reduzidas até a superfície de estado-limite. Esta distância pode ser calculada por:

$$\beta_{H-L} = \sqrt{(\underline{\mathbf{z}}^*)^T (\underline{\mathbf{z}}^*)} \quad (2.17)$$

O ponto de mínima distância na superfície de estado-limite é chamado de *ponto de projeto*. Este ponto é representado pelo vetor  $\underline{x}^*$  do sistema de coordenadas do espaço original e pelo vetor  $\underline{\mathbf{z}}^*$  no sistema de coordenadas no espaço das variáveis reduzidas. Estes vetores representam os valores de todas as variáveis aleatórias, isto é,  $X_1, X_2, \dots, X_n$  no ponto de projeto no sistema de coordenadas do sistema original.

Como exemplo do AFOSM, o problema com duas variáveis  $R$  e  $Q$ , análogo ao considerado anteriormente, é apresentado a seguir:

$$g(\underline{\mathbf{Z}}) = \ln\left(\frac{R}{Q}\right) = \ln(R) - \ln(Q) = 0 \quad (2.18)$$

onde  $\ln(R)$  e  $\ln(Q)$  têm distribuições normais.

Um conjunto de variáveis no sistema de coordenadas reduzidas é definido por:

$$Z_R = \frac{\ln(R) - \ln(R)_m}{\sigma_{\ln(R)}} \quad (2.19)$$

$$Z_Q = \frac{\ln(Q) - \ln(Q)_m}{\sigma_{\ln(Q)}} \quad (2.20)$$

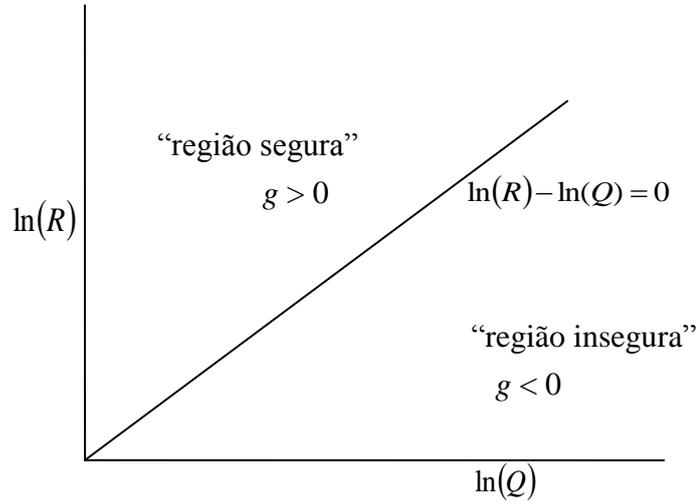
Se as equações (2.19) e (2.20) forem substituídas na equação (2.18), a equação de estado-limite no sistema de coordenadas reduzidas fica:

$$g(\underline{\mathbf{Z}}) = \sigma_{\ln(R)} Z_R - \sigma_{\ln(Q)} Z_Q + \ln(R)_m - \ln(Q)_m = 0 \quad (2.21)$$

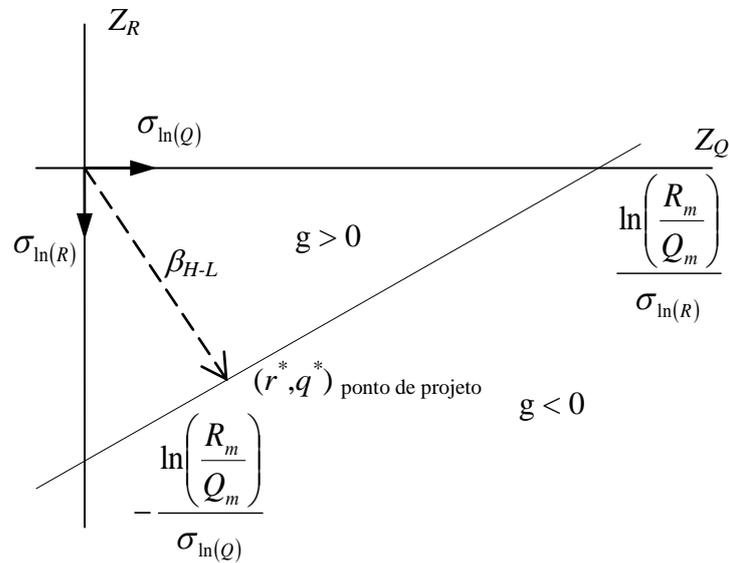
O método de Hasofer-Lind pode ser melhor entendido com a ajuda das figuras 2.8 e 2.9, que ilustram a transformação da equação do estado-limite da forma original para as variáveis reduzidas. Observa-se pela figura 2.9 que se a linha de falha (linha do estado-limite) é mais próxima da origem, a região de falha é maior, e se ela estiver mais afastada da origem, a região de falha é menor. Assim, a posição da superfície do estado-limite em relação à origem no sistema de coordenadas reduzidas é uma medida da

confiabilidade do sistema. Utilizando apenas geometria, a distância da linha de estado-limite à origem é dada pela equação (2.22), conforme já foi detalhado no item 2.6.2.1:

$$\beta = \frac{R_m - Q_m}{\sqrt{\sigma_{\ln(R)}^2 + \sigma_{\ln(Q)}^2}} \quad (2.22)$$



**Figura 2.8 – Problema linear no sistema de coordenadas originais (Hsiao, 1989)**

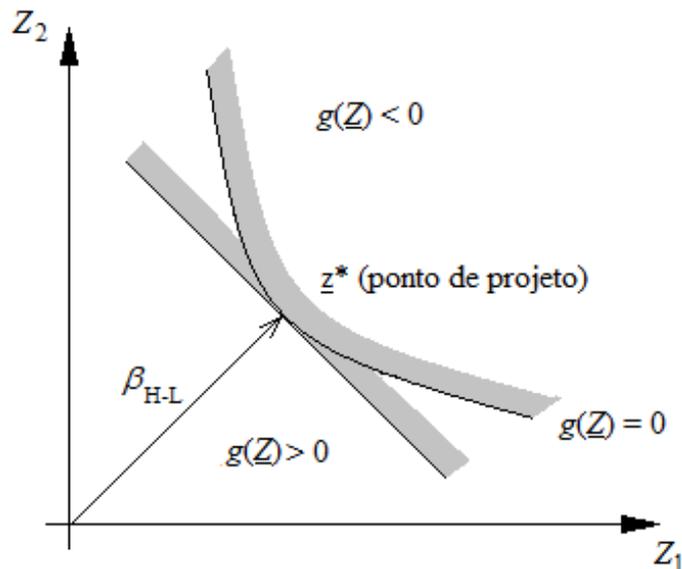


**Figura 2.9 – Problema linear no sistema de coordenadas reduzidas (Hsiao, 1989)**

Essa distância é chamada de índice de confiabilidade de Hasofer-Lind e trata-se do mesmo índice de confiabilidade definido pelo método FOSM expresso na

equação (2.14), sendo que, naquele caso,  $\ln(R)$  e  $\ln(Q)$  deveriam ser variáveis com distribuição normal. A equação (2.21) expressa o mesmo índice que foi obtido de uma forma completamente diferente, utilizando geometria. Isso indica que, se a função de estado-limite é linear e as variáveis aleatórias  $\ln(R)$  e  $\ln(Q)$  forem normais, ambos os métodos irão produzir índices de confiabilidade idênticos, mas o mesmo não ocorre em outras situações (Haldar e Mahadevan, 2000).

No caso geral, para  $n$  variáveis aleatórias representadas pelo vetor  $\underline{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  no sistema de coordenadas original e  $\underline{Z} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$  no sistema de coordenadas reduzidas, a função de estado-limite  $g(\underline{Z}) = 0$  é uma função não linear. Esse fato é representado esquematicamente na figura 2.10, para duas coordenadas. Nesse caso,  $g(\underline{Z}) > 0$  representa o estado seguro e  $g(\underline{Z}) < 0$  representa o estado de falha. Da mesma forma, o índice de confiabilidade  $\beta_{H-L}$  é aqui definido como a distância mínima da origem até o ponto de projeto no sistema de coordenadas reduzidas, podendo assim ser expresso pela equação (2.16), onde  $\underline{z}^*$  representa as coordenadas do ponto de projeto ou o ponto de mínima distância da origem até o estado-limite. Nesta definição, o índice de confiabilidade é invariante, porque, independentemente da forma na qual a equação do estado-limite é escrita, sua forma geométrica e a distância da origem permanecem constantes.



**Figura 2.10 – Índice de confiabilidade de Hasofer-Lind: função desempenho não linear**

Para uma superfície de estado-limite onde a região de falha esteja longe da origem, é possível notar na mesma figura que  $\underline{z}^*$  é o ponto de maior probabilidade de falha. É possível notar que quanto mais perto  $\underline{z}^*$  estiver da origem, maior é a probabilidade de falha. Portanto, o ponto de mínima distância na superfície de estado-limite é também o ponto de maior probabilidade de falha. O ponto de mínima distância da origem até a superfície de estado-limite,  $\underline{z}^*$ , representa a pior combinação de variáveis estocásticas e também é apropriadamente denominado de *ponto de projeto*.

Para estados-limites não lineares, o cálculo da mínima distância torna-se um problema de otimização:

$$D = \sqrt{\underline{\mathbf{Z}}^T \underline{\mathbf{Z}}} \quad (2.23)$$

Sujeito à restrição  $g(\underline{\mathbf{Z}}) = 0$

onde o vetor  $\underline{z}^*$ , a ser estimado, representa as coordenadas do ponto de cálculo na equação do estado-limite em coordenadas reduzidas. Por meio do método dos multiplicadores de Lagrange, é possível obter a expressão para a mínima distância (Ang e Tang, 1990):

$$\beta_{H-L} = \frac{-\sum_{i=1}^n z_i^* \left( \frac{\partial g}{\partial Z_i} \right)^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial Z_i} \right)^2}} \quad (2.24)$$

onde  $(\partial g / \partial Z_i)^*$  é a  $i$ -ésima derivada parcial avaliada no ponto de projeto com coordenadas  $(z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*)$ . O asterisco na derivada parcial indica que a mesma é avaliada no ponto  $(z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*)$ . O ponto de projeto em coordenadas reduzidas é dado por:

$$z_i^* = -\alpha_i \beta_{H-L}; i = 1, 2, \dots, n \quad (2.25)$$

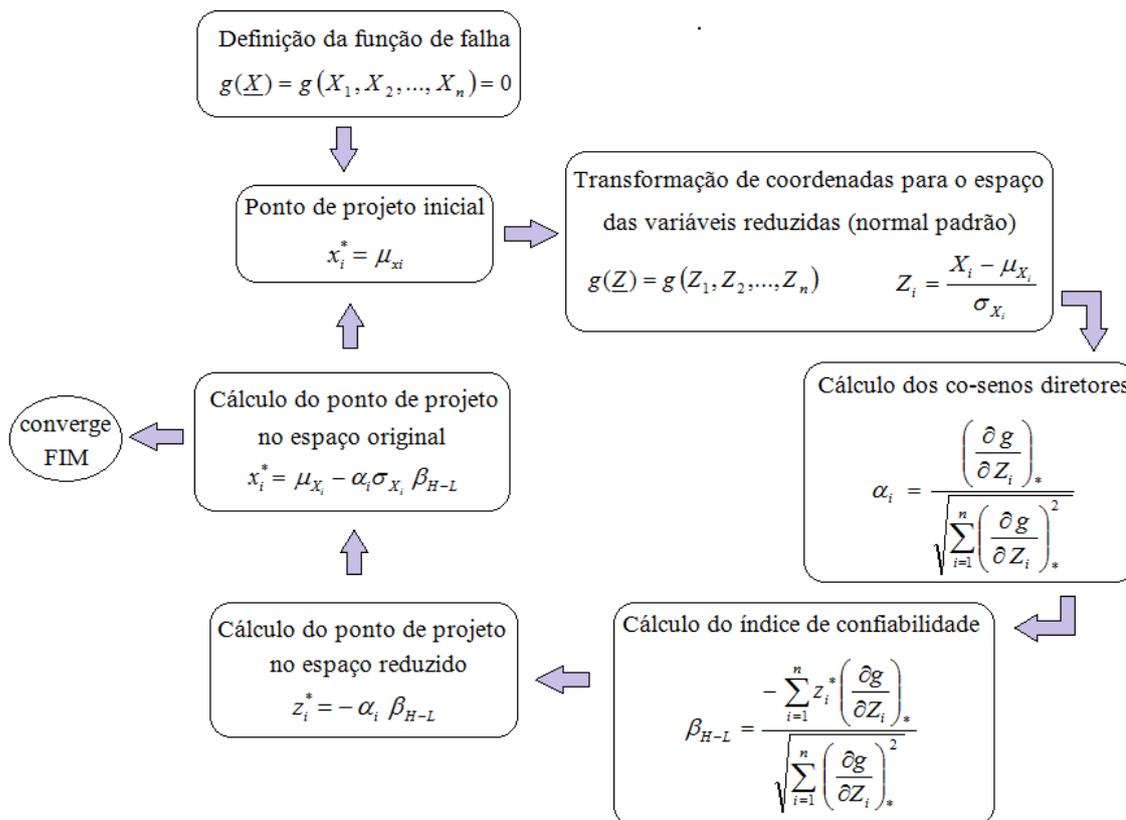
onde

$$\alpha_i = \frac{\left( \frac{\partial g}{\partial Z_i} \right)_*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial g}{\partial Z_i} \right)_*^2}} \quad (2.26)$$

são os cossenos diretores entre o vetor que representa  $\beta$  e os eixos coordenados  $Z_i$ . No espaço das coordenadas originais, o ponto de projeto é:

$$x_i^* = \mu_{x_i} - \alpha_i \sigma_{x_i} \beta_{H-L} \quad (2.27)$$

Várias observações importantes são necessárias quando se comparam os índices de segurança calculados pelo método FOSM (equação (2.15)) e pelo método AFOSM, segundo Hasofer-Lind (equação (2.24)). Sendo linear a equação de estado-limite e todas as variáveis sendo normais, os índices de segurança calculados pelos dois métodos serão iguais. Entretanto, o método FOSM não usa nenhuma informação sobre a distribuição da resistência e carga, enquanto que o método AFOSM de Hasofer-Lind é aplicável apenas quando esta distribuição é normal. A diferença mais importante é o fato de que no método FOSM o ponto de projeto é representado pelos valores médios de  $R$  e  $Q$ , indicando que este ponto não está sobre a função de estado-limite. No método AFOSM de Hasofer-Lind o ponto de projeto está sobre a função de estado-limite. Um fluxograma do método AFOSM é apresentado na figura 2.11.



**Figura 2.11 – Fluxograma do método AFOSM (Hasofer-Lind)**

O índice de confiabilidade de Hasofer-Lind pode ser relacionado exatamente com a probabilidade de falha apenas se todas as variáveis envolvidas forem estatisticamente independentes e normalmente distribuídas e se a superfície de estado-limite for linear.

Quando as informações sobre as distribuições de probabilidade de algumas ou de todas as variáveis básicas  $X_1, X_2, \dots, X_n$  estão disponíveis, o AFOSM pode ainda ser usado na determinação da probabilidade de falha  $P_f$  ou do índice de confiabilidade  $\beta$ , desde que cada distribuição seja primeiramente transformada em uma distribuição normal equivalente. Com a distribuição normal equivalente, o cálculo de  $P_f$  segue o mesmo procedimento usado para as variáveis normais (Ang e Tang, 1990).

### 2.6.2.3 Método de confiabilidade selecionado

O FOSM pode ser utilizado para se obtenção de coeficientes de ponderação das resistências, estabelecendo assim a consideração das incertezas em uma base lógica e

racional. Tal método foi utilizado nas primeiras versões de projeto por estados limites de diversas normas ou especificações, a saber: AISC (*American Institute of Steel Construction*), de 1986, CSA (*Canadian Standard Associations*), de 1974. e AISI (*American Iron and Steel Association*) de 1991. O AISI S100 (2007) tem adotado o FOSM para avaliar os coeficientes de ponderação da resistência.

**Tabela 2.1 – Comparação entre os métodos de confiabilidade AFOSM e FOSM.**

Critério	AFOSM	FOSM
Requer distribuições de probabilidade.	Não. O método considera a equação de estado-limite com variáveis aleatórias normais.	Não. Os dois primeiros momentos são suficientes.
Requer derivada da função de falha.	Sim.	Requer apenas o valor da função e seu gradiente em torno das médias das variáveis.
Eficiência.	Eficiente para número reduzido ou moderado de variáveis aleatórias.	Muito eficiente
Capacidade e precisão.	A precisão depende da função de desempenho e das distribuições de probabilidade.	Simples de usar. Em muitos casos, pode fornecer satisfatoriamente resultados precisos.
Robustez.	Pode não convergir.	Obtém solução.

Considerando que a boa aproximação entre os métodos FOSM e AFOSM (Galambos *et al.*, 1980; Ellingwood *et al.*, 1982; Hsiao, 1989) e pela simplificação do ponto de vista de custo computacional, o presente trabalho será desenvolvido com o método FOSM. A tabela 2.1 apresenta uma comparação entre os métodos AFOSM e FOSM.

## 2.7 Estatísticas da resistência

Para o desenvolvimento dos critérios de cálculo baseados no método FOSM a média e o coeficiente de variação da variável resistência,  $R_m$  e  $V_Q$ , são informações estatísticas necessárias. A resistência de um elemento estrutural pode ser escrita da seguinte forma:

$$R = R_n (PMF) \quad (2.28)$$

onde  $R_n$  é a resistência nominal do elemento estrutural,  $P$  é o coeficiente profissional (erro do modelo),  $M$  é o fator material e  $F$  é o fator fabricação.  $P$ ,  $M$  e  $F$  são variáveis

aleatórias adimensionais que refletem as hipóteses de cálculo (erro do modelo), incertezas do material e da geometria.

Pela teoria probabilística de primeira ordem e assumindo que não há correlação entre  $M$ ,  $F$  e  $P$ , a média  $R_m$  pode ser obtida pela equação (2.29) (Ravindra e Galambos, 1978).

$$R_m = R_n (P_m M_m F_m) \quad (2.29)$$

onde,

$P_m$  = média da razão entre a resistência determinada experimentalmente e a resistência calculada segundo um determinado modelo para as propriedades do material e a seção transversal;

$M_m$  = média da razão entre a resistência mecânica real do material obtida em ensaios e o valor mínimo especificado;

$F_m$  = média da razão entre a propriedade geométrica real da seção e o valor especificado (nominal).

O coeficiente de variação da variável  $R$  é igual a

$$V_R = \sqrt{V_P^2 + V_M^2 + V_F^2} \quad (2.30)$$

onde,

$V_P$  = coeficiente de variação do coeficiente profissional;

$V_M$  = coeficiente de variação do fator material;

$V_F$  = coeficiente de variação do fator fabricação.

Pelas equações (2.29) e (2.30) observa-se que os dados estatísticos necessários para determinação de  $R_m$  e  $V_R$  são  $P_m$ ,  $M_m$ ,  $F_m$ ,  $V_P$ ,  $V_M$  e  $V_F$ . Os valores de  $P_m$  e  $V_P$  podem ser determinados comparando os resultados experimentais e as resistências teóricas calculadas, por exemplo, a partir de uma prescrição normativa.

### 2.7.1 Dados estatísticos do material e propriedade geométrica

Os dados estatísticos sobre limite de escoamento de aços sem encruamento (virgens),  $M_m$  e  $V_M$ , utilizados na calibração de equações de projeto para perfis formados a frio, foram desenvolvidos por Rang *et al.* (1979a, 1979b). Logo, são recomendados os valores médios e coeficientes de variação para:

- resistência ao escoamento da chapa virgem:  $(f_y)_m = 1,10f_y$  e  $V_{fy} = 0,10$ ;
- valor médio da resistência ao escoamento do aço modificada considerando o trabalho a frio:  $(f_{ya})_m = 1,10f_{ya}$  e  $V_{fya} = 0,11$ ;
- resistência à ruptura da chapa virgem:  $(f_u)_m = 1,10f_u$  e  $V_{fu} = 0,08$ ;
- módulo de elasticidade:  $E_m = 1,00E$  e  $V_E = 0,06$ .

Conseqüentemente, os valores médios e coeficientes de variação,  $M_m$  e  $V_M$ , são:

- resistência ao escoamento da chapa virgem:  $M_m = 1,10$  e  $V_M = 0,10$ ;
- resistência ao escoamento usual considerando o trabalho a frio:  $M_m = 1,10$  e  $V_M = 0,11$ ;
- resistência à ruptura chapa virgem:  $M_m = 1,10$  e  $V_M = 0,08$ ;
- módulo de elasticidade:  $M_m = 1,00$  e  $V_M = 0,06$ .

Rang *et al.* (1979b) também fazem abordagem do efeito das dimensões da seção transversal (espessura da chapa, largura de mesa, altura da alma, dimensões dos enrijecedores, raio de curvatura interno, etc) sobre o fator fabricação,  $F$ . Com base nas suas conclusões, a média e coeficiente de variação do fator fabricação são  $F_m = 1,00$  e  $V_F = 0,05$ .

Os dados estatísticos mencionados acima são baseados em análises de várias amostras (Rang *et al.*, 1979b) e são propriedades representativas de materiais e seções transversais usadas na aplicação industrial de estruturas de aço constituídas de perfis formados a frio (PFF). Na tabela 2.2 apresentam-se os dados estatísticos que refletem as incertezas do material e geométricas utilizados no presente trabalho.

**Tabela 2.2 – Dados estatísticos do fator material e do fator fabricação (Adaptado: Hsiao, 1989; ABNT NBR 14762 e 2010; AISI S100, 2007)**

Caso em análise	$M_m$	$V_M$	$F_m$	$V_F$
Barras submetidas à tração ou à compressão	1,10	0,10	1,00	0,05
Força concentrada em seções sem enrijecedores transversais ( <i>web crippling</i> )	1,10	0,10	1,00	0,05
Ligações soldadas:				
- Solda de filete em superfícies planas: ruptura do metal-base	1,10	0,08	1,00	0,15
- Solda de filete em superfícies curvas	1,10	0,10	1,00	0,10
Ligações parafusadas:				
- Rasgamento entre furos ou entre furo e borda	1,10	0,08	1,00	0,05
- Pressão de contato (esmagamento)	1,10	0,08	1,00	0,05
- Ruptura por tração na seção líquida (RSL)	1,10	0,08	1,00	0,05
Ligações parafusadas com parafusos auto-atarraxantes:				
- Pressão de contato (esmagamento) e inclinação do parafuso ( <i>tilting</i> )	1,10	0,08	1,00	0,05
- Arrancamento do parafuso ( <i>pull-out</i> ) e rasgamento da chapa ( <i>pull-over</i> )	1,10	0,10	1,00	0,10

## 2.7.2 Coeficiente Profissional (Erro do Modelo)

Além das incertezas inerentes às variáveis básicas de projeto, a análise da confiabilidade deve incluir a incerteza do modelo relacionado à formulação do estado-limite relevante.

A descrição probabilística da resistência ou de outras propriedades dos elementos estruturais depende da descrição probabilística das propriedades componentes, tais como as dimensões da seção transversal e a resistência dos materiais. Quando estas propriedades são obtidas a partir de relações matemáticas, diferenças entre os resultados teóricos e os resultados experimentais são esperadas. Em parte, esta diferença é devida à variabilidade inerente às técnicas experimentais e às observações. Entretanto, grande parte desta diferença é resultado de simplificações introduzidas pelo modelo matemático, o qual relaciona os parâmetros materiais e geométricos ao comportamento do elemento estrutural (Melchers, 1999).

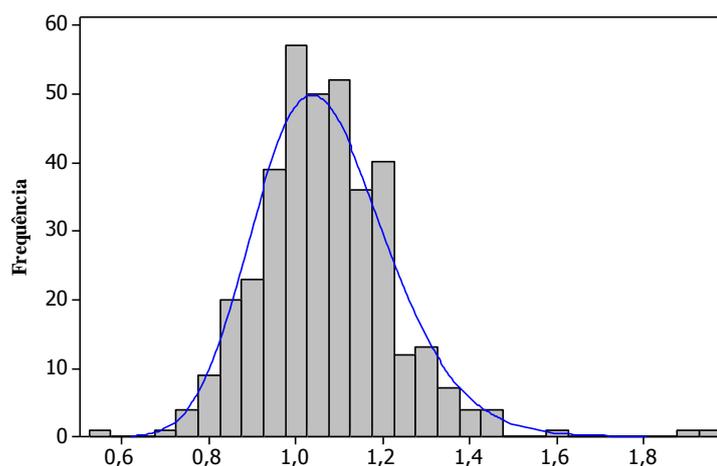
Por se tratar de uma comparação entre resultados experimentais,  $F_{exp}$ , e resultados teóricos,  $F_{teo}$ , obtidos com base em modelos matemáticos segundo previsões normativas, a variável aleatória coeficiente profissional,  $P$ , é obtida considerando os valores médios de resistência dos materiais e sem a consideração dos coeficientes de ponderação da resistência.

$$P = \frac{F_{exp}}{F_{teo}} \quad (2.31)$$

A partir dos valores do coeficiente profissional pode-se calcular a média da variável aleatória,  $P_m$ , que indica o caráter de tendenciosidade do modelo teórico. Sendo assim,  $P_m$ , que deveria resultar unitária caso o modelo representasse exatamente o fenômeno físico estudado, revela o quão conservador ou não é o modelo em questão, de modo que possíveis correções sejam feitas.

Os resultados experimentalmente obtidos de várias publicações,  $F_{exp}$ , são portanto comparados com o valor teórico,  $F_{teo}$ , que quando calculado segundo as prescrições da ABNT NBR 14762 (2010) será substituído por  $F_{NBR}$  na equação (2.31). A partir desta comparação, obtêm-se os parâmetros estatísticos,  $P_m$  e  $V_P$ , requeridos na análise da confiabilidade.

Na figura 2.12 é apresentado o histograma do coeficiente profissional obtido com dados da relação entre os resultados experimentais e resultados teóricos para força axial de compressão, apresentados no Anexo B. Nesta figura também está representada a distribuição lognormal (função densidade de probabilidade) correspondente. Com o auxílio do *software* Minitab 16, foi possível comprovar que os coeficientes profissionais podem ser descritos pela distribuição lognormal, não apenas para força axial de compressão, como também para os demais estados-limites analisados neste trabalho.



**Figura 2.12 – Distribuição de frequência e PDF (lognormal) de  $P$  (compressão)**

## 2.8. Variabilidade das ações

A maioria das combinações de ações envolvendo ações gravitacionais é representada pela soma da ação permanente com a ação variável. As combinações de ações gravitacionais governam os projetos em muitas situações práticas e são particularmente importantes (Galambos *et al.*, 1982).

As ações devidas ao peso próprio apresentam pequena variabilidade ao longo da vida útil da estrutura. Em geral, assume-se para este tipo de ação uma distribuição normal, tipicamente com média igual à ação nominal e um coeficiente de variação de 0,05-0,10. Entretanto, há evidências que as ações devidas ao peso próprio são subestimadas e uma média ligeiramente maior que o valor nominal da ação, seja 5%, seria apropriada (Melchers, 1999). A tabela 2.3 apresenta as estatísticas adotadas neste trabalho, com exceção das informações de distribuição de probabilidade, para ação permanente e ação variável, propostos por Galambos *et al.* (1982).

**Tabela 2.3 – Estatísticas das ações consideradas (Galambos *et al.*, 1982)**

Tipo de ação	$D_m/D_n^*$	$L_m/L_n^*$	$V$	Tipo de distribuição de probabilidade
Permanente ( $D$ )	1,05	-	0,10	Normal
Variável ( $L$ )	-	1,00	0,25	Valores Extremos Tipo I

\* Este é o quociente do valor médio da ação pelo valor nominal da mesma.

## 2.9. Valores alvo para os índices de confiabilidade

Em se tratando dos índices de confiabilidade  $\beta$ , sabe-se que seus valores variam consideravelmente de acordo com tipos de carregamento, materiais de construção e elementos estruturais dentro de uma dada especificação de projeto.

O índice de confiabilidade alvo  $\beta_o$  deve refletir a importância do componente para a integridade da estrutura, as consequências da falha, o modo de ruína, o tipo de material e as combinações de ações. Galambos *et al.* (1982) estabeleceram para determinadas situações de carregamento e vida útil de 50 anos, os seguintes valores para  $\beta_o$ :

- Combinação envolvendo ações gravitacionais:
  - Barras:  $\beta_o = 3,0$
  - Ligações:  $\beta_o = 4,5$
- Combinação envolvendo ações gravitacionais e vento:
  - Barras:  $\beta_o = 2,5$

Hsiao (1988) mostra por meio de um exemplo simples de cálculo de uma viga de perfil formado a frio simplesmente apoiada, a qual foi projetada de acordo com método das tensões admissíveis, que após ser definida uma razão de carregamento representativa para a realidade das estruturas de aço em perfis formados a frio entre ação permanente e ação variável ( $D_n/L_n=1/5$ ), tido como ponto de calibração, o índice de confiabilidade  $\beta$  encontrado foi de 2,79. Considerando que para outras razões de carregamento, ou para outros tipos de barras, o índice de confiabilidade poderia ser um pouco maior ou um pouco menor que esse valor de 2,79, um índice de confiabilidade alvo  $\beta_o$  de 2,5 é recomendado como um limite inferior para a especificação AISI-LRFD.

A fim de garantir que a falha de uma estrutura não se inicie nas ligações, recomenda-se um índice de confiabilidade alvo  $\beta_o$  igual a 3,5 para as ligações. Estes valores alvo de 2,5 e 3,5 para barras e ligações, respectivamente, são menores que os recomendados pelo ANSI/ASCE 7-10 (isto é, 3,0 e 4,5 respectivamente), mas são basicamente os mesmos alvos utilizados na norma americana AISC (2010) para o LRFD.

## 2.10 Procedimentos de calibração para o caso geral

### 2.10.1 Conceitos probabilísticos

Com o Método de Primeira Ordem e Segundo Momento (FOSM), a confiabilidade pode ser medida como uma função do primeiro e do segundo momento (média e variância, respectivamente) das variáveis de projeto. Esta medida definida como *índice de confiabilidade*,  $\beta$ , pode ser obtida através da equação (2.15), reescrita a seguir:

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_m}{Q_m}\right)}{\sqrt{V_R^2 + V_Q^2}} \quad (2.15)$$

Os parâmetros  $R_m$  e  $Q_m$  são as médias das variáveis  $R$  (resistência) e  $Q$  (ação).  $V_R$  e  $V_Q$  são os coeficientes de variação de  $R$  e  $Q$ . O índice de confiabilidade  $\beta$  constitui uma medida relativa da segurança do projeto. Quando se comparam dois ou mais projetos similares, o mais confiável será o que tiver o maior valor de  $\beta$ .

### 2.10.2 Formulação baseada no método dos estados-limites

Discussões sobre a abordagem dos conceitos probabilísticos do Método dos Estados-Limites são apresentadas em detalhe por muitos autores (Ellingwood *et al.*, 1980; Hsiao, 1989). Em princípio, aplica-se a seguinte desigualdade:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (2.32)$$

onde  $R_n$  é a resistência nominal,  $Q_i$  é o efeito das ações,  $\phi$  é o coeficiente de ponderação da resistência e  $\gamma_i$  é o coeficiente de ponderação das ações.

No formato da NBR 14762 (2010), adota-se um coeficiente de ponderação da resistência maior que a unidade ( $\gamma = 1/\phi$ ). Desta forma, a resistência efetiva pode ser expressa em termos de combinações normais de ações, devidamente fatoradas, como mostra a equação (2.33):

$$\frac{R_n}{\gamma} = c(\gamma_D D_n + \gamma_L L_n) = \left( \gamma_D \frac{D_n}{L_n} + \gamma_L \right) c L_n \quad (2.33)$$

onde  $\gamma_D$  é o coeficiente de ponderação da ação permanente,  $\gamma_L$  é o coeficiente de ponderação da ação variável,  $D_n$  é a ação permanente,  $L_n$  é a ação variável e  $c$  é o coeficiente determinístico, que relaciona a intensidade da ação ao efeito da mesma.

A resistência média e o coeficiente de variação são dados pelas equações (2.29) e (2.30), respectivamente.

A média do efeito das ações pode ser expressa como:

$$Q_m = \left( 1,05 \frac{D_n}{L_n} + 1 \right) c L_n \quad (2.34)$$

onde  $D_m$  é a ação permanente média e  $L_m$  é a ação variável média. Na equação (2.34) foram empregados  $D_m = 1,05 D_n$  e  $L_m = L_n$  (Galambos *et al.*, 1982). Das equações (2.29), (2.33) e (2.34), obtém-se:

$$\frac{R_m}{Q_m} = \frac{C_\gamma \gamma R_m}{R_n} \quad (2.35)$$

onde  $C_\gamma$  é o coeficiente de calibração definido por:

$$C_\gamma = \frac{\left( \gamma_D \frac{D_n}{L_n} + \gamma_L \right)}{\left( 1,05 \frac{D_n}{L_n} + 1 \right)} \quad (2.36)$$

O coeficiente de variação das ações é igual a:

$$V_Q = \frac{\sqrt{(D_m V_D)^2 + (L_m V_L)^2}}{D_m + L_m} \quad (2.37)$$

O coeficiente de variação das ações em função da relação  $D_n/L_n$  e das estatísticas das ações pode ser definido por:

$$V_Q = \frac{\sqrt{\left(1,05 \frac{D_n}{L_n}\right)^2 0,10^2 + 0,25^2}}{1,05 \frac{D_n}{L_n} + 1} \quad (2.38)$$

Combinando as equações (2.15), (2.30) e (2.35), obtêm-se as expressões do índice de confiabilidade e do coeficiente de ponderação da resistência:

$$\beta = \frac{\ln[\gamma C_\gamma (M_m F_m P_m)]}{\sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + V_Q^2}} \quad (2.39)$$

$$\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + V_Q^2}}}{C_\gamma (M_m F_m P_m)} \quad (2.40)$$

Substituindo na equação (2.36), relações  $D_n/L_n$  e os coeficientes de ponderação das ações utilizados neste trabalho, têm-se as seguintes expressões para o coeficiente de ponderação da resistência:

- Combinação 1,2 $D_n$ +1,6 $L_n$  e relação  $D_n/L_n=1/5$ :

$$\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + 0,207^2}}}{1,52 (M_m F_m P_m)} \quad (2.41)$$

- Combinação 1,2 $D_n$ +1,6 $L_n$  e relação  $D_n/L_n=1/3$ :

$$\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + 0,187^2}}}{1,48 (M_m F_m P_m)} \quad (2.42)$$

- Combinação 1,25 $D_n$ +1,5 $L_n$  e relação  $D_n/L_n=1/5$ :

$$\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + 0,207^2}}}{1,45 (M_m F_m P_m)} \quad (2.43)$$

- Combinação 1,25 $D_n$ +1,5 $L_n$  e relação  $D_n/L_n=1/3$ :

$$\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + 0,187^2}}}{1,42 (M_m F_m P_m)} \quad (2.44)$$

Observa-se que as equações (2.41) e (2.44) são as mesmas utilizadas na calibração do AISI-LRFD (2007) e AISI-LSD (2007), respectivamente. Entretanto, no

caso da calibração para força axial de compressão, foi utilizado na equação (2.44), o mesmo coeficiente de variação para a relação  $D_n/L_n$  de 1/5, ou seja,  $V_Q = 0,207$ .

### 2.10.3 Adaptações na formulação do índice de confiabilidade e coeficiente de ponderação da resistência

Na formulação de dimensionamento com base em ensaios, Hsiao (1989) sugere modificações em  $P_m$  e  $V_P$  que considerem a influência do número de ensaios ( $n$ ). As seguintes equações são propostas:

$$P'_m = C_1 P_m \quad (2.45)$$

$$V_{P'} = C_2 V_P \quad (2.46)$$

onde,

$P'_m$  = Valor médio modificado da relação entre a resistência experimental e a teórica;

$V_{P'}$  = Coeficiente de variação modificado da relação entre a resistência experimental e a teórica;

$C_1$  = Fator de correção para  $P_m$ ;

$C_2$  = Fator de correção para  $V_P$ .

Para a determinação de  $C_1$  e  $C_2$ , Pekoz e Hall (1988) recomendam que a distribuição de probabilidade de  $\ln(P')$  poderia ser tratada como *t de Student*, em vez de distribuição normal. A distribuição *t de Student* é mostrado na figura 2.13. Pode ser visto que para o grau de liberdade  $m = \infty$ , a distribuição *t de Student* se assemelha a uma distribuição normal. Além disso, a distribuição *t de Student* tem o mesmo valor médio que a distribuição normal, e sua variância é  $m/(m-2)$  vezes a variância da distribuição normal (Benjamin e Cornell, 1970). Portanto,

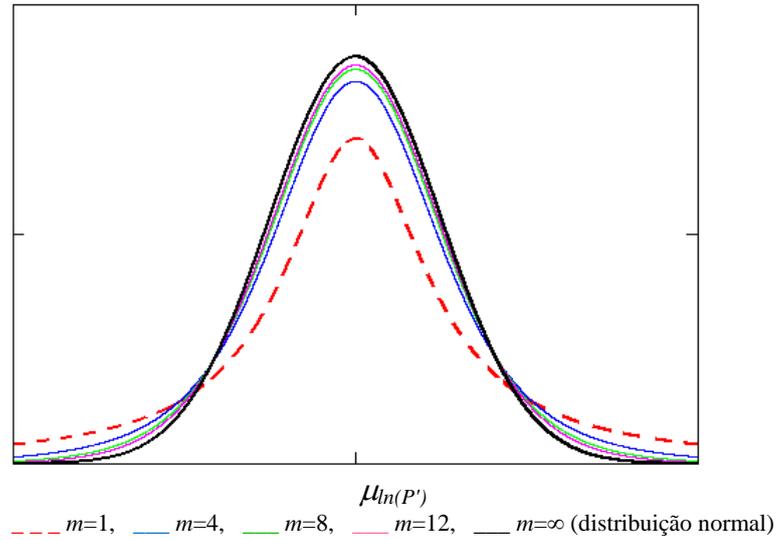
$$P'_m = P_m \quad (2.47)$$

$$V_{P'} = \sqrt{\frac{m}{m-2}} V_P \quad (2.48)$$

onde,

$m$  é o grau de liberdade, igual a  $n-1$ ,

$n$  é o número de ensaios



**Figura 2.13 – Função densidade de probabilidade de  $\ln(P')$ : distribuição *t de Student***

Para as equações (2.47) e (2.48) pode-se observar que a única modificação necessária para considerar a influência do número de ensaios,  $n$ , é a substituição de  $V_p^2$  por  $\frac{m}{(m-2)}V_p^2$  na equação (2.40). Logo, de acordo com Hsiao (1989), um fator de correção para  $V_p^2$  é dado por:

$$C_p = \frac{m}{(m-2)} \quad (2.49)$$

Entretanto, a equação (2.48) foi revisada por não ser favorável à segurança quando a amostra for pequena e o  $V_p$  elevado (Tsai, 1992). A equação revisada é apresentada pelas normas AISI S100 (2007) e NBR 14762 (2010), da seguinte forma:

$$C_p = \frac{m \left(1 + \frac{1}{n}\right)}{(m-2)} \quad \text{para } n \geq 4 \quad (2.50)$$

$$C_p = 5,7 \quad \text{para } n = 3$$

A figura 2.14 demonstra que quando a número de ensaios for suficientemente grande, o efeito do fator de correção é desprezível. Adotando-se a definição do fator de correção,  $C_p$ , as equações (2.39) e (2.40) podem ser rerepresentadas:

$$\beta_F = \frac{\ln[C_\gamma \gamma(M_m F_m P_m)]}{\sqrt{V_M^2 + V_F^2 + C_P V_P^2 + V_Q^2}} \quad (2.51)$$

$$\gamma_F = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + C_P V_P^2 + V_Q^2}}}{C_\gamma (M_m F_m P_m)} \quad (2.52)$$

O índice  $F$  é utilizado nas expressões em referência ao capítulo  $F$  da norma americana AISI S100 (2007), sobre o desempenho estrutural de barras e ligações, nos casos não previstos pela norma (com base em ensaios). Na ABNT NBR 14762 (2010) esse assunto também é abordado, e a formulação de calibração apresentada é a equação (2.52), com coeficiente de calibração,  $C_\gamma$ , igual a 1,52. Esse coeficiente de calibração é obtido com os parâmetros de calibração do AISI-LRFD que não corresponde à combinação de ações da norma brasileira.

No presente trabalho, apesar do emprego de  $C_p$  nas equações (2.51) e (2.52), os parâmetros estatísticos  $P_m$  e  $V_P$  continuam sendo obtidos da relação entre a resistência determinada experimentalmente e a resistência teórica. Além disso, o coeficiente de calibração,  $C_\gamma$ , é calculado a partir da combinação de ações da norma brasileira, ou seja,  $1,25D_n + 1,5L_n$ .

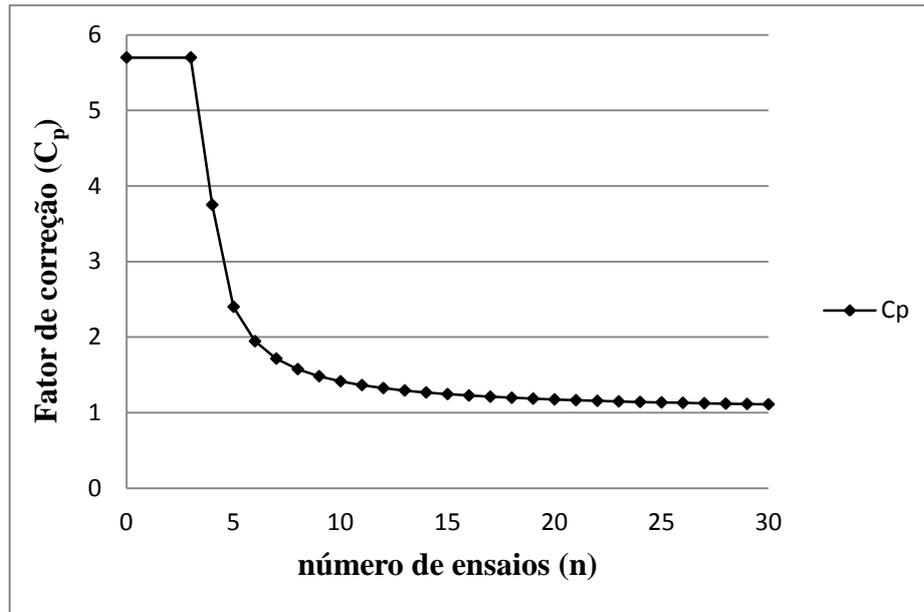


Figura 2.14 – Variação do fator de correção  $C_p$  com o número de ensaios

## Capítulo 3

# Perfis Formados a Frio

### 3.1 Considerações Gerais

Os perfis formados a frio têm sido amplamente empregados em vários segmentos da construção metálica, ganhando espaço até mesmo em setores antes dominados pelos perfis laminados, como por exemplo, em edificações de pequeno porte. Os perfis formados a frio têm aplicação também em torres de transmissão, silos reservatórios, *racks* de armazenamento, instalações de drenagem, sinalização e proteção rodoviária, indústria mecânica, etc.

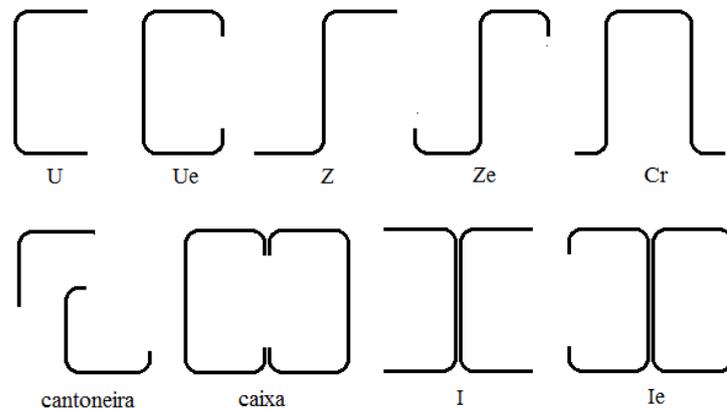
O uso dos perfis formados a frio na construção civil começou, aproximadamente, em 1850, quase que simultaneamente nos Estados Unidos e na Inglaterra. Todavia, tais perfis só passaram a ser largamente utilizados a partir de 1940. Dessa data em diante, a aplicação desses perfis tem crescido bastante, impulsionada pela publicação de normas tanto na América do Norte como na Europa.

A carência de produtos de aço não planos (perfis laminados) no mercado brasileiro conduziu as empresas a adotarem soluções alternativas a partir da utilização de produtos de aço planos (chapas), daí a intensificação do uso dos perfis soldados, em substituição aos perfis laminados de dimensões médias, e os perfis formados a frio em substituição aos laminados de pequenas dimensões. A utilização dos perfis formados a frio na construção civil, em muitos casos representa uma solução econômica e elegante, isto devido ao fato desses perfis possuírem maior esbeltez que os perfis laminados, conduzindo dessa forma a estruturas mais leves. Em geral, a utilização de perfis formados a frio como elementos estruturais na construção de edificações, possui as seguintes vantagens (Yu, 2000):

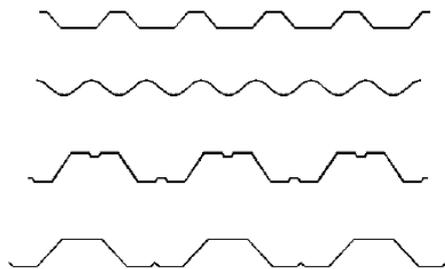
- Os perfis formados a frio são econômicos para carregamentos mais leves e para menores vãos;
- Inúmeras seções podem ser fabricadas obtendo-se dessa forma ótimas relações de resistência em função do peso;

- Painéis estruturais de paredes e pisos podem facilmente ser executados facilitando a passagem de dutos de eletricidade e encanamentos das instalações hidráulicas, além de resistirem a carregamentos;
- Esses painéis além de suportarem os carregamentos normais, também atuam estruturalmente como painéis diafragmas, resistindo a esforços de cisalhamento em seus próprios planos.

Do ponto de vista de projeto estrutural, os perfis formados a frio podem ser classificados em dois tipos principais: (1) os perfis estruturais individuais (figura 3.1) e (2) chapas corrugadas e *decks* (figura 3.2). As seções de perfis estruturais individuais mais frequentemente encontradas no mercado são: perfis cantoneira, U, U<sub>e</sub> (enrijecido), Z, Z<sub>e</sub> (enrijecido), C<sub>r</sub> (cartola), cantoneira, caixa, I, I<sub>e</sub> (enrijecido) (ABNT NBR 6355, 2003). Já para o grupo dos perfis classificados como os painéis e *decks*, as seções mais comuns são as de telhas, utilizadas geralmente como tapamentos laterais e coberturas de edificações industriais e comerciais, e as seções de *steel-deck*, que são utilizadas para a fabricação de lajes mistas, atuando como forma para a concretagem, e como armadura positiva das lajes após a cura do concreto.



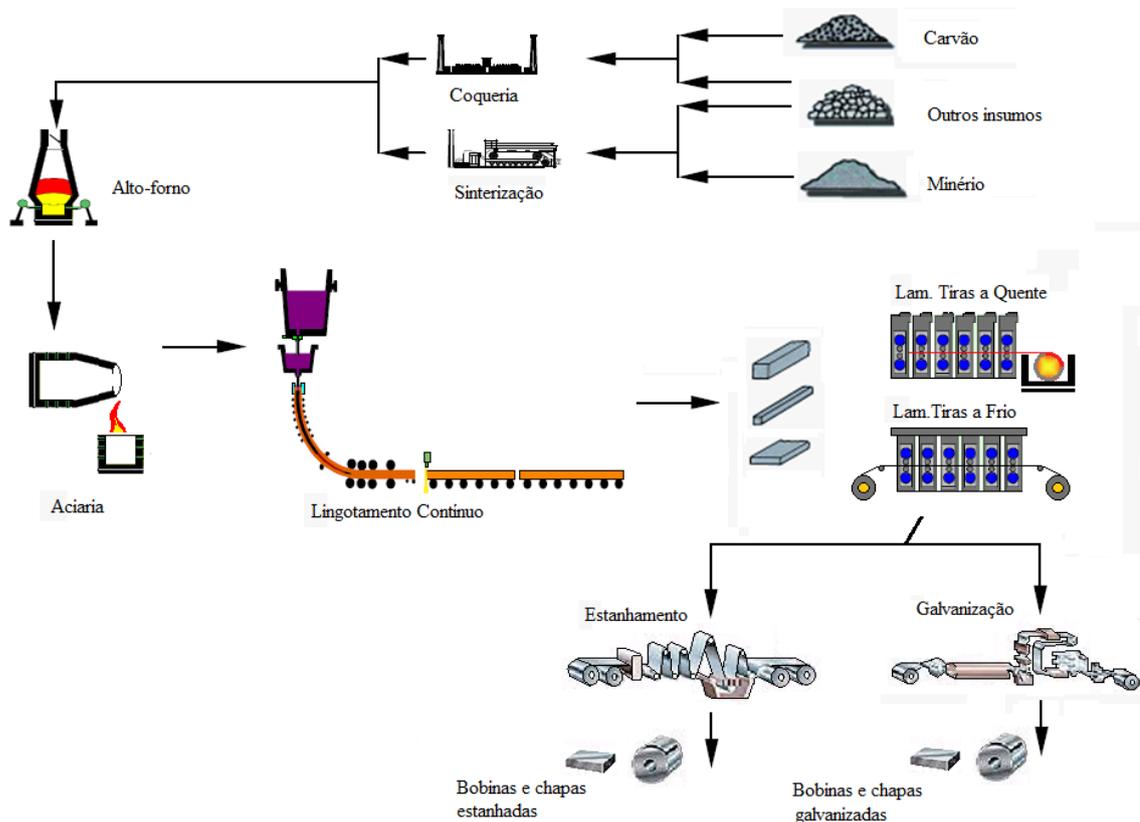
**Figura 3.1 – Alguns tipos de seções transversais de perfis formados a frio**



**Figura 3.2 – Seções transversais dos perfis formados a frio de chapas corrugadas**

## 3.2 Materiais e Fabricação

Os perfis formados a frio são normalmente fabricados a partir de bobinas de chapas finas laminadas a frio ou a quente. A figura 3.3 apresenta um fluxograma do processo de fabricação dessas bobinas.



**Figura 3.3 – Processo de fabricação das chapas metálicas**

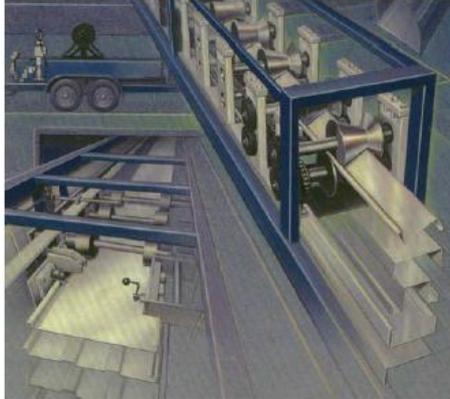
As espessuras das chapas variam entre 0,32 mm e 6,40 mm, no entanto, as espessuras mais utilizadas são aquelas padronizadas pelas usinas.

Os processos de fabricação podem ser em perfiladeiras ou dobradeira (figura 3.4). As principais diferenças entre os processos são o limite de comprimento das peças, a distribuição das tensões residuais e o volume de produção aliado à variedade de seções.

O processo de conformação de um perfil estrutural através de perfiladeiras segue diversas etapas até a sua forma final. As etapas do processo de fabricação e conformação da seção transversal são:

- a) Corte da bobina na largura necessária;

- b) Planagem na chapa, para entrada na perfiladeira;
- c) Conformação do perfil;
- d) Corte do perfil no comprimento desejado.



(a)



(b)

**Figura 3.4 – (a) Processo de conformação a frio do tipo perfilagem (b) Processo de conformação a frio por dobragem**

No caso da conformação por dobradeira, utilizam-se lâminas para a confecção da seção transversal do perfil a ser utilizada. Estas lâminas são fabricadas a partir da configuração da seção transversal que se deseja.

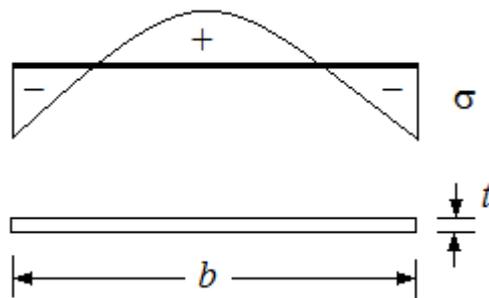
### 3.3 Considerações de Projeto

Na engenharia as imperfeições estão presentes e sabe-se que não existe carregamento perfeitamente centrado, material perfeitamente homogêneo ou um eixo perfeitamente reto, o que significa na prática a inexistência de um perfil industrial de aço sem imperfeições. Essas imperfeições contribuem com a redução da resistência e muito influenciam nos fenômenos de instabilidade estrutural associados aos elementos estruturais. Para os perfis formados a frio, existem basicamente três tipos de imperfeições, a saber:

- Imperfeições geométricas;
- Tensões residuais;
- Variação das propriedades mecânicas do aço em decorrência do trabalho a frio.

As imperfeições geométricas longitudinais apresentadas por esses perfis são dadas pelas suas flechas iniciais. No entanto, os métodos de fabricação apresentados anteriormente, conduzem a resultados satisfatórios e com limites de imperfeições controlados por norma.

Outro tipo de imperfeição comumente encontrada nos perfis formados a frio, são as tensões residuais. Para perfis formados a frio, tem-se a indução das tensões residuais em duas fases: primeiramente na fabricação da chapa bobinada, e posteriormente no processo de dobramento a frio para a fabricação do perfil. No caso das chapas finas fabricadas a quente, o aspecto da distribuição das tensões residuais pode ser representado pela parábola indicada na figura 3.5. Naturalmente, a resultante das tensões residuais deve ser nula, o que implica nas áreas dos diagramas de tensões de tração ( $\sigma > 0$ ) e de compressão ( $\sigma < 0$ ) serem iguais. Já as tensões residuais induzidas no processo de conformação a frio, são distintas para cada um dos processos listados anteriormente.



**Figura 3.5 – Distribuição de tensões residuais em chapas**

O processo de conformação em dobradeiras induz o aparecimento de tensões residuais importantes nas faces das paredes do perfil, originadas pela sua flexão. Já no processo de conformação em mesa de roletes, essas tensões são menores. No entanto, em ambos os processos de fabricação as tensões residuais máximas ocorrem nos cantos arredondados.

Finalmente, considera-se a imperfeição no perfil de chapa dobrada causada pela variação nas características mecânicas do aço. O trabalho de conformação a frio encrua o aço e modifica suas características mecânicas. Esse encruamento do aço, ou seja, a plastificação a frio, ocasiona uma elevação do limite elástico do material assim como de sua resistência à ruptura, como ilustrado na figura 3.6. A curva A representa a curva de

tensão-deformação do aço virgem (aço recebido do produtor ou distribuidor antes das operações de formação a frio). A curva *B* é obtida com o descarregamento no intervalo de encruamento. A curva *C* representa o recarregamento imediato. A curva *D* é a curva de tensão-deformação de recarregamento após o envelhecimento induzido pelo trabalho a frio. Deve-se notar que as resistências ao escoamento das curvas *C* e *D* são maiores que resistência ao escoamento do aço virgem e que a ductilidade diminui após o encruamento e o envelhecimento induzido pelo trabalho a frio.

Resumidamente, pode-se afirmar que as imperfeições podem contribuir favoravelmente ao comportamento estrutural dos perfis formados a frio, como é o caso do encruamento, assim como contribuem desfavoravelmente, como é o caso das imperfeições de origem geométricas e as tensões residuais.

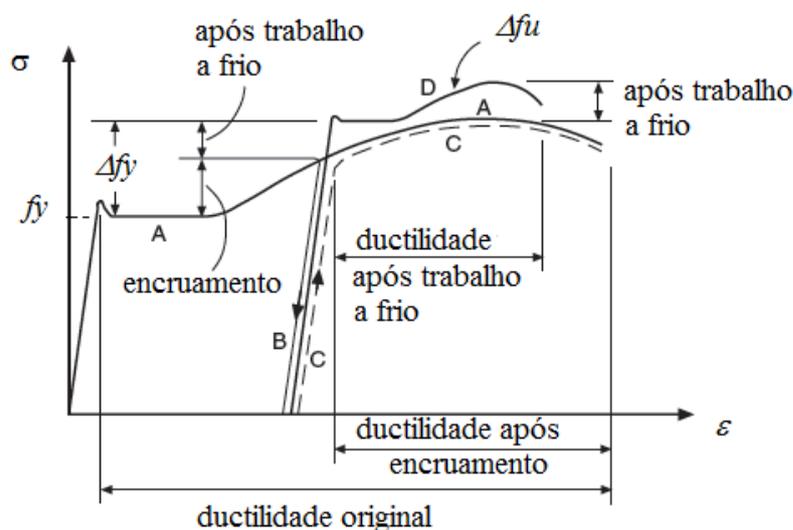


Figura 3.6 – Gráfico de encruamento (Adaptado: AISI S100, 2007)

### 3.4 Particularidades do comportamento mecânico dos perfis formados a frio

Dentre as principais características dos perfis formados a frio destacam-se:

a) Os perfis formados a frio, caracterizam-se por terem uma elevada esbelteza das paredes das seções, dada pela relação elevada de  $b/t$ , sendo  $b$  a largura de suas paredes e  $t$  a espessura das mesmas. Isto faz com que modos de flambagem local e flambagem distorcional, sejam importantes no dimensionamento destes tipos de elementos.

b) Em geral, os perfis formados a frio, são monossimétricos, abertos e com baixa rigidez à torção. Isto faz com que os modos de flambagem globais por flexo-torção sejam importantes.

c) As características da fabricação do perfil fazem com que nas dobras, o material que forma o perfil tenha encruamento e, por esta razão, o valor da resistência ao escoamento aumenta, devido ao efeito do trabalho a frio, o que pode ser considerado no dimensionamento. Porém esse processo também provoca uma perda de ductilidade do aço. A redução de ductilidade significa uma menor capacidade do material deformar-se. Por essa razão, a chapa deve ser conformada com raio de dobramento adequado ao material e à sua espessura, a fim de se evitar o aparecimento de fissuras.

d) Os perfis formados a frio, em geral, são pouco compactos, o que conduz a afirmar que a reserva de resistência plástica, deste tipo de perfis, não seja significativa.

### **3.5 Principais alterações após revisão da ABNT NBR 14762**

A norma ABNT NBR 14762 (2010), com base no método dos estados-limites, estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no dimensionamento, à temperatura ambiente, de perfis estruturais de aço formados a frio, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, conectados por parafusos ou soldas e destinados a estruturas de edifícios. A segunda edição cancela e substitui a anterior, a qual foi tecnicamente revisada, considerando:

1. A nomenclatura e itens comuns encontrados na ABNT NBR 8800 (2008) (definições, simbologia e unidades, materiais e durabilidade, segurança e estados-limites, ações, resistências).

2. Atualizações oriundas da norma americana do AISI (2007). A norma AISI (1996), serviu de base para a redação da ABNT NBR 14762 (2001).

3. Foi incluído o método da resistência direta no anexo C. Essa prescrição substitui o anexo D anterior, que apenas indicava metodologia aproximada para cálculo das tensões de flambagem distorcional elástica.

4. Foi incluído, no corpo da norma, o método da seção efetiva, baseado no cálculo das propriedades efetivas da seção completa.

5. As múltiplas curvas de resistência à compressão foram substituídas pela curva única adotada pelo AISI (2007), ficando, portanto, também em conformidade com a ABNT NBR 8800 (2008). O coeficiente de ponderação da resistência para compressão foi alterado de 1,10 para 1,20.

6. Foi incluído um anexo com a formulação para cálculo do momento fletor de flambagem elástica (FLT) para o caso de flexão em torno do eixo perpendicular ao eixo de simetria.

7. Foi incluído procedimento para dimensionamento de ligações parafusadas com parafusos auto-atarraxantes.

8. Foi incluído um anexo sobre as vigas mistas de aço e concreto.

9. O dimensionamento de perfis tubulares com seção transversal circular foi excluído, uma vez que a ABNT NBR 8800 (2008) aborda explicitamente esse caso (tubos com costura).

10. Foi apresentada uma nova tabela de coeficientes de ponderação das ações.

11. É apresentado um novo procedimento de cálculo para barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas (*web crippling*).

12. Em ligações soldadas e parafusadas, coeficientes de ponderação da resistência foram atualizados para diversos estados-limites.

### **3.6 Previsões teóricas com base nas normas ABNT NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007)**

Este item está voltado à apresentação das previsões de cálculo relativas aos estados-limites considerados neste trabalho, presentes nas especificações brasileira e americana de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Na obtenção da força resistente de cálculo, emprega-se um coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , para formato da norma brasileira. No formato da norma americana emprega-se um coeficiente de ponderação da resistência  $\phi$ , sendo  $\phi = 1/\gamma$ .

### 3.6.1 Barras submetidas à força axial de tração

A força axial resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  é o menor dos valores obtidos considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida na região da ligação, de acordo com as expressões indicadas a seguir:

- estados-limites últimos para escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = Af_y / \gamma$$
$$\gamma = 1,10$$
$$\phi = 0,90 \text{ (LRFD e LSD)}$$
(3.1)

- estados-limites últimos para ruptura na seção líquida fora da região da ligação:

$$N_{t,Rd} = A_{n0}f_u / \gamma$$
$$\gamma = 1,35$$
$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)}$$
(3.2)

Um coeficiente de ponderação da resistência,  $\phi$ , para o AISI-LSD não é apresentado.

- estados-limites últimos para ruptura da seção líquida na região da ligação:

$$N_{t,Rd} = C_t A_n f_u / \gamma$$
$$\gamma = 1,65$$
$$\phi = 0,65 \text{ (LRFD)}$$
$$\phi = 0,55 \text{ (LSD)}$$
(3.3)

onde:

$A$  é a área bruta da seção transversal da barra;

$A_{n0}$  é a área líquida da seção transversal da barra fora da região da ligação (por exemplo, decorrente de furos ou recortes que não estejam associados à ligação da barra);

$A_n$  é a área líquida da seção transversal da barra na região da ligação.

$C_t$  é o coeficiente de redução da área líquida.

A nomenclatura  $C_t$  é utilizada pela norma brasileira para definir o coeficiente de redução da área líquida, enquanto a norma americana adota o conceito de área líquida efetiva, definida pelo produto  $A_n U$  onde  $U$  equivale ao  $C_t$ .

O estado-limite ruptura da seção líquida deve ser verificado em ligações soldadas e parafusadas. Uma abordagem sobre perfis com ligações parafusadas será apresentada a seguir, com base nas normas NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007).

Para chapas com ligações parafusadas em zig-zag, devem ser analisadas as prováveis linhas de ruptura (figura 3.7a), sendo a seção crítica àquela correspondente ao menor valor da área líquida. A área líquida da seção de ruptura analisada deve ser calculada por:

$$A_n = 0,9 \left( A - n_f d_f t + \sum t s^2 / 4g \right) \quad (3.4)$$

$d_f$  é a dimensão do furo na direção perpendicular à solicitação;

$n_f$  é a quantidade de furos contidos na linha de ruptura analisada;

$s$  é o espaçamento dos furos na direção da solicitação (figura 3.7a);

$g$  é o espaçamento dos furos na direção perpendicular à solicitação (figura 3.7a);

$t$  é a espessura da parte conectada analisada;

O coeficiente de redução da área líquida,  $C_t$ , para perfis com ligações parafusadas é dado por:

- todos os elementos conectados, com dois ou mais parafusos na direção da solicitação:

$$C_t = 1,0 \quad (3.5)$$

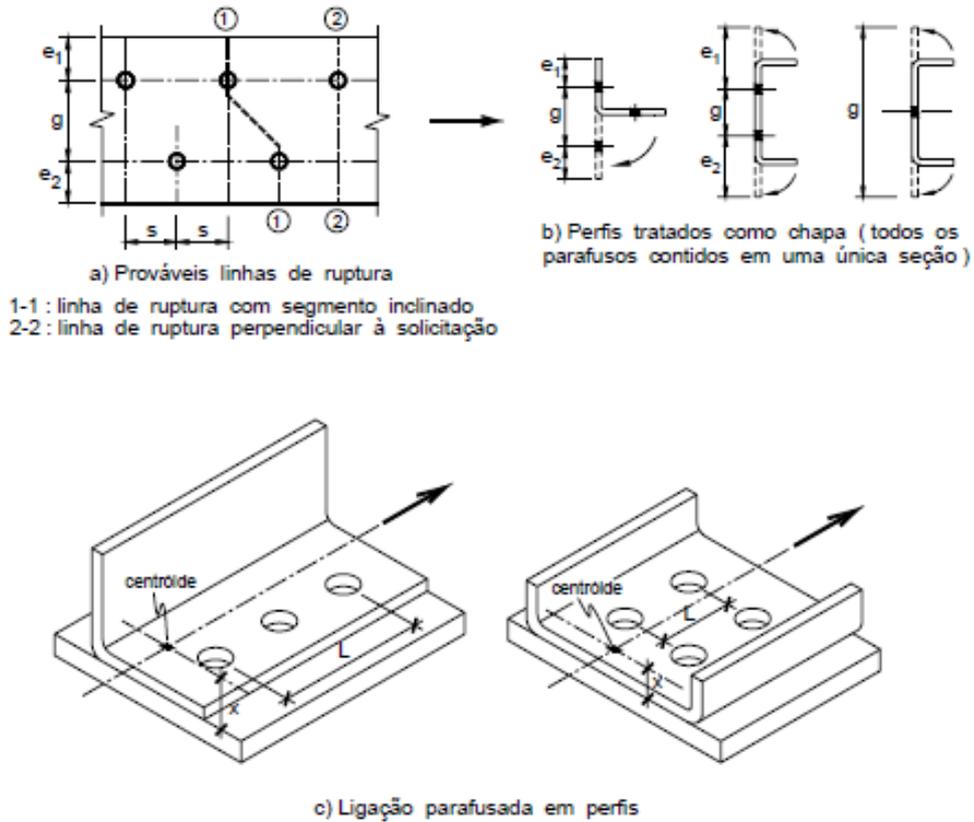
- todos os parafusos contidos em uma única seção transversal (incluindo o caso particular de um único parafuso na ligação), o perfil deve ser tratado como chapa equivalente (figura 3.7b), com  $C_t$  dado por:

$$C_t = 2,5(d/g) \leq 1,0 \quad (3.6)$$

- cantoneiras e perfis U com dois ou mais parafusos na direção da solicitação, sendo que nem todos os elementos estejam conectados (figura 3.7c):

$$C_t = 1,0 - 1,2(x/L) < 0,9$$

$$C_t \geq 0,4$$
(3.7)



**Figura 3.7 – Linhas de ruptura e grandezas para cálculo do coeficiente  $C_t$**   
**(Adaptado: ABNT NBR 14762, 2010)**

Expressão análoga à equação (3.12) é empregada pelo AISI S100 (2007), apenas para perfil cantoneira. A expressão da norma americana para perfis U com dois ou mais parafusos na linha de ação da solicitação, e apresentada a seguir:

$$C_t = 1,0 - 0,36(x/L) < 0,9$$

$$C_t \geq 0,5$$
(3.8)

onde:

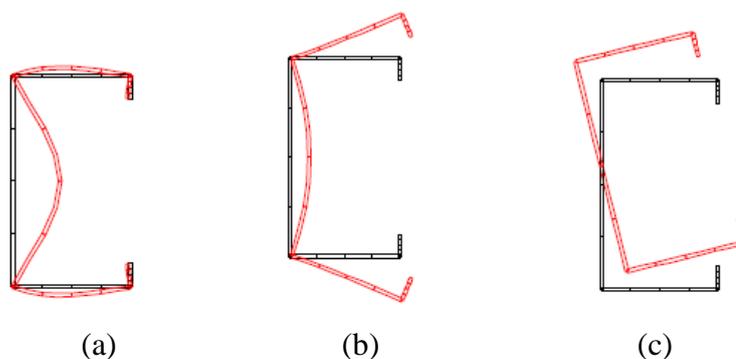
$L$  é o comprimento da ligação parafusada (figura 3.7c);

$x$  é a excentricidade da ligação (figuras 3.7c e 3.7d).

A norma AISI S100 (2007) apresenta duas previsões para o estado-limite de ruptura da seção líquida na região da ligação, sendo que a primeira considera o emprego de arruelas em ligações parafusadas sob a cabeça do parafuso e porca e a segunda não considera o emprego de arruelas. O método exposto é basicamente a segunda previsão apresentada pela norma americana, exceto pela simbologia utilizada da norma brasileira. A NBR 14762 (2010) não faz menção ao emprego de arruelas em ligações parafusadas e portanto, segue exclusivamente o método de cálculo exposto.

### 3.6.2 Barras submetidas à força axial de compressão

Como consequência da alta relação largura-espessura das paredes que compõem os perfis formados a frio, tais perfis estão sujeitos a diversos fenômenos de instabilidade. Além dos fenômenos de flambagem globais por flexão e por flexo-torção, os perfis de paredes esbeltas estão sujeitos a flambagem local e a flambagem distorcional (Figura 3.8). O modo de flambagem local de placas caracteriza-se pela flexão dos elementos constituintes da seção transversal, sem que haja deslocamento das arestas comuns a tais elementos. A flambagem distorcional, por sua vez, caracteriza-se pela flexão de um ou mais elementos acompanhada pelo deslocamento das arestas comuns a esses elementos.



**Figura 3.8 – Modos de Flambagem: (a) Flambagem local (b) Flambagem distorcional (c) Flambagem global**

A seguir será apresentada uma breve descrição dos métodos de dimensionamento de colunas em perfis formados a frio. A simbologia utilizada nas equações de projeto será a mesma da NBR 14762 (2010). Após a revisão da norma

brasileira, os métodos de dimensionamento são basicamente os mesmos da norma AISI S100 (2007), com exceção do método da seção efetiva.

### 3.6.2.1 Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção

A força axial de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$  deve ser calculada por:

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$\gamma = 1,20$$

$$\phi = 0,85 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,80 \text{ (LSD)}$$
(3.9)

onde,  $\chi$  é o fator de redução da força axial de compressão resistente (obtido da curva de flambagem em função do índice de esbeltez reduzido  $\lambda_0$ ) associado à flambagem global, calculado conforme indicado a seguir:

$$\begin{aligned} &\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5 : \chi = 0,658 \lambda_0^2 \\ &\text{- para } \lambda_0 > 1,5 : \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \end{aligned}$$
(3.10)

$\lambda_0$  é o índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global, dado por:

$$\lambda_0 = \left( \frac{A f_y}{N_e} \right)^{0,5}$$
(3.11)

onde,

$A$  é a área bruta da seção transversal da barra.

$N_e$  é a força axial de flambagem global elástica.

$A_{ef}$  é a área efetiva da seção transversal da barra, calculada com base em uma das duas opções apresentadas a seguir: Método da Largura Efetiva (MLE) ou Método da Seção Efetiva (MSE).

Na norma AISI S100 (2007) a curva de flambagem está apresentada em termos da relação entre a tensão nominal e a resistência ao escoamento ( $f_n/f_y$ ). Fazendo  $\chi = f_n/f_y$ , nas equações (3.10) e (3.11), obtêm-se as expressões no padrão da norma americana.

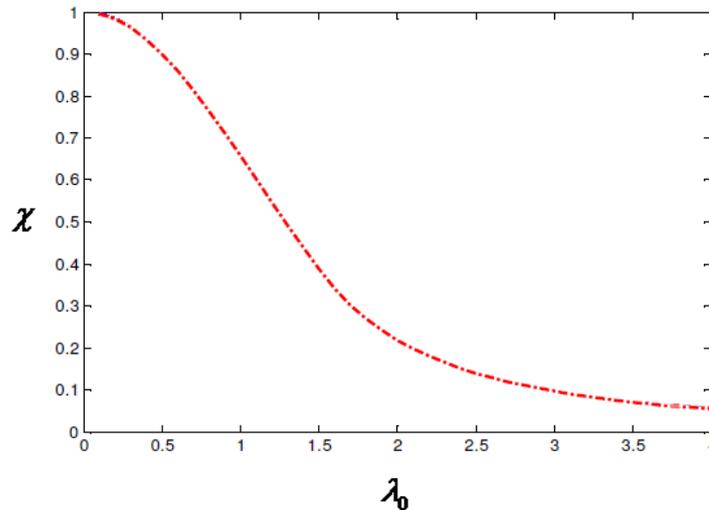


Figura 3.9 - Curva de flambagem: NBR 14762 (2010)

### 3.6.2.2 Flambagem local

#### a) Método da Largura Efetiva (MLE)

Há décadas o Método da Largura Efetiva (MLE) tem sido empregado na obtenção de resistência de barras em perfis formados a frio. Trata-se de um método cuja formulação considera os efeitos de flambagem local em seções de chapas finas.

Derivado da solução original para o comportamento pós-crítico de placas perfeitas proposto por von Karman, a equação de Winter, equação (3.12), é encontrada na maioria das normas direcionadas ao cálculo estrutural de perfis formados a frio:

$$b_{ef} = \frac{b \left( 1 - \frac{0,22}{\lambda_p} \right)}{\lambda_p} \leq b \quad (3.12)$$

$$\lambda_p = \left( \frac{f_y}{\sigma_{cr}} \right)^{0,5} \quad (3.13)$$

onde,

$b$  é a largura do elemento,

$b_{ef}$  é a largura efetiva de elementos de placa,

$\lambda_p$  é o índice de esbeltez reduzido do elemento,

$f_y$  é a resistência ao escoamento do aço,

$\sigma_{cr}$  é a tensão crítica de flambagem elástica do elemento.

A tensão crítica de flambagem elástica de cada elemento da seção transversal, que considera individualmente uma placa com suas condições de contorno aproximadas e substituindo o elemento de placa atual, é representado pela fórmula clássica teórica:

$$\sigma_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} \quad (3.14)$$

onde,

$E$  é o módulo de elasticidade longitudinal;

$\nu$  é o coeficiente de *Poisson* do material;

$t$  é a espessura da parede;

$k$  é o coeficiente de flambagem local da parede, que quantifica as condições de contorno e de carregamento das chapas.

Em conformidade com a teoria de flambagem de placas, com relação aos elementos da seção transversal,  $b$  refere-se à largura plana do elemento.

As bases do método da largura efetiva (MLE) para colunas tomados no presente trabalho estão prescritos nas normas AISI S100 (2007) e NBR 14762 (2010). Algumas observações relevantes sobre este procedimento de cálculo podem ser destacadas:

(i) A equação básica para o cálculo da largura efetiva é a equação (3.12) (equação de Winter) com  $\sigma = \chi f_y$  (ou  $\sigma = f_n$ ) em substituição à  $f_y$ , na equação (3.13);

(ii) A área efetiva  $A_{ef}$  pode ser diretamente calculada através da largura efetiva, com a força de compressão aplicada no centróide da seção transversal bruta;

(iii) A força axial de compressão resistente de cálculo para colunas longas deve ser calculada pela equação (3.14).

### **b) Método da Seção Efetiva (MSE)**

Sendo um método direto de avaliação do estado-limite de resistência última de coluna, a flambagem local de placa é considerada a partir do comportamento real da seção transversal e considera, portanto, a interação entre as placas (Batista, 2010, Batista, 2009).

$$A_{ef} = A \left( 1 - \frac{0,15}{\lambda_p^{0,8}} \right) \frac{1}{\lambda_p^{0,8}} \leq A \quad (3.15)$$

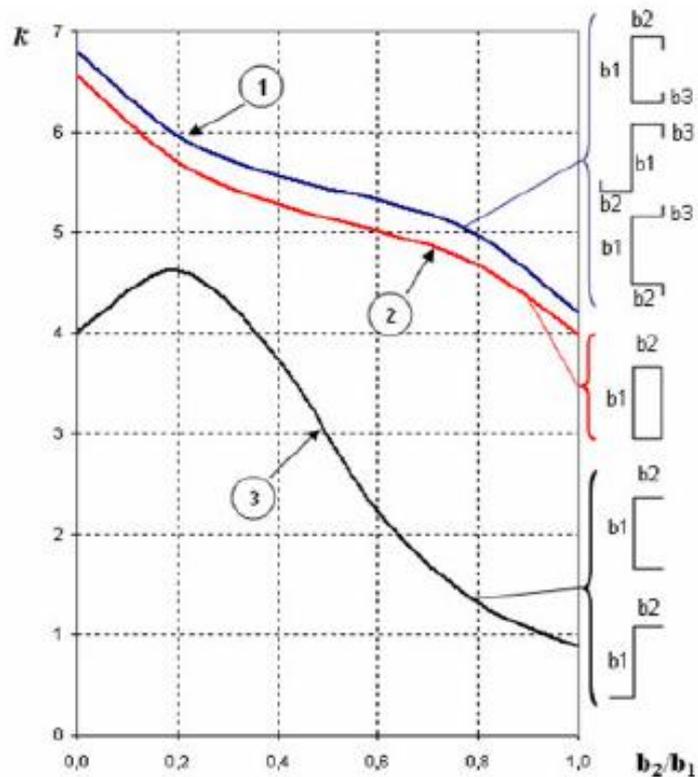
$$\lambda_p = \left( \frac{\chi A f_y}{N_l} \right)^{0,5} \quad (3.16)$$

$N_l$  é a força axial de flambagem local elástica, calculada por meio de análise de estabilidade elástica, ou, de forma direta, segundo a expressão:

$$N_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b_w/t)^2} A \quad (3.17)$$

Esta equação foi proposta em analogia à equação clássica de distribuição de tensões em placas, equação (3.11).

Os estudos paramétricos desenvolvidos por Batista e colaboradores (Batista, 1988, Batista *et al.*, 2000, Vasquez, 1998) possibilitaram a determinação dos coeficientes de flambagem para diversos tipos de seção, conforme apresentado na figura 3.10. De acordo com a ABNT NBR 14762 (2010) os valores de  $k_l$  podem ser calculados por equações ou obtidos em tabelas que correspondem a valores obtidos diretamente da análise geral de estabilidade elástica.



**Figura 3.10 – Coeficientes de flambagem local para vários tipos de seções**

### 3.6.2.3 Flambagem distorcional

As seções transversais de barras podem apresentar flambagem distorcional, conforme ilustrado na figura 3.8b. Dependendo da forma da seção e das dimensões dos elementos, o modo de flambagem distorcional pode corresponder ao modo crítico, devendo, portanto, ser considerado no dimensionamento.

Os perfis U simples (sem enrijecedores de borda) utilizados como barras isoladas, não são passíveis de flambagem distorcional, dispensando-se portanto tal verificação nesse caso.

Para as barras com seção transversal aberta sujeitas à flambagem distorcional, a força axial de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$  deve ser calculada por:

$$N_{c,Rd} = \chi_{dist} A_f \gamma / \gamma$$
$$\gamma = 1,20$$
$$\phi = 0,85 \text{ (LRFD)}$$
$$\phi = 0,80 \text{ (LSD)}$$
(3.18)

onde,

$\chi_{dist}$  é o fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem distorcional, calculado por:

$$\chi_{dist} = 1 \text{ para } \lambda_{dist} \leq 0,561$$
$$\chi_{dist} = \left( 1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}} \right) \frac{1}{\lambda_{dist}^{1,2}} \text{ para } \lambda_{dist} > 0,561$$
(3.19)

$A$  é área bruta da seção transversal da barra;

$\lambda_{dist}$  é o índice de esbeltez reduzido associado à flambagem distorcional, calculado por:

$$\lambda_{dist} = \left( \frac{A_f}{N_{dist}} \right)^{0,5}$$
(3.20)

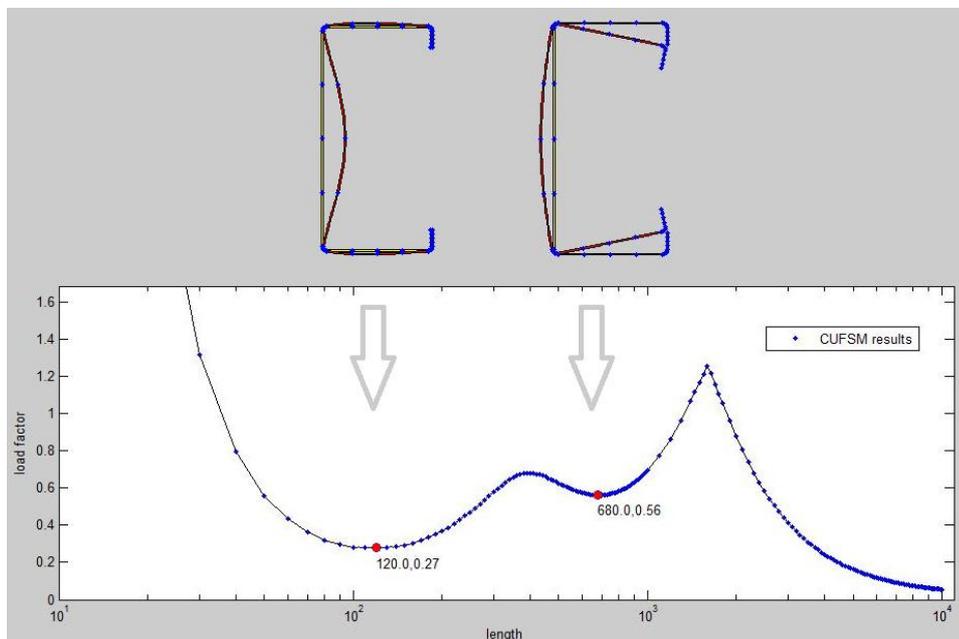
$N_{dist}$  é a força axial de flambagem distorcional elástica, a qual deve ser calculada com base na análise de estabilidade elástica. O uso de um programa computacional baseado no método das faixas finitas é admitido, por exemplo, o CUFSM (Schafer e Ádány,

2006) que foi utilizado neste trabalho. Outra possibilidade é programa computacional GBTUL (Bebiano et al., 2008) baseado na teoria generalizada de viga.

#### 3.6.2.4 Método da resistência direta

O Método da resistência direta (MRD) é atualmente identificado com a formulação introduzida no Anexo 1 do AISI S100 (2007), onde se encontra uma solução, desenvolvida e calibrada por Schafer (2000), para colunas em perfis formados a frio. Na ABNT NBR 14762 (2010) esse método pode ser verificado no Anexo C.

O MRD está baseado nas propriedades geométricas da seção bruta e em análise geral de estabilidade elástica que permita identificar todos os modos de flambagem e seus respectivos esforços críticos. Esse método pode ser empregado como alternativa para o cálculo da força axial de compressão resistente de cálculo,  $N_{c,Rd}$ . No caso da flambagem global da barra, fórmulas incluídas no corpo principal da norma permitem a obtenção dos valores precisos das forças axiais de flambagem global elástica,  $N_e$ , respectivamente. Usualmente são utilizados métodos numéricos como faixas finitas e elementos finitos. Como exemplo, a figura 3.11 ilustra o resultado da análise de estabilidade elástica do programa CUFSM para um perfil do tipo U enrijecido submetido à compressão, onde se observa os modos local e distorcional.



**Figura 3.11 – Análise de estabilidade elástica de um perfil U enrijecido via CUFSM: protótipo C4 120x60 ensaiado por Mulligan (1983)**

O valor característico da força axial de compressão resistente  $N_{c,Rk}$  deve ser tomado como o menor valor calculado para flambagem global, local e distorcional,  $N_{c,Re}$ ,  $N_{c,Rl}$ ,  $N_{c,Rdist}$ , respectivamente, os quais devem ser calculados conforme a seguir. A força axial de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$  é dada por  $N_{c,Rk}/\gamma$ , onde  $\gamma$  é igual a 1,20. No formato da norma americana, substitui-se  $1/\gamma$ , por  $\phi = 0,85$  (LRFD) ou  $\phi = 0,80$  (LSD).

**Flambagem global:**

$$\begin{aligned}
 & \text{- para } \lambda_0 \leq 1,5 : N_{c,Re} = \left(0,658^{\lambda_0^2}\right) Af_y \\
 & \text{- para } \lambda_0 > 1,5 : N_{c,Re} = \left(\frac{0,877}{\lambda_0^2}\right) Af_y
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

onde,

$$\lambda_0 = \left(\frac{Af_y}{N_e}\right)^{0,5} \tag{3.22}$$

**Flambagem local:**

$$\begin{aligned}
 N_{c,Rl} &= N_{c,Re} \quad \text{para } \lambda_l \leq 0,776 \\
 N_{c,Rl} &= \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_l^{0,8}}\right) \frac{N_{c,Re}}{\lambda_l^{0,8}} \quad \text{para } \lambda_l > 0,776
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

onde,

$$\lambda_l = \left(\frac{N_{c,Re}}{N_l}\right)^{0,5} \tag{3.24}$$

**Flambagem distorcional:**

$$\begin{aligned}
 & \text{- para } \lambda_{dist} \leq 0,561 : N_{c,Rdist} = Af_y \\
 & \text{- para } \lambda_{dist} > 0,561 : N_{c,Rdist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right) \frac{Af_y}{\lambda_{dist}^{1,2}}
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

onde,

$$\lambda_{dist} = \left( \frac{Af_y}{N_{dist}} \right)^{0,5} \quad (3.26)$$

### 3.6.3 Ligações soldadas

#### 3.6.3.1 Soldas de filete em superfícies planas

A força resistente de cálculo de uma solda de filete em superfície plana  $F_{Rd}$ , deve ser calculada por:

a) estado-limite último de ruptura do metal-base: sollicitação paralela ao eixo da solda.

- para  $L/t < 25$ :

$$F_{Rd} = \left( 1 - 0,01 \frac{L}{t} \right) t L f_u / \gamma$$

$$\gamma = 1,65 \quad (3.27)$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,50 \text{ (LSD)}$$

- para  $L/t \geq 25$ :

$$F_{Rd} = 0,75 t L f_u / \gamma$$

$$\gamma = 2,00 \quad (3.28)$$

$$\phi = 0,50 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,40 \text{ (LSD)}$$

b) estado-limite último de ruptura do metal-base: sollicitação normal ao eixo da solda.

$$F_{Rd} = t L f_u / \gamma$$

$$\gamma = 1,55 \quad (3.29)$$

$$\phi = 0,65 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LSD)}$$

c) estado-limite último de ruptura da solda:

Além das forças resistentes de cálculo obtidas em a) e b) anteriores, para espessura  $t > 2,5$  mm a força resistente de cálculo  $F_{Rd}$  não deve exceder o seguinte valor:

$$F_{Rd} = 0,75 t_{ef} L f_w / \gamma$$

$$\gamma = 1,65$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,50 \text{ (LSD)}$$
(3.30)

onde:

$f_w$  é a resistência à ruptura da solda;

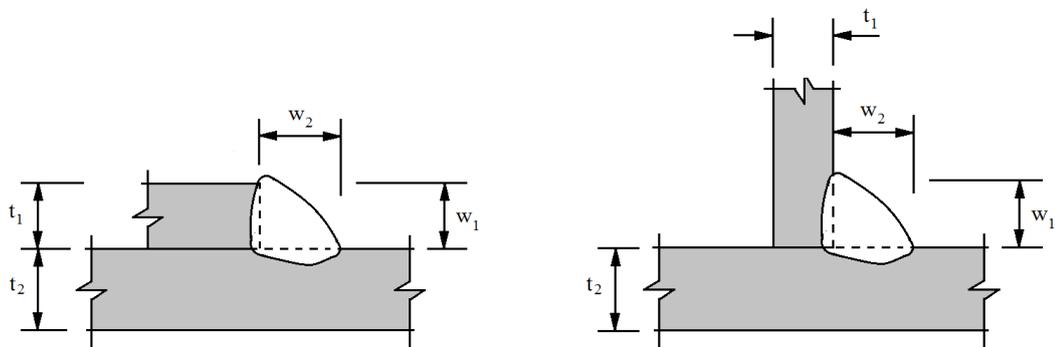
$f_u$  é a resistência à ruptura do aço (metal-base);

$L$  é o comprimento do filete de solda;

$t$  é o menor valor entre  $t_1$  e  $t_2$  conforme figura 3.12;

$t_{ef}$  é a dimensão efetiva (garganta efetiva) da solda de filete, considerada como o menor valor entre  $0,7w_1$  ou  $0,7w_2$ ;

$w_1, w_2$  são as pernas do filete, conforme figura 3.12. Nas juntas por sobreposição,  $w_1 \leq t_1$ .



**Figura 3.12 – Solda de filete em superfícies planas (ABNT NBR 14762, 2010)**

### 3.6.3.2 Soldas de filete em superfícies curvas

A força resistente de cálculo de uma solda de filete em superfícies curvas  $F_{Rd}$ , deve ser calculada por:

a) estado-limite último de ruptura do metal-base: sollicitação normal ao eixo da solda (figura 3.13a)

$$F_{Rd} = 0,83tL_f u / \gamma$$

$$\gamma = 1,65$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,50 \text{ (LSD)}$$
(3.31)

b) estado-limite último de ruptura do metal-base: sollicitação paralela ao eixo da solda (figuras 3.13b a 3.13g)

- para  $t_{ef} \geq 2t$  e se a dimensão  $h$  do enrijecedor é maior ou igual ao comprimento da solda  $L$  (figura 3.13d):

$$F_{Rd} = 1,50tL_f u / \gamma$$

$$\gamma = 1,80$$

$$\phi = 0,55 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,45 \text{ (LSD)}$$
(3.32)

- para  $t \leq t_{ef} < 2t$  ou se a dimensão  $h$  do enrijecedor é menor que o comprimento da solda  $L$  (figura 3.13e):

$$F_{Rd} = 0,75tL_f u / \gamma$$

$$\gamma = 1,80$$

$$\phi = 0,55 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,45 \text{ (LSD)}$$
(3.33)

c) estado-limite último de ruptura da solda:

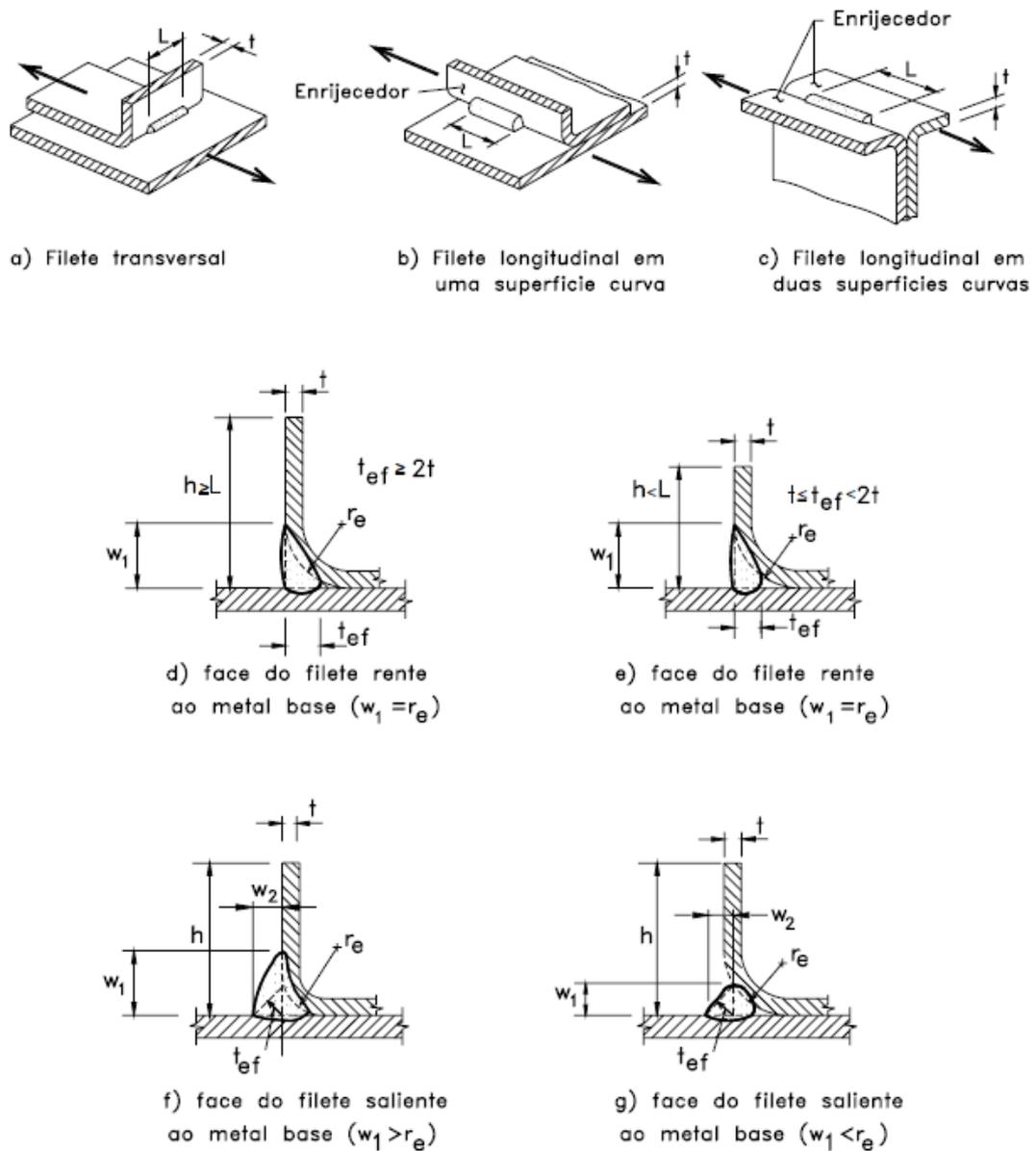
Além das forças resistentes de cálculo obtidas em a) e b) anteriores, para espessura  $t > 2,5$  mm a força resistente de cálculo  $F_{Rd}$  não deve exceder o seguinte valor:

$$F_{Rd} = 0,75t_{ef} L_f w / \gamma$$

$$\gamma = 1,65$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,50 \text{ (LSD)}$$
(3.34)



**Figura 3.13 – Solda de filete em superfícies curvas (Adaptado: ABNT NBR 14762, 2010)**

onde,

$f_w$  é a resistência à ruptura da solda;

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço (metal-base);

$h$  é a altura do enrijecedor;

$L$  é o comprimento do filete de solda;

$t$  é espessura do metal-base conforme figuras 3.13a a 3.13g;

$r_e$  é o raio externo de dobramento conforme figuras 3.13d a 3.13g;

$t_{ef}$  é a dimensão efetiva (garganta efetiva) da solda de filete, dada por:

- face externa do filete rente ao metal-base (figuras 3.13d e 3.13e):

solda em apenas uma superfície curva:  $t_{ef} = 0,3r_e$

solda em duas superfícies curvas:  $t_{ef} = 0,5r_e$  (para  $r_e > 12,5\text{mm}$ ,  $t_{ef} = 0,37r_e$ )

- face externa do filete saliente ao metal-base (figuras 3.13f e 3.13g):

$0,7w_1$  ou  $0,7w_2$  (o menor valor)

$w_1, w_2$  são as pernas do filete, conforme figuras 3.13d a 3.13g.

Valores de  $t_{ef}$  maiores que os estabelecidos anteriormente podem ser adotados, desde que comprovados por medições.

### 3.6.4 Ligações parafusadas

#### 3.6.4.1 Rasgamento entre furos ou entre furo e borda

A força resistente de cálculo ao rasgamento,  $F_{Rd}$ , deve ser calculada por:

$$F_{Rd} = t e f_u / \gamma$$

$$\gamma = 1,45$$

$$\phi = 0,70 \text{ (LRFD), se } f_u/f_y \geq 1,08 \tag{3.35}$$

$$\phi = 0,60 \text{ (LRFD), se } f_u/f_y < 1,08$$

onde,

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço (metal-base);

$t$  é a espessura do componente elemento analisado;

$e$  é a distância, tomada na direção da força, do centro do furo-padrão à borda mais próxima do furo adjacente ou à extremidade do elemento conectado.

A NBR 14762 (2010) recomenda o uso de aços com qualificação estrutural e que possuam propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio. Devem apresentar a relação entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento  $f_u/f_y$  maior ou igual a 1,08 e o alongamento após ruptura não deve ser menor que 10% para

base de medida igual a 50 mm ou 7% para base de medida igual a 200 mm, tomando-se como referência os ensaios de tração conforme ASTM A370.

#### **3.6.4.2 Pressão de contato (esmagamento) com a consideração da deformação do furo**

A força resistente de cálculo ao esmagamento  $F_{Rd}$ , deve ser calculada por:

$$F_{Rd} = \alpha_e d t f_u / \gamma$$
$$\gamma = 1,55$$
$$\phi = 0,65 \text{ (LRFD)}$$
$$\phi = 0,55 \text{ (LSD)}$$
(3.36)

onde,

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço (metal-base);

$d$  é o diâmetro nominal do parafuso;

$t$  é a espessura do componente elemento analisado ( $t \leq 4,75\text{mm}$ );

$\alpha_e$  é um coeficiente adimensional utilizado na norma brasileira, igual a  $(0,183t + 1,53)$ , com  $t$  em milímetros.

A norma AISI S100 (2007) apresenta o mesmo critério método de dimensionamento, salientando a consideração da deformação do furo. Conforme o AISI S100 (2007), a consideração da deformação do furo pode ser considerada para um alongamento maior que 6,4 mm.

#### **3.6.4.3 Pressão de contato (esmagamento) sem a consideração da deformação do furo**

A norma AISI S100 (2007), ao tratar de falha por esmagamento, quando a deformação do furo não é uma consideração de projeto, apresenta uma formulação em função da presença de arruelas e do tipo de ligação por contato, ou seja, cisalhamento simples ou duplo. A força resistente nominal ao esmagamento  $F_{Rk}$ , (ou  $P_n$  na nomenclatura da norma americana) deve ser calculada por:

$$P_n = C m_f d t f_u \quad (3.37)$$

$\phi = 0,60$  (LRFD)  
 $\phi = 0,50$  (LSD)

onde,

$C$  é o fator de contato, determinado de acordo com a tabela 3.1;

$m_f$  é o fator de modificação para o tipo de ligação por contato, que deve ser determinado de acordo com a tabela 3.2;

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço (metal-base);

$d$  é o diâmetro nominal do parafuso;

$t$  é a espessura do elemento conectado analisado;

A norma NBR 14762 (2010) não prevê esse método de dimensionamento.

**Tabela 3.1 – Fator de contato,  $C$  (Adaptado: AISI S100, 2007)**

Espessura da parte conectada, $t$ (mm)	Relação do diâmetro do conector pela espessura do elemento, $d/t$	$C$
$0,61 \leq t \leq 4,76$	$d/t < 10$	3,0
	$10 \leq d/t \leq 22$	$4 - 0,1(d/t)$
	$d/t > 22$	1,8

**Tabela 3.2 – Fator de modificação,  $m_f$ , para o tipo de ligação por contato (Adaptado: AISI S100, 2007)**

Tipo de ligação por contato	$m_f$
Cisalhamento simples e chapas externas de ligações sujeitas ao corte duplo com arruelas sob a cabeça do parafuso e a porca.	1,00
Cisalhamento simples e chapas externas de ligações sujeitas ao corte duplo sem arruelas sob a cabeça do parafuso e a porca, ou com uma arruela apenas.	0,75
Chapas internas de ligações sujeitas ao corte duplo com ou sem arruelas	1,33

### 3.6.5 Ligações com parafusos auto-atarraxantes

#### 3.6.5.1 Pressão de contato (esmagamento) e inclinação do parafuso (*tilting*)

A força de cisalhamento resistente de cálculo por parafuso, associada à resistência do metal-base, deve ser calculada por:

a) para  $t_2/t_1 \leq 1,0$ ,  $F_{c,Rd}$  é o menor dos valores:

$$\begin{aligned} F_{c,Rd} &= 4,2(t_2^3 d)^{0,5} f_{u2} / \gamma \\ F_{c,Rd} &= 2,7t_1 df_{u1} / \gamma \\ F_{c,Rd} &= 2,7t_2 df_{u2} / \gamma \end{aligned} \quad (3.38)$$

b) para  $t_2/t_1 \geq 2,5$ ,  $F_{c,Rd}$  é o menor dos valores:

$$\begin{aligned} F_{c,Rd} &= 2,7t_1 df_{u1} / \gamma \\ F_{c,Rd} &= 2,7t_2 df_{u2} / \gamma \end{aligned} \quad (3.39)$$

Para  $1,0 < t_2/t_1 < 2,5$ ,  $F_{c,Rd}$  deve ser determinado por interpolação linear.

$$\gamma = 2,00$$

$$\phi = 0,50 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi = 0,40 \text{ (LSD)}$$

onde,

$t_1$  é a espessura do elemento conectado em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso;

$t_2$  é a espessura do elemento conectado que não está em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso;

$d$  é o diâmetro nominal do parafuso;

$f_{u1}$  é a resistência à ruptura na tração do elemento conectado em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso;

$f_{u2}$  é a resistência à ruptura na tração do elemento conectado que não está em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso.

### 3.6.5.2 Resistência ao arrancamento do parafuso (*pull-out*)

A força de tração resistente de cálculo,  $F_{a,Rd}$ , associada ao arrancamento do parafuso, deve ser calculada por:

$$F_{a,Rd} = 0,85t_cdf_{u2}/\gamma$$
$$\gamma=2,00$$
$$\phi=0,50 \text{ (LRFD)}$$
$$\phi=0,40 \text{ (LSD)}$$
(3.40)

onde,

$t_c$  é o menor valor entre a profundidade de penetração e a espessura do elemento conectado que não está em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso;

$d$  é o diâmetro nominal do parafuso;

$f_{u2}$  é a resistência à ruptura na tração do elemento conectado que não está em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso.

### 3.6.5.3 Resistência ao rasgamento do metal-base (*pull-over*)

A força de tração resistente de cálculo,  $F_{r,Rd}$ , associada ao rasgamento do metal-base, deve ser calculada por:

$$F_{r,Rd} = 1,5t_1d_{we}f_{u1}/\gamma$$
$$\gamma=2,00$$
$$\phi=0,50 \text{ (LRFD)}$$
$$\phi=0,40 \text{ (LSD)}$$
(3.41)

onde,

$f_{u1}$  é a resistência à ruptura na tração do elemento conectado em contato com a arruela ou a cabeça do parafuso;

$d_{we}$  é o diâmetro efetivo associado ao rasgamento do metal-base, calculado por:

a) parafuso de cabeça circular, ou hexagonal, ou hexagonal com flange, com arruela independente sob a cabeça do parafuso (figura 3.14a):

$$d_{we} = d_h + 2t_w + t_l \leq d_w$$
(3.42)

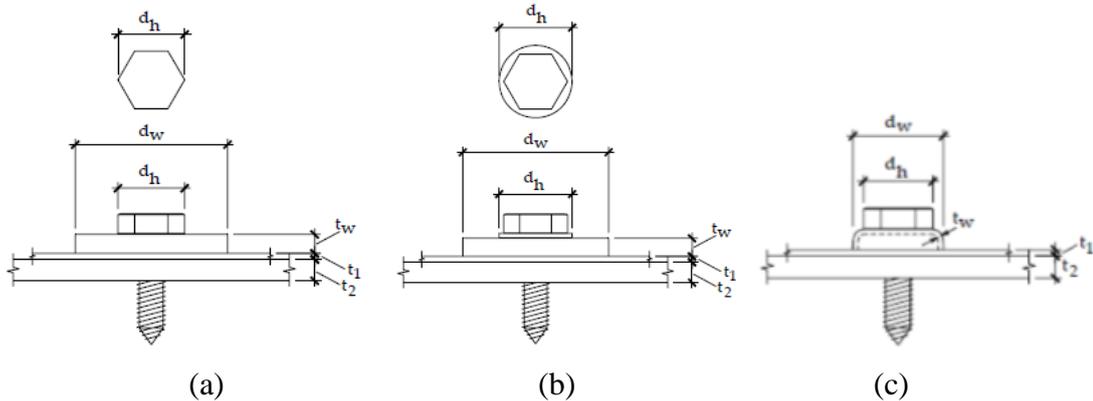
b) parafuso de cabeça circular, ou hexagonal, ou hexagonal com flange, sem arruela independente sob a cabeça do parafuso (figura 3.14b):

$$d_{we} = d_h, \leq 12,7 \text{ mm} \quad (3.43)$$

c) arruela em domo, não maciça e independente sob a cabeça do parafuso (figura 3.14c):

$$d_{we} = d_h + 2t_w + t_l \leq d_w \quad (3.44)$$

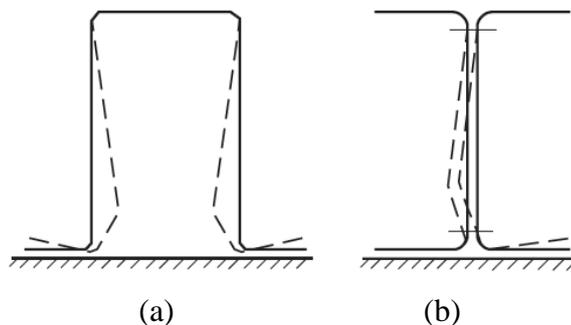
com  $d_h$ ,  $2t_w$  e  $t_l$  definidos na figura 3.14 e  $d_{we} \leq 16 \text{ mm}$ .



**Figura 3.14 – Dimensões para cálculo da resistência ao rasgamento do metal-base**  
(Adaptado: ABNT NBR 14762, 2010)

### 3.6.6. Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas

Como as barras fletidas de PFF geralmente possuem alma com elevada relação  $h/t$  (esbeltez), estas podem sofrer esmagamento devido à força concentrada (força aplicada ou reação de apoio). A figura 3.15 mostra os modos de falha por esmagamento da alma (*web crippling*) em perfil cartola (3.15a) e perfil I (3.15b) sem enrijecedores transversais e não conectados ao apoio.



**Figura 3.15 – Esmagamento da alma (*web crippling*) em perfis formados a frio**

A análise teórica de falha por esmagamento da alma em perfis formados à frio é muito complexa, uma vez que envolve os seguintes fatores: (1) distribuição de tensão não-uniforme sob a carga aplicada e partes adjacentes da alma, (2) estabilidade elástica e inelástica da alma, (3) escoamento local na região de aplicação da carga, (4) flexão produzida pela força excêntrica (ou reação) quando aplicada na mesa de contato, a uma distância fora da curva de transição da alma; (5) imperfeição inicial de elementos de placa fora do plano (6); várias restrições de borda fornecidas pelas mesas da viga e interação entre mesa e alma, (7) alma inclinada para *decks* e painéis. Por estas razões a disposição normativa para o modo de falha esmagamento da alma em perfis formados a frio é baseada em uma ampla investigação experimental (AISI S100, 2007).

A força resistente de cálculo  $F_{Rd}$ , para uma alma, deve ser calculada pela equação (3.45).

$$F_{Rd} = \alpha^2 f_y \text{sen}\theta \left( 1 - \alpha_r \sqrt{\frac{r_i}{t}} \right) \left( 1 + \alpha_c \sqrt{\frac{c}{t}} \right) \left( 1 - \alpha_h \sqrt{\frac{h}{t}} \right) / \gamma \quad (3.45)$$

onde:

$\theta$  é o ângulo entre o plano da alma e o plano da superfície de apoio, em graus;

$r_i$  é o raio interno de dobramento;

$c$  é o comprimento, na direção longitudinal da barra, de atuação da força concentrada, cujo valor mínimo é igual a 20 mm;

$h$  é a largura da alma (parte plana da alma);

$t$  é a espessura da alma;

$\alpha$  é um coeficiente associado ao esmagamento da alma;

$\alpha_r$  é um coeficiente associado ao raio interno de dobramento;

$\alpha_c$  é um coeficiente associado ao comprimento de atuação da força concentrada;

$\alpha_h$  é um coeficiente associado à esbeltez da alma.

O método de dimensionamento é aplicável às barras sujeitas à força concentrada (força aplicada ou reação de apoio) atuando perpendicularmente ao eixo longitudinal da barra, em regiões sem enrijecedores transversais, e causando compressão na alma, portanto susceptíveis a um mecanismo localizado de falha associado ao esmagamento da alma (*web crippling*). A condição  $h/t \leq 200$  deve ser atendida, caso contrário, devem

ser previstos dispositivos que transmitam a força concentrada diretamente para a(s) alma(s). Além disso, o critério de dimensionamento é válido para  $c/t \leq 210$  e  $\theta=90^\circ$ . Para perfil composto ou perfil com mais de uma alma (perfil cartola), a força resistente de cálculo é a soma das parcelas correspondentes a cada alma.

Os coeficientes de dimensionamento  $\alpha$ ,  $\alpha_r$ ,  $\alpha_c$  e  $\alpha_h$  e os coeficientes de ponderação da resistência, são apresentados nas tabelas 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, conforme o tipo de seção, a condição da mesa e casos de carregamento. A condição da mesa corresponde ao caso onde a mesa é conectada (C) ou não conectada (NC) na região da força concentrada, de modo a impor restrição à rotação da mesa nessa região (figura 3.16).

Existem 4 diferentes casos de carregamento abordados pelas normas NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007) (figura 3.17). Estes casos dependem se a força concentrada está atuando em duas mesas ou em apenas uma mesa do perfil. Além disso, os casos de carregamento dependem da posição da força concentrada, isto é, na extremidade da barra ou aplicada em algum ponto intermediário no vão da barra. Estes quatro casos de carregamento podem ser resumidos como se segue:

- Uma mesa carregada, força de extremidade (EOF, *End One Flange Loading*);
- Uma mesa carregada, força interna (IOF, *Interior One Flange Loading*);
- Duas mesas carregadas, força de extremidade (ETF, *End Two Flange Loading*).
- Duas mesas carregadas, força interna (ITF, *Interior Two Flange Loading*);

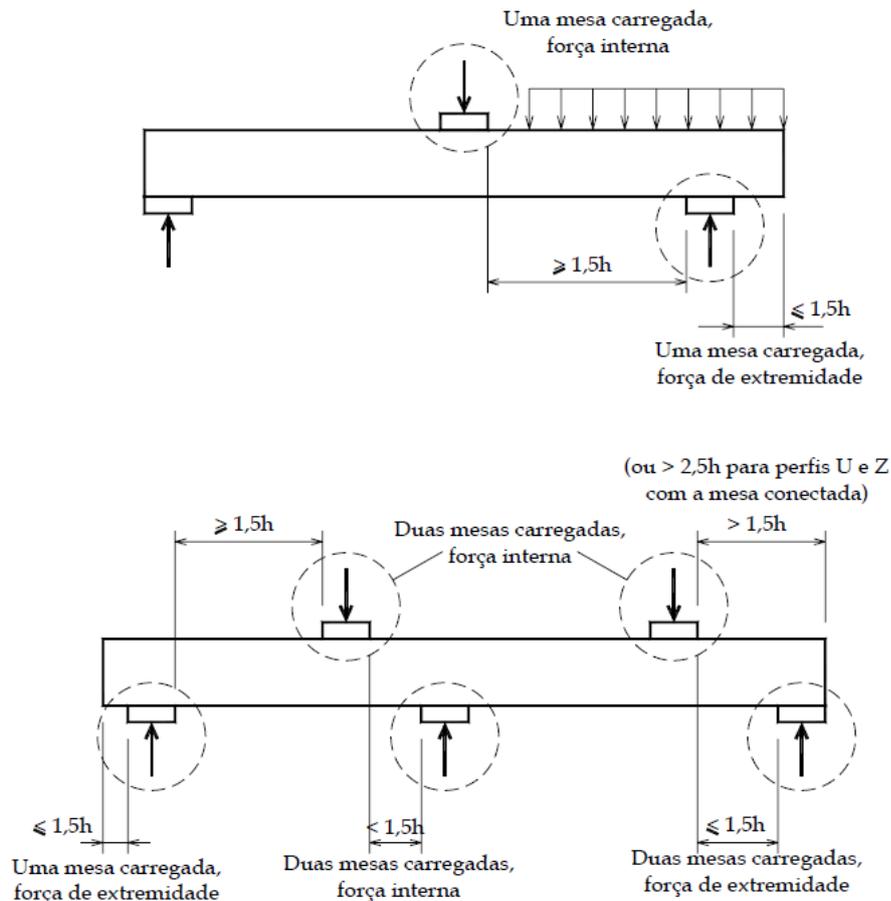


(a) amostra durante o ensaios



(b) amostra após falha

**Figura 3.16 - Ensaio típico de esmagamento da alma em amostra com mesa conectada por parafusos na região da força concentrada (Beshara, 1999).**



**Figura 3.17 – Ilustração dos casos de carregamento (NBR 14762, 2010)**

A NBR 14762 (2010) adota um único coeficiente de ponderação da resistência, que é equivalente ao menor  $\phi$  da norma AISI S100 (2007) para o LRFD ( $\gamma=1,35$  corresponde a  $\phi=0,75$ ). Verifica-se que as tabelas dos coeficientes de dimensionamento ( $\alpha$ ,  $\alpha_r$ ,  $\alpha_c$  e  $\alpha_h$ ) são basicamente as mesmas para ambas as normas. Entretanto, o coeficiente associado ao esmagamento da alma,  $\alpha$ , da norma ABNT NBR 14762 (2010) é ampliado em relação aos valores do AISI-LRFD, proporcionando uma uniformidade do  $\gamma$  na norma brasileira:

- quando  $\phi=0,80$  (LRFD), o  $\alpha$  da NBR 14762 (2010) é cerca de 7,5% superior ao  $\alpha$  do AISI-LRFD.

- quando  $\phi=0,85$  (LRFD), o  $\alpha$  da NBR 14762 (2010) é cerca de 15% superior ao  $\alpha$  do AISI-LRFD.

- quando  $\phi=0,90$  (LRFD), o  $\alpha$  da NBR 14762 (2010) é cerca de 21% superior ao  $\alpha$  do AISI-LRFD.

- quando  $\phi=0,75$  (LRFD), o  $\alpha$  é praticamente o mesmo valor para ambas as normas.

**Tabela 3.3 – Coeficientes de ponderação da resistência e coeficientes para cálculo de  $F_{Rd}$  em perfis I ( $c/h \leq 1,0$ )**

Condição da mesa		Caso de carregamento		$r/t$	$\alpha$	$\alpha_r$	$\alpha_c$	$\alpha_h$	$\gamma$ NBR	$\phi$ LRFD	$\phi$ LSD
Conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 5$	10,1 (10)	0,14	0,28	0,001	1,35	0,75	0,60
			Força interna	$\leq 5$	23,5 (20,5)	0,17	0,11	0,001	1,35	0,85	0,75
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 5$	10,1 (10)	0,14	0,28	0,001	1,35	0,75	0,60
			Força interna	$\leq 3$	23,5 (20,5)	0,17	0,11	0,001	1,35	0,85	0,75
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 3$	15,7 (15,5)	0,09	0,08	0,04	1,35	0,75	0,65
			Força interna	$\leq 3$	36,5 (36)	0,14	0,08	0,04	1,35	0,75	0,65
Não conectada	Sem enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 5$	10,1 (10)	0,14	0,28	0,001	1,35	0,75	0,60
			Força interna	$\leq 3$	23,5 (20,5)	0,17	0,11	0,001	1,35	0,85	0,75

Nota: valores entre parênteses conforme AISI S100 (2007)

**Tabela 3.4 – Coeficientes de ponderação da resistência e coeficientes para cálculo de  $F_{Rd}$  em perfil U ( $c/h \leq 2,0$ )**

Condição da mesa		Caso de carregamento		$r/t$	$\alpha$	$\alpha_r$	$\alpha_c$	$\alpha_h$	$\gamma$ NBR	$\phi$ LRFD	$\phi$ LSD
Conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 9$	4,6 (4)	0,14	0,35	0,02	1,35	0,85	0,75
			Força interna	$\leq 5$	15,8 (13)	0,23	0,14	0,01	1,35	0,90	0,80
Conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 12$	8,6 (7,5)	0,08	0,12	0,048	1,35	0,85	0,75
			Força interna	$\leq 12$	23 (20)	0,1	0,08	0,031	1,35	0,85	0,75
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 5$	4,3 (4)	0,14	0,35	0,02	1,35	0,80	0,70
			Força interna	$\leq 5$	15,8 (13)	0,23	0,14	0,01	1,35	0,90	0,80
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 3$	15,8 (13)	0,32	0,05	0,04	1,35	0,90	0,80
			Força interna	$\leq 3$	25,9 (24)	0,52	0,15	0,001	1,35	0,80	0,65
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 2$	4,6 (4)	0,4	0,6	0,03	1,35	0,85	0,70
			Força interna	$\leq 1$	14,9 (13)	0,32	0,1	0,01	1,35	0,85	0,70
Não conectada	Sem enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 1$	2	0,11	0,37	0,01	1,35	0,75	0,65
			Força interna	$\leq 1$	14 (13)	0,47	0,25	0,04	1,35	0,80	0,65

Nota: valores entre parênteses conforme AISI S100 (2007)

**Tabela 3.5 – Coeficientes de ponderação da resistência e coeficientes para cálculo de  $F_{Rd}$  em perfil Z ( $c/h \leq 2,0$ )**

Condição da mesa		Caso de carregamento		$r/t$	$\alpha$	$\alpha_r$	$\alpha_c$	$\alpha_h$	$\gamma$ NBR	$\phi$ LRFD	$\phi$ LSD
Conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 9$	4,6 (4)	0,14	0,35	0,02	1,35	0,85	0,75
			Força interna	$\leq 5,5$	15,8 (13)	0,23	0,14	0,01	1,35	0,90	0,80
Conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 12$	10,3 (9)	0,05	0,16	0,052	1,35	0,85	0,75
			Força interna	$\leq 12$	25,9 (24)	0,07	0,07	0,04	1,35	0,80	0,70
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 5$	5,7 (5)	0,09	0,02	0,001	1,35	0,85	0,75
			Força interna	$\leq 5$	15,8 (13)	0,23	0,14	0,01	1,35	0,90	0,80
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 3$	15,8 (13)	0,32	0,05	0,04	1,35	0,90	0,80
			Força interna	$\leq 3$	25,9 (24)	0,52	0,15	0,001	1,35	0,80	0,65
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 2$	4,6 (4)	0,4	0,6	0,03	1,35	0,85	0,70
			Força interna	$\leq 1$	14,9 (13)	0,32	0,1	0,01	1,35	0,85	0,70
Não conectada	Sem enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 1$	2	0,11	0,37	0,01	1,35	0,75	0,65
			Força interna	$\leq 1$	14 (13)	0,47	0,25	0,04	1,35	0,80	0,65

Nota: valores entre parênteses conforme AISI S100 (2007)

**Tabela 3.6 – Coeficientes de ponderação da resistência e coeficientes para cálculo de  $F_{Rd}$  em perfil cartola ( $c/h \leq 2,0$ )**

Condição da mesa		Caso de carregamento		$r/t$	$\alpha$	$\alpha_r$	$\alpha_c$	$\alpha_h$	$\gamma$ NBR	$\phi$ LRFD	$\phi$ LSD
Conectada	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 5$	4	0,25	0,68	0,04	1,35	0,75	0,65	
		Força interna	$\leq 10$	19,5 (17)	0,13	0,13	0,04	1,35	0,85	0,70	
Conectada	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	$\leq 10$	10,3 (9)	0,10	0,07	0,03	1,35	0,85	0,75	
		Força interna	$\leq 10$	11,5 (10)	0,14	0,22	0,02	1,35	0,85	0,75	
Não conectada	Uma mesa carregada	Força de extremidade	$\leq 4$	4	0,25	0,68	0,04	1,35	0,75	0,65	
		Força interna	$\leq 4$	19,5 (17)	0,13	0,13	0,04	1,35	0,85	0,70	

Nota: valores entre parênteses conforme AISI S100 (2007)

## Capítulo 4

### Banco de dados experimentais

#### 4.1 Visão geral sobre o banco de dados

O coeficiente profissional,  $P$ , tem o intuito de multiplicar a resistência nominal fazendo com que os resultados obtidos pelos métodos de cálculo (prescrições normativas) sejam mais próximos da resistência (falha) real. Para determinar este coeficiente profissional serão utilizados resultados experimentais de vários pesquisadores, além de resultados teóricos com base nas propriedades do material e propriedades geométricas dos protótipos ensaiados. Como foi visto anteriormente, os resultados experimental e teórico são comparados, com a finalidade de se obter informações estatísticas do coeficiente profissional ( $P_m$  e  $V_P$ ). Este capítulo apresenta o banco de dados de ensaios de barras e ligações em perfis formados a frio, utilizados nos cálculos dos coeficientes de ponderação da resistência. Para cada estado-limite, tabelas são apresentadas com informações do número de ensaios,  $n$ , de cada programa experimental.

O banco de dados de barras submetidas à força axial de tração contém 100 resultados de ensaios de ligações parafusadas em cantoneiras, de 3 programas experimentais, cuja falha foi ruptura da seção líquida na região da ligação (RSL). Nas análises de confiabilidade para o estado-limite de escoamento da seção bruta, não foram utilizados resultados de ensaios. Neste caso, o erro do modelo já está representado pelas estatísticas do material (Fator Material).

Foram considerados nas análises de confiabilidade de barras submetidas à força axial de compressão, resultados de perfis U e U enrijecidos sujeitos à flambagem global, local ou distorcional. O banco de dados contém 375 resultados de ensaios obtidos de diversos programas experimentais.

O banco de dados de ligações soldadas contém 245 ensaios de solda de filete em superfícies planas e superfícies curvas, obtidos de 3 programas experimentais. Os protótipos falharam por ruptura do metal-base.

A base de dados de ligações parafusadas contém 818 resultados de ensaios em chapas e perfis, de diversos programas experimentais. Foram considerados nas análises de confiabilidade, resultados de ensaios cuja falha ocorreu por pressão de contato (esmagamento da parede do furo) ou rasgamento entre furo e borda. Os resultados de ensaios correspondentes ao esmagamento da parede do furo foram separados para dois critérios de projetos: (i) a deformação do furo é uma consideração de projeto e (ii) a deformação do furo é desconsiderada.

Nas análises de confiabilidade de ligações com parafusos auto-atarraxantes em chapas submetidas à força de tração (ênfase na ligação terça-telha), foram selecionados para o banco de dados, resultados relacionados à falha por arrancamento do parafuso (*pull-out*) ou rasgamento do metal-base (*pull-over*). Nas análises de confiabilidade de ligações em chapas submetidas à força de cisalhamento, foram selecionados resultados relacionados à falha por pressão de contato (esmagamento) e inclinação do parafuso (*tilting*). O banco de dados de ligações com parafusos auto-atarraxantes contém 247 resultados.

O banco de dados de barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas (esmagamento da alma) contém 710 resultados de ensaios obtidos de diversos programas experimentais. Foram considerados nas análises de confiabilidade, resultados de perfis I (dois perfis U conectados entre si), U (simples e enrijecido), Z e cartola.

Detalhes sobre cada programa experimental, incluindo os dados dos materiais, propriedades geométricas e arranjo experimental são fornecidos nos próximos itens e nos Anexos A ao F.

## **4.2 Barras submetidas à força axial de tração (ruptura na seção líquida na região da ligação)**

Um total de 85 ensaios em cantoneiras parafusadas em PFF, que falharam por ruptura na seção líquida na região da ligação, foi selecionado para a determinação do coeficiente de ponderação da resistência.

Em Holcomb *et al.* (1995), os estudos experimentais foram realizados para investigar a força axial de tração resistente, a resistência ao esmagamento da parede do furo (pressão de contato) e da interação entre estes dois modos de falha, para ligações parafusadas de chapas planas. O efeito da deformação do furo na resistência ao esmagamento da parede do furo, também foi investigado. Na investigação experimental, ligações do tipo corte simples foram empregadas em situações com um parafuso e com múltiplos parafusos. Foi adotado um total de 19 ensaios.

Um programa experimental, consistindo de 23 cantoneiras em PFF, foi apresentado por Yip e Cheng (2000) para estudar o efeito *shear lag*. O comprimento da região da ligação e a geometria da seção transversal foram os dois parâmetros principais deste estudo. Os autores propuseram novas equações para obtenção do coeficiente de redução da área líquida ( $U$ ,  $C_f$ ) para os perfis ensaiados. Foi adotado neste trabalho um total de 15 ensaios.

Paula (2006) realizou um estudo experimental e numérico de cantoneiras de aço formadas a frio, conectadas por parafusos e sob força de tração. Devido à ligação parafusada, a cantoneira não se deforma uniformemente, surgindo então um fenômeno conhecido como *shear lag*, o qual reduz a capacidade resistente da cantoneira. Este fenômeno é também investigado em seu trabalho. A figura 4.1 apresenta uma típica ruptura da seção líquida de uma cantoneira conectada por apenas uma aba. Neste estudo, uma análise experimental envolvendo a ruptura de 158 amostras é realizada e os resultados dos ensaios são usados no esclarecimento das diversas variáveis que afetam a resistência da ligação. Foram adotados 66 ensaios de cantoneiras com dois ou mais parafusos na direção da solicitação, que falharam por ruptura da seção líquida.



**Figura 4.1 – ruptura da seção líquida ocorrida em duas cantoneiras com uma aba conectada (Paula, 2006)**

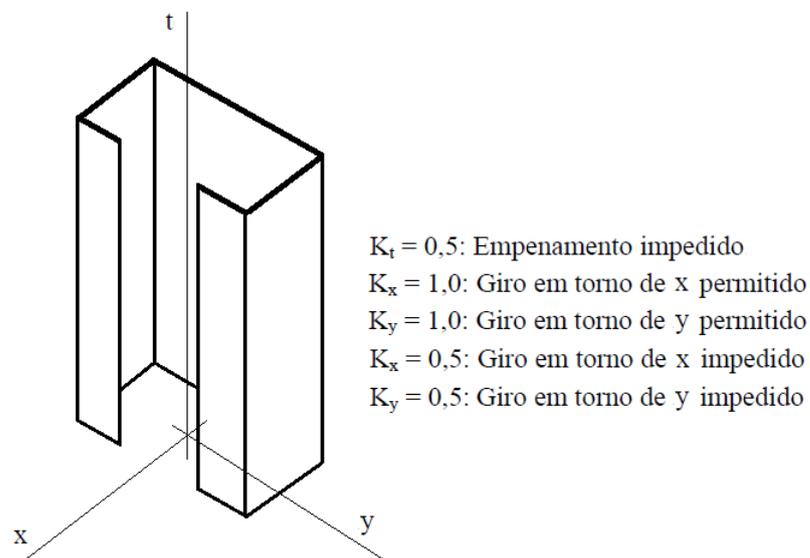
A tabela 4.1 apresenta um resumo dos programas experimentais incluídos no banco de dados para ruptura da seção líquida.

**Tabela 4.1 – Grupos de dados experimentais de barras tracionadas (RSL)**

Autor	<i>n</i>	Tipo
Holcomb <i>et al.</i> (1995)	19	cantoneira
Yip e Cheng (2000)	15	cantoneira
Paula (2006)	66	cantoneira
Total	100	

### 4.3 Barras submetidas à força axial de compressão

No presente estudo, as resistências teóricas foram calculadas através da ABNT NBR 14762 (2010), especificação principal e MRD, para todas as colunas ensaiadas resumidas na tabela 4.2. Esta seção fornece detalhes sobre cada programa experimental. Todos os detalhes de cada estudo, incluindo as dimensões e restrições de apoio são fornecidos no Anexo B. A figura 4.2 apresenta uma representação esquemática das condições de contorno.



**Figura 4.2 – Definição das condições de apoio**

O primeiro conjunto de ensaios de colunas neste banco de dados foi conduzido por Thomasson (1978) e consistiu de um total de 14 seções U enrijecido ( $U_e$ ). As dimensões da alma, enrijecedores e mesa dos perfis foram resumidas por Peköz (1987) e

Schafer (2000). O comprimento de todos os membros foi mantido constante a 2690 mm. Embora existam diferenças nas dimensões da alma, da mesa e da borda enrijecida, não há uma diferença considerável na espessura das amostras (0,635 a 1,397 mm) e isso afeta o comportamento local de flambagem. Os ensaios deste conjunto incluem a verificação de seções de paredes finas com esbeltez excessiva, portanto não usuais. Os ensaios foram conduzidos assumindo que o eixo de menor inércia estava rotulado e os outros eixos foram engastados, ou seja, os coeficientes de flambagem adotados foram  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ . As amostras de Thomasson (1978) foram totalmente suprimidas das análises com o Método da Largura Efetiva, por não se enquadrarem às restrições geométricas impostas para o método.

O conjunto de dados produzido por Loughlan (1979) e resumidos por Schafer (2000) consiste de 33 seções Ue com diferentes dimensões da alma, mesa e enrijecedores. Deste conjunto, foram adotados 13 perfis Ue com pequena excentricidade, em que não se obriga a análise de flexo-compressão. A espessura de todas as seções examinadas variou entre 0,8 e 1,6 mm. Todas as barras examinadas tinham comprimentos variando entre 1295 e 1905 mm. As resistências previstas foram obtidas assumindo que o eixo de menor inércia estava rotulado e os outros eixos foram engastados, ou seja, os coeficientes de flambagem adotados foram,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

Os dados de Desmond *et al.* (1981) consistem em 7 seções Ue. Trata-se de colunas curtas com comprimentos até 457 mm, engastadas nas extremidades com coeficientes de flambagem,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ . Esse programa experimental tinha como objetivo a análise do efeito do enrijecedor no comportamento da mesa em termos de flambagem local.

O programa experimental seguinte, realizado por Mulligan (1983), apresentou 37 seções Ue, sendo 24 colunas curtas e 13 colunas longas. A espessura de todas as seções examinadas variou de 1,14 a 1,52 mm. As colunas curtas foram engastadas nas extremidades (empenamento impedido) com coeficientes de flambagem,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ , enquanto as colunas longas tiveram o eixo de menor inércia rotulado, ou seja,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

Chodraui (2006) realizou análise teórica e experimental em perfis formados a frio submetidos à compressão. Especial atenção foi dada ao estudo da estabilidade

elástica de perfis usualmente empregados no Brasil. Um total de 8 perfis U e 8 perfis U<sub>e</sub> foi adotado no presente estudo. Espessuras de 2,38 mm e 3,88 mm foram empregadas tanto em ensaios com perfis U como U<sub>e</sub>. Os comprimentos variaram entre 850 mm e 2700 mm e as condições de apoio definidas por  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

Os resultados dos ensaios de compressão realizados por Batista (1989) foram organizados em 4 conjuntos (conjuntos #1, #2, #3 e #4), sendo 35 ensaios adotados. O conjunto #3 foi descartado devido aos desvios excessivos nos cálculos estatísticos, como sugere o próprio autor (Batista, 2009). Os comprimentos variaram entre 1543 e 4241 mm e as condições de apoio definidas por  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

Miller e Pekoz (1994) realizaram um programa experimental que consistiu de um total de 80 seções U<sub>e</sub>, dos quais 37 eram perfurados. O comprimento das colunas curtas variou de 279 a 493 mm, enquanto os comprimentos das colunas longas variaram de 1307 a 2534 mm. As condições de apoio adotadas foram engaste para colunas curtas ( $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ ) e para colunas longas considerou-se rotação livre em torno de um dos eixos e restringida no outro ( $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$  e também  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ ). Foram adotados, entre as colunas curtas e longas, 43 perfis não perfurados.

Moldovan (1994) conduziu ensaios de compressão em perfis U e U<sub>e</sub> que apresentassem força normal de estabilidade elástica do modo global por flexão próxima a do modo global por flexo-torção. Ele verificou que o decréscimo de resistência devido à interação entre esses dois modos globais foi pequeno, especialmente quando comparado à perda de resistência quando do acoplamento entre o modo local e um modo global genérico, caso este de forte interação. Moldovan (1994) ensaiou 64 colunas, sendo 35 seções U e 29 seções U<sub>e</sub>. Das 64 colunas, 27 eram colunas curtas com comprimento variando de 245 a 396 mm. As colunas longas variaram de 1070 a 1981 mm. A espessura dos perfis U<sub>e</sub> variou entre 1,77 e 3,05 mm enquanto para perfis U a variação foi de 1,77 a 4,06 mm. As condições de apoio definidas por  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$  para as colunas curtas, enquanto que para as colunas longas foi considerado apoio rotulado em torno do eixo de menor inércia, ou seja,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

Pu *et al.* (1999) realizaram um programa experimental com seções U<sub>e</sub> com e sem perfuração. Os 6 perfis não perfurados com 356 mm (colunas curtas) foram considerados no presente estudo. A máxima espessura dos perfis foi de 1,27 mm.

Rotações nas extremidades foram consideradas restringidas, ou seja,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

Young e Hancock (2003) conduziram um programa experimental com 42 colunas de seção  $U_e$ . Todas as colunas tinham aproximadamente 1500 mm e espessura nominal variando de 1,52 a 2,29 mm. As colunas continham bordas enrijecidas com diferentes inclinações, variando de  $30^\circ$  a  $150^\circ$ . As colunas foram ensaiadas com extremidades restringidas à rotação ( $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ ).

Em 1998, Young e Rasmussen publicaram dois artigos, um contendo 12 ensaios de colunas de seção  $U_e$  (1998a) e o outro contendo 14 colunas de seção  $U$  (1998b). Tratavam-se de colunas curtas e colunas longas com comprimentos variando de 279 a 3000 mm. As espessuras de todas as colunas foram de aproximadamente 1,52 mm e todos os protótipos possuíam extremidades engastadas com coeficientes de flambagem,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

O trabalho de pesquisa de Dat (1980) utilizou 43 perfis  $U_e$  sendo as colunas fabricadas por conformação em equipamento denominado *dobradeira* ou por conformação em mesa de roletes, denominada *perfiladeira*. No primeiro processo, a chapa de aço é prensada por punção no equipamento, de modo a se obter a seção transversal desejada. O processo na perfiladeira caracteriza-se pela passagem da chapa de aço por uma série de roletes adequadamente posicionados, até que a seção transversal desejada seja alcançada. As espessuras de todas as seções examinadas variaram de 1,79 a 2,29 mm. Os comprimentos variaram de 533 a 2540 mm. Foram utilizadas dispositivos na extremidade que permitiam giro em torno de um dos eixos somente, restringindo torção e empenamento. Estas barras foram posicionadas na máquina de ensaios de modo que o eixo principal de menor inércia fosse coincidente com a rótula, para haver portanto a condição biapoiada em torno deste eixo, enquanto que de engaste para o perpendicular a este ( $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ ).

Moen e Schafer (2008) testaram um total de 24 colunas de seção  $U_e$ , dos quais 12 tinham furos alongados. No presente trabalho, foram adotados os outros 12 dados de ensaios sem perfuração. O comprimento das colunas variaram entre 612 e 1227 mm. A espessura das colunas tinha cerca de 1,02 mm e todas foram engastadas nas extremidades com coeficientes de flambagem,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

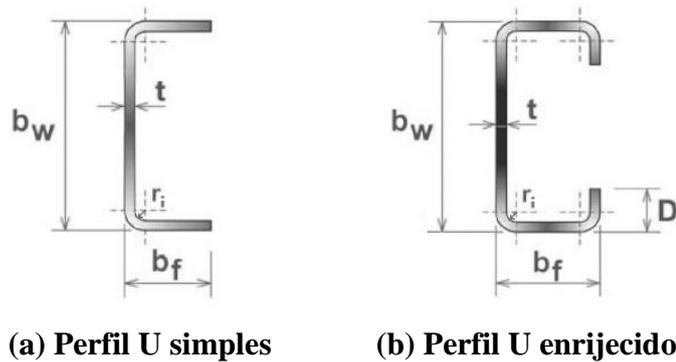
Ortiz-Colberg (1981) apresentou o resultado de 32 ensaios de colunas com furos e 11 sem furos, sendo todos os protótipos de seção  $U_e$ . No presente trabalho, foram adotados os 11 resultados de ensaios sem perfuração, com espessuras de 1,27 e 2,03 mm aproximadamente. Os ensaios envolveram colunas curtas, médias e longas. As colunas curtas foram engastadas nas extremidades (rotação impedida) com coeficientes de flambagem,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ , enquanto as demais colunas eram rotuladas em relação ao eixo de menor inércia, ou seja,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

Sivakumaran (1987) apresentou um total de 48 colunas de seção  $U_e$ , sendo 42 perfis com furos e 6 sem furos. Os furos tinham formato circular, quadrado ou oval, com tamanhos que variavam de 20% a 60% da largura da alma. No presente trabalho, foram adotados os 6 ensaios sem perfuração. Os comprimentos das colunas selecionadas variavam entre 198 e 263 mm. As colunas eram rotuladas em relação ao eixo de menor inércia, ou seja,  $K_x = 0,5$ ,  $K_y = 1,0$ , e  $K_t = 0,5$ .

A tabela 4.2 apresenta um resumo dos programas experimentais incluídos no banco de dados para barras submetidas à força axial de compressão. A notação utilizada para obtenção das propriedades geométricas da seção transversal de perfis U simples e U enrijecidos são apresentados na figura 4.3.

**Tabela 4.2 – Grupos de dados experimentais de barras submetidas à compressão centrada**

Referência	<i>n</i>	Tipo de Seção
Batista (1989)	35	$U_e$
Chodraui (2006)	16	U, $U_e$
Dat (1980)	43	$U_e$
Desmond <i>et al.</i> (1981)	7	$U_e$
Loughlan (1979)	13	$U_e$
Miller and Pekoz (1994)	44	$U_e$
Moldovan (1994)	64	U, $U_e$
Mulligan (1983)	36	$U_e$
Pu <i>et al.</i> (1999)	6	$U_e$
Thomasson (1978)	14	$U_e$
Young e Hancock (2003)	42	$U_e$
Young e Rasmussen (1998a)	12	$U_e$
Young e Rasmussen (1998b)	14	U
Moen e Schafer (2008)	12	$U_e$
Ortiz-Colberg (1981)	11	$U_e$
Sivakumaran (1987)	6	$U_e$
Total	375	



(a) Perfil U simples      (b) Perfil U enrijecido

**Figura 4.3 - Definição das condições de apoio**

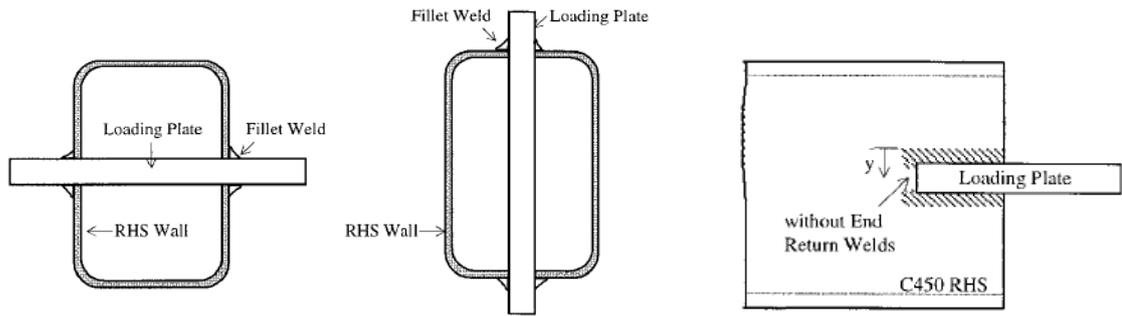
## 4.4 Ligações soldadas

Um total de 342 testes foi realizado por McGuire e Peköz (1979) em ligações soldadas: solda de filete, solda de ponto e cordão de solda. Deste total, foram adotados 157 resultados de ensaios referentes à solda de filete em superfícies planas e solda de filete em superfícies curvas.

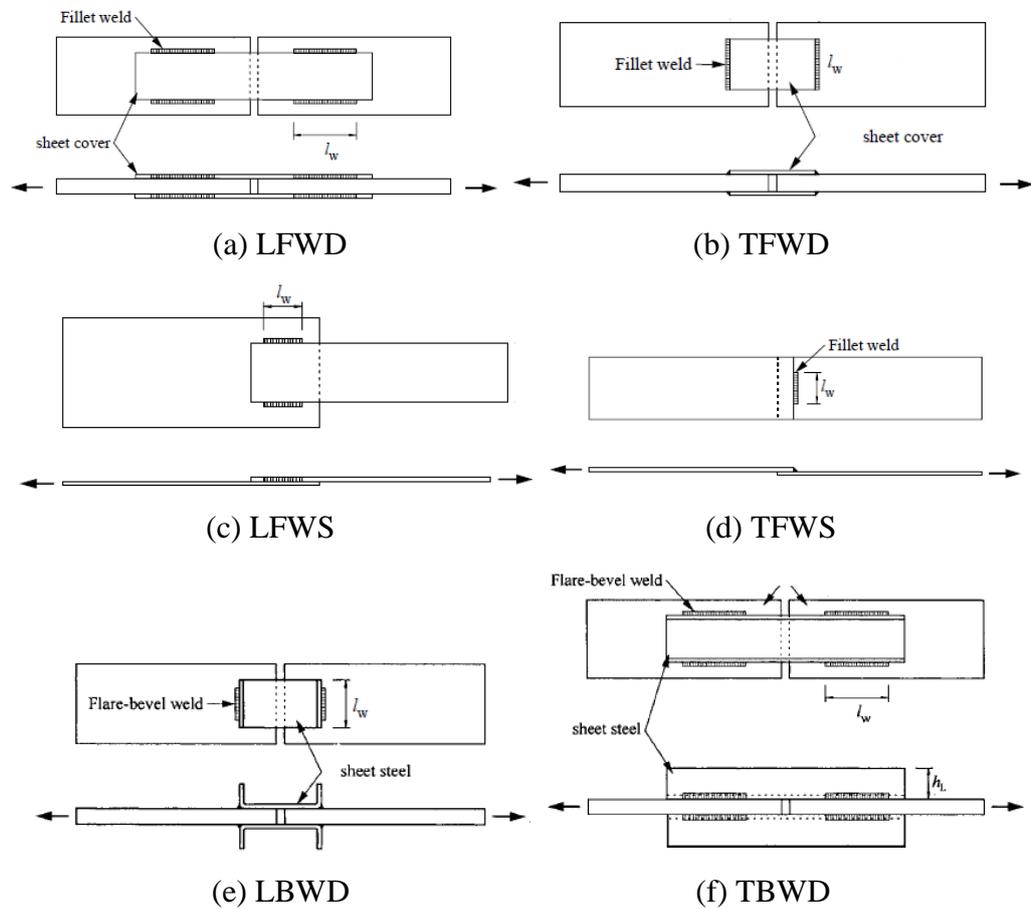
Teh e Hancock (2005) descrevem ensaios experimentais realizados em ligações soldadas, soldas de filete em superfícies planas e em superfícies curvas. Foram utilizadas chapas com espessura de 1,5 e 3,0 mm geralmente em aço G450 ( $f_y = 450$  MPa;  $f_u = 480$  MPa) utilizado neste programa experimental. Um total de 76 resultados de ensaios foi utilizado na calibração.

Zhao *et al.* (1999) descrevem uma série de ensaios de solda de filete longitudinal (solicitação paralela ao eixo da solda). Foram ensaiadas três diferentes seções tubulares retangulares denominadas RHS, do inglês *rectangular hollow section*, com espessura da chapa menor que 3,0 mm. Os perfis utilizados nos ensaios são em aço grau C450L0 RHS fabricados conforme os requisitos da norma australiana AS1163 (1991), que é semelhante a norma ASTM-A500 (1984). A resistência ao escoamento nominal do material é de 450 MPa e resistência última é de 500 MPa. As amostras foram classificadas conforme o acabamento da solda, ou seja, com ou sem cordão de solda no contorno da chapa *gusset*. O modo de falha predominante foi a ruptura do metal-base ao longo do contorno da solda. 12 resultados de ensaios foram utilizados na calibração.

As figuras 4.4 e 4.5 apresentam a configuração dos ensaios realizados por Teh e Hancock (2005) e Zhao *et al.* (1999).



**Figura 4.4 – Orientação do carregamento aplicado e detalhe da solda na extremidade da placa de carregamento (Zhao *et al.*, 1999)**



**Figura 4.5 – Configurações das ligações soldadas ensaiadas por Teh e Hancock (2005)**

A tabela 4.3 apresenta um resumo dos programas experimentais incluídos no banco de dados para ligações soldadas.

**Tabela 4.3 – Grupos de dados experimentais de ligações soldadas**

<b>Autor</b>	<b>n</b>
McGuire e Peköz (1979)	157
Teh e Hancock (2005)	76
Zhao <i>et al.</i> (1999)	12
Total	245

## **4.5 Ligações parafusadas**

Em Carril *et al.* (1994), os estudos experimentais foram realizados para investigar a força axial de tração resistente, a resistência ao esmagamento da parede do furo (pressão de contato) e da interação entre estes dois modos de falha, para ligações parafusadas de chapas planas. O efeito da deformação do furo na resistência ao esmagamento da parede do furo, também foi investigado. Na investigação experimental, ligações do tipo corte simples, com arruelas e sem arruelas, foram empregadas em situações com um parafuso e com múltiplos parafusos. Foi adotado um total de 35 ensaios em chapas finas.

Os relatórios parciais 5º e 6º *Tests on Bolted Connections*, da Universidade de Cornell, datados de 1954, foram resumidos por Hsiao (1989). Na investigação experimental, ligações do tipo corte simples (com arruelas) e corte duplo (amostras mescladas com e sem arruelas). Foram adotados 16 ensaios em chapas finas, que falharam por pressão de contato (esmagamento).

O principal objetivo da pesquisa de Dhalla (1971) foi estudar a viabilidade da utilização aço baixo carbono, baixa ductilidade e alta resistência, para perfis estruturais formados a frio. Na investigação experimental, ligações do tipo corte simples (com arruelas) e corte duplo (com e sem arruelas). Este estudo se limitou a determinar a influência de dois fatores: a ductilidade e a dispersão (*spread*) entre a resistência ao escoamento e resistência à ruptura, no comportamento de barras e ligações em PFF submetido à carga estática. Um total de 23 resultados de ensaios de ligações que falharam por pressão de contato (esmagamento) foi utilizado.

McKinney *et al.* (1975) apresentaram os resultados de um estudo de perfis estruturais em aço formados a frio fabricados a partir de chapas grossas e placas em duas partes: Parte I - flambagem local de PFF, com elementos comprimidos que se apresentam fora do plano; Parte II - Efeitos de trabalho a frio nas propriedades

mecânicas das chapas, barras e ligações parafusadas. Na investigação experimental, ligações do tipo corte simples (com arruelas) e corte duplo (com e sem arruelas). Da parte II, 20 resultados de ensaios em ligações parafusadas que falharam por pressão de contato (esmagamento) foram adotados.

Chong e Matlock (1974) estudaram a resistência de ligações parafusadas em chapas finas com e sem arruelas, submetidas ao cisalhamento simples. Em seus ensaios, foram observados os mesmos modos de falha descritos por Winter (1956). A influência de determinados parâmetros (diâmetro do parafuso, distância entre furos e entre furo e borda) sobre a resistência de as ligações parafusadas foi bastante explorada. Um total de 33 resultados de ensaio de ligações parafusadas que falharam por pressão de contato (esmagamento) foi adotado no presente trabalho.

Yu e Mosby (1978) apresentaram os resultados de 370 testes adicionais para um estudo da resistência de esmagamento da parede de furos em ligações parafusadas influenciadas pela intensidade do torque empregado na instalação. Os protótipos foram fabricados com um parafuso apenas e ensaiados na Universidade de Missouri-Rolla. Três diferentes diâmetros de parafusos e sete tipos diferentes de chapas de aço com várias propriedades mecânicas também foram utilizados, com e sem o uso de arruelas. Foram realizados ensaios com ligações sujeitas, tanto ao cisalhamento simples quanto ao cisalhamento duplo. Um total de 149 ensaios que falharam por pressão de contato (esmagamento) foi adotado no presente trabalho.

Um estudo realizado por Macadam (1990) indicou que uma falha por tração poderá ocorrer em uma amostra de ensaio, após uma deformação excessiva por esmagamento da parede do furo. Um total de 17 ensaios de cisalhamento simples de ligações com um parafuso, com e sem arruelas foi adotado. Estas amostras selecionadas falharam por pressão de contato (esmagamento).

Rogers e Hancock (1998) apresentaram uma proposta para projeto de ligação parafusada fabricada com aços de alta resistência, com espessura inferior a 1,0 mm. Os autores concluíram a necessidade de coeficiente gradual para a resistência ao esmagamento (fator de contato, C). Um total de 106 ensaios de cisalhamento em ligações parafusadas que falharam por pressão de contato (esmagamento) foi adotado.

Yu (1982) sintetizou as mudanças dos critérios de projeto e documentou os dados de pesquisa utilizados para a revisão da Seção 4.5 da especificação AISI (1980).

Foram adotados 22 ensaios de cisalhamento simples, com ligação de um parafuso, com e sem arruelas. Estas amostras falharam por pressão de contato (esmagamento).

Wallace e La Boube (2000) apresentaram um estudo experimental da resistência ao esmagamento da parede do furo em ligações parafusadas de PFF, usando furos alargados sem arruelas. Os parâmetros dos ensaios incluíam a espessura da chapa, o tipo de ligação, o número de parafusos, e o diâmetro de parafuso. Os resultados dos ensaios indicaram que o uso de furos alargados sem as arruelas causavam deformação excessiva e conseqüentemente redução da resistência da ligação. Com base nos dados de ensaios, um método foi desenvolvido para determinar com boa precisão a resistência de cálculo para ligações parafusadas quando são empregados furos alargados sem as arruelas. Foi adotado um total de 119 dados de ensaios, com e sem arruelas, que falharam por pressão de contato (esmagamento).

Em Maiola (2004) foram realizados estudos do comportamento estrutural de ligações parafusadas em chapas finas e perfis formados a frio, mediante análise teórica e experimental de corpos-de-prova. Cada configuração de ligação foi fabricada em duplicata, sendo que em cada configuração de chapa fina foi ensaiada com e sem arruela junto à cabeça do parafuso e à porca, enquanto os perfis foram ensaiados sem a utilização de arruelas. Foram utilizados parafusos de alta resistência ISO 7411 Grau 8.8, instalados em furos realizados por puncionamento através de aperto manual, e aços ZAR 345 (espessura de 1,55 mm), SAE 1008 (espessuras de 2,75 e 3,75 mm) e COR 420 (espessura de 4,75 mm). Foi adotado um total de 108 resultados de ensaios que falharam por pressão de contato (esmagamento), sendo 69 chapas, 20 perfis U e 19 cantoneiras. A figura 4.6 apresenta uma falha de esmagamento da parede do furo em ensaio realizado com perfil U.



**Figura 4.6 – Esmagamento da parede do furo em ensaio de Maiola (2004)**

Segundo Sheerah (2009), pesquisas com ligações parafusadas, sem emprego de arruelas, com furos alargados e furos pouco alongados não são muito frequentes. A norma AISI S100 (2007) não apresenta provisões para tais configurações. O principal objetivo da sua tese foi o estudo experimental de ligações representando tais condições. Além da variação da tipologia dos furos, as amostras foram preparadas para cisalhamento simples ou cisalhamento duplo, com situações de um ou dois parafusos. Os diâmetros dos parafusos utilizados nas ligações foram de 12,7 e 6,35 mm. Foram adotados 168 resultados de ensaios, sendo 115 correspondentes à falha por pressão de contato (esmagamento) e 53 correspondentes à falha por rasgamento entre furo e borda. Um protótipo que apresentou falha por rasgamento é ilustrado pela figura 4.7. Com relação à falha por esmagamento, foram excluídos os dados com pequena deformação (alongamento), para que a deformação do furo fosse uma consideração de projeto.



**Figura 4.7 – Falha por rasgamento entre furo e borda da amostra SS-118-118-A307-9/16x3/4-1-DS-1.5-T1**

A tabela 4.4 apresenta um resumo dos programas experimentais incluídos no banco de dados para ligações parafusadas.

**Tabela 4.4 – Grupos de dados experimentais de ligações parafusadas**

<b>Autor</b>	<b>n</b>	<b>Tipo</b>
Carril <i>et al.</i> (1994),	35	chapas
Rel. Universidade de Cornell (1954)	16	chapas
Dhalla (1971)	23	chapas
McKinney <i>et al.</i> (1975)	20	chapas
Chong <i>e. al.</i> (1974).	33	chapas
Yu e Mosby (1978)	151	chapas
Macadam (1990)	17	chapas
Rogers e Hancock (1988)	106	chapas
Yu (1982)	22	chapas
Wallace e LaBoube (2000)	119	chapas
Maiola (2004)	108	chapas e perfis
Sheerah (2009)	168	chapas
<b>Total</b>	<b>818</b>	

## 4.6 Ligações com parafusos auto-atarraxantes

Rogers e Hancock (1997) apresentaram ensaios de ligações com parafusos auto-atarraxantes sujeitas ao cisalhamento simples. A figura 4.8 apresenta uma falha típica por esmagamento do furo/inclinação do parafuso (*tilting*). As chapas de aço, com espessuras variando de 0,42 a 1 mm, foram dispostas durante os ensaios, nas direções longitudinal, transversal e diagonal com o objetivo de determinar o grau de anisotropia e sua influência na resistência da ligação e no tipo de falha. Os ensaios também apresentaram variação da espessura, tipo, quantidade e orientação dos parafusos, com o objetivo de verificar o comportamento das ligações submetidas à falha por pressão de contato e inclinação do parafuso. Os arranjos foram constituídos de ligações com um, dois ou quatro parafusos auto-atarraxantes. Ligações com dois parafusos foram orientados na direção longitudinal ou transversal em relação ao carregamento durante os ensaios. Ligações com quatro parafusos foram dispostos em "quadrado" ou "losango". A possibilidade de falha por cisalhamento do parafuso foi eliminada com a especificação apropriada de sua resistência e dimensões. Um total de 114 resultados de ensaios foi utilizado no presente trabalho.



**Figura 4.8 – Falha por esmagamento do furo/inclinação do parafuso em ligação com 4 parafusos dispostos em "quadrado" (Rogers e Hancock, 1997)**

Macindoe e Pham (1996) também conduziram ensaios de ligações parafusadas de cisalhamento simples, submetidas à falha por pressão de contato e inclinação do

parafuso. As ligações foram fabricadas com um ou dois parafusos auto-atarraxantes. No caso de amostras com dois parafusos, os mesmos foram orientados na direção longitudinal ou transversal, em relação à carga aplicada. Um total de 109 resultados de ensaios foi utilizado no presente trabalho.

O emprego de parafusos auto-atarraxantes em ligações metálicas, nos últimos anos, têm aumentado de forma significativa, principalmente como dispositivo de ligação entre componentes leves da construção metálica, como por exemplo, nas ligações entre telhas metálicas e terças. Tais ligações apresentam modos de falha diferentes dos observados para as ligações parafusadas convencionais, em função do tipo de parafuso e das reduzidas espessuras dos elementos conectados, definidos como arrancamento do parafuso e rasgamento do metal-base (ver figura 4.9). Freitas (2004) desenvolveu um estudo abrangente sobre as ligações metálicas com parafusos auto-atarraxantes, com ênfase na ligação telha-terça, onde são apresentados 26 ensaios padronizados para caracterização dos parafusos e para avaliação do comportamento estrutural e resistência de ligações. Dois diâmetros nominais de parafusos auto-atarraxantes foram utilizados,  $d=5,5$  mm e  $d=6,3$  mm e espessuras variadas dos componentes de ligação. Nestes ensaios verificaram-se os modos de ruptura arrancamento do parafuso e rasgamento do metal-base, semelhantes aos identificados em sinistros nas coberturas e vedações laterais, devido aos efeitos de sucção provocados pela ação do vento. Foram adotados 24 resultados de ensaios na análise de confiabilidade, sendo que 9 falharam por arrancamento do parafuso e 15 falharam por rasgamento do metal-base.



**(a) arrancamento do parafuso**



**(b) rasgamento do metal-base**

**Figura 4.9 - Modos de falha observado em ligações com parafusos auto-atarraxantes (Freitas, 2004)**

A tabela 4.5 apresenta um resumo dos programas experimentais incluídos no banco de dados para ligações com parafusos auto-atarraxantes.

**Tabela 4.5 – Grupos de dados experimentais de ligações com parafusos auto-atarraxantes**

<b>Autor</b>	<b><i>n</i></b>	<b>Tipo</b>
Rogers e Hancock (1996)	114	chapas
Macindoe e Pham (1996)	109	chapas
Freitas (2004)	24	chapas
Total	247	

## **4.7 Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas (esmagamento da alma)**

Hetrakul e Yu (1978) realizaram extensa pesquisa sobre barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas (esmagamento da alma). Eles desenvolveram novas expressões com base em ensaios realizados na Universidade de Missouri-Rolla (seções U, U<sub>e</sub> e barras compostas) e na Universidade de Cornell (seções cartola). No presente estudo de confiabilidade, foram utilizados 356 resultados de ensaios.

Wing (1981) pesquisou o modo de falha esmagamento da alma e a interação deste modo com flexão, em seções multi-alma (*decks*). Foi realizado um extenso estudo experimental para o desenvolvimento de novas expressões para todos os casos de carregamento, exceto para o caso EOF (mesa carregada/força de extremidade). Ele também restringiu rotação da mesa na região do apoio em todas as amostras. Foram utilizados 54 resultados, seção cartola (C<sub>r</sub>) com mesa conectada na região da força concentrada.

Bhakta, La Boube e Yu (1992) investigaram experimentalmente a influência da restrição da mesa na resistência ao esmagamento da alma. com a realização de 32 ensaios sujeitos ao EOF e IOF em perfis U<sub>e</sub>, I<sub>e</sub>, Z<sub>e</sub>, telhas de grandes vãos e *steel decks*. Foram adotados 32 ensaios, abrangendo seções U<sub>e</sub> e Z<sub>e</sub>.

Langan, La Boube e Yu (1994) realizaram uma investigação experimental em barras com alma perfurada sujeitas ao modo de falha esmagamento da alma e à flexão e esmagamento da alma combinados. Foram adotados 31 ensaios, com seções  $U_e$ .

Cain, La Boube e Yu (1995) investigaram experimentalmente os aspectos conservadores e não conservadores da norma AISI para esmagamento da alma de seções  $Z_e$  submetidas ao EOF e perfis  $I_e$  sujeitos ao IOF. No relatório, recomendou-se que as expressões do AISI (1986) indicavam certo conservadorismo para resistência ao esmagamento da alma de perfis  $Z_e$  não conectadas e sujeitas ao EOF e para perfis  $I_e$  conectados ou não conectadas e sujeitas ao IOF. Uma modificação nas expressões para perfis  $Z_e$  conectados e sujeitos ao EOF foi sugerida. Foram adotados 40 resultados de ensaios no presente trabalho.

Gerges (1997) investigou os aspectos conservadores e não conservadores das prescrições da norma americana para esmagamento da alma em perfis de almas simples com grande relação  $r_i/t$  sujeitos a EOF. Desenvolveu ainda novos coeficientes de dimensionamento ( $\alpha$ ,  $\alpha_r$ ,  $\alpha_c$ ,  $\alpha_h$ ) com base em 72 experimentos realizados em perfis  $U_e$  conectados ao apoio. Foram adotados no presente trabalho 33 resultados de ensaios.

Um programa experimental foi conduzido por Young e Hancock (1998, 2001) para investigar perfis U simples sujeitos ao esmagamento da alma. Uma série de ensaios foi conduzido para 4 condições de carregamento (EOF, IOF, ETF, ITF). Com base nos resultados desta pesquisa, a resistência de projeto obtida para o modo de falha esmagamento da alma do AISI (1996) não foi considerada conservadora para os perfis U simples ensaiados. Em seu trabalho são propostas novas expressões para esmagamento da alma, específicas para perfis U. Foram adotados no presente trabalho 100 resultados de ensaios com perfis U simples.

O comportamento estrutural de barras em PFF sujeitas ao esmagamento da alma, foi investigado por Beshara (1999). O objetivo do seu trabalho foi desenvolver adequados coeficientes para expressões da resistência de barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas, utilizadas na norma canadense (S136). Foram consideradas 4 diferentes condições de carregamento (EOF, IOF, ETF, ITF) e diferentes tipos de seções (I, U, Z,  $C_r$  e *decks*). Novos coeficientes foram desenvolvidos para 2 condições de apoio, isto é, amostras conectadas e não conectadas na região da força concentrada. Uma investigação experimental também foi conduzida para seções U

e Z submetidas ao ETF e ITF, conectadas, e com ênfase na elevada relação  $r_i/t$  ( $\leq 10$ ). Foram adotados no presente trabalho 64 resultados de ensaios com perfis  $U_e$  e  $Z_e$ .

A tabela 4.6 apresenta um resumo dos programas experimentais incluídos no banco de dados para *web crippling*.

**Tabela 4.6 – Grupos de dados experimentais de barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas**

<b>Autor</b>	<b><i>n</i></b>	<b>Seção</b>
Hetrakul e Yu (1978)	356	U, Ue, Ie, C <sub>r</sub>
Wing e Schuster (1981)	54	C <sub>r</sub>
Beshara (1999)	64	U, Ue
Bhakta (1992)	32	Ue, Ze
Cain, La Boube e Yu (1995)	40	Ie, Ze
Gerges (1997)	33	Ue, Ze
Langan, La Boube e Yu (1994)	31	Ue
Young e Hancock (1998, 2001)	100	U
Total	783	

## Capítulo 5

# Determinação do coeficiente de ponderação da resistência

## 5.1 Introdução

Neste capítulo são avaliados o índice de confiabilidade e o coeficiente de ponderação da resistência de barras e ligações de perfis formados a frio, projetadas segundo a NBR 14762 (2010). No caso de barras, os estados-limites analisados foram:

- Barras submetidas à força axial de tração;
- Barras submetidas à força axial de compressão, incluindo o MRD;
- Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas (esmagamento da alma).

No caso de ligações, os estados-limites analisados foram:

- Ligações soldadas (soldas de filete);
- Ligações parafusadas (rasgamento entre furos ou entre furo e borda e pressão de contato);
- Ligações com parafusos auto-atarraxantes (força de cisalhamento e força de tração).

Os parâmetros estatísticos do coeficiente profissional,  $P_m$  e  $V_P$ , são empregados com o método de confiabilidade de primeira ordem e segundo momento (FOSM). Os coeficientes de ponderação da resistência calculados são apresentados em tabelas para duas combinações de ações, (1)  $1,2D_n+1,6L_n$  e (2)  $1,25D_n+1,5L_n$ , e duas relações de ação permanente/ação variável ( $D_n/L_n$ ) de 1/5 e 1/3. Os índices de confiabilidade alvo utilizados foram  $\beta_o$  igual a 2,5 e 3,0, para barras, e 3,5 e 4,0 para ligações. Esses alvos foram definidos com referência à calibração da norma norte-americana visto que a norma brasileira não indica qual alvo foi adotado na sua calibração. Portanto, será dada atenção especial aos coeficientes de ponderação da resistência calculados conforme as situações abaixo:

- i) LRFD:  $D_n/L_n=1/5$ ; combinação (1);  $\beta_o=2,5$  para barras;  $\beta_o=3,5$  para ligações;
- ii) LSD:  $D_n/L_n=1/3$ ; combinação (2);  $\beta_o=3,0$  para barras;  $\beta_o=4,0$  para ligações.

A mesma combinação de ações utilizada na calibração do AISI-LSD, ou seja, a combinação (2), é definida pela NBR 14762 (2010), como sendo a combinação última normal. Entretanto, a norma brasileira mesmo após revisão, manteve a expressão do coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , na seção que aborda o dimensionamento com base em ensaios, deduzida com os parâmetros da situação i (LRFD). A figura 5.1 apresenta um resumo dos dados de calibração utilizados no presente trabalho.

<b>AISI-LRFD</b>	$1,2D_n+1,6L_n$ e $D_n/L_n=1/5$ : $\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + V_Q^2}}}{1,52(M_m F_m P_m)}$	$1,2D_n+1,6L_n$ e $D_n/L_n=1/3$ : $\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + V_Q^2}}}{1,48(M_m F_m P_m)}$			
	$1,25D_n+1,5L_n$ e $D_n/L_n=1/5$ : <small>NBR 14762 (2010)</small> $\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + V_Q^2}}}{1,45(M_m F_m P_m)}$	$1,25D_n+1,5L_n$ e $D_n/L_n=1/3$ : $\gamma = \frac{e^{\beta_o \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2 + V_Q^2}}}{1,42(M_m F_m P_m)}$	<b>AISI-LSD</b>		
barras	$\beta_o = 2,5$ $P_f \approx 6/1000$	$\beta_o = 3,0$ $P_f \approx 1/1000$	ligações	$\beta_o = 3,5$ $P_f \approx 2/10000$	$\beta_o = 4,0$ $P_f \approx 3/100000$

**Figura 5.1 – Resumo das situações de calibração utilizadas**

Considerando a similaridade entre os métodos para dimensionamento de barras e ligações descritos pela norma AISI S100 (2007) e NBR 14762 (2010), os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência ( $\gamma$  ou  $\phi$ ) são comparados com os valores recomendados por ambas as especificações. Os coeficientes de calibração são apresentados nas tabelas em função dos parâmetros citados, sendo adotado o símbolo  $\gamma_{(\beta_o)}$ , referindo-se aos índices de confiabilidade das situações apresentadas (i e ii). Com o emprego das expressões modificadas pelo fator de correção,  $C_P$ , será adotado o símbolo  $\gamma_{F(\beta_o)}$ , em referência à abordagem da formulação com base no número de ensaios do capítulo F (AISI S100, 2007).

A análise da confiabilidade inclui o cálculo dos índices de confiabilidade,  $\beta$  e  $\beta_F$ , com os parâmetros de calibração citados anteriormente, e o coeficiente de ponderação da resistência definido pela norma.

## 5.2 Barras submetidas à força axial de tração

### 5.2.1 Escoamento da seção bruta

A forma de determinação da força resistente de cálculo para escoamento da seção bruta é descrita no Capítulo 3. O coeficiente de ponderação da resistência recomendado pela NBR 14762 (2010) é  $\gamma = 1,10$ , valor equivalente ao recomendado pela especificação AISI S100 (2007),  $\phi = 0,90$  (LRFD e LSD).

Na determinação do coeficiente de ponderação da resistência, são usadas as equações (5.1) e (5.2) para a resistência média e a resistência nominal de barra tracionada sujeita ao escoamento da seção. A propriedade do material utilizada refere-se à resistência ao escoamento do aço virgem.

$$R_m = A(f_y)_m \quad (5.1)$$

$$R_n = Af_y \quad (5.2)$$

ou seja,

$$R_m = R_n \frac{(f_y)_m}{f_y} = R_n (M_m F_m) \quad (5.3)$$

onde,

$A$  é a área bruta da seção transversal da barra;

$(f_y)_m$  é igual a  $1,10f_y$  (Rang *et al.*, 1979a).

Utilizando os dados estatísticos definidos na NBR 14762 (2010), ou seja,  $M_m=1,10$ ,  $V_M=0,10$ ,  $F_m=1,00$ ,  $V_F=0,05$  e considerando que o coeficiente profissional (erro do modelo) já está representado pela estatística do material ( $V_P=0$ ), o coeficiente de variação  $V_R$  é dado por:

$$V_R = \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2} = 0,11 \quad (5.4)$$

A tabela 5.1 apresenta os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência com o emprego das estatísticas da variável resistência,  $R_m$  e  $V_R$ , definidas

pelas equações (5.3) e (5.4). Com o índice de confiabilidade alvo  $\beta_o=2,5$  e a combinação (1) obtém-se para  $D_n/L_n$  de 1/5 e 1/3,  $\gamma_{(2,5)}$  igual a 1,08 e 1,06, respectivamente. Nota-se que os coeficientes calculados são inferiores, porém próximos do valor recomendado pela norma norte-americana (AISI-LRFD), principalmente com a relação  $D_n/L_n$  de 1/5. Para a combinação (2) obtém-se com  $D_n/L_n$  de 1/5 e 1/3,  $\gamma_{(2,5)}$  igual a 1,13 e 1,10 respectivamente. Observa-se que os coeficientes calculados são próximos do valor recomendado pela norma brasileira, principalmente com a relação  $D_n/L_n$  de 1/3.

**Tabela 5.1 – Coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para escoamento da seção bruta**

Método da		$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
		(1)		(2)	
NBR 14762 (2010)		$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
		1/5	1/3	1/5	1/3
Escoamento	$\gamma_{(2,5)}$	1,08	1,06	1,13	1,10
da seção	$\gamma_{(3,0)}$	1,21	1,18	1,27	1,23

Os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência, para um nível de confiabilidade alvo de 3,0, são bem maiores que o valor recomendado pela NBR 14762 (2010), sendo  $\gamma_{(3,0)}$  igual a 1,23 com a combinação (2) e com a relação  $D_n/L_n$  de 1/3.

## 5.2.2 Ruptura da seção líquida

A seguir são apresentados os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência para cantoneiras submetidas à força axial de tração constantes do banco de dados, que falharam por ruptura da seção líquida (RSL) na região da ligação. O coeficiente  $\gamma$  recomendado pela norma ABNT NBR 14762 (2010) para RSL é de 1,65, enquanto que o coeficiente  $\phi$  recomendado pelo AISI-LRFD de 0,65. O AISI-LSD, neste caso, recomenda um  $\phi$  igual a 0,55.

A tabela 5.2 apresenta as estatísticas do coeficiente profissional e os coeficientes de ponderação da resistência para o estado-limite de RSL. O coeficiente de ponderação da resistência calculado com a combinação (1),  $D_n/L_n$  de 1/5 e com o alvo de calibração do AISI-LRFD,  $\gamma_{(3,5)}$  igual a 1,66 é compatível com a norma norte-americana (LRFD). Da mesma forma, com a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3 e com o alvo do AISI-LSD, o

resultado obtido também é adequado  $\gamma_{(4,0)}=1,93$  (ou  $\phi = 0,52$ ). Analisando a combinação (2) com  $D_n/L_n$  de 1/3 seria obtido  $\gamma_{(3,5)}=1,69$ , valor este adequado à norma brasileira.

De uma forma geral, o emprego do índice de confiabilidade alvo  $\beta_o=4,0$ , resulta coeficientes de ponderação da resistência superiores em aproximadamente 15% comparados ao emprego de  $\beta_o=3,5$ .

**Tabela 5.2 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para o estado-limite RSL**

Método da NBR 14762 (2010)				1,2D <sub>n</sub> + 1,6L <sub>n</sub>		1,25D <sub>n</sub> + 1,5L <sub>n</sub>	
				(1)		(2)	
				D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>
				1/5	1/3	1/5	1/3
Ruptura da seção	<i>n</i>	100	$\beta$	3,49	3,58	3,31	3,42
Líquida (RSL)	<i>P<sub>m</sub></i>	0,97	$\gamma_{(3,5)}$	1,66	1,61	1,74	1,69
	<i>V<sub>P</sub></i>	0,17	$\gamma_{(4,0)}$	1,91	1,85	2,01	1,93
			$\beta_F$	3,47	3,56	3,29	3,40
			$\gamma_{F(3,5)}$	1,66	1,62	1,75	1,69
			$\gamma_{F(4,0)}$	1,92	1,86	2,02	1,94

### 5.3 Barras submetidas à força axial de compressão

O objetivo desta seção é apresentar os resultados da calibração do coeficiente de ponderação da resistência para colunas de perfis formados a frio, cujo valor corrente é  $\gamma=1,2$  para a norma brasileira. O AISI-LRFD recomenda um valor equivalente,  $\phi = 0,85$ , e para o AISI-LSD o valor recomendado é  $\phi = 0,80$ . Dados de ensaios de compressão centrada com perfis U (U simples) e U<sub>c</sub> (U enrijecido) foram utilizados neste estudo. As resistências teóricas foram calculadas com o emprego dos três métodos disponíveis na ABNT NBR 14762 (2010): o Método da Largura Efetiva (MLE), o Método da Seção Efetiva (MSE) e o Método da Resistência Direta (MRD).

A tabela 5.3 apresenta os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência para todas as colunas do banco de dados de ensaios, exceto para o MSE, em que alguns dados foram suprimidos, devido às restrições geométricas impostas na norma brasileira. Pelo MLE, o coeficiente de ponderação da resistência calculado com a combinação (1),  $D_n/L_n$  de 1/5 e com o alvo de calibração do AISI-LRFD,  $\gamma_{(2,5)}=1,16$  ( $\phi = 0,86$ ), é compatível com a norma norte-americana (LRFD). Utilizando-se a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3 e com o alvo do AISI-LSD, obtém-se  $\gamma_{(3,0)}=1,37$  (ou  $\phi = 0,73$ ), que é

mais conservador em relação à norma norte-americana. Analisando a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3, um  $\gamma_{(2.5)}=1,20$  é o mesmo recomendado pela norma brasileira.

Pelo método MSE, o coeficiente de ponderação da resistência calculado com a combinação (1),  $D_n/L_n$  de 1/5 e com o alvo de calibração do AISI-LRFD, seria  $\gamma_{(2.5)}=1,13$  ( $\phi = 0,88$ ). Utilizando-se a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3 e com o alvo do AISI-LSD, obtém-se  $\gamma_{(3.0)}=1,34$  (ou  $\phi = 0,75$ ). Analisando a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3, um  $\gamma_{(2.5)}=1,17$  é bem próximo ao recomendado pela norma brasileira.

Pelo MRD, o coeficiente de ponderação da resistência calculado com a combinação (1),  $D_n/L_n$  de 1/5 e com o alvo de calibração do AISI-LRFD, seria  $\gamma_{(2.5)}=1,12$  ( $\phi = 0,89$ ). Utilizando-se a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3 e com o alvo do AISI-LSD, obtém-se  $\gamma_{(3.0)}=1,31$  (ou  $\phi = 0,76$ ). Analisando a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3, um  $\gamma_{(2.5)}=1,15$  é bem próximo ao recomendado pela norma brasileira.

**Tabela 5.3 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para compressão (todos os dados)**

				1,2D <sub>n</sub> + 1,6L <sub>n</sub>		1,25D <sub>n</sub> + 1,5L <sub>n</sub>	
				(1)		(2)	
				D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>
				1/5	1/3	1/5	1/3
MLE	n	375	$\beta$	2,61	2,66	2,44	2,50
			$P_m$	1,05	$\gamma_{(2.5)}$	1,16	1,15
	V <sub>P</sub>	0,16	$\gamma_{(3.0)}$	1,34	1,32	1,41	1,37
			$\beta_F$	2,61	2,65	2,43	2,50
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,16	1,15	1,22	1,20
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,34	1,32	1,41	1,37
MSE	n	282	$\beta$	2,71	2,76	2,53	2,60
			$P_m$	1,06	$\gamma_{(2.5)}$	1,13	1,12
	V <sub>P</sub>	0,15	$\gamma_{(3.0)}$	1,30	1,28	1,37	1,34
			$\beta_F$	2,70	2,75	2,52	2,59
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,13	1,12	1,19	1,17
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,30	1,28	1,37	1,34
MRD	n	375	$\beta$	2,76	2,82	2,58	2,65
			$P_m$	1,07	$\gamma_{(2.5)}$	1,12	1,10
	V <sub>P</sub>	0,15	$\gamma_{(3.0)}$	1,28	1,26	1,35	1,31
			$\beta_F$	2,76	2,81	2,57	2,65
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,12	1,11	1,18	1,15
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,28	1,26	1,35	1,32

Pode-se observar que para combinação (2) e relação  $D_n/L_n$  de 1/3, e índice de confiabilidade alvo  $\beta_o = 2,5$ , os coeficientes de ponderação da resistência calculados,  $\gamma$ ,

os três métodos MLE, MSE e MRD apresentaram valores que indicam a adequação da norma brasileira. Contudo, se o índice confiabilidade alvo  $\beta_o$  for adotado igual a 3,0, como no AISI-LSD, haveria a necessidade de um aumento no valor especificado pela norma brasileira para os três métodos.

Os coeficientes de ponderação da resistência calculados por tipo de seção transversal são fornecidos nas tabelas 5.4 e 5.5. O coeficiente de variação do coeficiente profissional,  $V_P$ , aumenta com aumento do número de amostras para cada seção transversal, resultante da variabilidade estatística criada pela consideração de vários programas experimentais em cada grupo de seção transversal. Logo, o  $V_P$  é baixo quando há pouca influência estatística dos programas experimentais, principalmente no caso de perfis U. Além disso, os dados dos perfis U representados por 3 programas experimentais, resultam em um  $P_m$  menor que no caso dos perfis  $U_e$  representados por 15 programas experimentais. Esta influência do número de programas experimentais dificulta a obtenção de conclusões definitivas em análise por seção transversal.

**Tabela 5.4 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para compressão (Perfis U)**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
				1/5	1/3	1/5	1/3
MLE	$n$	57	$\beta$	2,78	2,86	2,59	2,68
	$P_m$	1,03	$\gamma_{(2,5)}$	1,11	1,10	1,17	1,15
	$V_P$	0,11	$\gamma_{(3,0)}$	1,27	1,24	1,34	1,30
			$\beta_F$	2,77	2,84	2,58	2,67
			$\gamma_{F(2,5)}$	1,12	1,10	1,18	1,15
			$\gamma_{F(3,0)}$	1,27	1,25	1,34	1,30
MSE	$n$	52	$\beta$	2,45	2,50	2,26	2,33
	$P_m$	0,95	$\gamma_{(2,5)}$	1,22	1,20	1,28	1,25
	$V_P$	0,12	$\gamma_{(3,0)}$	1,39	1,36	1,46	1,42
			$\beta_F$	2,43	2,48	2,24	2,31
			$\gamma_{F(2,5)}$	1,22	1,21	1,28	1,26
			$\gamma_{F(3,0)}$	1,39	1,36	1,47	1,42
MRD	$n$	57	$\beta$	2,43	2,48	2,24	2,31
	$P_m$	0,95	$\gamma_{(2,5)}$	1,22	1,21	1,29	1,26
	$V_P$	0,12	$\gamma_{(3,0)}$	1,39	1,37	1,47	1,43
			$\beta_F$	2,42	2,46	2,23	2,29
			$\gamma_{F(2,5)}$	1,23	1,21	1,29	1,26
			$\gamma_{F(3,0)}$	1,40	1,37	1,47	1,43

**Tabela 5.5 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para compressão (Perfis  $U_e$ )**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$			
				(1)		(2)			
				$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$		
				1/5	1/3	1/5	1/3		
MLE	$n$	318	$\beta$	2,59	2,63	2,42	2,47		
			$P_m$	1,05	$\gamma_{(2.5)}$	1,17	1,16	1,23	1,21
			$V_P$	0,17	$\gamma_{(3.0)}$	1,35	1,33	1,42	1,39
					$\beta_F$	2,59	2,63	2,41	2,47
					$\gamma_{F(2.5)}$	1,17	1,16	1,23	1,21
					$\gamma_{F(3.0)}$	1,35	1,33	1,42	1,39
MSE	$n$	230	$\beta$	2,82	2,88	2,64	2,72		
			$P_m$	1,09	$\gamma_{(2.5)}$	1,10	1,09	1,16	1,13
			$V_P$	0,15	$\gamma_{(3.0)}$	1,26	1,24	1,33	1,29
					$\beta_F$	2,81	2,87	2,63	2,71
					$\gamma_{F(2.5)}$	1,10	1,09	1,16	1,14
					$\gamma_{F(3.0)}$	1,26	1,24	1,33	1,29
MRD	$n$	318	$\beta$	2,86	2,93	2,68	2,77		
			$P_m$	1,09	$\gamma_{(2.5)}$	1,09	1,07	1,14	1,12
			$V_P$	0,14	$\gamma_{(3.0)}$	1,25	1,22	1,31	1,27
					$\beta_F$	2,86	2,93	2,68	2,76
					$\gamma_{F(2.5)}$	1,09	1,07	1,14	1,12
					$\gamma_{F(3.0)}$	1,25	1,22	1,31	1,28

Os três métodos para o dimensionamento de barras submetidas a força axial de compressão relacionam a capacidade resistente a três estados-limites: flambagem global ou escoamento da seção, interação flambagem local-global e flambagem distorcional. Agrupando os dados em função destes estados-limites, obtém-se os coeficientes de resistência apresentados nas tabelas 5.6, 5.7 e 5.8.

O coeficiente de ponderação da resistência na flambagem global é praticamente o mesmo para os métodos MLE, o MSE e o MRD. Observa-se que os resultados para o coeficiente de ponderação da resistência calculado com a combinação (1),  $D_n/L_n$  de 1/5 e com o alvo de calibração do AISI-LRFD, seria  $\gamma_{(2.5)}=1,21$  ( $\phi = 0,85$ ) que está em conformidade com a a norma norte-americana. Utilizando-se a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3 e com o alvo do AISI-LSD, obtém-se  $\gamma_{(3.0)}=1,45$  (ou  $\phi = 0,69$ ). Analisando a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3, obtém-se  $\gamma_{(2.5)}=1,25$  que é um pouco superior ao recomendado pela norma brasileira.

**Tabela 5.6 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para compressão (modo global)**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
				1/5	1/3	1/5	1/3
MLE	$n$	117	$\beta$	2,47	2,50	2,31	2,35
	$P_m$	1,05	$\gamma_{(2.5)}$	1,21	1,20	1,27	1,25
	$V_P$	0,19	$\gamma_{(3.0)}$	1,41	1,39	1,48	1,45
			$\beta_F$	2,46	2,49	2,29	2,34
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,21	1,20	1,28	1,26
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,41	1,39	1,49	1,45
MSE	$n$	113	$\beta$	2,45	2,48	2,28	2,33
	$P_m$	1,03	$\gamma_{(2.5)}$	1,22	1,21	1,28	1,26
	$V_P$	0,18	$\gamma_{(3.0)}$	1,41	1,39	1,48	1,45
			$\beta_F$	2,44	2,47	2,27	2,32
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,22	1,21	1,28	1,26
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,42	1,40	1,49	1,46
MRD	$n$	117	$\beta$	2,47	2,50	2,30	2,35
	$P_m$	1,03	$\gamma_{(2.5)}$	1,21	1,20	1,27	1,25
	$V_P$	0,18	$\gamma_{(3.0)}$	1,40	1,38	1,48	1,44
			$\beta_F$	2,46	2,48	2,29	2,33
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,22	1,21	1,28	1,26
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,41	1,39	1,48	1,45

**Tabela 5.7 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para compressão (modo local)**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
				1/5	1/3	1/5	1/3
MLE	$n$	194	$\beta$	2,57	2,62	2,39	2,45
	$P_m$	1,02	$\gamma_{(2.5)}$	1,18	1,16	1,24	1,21
	$V_P$	0,15	$\gamma_{(3.0)}$	1,35	1,33	1,42	1,39
			$\beta_F$	2,56	2,61	2,39	2,45
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,18	1,17	1,24	1,22
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,36	1,33	1,43	1,39
MSE	$n$	123	$\beta$	2,82	2,89	2,63	2,72
	$P_m$	1,06	$\gamma_{(2.5)}$	1,10	1,09	1,16	1,13
	$V_P$	0,13	$\gamma_{(3.0)}$	1,26	1,23	1,32	1,29
			$\beta_F$	2,81	2,88	2,63	2,71
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,10	1,09	1,16	1,14
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,26	1,24	1,33	1,29
MRD	$n$	184	$\beta$	2,82	2,89	2,64	2,72
	$P_m$	1,07	$\gamma_{(2.5)}$	1,10	1,09	1,16	1,13
	$V_P$	0,13	$\gamma_{(3.0)}$	1,26	1,23	1,32	1,29
			$\beta_F$	2,82	2,88	2,63	2,72
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,10	1,09	1,16	1,13
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,26	1,24	1,33	1,29

**Tabela 5.8 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para compressão (modo distorcional)**

				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
				1/5	1/3	1/5	1/3
MLE	$n$	64	$\beta$	3,15	3,25	2,95	3,07
	$P_m$	1, 12	$\gamma_{(2.5)}$	1,02	1,00	1,07	1,04
	$V_P$	0, 10	$\gamma_{(3.0)}$	1,15	1,13	1,21	1,18
			$\beta_F$	3,14	3,24	2,94	3,06
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,02	1,00	1,07	1,05
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,16	1,13	1,22	1,18
MSE	$n$	46	$\beta$	3,14	3,25	2,95	3,07
	$P_m$	1, 12	$\gamma_{(2.5)}$	1,02	1,00	1,07	1,05
	$V_P$	0, 10	$\gamma_{(3.0)}$	1,16	1,13	1,22	1,18
			$\beta_F$	3,13	3,23	2,93	3,05
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,02	1,01	1,07	1,05
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,16	1,14	1,22	1,19
MRD	$n$	74	$\beta$	3,15	3,26	2,96	3,08
	$P_m$	1, 12	$\gamma_{(2.5)}$	1,01	1,00	1,07	1,04
	$V_P$	0, 10	$\gamma_{(3.0)}$	1,15	1,13	1,21	1,18
			$\beta_F$	3,14	3,24	2,95	3,07
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,02	1,00	1,07	1,05
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,16	1,13	1,22	1,18

O coeficiente de ponderação da resistência na interação flambagem local-global, avaliado com o MLE, converge para o valor recomendado pela norma AISI-LRFD. Entretanto, com os métodos MSE e MRD, obtém-se  $\gamma_{(2.5)}=1,10$ , valor bem menor que o adotando no AISI-LRFD. Com a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3 e com o alvo do AISI-LSD, é obtido para o MLE um valor  $\gamma_{(3.0)}=1,39$  ( $\phi = 0,72$ ), enquanto que para os métodos MSE e MRD,  $\gamma_{(3.0)}=1,29$  ( $\phi = 0,78$ ). Analisando a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3, obtém-se  $\gamma_{(2.5)}=1,21$  pelo MLE, enquanto que com os métodos MSE e MRD, obtém-se  $\gamma_{(2.5)}=1,13$ , valor bem menor que o adotando pela norma brasileira.

Com o estado-limite flambagem distorcional, os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência foram mais baixos comparados aos outros estados-limites. Uma redução no coeficiente de ponderação da resistência para o estado-limite flambagem distorcional para  $\gamma_{(2.5)} = 1,10$ , é uma consideração válida para uma futura revisão da norma brasileira.

Em todas as análises, verifica-se que o coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , calculado de acordo com a especificação AISI para o LSD é aproximadamente 18%

superior ao valor calculado para o LRFD. Este fato é atribuído a mudança da relação  $D_n/L_n$  para LSD comparado à 1/5 para o LRFD, mas principalmente devido ao LSD adotar um alto índice de confiabilidade alvo,  $\beta_o=3,0$ , comparado à  $\beta_o=2,5$  para o LRFD. Um valor de  $\beta_o=3,0$  corresponde à uma probabilidade de falha de aproximadamente 0,1%, enquanto  $\beta_o=2,5$  corresponde à uma probabilidade de falha de aproximadamente 0,6%. Portanto, um elevado  $\beta_o$  indica projeto mais seguro ( $\gamma_{(3.0)} > \gamma_{(2.5)}$ ).

## 5.4 Ligações Soldadas

Esta seção apresenta os resultados da calibração do coeficiente de ponderação da resistência para ligações parafusadas. As resistências teóricas foram calculadas de acordo com a norma brasileira (similar à especificação norte-americana) para os modos de falha apresentados na tabela 5.9. A tabela 5.10 apresenta os coeficientes de ponderação da resistência para 5 estados limites (ver casos na tabela 5.9).

**Tabela 5.9 – Estado-limite último de ruptura do metal-base**

Caso	Modo de falha (ruptura do metal-base)	Tipo de ligação	Nomenclatura	$\gamma_{NBR} (1/\gamma_{NBR})$	$\phi_{LRFD}$	$\phi_{LSD}$
<b>Soldas de filete em superfícies planas</b>						
1	Solicitação paralela ao eixo da solda ( $L/t < 25$ )	Cisalhamento simples (S)	LFWS	1,65 (0,60)	0,60	0,50
		Cisalhamento duplo (D)	LFWD			
2	Solicitação paralela ao eixo da solda ( $L/t \geq 25$ )	Cisalhamento simples (S)	LFWS	2,00 (0,50)	0,50	0,40
		Cisalhamento duplo (D)	LFWD			
3	Solicitação normal ao eixo da solda	Cisalhamento simples (S)	TFWS	1,55 (0,65)	0,65	0,60
		Cisalhamento duplo (D)	TFWD			
<b>Soldas de filete em superfícies curvas</b>						
4	Solicitação normal ao eixo da solda	Cisalhamento simples (S)	TBWD	1,65 (0,60)	0,60	0,50
5	Solicitação paralela ao eixo da solda	Cisalhamento duplo (D)	LBWD	1,80 (0,55)	0,55	0,45

Nota:

LFW *Longitudinal Fillet Welds*  
TFW *Transverse Fillet Welds*  
LBW *Longitudinal Flare-Bevel Welds*  
TBW *Transverse Flare-Bevel Welds*

Os casos 2, 4 e 5 apresentam para o coeficiente de ponderação da resistência calculado com a combinação (1),  $D_n/L_n$  de 1/5 e com o alvo de calibração do AISI-LRFD resultados muitos próximos aos recomendados por essa especificação, ou seja,  $\gamma_{(3.5)}=2,04$  ( $\phi = 0,49$ ),  $\gamma_{(3.5)}=1,67$  ( $\phi = 0,60$ ), e  $\gamma_{(3.5)}=1,79$  ( $\phi = 0,56$ ). Esses casos também apresentaram bons resultados com os dados de calibração da especificação AISI-LSD,  $\gamma_{(4.0)}=2,39$  ( $\phi = 0,42$ ),  $\gamma_{(4.0)}=1,95$  ( $\phi = 0,51$ ) e  $\gamma_{(4.0)}=2,08$  ( $\phi = 0,48$ ). Analisando a

combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3, obtém-se  $\gamma_{(3.5)}=2,08$ ,  $\gamma_{(3.5)}=1,70$ , e  $\gamma_{(3.5)}=1,82$  resultados muito próximos aos recomendados pela norma brasileira.

**Tabela 5.10 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para ligações soldadas**

Método da			$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$		
			(1)		(2)		
			$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	
NBR 14762 (2010)			1/5	1/3	1/5	1/3	
Caso (1)	$n$	51	$\beta$	3,27	3,34	3,09	3,18
LFWD + LFWS	$P_m$	0,93	$\gamma_{(3.5)}$	1,77	1,72	1,86	1,80
L/t < 25	$V_P$	0,11	$\gamma_{(4.0)}$	2,04	1,98	2,15	2,07
			$\beta_F$	3,25	3,32	3,08	3,17
			$\gamma_{F(3.5)}$	1,77	1,73	1,87	1,81
			$\gamma_{F(4.0)}$	2,05	1,99	2,16	2,08
Caso (2)	$n$	29	$\beta$	3,43	3,51	3,25	3,36
LFWD + LFWS	$P_m$	0,80	$\gamma_{(3.5)}$	2,04	1,99	2,15	2,08
L/t $\geq$ 25	$V_P$	0,11	$\gamma_{(4.0)}$	2,36	2,29	2,48	2,39
			$\beta_F$	3,40	3,48	3,23	3,33
			$\gamma_{F(3.5)}$	2,06	2,01	2,16	2,10
			$\gamma_{F(4.0)}$	2,38	2,31	2,50	2,41
Caso (3)	$n$	79	$\beta$	3,20	3,27	3,03	3,12
TFWD + TFWS	$P_m$	0,98	$\gamma_{(3.5)}$	1,69	1,65	1,78	1,72
	$V_P$	0,11	$\gamma_{(4.0)}$	1,95	1,90	2,05	1,98
			$\beta_F$	3,19	3,26	3,02	3,11
			$\gamma_{F(3.5)}$	1,70	1,66	1,78	1,73
			$\gamma_{F(4.0)}$	1,96	1,90	2,06	1,98
Caso (4)	$n$	56	$\beta$	3,47	3,55	3,29	3,39
TBWD	$P_m$	1,00	$\gamma_{(3.5)}$	1,67	1,63	1,75	1,70
	$V_P$	0,15	$\gamma_{(4.0)}$	1,93	1,87	2,03	1,95
			$\beta_F$	3,44	3,52	3,27	3,37
			$\gamma_{F(3.5)}$	1,68	1,64	1,77	1,71
			$\gamma_{F(4.0)}$	1,95	1,89	2,05	1,97
Caso (5)	$n$	30	$\beta$	3,52	3,62	3,35	3,46
LBWD	$P_m$	0,90	$\gamma_{(3.5)}$	1,79	1,74	1,88	1,82
	$V_P$	0,13	$\gamma_{(4.0)}$	2,06	2,00	2,17	2,08
			$\beta_F$	3,48	3,57	3,31	3,41
			$\gamma_{F(3.5)}$	1,81	1,77	1,90	1,84
			$\gamma_{F(4.0)}$	2,09	2,02	2,20	2,11

Os casos 1 e 3 apresentam para o coeficiente de ponderação da resistência calculado com a combinação (1),  $D_n/L_n$  de 1/5 e com o alvo de calibração do AISI-LRFD resultados não conservadores em relação aos recomendados por essa especificação, ou seja,  $\gamma_{(3.5)}=1,77$  ( $\phi = 0,56$ ) e  $\gamma_{(3.5)}=1,69$  ( $\phi = 0,59$ ). Em relação aos resultados de calibração da especificação AISI-LSD,  $\gamma_{(4.0)}=2,07$  ( $\phi = 0,48$ ) e  $\gamma_{(4.0)}=1,95$  ( $\phi = 0,51$ ), verifica-se uma adequação para o caso 1 e valor do coeficiente de ponderação da resistência não conservador para o caso 3. Analisando a combinação (2),

$D_n/L_n$  de 1/3, obtém-se  $\gamma_{(3,5)}=1,80$  e  $\gamma_{(3,5)}=1,72$ , resultados superiores aos recomendados pela norma brasileira.

## 5.5 Ligações Parafusadas

Esta seção apresenta os resultados da calibração do coeficiente de ponderação da resistência para ligações parafusadas. As resistências teóricas foram calculadas conforme a norma brasileira, para os seguintes estados-limites:

- pressão de contato (esmagamento da parede do furo - EPF);
- rasgamento entre furos ou entre furo e borda - RFB.

Adicionalmente, são apresentadas análises de confiabilidade para o estado-limite pressão de contato, sem a consideração da deformação do furo, com base na norma AISI S100 (2007). A NBR 14762 (2010), ao tratar deste estado-limite, não faz menção à deformação do furo. A norma AISI-S100 (2007), por sua vez, traz, para a verificação da falha por EPF, duas situações de projeto: (1) resistência sem considerar a deformação do furo e (2) resistência levando em conta a deformação do furo. Adotou-se um alongamento de 6,4 mm, valor máximo aceitável de acordo com o AISI S100 (2007). A primeira situação de cálculo não está contemplada na norma brasileira, porém a segunda situação é abordada pela norma brasileira com a mesma formulação da norma norte-americana.

A norma norte-americana ao tratar do modo de falha EPF, quando a deformação do furo não é uma consideração de projeto, apresenta uma formulação em função da presença de arruelas e do tipo de arranjo da ligação parafusada, ou seja, cisalhamento simples ou duplo.

### 5.5.1 Pressão de contato (esmagamento) com a consideração da deformação do furo

As tabelas 5.11 e 5.12 apresentam os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência para chapas e perfis com ligações parafusadas (contoneiras e perfis U), constantes do banco de dados, cuja falha ocorreu por esmagamento da parede do furo (EPF), considerando a deformação do furo. O valor recomendado pela norma brasileira

para o coeficiente de ponderação da resistência é  $\gamma=1,55$ . A norma norte-americana adota  $\phi=0,65$  e  $\phi=0,55$  para LRFD e LSD, respectivamente. Verifica-se que o coeficiente de ponderação da resistência da norma brasileira é equivalente ao adotado pelo AISI-LRFD ( $\gamma=1/\phi$ ).

**Tabela 5.11 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para EPF (chapas)**

Método da NBR 14762 (2010)				1,2D <sub>n</sub> + 1,6L <sub>n</sub> (1)		1,25D <sub>n</sub> + 1,5L <sub>n</sub> (2)	
				D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub> 1/5	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub> 1/3	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub> 1/5	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub> 1/3
EPF	<i>n</i>	31	$\beta$	2,54	2,56	2,38	2,42
Com uso de	<i>P<sub>m</sub></i>	0,86	$\gamma_{(3.5)}$	2,10	2,06	2,21	2,15
arruelas	<i>V<sub>P</sub></i>	0,22	$\gamma_{(4.0)}$	2,46	2,40	2,59	2,50
(Maiola)			$\beta_F$	2,48	2,49	2,32	2,36
			$\gamma_{F(3.5)}$	2,16	2,12	2,27	2,21
			$\gamma_{F(4.0)}$	2,54	2,48	2,67	2,59
EPF	<i>n</i>	153	$\beta$	2,43	2,43	2,29	2,31
Sem uso de	<i>P<sub>m</sub></i>	0,92	$\gamma_{(3.5)}$	2,28	2,25	2,39	2,34
arruelas	<i>V<sub>P</sub></i>	0,28	$\gamma_{(4.0)}$	2,73	2,67	2,87	2,79
			$\beta_F$	2,41	2,42	2,28	2,30
			$\gamma_{F(3.5)}$	2,29	2,26	2,41	2,36
			$\gamma_{F(4.0)}$	2,75	2,70	2,89	2,81
EPF	<i>n</i>	184	$\beta$	2,44	2,44	2,29	2,32
Todos	<i>P<sub>m</sub></i>	0,91	$\gamma_{(3.5)}$	2,26	2,23	2,38	2,32
os dados	<i>V<sub>P</sub></i>	0,27	$\gamma_{(4.0)}$	2,70	2,64	2,84	2,76
			$\beta_F$	2,42	2,43	2,28	2,30
			$\gamma_{F(3.5)}$	2,27	2,24	2,39	2,34
			$\gamma_{F(4.0)}$	2,71	2,66	2,85	2,78

As análises de confiabilidade em ligações parafusadas em chapas e perfis que apresentaram como ruína o esmagamento da parede do furo (EPF) apontaram que:

- Os modelos fornecem baixa confiabilidade, devido a coeficientes de variação consideráveis, tanto pelos desvios-padrão quanto pelas médias dos erros do modelo inseguros ( $P_m \cong 1,0$  ou inferior). Desta forma os coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , são bem superiores ao valor recomendado pela norma brasileira (ou  $\phi$  bem menor, pelo AISI-LRFD). Também são bem superiores ao coeficiente de ponderação da resistência recomendado pelo AISI-LSD, cujo nível de confiabilidade alvo é superior ao LRFD.

- Foram utilizados dados de ensaios em chapas de dois pesquisadores e ensaios em perfis de apenas um pesquisador. Outras referências podem ser incorporadas ao presente trabalho, com intuito de ratificar a necessidade de revisão do critério de projeto.

**Tabela 5.12 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para EPF (perfis)**

Método da NBR 14762 (2010)				1,2D <sub>n</sub> + 1,6L <sub>n</sub>		1,25D <sub>n</sub> + 1,5L <sub>n</sub>	
				(1)		(2)	
				D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>
				1/5	1/3	1/5	1/3
EPF	<i>n</i>	19	$\beta$	2,58	2,58	2,44	2,47
Cantoneiras	<i>P<sub>m</sub></i>	1,01	$\gamma_{(3,5)}$	2,19	2,16	2,30	2,26
	<i>V<sub>p</sub></i>	0,30	$\gamma_{(4,0)}$	2,64	2,60	2,78	2,71
			$\beta_F$	2,44	2,44	2,31	2,33
			$\gamma_{F(3,5)}$	2,36	2,34	2,48	2,44
			$\gamma_{F(4,0)}$	2,88	2,83	3,02	2,96
EPF	<i>n</i>	20	$\beta$	2,86	2,89	2,72	2,76
Perfis U	<i>P<sub>m</sub></i>	1,05	$\gamma_{(3,5)}$	1,94	1,91	2,04	1,99
	<i>V<sub>p</sub></i>	0,27	$\gamma_{(4,0)}$	2,31	2,26	2,42	2,36
			$\beta_F$	2,73	2,74	2,59	2,62
			$\gamma_{F(3,5)}$	2,05	2,03	2,16	2,12
			$\gamma_{F(4,0)}$	2,47	2,42	2,59	2,53
EPF	<i>n</i>	39	$\beta$	2,74	2,75	2,60	2,63
Todos os perfis	<i>P<sub>m</sub></i>	1,03	$\gamma_{(3,5)}$	2,04	2,01	2,14	2,10
	<i>V<sub>p</sub></i>	0,28	$\gamma_{(4,0)}$	2,44	2,39	2,56	2,49
			$\beta_F$	2,67	2,68	2,54	2,57
			$\gamma_{F(3,5)}$	2,10	2,07	2,21	2,16
			$\gamma_{F(4,0)}$	2,52	2,48	2,65	2,59

### 5.5.2 Pressão de contato (esmagamento) sem a consideração da deformação do furo

A tabela 5.13 apresenta os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência agrupados de acordo com o tipo de arranjo da ligação parafusada, ou seja:

i) cisalhamento simples e chapa externa de ligação em cisalhamento duplo (CS), com o uso de arruelas;

ii) cisalhamento simples e chapa externa de ligação em cisalhamento duplo (CS), sem o uso de arruelas;

iii) chapa interna de cisalhamento duplo (CD), com ou sem arruelas.

Os resultados do grupo iii tiveram boa aproximação aos coeficientes de ponderação recomendados pelo AISI S100 (2007), tanto para o LRFD ( $\phi=1/1,68\cong 0,60$ ) quanto para o LSD ( $\phi=1/1,97\cong 0,50$ ). Os coeficientes recomendados pelo LRFD e pelo LSD são favoráveis à segurança em comparação aos resultados dos grupos i e ii com os mesmos dados de calibração. Portanto, os coeficientes de ponderação da resistência calculados nos três grupos analisados mostram que os recomendados pela norma norte-americana são adequados.

Sugere-se a inclusão desse critério de projeto na NBR 14762 (2010), com o coeficiente de ponderação da resistência adequado à realidade brasileira em termos de combinação de ações e relação  $D_n/L_n$ . Se for considerada a combinação (2), por se tratar da combinação última normal da norma brasileira, a relação  $D_n/L_n = 1/3$ , além de  $\beta_o=3,5$ ,  $\gamma=1,80$  é adequado.

**Tabela 5.13 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para EPF (chapas)**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3	$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3
(I) EPF	$n$	289	$\beta$	3,83	3,94	3,65	3,78
Com uso de	$P_m$	1,06	$\gamma_{(3.5)}$	1,51	1,48	1,59	1,54
arruelas	$V_p$	0,16	$\gamma_{(4.0)}$	1,74	1,69	1,83	1,76
CS			$\beta_F$	3,82	3,93	3,64	3,77
			$\gamma_{F(3.5)}$	1,52	1,48	1,59	1,54
			$\gamma_{F(4.0)}$	1,75	1,69	1,84	1,76
(II) EPF	$n$	123	$\beta$	3,80	3,93	3,62	3,76
Sem uso de	$P_m$	1,02	$\gamma_{(3.5)}$	1,53	1,49	1,61	1,55
arruelas	$V_p$	0,15	$\gamma_{(4.0)}$	1,75	1,69	1,84	1,77
CS			$\beta_F$	3,79	3,91	3,61	3,74
			$\gamma_{F(3.5)}$	1,53	1,49	1,61	1,56
			$\gamma_{F(4.0)}$	1,76	1,70	1,85	1,77
(III) EPF	$n$	130	$\beta$	3,46	3,54	3,29	3,38
Com ou sem	$P_m$	1,00	$\gamma_{(3.5)}$	1,68	1,64	1,77	1,71
arruelas	$V_p$	0,19	$\gamma_{(4.0)}$	1,95	1,89	2,05	1,97
CD			$\beta_F$	3,44	3,52	3,27	3,37
			$\gamma_{F(3.5)}$	1,69	1,65	1,78	1,72
			$\gamma_{F(4.0)}$	1,96	1,90	2,06	1,99

### 5.5.3 Rasgamento entre furo e borda

Com base nos resultados de ensaios experimentais de chapas finas, cuja falha ocorreu com o rasgamento entre furos ou entre furo e borda (RFB) das mesmas, obtidos em Sheerah (2009), apresentam-se na tabela 5.14 os resultados da calibração deste modo de falha. Os coeficientes de ponderação da resistência estão organizados em três grupos:

- I) cisalhamento simples (CS);
- II) cisalhamento duplo (CD);
- III) todos os ensaios.

Embora a presente análise seja baseada em resultados de apenas um pesquisador, houve uma boa variação nos ensaios experimentais. Em todas as amostras foram utilizados 1 parafuso sem arruela, sendo 6 amostras com diâmetro de 6,35 mm e 47 amostras com diâmetro de 12,7 mm. Além dos grupos citados acima, as amostras apresentaram 2 tipos de diâmetros de furos, ou seja, alargado e pouco alongado. A distância, tomada na direção da força, do centro do furo à extremidade do elemento conectado foi padronizada em 1,5 vezes o diâmetro nominal do parafuso ( $e/d=1,5$ ). As normas brasileira e norte-americana, especificam as dimensões máximas de furos em função de 4 tipos (formatos) e duas faixas de diâmetro nominal do parafuso (menor ou maior que 1 polegada). A norma brasileira recomenda um coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , igual a 1,45. A recomendação do AISI-LRFD para o coeficiente de ponderação da resistência, depende das seguintes relações:

- Quando  $f_u/f_y \geq 1,08$ ,  $\phi=0,70$ ;
- Quando  $f_u/f_y < 1,08$ ,  $\phi=0,60$ ;

A NBR 14762 (2010) recomenda o uso de aços com qualificação estrutural e que possuam propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio. Devem apresentar a relação entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento  $f_u/f_y$  maior ou igual a 1,08 e o alongamento após ruptura não deve ser menor que 10% para base de medida igual a 50 mm ou 7% para base de medida igual a 200 mm, tomando-se como referência os ensaios de tração conforme ASTM A370. Portanto o  $\gamma$ , recomendado pela norma brasileira equivale ao  $\phi=0,70$  (AISI-LRFD).

Uma breve descrição dos modelos ensaiados, complementa a análise das estatísticas do coeficiente profissional,  $V_P$ :

- cisalhamento simples - furo alargado:  $N=20$ ;  $P_m = 1,03$ ;  $V_P = 0,18$
- cisalhamento duplo - furo alargado:  $N=12$ ;  $P_m = 1,04$ ;  $V_P = 0,20$
- cisalhamento simples - furo pouco alongado:  $N=8$ ;  $P_m = 0,82$ ;  $V_P = 0,13$
- cisalhamento duplo - furo pouco alongado:  $N=8$ ;  $P_m = 1,02$ ;  $V_P = 0,04$
- cisalhamento simples - furo pouco alongado:  $N=5$ ;  $P_m = 0,80$ ;  $V_P = 0,14$

Adotando-se os dados de calibração adequados ao LRFD e LSD, verifica-se na tabela 5.14 que os desvios obtidos em relação às norma brasileira e americana, são decorrentes do  $V_P$  elevado e  $P_m$  próximo da unidade ou inferior. Em todos os grupos analisados, os índices de confiabilidade obtidos foram inferiores ao valor alvo 3,5 (LRFD). Um dado importante é que 6 amostras apresentaram coeficiente profissional,  $P$ , bem acima da unidade, sendo 4 amostras de CS com  $P$  variando de 1,28 a 1,35 e 2 amostras de CD com  $P \cong 1,40$ . Tais amostras tinham diâmetro do furo alargado e diâmetro nominal do parafuso de 6,35 mm.

**Tabela 5.14 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para rasgamento entre furo e borda**

Método da NBR 14762 (2010)				1,2 $D_n$ + 1,6 $L_n$		1,25 $D_n$ + 1,5 $L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
				1/5	1/3	1/5	1/3
(I) RFB	$n$	33	$\beta$	2,73	2,77	2,57	2,63
CS	$P_m$	0,94	$\gamma_{(3,5)}$	1,83	1,79	1,92	1,87
	$V_P$	0,20	$\gamma_{(4,0)}$	2,13	2,07	2,24	2,16
			$\beta_F$	2,68	2,71	2,52	2,57
			$\gamma_{F(3,5)}$	1,87	1,83	1,97	1,91
			$\gamma_{F(4,0)}$	2,18	2,13	2,30	2,22
(II) RFB							
CD	$n$	20	$\beta$	3,34	3,44	3,16	3,27
	$P_m$	1,03	$\gamma_{(3,5)}$	1,51	1,47	1,59	1,54
	$V_P$	0,15	$\gamma_{(4,0)}$	1,74	1,68	1,83	1,75
			$\beta_F$	3,26	3,34	3,08	3,18
			$\gamma_{F(3,5)}$	1,55	1,51	1,63	1,58
		$\gamma_{F(4,0)}$	1,79	1,73	1,88	1,81	
(III) RFB	$n$	53	$\beta$	2,94	2,99	2,77	2,84
Todos	$P_m$	0,98	$\gamma_{(3,5)}$	1,71	1,67	1,80	1,74
Os dados	$V_P$	0,19	$\gamma_{(4,0)}$	1,98	1,92	2,08	2,01
			$\beta_F$	2,90	2,95	2,74	2,80
			$\gamma_{F(3,5)}$	1,73	1,69	1,82	1,77
			$\gamma_{F(4,0)}$	2,01	1,95	2,11	2,04

Considerando a influência dos 6 resultados de ensaios, representando apenas 11% do total de amostras, optou-se por suprimir tais resultados nas análises subsequentes. Os coeficientes de ponderação da resistência foram recalculados e apresentados na tabela 5.15. Verifica-se uma boa correlação dos resultados do grupo II com o AISI-LRFD ( $\phi=1/1,45\cong 0,70$ ) e com a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3, obtém-se  $\gamma_{(3.5)}=1,47$ .

**Tabela 5.15 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para rasgamento entre furo e borda (novo cálculo)**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$		
				(1)		(2)		
				$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3	$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3	
(I) RFB	$n$	29	$\beta$	2,82	2,89	2,64	2,72	
CS	$P_m$	0,89	$\gamma_{(3.5)}$	1,73	1,68	1,82	1,76	
			$V_P$	$\gamma_{(4.0)}$	1,98	1,91	2,08	2,00
				$\beta_F$	2,77	2,83	2,59	2,67
				$\gamma_{F(3.5)}$	1,76	1,71	1,85	1,79
				$\gamma_{F(4.0)}$	2,02	1,95	2,12	2,03
(II) RFB	$n$	18	$\beta$	3,50	3,63	3,30	3,45	
CD	$P_m$	0,99	$\gamma_{(3.5)}$	1,45	1,40	1,52	1,47	
			$V_P$	$\gamma_{(4.0)}$	1,64	1,58	1,73	1,65
				$\beta_F$	3,44	3,56	3,24	3,39
				$\gamma_{F(3.5)}$	1,47	1,43	1,55	1,49
				$\gamma_{F(4.0)}$	1,67	1,61	1,76	1,68
(III) RFB	$n$	47	$\beta$	3,04	3,13	2,85	2,96	
Todos	$P_m$	0,93	$\gamma_{(3.5)}$	1,64	1,59	1,72	1,66	
			$V_P$	$\gamma_{(4.0)}$	1,87	1,80	1,97	1,88
				$\beta_F$	3,01	3,09	2,83	2,93
				$\gamma_{F(3.5)}$	1,65	1,61	1,74	1,68
Os dados	$V_P$	0,14	$\gamma_{F(4.0)}$	1,89	1,82	1,99	1,90	

## 5.6 Ligações com parafusos auto-atarraxantes

### 5.6.1 Força de cisalhamento resistente de cálculo

Esta seção apresenta os resultados da análise de confiabilidade para ligações com parafusos auto-atarraxantes (PAA), submetidas à força de cisalhamento (resistência

do metal-base). O modo de falha analisado é chamado de pressão de contato (esmagamento) e inclinação do parafuso (*tilting*). O coeficiente de ponderação da resistência recomendado pela norma brasileira é  $\gamma=2,0$ . A norma norte-americana adota  $\phi=0,50$  para o LRFD e  $\phi=0,40$  para o LSD.

A tabela 5.16 apresenta os resultados dos coeficientes de ponderação da resistência para força de cisalhamento por parafuso (resistência do metal-base). Verifica-se que o coeficiente de ponderação da resistência da norma brasileira é equivalente ao adotado pelo AISI-LRFD ( $\gamma=1/\phi$ ). Com os resultados de calibração do AISI para o LRFD, obtém-se  $\gamma_{(3,5)}=1,55$  (ou  $\phi=0,65$ ). Utilizando-se a combinação (2),  $D_n/L_n$  de 1/3 e com o alvo do AISI-LSD, obtém-se  $\gamma_{(4,0)}=1,81$  (ou  $\phi = 0,55$ ). Se for considerada a combinação (2), por se tratar da combinação última normal da norma brasileira, a relação  $D_n/L_n = 1/3$ , além de  $\beta_o=3,5$ ,  $\gamma=1,58$  é adequado. Portanto, o valor recomendado pelas especificações NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007) são favoráveis à segurança em relação ao coeficiente de ponderação da resistência.

**Tabela 5.16 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para força de cisalhamento (PAA)**

Método da				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
NBR 14762 (2010)				$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
				1/5	1/3	1/5	1/3
	<i>n</i>	223	$\beta$	4,40	4,55	4,22	4,39
esmagamento/ <i>tilting</i>	<i>P<sub>m</sub></i>	1,02	$\gamma_{(3,5)}$	1,55	1,52	1,63	1,58
	<i>V<sub>p</sub></i>	0,16	$\gamma_{(4,0)}$	1,79	1,73	1,88	1,81
			$\beta_F$	4,39	4,54	4,21	4,38
			$\gamma_{F(3,5)}$	1,56	1,52	1,64	1,59
			$\gamma_{F(4,0)}$	1,79	1,73	1,88	1,81

### 5.6.2 Força de tração resistente de cálculo

Esta seção apresenta os resultados da análise de confiabilidade para ligações com parafusos auto-atarraxantes, submetidas à força de tração. Os modos de falha analisados são arrancamento do parafuso e rasgamento do metal-base. O coeficiente de ponderação da resistência recomendado pela norma brasileira é  $\gamma=2,00$ . A norma norte-americana adota  $\phi=0,50$  para o LRFD e  $\phi=0,40$  para o LSD.

A tabela 5.17 apresenta os resultados dos coeficientes de ponderação das resistências para cada um dos modos de falha citados, além de apresentar os resultados

para todos os dados de ensaio. Para falha por arrancamento do parafuso, empregando-se os parâmetros de calibração do AISI-LRFD obtém-se um  $\gamma_{(3,5)}=2,07$  (ou  $\phi=0,48$ ), muito próximo do valor recomendado pelo AISI-LRFD. O valor de  $\gamma_{(4,0)}=2,40$  (ou  $\phi=0,42$ ), também está de acordo com o AISI-LSD. Se for considerada a combinação (2), a relação  $D_n/L_n=1/3$ , além de  $\beta_o=3,5$ ,  $\gamma=2,11$  é adequado.

Para o modo de falha rasgamento do metal-base, empregando-se os parâmetros de calibração do AISI-LRFD obtém-se um  $\gamma_{(3,5)}=1,71$  (ou  $\phi=0,58$ ), enquanto que pelo AISI-LSD, obtém-se  $\gamma_{(4,0)}=2,08$  (ou  $\phi=0,48$ ). Logo tanto o AISI-LRFD quanto o AISI-LSD recomendam coeficientes de ponderação da resistência mais seguros do que os coeficientes calculados com base no conjunto experimental utilizado na calibração. Se for considerada a combinação (2), a relação  $D_n/L_n=1/3$ , além de  $\beta_o=3,5$ ,  $\gamma=1,76$  é adequado.

**Tabela 5.17 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para força de tração (PAA)**

				$1,2D_n + 1,6L_n$ (1)		$1,25D_n + 1,5L_n$ (2)	
				$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3	$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3
<i>Pull-out</i>	<i>n</i>	9	$\beta$	3,40	3,49	3,22	3,33
	<i>P<sub>m</sub></i>	0,77	$\gamma_{(3,5)}$	2,07	2,02	2,18	2,11
	<i>V<sub>P</sub></i>	0,12	$\gamma_{(4,0)}$	2,38	2,30	2,50	2,40
			$\beta_F$	3,26	3,33	3,09	3,18
			$\gamma_{F(3,5)}$	2,16	2,11	2,27	2,20
			$\gamma_{F(4,0)}$	2,50	2,43	2,63	2,53
<i>Pull-over</i>	<i>n</i>	15	$\beta$	3,92	3,98	3,78	3,86
	<i>P<sub>m</sub></i>	1,20	$\gamma_{(3,5)}$	1,71	1,68	1,80	1,76
	<i>V<sub>P</sub></i>	0,25	$\gamma_{(4,0)}$	2,04	2,00	2,14	2,08
			$\beta_F$	3,70	3,74	3,57	3,63
			$\gamma_{F(3,5)}$	1,84	1,81	1,93	1,89
			$\gamma_{F(4,0)}$	2,21	2,17	2,33	2,27

## 5.7 Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas (esmagamento da alma)

Com base nos resultados de ensaios experimentais de barras sujeitas a forças concentradas em regiões sem enrijecedores transversais, cuja falha ocorreu com o esmagamento da alma, apresentam-se nesta seção os resultados de análise de

confiabilidade. Os coeficientes de ponderação foram organizados em função do tipo de seção, da condição da mesa do perfil, do caso de carregamento e com a reunião de todos os dados. As seções analisadas são perfis I (constituídos por 2 perfis U conectados entre si), perfis U (simples e com borda enrijecida), perfis Z e perfis cartola.

A norma brasileira NBR 14762 (2010) estabelece o coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , igual a 1,35, em todas as situações. A norma AISI S100 (2007) especifica diferentes coeficientes de ponderação da resistência, conforme a condição da mesa, o caso de carregamento e o tipo de seção transversal. O coeficiente de ponderação da resistência adotado pela norma brasileira se baseia em dos valores recomendados pela especificação americana para o LRFD ( $\phi=0,75$ ).

Como foi discutido no Capítulo 3, o coeficiente associado ao esmagamento da alma,  $\alpha$ , empregado na equação de projeto foi ajustado de forma a obter uma uniformidade do coeficiente de ponderação,  $\gamma$ , para a NBR 14762 (2010). Com esse ajuste, divergências no cálculo da força resistente característica (nominal),  $F_{Rk}$ , entre as normas NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007) podem ocorrer. No entanto, a força resistente de cálculo,  $F_{Rd}$ , será essencialmente a mesma para as normas brasileira e americana (com  $\phi$  LRFD). Como a presente calibração foi realizada com valores de  $\alpha$  definidos pela NBR 14762 (2010), os resultados serão comparados com  $\gamma=1,35$ .

Alterações relevantes foram realizadas na norma AISI S100 (2007) para barras compostas (perfis I constituídos por dois perfis U conectados entre si) no caso de IOF/C. Na edição de 2001 do AISI,  $\alpha=20$ ,  $\alpha_r=15$ ,  $\alpha_c=0,05$  e  $\alpha_t=0,003$ . Uma calibração com os novos coeficientes, fornece um  $P_m$  próximo da unidade e um  $\phi=0,90$  (equivalente a  $\gamma=1,10$ ) para o LRFD. Com a revisão da norma americana (AISI S100, 2007), esses coeficientes foram alterados para  $\alpha=20,5$ ,  $\alpha_r=17$ ,  $\alpha_c=0,11$  e  $\alpha_t=0,001$ . Com a revisão de 2010, a norma brasileira (NBR 14762, 2010) adotou os coeficientes da norma americana para IOF/C, porém substituindo  $\alpha$  de 20,5 por 23,5. Com os coeficientes de dimensionamento adotados pela norma brasileira, a resistência característica (nominal) obtida pelos ensaios é bem inferior à resistência teórica ( $P_m=0,65$ ), conforme apresenta a tabela 5.18. Com os resultados de calibração do AISI-LRFD, obtém-se  $\gamma_{(2.5)}=1,70$ , cerca de 27% acima do valor recomendado pela norma brasileira. Para o caso EOF/NC, obtém-se  $\gamma_{(2.5)}=1,25$  com os resultados de calibração do

AISI-LRFD. O caso IOF/NC apresentou resultado bem próximo ao coeficiente de ponderação da resistência da norma brasileira (calibrado com parâmetros do LRFD resulta  $\gamma_{(2.5)}=1,36$ ). O coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , calculado para ETF/NC é bem próximo do recomendado pela norma brasileira e AISI-LRFD ( $\gamma_{(2.5)}=1,36$ ), já o resultado para ITF/NC foi mais conservador.

**Tabela 5.18 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para esmagamento da alma (perfil I<sub>e</sub>)**

Método da NBR 14762 (2010)				1,2D <sub>n</sub> + 1,6L <sub>n</sub>		1,25D <sub>n</sub> + 1,5L <sub>n</sub>	
				(1)		(2)	
				D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>	D <sub>n</sub> /L <sub>n</sub>
				1/5	1/3	1/5	1/3
Perfil Ie	<i>n</i>	18	$\beta$	1,56	1,56	1,35	1,37
IOF	<i>P<sub>m</sub></i>	0,65	$\gamma_{(2.5)}$	1,70	1,67	1,78	1,74
C	<i>V<sub>P</sub></i>	0,06	$\gamma_{(3.0)}$	1,92	1,87	2,01	1,95
			$\beta_F$	1,55	1,55	1,34	1,36
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,70	1,67	1,79	1,75
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,92	1,88	2,02	1,96
Perfil Ie	<i>n</i>	44	$\beta$	2,74	2,77	2,59	2,63
EOF	<i>P<sub>m</sub></i>	1,08	$\gamma_{(2.5)}$	1,25	1,24	1,31	1,30
NC	<i>V<sub>P</sub></i>	0,22	$\gamma_{(3.0)}$	1,47	1,45	1,54	1,51
			$\beta_F$	2,69	2,72	2,54	2,58
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,27	1,26	1,33	1,31
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,49	1,48	1,57	1,54
Perfil Ie	<i>n</i>	23	$\beta$	2,47	2,51	2,29	2,35
IOF	<i>P<sub>m</sub></i>	0,88	$\gamma_{(2.5)}$	1,36	1,35	1,43	1,40
NC	<i>V<sub>P</sub></i>	0,15	$\gamma_{(3.0)}$	1,56	1,53	1,64	1,60
			$\beta_F$	2,42	2,46	2,25	2,30
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,38	1,37	1,45	1,43
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,59	1,56	1,67	1,63
Perfil Ie	<i>n</i>	49	$\beta$	2,53	2,55	2,38	2,41
ETF	<i>P<sub>m</sub></i>	1,01	$\gamma_{(2.5)}$	1,34	1,33	1,41	1,39
NC	<i>V<sub>P</sub></i>	0,23	$\gamma_{(3.0)}$	1,57	1,56	1,65	1,62
			$\beta_F$	2,49	2,51	2,34	2,37
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,35	1,35	1,42	1,41
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,60	1,58	1,68	1,65
Perfil Ie	<i>n</i>	58	$\beta$	2,25	2,25	2,11	2,13
ITF	<i>P<sub>m</sub></i>	0,99	$\gamma_{(2.5)}$	1,47	1,47	1,55	1,53
NC	<i>V<sub>P</sub></i>	0,27	$\gamma_{(3.0)}$	1,76	1,75	1,85	1,82
			$\beta_F$	2,22	2,22	2,08	2,10
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,49	1,49	1,57	1,56
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,79	1,78	1,88	1,85

**Tabela 5.19 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para esmagamento da alma (perfil U<sub>e</sub>)**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3	$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3
Perfil Ue	$n$	47	$\beta$	2,71	2,78	2,52	2,60
EOF	$P_m$	0,89	$\gamma_{(2.5)}$	1,28	1,26	1,34	1,32
C	$V_P$	0,11	$\gamma_{(3.0)}$	1,46	1,42	1,53	1,49
			$\beta_F$	2,69	2,76	2,50	2,59
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,28	1,27	1,35	1,32
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,46	1,43	1,54	1,49
Perfil Ue	$n$	16	$\beta$	2,62	2,68	2,43	2,51
ETF	$P_m$	0,88	$\gamma_{(2.5)}$	1,31	1,29	1,37	1,35
C	$V_P$	0,12	$\gamma_{(3.0)}$	1,49	1,46	1,57	1,52
			$\beta_F$	2,57	2,62	2,38	2,45
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,33	1,31	1,39	1,37
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,52	1,49	1,59	1,55
Perfil Ue	$n$	16	$\beta$	2,48	2,53	2,29	2,36
ITF	$P_m$	0,86	$\gamma_{(2.5)}$	1,36	1,34	1,43	1,40
C	$V_P$	0,13	$\gamma_{(3.0)}$	1,55	1,52	1,63	1,59
			$\beta_F$	2,42	2,46	2,24	2,29
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,38	1,37	1,45	1,43
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,59	1,56	1,67	1,62
Perfis Ue	$n$	48	$\beta$	2,28	2,31	2,10	2,15
EOF	$P_m$	0,85	$\gamma_{(2.5)}$	1,44	1,42	1,51	1,48
NC	$V_P$	0,16	$\gamma_{(3.0)}$	1,66	1,63	1,74	1,70
			$\beta_F$	2,26	2,28	2,08	2,12
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,45	1,43	1,52	1,50
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,67	1,64	1,76	1,72
Perfis Ue	$n$	24	$\beta$	2,64	2,73	2,44	2,54
IOF	$P_m$	0,85	$\gamma_{(2.5)}$	1,30	1,28	1,37	1,34
NC	$V_P$	0,07	$\gamma_{(3.0)}$	1,47	1,44	1,55	1,50
			$\beta_F$	2,63	2,71	2,43	2,52
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,31	1,29	1,37	1,34
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,48	1,44	1,56	1,51
Perfis Ue	$n$	18	$\beta$	2,71	2,80	2,50	2,61
ETF	$P_m$	0,85	$\gamma_{(2.5)}$	1,28	1,26	1,35	1,32
NC	$V_P$	0,05	$\gamma_{(3.0)}$	1,45	1,41	1,52	1,47
			$\beta_F$	2,70	2,79	2,49	2,60
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,29	1,27	1,35	1,32
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,45	1,42	1,53	1,48
Perfis Ue	$n$	30	$\beta$	2,59	2,63	2,42	2,47
ITF	$P_m$	0,95	$\gamma_{(2.5)}$	1,31	1,30	1,38	1,36
NC	$V_P$	0,18	$\gamma_{(3.0)}$	1,52	1,50	1,60	1,57
			$\beta_F$	2,54	2,57	2,37	2,42
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,33	1,32	1,40	1,38
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,55	1,53	1,63	1,59

A tabela 5.19 apresenta os resultados da análise de confiabilidade para perfil U enrijecido. Para o caso EOF/NC e IOF/NC, obtém-se coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , cerca de 7% superior ao especificado pela norma brasileira. Os demais casos apresentam resultados satisfatórios.

A tabela 5.20 apresenta os resultados da análise de confiabilidade para perfil U simples. Para os casos EOF/NC e IOF/NC, obtém-se coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , pouco mais de 10% superior ao especificado pela norma brasileira. Os coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , calculados são adequados para ETF/NC e principalmente para ITF/NC.

**Tabela 5.20 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para esmagamento da alma (perfil U)**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
				1/5	1/3	1/5	1/3
Perfis U	$n$	30	$\beta$	2,15	2,17	1,96	2,00
EOF	$P_m$	0,80	$\gamma_{(2.5)}$	1,49	1,47	1,57	1,54
NC	$V_P$	0,14	$\gamma_{(3.0)}$	1,71	1,68	1,80	1,75
			$\beta_F$	2,11	2,13	1,93	1,97
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,50	1,49	1,58	1,55
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,73	1,70	1,82	1,77
Perfis U	$n$	32	$\beta$	2,14	2,15	1,96	2,00
IOF	$P_m$	0,82	$\gamma_{(2.5)}$	1,50	1,49	1,58	1,55
NC	$V_P$	0,17	$\gamma_{(3.0)}$	1,73	1,71	1,82	1,78
			$\beta_F$	2,10	2,11	1,93	1,96
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,52	1,51	1,60	1,57
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,76	1,73	1,85	1,81
Perfis U	$n$	28	$\beta$	2,72	2,76	2,55	2,61
ETF	$P_m$	0,98	$\gamma_{(2.5)}$	1,27	1,25	1,33	1,31
NC	$V_P$	0,17	$\gamma_{(3.0)}$	1,46	1,44	1,54	1,50
			$\beta_F$	2,67	2,70	2,50	2,55
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,28	1,27	1,35	1,33
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,49	1,47	1,57	1,53
Perfis U	$n$	18	$\beta$	2,49	2,51	2,33	2,37
ITF	$P_m$	0,95	$\gamma_{(2.5)}$	1,35	1,34	1,42	1,40
NC	$V_P$	0,20	$\gamma_{(3.0)}$	1,58	1,56	1,66	1,63
			$\beta_F$	2,40	2,41	2,24	2,27
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,40	1,39	1,47	1,45
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,64	1,62	1,72	1,69

Na tabela 5.21 são apresentados os resultados da análise de confiabilidade para perfil Z enrijecido. O caso EOF/C apresentou índice de confiabilidade abaixo de 2,5

para a combinação (1), exigindo um coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , um pouco superior ao recomendado pela norma brasileira ( $\gamma_{(2.5)}=1,41$ ). Observa-se que de uma forma geral os resultados são adequados, convergindo com a recomendação da NBR 14762 (2010).

**Tabela 5.21 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para esmagamento da alma (seção  $Z_e$ )**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3	$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3
Perfis $Z_e$	$n$	18	$\beta$	2,32	2,38	2,12	2,19
EOF	$P_m$	0,79	$\gamma_{(2.5)}$	1,41	1,39	1,48	1,45
C	$V_P$	0,07	$\gamma_{(3.0)}$	1,60	1,56	1,68	1,63
			$\beta_F$	2,30	2,36	2,10	2,17
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,42	1,40	1,49	1,46
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,61	1,57	1,69	1,64
Perfis $Z_e$	$n$	16	$\beta$	2,53	2,58	2,34	2,41
ETF	$P_m$	0,86	$\gamma_{(2.5)}$	1,34	1,32	1,41	1,38
C	$V_P$	0,12	$\gamma_{(3.0)}$	1,53	1,50	1,61	1,56
			$\beta_F$	2,47	2,52	2,29	2,35
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,36	1,34	1,43	1,40
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,56	1,53	1,64	1,59
Perfis $Z_e$	$n$	16	$\beta$	2,49	2,51	2,32	2,36
ITF	$P_m$	0,93	$\gamma_{(2.5)}$	1,36	1,34	1,43	1,40
C	$V_P$	0,18	$\gamma_{(3.0)}$	1,57	1,55	1,65	1,62
			$\beta_F$	2,39	2,41	2,22	2,26
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,40	1,39	1,47	1,45
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,63	1,61	1,72	1,68
Perfis $Z_e$	$n$	18	$\beta$	2,56	2,61	2,37	2,44
EOF	$P_m$	0,89	$\gamma_{(2.5)}$	1,33	1,31	1,40	1,37
NC	$V_P$	0,14	$\gamma_{(3.0)}$	1,52	1,49	1,60	1,56
			$\beta_F$	2,50	2,54	2,32	2,38
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,35	1,34	1,42	1,39
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,55	1,52	1,63	1,59

A tabela 5.22 apresenta os resultados da análise de confiabilidade para perfil cartola. O caso EOF/NC apresentou índice de confiabilidade abaixo de 2,5 para a combinação (1), exigindo um coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , um pouco superior ao recomendado pela norma brasileira ( $\gamma_{(2.5)}=1,41$ ). Observa-se que de uma forma geral os resultados são adequados à da NBR 14762 (2010).

**Tabela 5.22 – Estatísticas do coeficiente profissional, índice de confiabilidade  $\beta$  e coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma$  para esmagamento da alma (perfil C<sub>r</sub>)**

Método da NBR 14762 (2010)				$1,2D_n + 1,6L_n$		$1,25D_n + 1,5L_n$	
				(1)		(2)	
				$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3	$D_n/L_n$ 1/5	$D_n/L_n$ 1/3
Perfil Cartola	$n$	18	$\beta$	2,61	2,66	2,42	2,49
IOF	$P_m$	0,90	$\gamma_{(2.5)}$	1,31	1,30	1,38	1,35
C	$V_P$	0,14	$\gamma_{(3.0)}$	1,50	1,47	1,58	1,54
			$\beta_F$	2,54	2,59	2,36	2,43
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,33	1,32	1,40	1,38
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,53	1,50	1,61	1,57
Perfil Cartola	$n$	36	$\beta$	2,55	2,61	2,37	2,44
ITF	$P_m$	0,88	$\gamma_{(2.5)}$	1,33	1,31	1,40	1,37
C	$V_P$	0,13	$\gamma_{(3.0)}$	1,52	1,49	1,60	1,56
			$\beta_F$	2,53	2,58	2,34	2,41
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,34	1,32	1,41	1,38
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,53	1,50	1,61	1,57
Perfil Cartola	$n$	60	$\beta$	2,37	2,38	2,23	2,25
EOF	$P_m$	1,01	$\gamma_{(2.5)}$	1,41	1,41	1,48	1,47
NC	$V_P$	0,25	$\gamma_{(3.0)}$	1,68	1,66	1,77	1,74
			$\beta_F$	2,34	2,34	2,20	2,22
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,43	1,42	1,50	1,49
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,70	1,69	1,79	1,76
Perfil Cartola	$n$	29	$\beta$	2,83	2,90	2,63	2,73
IOF	$P_m$	0,92	$\gamma_{(2.5)}$	1,24	1,22	1,30	1,28
NC	$V_P$	0,11	$\gamma_{(3.0)}$	1,41	1,38	1,49	1,44
			$\beta_F$	2,80	2,87	2,61	2,70
			$\gamma_{F(2.5)}$	1,25	1,23	1,31	1,29
			$\gamma_{F(3.0)}$	1,42	1,39	1,50	1,46

As tabelas 5.23 a 5.26 apresentam um resumo dos coeficientes de ponderação da resistência calculados com os dados de calibração do AISI-LRFD (2007) e AISI-LSD (2007). Tendo em vista a equivalência comentada anteriormente, entre as recomendações da norma AISI S100 (2007) e NBR 14762 (2007) para o modo de falha esmagamento da alma, os resultados podem ser comparados com  $\gamma=1,35$ . Considerou-se a manipulação do coeficiente associado ao esmagamento,  $\alpha$ , para norma americana, que permitisse a consideração do coeficiente  $\phi$  constante. Logo, para o modelo americano, os resultados a seguir podem ser comparados com  $\phi=0,75$  (LRFD) e  $\phi=0,60$  (LSD).

**Tabela 5.23 – Coeficientes de ponderação da resistência obtidos com os dados de calibração do AISI-LRFD e AISI-LSD para barra composta (perfil I)**

Condição da mesa		Caso de carregamento		$\gamma(\phi)$ $1,2D_n+1,6L_n$ $D_n/L_n=1/5$ (LRFD)	$\gamma(\phi)$ $1,25D_n+1,5L_n$ $D_n/L_n=1/3$ (LSD)
Conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	-	-
			Força interna	1,70 (0,59)	1,95 (0,51)
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	1,34 (0,75)	1,62 (0,62)
			Força interna	1,47 (0,68)	1,82 (0,55)
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	1,25 (0,80)	1,51 (0,66)
			Força interna	1,36 (0,74)	1,60 (0,63)
Não conectada	Sem enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	-	-
			Força interna	-	-

**Tabela 5.24 – Coeficientes de ponderação da resistência obtidos com os dados de calibração do AISI-LRFD e AISI-LSD para perfil U (simples e enrijecido)**

Condição da mesa		Caso de carregamento		$\gamma(\phi)$ $1,2D_n+1,6L_n$ $D_n/L_n=1/5$ (LRFD)	$\gamma(\phi)$ $1,25D_n+1,5L_n$ $D_n/L_n=1/3$ (LSD)
Conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	1,28 (0,78)	1,49 (0,67)
			Força interna	-	-
Conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	1,31 (0,76)	1,52 (0,66)
			Força interna	1,36 (0,74)	1,59 (0,63)
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	1,44 (0,69)	1,70 (0,59)
			Força interna	1,30 (0,77)	1,50 (0,67)
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	1,28 (0,78)	1,47 (0,68)
			Força interna	1,31 (0,76)	1,57 (0,64)
Não conectada	Sem enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	1,49 (0,67)	1,75 (0,57)
			Força interna	1,50 (0,66)	1,78 (0,56)
Não conectada	Sem enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	1,27 (0,79)	1,50 (0,66)
			Força interna	1,35 (0,74)	1,63 (0,61)

**Tabela 5.25 – Coeficientes de ponderação da resistência obtidos com os dados de calibração do AISI-LRFD e AISI-LSD para perfil Z<sub>e</sub>**

Condição da mesa		Caso de carregamento		$\gamma(\phi)$ $1,2D_n+1,6L_n$ $D_n/L_n=1/5$ (LRFD)	$\gamma(\phi)$ $1,25D_n+1,5L_n$ $D_n/L_n=1/3$ (LSD)
Conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	1,41 (0,71)	1,63 (0,61)
			Força interna	-	-
Conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	1,34 (0,75)	1,56 (0,64)
			Força interna	1,36 (0,74)	1,62 (0,62)
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	1,33 (0,75)	1,56 (0,64)
			Força interna	-	-
Não conectada	Com enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	-	-
			Força interna	-	-
Não conectada	Sem enrijecedor de borda	Uma mesa carregada	Força de extremidade	-	-
			Força interna	-	-
Não conectada	Sem enrijecedor de borda	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	-	-
			Força interna	-	-

**Tabela 5.26 – Coeficientes de ponderação da resistência obtidos com os dados de calibração do AISI-LRFD e AISI-LSD para perfil C<sub>r</sub>**

Condição da mesa	Caso de carregamento		$\gamma(\phi)$ $1,2D_n+1,6L_n$ $D_n/L_n=1/5$ (LRFD)	$\gamma(\phi)$ $1,25D_n+1,5L_n$ $D_n/L_n=1/3$ (LSD)
Conectada	Uma mesa carregada	Força de extremidade	-	-
		Força interna	1,31 (0,76)	1,54 (0,65)
Conectada	Duas mesas carregadas	Força de extremidade	-	-
		Força interna	1,33 (0,75)	1,56 (0,64)
Não conectada	Uma mesa carregada	Força de extremidade	1,41 (0,71)	1,74 (0,57)
		Força interna	1,24 (0,81)	1,44 (0,69)

## Capítulo 6

### Conclusões

Foram mostrados neste trabalho todos os procedimentos que devem ser adotados na calibração de uma norma de dimensionamento. Coeficientes de ponderação da resistência para barras e ligações de perfis formados a frio foram calculados com o emprego do método de confiabilidade de primeira ordem e segundo momento (FOSM). Um total de 2495 resultados de ensaios experimentais, relacionados aos estados-limites abordados, foram utilizados na obtenção das estatísticas do coeficiente profissional ou erro do modelo. Considerando a similaridade entre os métodos de dimensionamento descritos pelas normas ABNT NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007), os resultados foram comparados com os valores recomendados,  $\gamma$  ou  $\phi$ , por ambas as especificações.

#### 6.1 Barras submetidas à força axial de tração

As análises de confiabilidade de barras submetidas à força axial de tração foram realizadas para os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida (RSL) na região da ligação.

Para escoamento da seção bruta não foi necessário constituir um banco de ensaios experimentais. O resultado obtido com a combinação  $1,2D_n+1,6L_n$  e  $D_n/L_n$  de  $1/5$ , ou seja  $\gamma_{(2.5)} = 1,08$ , é adequado em relação ao valor adotado pela NBR 14762 (2010) (equivalente ao  $\phi$  do AISI-LRFD). Com a combinação  $1,25D_n+1,5L_n$  e  $D_n/L_n = 1/3$ , o coeficiente de ponderação calculado,  $\gamma_{(2.5)} = 1,10$ , é igual ao valor adotado pelas normas de referência.

As análises de confiabilidade realizadas para ligações parafusadas em cantoneiras, referentes ao modo de falha de RSL, mostraram que os índices de confiabilidade foram inferiores ao valor alvo  $\beta_o=3,5$ , exceto para a combinação  $1,2D_n+1,6L_n$  associado à relação  $D_n/L_n$  de  $1/3$ . Entretanto, o índice de confiabilidade obtido com a combinação  $1,2D_n+1,6L_n$  e relação  $D_n/L_n$  de  $1/5$ , o índice de confiabilidade calculado foi  $\beta=3,48$ , muito próximo do valor alvo para ligações.

Conseqüentemente, com esses dados de calibração, foi obtido  $\gamma_{(3.5)}$  igual a 1,66, muito próximo do valor recomendado pela norma ABNT NBR 14762 (2010). Verifica-se, ainda, que os coeficientes de ponderação da resistência obtido para o AISI-LRFD ( $\phi = 0,60$ ), e para o AISI-LSD  $\gamma_{(4.0)}=1,93$  (ou  $\phi = 0,52$ ) estão um pouco abaixo do recomendado na especificação.

## 6.2 Barras submetidas à força axial de compressão

Para barras submetidas à força axial de compressão, foi montado um banco de dados com 375 resultados de ensaios de diferentes programas experimentais. As estatísticas do coeficiente Profissional,  $P_m$  e  $V_P$ , foram obtidos a partir dos resultados experimentais e dos resultados teóricos, com o emprego dos métodos MLE, MSE e MRD.

Os índices de confiabilidade obtidos para o modo local com os métodos MRD e MSE, foram superiores a 2,5, valor alvo recomendado pelo AISI-LRFD. Além disso, foram superiores aos índices de confiabilidade obtidos para o modo local com o método MLE, em cada situação de relação  $D_n/L_n$  e combinação de ações. Portanto, os coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , calculados com os métodos MRD e MSE foram inferiores aos calculados pelo MLE.

A força axial resistente de compressão por flambagem distorcional é o estado-limite que resultou coeficientes de ponderação da resistência mais baixos, sugerindo uma redução do mesmo, de 1,20 para 1,10, na calibração com  $\beta_o=2,5$ .

Os coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , calculados separadamente para cada tipo de seção transversal, demonstraram que há um aumento do coeficiente profissional,  $V_P$ , com o número de amostras, resultante da variabilidade estatística influenciada pela consideração de diferentes programas experimentais (pesquisadores). Da mesma forma, grupos com poucos programas experimentais, geralmente apresentam redução de  $V_P$ . Os resultados de ensaios de compressão com perfis U representados por 3 programas experimentais, resultou em valores inferiores de  $V_P$  em comparação com perfis  $U_e$ , representados por 15 programas. A influência do número de ensaios não

permitiu a obtenção de conclusões definitivas em análises por seção transversal, sendo necessária a inclusão de novos programas experimentais envolvendo perfis U simples.

### 6.3 Ligações soldadas

As análises de confiabilidade de Ligações soldadas foram realizadas para os estados-limites últimos de ruptura do metal-base. Foram consideradas as fórmulas de projeto para soldas de filete em superfícies planas e em superfícies curvas.

Nos casos de soldas de filete em superfícies planas para solicitação paralela ao eixo da solda ( $L/t \geq 25$ ), os índices de confiabilidade calculados apresentaram pequenos desvios em relação ao alvo ( $\beta_o=3,5$ ). Os coeficientes de ponderação da resistência, calibrados com a combinação  $1,2D_n+1,6L_n$  e relação  $D_n/L_n$  de 1/5, apresentaram boa aproximação com o valor recomendado pela norma brasileira ( $\gamma_{(3,5)}=2,04$ ). Da mesma forma, verificou-se que os resultados foram adequados à norma AISI, tanto para o LRFD ( $\phi = 0,49$ ) quanto para o LSD ( $\phi = 0,42$ ). Os seguintes casos apresentaram resultados não conservadores em comparação com o alvo de calibração do AISI-LRFD:

- Solicitação paralela ao eixo da solda ( $L/t < 25$ ):  $\gamma_{(3,5)}=1,77$  ( $\phi = 0,56$ )
- Solicitação normal ao eixo da solda:  $\gamma_{(3,5)}=1,69$  ( $\phi = 0,59$ ).

Os coeficientes de ponderação da resistência para os casos envolvendo soldas de filete em superfícies curvas calculados com a combinação  $1,2D_n+1,6L_n$  e  $D_n/L_n$  de 1/5 e com o alvo de calibração do AISI-LRFD, apresentaram boa aproximação com os valores recomendados por essa especificação. Esses casos também apresentaram bons resultados com os dados de calibração da especificação AISI-LSD.

### 6.4 Ligações parafusadas

As análises de confiabilidade de Ligações Parafusadas foram realizadas para os estados-limites últimos de pressão de contato (esmagamento) e rasgamento entre furos ou entre furo e borda.

As análises de confiabilidade de ligações parafusadas em chapas e perfis que apresentaram falha por esmagamento da parede do furo (EPF) com a consideração da deformação do furo, mostraram que:

- Os modelos fornecem baixa confiabilidade, devido a coeficientes de variação consideráveis, tanto pelos desvios-padrão quanto pelas médias dos erros do modelo inseguros ( $P_m \cong 1,0$  ou inferior). Desta forma os coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , são bem superiores ao valor recomendado pela norma brasileira (ou  $\phi$  bem menor, pelo AISI-LRFD). Também são bem superiores ao coeficiente de ponderação da resistência recomendado pelo AISI-LSD, cujo nível de confiabilidade alvo é superior ao LRFD.

- Foram utilizados dados de ensaios em chapas de dois pesquisadores e ensaios em perfis de apenas um pesquisador. Outras referências podem ser incorporadas ao presente trabalho, com intuito de ratificar a necessidade de revisão do critério de projeto.

As análises de confiabilidade de ligações parafusadas em chapas que apresentaram falha por esmagamento da parede do furo (EPF) sem a consideração da deformação do furo, forneceram coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , adequados à especificação americana. Sugere-se a inclusão desse critério de dimensionamento à norma ABNT NBR 14762 (2010), com o coeficiente de ponderação da resistência devidamente calibrado conforme realidade da construção metálica no Brasil.

As análises de confiabilidade de ligações parafusadas em chapas que apresentaram falha por rasgamento entre furos ou entre furo e borda (RFB) das mesmas, apresentaram inicialmente, coeficientes de ponderação da resistência superiores em relação às normas de referência. Num segundo momento, após a desconsideração de 6 resultados de ensaios, com elevado coeficiente profissional,  $P_m$ , o coeficiente de ponderação da resistência calculado para o caso de ligação de duplo cisalhamento (CD),  $\gamma_{(3.5)}=1,45$ , apresentou-se adequado às normas de referência. Entretanto, para o caso de cisalhamento simples (CS), o  $\gamma$  calculado é bem superior ao recomendado ( $\gamma_{(3.5)}=1,75$ ). Deve-se ressaltar que os ensaios utilizados na calibração foram obtidos de apenas um pesquisador. Além disso, os ensaios foram realizados para configurações com furos alargados ou pouco alongados, enquanto que a formulação para EFB depende da posição do centro do furo-padrão.

## 6.5 Ligações com parafusos auto-atarraxantes

As análises de confiabilidade de ligações com parafusos auto-atarraxantes (PAA) foram realizadas para os modos de ruína esmagamento/*tilting*, arrancamento do parafuso e rasgamento do metal base.

As análises de confiabilidade de ligações com parafusos auto-atarraxantes, submetidas à força de cisalhamento, que falharam por esmagamento/*tilting*, indicaram que:

- o modelo fornece elevada confiabilidade, com índices de confiabilidade bem acima do valor alvo de 3,5, em todas as situações de combinação de ações e relação  $D_n/L_n$ ;

- verificou-se uma boa aproximação entre os resultados experimentais e teóricos ( $P_m=1,02$ ;  $V_p=0,16$ );

- o coeficiente de ponderação da resistência recomendado pelas especificações NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007) são conservadores em relação ao valor calculado.

As análises de confiabilidade de ligações com parafusos auto-atarraxantes (PAA), submetidas à força de tração, apresentaram resultados compatíveis com as normas de brasileira e americana, para o modo de falha arrancamento do parafuso. Empregando-se os parâmetros de calibração do AISI-LRFD obtém-se um  $\gamma_{(3.5)}=2,07$  (ou  $\phi=0,48$ ), muito próximo do valor recomendado pelo AISI-LRFD. O valor de  $\gamma_{(4.0)}=2,40$  (ou  $\phi=0,42$ ), também está de acordo com o AISI-LSD.

Para o modo de falha rasgamento do metal-base, os coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , foram inferiores aos recomendados pelas normas de referência. Empregando-se os parâmetros de calibração do AISI-LRFD obtém-se um  $\gamma_{(3.5)}=1,71$  (ou  $\phi=0,58$ ), enquanto que pelo AISI-LSD, obtém-se  $\gamma_{(4.0)}=2,08$  (ou  $\phi=0,48$ ). Logo tanto o AISI-LRFD quanto o AISI-LSD recomendam coeficientes de ponderação da resistência mais seguros do que os coeficientes calculados com base no conjunto experimental utilizado na calibração.

## 6.6 Barras sujeitas a forças concentradas em regiões sem enrijecedores transversais (esmagamento da alma)

As análises de confiabilidade de barras sujeitas a forças concentradas em regiões sem enrijecedores transversais, cuja falha ocorreu por esmagamento da alma, contemplaram 24 casos, organizados em função do tipo de seção, da condição da mesa do perfil e do caso de carregamento. As seções analisadas são perfis I (constituídos por 2 perfis U conectados entre si), perfis U (simples e com borda enrijecida), perfis Z e perfis  $C_r$ .

Em geral, as diferenças entre as normas acontecem em função de considerações estatísticas quanto às expressões de cálculo, as quais são baseadas em ensaios, além de nomenclaturas e adoção de coeficientes de ponderação de resistência. Como foi discutido no Capítulo 3, o coeficiente associado ao esmagamento da alma,  $\alpha$ , empregado na equação de projeto para esmagamento da alma, foi ajustado de forma a obter uma uniformidade do coeficiente de ponderação ( $\gamma=1,35$ ) para a ABNT NBR 14762 (2010). A norma AISI S100 (2007) especifica diferentes coeficientes de ponderação da resistência, conforme a condição da mesa, o caso de carregamento e o tipo de seção transversal.

Por esta razão, obtém-se resultados diferentes para a força resistente nominal, obtidos com base nas normas ABNT NBR 14762 (2010) e AISI S100 (2007). No entanto, a força resistente de cálculo é basicamente a mesma. Logo, os resultados de calibração foram obtidos com o valor adotado pela norma brasileira, ou com  $\phi=0,75$  (AISI-LRFD) e  $\phi=0,65$  (AISI-LSD), supondo estes valores uniformes para a especificação americana.

Os coeficientes de cálculo devem ser revistos, para "barras compostas, com mesa conectada na região da força concentrada, com uma mesa carregada por força interna (IOF/C)". Neste caso, os índices de confiabilidade obtidos com  $\gamma=1,35$ , a combinação  $1,2D_n+1,6L_n$  e a relação  $D_n/L_n=1/5$ , foram muito abaixo de 2,5 (valor alvo). Além disso, a média do coeficiente profissional ficou muito abaixo da unidade ( $P_m=0,65$ ), revelando certa discrepância entre os resultados experimentais e teóricos.

Nas demais situações, inclusive para outros tipos de seção, os índices de confiabilidade obtidos com  $\gamma=1,35$  foram adequados, não apresentando desvios excessivos.

## 6.7 Conclusões gerais

A partir de uma análise global, considerando todos os casos estudados, de barras e ligações, as seguintes conclusões podem ser citadas:

- Os resultados obtidos para  $\beta_F$  e  $\gamma_F$  com as expressões adaptadas para considerar o número de ensaios (equações (2.82) e (2.83)) foram muito próximos dos resultados obtidos com o trabalho original (Hsiao, 1989). Este fato é justificado pelo número de ensaios suficientemente grande, tornando o efeito do fator de correção desprezível ( $C_p$  tende para unidade). Além disso, os parâmetros estatísticos  $P_m$  e  $V_P$  foram obtidos da relação entre a resistência determinada experimentalmente e a resistência teórica, diferentemente das disposições normativas que consideram  $P_m=1$  e  $V_P$  calculado apenas com os resultados de ensaios.

- O coeficiente de ponderação da resistência,  $\gamma$ , calculado de acordo com a especificação AISI para o LSD apresenta-se em média, de 15 a 20% superior ao valor calculado para o LRFD. Este fato se deve ao emprego de diferentes combinações de ações e relação  $D_n/L_n$  e de  $\beta_o$  superiores para LSD em relação ao LRFD. A influência do índice de confiabilidade alvo,  $\beta_o$ , é muito relevante na comparação entre LSD e LRFD.

- Os coeficientes de ponderação da resistência calculados com a combinação de ações últimas normais da norma brasileira, a relação  $D_n/L_n=1/3$  e o índice de confiabilidade alvo de 2,5 para barras e de 3,5 para ligações, são relativamente próximos aos coeficientes calculados com os dados de calibração do AISI-LRFD e aos especificados na norma brasileira. Contudo, se for adotada a combinação de ações últimas normais da norma brasileira, a relação  $D_n/L_n=1/3$  o índice de confiabilidade alvo de 3,0 para barras e de 4,0 para ligações, os coeficientes de ponderação da resistência calculados são relativamente próximos aos coeficientes calculados com os dados de calibração do AISI-LSD e superiores aos especificados na norma brasileira.

Apresentam-se na tabela 6.1, valores sugeridos para os coeficientes de ponderação da resistência,  $\gamma$ , para os casos analisados com base na ABNT NBR 14762 (2010). Foi considerada a combinação de ações da norma brasileira  $1,25D_n+1,5L_n$ .

**Tabela 6.1 – Coeficientes de ponderação sugeridos para a combinação de ações da ABNT NBR 14762 (2010), em função de  $\beta_o$  e da razão  $D_n/L_n$**

Item da norma	Modo de falha	$\gamma^a$	$\gamma^b$		$\gamma^c$	
			$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$	$D_n/L_n$
			1/5	1/3	1/5	1/3
<b>9.6</b>	<b>Barras submetidas à força axial de tração</b>					
9.6.2 (a)	Escoamento da seção bruta	1,10	1,13	1,10	1,27	1,23
9.6.2 (c)	Ruptura da seção líquida na região da ligação	1,65	1,74	1,69	2,01	1,93
<b>9.7</b>	<b>Barras submetidas à força axial de compressão</b>					
9.7.2	Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção <sup>d</sup>	1,20	1,22	1,20	1,41	1,37
9.7.3	Flambagem distorcional	1,20	1,07	1,04	1,21	1,18
<b>Anexo C</b>	<b>Método da Resistência Direta</b>					
C.3	Barras submetidas à compressão centrada	1,20	1,17	1,15	1,35	1,31
<b>10.2</b>	<b>Ligações soldadas</b>					
10.2.3	Soldas de filete em superfícies planas					
10.2.3 (a)	Ruptura do metal-base: solicitação paralela ao eixo da solda					
	- para $L/t < 25$	1,65	1,86	1,80	2,15	2,07
	- para $L/t \geq 25$	2,00	2,15	2,08	2,48	2,39
10.2.3 (b)	Ruptura do metal-base: solicitação normal ao eixo da solda	1,55	1,78	1,72	2,05	1,98
<b>10.2.4</b>	<b>Soldas de filete em superfícies curvas</b>					
10.2.4 (a)	Ruptura do metal-base: solicitação normal ao eixo da solda	1,65	1,75	1,70	2,03	1,95
10.2.4 (b)	Ruptura do metal-base: solicitação paralela ao eixo da solda	1,80	1,88	1,82	2,17	2,08
<b>10.3</b>	<b>Ligações parafusadas</b>					
10.3.4	Rasgamento entre furos ou entre furo e borda	1,45	1,72	1,66	1,97	1,88
10.3.5	Pressão de contato (esmagamento)	1,55	2,38	2,32	2,84	2,76
<b>10.5</b>	<b>Ligações com parafusos auto-atarraxantes</b>					
10.5.2	Força de cisalhamento resistente de cálculo					
10.5.2.1	Resistência do metal-base	2,00	1,63	1,58	1,88	1,81
10.5.3	Força de tração resistente de cálculo					
10.5.3.1	Arrancamento do parafuso ( <i>pull-out</i> )	2,00	2,18	2,11	2,50	2,40
10.5.3.2	Resistência ao rasgamento do metal-base ( <i>pull-over</i> )	2,00	1,80	1,76	2,14	2,08
<b>Anexo D</b>	<b>Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas</b>					
D.1, D.2	Esmagamento da alma ( <i>web crippling</i> )	1,35	1,57	1,54	1,80	1,75

<sup>a</sup>Coeficiente de ponderação da resistência vigente na norma ABNT NBR 14762 (2010).

<sup>b</sup>Coeficiente de ponderação da resistência obtido com  $\beta_o = 2,5$  para barras ou  $\beta_o = 3,5$  para ligações.

<sup>c</sup>Coeficiente de ponderação da resistência obtido com  $\beta_o = 3,0$  para barras ou  $\beta_o = 4,0$  para ligações.

<sup>d</sup>Valores sugeridos calculados com o emprego do MLE.

## 6.8 Sugestões para trabalhos futuros

Alguns aspectos sobre análise de confiabilidade de perfis formados à frio ainda necessitam ser investigados. Sugerem-se os seguintes trabalhos que podem dar prosseguimento a esta pesquisa:

- Análise da confiabilidade de barras submetidas à flexão;
- Complementação da análise de confiabilidade de colunas em PFF, com resultados de ensaios com seções transversais não contempladas no presente trabalho, como por exemplo, perfis Z, cartola e cantoneira.
- Desenvolvimento de um modelo de cálculo para a previsão da força resistente de cálculo para pressão de contato (esmagamento), sem a consideração da deformação do furo.
- Comparação dos resultados obtidos neste trabalho com um procedimento utilizando um método de confiabilidade mais avançado como, por exemplo, o método FORM.
- Estudo da relação ação permanente/ação variável,  $D_n/L_n$ , nas construções metálicas brasileiras;
- Realização de pesquisas experimentais em perfis formados à frio, que possam constituir bancos para obtenção das estatísticas do coeficiente profissional e portanto, servir de referência de estudos de calibração de norma;
- Calibração das normas brasileiras de estruturas metálicas, utilizando os mesmos procedimentos apresentados;

## Referências bibliográficas

ABNT NBR 6355 (2003). Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização.

ABNT NBR 14762 (2001). Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento.

ABNT NBR 14762 (2010). Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento.

ABNT NBR 8800 (1986). Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios.

CAN-CSA-S16-1 (2003). Limit States Design of Steel Structures – The Canadian Standards Association, 2003, Ontario, Canada.

AISC 360 (2005). Specification for Structural Steel Buildings.

AISC 360 (2010). Specification for Structural Steel Buildings.

AISI (1986). Specification for the design of Cold-Formed Steel Structural Members.

AISI (1994). Specification for the design of Cold-Formed Steel Structural Members.

AISI (2001). Specification for the design of Cold-Formed Steel Structural Members.

AISI S100 (2007). Specification for the design of Cold-Formed Steel Structural Members.

ANSI/ASCE 7-10 (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.

Ang, A. H-S. e Tang, W. H. (1990). Probability Concepts in Engineering Planning and Design – Decision, risk and reliability. Vol. II, John Wiley & Sons, EUA, 562p.

AS1163 (1991). Structural steel hollow sections. Standards Association of Australia, Sydney.

ASTM (1984). Cold-formed welded and seamless carbon steel structural tubing in rounds and shapes. West Conshohocken, Pa.

Batista, E.M. (1989). Étude de la stabilité des profils parois minces et section ouverte de types U et C. Collection des publications de la Faculté des Sciences Appliquées es no. 119, University of Liege.

Batista, E. M. (2009). Local–global buckling interaction procedures for the design of cold-formed columns: effective width and direct method integrated approach. *Thin-Walled Structures*; 47(11):1218–1231.

Batista, E. M. (2010). Effective section method: A general direct method for the design of steel cold-formed members under local–global buckling interaction. *Thin-Walled Structures*; v.48, Issue 4-5, p. 345-356.

Batista, E. M., Vasquez, E. G., Nagahama, K. J., Camotim, D. (2000). Estudos dos modos de instabilidade local de placa e distorcional em perfis de chapa dobrada de aço. *Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural*. Punta Del Este, Uruguai, p. 14.

Bebiano, R., Pina, P., Silvestre, N. and Camotim, D. (2008). GBTUL – Buckling and Vibration Analysis of Thin-Walled Members, DECivil/IST, Technical University of Lisbon (<http://www.civil.ist.utl.pt/gbt>).

Benjamin, J. R., and Cornell, C. A. (1970). *Probability, Statistics, and Decisions for Civil Engineers*, McGraw-Hill Company Inc., New York.

Ben Young and Gregory J. Hancock (2001). Design of Cold-Formed Channels Subjected to Web Crippling, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 127, N<sup>o</sup>. 10. ASCE, ISSN 0733-9445/01/0010-1137–1144.

Beshara, B. (1999). *Web Crippling of Cold Formed Steel Members*. M.A.Sc. Thesis, University of Waterloo, Canada.

Bhakta, B.H., LaBoube, R.A. and Yu, W.W. (1992). The Effect of Flange Restraint on Web Crippling Strength. Civil Engineering Study 92-1, Cold-Formed Steel Series, Final Report, University of Missouri- Rolla, Rolla, Missouri, USA.

Bolandin, E. A. (2011). Análise de confiabilidade em ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio. *Dissertação de Mestrado – EESC/USP*.

Brandão, A. L. R. (2007). *Segurança de Estruturas em Perfis Formados a Frio*. Ouro Preto: Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. *Dissertação de Mestrado – UFOP*.

Brandão, A. L. R. ; Freitas, M. S. R. ; Freitas, A. M. S. (2007). Calibração de norma de projeto de estruturas em perfis formados a frio. *II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas*, Rio de Janeiro.

Brandão, A. L. R. ; Freitas, M. S. R. ; Freitas, A. M. S. (2008a). Avaliação da Segurança de Estruturas em Perfis Formados a Frio. *Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia*, Maceió. *Anais do Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia*. CILAMCE 2008.

Brandão, A. L. R. ; Freitas, M. S. R. ; Freitas, A. M. S. (2008b). Segurança de Estruturas em Perfis Formados a Frio. *XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural*, Santiago.

- Brandão, A. L. R. ; Freitas, M. S. R. ; Freitas, A. M. S. (2010). Calibração de normas de Perfis Formados a Frio. XXXI CILAMCE - Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia, Buenos Aires. MECOM - CILAMCE 2010.
- Brandão, A. L. R. ; Freitas, M. S. R. ; Freitas, A. M. S. (2011). Calibration of resistance factors for cold-formed steel columns. XXXIII CILAMCE - Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia, Ouro Preto - MG. CILAMCE 2011.
- Brandão, A. L. R. ; Freitas, M. S. R. ; Freitas, A. M. S. (2012). Calibração de Coeficiente de Ponderação da Resistência de Perfis Formados a Frio. X Simpósio de Mecânica Computacional, 2012, Belo Horizonte. SIMMEC 2012.
- Cain, D.E., LaBoube, R.A. and Yu, W.W. (1995). The Effect of Flange Restraint on Web Crippling Strength of Cold-Formed Steel Z- and I- Sections. Civil Engineering Study 95-2, Cold-Formed Steel Series, Final Report, University of Missouri- Rolla, Rolla, Missouri, USA.
- Castanheira, A. M. (2004). Avaliação da confiabilidade de vigas metálicas dimensionadas pela NBR 8800. Dissertação de Mestrado – UFOP.
- Chodraui, G. M. B. Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão (2006). Tese de doutorado –Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Chong, K.P., and R.B. Matlock (1974). Light-Gage Steel Bolted Connections Without Washers. Journal of the Structural Division, ASCE Proceedings, Vol. 101 No. ST7.
- Cornell, C. A. (1967). Bounds on the Reliability of Structural Systems. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 93, pp. 171-200.
- Carril, Jeffery L., LaBoube, Roger A., and Yu, W.W. (1994). Tensile and Bearing Capacities of Bolted Connections. First Summary Report, University of Missouri-Rolla.
- Cornell University (1954). Tests on Bolted Connections. Fifth Progress Report, (unpublished).
- Cornell University (1954). Tests on Bolted Connections. Sixth Progress Report, (unpublished).
- Dat, D. T. (1980). The strength of cold-formed steel columns. Cornell University, Department of Structural Engineering Report No. 80-4, Ithaca, NY.
- Desmond, T. P., Peköz, T., and Winter, G. (1981). Edge stiffeners for thin-walled members. ASCE Journal of Structural Division, v.107, n.2, p.329-353.

Dhalla, A.K., and G. Winter (1971). Influence of Ductility on the Structural Behavior of Cold-Formed Steel Members. Report N<sup>o</sup>. 336, Department of Structural Engineering, Cornell University.

Ellingwood, B., MacGregor, J.G., Galambos, T.V., Cornell, C.A. (1980). Development of a Probability-Based Load Criterion for American National Standard A58 – NBS Special Publication, 577, National Bureau of Standards, United States Department of Commerce, Washington, D.C..

Ellingwood, B., MacGregor, J.G., Galambos, T.V., Cornell, C.A. (1982). Probability-Based Load Criteria: Load Factors and Load Combinations – Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, N<sup>o</sup>. ST5.

Freitas, M. F. de (2004). Ligações metálicas constituídas por parafusos auto-atarraxantes. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Freudenthal, A. M. (1947). The Safety of Structures. Transactions of the ASCE, Vol. 112, pp. 125-159.

Freudenthal, A. M. (1961). Safety, Reliability and Structures Design. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 87, pp. 1-16.

Freudenthal, A. M., Garrelts, J. M., Shinozuka, M. (1966). The Safety of Structures. Transactions of the ASCE, Vol. 92, pp. 267-325.

Galambos, T.V., Ellingwood, B., MacGregor, J.G., Cornell, C.A. (1982). Probability-based load criteria: assessment of current design practice. USA, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, n. ST5, pp. 959-977.

Galambos, T. V. (1992). Design Codes. Engineering Safety, McGraw-Hill, Inglaterra, pp. 47-71.

Gerges, R.R. (1997). Web Crippling of Single Web Cold Formed Steel Members Subjected to End One-Flange Loading. M.A.Sc. Thesis, University of Waterloo, Canada, 1997.

Hasofer, A.M., Lind, N.C. (1974). Exact and Invariant Second Moment Code format, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 100 n<sup>o</sup> EM1 pp111-121.

Haldar, A., Mahadevan, S. (2000). Reliability assessment using stochastic finite element analysis. John Wiley & Sons.

Hetrakul, N. and Yu. W.W. (1978). Structural Behavior of Beam Webs Subjected to Web Crippling and a Combination of Web Crippling and Bending. Civil Engineering Study 78-4, Cold-Formed Steel Series, Final Report, University of Missouri- Rolla.

Holcomb, B.D., Yu, W. W., Laboube, R.A. (1995). Tensile and bearing capacities of bolted connections. Second Summary Report, Civil Engineering Study 95-1. University of Missouri-Rolla.

Hsiao, L.E. (1989). Reliability Based Criteria for Cold-Formed Steel Members. Ph. D. Thesis, University of Missouri-Rolla.

Hsiao, L. E., Yu, W. W., and Galambos, T. V. (1988). Load and Resistance Factor Design of Cold-Formed Steel: Load and resistance factor design specification for cold-formed steel structural members with commentary. 10<sup>th</sup> Progress Report, University of Missouri-Rolla.

Hurtado, J. E., Alvarez, D. A. (2003). Classification approach for reliability analysis with stochastic finite-element modeling. Journal of Structural Engineering. ASCE.

Langan, J.E., Yu, W.W. and LaBoube, R.A. (1994). Structural Behavior of Perforated Web Elements of Cold-Formed Steel Flexural Members Subjected to Web Crippling and a Combination of Web Crippling and Bending. Civil Engineering Study 94-3, Cold-Formed Steel Series, University of Missouri- Rolla, Rolla, Missouri, USA.

Lewis, E. E. (1987). Introduction to Reliability Engineering. John Wiley & Sons, EUA, 400p.

Lip H. Teh and Gregory J. Hancock (2005). Strength of Welded Connections in G450 Sheet Steel, Journal of Structural Engineering, Vol. 131, No. 10. ASCE, ISSN 0733-9445/2005/10-1561–1569.

Loughlan, J. (1979). Mode interaction in lipped channel columns under concentric or eccentric loading. University of Strathclyde, Glasgow. Ph.D. Thesis.

Macadam, J.N. (1990). Net Section Tension," AISI Advisory Group Subcommittee 3 - Connections.

Macindoe, L., Pham, L.. (1996). Test Data from Screwed and Blind Riveted Connection Tests. CSIRO Division of Building, Construction and Engineering Confidential Document 96/22(M), Highett Victoria, Australia.

Madsen, H. O., Krenk, S. e Lind, N.C. (1986). Methods of Structural Safety. Prentice-Hall, New Jersey, 403p.

Maiola, C. H. (2004). Ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio. São Carlos. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Melchers, R. E. (1999). Structural Reliability Analysis and Prediction. John Wiley & Sons, Australia, 437p.

- Miller, T. H., and Peköz, T. (1994). Unstiffened strip approach for perforated wall studs. *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol.120, N<sup>o</sup>.2, p.410-421.
- Moen, C. D., and Schafer, B. W. (2008). Experiments on cold-formed steel columns with holes. *Thin-Walled Structures*, 46, 1164-1182.
- Moldovan, A. (1994). Compression tests on cold-formed steel columns with monosymmetrical section. *Thin-Walled Structures*, v.20, p.241-252.
- Moses, F. e Kinser, D. E. (1967). Analysis of Structural Reliability. *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 93, pp. 147-164.
- Mulligan, G.P. (1983). The influence of local buckling on the structural behavior of singly-symmetric cold- formed steel columns. Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- McKinney, W.M., V.A.S. Liu, and Yu, W.W. (1975). Study of Cold-Formed Steel Structural Members Made of Thick Sheets and Plates. Final Report, University of Missouri-Rolla, April 1975.
- McGuire, W., Peköz, T. (1979 ). Welding of Sheet Steel. Report SG-79-2, American Iron and Steel Institute.
- Ortiz-Colberg, R. A. (1981). The load carrying capacity of perforated cold-formed steel columns. M.S. Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Paula, V. F. de (2006). Análise Experimental e Numérica de Cantoneiras de Aço Formadas a Frio, sob Tração e Conectadas por Parafusos, Publicação n.º E.TD 005A/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 167p.
- Pekoz, T., e Hall, W. B. (1988). Probabilistic Evaluation of Test Results. Proceedings of the Ninth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, University of Missouri-Rolla, Missouri.
- Pu, Y., Godley, M. H. R., Beale, R. G., and Lau, H. H. (1999). Prediction of ultimate capacity of perforated lipped channels. *ASCE Journal of Structural Engineering*, v.125, n.5, p.510-514.
- Pugsley, A. G. (1966). *The Safety of Structures*, Edward Arnold (Publishers) Ltd., London, 156p.
- Rang, T. N., Galambos, T. V., and Yu, W. W. (1979a). Load and Resistance Factor Design of Cold-Formed Steel: Study of Design Formats and Safety Index Combined with Calibration of the AISI Formulas for Cold Work and Effective Design Width. First Progress Report, University of Missouri-Rolla.

- Rang, T. N., Galambos, T. V., and Yu, W. W. (1979b). Load and Resistance Factor Design of Cold-Formed Steel: Statistical Analysis of Mechanical Properties and Thickness of Materials Combined with Calibration of the AISI Design Provisions on Unstiffened Elements and Connections. Second Progress Report, University of Missouri-Rolla.
- Ravindra, M. K. e Galambos, T.V. (1978). Load and Resistance factor design for steel. Journal of the structural division, ASCE, vol. 104, 9, pp. 1337-1353.
- Rogers, C.A., Hancock, G.J. (1997). Screwed Connection Tests of Thin G550 and G300 Sheet Steels. Research Report No. R761, Centre for Advanced Structural Engineering, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia.
- Rogers, C.A., Hancock, G.J. (1998). New Bolted Connection Design Formulae for G550 and G300 Sheet Steels less than 1.0mm Thick. Research Report No. R769, Centre for Advanced Structural Engineering, University of Sydney, Sydney, NSW, Australia.
- Salmon, C. G. e Johnson, J. E. (1990). Steel Structures – Design and Behavior, Harper Collins, EUA, 1086p.
- Santos, L. L. (2000). Sobre a Confiabilidade de Vigas Segundo as Normas de Estruturas Metálicas. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 131p.
- Schafer, B. W. (2000). Distortional buckling of cold-formed steel columns. American Iron and Steel Institute, Washington, D.C.
- Schafer, B. W., e Ádány, S. (2006). Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods." Eighteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, Orlando, FL.
- Schafer, B. W. (2008). Review: the direct strength method of cold-formed steel member design. Journal of Constructional Steel Research; v.4, p.766-778.
- Sheerah, Ibraheem (2009). Cold-Formed Steel Bolted Connections without Washers on Oversized and Slotted Holes. Master of Science (Engineering Systems), 104 pp.
- Sily, B. T. P. (2012). Avaliação probabilística da resistência à compressão axial de perfis de aço formados a frio. Dissertação de Mestrado – UFMG.
- Sivakumaran, K. S. (1987). Load capacity of uniformly compressed cold-formed steel section with punched web. Canadian Journal of Civil Engineering, 14, 550-558.
- Thomasson, P. O. (1978). Thin-walled C-shaped panels in axial compression. Swedish Council for Building Research. Report: ISSN-91-540-2820-5.

- Tsai, M. (1992). Reliability models of load testing. Ph.D. Dissertation, Dept. of Aeronautical and Astronautical Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Wallace, J.A., Schuster, R.M. and LaBoube, R.A. (2000). Testing of Bolted Cold Formed Steel Connections in Bearing. Canadian Cold Formed Steel Research Group, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Wing, B.A. (1981). Web Crippling and the Interaction of Bending and Web Crippling of Unreinforced Multi-Web Cold Formed Steel Sections. M.A.Sc. Thesis, University of Waterloo, Canada.
- Winter, G.. (1956). Tests on Bolted Connections in Light Gage Steel. Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 82, No. ST2, pp. 920-1 - 920-25.
- Yip, A. S-M.; Cheng, J. J. R. (2000). Shear lag in bolted cold-formed steel angles and channels in tension. Structural Engineering Report n° 233, Department of Civil & Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.
- Young, B., e Hancock, G. J. (2003). Compression tests of channels with inclined simple edge stiffeners. ASCE Journal of Structural Engineering, v.129, n.10, p.1403-1411.
- Young, B., e Rasmussen, K. J. R. (1998a). Design of lipped channel columns. ASCE Journal of structural engineering, v.124, n.2, p.140-148.
- Young, B., e Rasmussen, K. J. R. (1998b). Tests of fixed-ended plain channel columns. ASCE Journal of Structural Engineering, v.124, n.2, p.131-139.
- Young, B. e Hancock, G.J. (1998). Web Crippling Behaviour of Cold-Formed Unlipped Channels. Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, University of Missouri-Rolla.
- Yu, W.W. e Mosby, R.L. (1978). Bolted Connections in Cold-Formed Steel Structures. Third Progress Report, University of Missouri-Rolla.
- Yu, W. W. (1982). AISI Design Criteria for Bolted Connections. Proceedings of the Sixth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, University of Missouri-Rolla, Missouri.
- Yu, W.W. (2000). Cold-Formed Steel Design. New York: John Wiley e Sons. 756p.

## Anexo A

### Força axial de tração

Tabela A.1 - Ruptura da seção líquida (RSL)

Item	Fonte	CP	b <sub>1</sub> (mm)	b <sub>2</sub> (mm)	t (mm)	n <sub>par</sub>	d (mm)	x (mm)	L (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	A (mm <sup>2</sup> )	A <sub>n</sub> (mm <sup>2</sup> )	C <sub>t</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
1	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN11-1	41,3	41,3	1,07	2	12,7	10,8	38,1	385	86,3	71,1	0,660	15,8	18,1	0,88
2	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN11-2	41,3	41,3	1,07	2	12,7	10,8	38,1	385	86,3	71,1	0,660	16,2	18,1	0,90
3	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN11-3	41,3	41,3	1,07	2	12,7	10,8	38,1	385	86,3	71,1	0,660	15,9	18,1	0,88
4	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN11-1	41,3	41,3	1,07	3	12,7	10,8	76,2	385	86,3	71,1	0,830	19,6	22,7	0,86
5	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN11-2	41,3	41,3	1,07	3	12,7	10,8	76,2	385	86,3	71,1	0,830	20,0	22,7	0,88
6	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN11-3	41,3	41,3	1,07	3	12,7	10,8	76,2	385	86,3	71,1	0,830	20,9	22,7	0,92
7	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN12-1	41,3	82,5	1,07	2	12,7	28,1	38,1	385	130,2	115,1	0,400	17,9	17,7	1,01
8	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN12-2	41,3	82,5	1,07	2	12,7	28,1	38,1	385	130,2	115,1	0,400	19,3	17,7	1,09
9	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN12-3	41,3	82,5	1,07	2	12,7	28,1	38,1	385	130,2	115,1	0,400	18,2	17,7	1,03
10	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN12-1	41,3	82,5	1,07	3	12,7	28,1	76,2	385	130,2	115,1	0,558	21,9	24,7	0,89
11	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN12-2	41,3	82,5	1,07	3	12,7	28,1	76,2	385	130,2	115,1	0,558	22,8	24,7	0,92
12	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN31-1	41,3	41,3	3,05	2	12,7	11,7	38,1	366	236,5	193,2	0,630	49,0	44,6	1,10
13	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN31-2	41,3	41,3	3,05	2	12,7	11,7	38,1	366	236,5	193,2	0,630	48,3	44,6	1,08
14	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN31-1	41,3	41,3	3,05	3	12,7	11,7	76,2	366	236,5	193,2	0,815	58,5	57,6	1,01
15	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN31-2	41,3	41,3	3,05	3	12,7	11,7	76,2	366	236,5	193,2	0,815	56,7	57,6	0,98
16	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN32-1	41,3	82,5	3,05	2	12,7	29,1	38,1	366	362,1	318,8	0,400	52,0	46,7	1,11
17	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LBN32-2	41,3	82,5	3,05	2	12,7	29,1	38,1	366	362,1	318,8	0,400	56,0	46,7	1,20
18	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN32-1	41,3	82,5	3,05	3	12,7	29,1	76,2	366	362,1	318,8	0,541	62,9	63,1	1,00
19	Holcomb <i>et al.</i> (1995)	LCN32-2	41,3	82,5	3,05	3	12,7	29,1	76,2	366	362,1	318,8	0,541	60,2	63,1	0,95

Item	Fonte	CP	b <sub>1</sub> (mm)	b <sub>2</sub> (mm)	t (mm)	n <sub>par</sub>	d (mm)	x (mm)	L (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	A (mm <sup>2</sup> )	A <sub>n</sub> (mm <sup>2</sup> )	C <sub>t</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
20	Paula (2006)	A121	50,0	50,0	2,23	2	12,7	13,5	38,1	502	214,8	183,2	0,574	54,8	52,8	1,04
21	Paula (2006)	A131	50,0	50,0	2,26	3	12,7	13,5	76,2	502	217,6	185,5	0,787	64,6	73,3	0,88
22	Paula (2006)	A141	50,0	50,0	2,34	4	12,7	13,6	114,3	502	225,0	191,8	0,857	78,1	82,5	0,95
23	Paula (2006)	A221	50,0	50,0	3,51	2	12,7	14,1	38,1	463	330,8	280,9	0,555	89,1	72,2	1,24
24	Paula (2006)	A231	50,0	50,0	3,49	3	12,7	14,1	76,2	463	329,0	279,4	0,778	97,8	100,6	0,97
25	Paula (2006)	A241	50,0	50,0	3,57	4	12,7	14,2	114,3	463	336,1	285,4	0,851	102,0	112,5	0,91
26	Paula (2006)	A321	50,0	50,0	3,70	2	12,7	14,2	38,1	457	347,5	295,0	0,552	81,7	74,4	1,10
27	Paula (2006)	A331	50,0	50,0	3,72	3	12,7	14,2	76,2	457	349,3	296,4	0,776	97,5	105,1	0,93
28	Paula (2006)	A341	50,0	50,0	3,66	4	12,7	14,2	114,3	457	344,0	292,0	0,851	109,6	113,6	0,96
29	Paula (2006)	B141	80,0	80,0	2,26	4	12,7	21,0	114,3	502	353,2	321,1	0,779	92,0	125,6	0,73
30	Paula (2006)	B221	80,0	80,0	3,54	2	12,7	21,6	38,1	463	545,8	495,5	0,400	108,1	91,8	1,18
31	Paula (2006)	B241	80,0	80,0	3,68	4	12,7	21,7	114,3	463	566,5	514,3	0,772	142,3	183,9	0,77
32	Paula (2006)	B321	80,0	80,0	3,86	2	12,7	21,8	38,1	457	593,1	538,3	0,400	115,4	98,4	1,17
33	Paula (2006)	B341	80,0	80,0	3,76	4	12,7	21,7	114,3	457	578,4	525,0	0,772	142,9	185,2	0,77
34	Paula (2006)	B122	80,0	80,0	2,43	4	12,7	21,1	38,1	502	379,1	310,1	0,400	98,4	62,3	1,58
35	Paula (2006)	B132	80,0	80,0	2,43	6	12,7	21,1	76,2	502	379,1	310,1	0,668	104,0	103,9	1,00
36	Paula (2006)	B142	80,0	80,0	2,43	2	12,7	21,1	114,3	502	379,1	310,1	0,778	109,2	121,2	0,90
37	Paula (2006)	B222	80,0	80,0	3,50	2	12,7	21,6	38,1	463	539,9	440,5	0,400	119,4	81,6	1,46
38	Paula (2006)	B232	80,0	80,0	3,53	2	12,7	21,6	76,2	463	544,3	444,1	0,660	129,0	135,6	0,95
39	Paula (2006)	B242	80,0	80,0	3,53	2	12,7	21,6	114,3	463	544,3	444,1	0,773	131,6	158,9	0,83
40	Paula (2006)	C122	100,0	100,0	2,66	2	12,7	26,2	38,1	502	520,4	444,8	0,400	99,6	89,3	1,11
41	Paula (2006)	C132	100,0	100,0	2,42	2	12,7	26,1	76,2	502	474,4	405,7	0,589	115,9	119,9	0,97
42	Paula (2006)	C142	100,0	100,0	2,45	2	12,7	26,1	114,3	502	480,1	410,6	0,726	122,4	149,6	0,82
43	Paula (2006)	C222	100,0	100,0	3,58	2	12,7	26,6	38,1	463	694,9	593,3	0,400	139,6	109,9	1,27
44	Paula (2006)	C232	100,0	100,0	3,59	2	12,7	26,7	76,2	463	696,8	594,9	0,580	154,2	159,8	0,96
45	Paula (2006)	C242	100,0	100,0	3,56	2	12,7	26,6	114,3	463	691,2	590,1	0,720	161,7	196,8	0,82
46	Paula (2006)	C322	100,0	100,0	3,86	2	12,7	26,8	38,1	457	747,5	637,9	0,400	144,0	116,6	1,23
47	Paula (2006)	C332	100,0	100,0	3,85	2	12,7	26,8	76,2	457	745,6	636,3	0,578	170,2	168,2	1,01
48	Paula (2006)	C342	100,0	100,0	3,84	2	12,7	26,8	114,3	457	743,8	634,7	0,719	171,6	208,6	0,82
49	Paula (2006)	D121	50,0	80,0	2,41	1	12,7	25,8	38,1	502	303,8	269,5	0,400	62,1	54,1	1,15
50	Paula (2006)	D131	50,0	80,0	2,43	1	12,7	25,9	76,2	502	306,2	271,7	0,593	71,1	80,9	0,88
51	Paula (2006)	D141	50,0	80,0	2,36	1	12,7	25,8	114,3	502	297,7	264,1	0,729	78,4	96,7	0,81
52	Paula (2006)	E121	50,0	100,0	2,49	1	12,7	34,7	38,1	502	363,3	328,0	0,400	64,4	65,9	0,98
53	Paula (2006)	E131	50,0	100,0	2,58	1	12,7	34,7	76,2	502	376,1	339,4	0,453	76,7	77,2	0,99

Item	Fonte	CP	b <sub>1</sub> (mm)	b <sub>2</sub> (mm)	t (mm)	n <sub>par</sub>	d (mm)	x (mm)	L (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	A (mm <sup>2</sup> )	A <sub>n</sub> (mm <sup>2</sup> )	C <sub>t</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
54	Paula (2006)	E141	50,0	100,0	2,38	1	12,7	34,6	114,3	502	347,7	313,9	0,637	81,5	100,3	0,81
55	Paula (2006)	F131	80,0	100,0	2,34	1	12,7	28,9	76,2	502	412,2	379,0	0,545	80,8	103,7	0,78
56	Paula (2006)	F141	80,0	100,0	2,30	1	12,7	28,9	114,3	502	405,3	372,7	0,697	89,3	130,4	0,68
57	Paula (2006)	F122	80,0	100,0	2,46	2	12,7	29,0	38,1	502	432,9	363,0	0,400	92,2	72,9	1,27
58	Paula (2006)	F132	80,0	100,0	2,48	2	12,7	29,0	76,2	502	436,3	365,9	0,544	99,4	99,9	1,00
59	Paula (2006)	F142	80,0	100,0	2,38	2	12,7	28,9	114,3	502	419,1	351,5	0,696	107,6	122,9	0,88
60	Paula (2006)	D141-L	80,0	50,0	2,24	1	12,7	10,6	114,3	502	283,0	251,2	0,889	85,4	112,1	0,76
61	Paula (2006)	E141-L	100,0	50,0	2,29	1	12,7	9,3	114,3	502	334,9	302,4	0,902	102,7	136,9	0,75
62	Paula (2006)	D122-L	80,0	50,0	2,21	2	12,7	10,6	38,1	502	279,3	216,5	0,667	78,6	72,5	1,08
63	Paula (2006)	D132-L	80,0	50,0	2,23	2	12,7	10,6	76,2	502	281,7	218,4	0,833	86,6	91,4	0,95
64	Paula (2006)	D142-L	80,0	50,0	2,23	2	12,7	10,6	114,3	502	281,7	218,4	0,889	92,7	97,5	0,95
65	Paula (2006)	E122-L	100,0	50,0	2,27	2	12,7	9,3	38,1	502	332,0	267,6	0,707	81,7	95,0	0,86
66	Paula (2006)	E132-L	100,0	50,0	2,29	2	12,7	9,3	76,2	502	334,9	269,9	0,853	93,4	115,6	0,81
67	Paula (2006)	E142-L	100,0	50,0	2,27	2	12,7	9,3	114,3	502	332,0	267,6	0,902	96,1	121,2	0,79
68	Paula (2006)	A222-F	50,0	50,0	3,58	2	12,7	14,2	38,1	463	336,9	235,3	1,000	113,7	108,9	1,04
69	Paula (2006)	A232-F	50,0	50,0	3,58	2	12,7	14,2	76,2	463	336,9	235,3	1,000	117,6	108,9	1,08
70	Paula (2006)	A242-F	50,0	50,0	3,60	2	12,7	14,2	114,3	463	338,7	236,5	1,000	115,2	109,5	1,05
71	Paula (2006)	B232-F	80,0	80,0	3,62	2	12,7	21,7	76,2	463	557,7	454,9	1,000	199,8	210,6	0,95
72	Paula (2006)	B242-F	80,0	80,0	3,61	2	12,7	21,7	114,3	463	556,2	453,7	1,000	194,9	210,0	0,93
73	Paula (2006)	B221-X1	80,0	80,0	3,57	1	12,7	21,6	38,1	463	550,3	499,6	0,400	111,3	92,5	1,20
74	Paula (2006)	B221-X2	80,0	80,0	3,58	1	12,7	21,7	38,1	463	551,7	500,9	0,400	72,8	92,8	0,78
75	Paula (2006)	B241-X1	80,0	80,0	3,57	1	12,7	21,6	114,3	463	550,3	499,6	0,773	144,5	178,7	0,81
76	Paula (2006)	B241-X2	80,0	80,0	3,60	1	12,7	21,7	114,3	463	554,7	503,6	0,773	102,8	180,1	0,57
77	Paula (2006)	B221-W	80,0	80,0	3,63	1	12,7	21,7	38,1	463	559,1	507,6	0,400	119,4	94,0	1,27
78	Paula (2006)	B241-W	80,0	80,0	3,65	1	12,7	21,7	114,3	463	562,1	510,3	0,772	150,4	182,5	0,82
79	Paula (2006)	A121-T	50,0	50,0	2,38	1	12,7	13,6	38,1	502	228,7	194,9	0,572	56,8	55,9	1,02
80	Paula (2006)	A131-T	50,0	50,0	2,41	1	12,7	13,6	76,2	502	231,5	197,2	0,786	65,6	77,8	0,84
81	Paula (2006)	A221-T	50,0	50,0	3,53	1	12,7	14,1	38,1	463	332,5	282,4	0,555	83,9	72,5	1,16
82	Paula (2006)	A231-T	50,0	50,0	3,52	1	12,7	14,1	76,2	463	331,6	281,7	0,777	96,3	101,4	0,95
83	Paula (2006)	A221-E2	50,0	50,0	3,52	1	12,7	14,1	38,1	463	331,6	281,7	0,555	79,5	72,4	1,10
84	Paula (2006)	A221-E3	50,0	50,0	3,51	1	12,7	14,1	38,1	463	330,8	280,9	0,555	89,1	72,2	1,24
85	Paula (2006)	A221-E4	50,0	50,0	3,54	1	12,7	14,1	38,1	463	333,4	283,1	0,555	69,0	72,7	0,95

Item	Fonte	CP	b <sub>1</sub> (mm)	b <sub>2</sub> (mm)	t (mm)	n <sub>par</sub>	d (mm)	x (mm)	L (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	A (mm <sup>2</sup> )	A <sub>n</sub> (mm <sup>2</sup> )	C <sub>t</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
86	Yip e Cheng (1997)	12-2	102,0	102,0	2,66	2	19,1	26,7	95,5	516	530,4	475,7	0,664	135,8	163,0	0,83
87	Yip e Cheng (1997)	12-3	102,0	102,0	2,66	3	19,1	26,7	191,0	516	530,4	475,7	0,832	154,7	204,3	0,76
88	Yip e Cheng (1997)	12-4	102,0	102,0	2,66	3	19,1	26,7	191,0	516	530,4	475,7	0,832	158,3	204,3	0,78
89	Yip e Cheng (1997)	14-2	50,8	50,8	1,90	2	15,9	13,6	63,3	327	186,8	153,8	0,743	35,7	37,4	0,96
90	Yip e Cheng (1997)	14-3	50,8	50,8	1,90	3	15,9	13,6	126,6	327	186,8	153,8	0,871	43,0	43,8	0,98
91	Yip e Cheng (1997)	16-2	38,1	38,1	1,52	2	12,7	10,2	38,1	317	112,0	90,4	0,678	20,3	19,4	1,04
92	Yip e Cheng (1997)	16-3	38,1	38,1	1,52	3	12,7	10,2	76,2	317	112,0	90,4	0,839	24,4	24,0	1,01
93	Yip e Cheng (2000)	A2-2	51,0	51,0	1,21	2	19,1	13,3	63,5	316	121,4	96,4	0,748	27,9	22,8	1,22
94	Yip e Cheng (2000)	A2-2N	51,0	51,0	1,21	2	19,1	13,3	63,5	316	121,4	96,5	0,748	24,0	22,8	1,05
95	Yip e Cheng (2000)	A2-3	51,0	51,0	1,21	3	19,1	13,3	127,0	316	121,4	96,5	0,874	31,1	26,6	1,17
96	Yip e Cheng (2000)	A3-2	76,0	76,0	1,21	2	19,1	19,6	63,5	316	182,1	157,2	0,631	32,8	31,3	1,05
97	Yip e Cheng (2000)	A3-3	76,0	76,0	1,21	3	19,1	19,6	127,0	316	182,1	157,1	0,815	37,7	40,5	0,93
98	Yip e Cheng (2000)	A4-2	102,0	102,0	1,21	2	19,1	26,1	63,5	316	245,2	220,3	0,508	34,0	35,3	0,96
99	Yip e Cheng (2000)	A4-3	102,0	102,0	1,21	3	19,1	26,1	127,0	316	245,2	220,3	0,754	45,1	52,5	0,86
100	Yip e Cheng (2000)	A4-4	102,0	102,0	1,21	4	19,1	26,1	190,5	316	245,2	220,3	0,836	49,4	58,2	0,85

Nota:

- Nomeclatura original do CP (corpo-de-prova)
- Nomenclaturas com sufixo "F" identificados por Paula (2006) indicam cantoneira conectada por 2 abas.

## Anexo B

### Força axial de compressão

Tabela B.1 - Resultados experimentais e teóricos calculados com base nos métodos MLE, MSE e MRD

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	$f_y$ (MPa)	t (mm)	$b_w$ (mm)	$b_f$ (mm)	D (mm)	$r_i$ (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{MLE}$ (kN)	$F_{exp}/F_{MLE}$	$F_{MSE}$ (kN)	$F_{exp}/F_{MSE}$	$F_{MRD}$ (kN)	$F_{exp}/F_{MRD}$
1	Young e Rasmussen (1998b)	P36F - 0280	U	280	450	1,52	97	37	0	1,00	65,1	63,2	1,03	69,2	0,94	67,7	0,96
2	Young e Rasmussen (1998b)	P36F1000	U	1000	450	1,52	97	37	0	1,00	59,1	55,7	1,06	60,5	0,98	59,7	0,99
3	Young e Rasmussen (1998b)	P36F1500	U	1501	450	1,52	97	37	0	1,00	50,1	47,8	1,05	51,5	0,97	50,1	1,00
4	Young e Rasmussen (1998b)	P36F2000	U	2001	450	1,52	97	37	0	1,00	41,7	38,8	1,07	41,6	1,00	41,0	1,02
5	Young e Rasmussen (1998b)	P36F2500	U	2499	450	1,52	97	37	0	1,00	32,8	30,7	1,07	32,8	1,00	32,4	1,01
6	Young e Rasmussen (1998b)	P36F3000	U	3001	450	1,52	97	37	0	1,00	24,7	23,8	1,04	25,1	0,99	25,1	0,99
7	Young e Rasmussen (1998b)	P48F0300	U	300	450	1,52	94	50	0	1,00	66,1	64,0	1,03	71,1	0,93	68,9	0,96
8	Young e Rasmussen (1998b)	P48F1000	U	1000	450	1,52	95	50	0	1,00	62,8	58,5	1,07	64,6	0,97	62,7	1,00
9	Young e Rasmussen (1998b)	P48F1500	U	1501	450	1,52	96	50	0	1,00	55,6	51,9	1,07	56,9	0,98	54,9	1,01
10	Young e Rasmussen (1998b)	P48F1850	U	1850	450	1,52	95	50	0	1,00	47,2	46,4	1,02	50,5	0,93	49,8	0,95
11	Young e Rasmussen (1998b)	P48F2150	U	2149	450	1,52	96	50	0	1,00	43,6	41,8	1,04	45,4	0,96	44,2	0,99
12	Young e Rasmussen (1998b)	P48F2500	U	2500	450	1,52	96	50	0	1,00	38,5	36,1	1,07	39,0	0,99	38,0	1,01
13	Young e Rasmussen (1998b)	P48F3000	U	3001	450	1,52	96	50	0	1,00	37,5	29,3	1,28	31,6	1,19	30,7	1,22
14	Young e Rasmussen (1998b)	P48F3500	U	3501	450	1,52	96	50	0	1,00	29,5	24,5	1,20	26,5	1,12	25,8	1,15
15	Moldovan (1994b)	PI-1	U	246	209	1,78	61	51	0	1,78	47,1	44,5	1,06	47,4	0,99	48,9	0,96
16	Moldovan (1994b)	PI-2	U	253	209	1,78	61	51	0	1,78	42,2	44,5	0,95	47,4	0,89	48,9	0,86
17	Moldovan (1994b)	PI-3	U	245	209	1,78	62	51	0	1,78	41,2	44,7	0,92	47,5	0,87	49,1	0,84
18	Moldovan (1994b)	P4-1	U	295	209	1,78	80	62	0	1,78	52,9	51,8	1,02	51,9	1,02	53,4	0,99
19	Moldovan (1994b)	P4-2	U	292	209	1,78	82	60	0	1,78	52,9	52,1	1,02	52,5	1,01	54,0	0,98
20	Moldovan (1994b)	P4-3	U	295	209	1,78	82	59	0	1,78	54,0	52,1	1,04	52,6	1,03	54,1	1,00
21	Moldovan (1994b)	P6-1	U	297	214	2,79	85	59	0	2,79	118,7	101,5	1,17	112,6	1,05	115,5	1,03
22	Moldovan (1994b)	P6-2	U	295	214	2,79	85	60	0	2,79	126,5	101,7	1,24	112,6	1,12	116,0	1,09
23	Moldovan (1994b)	P9-1	U	347	214	3,05	98	82	0	3,05	143,2	128,0	1,12	138,2	1,04	142,2	1,01
24	Moldovan (1994b)	P9-2	U	347	214	3,05	96	82	0	2,79	128,5	126,5	1,02	137,4	0,93	141,3	0,91
25	Moldovan (1994b)	P9-3	U	347	214	3,05	94	81	0	3,05	142,2	125,3	1,13	136,4	1,04	140,2	1,01
26	Moldovan (1994b)	PII-1	U	297	248	4,06	79	83	0	3,81	221,6	196,1	1,13	----	----	232,3	0,95
27	Moldovan (1994b)	PII-2	U	297	248	4,06	80	81	0	3,81	234,4	196,3	1,19	----	----	229,3	1,02

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
28	Moldovan (1994b)	P14-1	U	347	248	3,81	102	103	0	3,81	240,2	206,0	1,17	----	----	231,9	1,04
29	Moldovan (1994b)	P14-2	U	349	248	4,06	100	102	0	3,81	257,9	223,3	1,15	----	----	255,9	1,01
30	Moldovan (1994b)	P14-3	U	349	248	4,06	100	102	0	3,81	251,1	223,3	1,12	----	----	255,9	0,98
31	Moldovan (1994c)	P2-1	U	1248	209	2,03	61	51	0	2,03	39,2	44,3	0,88	50,1	0,78	51,7	0,76
32	Moldovan (1994c)	P2-2	U	1248	209	2,03	61	51	0	2,03	42,2	44,1	0,96	49,9	0,84	51,5	0,82
33	Moldovan (1994c)	P3-1	U	1486	209	1,78	61	51	0	1,78	32,4	33,8	0,96	37,7	0,86	38,9	0,83
34	Moldovan (1994c)	P3-2	U	1486	209	1,78	62	50	0	1,52	29,4	33,8	0,87	37,7	0,78	38,9	0,76
35	Moldovan (1994c)	P5-1	U	1981	209	1,78	89	58	0	1,52	21,6	37,3	0,58	39,8	0,54	40,6	0,53
36	Moldovan (1994c)	P7-1	U	1209	214	3,05	83	59	0	2,79	89,2	97,3	0,92	103,9	0,86	103,9	0,86
37	Moldovan (1994c)	P7-2	U	1209	214	3,05	80	62	0	2,79	109,8	98,0	1,12	107,4	1,02	107,4	1,02
38	Moldovan (1994c)	P8-1	U	1981	214	3,05	86	59	0	2,79	70,6	76,9	0,92	78,3	0,90	78,3	0,90
39	Moldovan (1994c)	P8-2	U	1981	214	3,05	84	59	0	2,79	81,4	75,7	1,07	77,0	1,06	77,0	1,06
40	Moldovan (1994c)	P10-1	U	1981	214	3,05	102	81	0	2,79	83,4	107,0	0,78	118,7	0,70	122,2	0,68
41	Moldovan (1994c)	P10-2	U	1981	214	3,05	102	79	0	2,79	107,9	105,4	1,02	117,3	0,92	120,8	0,89
42	Moldovan (1994c)	P12-1	U	1486	248	4,06	85	80	0	4,06	186,3	174,3	1,07	194,2	0,96	194,2	0,96
43	Moldovan (1994c)	P12-2	U	1486	248	4,06	84	82	0	4,06	188,3	174,1	1,08	195,5	0,96	195,5	0,96
44	Moldovan (1994c)	P13-1	U	1981	248	4,06	84	82	0	3,81	142,2	157,5	0,90	173,5	0,82	173,5	0,82
45	Moldovan (1994c)	P13-2	U	1981	248	4,06	84	81	0	3,81	142,2	157,3	0,90	172,5	0,82	172,5	0,82
46	Moldovan (1994c)	P15-1	U	1981	248	4,06	105	100	0	3,81	196,1	193,5	1,01	217,7	0,90	225,2	0,87
47	Moldovan (1994c)	P15-2	U	1981	248	4,06	102	100	0	3,81	191,2	188,9	1,01	211,9	0,90	221,2	0,86
48	Moldovan (1994c)	P16-1	U	1486	248	4,06	105	101	0	3,81	210,8	207,7	1,02	230,7	0,91	239,3	0,88
49	Moldovan (1994c)	P16-2	U	1486	248	4,06	110	99	0	3,81	199,1	213,2	0,93	237,2	0,84	244,0	0,82
50	Dat (1980)	PBC 14 (I) A3	Ue	686	309	1,78	75	42	19	3,18	89,9	93,4	0,96	90,2	1,00	90,2	1,00
51	Dat (1980)	PBC 14 (I) A5	Ue	991	309	1,78	75	42	19	3,18	85,9	83,8	1,02	79,9	1,07	79,9	1,07
52	Dat (1980)	PBC 14 (I) A9	Ue	1448	309	1,78	75	42	19	3,18	62,1	63,8	0,97	61,4	1,01	61,4	1,01
53	Dat (1980)	PBC 14 (I) A11	Ue	1753	309	1,78	75	42	19	3,18	49,8	49,4	1,01	48,8	1,02	48,8	1,02
54	Dat (1980)	PBC 14 (I) A13	Ue	1981	309	1,78	75	42	19	3,18	46,7	38,8	1,20	39,8	1,17	39,8	1,17
55	Dat (1980)	PBC 14 (I) A14	Ue	2261	309	1,78	75	42	19	3,18	36,5	30,6	1,19	30,6	1,19	30,6	1,19
56	Dat (1980)	PBC 14 (II) A1	Ue	533	309	1,78	75	42	19	3,18	84,5	97,2	0,87	94,3	0,90	94,3	0,90
57	Dat (1980)	PBC 14 (II) A2	Ue	686	309	1,78	75	42	19	3,18	75,2	93,4	0,80	90,2	0,83	90,2	0,83
58	Dat (1980)	PBC 14 (II) A4	Ue	838	309	1,78	75	42	19	3,18	72,5	89,0	0,82	85,4	0,85	85,4	0,85
59	Dat (1980)	PBC 14 (II) A6	Ue	991	309	1,78	75	42	19	3,18	64,1	83,8	0,76	79,9	0,80	79,9	0,80

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
60	Dat (1980)	PBC 14 (II) A7	Ue	1143	309	1,78	75	42	19	3,18	60,1	77,5	0,77	74,0	0,81	74,0	0,81
61	Dat (1980)	PBC 14 (II) A8	Ue	1295	309	1,78	75	42	19	3,18	60,8	70,8	0,86	67,8	0,90	67,8	0,90
62	Dat (1980)	PBC 14 (II) A10	Ue	1600	309	1,78	75	42	19	3,18	46,5	56,6	0,82	55,0	0,84	55,0	0,84
63	Dat (1980)	PBC 14 (II) A12	Ue	1905	309	1,78	75	42	19	3,18	42,3	42,3	1,00	42,7	0,99	42,7	0,99
64	Dat (1980)	RFC 14 (I) B2	Ue	686	330	1,78	75	42	19	3,18	86,7	98,6	0,88	95,8	0,91	95,8	0,91
65	Dat (1980)	RFC 14 (I) B4	Ue	991	330	1,78	75	42	19	3,18	80,1	87,8	0,91	84,2	0,95	84,2	0,95
66	Dat (1980)	RFC 14 (I) B5	Ue	1295	330	1,78	75	42	19	3,18	71,2	73,8	0,96	70,6	1,01	70,6	1,01
67	Dat (1980)	RFC 14 (I) B6	Ue	1295	330	1,78	75	42	19	3,18	68,9	73,8	0,93	70,6	0,98	70,6	0,98
68	Dat (1980)	RFC 14 (I) B9	Ue	2045	330	1,78	75	42	19	3,18	39,1	35,8	1,09	37,4	1,05	37,4	1,05
69	Dat (1980)	RFC 14 (I) B10	Ue	2045	330	1,78	75	42	19	3,18	35,6	35,8	0,99	37,4	0,95	37,4	0,95
70	Dat (1980)	RFC 14 (I) B11	Ue	2156	330	1,78	75	42	19	3,18	40,3	33,6	1,20	33,6	1,20	33,6	1,20
71	Dat (1980)	RFC 14 (II) B1	Ue	686	330	1,78	75	42	19	3,18	82,3	98,6	0,83	95,8	0,86	95,8	0,86
72	Dat (1980)	RFC 14 (II) B3	Ue	991	330	1,78	75	42	19	3,18	72,5	87,8	0,83	84,2	0,86	84,2	0,86
73	Dat (1980)	RFC 14 (II) B7	Ue	1295	330	1,78	75	42	19	3,18	62,3	73,8	0,84	70,6	0,88	70,6	0,88
74	Dat (1980)	RFC 14 (II) B8	Ue	1600	330	1,78	75	42	19	3,18	51,2	58,2	0,88	56,4	0,91	56,4	0,91
75	Dat (1980)	PBC 13 (I) C3	Ue	991	305	2,29	76	43	19	2,92	117,4	103,3	1,14	101,9	1,15	101,9	1,15
76	Dat (1980)	PBC 13 (I) C4	Ue	1295	305	2,29	76	43	19	2,92	96,1	85,0	1,13	86,6	1,11	86,6	1,11
77	Dat (1980)	PBC 13 (I) C5	Ue	1600	305	2,29	76	43	19	2,92	70,5	70,4	1,00	70,4	1,00	70,4	1,00
78	Dat (1980)	PBC 13 (I) C6	Ue	2083	305	2,29	76	43	19	2,92	44,3	46,4	0,95	46,4	0,95	46,4	0,95
79	Dat (1980)	PBC 13 (I) C7	Ue	2540	305	2,29	76	43	19	2,92	34,3	31,2	1,10	31,2	1,10	31,2	1,10
80	Dat (1980)	PBC 13 (II) C1	Ue	686	305	2,29	76	43	19	2,92	155,7	118,2	1,32	114,8	1,36	114,8	1,36
81	Dat (1980)	PBC 13 (II) C2	Ue	686	305	2,29	76	43	19	2,92	104,0	118,2	0,88	114,8	0,91	114,8	0,91
82	Dat (1980)	RFC 13 (I) D6	Ue	991	305	2,29	76	43	19	2,92	131,2	103,3	1,27	101,9	1,29	101,9	1,29
83	Dat (1980)	RFC 13 (I) D7	Ue	1143	305	2,29	76	43	19	2,92	109,0	94,5	1,15	94,5	1,15	94,5	1,15
84	Dat (1980)	RFC 13 (I) D8	Ue	1295	305	2,29	76	43	19	2,92	102,3	85,1	1,20	86,6	1,18	86,6	1,18
85	Dat (1980)	RFC 13 (I) D9	Ue	1448	305	2,29	76	43	19	2,92	89,0	75,2	1,18	78,5	1,13	78,5	1,13
86	Dat (1980)	RFC 13 (I) D10	Ue	1600	305	2,29	76	43	19	2,92	71,2	70,4	1,01	70,4	1,01	70,4	1,01
87	Dat (1980)	RFC 13 (I) D11	Ue	1753	305	2,29	76	43	19	2,92	59,4	62,5	0,95	62,5	0,95	62,5	0,95
88	Dat (1980)	RFC 13 (I) D12	Ue	1905	305	2,29	76	43	19	2,92	54,3	54,9	0,99	54,9	0,99	54,9	0,99
89	Dat (1980)	RFC 13 (I) D13	Ue	2210	305	2,29	76	43	19	2,92	40,2	41,2	0,97	41,2	0,97	41,2	0,97
90	Dat (1980)	RFC 13 (II) D3	Ue	686	305	2,29	76	43	19	2,92	155,7	118,2	1,32	114,9	1,36	114,9	1,36
91	Dat (1980)	RFC 13 (II) D4	Ue	686	305	2,29	76	43	19	2,92	99,2	118,2	0,84	114,9	0,86	114,9	0,86

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
92	Dat (1980)	RFC 13 (II) D5	Ue	838	305	2,29	76	43	19	2,92	153,5	111,2	1,38	108,8	1,41	108,8	1,41
93	Moldovan (1994a)	PI7-1	Ue	292	213	1,78	82	56	16	2,67	77,5	77,3	1,00	77,3	1,00	77,3	1,00
94	Moldovan (1994a)	P17-2	Ue	293	213	1,78	81	56	17	2,67	77,5	78,4	0,99	78,4	0,99	78,4	0,99
95	Moldovan (1994a)	P18-1	Ue	1070	213	1,78	85	55	12	2,92	66,7	70,3	0,95	68,8	0,97	68,8	0,97
96	Moldovan (1994a)	P18-2	Ue	1070	213	1,78	85	57	16	2,92	67,7	77,6	0,87	73,4	0,92	73,4	0,92
97	Moldovan (1994a)	P19-1	Ue	1981	213	1,78	85	55	17	2,92	52,0	56,9	0,91	54,2	0,96	54,2	0,96
98	Moldovan (1994a)	P19-2	Ue	1981	213	1,78	86	55	17	2,67	49,0	57,4	0,85	54,6	0,90	54,6	0,90
99	Moldovan (1994a)	P20-1	Ue	347	213	1,78	96	65	21	2,67	87,3	90,5	0,96	90,5	0,96	90,5	0,96
100	Moldovan (1994a)	P20-2	Ue	347	213	1,78	94	66	21	2,92	96,1	90,4	1,06	90,4	1,06	90,4	1,06
101	Moldovan (1994a)	P21-1	Ue	1466	213	1,78	95	65	20	2,67	69,6	83,1	0,84	81,2	0,86	81,2	0,86
102	Moldovan (1994a)	P21-2	Ue	1466	213	1,78	93	65	20	2,67	71,6	83,3	0,86	81,2	0,88	81,2	0,88
103	Moldovan (1994a)	P22-1	Ue	1981	213	1,78	99	64	20	2,67	64,7	73,9	0,88	71,4	0,91	71,4	0,91
104	Moldovan (1994a)	P22-2	Ue	1981	213	1,78	98	66	20	2,92	69,6	76,2	0,91	73,7	0,94	73,7	0,94
105	Moldovan (1994a)	P23-1	Ue	345	211	3,05	96	69	23	4,32	200,0	168,1	1,19	165,2	1,21	165,2	1,21
106	Moldovan (1994a)	P23-2	Ue	345	211	3,05	96	69	23	4,32	192,2	168,1	1,14	165,2	1,16	165,2	1,16
107	Moldovan (1994a)	P24-1	Ue	1109	211	3,05	95	71	21	4,32	156,9	154,0	1,02	153,4	1,02	153,4	1,02
108	Moldovan (1994a)	P25-1	Ue	1981	211	3,05	97	70	22	4,32	123,6	121,4	1,02	128,2	0,96	128,2	0,96
109	Moldovan (1994a)	P25-2	Ue	1981	211	3,05	97	69	21	4,32	130,4	119,1	1,09	126,9	1,03	126,9	1,03
110	Moldovan (1994a)	P26-1	Ue	393	211	3,05	113	83	27	4,57	214,8	210,2	1,02	198,6	1,08	198,6	1,08
111	Moldovan (1994a)	P26-2	Ue	395	211	3,05	114	87	26	4,57	213,8	202,1	1,06	202,1	1,06	202,1	1,06
112	Moldovan (1994a)	P26-3	Ue	396	211	3,05	120	87	26	4,57	208,9	205,2	1,02	205,2	1,02	205,2	1,02
113	Moldovan (1994a)	P27-1	Ue	1684	211	3,05	135	55	24	4,32	186,3	130,5	1,43	130,5	1,43	130,5	1,43
114	Moldovan (1994a)	P27-2	Ue	1684	211	3,05	120	82	25	4,32	167,7	184,5	0,91	176,1	0,95	176,1	0,95
115	Moldovan (1994a)	P27-3	Ue	1684	211	3,05	121	82	25	4,32	150,0	184,3	0,81	176,1	0,85	176,1	0,85
116	Moldovan (1994a)	P28-1	Ue	1981	211	3,05	118	85	25	4,32	143,2	178,9	0,80	170,5	0,84	170,5	0,84
117	Moldovan (1994a)	P28-2	Ue	1981	211	3,05	120	84	25	4,32	154,0	179,2	0,86	171,0	0,90	171,0	0,90
118	Moldovan (1994a)	P29-1	Ue	396	213	1,78	119	86	26	2,92	119,7	109,4	1,09	105,2	1,14	106,4	1,12
119	Moldovan (1994a)	P29-2	Ue	396	213	1,78	122	85	25	2,92	117,7	108,4	1,09	103,6	1,14	104,8	1,12
120	Moldovan (1994a)	P30-1	Ue	1981	213	1,78	120	85	25	2,92	94,1	96,6	0,97	93,7	1,00	94,8	0,99
121	Moldovan (1994a)	P30-2	Ue	1981	213	1,78	120	85	25	2,92	96,1	96,6	0,99	93,7	1,03	94,8	1,01
122	Miller e Pekoz (1994b)	1-1	Ue	279	359	2,03	92	37	12	1,27	124,6	115,8	1,08	115,8	1,08	115,8	1,08
123	Miller e Pekoz (1994b)	1-2	Ue	279	359	2,03	92	37	12	1,27	123,2	115,6	1,07	115,6	1,07	115,6	1,07

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
124	Miller e Pekoz (1994b)	1-3	Ue	279	359	2,03	92	37	11	1,27	124,6	114,3	1,09	114,3	1,09	114,3	1,09
125	Miller e Pekoz (1994b)	1-4	Ue	457	310	1,02	152	34	7	1,78	19,2	21,5	0,90	----	----	21,5	0,90
126	Miller e Pekoz (1994b)	1-5	Ue	457	310	1,02	152	34	8	1,78	24,6	21,7	1,14	----	----	21,7	1,14
127	Miller e Pekoz (1994b)	1-6	Ue	457	310	1,02	152	34	8	1,78	26,1	21,6	1,21	----	----	21,6	1,21
128	Miller e Pekoz (1994b)	1-7	Ue	320	359	2,03	92	37	11	1,27	125,0	113,6	1,10	113,6	1,10	113,6	1,10
129	Miller e Pekoz (1994b)	1-8	Ue	320	359	2,03	92	37	12	1,27	125,7	114,9	1,09	114,9	1,09	114,9	1,09
130	Miller e Pekoz (1994b)	1-9	Ue	315	359	2,03	92	37	11	1,27	137,9	113,9	1,21	113,9	1,21	113,9	1,21
131	Miller e Pekoz (1994b)	1-10	Ue	257	359	1,78	92	37	12	1,40	127,7	96,5	1,32	96,5	1,32	96,5	1,32
132	Miller e Pekoz (1994b)	1-11	Ue	262	359	2,03	92	37	12	1,27	132,6	114,9	1,15	114,9	1,15	114,9	1,15
133	Miller e Pekoz (1994b)	1-14	Ue	472	310	1,02	152	35	8	1,78	27,9	21,9	1,28	----	----	21,9	1,28
134	Miller e Pekoz (1994b)	1-15	Ue	483	310	0,76	152	35	8	1,91	27,5	20,7	1,33	----	----	20,7	1,33
135	Miller e Pekoz (1994b)	1-16	Ue	483	310	1,02	152	34	8	1,78	28,0	21,7	1,29	----	----	21,7	1,29
136	Miller e Pekoz (1994b)	2-1	Ue	305	366	2,03	92	37	12	1,27	106,8	117,3	0,91	117,3	0,91	117,3	0,91
137	Miller e Pekoz (1994b)	2-2	Ue	305	366	2,03	92	36	12	1,27	118,8	117,0	1,02	117,0	1,02	117,0	1,02
138	Miller e Pekoz (1994b)	2-3	Ue	305	366	2,03	92	37	12	1,27	118,1	117,3	1,01	117,3	1,01	117,3	1,01
139	Miller e Pekoz (1994b)	2-4	Ue	305	366	2,03	92	37	12	1,27	102,5	117,3	0,87	117,3	0,87	117,3	0,87
140	Miller e Pekoz (1994b)	2-5	Ue	305	366	2,03	92	37	12	1,27	117,9	117,3	1,01	117,3	1,01	117,3	1,01
141	Miller e Pekoz (1994b)	2-6	Ue	490	303	1,02	152	35	8	1,78	26,0	21,6	1,20	----	----	21,6	1,20
142	Miller e Pekoz (1994b)	2-7	Ue	485	303	1,02	152	35	8	1,78	25,6	21,7	1,18	----	----	21,7	1,18
143	Miller e Pekoz (1994b)	2-8	Ue	493	303	1,02	152	35	8	1,78	23,9	21,7	1,10	----	----	21,7	1,10
144	Miller e Pekoz (1994b)	2-9	Ue	490	303	1,02	152	35	8	1,78	24,7	21,7	1,14	----	----	21,7	1,14
145	Miller e Pekoz (1994b)	2-10	Ue	490	303	1,02	152	35	8	1,78	26,5	21,7	1,22	----	----	21,7	1,22
146	Miller e Pekoz (1994a)	LC-1	Ue	1307	366	2,03	89	34	10	3,30	50,4	47,2	1,07	47,2	1,07	47,2	1,07
147	Miller e Pekoz (1994a)	LC-2	Ue	1310	366	2,03	89	34	11	3,30	45,9	49,1	0,93	49,1	0,93	49,1	0,93
148	Miller e Pekoz (1994a)	LC-3	Ue	1310	366	2,03	89	34	11	3,30	47,6	49,1	0,97	49,1	0,97	49,1	0,97
149	Miller e Pekoz (1994a)	LC-4	Ue	1310	303	1,02	151	34	7	2,79	15,8	18,3	0,86	----	----	14,8	1,07
150	Miller e Pekoz (1994)	LC-4	Ue	1310	303	1,02	151	34	7	2,79	15,8	18,3	0,86	----	----	14,8	1,07
151	Miller e Pekoz (1994)	LC-6	Ue	1308	303	1,02	151	34	8	2,79	13,3	19,2	0,69	----	----	15,2	0,87
152	Miller e Pekoz (1994)	LC-7	Ue	1307	303	1,02	151	33	8	2,79	15,1	17,7	0,85	----	----	14,5	1,04
153	Miller e Pekoz (1994a)	LC-10	Ue	1308	366	2,03	89	35	11	3,30	98,0	82,5	1,19	93,8	1,04	93,8	1,04
154	Miller e Pekoz (1994a)	LC-14	Ue	2531	303	1,02	151	34	8	2,79	6,5	6,6	0,98	----	----	6,4	1,01
155	Miller e Pekoz (1994a)	LC-15	Ue	2534	303	1,02	151	34	8	2,79	14,5	20,3	0,72	----	----	16,0	0,91

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
156	Miller e Pekoz (1994a)	LC-17	Ue	2532	366	2,03	90	34	11	3,30	55,6	51,0	1,09	51,0	1,09	51,0	1,09
157	Miller e Pekoz (1994a)	LC-18	Ue	2532	366	2,03	90	35	11	3,30	49,9	51,8	0,96	51,8	0,96	51,8	0,96
158	Miller e Pekoz (1994a)	LC-19	Ue	2531	366	2,03	90	35	11	3,30	26,7	14,2	1,88	14,2	1,88	14,2	1,88
159	Miller e Pekoz (1994a)	LC-21	Ue	1300	366	2,03	90	34	11	3,30	54,1	50,0	1,08	50,0	1,08	50,0	1,08
160	Miller e Pekoz (1994a)	LC-22	Ue	1313	366	2,03	90	35	11	3,30	52,5	52,5	1,00	52,5	1,00	52,5	1,00
161	Miller e Pekoz (1994a)	LC-23	Ue	1318	366	2,03	90	35	11	3,30	50,4	52,1	0,97	52,1	0,97	52,1	0,97
162	Miller e Pekoz (1994a)	LC-24	Ue	1305	366	2,03	90	35	11	3,30	103,7	83,2	1,25	94,8	1,09	94,8	1,09
163	Miller e Pekoz (1994a)	LC-25	Ue	1310	366	1,02	151	34	8	2,79	24,2	23,4	1,04	23,4	1,04	23,4	1,04
164	Miller e Pekoz (1994a)	LC-30	Ue	2532	366	2,03	90	35	11	3,30	27,4	14,2	1,93	14,2	1,93	14,2	1,93
165	Miller e Pekoz (1994a)	LC-31	Ue	2532	366	2,03	90	35	11	3,30	22,5	14,2	1,58	14,2	1,58	14,2	1,58
166	Young e Hancock (2003)	ST15A30	Ue	1504	450	1,52	100	50	11	1,02	76,1	72,5	1,05	80,5	0,94	80,5	0,94
167	Young e Hancock (2003)	ST15A45	Ue	1503	450	1,52	101	50	11	1,02	81,4	75,3	1,08	77,5	1,05	77,5	1,05
168	Young e Hancock (2003)	ST15A60	Ue	1503	450	1,52	99	51	11	1,02	83,5	76,7	1,09	83,3	1,00	83,0	1,01
169	Young e Hancock (2003)	ST15A90	Ue	1504	450	1,52	99	50	11	1,02	97,4	77,8	1,25	81,8	1,19	81,9	1,19
170	Young e Hancock (2003)	ST15A120	Ue	1504	450	1,52	100	50	11	1,02	102,3	77,3	1,32	82,3	1,24	82,4	1,24
171	Young e Hancock (2003)	ST15A135	Ue	1504	450	1,52	100	50	11	1,02	90,5	75,5	1,20	82,3	1,10	81,9	1,10
172	Young e Hancock (2003)	ST15A150	Ue	1503	450	1,52	99	50	11	1,02	97,4	72,7	1,34	82,3	1,18	82,2	1,19
173	Young e Hancock (2003)	ST19A30	Ue	1504	450	1,78	99	51	10	1,02	117,6	88,9	1,32	88,9	1,32	88,9	1,32
174	Young e Hancock (2003)	ST19A45	Ue	1504	450	1,78	99	51	11	1,02	126,7	97,7	1,30	99,2	1,28	99,2	1,28
175	Young e Hancock (2003)	ST19A60	Ue	1504	450	1,78	99	51	11	1,02	139,2	99,4	1,40	105,9	1,31	105,9	1,31
176	Young e Hancock (2003)	ST19A90	Ue	1504	450	1,78	100	49	10	1,02	144,9	100,5	1,44	104,7	1,38	104,2	1,39
177	Young e Hancock (2003)	ST19A120	Ue	1504	450	1,78	100	50	12	1,02	155,6	110,2	1,41	106,8	1,46	106,7	1,46
178	Young e Hancock (2003)	ST19A135	Ue	1504	450	1,78	100	50	12	1,02	152,9	109,4	1,40	106,8	1,43	106,3	1,44
179	Young e Hancock (2003)	ST19A150	Ue	1504	450	1,78	100	49	12	1,02	154,4	108,6	1,42	106,5	1,45	105,9	1,46
180	Young e Hancock (2003)	ST24A30	Ue	1485	450	2,29	100	51	12	1,02	156,0	138,3	1,13	138,3	1,13	138,3	1,13
181	Young e Hancock (2003)	ST24A45	Ue	1482	450	2,29	101	51	12	1,02	180,9	151,1	1,20	151,1	1,20	151,1	1,20
182	Young e Hancock (2003)	ST24A60	Ue	1503	450	2,29	101	51	11	1,02	198,7	154,6	1,28	159,0	1,25	159,0	1,25
183	Young e Hancock (2003)	ST24A90	Ue	1479	450	2,29	100	50	12	1,02	194,2	156,5	1,24	161,8	1,20	161,2	1,20
184	Young e Hancock (2003)	ST24A120	Ue	1478	450	2,29	101	50	12	1,02	198,8	154,4	1,29	161,9	1,23	161,3	1,23
185	Young e Hancock (2003)	ST24A135	Ue	1478	450	2,29	100	50	12	1,02	197,4	153,5	1,29	163,2	1,21	162,1	1,22
186	Young e Hancock (2003)	ST24A150	Ue	1483	450	2,29	101	50	12	1,02	195,7	150,9	1,30	158,3	1,24	158,3	1,24
187	Young e Hancock (2003)	LT15A30	Ue	1504	450	1,52	101	100	10	1,02	70,5	58,6	1,20	58,6	1,20	58,6	1,20

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
188	Young e Hancock (2003)	LT15A45	Ue	1504	450	1,52	100	101	11	1,02	71,6	67,9	1,05	----	----	67,9	1,05
189	Young e Hancock (2003)	LT15A60	Ue	1503	450	1,52	100	101	11	1,02	76,0	74,0	1,03	----	----	74,0	1,03
190	Young e Hancock (2003)	LT15A90	Ue	1504	450	1,52	100	100	10	1,02	74,3	76,0	0,98	76,0	0,98	76,0	0,98
191	Young e Hancock (2003)	LT15A120	Ue	1503	450	1,52	99	100	11	1,02	80,3	74,9	1,07	----	----	74,9	1,07
192	Young e Hancock (2003)	LT15A135	Ue	1503	450	1,52	99	100	11	1,02	79,1	75,5	1,05	----	----	75,5	1,05
193	Young e Hancock (2003)	LT15A150	Ue	1504	450	1,52	99	100	11	1,02	76,9	71,6	1,07	----	----	71,6	1,07
194	Young e Hancock (2003)	LT19A30	Ue	1503	450	1,78	99	102	10	1,02	99,1	76,0	1,30	----	----	76,0	1,30
195	Young e Hancock (2003)	LT19A45	Ue	1503	450	1,78	100	101	11	1,02	107,7	88,3	1,22	----	----	88,3	1,22
196	Young e Hancock (2003)	LT19A60	Ue	1503	450	1,78	100	101	10	1,02	115,9	94,8	1,22	----	----	94,8	1,22
197	Young e Hancock (2003)	LT19A90	Ue	1503	450	1,78	100	100	10	1,02	113,3	100,2	1,13	100,2	1,13	100,2	1,13
198	Young e Hancock (2003)	LT19A120	Ue	1503	450	1,78	100	100	12	1,02	127,3	106,7	1,19	106,7	1,19	106,7	1,19
199	Young e Hancock (2003)	LT19A135	Ue	1504	450	1,78	100	99	11	1,02	120,1	102,4	1,17	102,4	1,17	102,4	1,17
200	Young e Hancock (2003)	LT19A150	Ue	1504	450	1,78	100	100	11	1,02	129,6	99,9	1,30	100,9	1,28	100,9	1,28
201	Young e Hancock (2003)	LT24A30	Ue	1503	450	2,29	99	102	11	1,02	128,0	121,8	1,05	----	----	121,8	1,05
202	Young e Hancock (2003)	LT24A45	Ue	1504	450	2,29	99	102	11	1,02	137,5	135,5	1,01	----	----	135,5	1,01
203	Young e Hancock (2003)	LT24A60	Ue	1504	450	2,29	99	102	12	1,02	149,1	148,7	1,00	----	----	148,7	1,00
204	Young e Hancock (2003)	LT24A90	Ue	1502	450	2,29	100	100	12	1,02	161,8	163,8	0,99	164,0	0,99	164,0	0,99
205	Young e Hancock (2003)	LT24A120	Ue	1484	450	2,29	100	100	12	1,02	177,0	163,3	1,08	----	----	164,8	1,07
206	Young e Hancock (2003)	LT24A135	Ue	1492	450	2,29	100	100	12	1,02	167,8	153,2	1,10	153,2	1,10	153,2	1,10
207	Young e Hancock (2003)	LT24A150	Ue	1485	450	2,29	101	100	12	1,02	166,9	152,8	1,09	153,3	1,09	153,3	1,09
208	Pu et al, (1999)	U-1,2-0-0-1	Ue	357	193	1,27	98	52	16	2,16	41,7	48,6	0,86	44,1	0,95	44,6	0,94
209	Pu et al, (1999)	U-1,2-0-0-2	Ue	357	193	1,27	98	52	16	2,16	41,7	48,6	0,86	44,1	0,95	44,6	0,94
210	Pu et al, (1999)	U-1,2-0-0-3	Ue	357	193	1,27	98	52	16	2,16	41,7	48,6	0,86	44,1	0,95	44,6	0,94
211	Pu et al, (1999)	U-0,8-0-0-1	Ue	357	171	0,76	97	52	16	1,65	20,4	20,0	1,02	17,5	1,17	17,6	1,16
212	Pu et al, (1999)	U-0,8-0-0-2	Ue	357	171	0,76	97	52	16	1,65	20,8	20,0	1,04	17,5	1,19	17,6	1,18
213	Pu et al, (1999)	U-0,8-0-0-3	Ue	357	171	0,76	97	52	16	1,65	20,3	20,0	1,02	17,5	1,16	17,6	1,15
214	Young e Rasmussen (1998a)	L36F0280	Ue	279	450	1,52	97	37	12	1,00	100,3	100,5	1,00	89,0	1,13	89,8	1,12
215	Young e Rasmussen (1998a)	L36F1000	Ue	999	450	1,52	97	37	12	1,00	89,7	92,6	0,97	81,1	1,11	81,8	1,10
216	Young e Rasmussen (1998a)	L36F1500	Ue	1500	450	1,52	98	37	13	1,00	82,5	80,9	1,02	72,5	1,14	73,2	1,13
217	Young e Rasmussen (1998a)	L36F2000	Ue	2001	450	1,52	97	37	12	1,00	70,1	65,0	1,08	61,0	1,15	61,5	1,14
218	Young e Rasmussen (1998a)	L36F2000	Ue	2001	450	1,52	97	37	12	1,00	70,1	65,0	1,08	61,0	1,15	61,5	1,14
219	Young e Rasmussen (1998a)	L36F3000	Ue	3001	450	1,52	97	37	13	1,00	39,3	37,8	1,04	40,4	0,97	40,4	0,97

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
220	Young e Rasmussen (1998a)	L48F0300	Ue	300	450	1,52	98	49	12	1,00	112,0	93,3	1,20	93,3	1,20	93,3	1,20
221	Young e Rasmussen (1998a)	L48F1000	Ue	1001	450	1,52	98	49	12	1,00	102,4	98,0	1,05	91,5	1,12	92,3	1,11
222	Young e Rasmussen (1998a)	L48F1500	Ue	1501	450	1,52	97	49	13	1,00	98,7	88,6	1,11	83,7	1,18	84,4	1,17
223	Young e Rasmussen (1998a)	L48F2000	Ue	2001	450	1,52	96	49	12	1,00	90,2	76,2	1,18	72,8	1,24	73,4	1,23
224	Young e Rasmussen (1998a)	L48F2500	Ue	2501	450	1,52	98	49	12	1,00	74,0	63,2	1,17	60,6	1,22	61,1	1,21
225	Young e Rasmussen (1998a)	L48F3000	Ue	3000	450	1,52	97	49	13	1,00	54,4	50,9	1,07	50,2	1,08	50,6	1,07
226	Mulligan (1983)	60x30 (SC)	Ue	304	226	1,27	81	40	9	1,27	46,4	41,5	1,12	41,5	1,12	41,5	1,12
227	Mulligan (1983)	90x30	Ue	304	226	1,27	115	40	9	1,27	44,7	45,3	0,99	----	----	41,1	1,09
228	Mulligan (1983)	120x30	Ue	278	226	1,27	153	41	9	1,27	45,1	45,2	1,00	----	----	40,8	1,11
229	Mulligan (1983)	60x60	Ue	458	230	1,27	79	81	17	1,02	58,8	55,7	1,06	----	----	55,7	1,06
230	Mulligan (1983)	60x60	Ue	458	230	1,27	78	80	17	1,27	60,5	56,8	1,07	----	----	56,8	1,07
231	Mulligan (1983)	120x60	Ue	457	230	1,27	150	81	17	1,02	57,9	59,4	0,98	55,8	1,04	56,8	1,02
232	Mulligan (1983)	120x60	Ue	457	230	1,27	150	81	16	1,02	60,5	57,2	1,06	55,4	1,09	56,4	1,07
233	Mulligan (1983)	180x60	Ue	559	230	1,27	227	80	17	1,02	56,9	60,2	0,95	----	----	51,8	1,10
234	Mulligan (1983)	180x60	Ue	685	230	1,27	227	80	17	1,02	56,9	60,1	0,95	----	----	51,7	1,10
235	Mulligan (1983)	240x60	Ue	559	230	1,27	299	81	17	1,02	56,9	60,6	0,94	----	----	50,0	1,14
236	Mulligan (1983)	240x60	Ue	914	239	1,27	300	81	17	1,02	53,5	61,7	0,87	----	----	51,0	1,05
237	Mulligan (1983)	240x60	Ue	558	230	1,27	299	81	17	1,02	56,0	60,6	0,92	----	----	50,0	1,12
238	Mulligan (1983)	60x90	Ue	648	223	1,02	80	113	19	1,27	51,2	40,7	1,26	----	----	40,7	1,26
239	Mulligan (1983)	60x90	Ue	648	223	1,02	79	113	19	1,27	52,5	40,7	1,29	----	----	40,7	1,29
240	Mulligan (1983)	90x90	Ue	647	225	1,02	114	113	19	1,27	52,9	42,4	1,25	42,4	1,25	42,4	1,25
241	Mulligan (1983)	90x90	Ue	647	225	1,02	113	113	19	1,27	53,5	42,4	1,26	42,4	1,26	42,4	1,26
242	Mulligan (1983)	180x90	Ue	891	412	1,52	280	144	33	1,52	138,7	141,2	0,98	128,5	1,08	129,4	1,07
243	Mulligan (1983)	180x90	Ue	891	412	1,52	280	145	33	1,52	139,8	141,3	0,99	128,9	1,08	129,8	1,08
244	Mulligan (1983)	180x90	Ue	647	368	1,27	223	113	19	1,27	67,7	78,8	0,86	----	----	78,8	0,86
245	Mulligan (1983)	180x90	Ue	648	199	1,27	222	114	18	1,27	61,5	56,6	1,09	----	----	54,7	1,12
246	Mulligan (1983)	180x90	Ue	648	199	1,27	222	114	19	1,27	64,9	58,9	1,10	----	----	55,0	1,18
247	Mulligan (1983)	270x90	Ue	762	199	1,27	330	114	18	1,27	60,5	57,1	1,06	----	----	50,9	1,19
248	Mulligan (1983)	270x90	Ue	971	203	1,27	329	114	18	1,27	62,4	57,6	1,08	----	----	51,5	1,21
249	Mulligan (1983)	360x90	Ue	762	201	1,27	440	112	19	1,27	55,6	59,9	0,93	----	----	48,8	1,14
250	Loughlan (1979)	L6	Ue	1829	242	0,80	129	51	19	0,80	16,9	20,3	0,83	17,4	0,97	17,5	0,96
251	Loughlan (1979)	L7	Ue	1524	242	0,80	127	51	19	0,80	17,7	22,0	0,80	19,0	0,93	19,1	0,92

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
252	Loughlan (1979)	L8	Ue	1219	242	0,80	127	51	20	0,80	19,2	23,5	0,82	20,6	0,93	20,7	0,93
253	Loughlan (1979)	L15	Ue	1829	242	0,80	155	64	26	0,80	21,8	23,3	0,94	21,2	1,03	21,0	1,04
254	Loughlan (1979)	L16	Ue	1524	242	0,80	155	64	26	0,80	23,0	24,4	0,94	22,2	1,03	22,1	1,04
255	Loughlan (1979)	L17	Ue	1219	242	0,80	153	64	26	0,80	23,6	25,4	0,93	23,3	1,01	23,4	1,01
256	Loughlan (1979)	L24	Ue	1829	233	1,63	154	51	19	1,63	65,9	59,0	1,12	53,9	1,22	54,6	1,21
257	Loughlan (1979)	L25	Ue	1829	233	1,65	154	64	25	1,65	71,3	79,0	0,90	69,9	1,02	70,7	1,01
258	Loughlan (1979)	L26	Ue	1524	233	1,68	154	64	25	1,68	73,0	86,2	0,85	75,9	0,96	76,8	0,95
259	Loughlan (1979)	L27	Ue	1219	233	1,65	153	64	26	1,65	73,9	88,3	0,84	77,6	0,95	78,5	0,94
260	Loughlan (1979)	L31	Ue	1829	233	1,63	180	64	25	1,63	75,7	77,9	0,97	66,5	1,14	67,2	1,13
261	Loughlan (1979)	L32	Ue	1524	233	1,63	180	63	25	1,63	73,0	82,1	0,89	69,5	1,05	70,3	1,04
262	Loughlan (1979)	L33	Ue	1219	233	1,63	180	64	27	1,63	80,2	87,2	0,92	74,3	1,08	75,4	1,06
263	Desmond (1981)	E-21-4-0	Ue	254	277	1,78	69	49	4	1,39	86,3	65,5	1,32	----	----	66,5	1,30
264	Desmond (1981)	E-21-4-1.33	Ue	254	277	1,78	69	49	7	1,39	89,0	74,9	1,19	----	----	81,3	1,09
265	Desmond (1981)	E-21-4-6.69	Ue	254	277	1,78	69	49	17	1,39	109,0	97,5	1,12	93,0	1,17	93,0	1,17
266	Desmond (1981)	E-21-9-0.0	Ue	457	328	2,54	104	80	8	3,81	195,3	160,5	1,22	----	----	161,9	1,21
267	Desmond (1981)	E-21-9-0.48	Ue	457	328	2,54	104	80	9	3,81	200,2	168,5	1,19	----	----	169,7	1,18
268	Desmond (1981)	E-21-9-2.87	Ue	457	328	2,54	104	80	15	3,81	257,6	194,1	1,33	226,0	1,14	226,0	1,14
269	Desmond (1981)	E-21-9-5.26	Ue	457	328	2,54	104	80	22	3,81	267,0	229,8	1,16	237,9	1,12	237,9	1,12
270	Batista (1989)	C13	Ue	1543	397	2,04	154	55	17	2,04	121,0	121,9	0,99	109,4	1,11	110,6	1,09
271	Batista (1989)	C14	Ue	1928	397	2,04	154	55	17	2,04	102,0	96,1	1,06	91,2	1,12	92,2	1,11
272	Batista (1989)	C15	Ue	2314	397	2,04	154	55	17	2,04	70,0	70,0	1,00	72,8	0,96	73,6	0,95
273	Batista (1989)	c17	Ue	1666	397	2,06	157	54	31	2,06	122,0	131,5	0,93	120,6	1,01	122,0	1,00
274	Batista (1989)	c18	Ue	2084	397	2,06	157	54	31	2,06	120,0	106,2	1,13	100,2	1,20	101,3	1,18
275	Batista (1989)	c21	Ue	1738	397	2,04	155	54	48	2,04	137,0	130,5	1,05	----	----	134,7	1,02
276	Batista (1989)	c22	Ue	2175	397	2,04	155	54	48	2,04	121,0	108,5	1,12	----	----	112,5	1,08
277	Batista (1989)	c23	Ue	2608	397	2,04	155	54	48	2,04	100,0	85,9	1,16	----	----	90,2	1,11
278	Batista (1989)	c30	Ue	1630	376	1,49	156	54	30	1,49	82,0	77,9	1,05	70,1	1,17	71,6	1,14
279	Batista (1989)	c31	Ue	2040	376	1,49	156	54	30	1,49	64,0	65,9	0,97	59,7	1,07	61,0	1,05
280	Batista (1989)	c36	Ue	2138	376	1,50	156	53	46	1,50	74,0	63,6	1,16	65,6	1,13	66,6	1,11
281	Batista (1989)	c36	Ue	2563	376	1,50	156	53	46	1,50	71,0	52,0	1,36	53,5	1,33	54,4	1,31
282	Batista (1989)	C50	Ue	2114	382	2,04	154	77	16	2,04	122,0	121,4	1,01	123,7	0,99	124,2	0,98
283	Batista (1989)	C51	Ue	2643	382	2,04	154	77	16	2,04	110,0	105,2	1,05	104,3	1,05	104,8	1,05

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
284	Batista (1989)	C52	Ue	3170	382	2,04	154	77	16	2,04	89,0	87,8	1,01	84,5	1,05	84,8	1,05
285	Batista (1989)	C54	Ue	2279	382	2,01	154	77	31	2,01	138,0	145,0	0,95	132,4	1,04	132,3	1,04
286	Batista (1989)	C55	Ue	2848	385	2,01	155	77	31	2,01	132,0	121,1	1,09	112,0	1,18	112,8	1,17
287	Batista (1989)	C58	Ue	2368	385	2,01	153	77	46	2,01	154,0	141,1	1,09	----	----	145,6	1,06
288	Batista (1989)	C59	Ue	2962	385	2,00	153	77	46	2,00	160,0	118,5	1,35	----	----	122,7	1,30
289	Batista (1989)	C60	Ue	3553	388	2,00	153	77	46	2,00	96,0	96,0	1,00	----	----	100,0	0,96
290	Batista (1989)	C65	Ue	2249	368	1,48	153	77	30	1,48	80,0	86,2	0,93	79,0	1,01	79,3	1,01
291	Batista (1989)	C66	Ue	2812	368	1,48	153	77	30	1,48	82,0	74,1	1,11	67,8	1,21	68,1	1,20
292	Batista (1989)	C75	Ue	2405	364	4,00	89	89	26	4,00	218,0	225,4	0,97	228,8	0,95	228,8	0,95
293	Batista (1989)	C77	Ue	2362	383	2,07	89	89	10	2,07	75,0	81,7	0,92	99,2	0,76	99,2	0,76
294	Batista (1989)	C79-1	Ue	2481	378	2,04	91	88	18	2,04	98,0	97,9	1,00	106,9	0,92	106,9	0,92
295	Batista (1989)	C79-2	Ue	2481	378	2,04	91	88	18	2,04	110,0	97,9	1,12	106,9	1,03	106,9	1,03
296	Batista (1989)	C81	Ue	2562	383	2,07	91	89	27	2,07	123,0	122,2	1,01	121,6	1,01	121,6	1,01
297	Batista (1989)	C84	Ue	3247	360	1,48	98	99	12	1,48	58,0	41,7	1,39	----	----	53,7	1,08
298	Batista (1989)	C84A	Ue	3897	365	1,48	98	99	12	1,48	45,0	32,8	1,37	----	----	37,6	1,20
299	Batista (1989)	C85	Ue	2743	367	1,49	100	100	20	1,49	80,0	68,3	1,17	73,8	1,08	74,8	1,07
300	Batista (1989)	C86	Ue	3417	367	1,49	100	100	20	1,49	67,0	53,3	1,26	56,8	1,18	57,5	1,17
301	Batista (1989)	C86A	Ue	4102	365	1,49	100	100	20	1,49	50,0	41,5	1,20	41,6	1,20	41,6	1,20
302	Batista (1989)	C87	Ue	2827	366	1,49	102	100	30	1,49	89,0	78,0	1,14	82,2	1,08	82,5	1,08
303	Batista (1989)	C88	Ue	3534	365	1,49	102	100	30	1,49	73,0	61,1	1,19	64,4	1,13	64,5	1,13
304	Batista (1989)	C88A	Ue	4241	370	1,49	102	100	30	1,49	54,0	46,9	1,15	48,7	1,11	48,7	1,11
305	Chodraui (2006)	Ue 125x50x25	Ue	1015	383	2,38	125	50	25	3,57	168,0	179,5	0,94	171,0	0,98	175,0	0,96
306	Chodraui (2006)	Ue 125x50x25	Ue	1575	383	2,38	125	50	25	3,57	132,0	137,4	0,96	138,9	0,95	139,4	0,95
307	Chodraui (2006)	Ue 125x50x25	Ue	2130	383	2,38	125	50	25	3,57	75,0	90,0	0,83	90,4	0,83	90,4	0,83
308	Chodraui (2006)	Ue 125x50x25	Ue	2700	383	2,38	125	50	25	3,57	63,0	56,3	1,12	56,3	1,12	56,3	1,12
309	Chodraui (2006)	Ue 125x50x25	Ue	985	281	3,88	125	50	25	5,82	282,0	228,1	1,24	228,1	1,24	228,1	1,24
310	Chodraui (2006)	Ue 125x50x25	Ue	1530	281	3,88	125	50	25	5,82	173,0	181,2	0,95	181,2	0,95	181,2	0,95
311	Chodraui (2006)	Ue 125x50x25	Ue	2070	281	3,88	125	50	25	5,82	106,0	130,8	0,81	130,8	0,81	130,8	0,81
312	Chodraui (2006)	Ue 125x50x25	Ue	2615	281	3,88	125	50	25	5,82	108,0	85,9	1,26	85,9	1,26	85,9	1,26
313	Chodraui (2006)	U100x50 t238	U	850	371	2,38	100	50	0	3,57	119,0	114,0	1,04	116,1	1,02	117,8	1,01
314	Chodraui (2006)	U100x50 t238	U	1320	371	2,38	100	50	0	3,57	89,0	89,6	0,99	93,9	0,95	95,2	0,93
315	Chodraui (2006)	U100x50 t238	U	1800	371	2,38	100	50	0	3,57	55,0	60,2	0,91	62,2	0,88	62,2	0,88

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
316	Chodraui (2006)	U100x50 t238	U	2270	371	2,38	100	50	0	3,57	44,0	39,1	1,13	39,1	1,13	39,1	1,13
317	Chodraui (2006)	U100x50 t388	U	850	296	3,88	100	50	0	5,82	175,0	177,6	0,99	177,6	0,99	177,6	0,99
318	Chodraui (2006)	U100x50 t388	U	1320	296	3,88	100	50	0	5,82	146,0	137,3	1,06	137,3	1,06	137,3	1,06
319	Chodraui (2006)	U100x50 t388	U	1800	296	3,88	100	50	0	5,82	87,0	94,1	0,92	94,1	0,92	94,1	0,92
320	Chodraui (2006)	U100x50 t388	U	2270	296	3,88	100	50	0	5,82	60,0	60,2	1,00	60,2	1,00	60,2	1,00
321	Thomasson (1978)	A71	Ue	2690	391	0,63	299	100	20	2,02	16,0	20,2	0,79	----	----	20,0	0,80
322	Thomasson (1978)	A74	Ue	2690	391	0,64	300	101	21	2,02	16,2	21,1	0,77	----	----	20,5	0,79
323	Thomasson (1978)	A75	Ue	2690	398	0,64	299	101	20	2,02	15,5	21,1	0,74	----	----	20,6	0,75
324	Thomasson (1978)	A76	Ue	2690	288	0,65	300	100	20	2,03	14,5	19,3	0,75	----	----	15,4	0,94
325	Thomasson (1978)	A101	Ue	2690	464	0,94	300	101	20	2,28	36,9	44,6	0,83	----	----	34,9	1,06
326	Thomasson (1978)	A102	Ue	2690	460	0,94	300	101	20	2,28	35,0	44,4	0,79	----	----	34,9	1,00
327	Thomasson (1978)	A103	Ue	2690	460	0,94	299	101	20	2,54	37,1	44,7	0,83	----	----	34,7	1,07
328	Thomasson (1978)	A104	Ue	2690	475	0,96	298	100	20	2,54	34,5	46,4	0,74	----	----	35,4	0,98
329	Thomasson (1978)	A151	Ue	2690	382	1,45	299	100	20	3	76,6	82,3	0,93	----	----	69,6	1,10
330	Thomasson (1978)	A152	Ue	2690	379	1,43	300	100	20	3	70,0	80,2	0,87	----	----	68,5	1,02
331	Thomasson (1978)	A153	Ue	2690	393	1,38	300	100	21	2,8	71,3	79,0	0,90	----	----	65,2	1,09
332	Thomasson (1978)	A154	Ue	2690	393	1,39	301	100	23	2,8	73,0	87,1	0,84	----	----	68,1	1,07
333	Thomasson (1978)	A155	Ue	2690	380	1,40	299	101	24	2,8	57,0	87,5	0,65	----	----	67,5	0,84
334	Thomasson (1978)	A156	Ue	2690	381	1,39	299	100	21	2,8	69,0	79,9	0,86	----	----	65,4	1,06
335	Mulligan (1983)	C1 120x60	Ue	1600	223	1,14	155	80	18	2,28	43,6	48,1	0,91	41,3	1,06	41,3	1,06
336	Mulligan (1983)	C2 120x60	Ue	1906	220	1,14	155	80	17	2,28	46,3	44,2	1,05	39,3	1,18	39,6	1,17
337	Mulligan (1983)	C3 120x60	Ue	3076	220	1,14	156	80	17	2,76	36,5	36,5	1,00	32,1	1,14	32,5	1,12
338	Mulligan (1983)	C4 120x60	Ue	3073	220	1,14	154	80	18	2,76	37,4	38,0	0,98	32,5	1,15	33,5	1,12
339	Mulligan (1983)	C5 120 x 60(a)	Ue	1905	220	1,22	155	79	18	2,9	52,4	50,0	1,05	43,9	1,19	43,2	1,21
340	Mulligan (1983)	C1 180 x 60	Ue	1830	225	1,14	231	80	17	2,76	42,7	45,3	0,94	----	----	36,5	1,17
341	Mulligan (1983)	C2 180 x 60(b)	Ue	2416	223	1,14	231	80	18	2,86	38,9	43,1	0,90	----	----	34,4	1,13
342	Mulligan (1983)	C3 180 x 60	Ue	2999	223	1,12	231	80	17	2,68	33,8	36,2	0,93	----	----	29,0	1,17
343	Mulligan (1983)	C4 180 x 60(a)	Ue	2414	228	1,22	229	80	18	2,88	48,1	47,4	1,01	----	----	38,4	1,25
344	Mulligan (1983)	C1 180 x 90	Ue	1907	219	1,22	221	113	20	2,88	54,7	56,9	0,96	----	----	50,7	1,08
345	Mulligan (1983)	C2 180 x 90	Ue	2516	244	1,22	222	112	19	2,98	53,9	55,2	0,97	----	----	51,4	1,05
346	Mulligan (1983)	C3 180 x 90(a)	Ue	2516	233	1,22	222	112	19	2,98	52,5	54,1	0,97	----	----	49,3	1,06
347	Moen and Schafer (2008)	362-1-24-NH	Ue	612	380	1,02	93	40	11	4,32	46,7	38,8	1,20	38,8	1,20	38,8	1,20

Item	Fonte	CP	ST	L (mm)	f <sub>y</sub> (MPa)	t (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	D (mm)	r <sub>i</sub> (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>MLE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MLE</sub>	F <sub>MSE</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MSE</sub>	F <sub>MRD</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>MRD</sub>
348	Moen and Schafer (2008)	362-2-24-NH	Ue	612	380	1,02	94	40	11	6,60	46,7	38,3	1,22	38,3	1,22	38,3	1,22
349	Moen and Schafer (2008)	362-3-24-NH	Ue	612	380	1,02	92	43	11	7,11	45,1	38,6	1,16	38,6	1,16	38,6	1,16
350	Moen and Schafer (2008)	362-1-48-NH	Ue	1225	412	1,02	92	41	11	7,11	40,4	49,9	0,82	36,9	1,10	39,4	1,04
351	Moen and Schafer (2008)	362-2-48-NH	Ue	1227	409	1,02	92	41	11	7,62	42,3	49,7	0,86	36,4	1,16	38,7	1,10
352	Moen and Schafer (2008)	362-3-48-NH	Ue	1224	407	1,02	92	41	11	6,60	42,3	48,9	0,87	36,6	1,15	38,4	1,11
353	Moen and Schafer (2008)	600-1-24-NH	Ue	612	405	1,02	153	41	11	6,35	53,2	56,3	0,95	----	----	38,8	1,36
354	Moen and Schafer (2008)	600-2-24-NH	Ue	612	405	1,02	154	41	11	6,60	53,2	56,2	0,96	----	----	38,6	1,38
355	Moen and Schafer (2008)	600-3-24-NH	Ue	612	405	1,02	153	41	11	6,60	54,4	56,2	0,98	----	----	38,5	1,40
356	Moen and Schafer (2008)	600-1-48-NH	Ue	1226	415	1,02	153	41	11	6,10	49,6	51,5	0,97	----	----	36,6	1,35
357	Moen and Schafer (2008)	600-2-48-NH	Ue	1226	437	1,02	153	41	11	6,10	50,9	52,7	0,98	----	----	38,0	1,33
358	Moen and Schafer (2008)	600-3-48-NH	Ue	1227	422	1,02	153	41	11	6,60	50,3	52,3	0,97	----	----	36,9	1,35
359	Sivakumaran (1987)	D-0-1	Ue	198	341	1,52	91	41	13	3,05	84,6	86,1	0,98	76,8	1,10	77,2	1,10
360	Sivakumaran (1987)	D-0-2	Ue	198	341	1,52	91	41	13	3,05	84,8	86,1	0,99	76,8	1,10	77,2	1,10
361	Sivakumaran (1987)	D-0-3	Ue	198	341	1,52	91	41	13	3,05	84,8	86,1	0,99	76,8	1,11	77,2	1,10
362	Sivakumaran (1987)	D-0-1	Ue	263	262	1,27	151	41	12	2,54	54,4	56,5	0,96	----	----	45,3	1,20
363	Sivakumaran (1987)	D-0-2	Ue	263	262	1,27	151	41	12	2,54	54,4	56,5	0,96	----	----	45,3	1,20
364	Sivakumaran (1987)	D-0-3	Ue	263	262	1,27	151	41	12	2,54	53,3	56,5	0,94	----	----	45,3	1,18
365	Ortiz-Colberg (1981)	L4	Ue	686	310	1,27	89	39	13	2,54	55,2	55,5	0,99	48,6	1,14	48,8	1,13
366	Ortiz-Colberg (1981)	L11	Ue	991	302	1,27	89	39	13	2,54	38,5	48,3	0,80	43,4	0,89	43,6	0,88
367	Ortiz-Colberg (1981)	L12	Ue	686	289	1,27	89	39	13	2,54	52,9	52,9	1,00	46,7	1,13	46,9	1,13
368	Ortiz-Colberg (1981)	L13	Ue	1600	296	1,27	89	39	13	2,54	35,6	32,2	1,10	31,8	1,12	31,8	1,12
369	Ortiz-Colberg (1981)	L15	Ue	1143	333	2,03	89	39	13	2,54	99,6	73,5	1,36	78,3	1,27	78,3	1,27
370	Ortiz-Colberg (1981)	L25	Ue	1588	333	2,03	89	39	13	2,54	59,8	52,1	1,15	52,1	1,15	52,1	1,15
371	Ortiz-Colberg (1981)	L29	Ue	686	292	2,03	89	39	13	2,54	97,9	89,1	1,10	92,5	1,06	92,5	1,06
372	Ortiz-Colberg (1981)	L30	Ue	686	292	2,03	89	39	13	2,54	99,6	89,1	1,12	92,5	1,08	92,5	1,08
373	Ortiz-Colberg (1981)	S1	Ue	305	334	1,27	89	40	13	2,54	67,2	64,8	1,04	56,0	1,20	56,2	1,20
374	Ortiz-Colberg (1981)	S2	Ue	305	325	1,27	89	39	13	2,54	65,8	62,9	1,05	54,6	1,20	54,8	1,20
375	Ortiz-Colberg (1981)	S12	Ue	305	324	2,03	91	40	13	2,54	124,1	110,9	1,12	110,9	1,12	110,9	1,12

Nota:

- Nomeclatura original do CP (corpo-de-prova)

- F<sub>NBR</sub> = F<sub>MLE</sub>, F<sub>MSE</sub> ou F<sub>MSE</sub>

## Anexo C

### Ligações Soldadas

Tabela C.1 - Solda de filete em superfícies planas, solicitação paralela ao eixo da solda,  $L/t < 25$

Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	L (mm)	t (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$	Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	L (mm)	t (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$
1	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C1	462	20,6	1,27	45,9	40,5	1,13	27	McGuire e Peköz (1979)	C A/A 12/12 F1	352	41,7	2,79	107,6	139,6	0,77
2	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C2	462	23,1	1,27	49,8	44,4	1,12	28	McGuire e Peköz (1979)	C A/A 12/12 F2	352	40,6	2,79	108,1	136,7	0,79
3	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C3	462	22,1	1,24	48,0	41,8	1,15	29	McGuire e Peköz (1979)	C A/A 12/12 F3	352	41,1	2,79	105,9	138,2	0,77
4	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C4	462	23,6	1,27	49,8	45,1	1,10	30	McGuire e Peköz (1979)	C A/A 12/12 F4	352	41,9	2,79	108,5	140,3	0,77
5	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 C1	354	27,7	2,72	102,3	95,8	1,07	31	Teh e Hancock (2005)	LFWD15.1	488	33,0	1,50	73,5	75,4	0,98
6	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 C2	354	28,4	2,72	103,2	98,1	1,05	32	Teh e Hancock (2005)	LFWD30.1	495	42,0	3,00	177,5	214,6	0,83
7	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 C3	354	29,2	2,72	109,4	100,4	1,09	33	Teh e Hancock (2005)	LFWD30.2	495	52,0	3,00	207,0	255,3	0,81
8	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 C4	354	31,0	2,72	111,2	105,8	1,05	34	Teh e Hancock (2005)	LFWD30.3	495	61,0	3,00	239,0	288,7	0,83
9	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 F1	354	39,9	2,72	121,4	131,1	0,93	35	Teh e Hancock (2005)	LFWD30.4	495	74,0	3,00	286,0	331,1	0,86
10	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 F2	354	41,9	2,72	126,3	136,6	0,93	36	Teh e Hancock (2005)	LFWS30.1	495	42,0	3,00	80,5	107,3	0,75
11	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 F3	354	41,7	2,72	125,4	135,9	0,92	37	Teh e Hancock (2005)	LFWS30.2	495	52,0	3,00	98,0	127,7	0,77
12	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 F4	354	41,1	2,72	125,9	134,5	0,94	38	Teh e Hancock (2005)	LFWS30.3	495	63,0	3,00	114,5	147,8	0,77
13	McGuire e Peköz (1979)	C A/A12/12 F1	354	36,6	2,72	109,0	122,0	0,89	39	Teh e Hancock (2005)	LFWS30.4	495	72,0	3,00	130,5	162,5	0,80
14	McGuire e Peköz (1979)	C A/A12/12 F2	354	38,6	2,72	110,8	127,6	0,87	40	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G1EN1	500	40,0	2,30	139,5	152,0	0,92
15	McGuire e Peköz (1979)	C A/A12/12 F3	354	39,6	2,72	115,7	130,4	0,89	41	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G1EN2	500	40,0	2,30	161,4	152,0	1,06
16	McGuire e Peköz (1979)	C A/A12/12 F4	354	38,6	2,72	115,2	127,6	0,90	42	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G1EN3	500	40,0	2,30	147,8	152,0	0,97
17	McGuire e Peköz (1979)	C A/A12/12 F5	354	38,6	2,72	118,8	127,6	0,93	43	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G2EN1	500	40,0	2,30	142,5	152,0	0,94
18	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C1	446	27,7	1,32	50,7	51,6	0,98	44	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G2EN2	500	40,0	2,30	141,4	152,0	0,93
19	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C2	446	26,4	1,32	47,4	49,8	0,95	45	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G2EN3	500	40,0	2,30	141,3	152,0	0,93
20	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C3	446	25,9	1,32	45,2	49,1	0,92	46	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G2WN1	500	40,0	2,30	139,6	152,0	0,92
21	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C4	446	27,9	1,32	49,7	51,9	0,96	47	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G2WN2	500	40,0	2,30	138,8	152,0	0,91
22	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 18/7 C4	446	29,7	1,32	54,7	54,3	1,01	48	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G2WN3	500	40,0	2,30	139,9	152,0	0,92
23	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 C1	352	32,0	2,74	101,4	109,3	0,93	49	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G3EN1	500	40,0	2,80	183,7	192,0	0,96
24	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 C2	352	33,3	2,74	111,7	113,0	0,99	50	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G3EN2	500	40,0	2,80	192,1	192,0	1,00
25	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 C3	352	31,5	2,74	102,3	107,8	0,95	51	Zhao <i>et al.</i> (1999)	G3EN3	500	40,0	2,80	183,1	192,0	0,95
26	McGuire e Peköz (1979)	C A/B 12/7 C4	352	29,7	2,74	105,0	102,4	1,02									

**Tabela C.2 - Solda de filete em superfícies planas, solicitação paralela ao eixo da solda,  $L/t \geq 25$ .**

Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	L (mm)	t (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$
1	McGuire and Peköz (1979)	C A/B 18/7 F1	462	35,6	1,27	58,7	62,6	0,94
2	McGuire and Peköz (1979)	C A/B 18/7 F2	462	37,1	1,24	59,2	64,0	0,92
3	McGuire and Peköz (1979)	C A/B 18/7 F3	462	35,8	1,24	63,2	61,8	1,02
4	McGuire and Peköz (1979)	C A/B 18/7 F4	462	36,3	1,22	58,3	61,4	0,95
5	McGuire and Peköz (1979)	C A/B 18/18 F1	462	40,4	1,24	54,0	69,7	0,78
6	McGuire and Peköz (1979)	C A/B 18/18 F2	462	40,4	1,22	54,1	68,2	0,79
7	McGuire and Peköz (1979)	C A/B 18/18 F3	462	38,6	1,24	57,2	66,6	0,86
8	McGuire and Peköz (1979)	C A/B 18/18 F4	462	40,4	1,24	56,8	69,7	0,82
9	McGuire and Peköz (1979)	C A/A 18/18 F1	446	45,7	1,27	56,8	77,7	0,73
10	McGuire and Peköz (1979)	C A/A 18/18 F2	446	46,2	1,27	59,4	78,6	0,76
11	McGuire and Peköz (1979)	C A/A 18/18 F3	446	46,5	1,27	60,3	79,0	0,76
12	McGuire and Peköz (1979)	C A/A 18/18 F4	446	50,8	1,27	62,1	86,3	0,72
13	McGuire and Peköz (1979)	C A/A 18/18 J1	446	64,0	1,27	67,8	108,8	0,62
14	McGuire and Peköz (1979)	C A/A 18/18 J2	446	62,5	1,27	67,3	106,2	0,63
15	Teh e Hancock (2005)	LFWD15.2	488	50,0	1,50	95,5	109,8	0,87
16	Teh e Hancock (2005)	LFWD15.3	488	62,0	1,50	119,0	136,2	0,87
17	Teh e Hancock (2005)	LFWD15.4	488	79,0	1,50	143,0	173,5	0,82
18	Teh e Hancock (2005)	LFWD15.5	488	91,0	1,50	165,5	199,8	0,83
19	Teh e Hancock (2005)	LFWD30.5	495	83,0	3,00	309,0	369,8	0,84
20	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.1	488	42,0	1,50	36,0	46,1	0,78
21	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.2	488	52,0	1,50	46,5	57,1	0,81
22	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.3	488	60,0	1,50	49,0	65,9	0,74
23	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.4	488	71,0	1,50	59,5	78,0	0,76
24	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.5	488	82,0	1,50	68,0	90,0	0,76
25	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.6	488	53,0	1,50	47,0	58,2	0,81
26	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.7	488	62,0	1,50	54,0	68,1	0,79
27	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.8	488	70,0	1,50	62,5	76,9	0,81
28	Teh e Hancock (2005)	LFWS15.9	488	79,0	1,50	66,0	86,7	0,76
29	Teh e Hancock (2005)	LFWS30.5	495	82,0	3,00	138,0	182,7	0,76

**Tabela C.3 - Solda de filete em superfícies planas, solicitação normal ao eixo**

Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	$t$ (mm)	$L$ (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$
1	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 C1	462	1,24	22,6	31,7	26,0	1,22
2	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 C2	462	1,22	23,9	31,9	26,9	1,19
3	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 C3	462	1,24	22,1	28,2	25,4	1,11
4	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 F1	462	1,22	38,4	47,6	43,2	1,10
5	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 F2	462	1,24	36,8	45,8	42,4	1,08
6	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 F3	462	1,24	39,9	44,9	45,9	0,98
7	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 L1	462	1,24	75,9	86,7	87,3	0,99
8	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 L2	462	1,24	77,2	87,2	88,8	0,98
9	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 L3	462	1,24	76,2	80,5	87,6	0,92
10	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 P1	462	1,22	101,1	102,3	113,9	0,90
11	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 P2	462	1,24	101,6	113,9	116,8	0,97
12	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 P3	462	1,24	101,6	117,0	116,8	1,00
13	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 C1	354	2,69	25,1	56,0	48,0	1,17
14	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 C2	354	2,72	24,4	48,5	47,0	1,03
15	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 C3	354	2,69	24,4	52,9	46,5	1,14
16	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 F1	354	2,72	39,9	83,6	76,8	1,09
17	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 F2	354	2,69	39,1	83,6	74,6	1,12
18	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 F3	354	2,69	40,6	80,1	77,6	1,03
19	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 L1	354	2,72	77,7	139,2	149,7	0,93
20	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 L2	354	2,72	79,0	142,8	152,2	0,94
21	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 L3	354	2,72	79,5	143,7	153,1	0,94
22	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 P1	354	2,72	100,8	198,8	194,2	1,02
23	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 P2	354	2,72	101,3	195,7	195,2	1,00
24	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 P3	354	2,69	100,8	201,1	192,4	1,04
25	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 P1	352	2,79	99,6	173,5	196,0	0,88
26	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 P2	352	2,79	99,6	191,3	196,0	0,98
27	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 P3	352	2,79	100,1	187,3	197,0	0,95
28	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 P4	352	2,79	99,1	188,2	195,0	0,96
29	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 C1	446	1,30	29,5	33,6	34,1	0,99
30	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 C2	446	1,30	28,4	36,3	32,9	1,11
31	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 C3	446	1,30	30,2	37,6	34,9	1,08
32	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 C4	446	1,30	29,5	38,6	34,1	1,13

Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	$t$ (mm)	$L$ (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$
33	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 P1	446	1,30	98,8	105,9	114,2	0,93
34	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 P2	446	1,30	99,6	110,3	115,1	0,96
35	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 P3	446	1,30	100,1	107,6	115,7	0,93
36	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 18/7 P4	446	1,30	100,6	104,1	116,2	0,90
37	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 C1	352	2,79	27,7	57,8	54,5	1,06
38	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 C2	352	2,79	27,2	59,6	53,5	1,11
39	McGuire and Peköz (1979)	H A/B 12/7 C3	352	2,79	28,7	63,2	56,5	1,12
40	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 18/18 P1	446	1,30	99,1	92,5	114,5	0,81
41	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 18/18 P2	446	1,30	98,6	89,9	113,9	0,79
42	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 18/18 P3	446	1,30	97,0	91,6	112,1	0,82
43	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 18/18 C1	446	1,30	28,4	36,0	32,9	1,10
44	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 18/18 C2	446	1,30	27,4	36,6	31,7	1,15
45	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 18/18 C3	446	1,30	29,7	25,8	34,3	0,75
46	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 18/18 C4	446	1,30	28,4	29,9	32,9	0,91
47	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 18/18 C5	446	1,30	27,7	32,1	32,0	1,00
48	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 12/12 F1	352	2,74	97,3	154,8	188,0	0,82
49	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 12/12 F2	352	2,74	98,6	163,7	190,5	0,86
50	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 12/12 F3	352	2,74	99,8	161,9	193,0	0,84
51	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 12/12 C1	352	2,74	32,0	65,4	61,9	1,06
52	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 12/12 C2	352	2,74	29,0	57,4	56,0	1,03
53	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 12/12 C3	352	2,74	30,7	60,9	59,4	1,03
54	McGuire and Peköz (1979)	H A/A 12/12 C4	352	2,74	29,0	61,8	56,0	1,10

Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	$t$ (mm)	$L$ (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$
55	Teh e Hancock (2005)	TFWD15.1	488	1,50	41,0	62,5	60,0	1,04
56	Teh e Hancock (2005)	TFWD15.2	488	1,50	60,0	90,0	87,8	1,02
57	Teh e Hancock (2005)	TFWD15.3	488	1,50	78,0	120,5	114,2	1,06
58	Teh e Hancock (2005)	TFWD15.4	488	1,50	101,0	151,5	147,9	1,02
59	Teh e Hancock (2005)	TFWD15.5	488	1,50	119,0	175,0	174,2	1,00
60	Teh e Hancock (2005)	TFWD30.1	495	3,00	41,0	120,0	121,8	0,99
61	Teh e Hancock (2005)	TFWD30.2	495	3,00	63,0	183,5	187,1	0,98
62	Teh e Hancock (2005)	TFWD30.3	495	3,00	82,0	225,5	243,5	0,93
63	Teh e Hancock (2005)	TFWD30.4	495	3,00	100,0	296,0	297,0	1,00
64	Teh e Hancock (2005)	TFWD30.5	495	3,00	120,0	360,5	356,4	1,01
65	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.1	488	1,50	31,0	18,0	22,7	0,79
66	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.2	488	1,50	46,0	25,0	33,7	0,74
67	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.3	488	1,50	60,0	36,5	43,9	0,83
68	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.4	488	1,50	75,0	47,0	54,9	0,86
69	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.5	488	1,50	90,0	52,5	65,9	0,80
70	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.6	488	1,50	33,0	23,0	24,2	0,95
71	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.7	488	1,50	45,0	27,5	32,9	0,83
72	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.8	488	1,50	64,0	42,0	46,8	0,90
73	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.9	488	1,50	78,0	49,5	57,1	0,87
74	Teh e Hancock (2005)	TFWS15.10	488	1,50	92,0	60,5	67,3	0,90
75	Teh e Hancock (2005)	TFWS30.1	495	3,00	32,0	47,0	47,5	0,99
76	Teh e Hancock (2005)	TFWS30.2	495	3,00	41,0	61,0	60,9	1,00
77	Teh e Hancock (2005)	TFWS30.3	495	3,00	63,0	84,0	93,6	0,90
78	Teh e Hancock (2005)	TFWS30.4	495	3,00	70,0	89,5	104,0	0,86
79	Teh e Hancock (2005)	TFWS30.5	495	3,00	90,0	115,0	133,7	0,86

**Tabela C.4 - Solda de filete em superfícies curvas, solicitação normal ao eixo da solda**

Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	t (mm)	L (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$
1	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 F1	462	1,24	38,1	31,3	36,4	0,86
2	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 F2	462	1,22	38,6	42,6	36,1	1,18
3	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 F3	462	1,24	38,6	34,8	36,8	0,94
4	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C1	462	1,24	23,9	11,8	22,8	0,52
5	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C2	462	1,22	22,6	16,5	21,1	0,78
6	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C3	462	1,24	23,9	20,9	22,8	0,92
7	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C4	462	1,22	22,1	12,6	20,7	0,61
8	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 L1	462	1,22	79,5	72,1	74,3	0,97
9	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 L2	462	1,24	76,5	73,8	73,0	1,01
10	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 L3	462	1,24	75,2	73,8	71,8	1,03
11	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 P1	462	1,24	98,0	92,5	93,6	0,99
12	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 P2	462	1,27	101,1	95,6	98,5	0,97
13	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 P3	462	1,24	101,3	91,2	96,7	0,94
14	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 C1	354	2,72	24,1	42,3	38,6	1,10
15	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 C2	354	2,72	21,6	39,8	34,5	1,15
16	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 C3	354	2,69	22,9	42,0	36,2	1,16
17	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 F1	354	2,72	38,4	57,8	61,3	0,94
18	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 F2	354	2,69	39,4	48,0	62,4	0,77
19	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 F3	354	2,69	39,9	64,8	63,2	1,03
20	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 F4	354	2,72	38,4	63,6	61,3	1,04
21	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 L1	354	2,72	76,5	122,3	122,2	1,00
22	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 L2	354	2,72	76,2	122,3	121,8	1,00
23	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 L3	354	2,72	76,7	122,3	122,6	1,00
24	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 P1	354	2,72	101,6	147,2	162,4	0,91
25	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 P2	354	2,72	101,3	146,3	162,0	0,90
26	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 P3	354	2,69	101,3	148,1	160,5	0,92
27	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 P1	352	2,79	97,8	156,6	159,8	0,98
28	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 P2	352	2,79	98,3	158,8	160,6	0,99
29	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 P3	352	2,79	98,6	159,2	161,0	0,99
30	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 C1	352	2,79	27,4	62,1	44,8	1,39
31	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 C2	352	2,79	27,9	56,1	45,7	1,23
32	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 C3	352	2,79	29,2	58,1	47,7	1,22

Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	t (mm)	L (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$
33	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 C4	352	2,79	31,0	56,0	50,6	1,11
34	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 12/7 C5	352	2,79	30,7	56,1	50,2	1,12
35	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 P1	446	1,27	97,5	85,6	91,7	0,93
36	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 P2	446	1,27	99,3	89,0	93,4	0,95
37	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 P3	446	1,27	98,0	88,5	92,2	0,96
38	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C1	446	1,27	26,4	30,4	24,8	1,22
39	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C2	446	1,27	26,9	30,3	25,3	1,20
40	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C3	446	1,27	27,7	28,5	26,0	1,09
41	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C4	446	1,27	25,9	31,5	24,4	1,29
42	McGuire and Peköz (1979)	E A/B 18/7 C5	446	1,27	29,2	32,3	27,5	1,18
43	Teh e Hancock (2005)	TBWD15.1	488	1,50	31,0	36,0	37,8	0,95
44	Teh e Hancock (2005)	TBWD15.2	488	1,50	33,0	43,5	40,2	1,08
45	Teh e Hancock (2005)	TBWD15.3	488	1,50	48,0	54,0	58,5	0,92
46	Teh e Hancock (2005)	TBWD15.4	488	1,50	60,0	83,5	73,2	1,14
47	Teh e Hancock (2005)	TBWD15.5	488	1,50	61,0	70,0	74,4	0,94
48	Teh e Hancock (2005)	TBWD15.6	488	1,50	74,0	88,0	90,2	0,98
49	Teh e Hancock (2005)	TBWD15.7	488	1,50	88,0	108,0	107,3	1,01
50	Teh e Hancock (2005)	TBWD15.8	488	1,50	90,0	99,5	109,8	0,91
51	Teh e Hancock (2005)	TBWD30.1	495	3,00	32,0	80,0	79,2	1,01
52	Teh e Hancock (2005)	TBWD30.2	495	3,00	47,0	108,0	116,3	0,93
53	Teh e Hancock (2005)	TBWD30.3	495	3,00	61,0	135,5	150,9	0,90
54	Teh e Hancock (2005)	TBWD30.4	495	3,00	74,0	158,5	183,1	0,87
55	Teh e Hancock (2005)	TBWD30.5	495	3,00	89,0	188,5	220,2	0,86
56	Teh e Hancock (2005)	TBWD30.6	495	3,00	90,0	214,0	222,7	0,96

**Tabela C.5 - Solda de filete em superfícies curvas, solicitação paralela ao eixo da solda**

Item	Referência	CP	$f_u$ (Mpa)	t (mm)	L (mm)	$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}$
1	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 18/7 C1	461,9	1,27	20,1	78,3	70,6	1,108
2	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 18/7 C2	461,9	1,27	20,1	86,3	70,6	1,222
3	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 18/7 C3	461,9	1,24	22,4	94,3	77,1	1,223
4	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 C1	354,4	2,72	23,1	126,8	133,6	0,949
5	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 C2	354,4	2,72	22,1	112,1	127,7	0,878
6	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 C3	354,4	2,72	22,6	129,0	130,6	0,987
7	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 F1	354,4	2,72	37,1	174,8	214,3	0,816
8	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 F2	354,4	2,72	35,3	173,9	204,0	0,852
9	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 F3	354,4	2,72	38,4	176,1	221,6	0,795
10	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 F6	354,4	2,72	36,1	157,9	208,4	0,758
11	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 18/7 C1	446,1	1,30	29,0	99,2	100,4	0,988
12	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 18/7 C2	446,1	1,30	26,2	89,9	90,7	0,991
13	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 18/7 C3	446,1	1,30	27,9	94,7	96,9	0,978
14	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 18/7 C4	446,1	1,30	27,7	95,6	96,0	0,996
15	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 C1	352,3	2,79	26,9	133,9	159,0	0,842
16	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 C2	352,3	2,79	27,4	137,9	162,0	0,851
17	McGuire and Peköz (1979)	D A/B 12/7 C3	352,3	2,79	26,9	140,6	159,0	0,884
18	Teh e Hancock (2005)	LBWD15.1	488	1,5	31	123	136,2	0,903
19	Teh e Hancock (2005)	LBWD15.2	488	1,5	34	134,5	149,3	0,901
20	Teh e Hancock (2005)	LBWD15.3	488	1,5	34	123	149,3	0,824
21	Teh e Hancock (2005)	LBWD15.4	488	1,5	47	174,5	206,4	0,845
22	Teh e Hancock (2005)	LBWD15.5	488	1,5	48	172	210,8	0,816
23	Teh e Hancock (2005)	LBWD15.6	488	1,5	60	216	263,5	0,820
24	Teh e Hancock (2005)	LBWD15.7	488	1,5	61	217	267,9	0,810
25	Teh e Hancock (2005)	LBWD15.8	488	1,5	63	219	276,7	0,791
26	Teh e Hancock (2005)	LBWD30.1	495	3	30	226,5	267,3	0,847
27	Teh e Hancock (2005)	LBWD30.2	495	3	35	261,5	311,9	0,839
28	Teh e Hancock (2005)	LBWD30.3	495	3	47	357	418,8	0,852
29	Teh e Hancock (2005)	LBWD30.4	495	3	48	355,5	427,7	0,831
30	Teh e Hancock (2005)	LBWD30.5	495	3	62	449,5	552,4	0,814

**Tabela C.6 - Identificação do tipo de solda e chapas de cobertura pela 1ª letra (McGuire and Peköz, 1979) ou pela 1ª e 2ª letra da nomenclatura da amostra (Teh e Hancock (2005))**

<b>McGuire and Peköz (1979)</b>	<b>Teh e Hancock (2005)</b>	<b>Definição</b>
C	LF	Solda de filete em superfícies planas, solicitação paralela ao eixo da solda
D	LB	Solda de filete em superfícies curvas, solicitação paralela ao eixo da solda
E	TB	Solda de filete em superfícies curvas, solicitação normal ao eixo da solda
H	TF	Solda de filete em superfícies planas, solicitação normal ao eixo

## Anexo D

### Ligações Parafusadas

**Tabela D.1 - Rasgamento entre furo e borda, chapas (Sheerah, 2009)**

Item	CP	t (mm)	d (mm)	e (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
1	OH-1180-1180-A307-1/2-1-SS-1.5-T1	3,32	12,7	19,1	360	25,8	22,7	1,136
2	OH-1180-1180-A307-1/2-1-SS-1.5-T2	3,32	12,7	19,1	360	26,2	22,7	1,151
3	OH-680-680-A325-1/2-1-SS-1.5-T1	1,75	12,7	19,1	481	15,1	16,1	0,943
4	OH-680-680-A325-1/2-1-SS-1.5-T2	1,75	12,7	19,1	481	15,0	16,1	0,932
5	OH-680-680-A307-1/2-1-SS-1.5-T1	1,75	12,7	19,1	481	13,9	16,1	0,868
6	OH-680-680-A307-1/2-1-SS-1.5-T2	1,75	12,7	19,1	481	13,8	16,1	0,862
7	OH-430-430-A307-1/2-1-SS-1.5-T1	1,12	12,7	19,1	485	9,1	10,3	0,888
8	OH-430-430-A307-1/2-1-SS-1.5-T2	1,12	12,7	19,1	485	8,7	10,3	0,843
9	OH-430-430-A307-1/4-1-SS-1.5-T1	1,12	6,35	9,5	485	6,6	5,2	1,280
10	OH-430-430-A307-1/4-1-SS-1.5-T2	1,12	6,35	9,5	485	6,6	5,2	1,279
11	OH-330-330-A307-1/2-1-SS-1.5-T1	0,92	12,7	19,1	373	5,6	6,5	0,860
12	OH-330-330-A307-1/2-1-SS-1.5-T2	0,92	12,7	19,1	373	5,8	6,5	0,890
13	OH-330-330-A307-1/4-1-SS-1.5-T1	0,92	6,35	9,5	373	4,4	3,3	1,346
14	OH-330-330-A307-1/4-1-SS-1.5-T2	0,92	6,35	9,5	373	4,5	3,3	1,390
15	OH-330-33S-A307-1/2-1-SS-1.5-T1	0,92	12,7	19,1	373	7,7	6,5	1,176
16	OH-330-33S-A307-1/2-1-SS-1.5-T2	0,92	12,7	19,1	373	7,1	6,5	1,094
17	OH-300-300-A307-1/2-1-SS-1.5-T1	0,74	12,7	19,1	601	7,7	8,5	0,901
18	OH-300-300-A307-1/2-1-SS-1.5-T2	0,74	12,7	19,1	601	7,7	8,5	0,897
19	OH-390-390-A307-1/2-1-SS-1.5-T2	0,99	12,7	19,1	625	11,8	11,8	0,997
20	OH-390-390-A307-1/2-1-SS-1.5-T3	0,99	12,7	19,1	625	10,8	11,8	0,916
21	SS-118-118-A307-9/16/3/4-1-SS-1.5-T1	3,32	12,7	19,1	360	21,6	22,7	0,951
22	SS-118-118-A307-9/16/3/4-1-SS-1.5-T2	3,32	12,7	19,1	360	21,2	22,7	0,931
23	SS-118-118-A307-9/16/7/8-1-SS-1.5-T1	3,32	12,7	19,1	360	17,5	22,7	0,768
24	SS-118-118-A307-9/16/7/8-1-SS-1.5-T2	3,32	12,7	19,1	360	16,0	22,7	0,703
25	SS-68-68-A307-9/16/7/8-1-SS-1.5-T1	1,77	12,7	19,1	376	9,1	12,7	0,720
26	SS-68-68-A307-9/16/7/8-1-SS-1.5-T2	1,77	12,7	19,1	376	9,0	12,7	0,705
27	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-SS-1.5-T1	1,77	12,7	19,1	376	11,4	12,7	0,895

Item	CP	t (mm)	d (mm)	e (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
28	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-SS-1.5-T2	1,77	12,7	19,1	376	10,9	12,7	0,86
29	SS-68-68-A307-9/16/3/4-2-SS-1.5-T1	1,77	12,7	19,1	376	10,1	12,7	0,79
30	SS-68-68-A307-9/16/3/4-2-SS-1.5-T2	1,77	12,7	19,1	376	11,5	12,7	0,90
31	SS-68-68-A307-9/16/3/4-2-SS-1.5-T3	1,77	12,7	19,1	376	11,6	12,7	0,92
32	SS-68-68-A307-9/16/7/8-2-SS-1.5-T1	1,77	12,7	19,1	376	9,0	12,7	0,71
33	SS-68-68-A307-9/16/7/8-2-SS-1.5-T2	1,77	12,7	19,1	376	8,6	12,7	0,68
34	OH-430-430-A307-1/2-1-DS-1.5-T1	1,12	12,7	19,1	485	10,1	10,3	0,98
35	OH-430-430-A307-1/2-1-DS-1.5-T2	1,12	12,7	19,1	485	8,1	10,3	0,79
36	OH-430-430-A307-1/2-1-DS-1.5-T3	1,12	12,7	19,1	485	8,0	10,3	0,77
37	OH-330-330-A307-1/2-1-DS-1.5-T1	0,92	12,7	19,1	373	7,4	6,5	1,13
38	OH-330-330-A307-1/2-1-DS-1.5-T2	0,92	12,7	19,1	373	7,3	6,5	1,12
39	OH-330-330-A307-1/4-1-DS-1.5-T1	0,92	6,35	9,5	373	4,5	3,3	1,40
40	OH-330-330-A307-1/4-1-DS-1.5-T2	0,92	6,35	9,5	373	4,5	3,3	1,39
41	OH-300-300-A307-1/2-1-DS-1.5-T1	0,74	12,7	19,1	601	7,7	8,5	0,91
42	OH-300-300-A307-1/2-1-DS-1.5-T2	0,74	12,7	19,1	601	8,1	8,5	0,94
43	OH-390-390-A307-1/2-1-DS-1.5-T1	0,99	12,7	19,1	625	11,2	11,8	0,95
44	OH-390-390-A307-1/2-1-DS-1.5-T2	0,99	12,7	19,1	625	13,5	11,8	1,15
45	OH-390-390-A307-1/2-1-DS-1.5-T3	0,99	12,7	19,1	625	10,8	11,8	0,91
46	SS-118-118-A307-9/16/3/4-1-DS-1.5-T1	3,32	12,7	19,1	360	24,3	22,7	1,07
47	SS-118-118-A307-9/16/3/4-1-DS-1.5-T2	3,32	12,7	19,1	360	24,2	22,7	1,06
48	SS-118-118-A307-9/16/7/8-1-DS-1.5-T1	3,32	12,7	19,1	360	23,7	22,7	1,04
49	SS-118-118-A307-9/16/7/8-1-DS-1.5-T2	3,32	12,7	19,1	360	23,6	22,7	1,04
50	SS-68-68-A307-9/16/7/8-1-DS-1.5-T1	1,77	12,7	19,1	376	12,9	12,7	1,02
51	SS-68-68-A307-9/16/7/8-1-DS-1.5-T2	1,77	12,7	19,1	376	12,8	12,7	1,01
52	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-DS-1.5-T1	1,77	12,7	19,1	376	12,8	12,7	1,01
53	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-DS-1.5-T2	1,77	12,7	19,1	376	12,1	12,7	0,95

Nota:

- os dois primeiros dígitos da nomenclatura dos protótipos ensaiados por Sheerah (2009) definem o tipo de furo, podendo ser OH (furo alargado) ou SS (furo puco alongado).

**Tabela D.2 - Esmagamento considerando a deformação do furo (perfis)**

Item	Fonte	CP	d (mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	α <sub>c</sub>	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
1	Maiola (2004)	LI1A1-1	12,5	1,50	468	1,80	1	17,5	15,8	1,105
2	Maiola (2004)	LI1A1-2	12,5	1,50	468	1,80	1	19,1	15,8	1,206
3	Maiola (2004)	LI3A1-1	16,0	3,90	399	2,24	1	80,9	55,9	1,448
4	Maiola (2004)	LI3B1-1	16,0	3,90	399	2,24	1	116,0	111,7	1,038
5	Maiola (2004)	LI3A1-2	16,0	3,90	399	2,24	1	78,3	55,9	1,401
6	Maiola (2004)	LI3B1-2	16,0	3,90	399	2,24	1	121,4	111,7	1,087
7	Maiola (2004)	LI3C1-2	16,0	3,90	399	2,24	1	128,0	167,6	0,764
8	Maiola (2004)	LI3D1-2	16,0	3,90	399	2,24	1	149,8	223,5	0,670
9	Maiola (2004)	LD1A1-1	12,5	1,50	468	1,80	1	17,1	15,8	1,080
10	Maiola (2004)	LD3A1-1	16,0	3,90	399	2,24	1	73,9	55,9	1,323
11	Maiola (2004)	LD3B1-1	16,0	3,90	399	2,24	1	103,0	111,7	0,922
12	Maiola (2004)	LD3A1-2	16,0	3,90	399	2,24	1	70,3	55,9	1,258
13	Maiola (2004)	LI1A3-1	12,5	1,50	468	1,80	2	41,6	31,7	1,314
14	Maiola (2004)	LI3A3-1	16,0	3,90	399	2,24	2	111,0	111,7	0,994
15	Maiola (2004)	LI3B3-1	16,0	3,90	399	2,24	2	161,0	223,5	0,721
16	Maiola (2004)	LI3C3-1	16,0	3,90	399	2,24	2	160,0	335,2	0,477
17	Maiola (2004)	LI3A3-2	16,0	3,90	399	2,24	2	141,0	111,7	1,262
18	Maiola (2004)	LI3B3-2	16,0	3,90	399	2,24	2	159,0	223,5	0,712
19	Maiola (2004)	LI3C3-2	16,0	3,90	399	2,24	2	161,0	335,2	0,480

Item	Fonte	CP	d (mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	α <sub>c</sub>	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
20	Maiola (2004)	U1A1-1	12,5	1,50	468	1,80	1	19,8	15,8	1,250
21	Maiola (2004)	U3A1-1	16,0	3,90	399	2,24	1	79,1	55,9	1,416
22	Maiola (2004)	U3B1-1	16,0	3,90	399	2,24	1	129,0	111,7	1,155
23	Maiola (2004)	U3C1-1	16,0	3,90	399	2,24	1	165,0	167,6	0,985
24	Maiola (2004)	U3D1-1	16,0	3,90	399	2,24	1	202,0	223,5	0,904
25	Maiola (2004)	U3A1-2	16,0	3,90	399	2,24	1	78,1	55,9	1,398
26	Maiola (2004)	U3C1-2	16,0	3,90	399	2,24	1	173,0	167,6	1,032
27	Maiola (2004)	U3D1-2	16,0	3,90	399	2,24	1	210,0	223,5	0,940
28	Maiola (2004)	U3A1a-1	16,0	3,90	399	2,24	1	140,0	111,7	1,253
29	Maiola (2004)	U3B1a-1	16,0	3,90	399	2,24	1	193,0	223,5	0,864
30	Maiola (2004)	U3C1a-1	16,0	3,90	399	2,24	1	230,0	335,2	0,686
31	Maiola (2004)	U3D1a-1	16,0	3,90	399	2,24	1	255,0	446,9	0,571
32	Maiola (2004)	U3A1a-2	16,0	3,90	399	2,24	1	143,0	111,7	1,280
33	Maiola (2004)	U3B1a-2	16,0	3,90	399	2,24	1	197,0	223,5	0,882
34	Maiola (2004)	U3C1a-2	16,0	3,90	399	2,24	1	228,0	335,2	0,680
35	Maiola (2004)	U3D1a-2	16,0	3,90	399	2,24	1	247,0	446,9	0,553
36	Maiola (2004)	U1A1b-1	12,5	1,50	468	1,80	1	40,8	31,7	1,287
37	Maiola (2004)	U1A1b-2	12,5	1,50	468	1,80	1	41,2	31,7	1,301
38	Maiola (2004)	U1A1c-1	12,5	1,50	468	1,80	1	40,4	31,7	1,277
39	Maiola (2004)	U1A1c-2	12,5	1,50	468	1,80	1	40,5	31,7	1,279

**Tabela D.3 - Esmagamento considerando a deformação do furo, chapas com arruelas**

Item	Fonte	CP	d (mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	α <sub>e</sub>	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
1	Maiola (2004)	C2A4-2	12,5	2,00	479	1,90	2	46,6	45,41	1,03
2	Maiola (2004)	C2A5-2	12,5	2,00	479	1,90	2	51,3	45,41	1,13
3	Maiola (2004)	C2A6-2	12,5	2,00	479	1,90	4	95,2	90,82	1,05
4	Maiola (2004)	C2A7-2	12,5	2,00	479	1,90	1	25,8	22,70	1,14
5	Maiola (2004)	C2A8-2	12,5	2,00	479	1,90	2	50,5	45,41	1,11
6	Maiola (2004)	C2A9-2	12,5	2,00	479	1,90	2	50,1	45,41	1,10
7	Maiola (2004)	C2A10-2	12,5	2,00	479	1,90	2	51,8	45,41	1,14
8	Maiola (2004)	C3A1-2	12,5	2,60	325	2,01	1	17,9	21,19	0,84
9	Maiola (2004)	C3A4-2	12,5	2,60	325	2,01	2	38,8	42,37	0,92
10	Maiola (2004)	C4A1-2	16,0	3,70	399	2,21	1	41,0	52,13	0,79
11	Maiola (2004)	C4A4-2	16,0	3,70	399	2,21	2	83,5	104,27	0,80
12	Maiola (2004)	C5A2-2	16,0	4,75	490	2,40	1	87,8	89,35	0,98
13	Maiola (2004)	C5A5-2	16,0	4,75	490	2,40	2	158,0	178,70	0,88
14	Maiola (2004)	C5A6-2	16,0	4,75	490	2,40	4	293,0	357,39	0,82
15	Maiola (2004)	C5A7-2	16,0	4,75	490	2,40	1	70,6	89,35	0,79
16	Maiola (2004)	C5A8-2	16,0	4,75	490	2,40	2	139,8	178,70	0,78
17	Maiola (2004)	C5A9-2	16,0	4,75	490	2,40	2	149,4	178,70	0,84
18	Maiola (2004)	C5A10-2	16,0	4,75	490	2,40	2	153,3	178,70	0,86
19	Maiola (2004)	C2B2-2	12,5	2,00	479	1,90	1	52,3	45,41	1,15
20	Maiola (2004)	C2B9-2	12,5	2,00	479	1,90	2	87,8	90,82	0,97
21	Maiola (2004)	C2B10-2	12,5	2,00	479	1,90	2	85,6	90,82	0,94
22	Maiola (2004)	C5B2-2	16,0	4,75	490	2,40	1	153,0	178,70	0,86
23	Maiola (2004)	C5B7-2	16,0	4,75	490	2,40	1	105,4	178,70	0,59
24	Maiola (2004)	C5B9-2	16,0	4,75	490	2,40	2	262,0	357,39	0,73
25	Maiola (2004)	C5B10-2	16,0	4,75	490	2,40	2	275,1	357,39	0,77
26	Maiola (2004)	C2C10-2	12,5	2,00	479	1,90	2	110,6	136,23	0,81
27	Maiola (2004)	C5C9-2	16,0	4,75	490	2,40	2	343,4	536,09	0,64
28	Maiola (2004)	C5C10-2	16,0	4,75	490	2,40	2	351,2	536,09	0,66
29	Maiola (2004)	C2D9-2	12,5	2,00	479	1,90	2	113,8	181,64	0,63
30	Maiola (2004)	C5D9-2	16,0	4,75	490	2,40	2	347,6	714,78	0,49
31	Maiola (2004)	C5D10-2	16,0	4,75	490	2,40	2	353,1	714,78	0,49

**Tabela D.4 - Esmagamento considerando a deformação do furo, chapas sem arruelas**

Item	Fonte	CP	d (mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	α <sub>e</sub>	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
1	Maiola (2004)	C2A1-1	12,5	2,00	479	1,90	1	19,1	22,70	0,84
2	Maiola (2004)	C2A2-1	12,5	2,00	479	1,90	1	23,6	22,70	1,04
3	Maiola (2004)	C2A4-1	12,5	2,00	479	1,90	2	36,3	45,41	0,80
4	Maiola (2004)	C2A5-1	12,5	2,00	479	1,90	2	42,2	45,41	0,93
5	Maiola (2004)	C2A6-1	12,5	2,00	479	1,90	4	75,5	90,82	0,83
6	Maiola (2004)	C2A7-1	12,5	2,00	479	1,90	1	20,0	22,70	0,88
7	Maiola (2004)	C2A8-1	12,5	2,00	479	1,90	2	41,2	45,41	0,91
8	Maiola (2004)	C2A9-1	12,5	2,00	479	1,90	2	46,9	45,41	1,03
9	Maiola (2004)	C2A10-1	12,5	2,00	479	1,90	2	43,6	45,41	0,96
10	Maiola (2004)	C3A1-1	12,5	2,60	325	2,01	1	16,2	21,19	0,76
11	Maiola (2004)	C3A4-1	12,5	2,60	325	2,01	2	34,0	42,37	0,80
12	Maiola (2004)	C4A1-1	16,0	3,70	399	2,21	1	36,5	52,13	0,70
13	Maiola (2004)	C4A4-1	16,0	3,70	399	2,21	2	75,9	104,27	0,73
14	Maiola (2004)	C5A1-1	16,0	4,75	490	2,40	1	62,8	89,35	0,70
15	Maiola (2004)	C5A2-1	16,0	4,75	490	2,40	1	75,5	89,35	0,85
16	Maiola (2004)	C5A4-1	16,0	4,75	490	2,40	2	130,0	178,70	0,73
17	Maiola (2004)	C5A5-1	16,0	4,75	490	2,40	2	135,0	178,70	0,76
18	Maiola (2004)	C5A6-1	16,0	4,75	490	2,40	4	260,0	357,39	0,73
19	Maiola (2004)	C5A7-1	16,0	4,75	490	2,40	1	70,0	89,35	0,78
20	Maiola (2004)	C5A8-1	16,0	4,75	490	2,40	2	133,2	178,70	0,75
21	Maiola (2004)	C5A9-1	16,0	4,75	490	2,40	2	141,6	178,70	0,79
22	Maiola (2004)	C5A10-1	16,0	4,75	490	2,40	2	144,1	178,70	0,81
23	Maiola (2004)	C2B2-1	12,5	2,00	479	1,90	1	42,5	45,41	0,94
24	Maiola (2004)	C2B5-1	12,5	2,00	479	1,90	2	74,8	90,82	0,82
25	Maiola (2004)	C2B9-1	12,5	2,00	479	1,90	2	81,6	90,82	0,90
26	Maiola (2004)	C2B10-1	12,5	2,00	479	1,90	2	74,3	90,82	0,82
27	Maiola (2004)	C5B2-1	16,0	4,75	490	2,40	1	146,0	178,70	0,82
28	Maiola (2004)	C5B5-1	16,0	4,75	490	2,40	2	235,0	357,39	0,66
29	Maiola (2004)	C5B7-1	16,0	4,75	490	2,40	1	104,9	178,70	0,59
30	Maiola (2004)	C5B9-1	16,0	4,75	490	2,40	2	257,4	357,39	0,72
31	Maiola (2004)	C5B10-1	16,0	4,75	490	2,40	2	263,3	357,39	0,74
32	Maiola (2004)	C2C9-1	12,5	2,00	479	1,90	2	101,4	136,23	0,74

Item	Fonte	CP	d (mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	α <sub>e</sub>	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
33	Maiola (2004)	C2C10-1	12,5	2,00	479	1,90	2	108,9	136,23	0,80
34	Maiola (2004)	C5C9-1	16,0	4,75	490	2,40	2	328,1	536,09	0,61
35	Maiola (2004)	C5C10-1	16,0	4,75	490	2,40	2	346,3	536,09	0,65
36	Maiola (2004)	C2D9-1	12,5	2,00	479	1,90	2	113,4	181,64	0,62
37	Maiola (2004)	C5D9-1	16,0	4,75	490	2,40	2	343,1	714,78	0,48
38	Maiola (2004)	C5D10-1	16,0	4,75	490	2,40	2	360,2	714,78	0,50
39	Sheerah (2009)	OH-118O-118O-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	3,32	360	2,14	1	37,8	32,39	1,17
40	Sheerah (2009)	OH-118O-118O-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	3,32	360	2,14	1	37,4	32,39	1,15
41	Sheerah (2009)	OH-68O-68O-A325-1/2-1-SS-4-T1	12,7	1,75	481	1,85	1	20,8	19,82	1,05
42	Sheerah (2009)	OH-68O-68O-A325-1/2-1-SS-4-T2	12,7	1,75	481	1,85	1	22,0	19,82	1,11
43	Sheerah (2009)	OH-68O-68O-A325-1/2-1-SS-4-T3	12,7	1,75	481	1,85	1	20,7	19,82	1,04
44	Sheerah (2009)	OH-68O-68O-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	1,75	481	1,85	1	17,7	19,82	0,89
45	Sheerah (2009)	OH-68O-68O-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	1,75	481	1,85	1	17,5	19,82	0,88
46	Sheerah (2009)	OH-68O-68O-A307-1/2-1-SS-4-T3	12,7	1,75	481	1,85	1	18,6	19,82	0,94
47	Sheerah (2009)	OH-43O-43O-A307-1/4-1-SS-4-T1	6,4	1,12	485	1,73	1	8,2	5,96	1,37
48	Sheerah (2009)	OH-43O-43O-A307-1/4-1-SS-4-T2	6,4	1,12	485	1,73	1	8,4	5,96	1,41
49	Sheerah (2009)	OH-43O-43O-A307-1/4-1-SS-8-T1	6,4	1,12	485	1,73	1	8,1	5,96	1,36
50	Sheerah (2009)	OH-43O-43O-A307-1/4-1-SS-8-T2	6,4	1,12	485	1,73	1	7,7	5,96	1,29
51	Sheerah (2009)	OH-43O-43O-A307-1/4-1-SS-3-T1	6,4	1,12	485	1,73	1	8,0	5,96	1,34
52	Sheerah (2009)	OH-43O-43O-A307-1/4-1-SS-3-T2	6,4	1,12	485	1,73	1	8,1	5,96	1,36
53	Sheerah (2009)	OH-33O-33O-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	0,92	373	1,70	1	6,5	7,37	0,88
54	Sheerah (2009)	OH-33O-33O-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	1	6,4	7,37	0,87
55	Sheerah (2009)	OH-33O-33O-A307-1/4-1-SS-4-T1	6,4	0,92	373	1,70	1	5,2	3,68	1,41
56	Sheerah (2009)	OH-33O-33O-A307-1/4-1-SS-4-T2	6,4	0,92	373	1,70	1	5,4	3,68	1,46
57	Sheerah (2009)	OH-33O-33O-A307-1/4-1-SS-8-T1	6,4	0,92	373	1,70	1	5,1	3,68	1,38
58	Sheerah (2009)	OH-33O-33O-A307-1/4-1-SS-8-T2	6,4	0,92	373	1,70	1	5,5	3,68	1,49
59	Sheerah (2009)	OH-33O-33O-A307-1/4-1-SS-3-T1	6,4	0,92	373	1,70	1	5,0	3,68	1,36
60	Sheerah (2009)	OH-33O-33O-A307-1/4-1-SS-3-T2	6,4	0,92	373	1,70	1	5,1	3,68	1,37
61	Sheerah (2009)	OH-43O-33O-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	0,92	373	1,70	1	7,4	7,37	1,01
62	Sheerah (2009)	OH-43O-33O-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	1	7,3	7,37	0,99
63	Sheerah (2009)	OH-33O-33S-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	0,92	373	1,70	1	6,9	7,37	0,93
64	Sheerah (2009)	OH-33O-33S-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	1	6,9	7,37	0,93
65	Sheerah (2009)	OH-33O-33S-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	1	7,7	7,37	1,05

Item	Fonte	CP	d (mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	α <sub>e</sub>	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
66	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	0,74	601	1,67	1	7,2	9,47	0,76
67	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	0,74	601	1,67	1	7,0	9,47	0,74
68	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	0,99	625	1,71	1	10,8	13,46	0,80
69	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	0,99	625	1,71	1	11,5	13,46	0,86
70	Sheerah (2009)	OH-430-430-A307-1/2-2-SS-4-T1	12,7	1,12	485	1,73	2	9,3	11,90	0,79
71	Sheerah (2009)	OH-430-430-A307-1/2-2-SS-4-T2	12,7	1,12	485	1,73	2	9,6	11,90	0,80
72	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/2-2-SS-4-T1	12,7	0,92	373	1,70	2	5,8	7,37	0,79
73	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/2-2-SS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	2	5,8	7,37	0,79
74	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-SS-4-T1	6,4	0,92	373	1,70	2	4,1	3,68	1,10
75	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-SS-4-T2	6,4	0,92	373	1,70	2	4,9	3,68	1,34
76	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-SS-4-T3	6,4	0,92	373	1,70	2	4,9	3,68	1,32
77	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-SS-8-T1	6,4	0,92	373	1,70	2	5,1	3,68	1,39
78	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-SS-8-T2	6,4	0,92	373	1,70	2	5,0	3,68	1,37
79	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-SS-3-T1	6,4	0,92	373	1,70	2	5,2	3,68	1,41
80	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-SS-3-T2	6,4	0,92	373	1,70	2	5,1	3,68	1,39
81	Sheerah (2009)	OH-430-330-A307-1/2-2-SS-4-T1	12,7	0,92	373	1,70	2	7,8	7,37	1,06
82	Sheerah (2009)	OH-430-330-A307-1/2-2-SS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	2	7,5	7,37	1,02
83	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-2-SS-4-T1	12,7	0,74	601	1,67	2	7,6	9,47	0,80
84	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-2-SS-4-T2	12,7	0,74	601	1,67	2	7,3	9,47	0,77
85	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-2-SS-4-T1	12,7	0,99	625	1,71	2	9,9	13,46	0,74
86	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-2-SS-4-T2	12,7	0,99	625	1,71	2	10,0	13,46	0,74
87	Sheerah (2009)	OH-680-680-A325-1/2-1-DS-4-T1	12,7	1,75	481	1,85	1	30,4	39,63	0,77
88	Sheerah (2009)	OH-680-680-A325-1/2-1-DS-4-T2	12,7	1,75	481	1,85	1	30,2	39,63	0,76
89	Sheerah (2009)	OH-430-430-A307-1/2-1-DS-4-T1	12,7	1,12	485	1,73	1	17,5	23,80	0,73
90	Sheerah (2009)	OH-430-430-A307-1/2-1-DS-4-T2	12,7	1,12	485	1,73	1	16,4	23,80	0,69
91	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/2-1-DS-4-T1	12,7	0,92	373	1,70	1	11,7	14,75	0,80
92	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/2-1-DS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	1	12,4	14,75	0,84
93	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-1-DS-4-T1	6,4	0,92	373	1,70	1	8,4	7,37	1,14
94	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-1-DS-4-T2	6,4	0,92	373	1,70	1	8,9	7,37	1,21
95	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-1-DS-8-T1	6,4	0,92	373	1,70	1	8,5	7,37	1,15
96	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-1-DS-8-T2	6,4	0,92	373	1,70	1	8,5	7,37	1,15
97	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-1-DS-3-T1	6,4	0,92	373	1,70	1	7,9	7,37	1,07
98	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-1-DS-3-T2	6,4	0,92	373	1,70	1	7,2	7,37	0,98

Item	Fonte	CP	d (mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	α <sub>e</sub>	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
99	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-1-DS-4-T1	12,7	0,74	601	1,67	1	10,6	18,9	0,56
100	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-1-DS-4-T2	12,7	0,74	601	1,67	1	12,1	18,9	0,64
101	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-1-DS-4-T3	12,7	0,74	601	1,67	1	11,3	18,9	0,60
102	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-1-DS-4-T1	12,7	0,99	625	1,71	1	14,5	26,9	0,54
103	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-1-DS-4-T2	12,7	0,99	625	1,71	1	14,8	26,9	0,55
104	Sheerah (2009)	OH-430-430-A307-1/2-2-DS-4-T1	12,7	1,12	485	1,73	2	16,4	23,8	0,69
105	Sheerah (2009)	OH-430-430-A307-1/2-2-DS-4-T3	12,7	1,12	485	1,73	2	16,0	23,8	0,67
106	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/2-2-DS-4-T1	12,7	0,92	373	1,70	2	9,9	14,7	0,67
107	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/2-2-DS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	2	8,9	14,7	0,60
108	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-4-T1	6,4	0,92	373	1,70	2	8,0	7,4	1,09
109	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-4-T2	6,4	0,92	373	1,70	2	8,9	7,4	1,20
110	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-4-T3	6,4	0,92	373	1,70	2	7,7	7,4	1,04
111	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-4-T4	6,4	0,92	373	1,70	2	7,5	7,4	1,01
112	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-4-T5	6,4	0,92	373	1,70	2	7,6	7,4	1,03
113	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-8-T1	6,4	0,92	373	1,70	2	7,7	7,4	1,05
114	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-8-T2	6,4	0,92	373	1,70	2	7,2	7,4	0,98
115	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-3-T1	6,4	0,92	373	1,70	2	7,1	7,4	0,96
116	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-3-T2	6,4	0,92	373	1,70	2	7,9	7,4	1,07
117	Sheerah (2009)	OH-330-330-A307-1/4-2-DS-3-T3	6,4	0,92	373	1,70	2	6,8	7,4	0,93
118	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-2-DS-4-T1	12,7	0,74	601	1,67	2	11,4	18,9	0,60
119	Sheerah (2009)	OH-300-300-A307-1/2-2-DS-4-T2	12,7	0,74	601	1,67	2	11,9	18,9	0,63
120	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-2-DS-4-T1	12,7	0,99	625	1,71	2	15,8	26,9	0,58
121	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-2-DS-4-T2	12,7	0,99	625	1,71	2	17,9	26,9	0,66
122	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-2-DS-4-T3	12,7	0,99	625	1,71	2	13,9	26,9	0,51
123	Sheerah (2009)	OH-390-390-A307-1/2-2-DS-4-T4	12,7	0,99	625	1,71	2	15,2	26,9	0,57
124	Sheerah (2009)	SH-43S-43S-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	1,12	485	1,73	1	10,8	11,9	0,91
125	Sheerah (2009)	SH-43S-43S-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	1,12	485	1,73	1	10,2	11,9	0,86
126	Sheerah (2009)	SH-43S-43S-A307-1/2-1-SS-4-T3	12,7	1,12	485	1,73	1	10,6	11,9	0,89
127	Sheerah (2009)	SH-33S-33S-A307-1/2-1-SS-4-T1	12,7	0,92	373	1,70	1	6,9	7,4	0,93
128	Sheerah (2009)	SH-33S-33S-A307-1/2-1-SS-4-T2	12,7	0,92	373	1,70	1	6,9	7,4	0,93
129	Sheerah (2009)	SH-33S-33S-A307-1/2-1-SS-4-T3	12,7	0,92	373	1,70	1	7,2	7,4	0,98
130	Sheerah (2009)	SH-33S-33S-A307-1/2-1-SS-4-T4	12,7	0,92	373	1,70	1	6,9	7,4	0,93
131	Sheerah (2009)	SS-118-118-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T1	12,7	3,32	360	2,14	1	30,9	32,4	0,95

Item	Fonte	CP	d (mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	α <sub>e</sub>	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
132	Sheerah (2009)	SS-118-118-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T2	12,7	3,32	360	2,14	1	30,3	32,4	0,94
133	Sheerah (2009)	SS-118-118-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T1	12,7	3,32	360	2,14	1	26,6	32,4	0,82
134	Sheerah (2009)	SS-118-118-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T2	12,7	3,32	360	2,14	1	24,0	32,4	0,74
135	Sheerah (2009)	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T1	12,7	1,77	376	1,85	1	13,2	15,7	0,84
136	Sheerah (2009)	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T2	12,7	1,77	376	1,85	1	12,9	15,7	0,82
137	Sheerah (2009)	SS-68-68-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T1	12,7	1,77	376	1,85	1	10,6	15,7	0,67
138	Sheerah (2009)	SS-68-68-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T2	12,7	1,77	376	1,85	1	10,1	15,7	0,64
139	Sheerah (2009)	SS-118-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T1	12,7	1,77	360	1,85	1	24,8	15,0	1,65
140	Sheerah (2009)	SS-118-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T2	12,7	1,77	360	1,85	1	24,1	15,0	1,60
141	Sheerah (2009)	SS-118-68-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T1	12,7	1,77	360	1,85	1	17,4	15,0	1,16
142	Sheerah (2009)	SS-118-68-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T2	12,7	1,77	360	1,85	1	19,1	15,0	1,27
143	Sheerah (2009)	SS-118-118-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T1	12,7	3,32	360	2,14	1	26,4	32,4	0,82
144	Sheerah (2009)	SS-118-118-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T2	12,7	3,32	360	2,14	1	25,4	32,4	0,78
145	Sheerah (2009)	SS-118-118-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T1	12,7	3,32	360	2,14	1	23,6	32,4	0,73
146	Sheerah (2009)	SS-118-118-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T2	12,7	3,32	360	2,14	1	23,3	32,4	0,72
147	Sheerah (2009)	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T1	12,7	1,77	376	1,85	1	12,6	15,7	0,80
148	Sheerah (2009)	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T2	12,7	1,77	376	1,85	1	12,3	15,7	0,78
149	Sheerah (2009)	SS-68-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T3	12,7	1,77	376	1,85	1	9,3	15,7	0,59
150	Sheerah (2009)	SS-118-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T1	12,7	1,77	360	1,85	1	20,1	15,0	1,34
151	Sheerah (2009)	SS-118-68-A307-9/16/3/4-1-SS-4-T2	12,7	1,77	360	1,85	1	21,2	15,0	1,41
152	Sheerah (2009)	SS-118-68-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T1	12,7	1,77	360	1,85	1	15,4	15,0	1,03
153	Sheerah (2009)	SS-118-68-A307-9/16/7/8-1-SS-4-T2	12,7	1,77	360	1,85	1	18,1	15,0	1,20

Nota:

- os dois primeiros dígitos da nomenclatura dos protótipos ensaiados por Sheerah (2009) definem o tipo de furo, podendo ser OH (furo alargado), SH (furo-padrão) ou SS (furo puco alongado).

**Tabela D.5 - Esmagamento sem a consideração da deformação do furo - Cisalhamento simples de ligações sujeitas ao corte duplo com arruelas (chapas)**

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	$f_u$ (Mpa)	C	$n_{par}$	$F_{exp}$ (kN)	$F_{AISI}$ (kN)	$F_{exp}/F_{AISI}$
1	Carril (1994)	ay22-1	12,7	1,83	362	3,00	1	25,8	25,2	1,02
2	Carril (1994)	ay22-2	12,7	1,78	362	3,00	1	25,5	24,5	1,04
3	Carril (1994)	ay23-1	12,7	1,78	362	3,00	1	26,5	24,5	1,08
4	Carril (1994)	ay23-3	12,7	1,78	362	3,00	1	26,7	24,5	1,09
5	Carril (1994)	by13-1	12,7	1,07	385	2,81	2	21,6	29,3	0,74
6	Carril (1994)	by13-2	12,7	1,09	385	2,84	2	22,6	30,3	0,75
7	Carril (1994)	by13-3	12,7	1,12	385	2,86	2	21,3	31,3	0,68
8	Carril (1994)	ay12-1	12,7	1,07	385	2,81	1	10,9	14,6	0,74
9	Carril (1994)	ay12-2	12,7	1,09	385	2,84	1	10,8	15,1	0,71
10	Carril (1994)	by12-1	12,7	1,14	385	2,89	2	23,9	32,3	0,74
11	Carril (1994)	by12-2	12,7	1,14	385	2,89	2	22,8	32,3	0,71
12	Carril (1994)	by12-3	12,7	1,07	385	2,81	2	23,7	29,3	0,81
13	Carril (1994)	by22-1	12,7	1,80	362	3,00	2	42,8	49,7	0,86
14	Carril (1994)	by22-2	12,7	1,78	362	3,00	2	42,4	49,0	0,86
15	Carril (1994)	by22-3	12,7	1,78	362	3,00	2	42,4	49,0	0,86
16	Relat. 5 UC (1954)	20A41SS	6,4	0,91	288	3,00	1	8,3	5,0	1,66
17	Relat. 5 UC (1954)	14A43SS	12,7	2,03	299	3,00	1	31,6	23,2	1,36
18	Relat. 5 UC (1954)	12Y-L8	9,5	2,69	502	3,00	1	43,3	38,6	1,12
19	Relat. 5 UC (1954)	12Y-L9	12,7	2,69	502	3,00	1	62,9	51,5	1,22
20	Relat. 5 UC (1954)	12Y-L16	12,7	2,69	502	3,00	1	49,7	51,5	0,97
21	Relat. 5 UC (1954)	12Y-L18	19,1	2,69	502	3,00	1	54,1	77,2	0,70
22	Relat. 5 UC (1954)	20ZT12	4,8	0,97	688	3,00	1	8,2	9,5	0,86
23	Relat. 5 UC (1954)	20A24SS	15,9	0,91	288	2,26	1	12,5	9,5	1,32
24	Relat. 6 U.C. (1954)	IOE36SS	25,4	3,63	529	3,00	1	109,6	146,6	0,75
25	Relat. 6 U.C. (1954)	14E25SS	19,1	1,98	485	3,00	1	44,5	55,0	0,81
26	Dhalla (1971)	16FAXL17	12,7	1,57	316	3,00	1	19,0	19,0	1,00
27	Dhalla (1971)	12Y-L7	12,7	2,69	502	3,00	1	56,4	51,5	1,09
28	Dhalla (1971)	12Y-L11	9,5	2,69	502	3,00	1	38,2	38,6	0,99
29	Dhalla (1971)	12Y-L10	15,9	2,69	502	3,00	1	60,1	64,4	0,93
30	Dhalla (1971)	7Y-T5	19,1	4,65	629	3,00	1	113,6	167,2	0,68
31	Dhalla (1971)	16FAX-L16	12,7	1,57	316	3,00	1	21,4	19,0	1,12

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
32	Dhalla (1971)	12Y-L12	12,7	2,69	502	3,00	1	49,7	51,5	0,97
33	Dhalla (1971)	12Y-L15	9,5	2,69	502	3,00	1	34,3	38,6	0,89
34	Dhalla (1971)	7Y-L6	19,1	4,65	578	3,00	1	187,4	153,5	1,22
35	Dhalla (1971)	16FAX-L16	12,7	1,57	316	3,00	1	21,0	19,0	1,11
36	Dhalla (1971)	12Y-L12	12,7	2,64	502	3,00	1	49,5	50,5	0,98
37	Dhalla (1971)	12Y-L14	19,1	2,64	502	3,00	1	101,9	75,8	1,34
38	Dhalla (1971)	7Y-L6	19,1	4,65	573	3,00	1	188,9	152,2	1,24
39	Dhalla (1971)	20Z-T11	12,7	0,99	651	2,72	1	13,5	22,3	0,61
40	Dhalla (1971)	12Y-L18	19,1	2,64	499	3,00	1	53,8	75,4	0,71
41	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS2	22,2	2,95	341	3,00	1	71,6	66,9	1,07
42	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS2-1	22,2	2,95	341	3,00	1	54,8	66,9	0,82
43	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS3	22,2	2,95	341	3,00	1	67,4	66,9	1,01
44	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS5	25,4	2,95	341	3,00	1	69,1	76,5	0,90
45	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS5-1	25,4	2,95	341	3,00	1	60,7	76,5	0,79
46	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS6	25,4	2,95	341	3,00	1	68,2	76,5	0,89
47	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS8	22,2	4,60	428	3,00	1	146,8	131,2	1,12
48	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS8-1	22,2	4,60	428	3,00	1	110,3	131,2	0,84
49	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS9	22,2	4,70	428	3,00	1	145,7	134,1	1,09
50	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS11	25,4	4,67	428	3,00	1	163,7	152,5	1,07
51	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS11-1	25,4	4,67	428	3,00	1	134,8	152,5	0,88
52	McKinney <i>et al.</i> (1975)	SS12	25,4	4,67	428	3,00	1	157,0	152,5	1,03
53	Chong e Matlock (1974)	1	12,7	0,94	406	2,65	1	16,5	12,8	1,28
54	Chong e Matlock (1974)	2	12,7	0,94	406	2,65	1	16,3	12,8	1,27
55	Chong e Matlock (1974)	5	8,0	0,94	406	3,00	1	9,4	9,1	1,04
56	Chong e Matlock (1974)	6	8,0	0,94	406	3,00	1	9,8	9,1	1,08
57	Chong e Matlock (1974)	8	12,7	0,94	406	2,65	1	14,4	12,8	1,12
58	Chong e Matlock (1974)	10	12,7	0,94	406	2,65	1	17,1	12,8	1,33
59	Chong e Matlock (1974)	12	12,7	1,30	345	3,00	1	18,0	17,0	1,06
60	Chong e Matlock (1974)	13	12,7	1,30	345	3,00	1	18,8	17,0	1,10
61	Chong e Matlock (1974)	21	12,7	1,55	511	3,00	1	23,5	30,2	0,78
62	Chong e Matlock (1974)	22	12,7	1,55	511	3,00	1	22,8	30,2	0,76
63	Chong e Matlock (1974)	23	12,7	1,55	511	3,00	2	54,7	60,3	0,91
64	Chong e Matlock (1974)	11	12,7	0,94	406	2,65	1	17,7	12,8	1,38

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
65	Yu e Mosby (1978)	B-1-15-1-O-SS	6,4	0,91	337	3,00	1	6,9	5,9	1,17
66	Yu e Mosby (1978)	B-1-15-2-O-SS	6,4	0,91	337	3,00	1	6,9	5,9	1,17
67	Yu e Mosby (1978)	B-1-15-3-L-SS	6,4	0,91	337	3,00	1	8,0	5,9	1,36
68	Yu e Mosby (1978)	B-1-15-4-L-SS	6,4	0,91	337	3,00	1	7,4	5,9	1,26
69	Yu e Mosby (1978)	B-1-15-5-H-SS	6,4	0,91	337	3,00	1	8,1	5,9	1,39
70	Yu e Mosby (1978)	B-1-15-6-H-SS	6,4	0,91	337	3,00	1	8,2	5,9	1,40
71	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-1-O-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	40,0	39,6	1,01
72	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-2-O-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	41,3	39,6	1,04
73	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-4-L-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	47,8	39,6	1,21
74	Yu e Mosby (1978)	B-1-35-1-O-SS	6,4	0,79	514	3,00	1	8,4	7,7	1,09
75	Yu e Mosby (1978)	B-1-35-2-O-SS	6,4	0,79	514	3,00	1	8,9	7,7	1,15
76	Yu e Mosby (1978)	B-1-35-3-L-SS	6,4	0,79	514	3,00	1	9,1	7,7	1,18
77	Yu e Mosby (1978)	B-1-35-4-L-SS	6,4	0,79	514	3,00	1	8,1	7,7	1,06
78	Yu e Mosby (1978)	B-1-35-5-H-SS	6,4	0,79	514	3,00	1	9,2	7,7	1,20
79	Yu e Mosby (1978)	B-1-35-6-H-SS	6,4	0,79	514	3,00	1	9,0	7,7	1,17
80	Yu e Mosby (1978)	B-1-44-1-O-SS	19,1	1,80	478	2,94	1	49,4	48,3	1,02
81	Yu e Mosby (1978)	B-1-44-3-O-SS	19,1	1,80	478	2,94	1	54,3	48,3	1,12
82	Yu e Mosby (1978)	B-1-16-1-0-SS	12,7	0,91	337	2,61	1	15,0	10,2	1,47
83	Yu e Mosby (1978)	B-1-16-2-0-SS	12,7	0,91	337	2,61	1	14,3	10,2	1,40
84	Yu e Mosby (1978)	B-1-16-3-L-SS	12,7	0,91	337	2,61	1	11,7	10,2	1,15
85	Yu e Mosby (1978)	B-1-16-4-L-SS	12,7	0,91	337	2,61	1	12,5	10,2	1,22
86	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-5-0-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	32,0	39,6	0,81
87	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-6-0-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	31,8	39,6	0,80
88	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-7-L-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	33,6	39,6	0,85
89	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-8-L-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	30,2	39,6	0,76
90	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-9-H-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	38,7	39,6	0,98
91	Yu e Mosby (1978)	B-1-24-10-H-SS	19,1	1,88	370	2,99	1	35,6	39,6	0,90
92	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-1-0-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	11,6	12,3	0,94
93	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-2-0-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	11,1	12,3	0,90
94	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-3-L-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	13,1	12,3	1,07
95	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-4-L-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	13,2	12,3	1,07
96	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-5-0-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	10,5	12,3	0,86
97	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-6-0-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	10,2	12,3	0,83

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AIISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AIISI</sub>
98	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-7-L-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	10,9	12,3	0,89
99	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-8-L-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	10,5	12,3	0,86
100	Yu e Mosby (1978)	B-1-36-10-H-SS	12,7	0,79	514	2,39	1	14,8	12,3	1,20
101	Yu e Mosby (1978)	B-1-43-1-0-SS	12,7	1,80	478	3,00	1	29,3	32,8	0,89
102	Yu e Mosby (1978)	B-1-44-4-L-SS	19,1	1,80	478	2,94	1	51,4	48,3	1,06
103	Yu e Mosby (1978)	B-1-44-5-0-SS	19,1	1,80	478	2,94	1	36,7	48,3	0,76
104	Yu e Mosby (1978)	B-1-44-8-L-SS	19,1	1,80	478	2,94	1	36,3	48,3	0,75
105	Yu e Mosby (1978)	B-1-44-9-H-SS	19,1	1,80	478	2,94	1	37,8	48,3	0,78
106	Macadam (1990)	B-1-8-3-1-SS	9,5	0,64	358	2,50	1	6,1	5,4	1,12
107	Macadam (1990)	B-1-3-3-T-SS	9,5	0,64	358	2,50	1	5,4	5,4	1,00
108	Macadam (1990)	B-1-9-1-T-SS	9,5	0,61	358	2,44	1	6,4	5,1	1,26
109	Macadam (1990)	B-1-9-2-T-SS	9,5	0,61	358	2,44	1	5,5	5,1	1,09
110	Macadam (1990)	B-1-9-3-T-SS	9,5	0,61	358	2,44	1	7,6	5,1	1,50
111	Macadam (1990)	1W	12,7	0,89	327	2,57	1	10,7	9,5	1,13
112	Macadam (1990)	2W	9,5	0,89	327	2,93	1	8,1	8,1	1,00
113	Macadam (1990)	3W	12,7	2,74	327	3,00	1	32,2	34,2	0,94
114	Macadam (1990)	4W	15,9	2,74	327	3,00	1	41,4	42,7	0,97
115	Rogers e Hancock (1998)	080-G550-B1-48X75-M12-ILc	12,0	0,79	668	2,48	1	18,1	15,6	1,16
116	Rogers e Hancock (1998)	080-G550-B1-48X75-M12-ITc	12,0	0,79	728	2,48	1	17,9	17,0	1,05
117	Rogers e Hancock (1998)	080-G550-B1-48X75-M12-IDc	12,0	0,79	675	2,48	1	17,7	15,8	1,12
118	Rogers e Hancock (1998)	100-G550-B1-48X75-M12-ILc	12,0	0,99	636	2,79	1	22,9	21,1	1,09
119	Rogers e Hancock (1998)	100-G550-B1-48X75-M12-ITc	12,0	0,99	698	2,79	1	22,4	23,1	0,97
120	Rogers e Hancock (1998)	100-G550-B1-48X75-M12-IDc	12,0	0,99	652	2,79	1	18,7	21,6	0,86
121	Rogers e Hancock (1998)	080-G300-B1-48X75-M12-ILc	12,0	0,79	410	2,48	1	14,2	9,6	1,48
122	Rogers e Hancock (1998)	080-G300-B1-48X75-M12-ITc	12,0	0,79	413	2,48	1	13,6	9,7	1,41
123	Rogers e Hancock (1998)	080-G300-B1-48X75-M12-IDc	12,0	0,79	422	2,48	1	14,5	9,9	1,47
124	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-36x75-M12-CL	12,0	0,41	719	1,80	1	6,0	6,3	0,95
125	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-36x75-M12-IL	12,0	0,41	719	1,80	1	7,4	6,3	1,17
126	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-48x75-M12-CL	12,0	0,41	719	1,80	1	7,3	6,3	1,15
127	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-48x75-M12-IL	12,0	0,41	719	1,80	1	7,7	6,3	1,23
128	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-60x75-M12-CL	12,0	0,41	719	1,80	1	6,6	6,3	1,04
129	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-60x75-M12-IL	12,0	0,41	719	1,80	1	7,4	6,3	1,18
130	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-36x75-M12-CT	12,0	0,41	817	1,80	1	6,3	7,2	0,88

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AIISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AIISI</sub>
131	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-36x75-M12-IT	12,0	0,41	817	1,80	1	7,7	7,2	1,08
132	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-48x75-M12-CT	12,0	0,41	817	1,80	1	7,8	7,2	1,09
133	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-48x75-M12-IT	12,0	0,41	817	1,80	1	7,9	7,2	1,11
134	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-60x75-M12-CT	12,0	0,41	817	1,80	1	6,7	7,2	0,94
135	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-60x75-M12-IT	12,0	0,41	817	1,80	1	7,1	7,2	0,99
136	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-36x75-M12-CD	12,0	0,41	731	1,80	1	7,7	6,4	1,19
137	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-36x75-M12-ID	12,0	0,41	731	1,80	1	6,5	6,4	1,02
138	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-48x75-M12-CD	12,0	0,41	731	1,80	1	7,2	6,4	1,12
139	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-48x75-M12-ID	12,0	0,41	731	1,80	1	7,2	6,4	1,12
140	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-60x75-M12-CD	12,0	0,41	731	1,80	1	5,7	6,4	0,89
141	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1-60x75-M12-ID	12,0	0,41	731	1,80	1	7,4	6,4	1,15
142	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-36x75-M12-IL	12,0	0,58	703	1,95	1	10,0	9,6	1,04
143	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-48x75-M12-IL	12,0	0,58	703	1,95	1	9,8	9,6	1,02
144	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-60x75-M12-IL	12,0	0,58	703	1,95	1	11,1	9,6	1,16
145	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-36x75-M12-IT	12,0	0,58	785	1,95	1	10,1	10,7	0,94
146	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-48x75-M12-IT	12,0	0,58	785	1,95	1	11,0	10,7	1,03
147	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-60x75-M12-IT	12,0	0,58	785	1,95	1	9,5	10,7	0,89
148	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-36x75-M12-ID	12,0	0,58	707	1,95	1	10,5	9,6	1,09
149	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-48x75-M12-ID	12,0	0,58	707	1,95	1	9,7	9,6	1,00
150	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1-60x75-M12-ID	12,0	0,58	707	1,95	1	9,2	9,6	0,96
151	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-36x75-M12-IL	12,0	0,58	431	1,95	1	6,2	5,9	1,05
152	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-48x75-M12-IL	12,0	0,58	431	1,95	1	6,4	5,9	1,08
153	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-60x75-M12-IL	12,0	0,58	431	1,95	1	6,4	5,9	1,09
154	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-36x75-M12-IT	12,0	0,58	428	1,95	1	6,0	5,8	1,04
155	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-48x75-M12-IT	12,0	0,58	428	1,95	1	6,2	5,8	1,06
156	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-60x75-M12-IT	12,0	0,58	428	1,95	1	6,3	5,8	1,07
157	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-36x75-M12-ID	12,0	0,58	437	1,95	1	6,6	6,0	1,11
158	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-48x75-M12-ID	12,0	0,58	437	1,95	1	6,7	6,0	1,12
159	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1-60x75-M12-ID	12,0	0,58	437	1,95	1	6,5	6,0	1,09
160	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-CL	12,0	0,41	719	1,80	1	6,5	6,3	1,03
161	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-IL	12,0	0,41	719	1,80	1	7,5	6,3	1,19
162	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-CL	12,0	0,41	719	1,80	1	7,4	6,3	1,17
163	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-IL	12,0	0,41	719	1,80	1	7,6	6,3	1,20

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
164	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-CT	12,0	0,41	817	1,80	1	6,5	7,2	0,91
165	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-IT	12,0	0,41	817	1,80	1	7,7	7,2	1,08
166	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-CT	12,0	0,41	817	1,80	1	6,8	7,2	0,94
167	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-IT	12,0	0,41	817	1,80	1	7,2	7,2	1,00
168	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-CD	12,0	0,41	731	1,80	1	6,4	6,4	1,01
169	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-ID	12,0	0,41	731	1,80	1	6,9	6,4	1,08
170	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-CD	12,0	0,41	731	1,80	1	7,0	6,4	1,09
171	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-ID	12,0	0,41	731	1,80	1	7,0	6,4	1,09
172	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-IL	12,0	0,58	703	1,95	1	11,5	9,6	1,20
173	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-IL	12,0	0,58	703	1,95	1	10,9	9,6	1,14
174	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-IT	12,0	0,58	785	1,95	1	11,2	10,7	1,05
175	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-IT	12,0	0,58	785	1,95	1	10,7	10,7	1,00
176	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-36x75-M12-ID	12,0	0,58	707	1,95	1	9,7	9,6	1,01
177	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B1W-48x75-M12-ID	12,0	0,58	707	1,95	1	12,1	9,6	1,25
178	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1W-36x75-M12-IL	12,0	0,58	431	1,95	1	7,3	5,9	1,25
179	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1W-48x75-M12-IL	12,0	0,58	431	1,95	1	9,1	5,9	1,54
180	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1W-36x75-M12-IT	12,0	0,58	428	1,95	1	7,8	5,8	1,34
181	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1W-48x75-M12-IT	12,0	0,58	428	1,95	1	9,0	5,8	1,55
182	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1W-36x75-M12-ID	12,0	0,58	437	1,95	1	8,6	6,0	1,45
183	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B1W-48x75-M12-ID	12,0	0,58	437	1,95	1	9,6	6,0	1,61
184	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1W-36x75-M12-IT-E4	12,0	0,58	785	1,95	1	10,1	10,7	0,94
185	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1W-48x75-M12-IT-E6	12,0	0,58	785	1,95	1	10,6	10,7	0,99
186	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1W-36x75-M12-ID-E4	12,0	0,58	707	1,95	1	9,9	9,6	1,02
187	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B1W-48x75-M12-ID-E6	12,0	0,58	707	1,95	1	11,6	9,6	1,20
188	Rogers e Hancock (1998)	080-G550-B2-48x95-M12-ILc	12,0	0,79	668	2,48	2	32,0	31,2	1,02
189	Rogers e Hancock (1998)	080-G550-B2-48x95-M12-ITc	12,0	0,79	728	2,48	2	31,3	34,1	0,92
190	Rogers e Hancock (1998)	080-G550-B2-48x95-M12-IDc	12,0	0,79	675	2,48	2	28,6	31,6	0,91
191	Rogers e Hancock (1998)	100-G550-B2-48x95-M12-ILc	12,0	0,99	636	2,79	2	39,0	42,1	0,93
192	Rogers e Hancock (1998)	100-G550-B2-48x95-M12-ITc	12,0	0,99	698	2,79	2	35,3	46,2	0,76
193	Rogers e Hancock (1998)	100-G550-B2-48x95-M12-IDc	12,0	0,99	652	2,79	2	41,3	43,2	0,96
194	Rogers e Hancock (1998)	080-G300-B2-48x95-M12-ILc	12,0	0,79	410	2,48	2	22,4	19,2	1,17
195	Rogers e Hancock (1998)	080-G300-B2-48x95-M12-ITc	12,0	0,79	413	2,48	2	21,2	19,3	1,10
196	Rogers e Hancock (1998)	080-G300-B2-48x95-M12-IDc	12,0	0,79	422	2,48	2	23,2	19,7	1,18

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AIISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AIISI</sub>
197	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x75-M12-CL	12,0	0,41	719	1,80	2	13,0	12,6	1,03
198	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x75-M12-IL	12,0	0,41	719	1,80	2	13,5	12,6	1,07
199	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x95-M12-CL	12,0	0,41	719	1,80	2	13,5	12,6	1,07
200	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x95-M12-IL	12,0	0,41	719	1,80	2	13,7	12,6	1,09
201	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x75-M12-CT	12,0	0,41	817	1,80	2	12,6	14,3	0,88
202	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x75-M12-IT	12,0	0,41	817	1,80	2	15,3	14,3	1,07
203	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x95-M12-CT	12,0	0,41	817	1,80	2	13,6	14,3	0,95
204	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x95-M12-IT	12,0	0,41	817	1,80	2	14,4	14,3	1,01
205	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x75-M12-CD	12,0	0,41	731	1,80	2	12,5	12,8	0,98
206	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x75-M12-ID	12,0	0,41	731	1,80	2	13,4	12,8	1,04
207	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x95-M12-CD	12,0	0,41	731	1,80	2	11,1	12,8	0,87
208	Rogers e Hancock (1998)	042-G550-B2-48x95-M12-ID	12,0	0,41	731	1,80	2	13,0	12,8	1,01
209	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x75-M12-ILc	12,0	0,58	703	1,95	2	20,4	19,2	1,06
210	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x95-M12-ILc	12,0	0,58	703	1,95	2	23,0	19,2	1,20
211	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x75-M12-IL-E10c	12,0	0,58	703	1,95	2	22,1	19,2	1,15
212	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x75-M12-ITc	12,0	0,58	785	1,95	2	22,1	21,4	1,03
213	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x95-M12-ITc	12,0	0,58	785	1,95	2	22,3	21,4	1,04
214	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x75-M12-IT-E15c	12,0	0,58	785	1,95	2	21,9	21,4	1,02
215	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x75-M12-IDc	12,0	0,58	707	1,95	2	22,1	19,3	1,15
216	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x95-M12-IDc	12,0	0,58	707	1,95	2	21,0	19,3	1,09
217	Rogers e Hancock (1998)	060-G550-B2-48x75-M12-ID-E20c	12,0	0,58	707	1,95	2	23,0	19,3	1,19
218	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B2-48x95-M12-ILc	12,0	0,58	431	1,95	2	15,4	11,8	1,31
219	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B2-48x95-M12-ITc	12,0	0,58	428	1,95	2	15,4	11,7	1,32
220	Rogers e Hancock (1998)	060-G300-B2-48x95-M12-IDc	12,0	0,58	437	1,95	2	16,1	11,9	1,35
221	Yu (1982)	-----	12,7	1,30	345	3,00	1	18,0	17,0	1,06
222	Yu (1982)	-----	12,7	1,30	345	3,00	1	18,8	17,0	1,10
223	Yu (1982)	-----	12,7	1,55	511	3,00	1	27,4	30,2	0,91
224	Yu (1982)	-----	12,7	0,94	406	2,65	1	16,5	12,8	1,28
225	Yu (1982)	-----	12,7	0,94	406	2,65	1	16,3	12,8	1,27
226	Yu (1982)	-----	8,5	0,94	406	3,00	1	10,1	9,7	1,04
227	Yu (1982)	-----	8,5	0,94	406	3,00	1	10,5	9,7	1,08
228	Yu (1982)	-----	12,7	0,94	406	2,65	1	17,1	12,8	1,33
229	Yu (1982)	-----	12,7	0,94	406	2,65	1	17,7	12,8	1,38

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
230	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-50	6,4	0,64	361	3,00	1	8,7	8,7	1,00
231	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-50	6,4	0,64	361	3,00	1	8,4	8,7	0,96
232	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-50	6,4	0,64	361	3,00	1	8,2	8,7	0,94
233	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-40	6,4	0,64	361	3,00	1	8,1	8,7	0,93
234	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-40	6,4	0,64	361	3,00	1	10,0	8,7	1,15
235	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-40	6,4	0,64	361	3,00	1	9,7	8,7	1,11
236	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-30	6,4	0,64	361	3,00	1	8,2	8,7	0,94
237	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-30	6,4	0,64	361	3,00	1	8,3	8,7	0,95
238	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-30	6,4	0,64	361	3,00	1	10,4	8,7	1,19
239	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-20	6,4	0,64	361	3,00	1	8,5	8,7	0,97
240	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-20	6,4	0,64	361	3,00	1	9,0	8,7	1,03
241	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-20	6,4	0,64	361	3,00	1	8,6	8,7	0,98
242	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-20-t5	6,4	0,64	361	3,00	1	9,1	8,7	1,04
243	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-20-t5	6,4	0,64	361	3,00	1	8,5	8,7	0,97
244	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-20-t5	6,4	0,64	361	3,00	1	8,4	8,7	0,96
245	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-20-t15	6,4	0,64	361	3,00	1	8,8	8,7	1,01
246	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-20-t15	6,4	0,64	361	3,00	1	10,2	8,7	1,17
247	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-20-t15	6,4	0,64	361	3,00	1	9,3	8,7	1,06
248	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-30-50	6,4	0,64	361	3,00	2	18,3	17,5	1,05
249	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-30-50	6,4	0,64	361	3,00	2	18,5	17,5	1,06
250	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-30-50	6,4	0,64	361	3,00	2	18,6	17,5	1,07
251	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-30-40	6,4	0,64	361	3,00	2	18,5	17,5	1,06
252	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-30-40	6,4	0,64	361	3,00	2	18,9	17,5	1,08
253	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-30-40	6,4	0,64	361	3,00	2	18,3	17,5	1,05
254	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-30-30	6,4	0,64	361	3,00	2	18,1	17,5	1,03
255	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-30-30	6,4	0,64	361	3,00	2	19,1	17,5	1,09
256	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-30-30	6,4	0,64	361	3,00	2	18,9	17,5	1,08
257	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-40-5/8	9,5	0,64	361	2,50	1	9,7	10,9	0,88
258	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-40-5/8	9,5	0,64	361	2,50	1	9,6	10,9	0,88
259	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-40-5/8	9,5	0,64	361	2,50	1	10,1	10,9	0,93
260	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-30-5/16	8,0	0,64	361	2,75	1	8,3	10,0	0,83
261	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-30-5/16	8,0	0,64	361	2,75	1	10,5	10,0	1,05
262	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-30-5/16	8,0	0,64	361	2,75	1	10,6	10,0	1,06

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
263	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-ss-5/16	8,0	0,64	382	2,75	1	4,8	5,3	0,90
264	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-ss-5/16	8,0	0,64	382	2,75	1	5,2	5,3	0,98
265	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-ss-5/16	8,0	0,64	382	2,75	1	4,8	5,3	0,90
266	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-sst-5/16	8,0	1,37	361	3,00	1	14,6	11,8	1,24
267	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-sst-5/16	8,0	1,37	361	3,00	1	12,5	11,8	1,06
268	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-sst-5/16	8,0	1,37	361	3,00	1	12,4	11,8	1,05
269	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-sst-1/4	6,4	1,37	361	3,00	1	12,2	9,4	1,29
270	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-sst-1/4	6,4	1,37	361	3,00	1	12,2	9,4	1,29
271	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-sst-1/4	6,4	1,37	361	3,00	1	11,9	9,4	1,26
272	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-mix-1/4	6,4	0,64	361	3,00	1	4,8	4,4	1,09
273	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-mix-1/4	6,4	0,64	361	3,00	1	4,5	4,4	1,04
274	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-mix-1/4	6,4	0,64	361	3,00	1	4,2	4,4	0,97
275	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-ss-1/4	6,4	0,64	382	3,00	1	4,5	4,6	0,97
276	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-ss-1/4	6,4	0,64	382	3,00	1	4,0	4,6	0,88
277	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-ss-1/4	6,4	0,64	382	3,00	1	4,5	4,6	0,98
278	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-50-1/2	12,7	0,64	361	2,00	1	14,7	11,7	1,26
279	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-50-1/2	12,7	0,64	361	2,00	1	15,2	11,7	1,31
280	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-50-1/2	12,7	0,64	361	2,00	1	12,8	11,7	1,10
281	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-ss-1/2	12,7	0,64	361	2,00	1	6,3	5,8	1,08
282	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-ss-1/2	12,7	0,64	361	2,00	1	6,4	5,8	1,09
283	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-ss-1/2	12,7	0,64	361	2,00	1	6,0	5,8	1,03
284	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-50-5/8	15,9	0,64	361	1,80	1	13,9	13,1	1,06
285	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-50-5/8	15,9	0,64	361	1,80	1	14,0	13,1	1,07
286	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-50-5/8	15,9	0,64	361	1,80	1	13,7	13,1	1,05
287	Wallace <i>et al.</i> (2000)	1-ww-ss-5/8	15,9	0,64	361	1,80	1	6,7	6,6	1,02
288	Wallace <i>et al.</i> (2000)	2-ww-ss-5/8	15,9	0,64	361	1,80	1	7,1	6,6	1,08
289	Wallace <i>et al.</i> (2000)	3-ww-ss-5/8	15,9	0,64	361	1,80	1	6,5	6,6	1,00

**Tabela D.6 - Esmagamento sem a consideração da deformação do furo - Cisalhamento simples de ligações sujeitas ao corte duplo sem arruelas (chapas)**

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
1	Carril (1994)	an32-1	12,70	3,00	365	3,00	1	36,0	31,3	1,15
2	Carril (1994)	an32-2	12,70	2,95	365	3,00	1	36,5	30,8	1,19
3	Carril (1994)	an33-1	12,70	3,00	365	3,00	1	40,0	31,3	1,28
4	Carril (1994)	an33-2	12,70	3,05	365	3,00	1	39,8	31,8	1,25
5	Carril (1994)	bn33-1	12,70	3,02	365	3,00	2	64,9	63,1	1,03
6	Carril (1994)	bn33-2	12,70	3,02	365	3,00	2	64,0	63,1	1,01
7	Carril (1994)	dn12-2	12,70	1,09	385	2,84	2	21,1	22,7	0,93
8	Carril (1994)	dn12-3	12,70	1,07	385	2,81	2	21,1	22,0	0,96
9	Carril (1994)	dn22-1	12,70	1,78	362	3,00	2	37,5	36,8	1,02
10	Carril (1994)	dn22-2	12,70	1,80	362	3,00	2	37,8	37,3	1,01
11	Carril (1994)	bn32-1	12,70	3,00	365	3,00	2	64,3	62,6	1,03
12	Carril (1994)	bn32-2	12,70	2,97	365	3,00	2	65,3	62,1	1,05
13	Carril (1994)	dn32-1	12,70	3,05	365	3,00	2	70,1	63,7	1,10
14	Carril (1994)	dn32-2	12,70	3,00	365	3,00	2	71,5	62,6	1,14
15	Carril (1994)	en12-1	12,70	1,09	385	2,84	4	38,5	45,4	0,85
16	Carril (1994)	en12-2	12,70	1,09	385	2,84	4	38,7	45,4	0,85
17	Carril (1994)	en22-1	12,70	1,80	362	3,00	4	70,1	74,6	0,94
18	Carril (1994)	en22-2	12,70	1,83	362	3,00	4	70,0	75,7	0,93
19	Carril (1994)	en32-1	12,70	3,00	365	3,00	4	128,2	125,2	1,02
20	Carril (1994)	en32-2	12,70	2,97	365	3,00	4	129,0	124,1	1,04
21	Chong e Matlock (1974)	24	12,70	0,94	406	2,65	1	10,9	9,6	1,14
22	Chong e Matlock (1974)	25	7,95	0,94	406	3,00	1	8,1	6,8	1,19
23	Chong e Matlock (1974)	26	7,95	0,94	406	3,00	1	7,1	6,8	1,04
24	Chong e Matlock (1974)	29	12,70	0,94	406	2,65	1	10,6	9,6	1,10
25	Chong e Matlock (1974)	32	12,70	0,94	406	2,65	1	10,1	9,6	1,04
26	Chong e Matlock (1974)	34	12,70	0,94	406	2,65	1	10,3	9,6	1,07
27	Chong e Matlock (1974)	36	12,70	0,94	406	2,65	1	10,5	9,6	1,09
28	Chong e Matlock (1974)	55	12,70	1,30	345	3,00	1	12,9	12,8	1,01
29	Chong e Matlock (1974)	56	12,70	1,30	345	3,00	1	13,3	12,8	1,04
30	Chong e Matlock (1974)	57	12,70	1,30	345	3,00	1	13,1	12,8	1,02
31	Chong e Matlock (1974)	75	19,05	2,01	454	3,00	1	38,3	39,1	0,98

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
32	Chong e Matlock (1974)	76	19,05	2,01	454	3,00	1	36,3	39,1	0,93
33	Chong e Matlock (1974)	77	19,05	2,01	454	3,00	1	40,8	39,1	1,04
34	Chong e Matlock (1974)	78	19,05	2,64	487	3,00	1	55,6	55,1	1,01
35	Chong e Matlock (1974)	60	12,70	1,30	345	3,00	2	24,8	25,6	0,97
36	Chong e Matlock (1974)	63	12,70	1,30	511	3,00	2	39,9	37,8	1,06
37	Chong e Matlock (1974)	58	7,95	1,30	345	3,00	3	23,3	24,0	0,97
38	Chong e Matlock (1974)	59	7,95	1,30	345	3,00	3	24,0	24,0	1,00
39	Chong e Matlock (1974)	52	12,70	0,94	406	2,65	2	19,2	19,3	1,00
40	Chong e Matlock (1974)	66	12,70	0,94	511	2,65	3	58,3	36,3	1,60
41	Chong e Matlock (1974)	67	12,70	0,94	511	2,65	3	60,1	36,3	1,65
42	Yu e Mosby (1978)	B-0-32-9-H-SS	6,35	0,38	557	2,33	1	3,6	2,4	1,53
43	Yu e Mosby (1978)	B-0-32-9-H-SS	6,35	0,38	557	2,33	1	2,9	2,4	1,23
44	Macadam (1990)	B-0-7-1-T-SS	12,70	1,17	384	2,91	1	12,7	12,5	1,02
45	Macadam (1990)	B-0-7-2-T-SS	12,70	1,17	384	2,91	1	14,2	12,5	1,14
46	Macadam (1990)	B-0-7-3-T-SS	12,70	1,19	384	2,94	1	20,1	12,8	1,56
47	Macadam (1990)	B-0-7-4-T-SS	12,70	1,19	384	2,94	1	17,2	12,8	1,34
48	Macadam (1990)	1	12,70	0,89	330	2,57	1	5,9	7,2	0,82
49	Macadam (1990)	2	9,53	0,89	330	2,93	1	4,4	6,1	0,71
50	Macadam (1990)	3	12,70	2,74	327	3,00	1	17,2	25,6	0,67
51	Macadam (1990)	4	15,88	2,74	327	3,00	1	22,2	32,0	0,69
52	Yu (1982)	C-M/17-1	12,70	1,30	345	3,00	1	12,9	12,8	1,01
53	Yu (1982)	C-M/17-2	12,70	1,30	345	3,00	1	13,3	12,8	1,04
54	Yu (1982)	C-M/17-3	12,70	1,30	345	3,00	1	13,1	12,8	1,02
55	Yu (1982)	C-M/17-4	7,95	1,30	345	3,00	1	7,8	8,0	0,97
56	Yu (1982)	C-M/17-5	7,95	1,30	345	3,00	1	8,0	8,0	1,00
57	Yu (1982)	C-M/17-6	12,70	1,30	345	3,00	1	12,4	12,8	0,97
58	Yu (1982)	C-M/16-7	12,70	1,55	511	3,00	1	20,0	22,6	0,88
59	Yu (1982)	C-M/14-8	19,05	2,01	454	3,00	1	38,3	39,1	0,98
60	Yu (1982)	C-M/14-9	19,05	2,01	454	3,00	1	36,3	39,1	0,93
61	Yu (1982)	C-M/14-10	19,05	2,01	454	3,00	1	40,8	39,1	1,04
62	Yu (1982)	C-M/12-11	19,05	2,64	487	3,00	1	55,6	55,1	1,01
63	Yu (1982)	C-M/17-12	12,70	1,30	345	3,00	1	12,7	12,8	0,99
64	Yu (1982)	C-M/17-13	12,70	1,30	345	3,00	1	12,9	12,8	1,01

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
65	Wallace (2000)	1-wo-50	6,35	0,64	382	3,00	2	6,3	6,9	0,90
66	Wallace (2000)	2-wo-50	6,35	0,64	382	3,00	2	6,9	6,9	1,00
67	Wallace (2000)	3-wo-50	6,35	0,64	382	3,00	2	6,5	6,9	0,94
68	Wallace (2000)	1-wo-40	6,35	0,64	382	3,00	2	6,6	6,9	0,96
69	Wallace (2000)	2-wo-40	6,35	0,64	382	3,00	2	6,1	6,9	0,89
70	Wallace (2000)	3-wo-40	6,35	0,64	382	3,00	2	6,7	6,9	0,97
71	Wallace (2000)	1-wo-30	6,35	0,64	382	3,00	2	6,4	6,9	0,92
72	Wallace (2000)	2-wo-30	6,35	0,64	382	3,00	2	6,4	6,9	0,92
73	Wallace (2000)	3-wo-50	6,35	0,64	382	3,00	2	6,2	6,9	0,90
74	Wallace (2000)	1-wo-20	6,35	0,64	382	3,00	2	5,9	6,9	0,85
75	Wallace (2000)	2-wo-20	6,35	0,64	382	3,00	2	6,2	6,9	0,89
76	Wallace (2000)	3-wo-20	6,35	0,64	382	3,00	2	6,6	6,9	0,95
77	Wallace (2000)	1-wo-20-t5	6,35	0,64	382	3,00	2	7,3	6,9	1,05
78	Wallace (2000)	2-wo-20-t5	6,35	0,64	382	3,00	2	6,6	6,9	0,96
79	Wallace (2000)	3-wo-20-t5	6,35	0,64	382	3,00	2	6,4	6,9	0,93
80	Wallace (2000)	1-wo-20-t15	6,35	0,64	382	3,00	2	7,1	6,9	1,03
81	Wallace (2000)	2-wo-20-t15	6,35	0,64	382	3,00	2	6,5	6,9	0,94
82	Wallace (2000)	3-wo-20-t15	6,35	0,64	382	3,00	2	7,7	6,9	1,11
83	Wallace (2000)	1-wo-30-50	6,35	0,64	382	3,00	4	14,5	13,9	1,04
84	Wallace (2000)	2-wo-30-50	6,35	0,64	382	3,00	4	15,3	13,9	1,10
85	Wallace (2000)	3-wo-30-50	6,35	0,64	382	3,00	4	14,1	13,9	1,02
86	Wallace (2000)	1-wo-30-40	6,35	0,64	382	3,00	4	14,1	13,9	1,02
87	Wallace (2000)	2-wo-30-40	6,35	0,64	382	3,00	4	14,5	13,9	1,05
88	Wallace (2000)	3-wo-30-40	6,35	0,64	382	3,00	4	14,2	13,9	1,02
89	Wallace (2000)	1-wo-30-30	6,35	0,64	382	3,00	4	15,1	13,9	1,09
90	Wallace (2000)	2-wo-30-30	6,35	0,64	382	3,00	4	15,3	13,9	1,11
91	Wallace (2000)	3-wo-30-30	6,35	0,64	382	3,00	4	14,0	13,9	1,01
92	Wallace (2000)	1-wo-40-5/8	9,53	0,64	382	2,50	2	7,3	8,7	0,84
93	Wallace (2000)	2-wo-40-5/8	9,53	0,64	382	2,50	2	7,5	8,7	0,87
94	Wallace (2000)	3-wo-40-5/8	9,53	0,64	382	2,50	2	7,7	8,7	0,88
95	Wallace (2000)	1-wo-30-5/16	7,95	0,64	382	2,75	2	7,8	7,9	0,98
96	Wallace (2000)	2-wo-30-5/16	7,95	0,64	382	2,75	2	6,6	7,9	0,83
97	Wallace (2000)	3-wo-30-5/16	7,95	0,64	382	2,75	2	7,0	7,9	0,88

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
98	Wallace (2000)	1-wo-ss-5/16	7,95	0,64	382	2,75	1	3,2	4,0	0,82
99	Wallace (2000)	2-wo-ss-5/16	7,95	0,64	382	2,75	1	3,2	4,0	0,82
100	Wallace (2000)	3-wo-ss-5/16	7,95	0,64	382	2,75	1	3,4	4,0	0,85
101	Wallace (2000)	1-wo-sst-5/16	7,95	1,37	382	3,00	1	9,1	9,4	0,97
102	Wallace (2000)	2-wo-sst-5/16	7,95	1,37	382	3,00	1	8,5	9,4	0,91
103	Wallace (2000)	3-wo-sst-5/16	7,95	1,37	382	3,00	1	8,3	9,4	0,88
104	Wallace (2000)	1-wo-sst-1/4	6,35	1,37	382	3,00	1	9,2	7,5	1,22
105	Wallace (2000)	2-wo-sst-1/4	6,35	1,37	382	3,00	1	8,9	7,5	1,19
106	Wallace (2000)	3-wo-sst-1/4	6,35	1,37	382	3,00	1	9,0	7,5	1,21
107	Wallace (2000)	1-wo-mix-1/4	6,35	0,64	382	3,00	1	3,5	3,5	1,01
108	Wallace (2000)	2-wo-mix-1/4	6,35	0,64	382	3,00	1	3,5	3,5	1,00
109	Wallace (2000)	3-wo-mix-1/4	6,35	0,64	382	3,00	1	3,7	3,5	1,08
110	Wallace (2000)	1-wo-ss-1/4	6,35	0,64	382	3,00	1	3,2	3,5	0,94
111	Wallace (2000)	2-wo-ss-1/4	6,35	0,64	382	3,00	1	3,3	3,5	0,95
112	Wallace (2000)	1-wo-50-1/2	12,70	0,64	382	2,00	2	9,8	9,2	1,06
113	Wallace (2000)	2-wo-50-1/2	12,70	0,64	382	2,00	2	9,6	9,2	1,04
114	Wallace (2000)	3-wo-50-1/2	12,70	0,64	382	2,00	2	9,2	9,2	0,99
115	Wallace (2000)	1-wo-ss-1/2	12,70	0,64	382	2,00	1	4,2	4,6	0,91
116	Wallace (2000)	2-wo-ss-1/2	12,70	0,64	382	2,00	1	4,4	4,6	0,96
117	Wallace (2000)	3-wo-ss-1/2	12,70	0,64	382	2,00	1	4,0	4,6	0,87
118	Wallace (2000)	1-wo-50-5/8	15,88	0,64	382	1,80	2	10,3	10,4	0,99
119	Wallace (2000)	2-wo-50-5/8	15,88	0,64	382	1,80	2	10,3	10,4	0,99
120	Wallace (2000)	3-wo-50-5/8	15,88	0,64	382	1,80	2	10,3	10,4	0,99
121	Wallace (2000)	1-wo-ss-5/8	15,88	0,64	382	1,80	1	5,5	5,2	1,05
122	Wallace (2000)	2-wo-ss-5/8	15,88	0,64	382	1,80	1	5,4	5,2	1,04
123	Wallace (2000)	3-wo-ss-5/8	15,88	0,64	382	1,80	1	5,4	5,2	1,04

**Tabela D.7 - Esmagamento sem a consideração da deformação do furo - Chapas internas de ligações sujeitas ao corte duplo com ou sem arruelas**

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
1	Relat. 5 UC (1954)	20A41DS	6,35	0,91	289	3,00	1	8,3	6,7	1,24
2	Relat. 5 UC (1954)	16C403DS	12,70	1,50	303	3,00	1	29,4	23,0	1,28
3	Relat. 5 UC (1954)	16C503DS	12,70	1,50	303	3,00	1	32,0	23,0	1,39
4	Relat. 6 U.C. (1954)	14E35DS	19,05	1,98	485	3,00	1	63,3	73,1	0,87
5	Relat. 6 U.C. (1954)	10E36DS	25,40	3,63	496	3,00	1	126,8	182,5	0,69
6	Relat. 6 U.C. (1954)	10E46DS	25,40	3,63	496	3,00	1	128,2	182,5	0,70
7	Dhalla (1971)	16FAX-L15	12,70	1,57	316	3,00	1	22,3	25,3	0,88
8	Dhalla (1971)	16FAX-L17	12,70	1,57	316	3,00	1	18,8	25,3	0,74
9	Dhalla (1971)	12FAX-L20	12,70	2,69	304	3,00	1	37,5	41,5	0,91
10	Dhalla (1971)	12FAX-L21	12,70	2,69	304	3,00	1	42,1	41,5	1,01
11	Dhalla (1971)	1205X-L7	19,05	2,69	563	3,00	1	89,1	115,1	0,77
12	Dhalla (1971)	1205X-L8	19,05	2,69	563	3,00	1	83,4	115,1	0,72
13	Dhalla (1971)	1205X-L9	22,23	2,69	563	3,00	1	99,9	134,3	0,74
14	Dhalla (1971)	7Y-L32	15,88	4,65	563	3,00	1	125,7	165,6	0,76
15	McKinney <i>et al.</i> (1975)	DS1-1	22,23	2,95	341	3,00	1	73,0	89,0	0,82
16	McKinney <i>et al.</i> (1975)	DS1-2	22,23	2,95	341	3,00	1	67,2	89,0	0,75
17	McKinney <i>et al.</i> (1975)	DS2-1	25,40	2,92	341	3,00	1	71,2	100,8	0,71
18	McKinney <i>et al.</i> (1975)	DS2-2	25,40	2,95	341	3,00	1	73,8	101,7	0,73
19	McKinney <i>et al.</i> (1975)	DS3-1	22,23	4,60	428	3,00	1	147,9	174,6	0,85
20	McKinney <i>et al.</i> (1975)	DS3-2	22,23	4,57	428	3,00	1	137,4	173,6	0,79
21	McKinney <i>et al.</i> (1975)	DS4-1	25,40	4,62	428	3,00	1	185,5	200,6	0,92
22	McKinney <i>et al.</i> (1975)	DS4-2	25,40	4,60	428	3,00	1	180,2	199,5	0,90
23	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-1-0-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,4	7,8	1,07
24	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-2-0-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,5	7,8	1,08
25	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-3-L-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,5	7,8	1,08
26	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-4-L-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,5	7,8	1,09
27	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-5-0-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,6	7,8	1,10
28	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-6-0-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	9,0	7,8	1,16
29	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-7-L-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	9,7	7,8	1,24
30	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-8-L-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	9,1	7,8	1,17
31	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-9-H-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	10,0	7,8	1,28

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
32	Yu e Mosby (1978)	B-0-21-10-H-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,9	7,8	1,14
33	Yu e Mosby (1978)	B-0-22-1-0-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	11,4	13,6	0,84
34	Yu e Mosby (1978)	B-0-22-2-0-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	11,1	13,6	0,81
35	Yu e Mosby (1978)	B-0-22-3-L-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	12,8	13,6	0,94
36	Yu e Mosby (1978)	B-0-22-4-L-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	10,8	13,6	0,79
37	Yu e Mosby (1978)	B-0-22-7-L-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	12,0	13,6	0,88
38	Yu e Mosby (1978)	B-0-22-8-L-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	12,1	13,6	0,89
39	Yu e Mosby (1978)	B-0-22-9-H-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	11,8	13,6	0,87
40	Yu e Mosby (1978)	B-0-22-10-H-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	12,7	13,6	0,94
41	Yu e Mosby (1978)	B-0-49-1-0-DS	12,70	1,80	478	3,00	1	42,6	43,7	0,98
42	Yu e Mosby (1978)	B-0-49-2-0-DS	12,70	1,80	478	3,00	1	37,4	43,7	0,86
43	Yu e Mosby (1978)	B-0-49-3-L-DS	12,70	1,80	478	3,00	1	39,2	43,7	0,90
44	Yu e Mosby (1978)	B-0-49-4-L-DS	12,70	1,80	478	3,00	1	39,8	43,7	0,91
45	Yu e Mosby (1978)	B-0-49-5-H-DS	12,70	1,80	478	3,00	1	40,9	43,7	0,94
46	Yu e Mosby (1978)	B-0-49-6-H-DS	12,70	1,80	478	3,00	1	42,3	43,7	0,97
47	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-1-0-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	54,5	64,3	0,85
48	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-2-0-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	52,9	64,3	0,82
49	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-3-L-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	55,4	64,3	0,86
50	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-4-L-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	51,8	64,3	0,81
51	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-5-0-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	50,5	64,3	0,79
52	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-6-0-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	48,3	64,3	0,75
53	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-7-L-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	53,4	64,3	0,83
54	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-8-L-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	44,8	64,3	0,70
55	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-9-H-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	62,3	64,3	0,97
56	Yu e Mosby (1978)	B-0-50-10-H-DS	19,05	1,80	478	2,94	1	53,5	64,3	0,83
57	Yu e Mosby (1978)	B-0-53-1-0-DS	19,05	4,67	487	3,00	1	157,9	173,2	0,91
58	Yu e Mosby (1978)	B-0-53-2-0-DS	19,05	4,67	487	3,00	1	155,2	173,2	0,90
59	Yu e Mosby (1978)	B-0-53-3-L-DS	19,05	4,67	487	3,00	1	161,9	173,2	0,94
60	Yu e Mosby (1978)	B-0-53-4-L-DS	19,05	4,67	487	3,00	1	160,8	173,2	0,93
61	Yu e Mosby (1978)	B-0-53-5-H-DS	19,05	4,67	487	3,00	1	160,6	173,2	0,93
62	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-1-O-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,5	7,8	1,09
63	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-2-O-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,1	7,8	1,04
64	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-3-L-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	9,4	7,8	1,21

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
65	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-4-L-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	9,3	7,8	1,19
66	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-5-O-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,7	7,8	1,12
67	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-6-O-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	6,9	7,8	0,88
68	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-7-L-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	8,8	7,8	1,13
69	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-8-L-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	9,7	7,8	1,24
70	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-9-H-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	10,9	7,8	1,39
71	Yu e Mosby (1978)	B-1-19-10-H-DS	6,35	0,91	337	3,00	1	10,4	7,8	1,33
72	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-1-O-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	13,5	13,6	0,99
73	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-2-O-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	13,1	13,6	0,96
74	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-3-L-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	17,2	13,6	1,26
75	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-4-L-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	16,6	13,6	1,22
76	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-5-O-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	12,9	13,6	0,95
77	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-6-O-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	15,0	13,6	1,11
78	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-8-L-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	18,3	13,6	1,34
79	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-9-H-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	19,7	13,6	1,45
80	Yu e Mosby (1978)	B-1-20-10-H-DS	12,70	0,91	337	2,61	1	19,9	13,6	1,46
81	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-1-O-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	32,4	35,3	0,92
82	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-2-O-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	33,3	35,3	0,94
83	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-3-L-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	46,9	35,3	1,33
84	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-4-L-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	45,6	35,3	1,29
85	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-5-O-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	32,0	35,3	0,91
86	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-6-O-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	33,9	35,3	0,96
87	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-7-L-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	47,8	35,3	1,36
88	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-8-L-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	43,4	35,3	1,23
89	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-9-H-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	46,0	35,3	1,31
90	Yu e Mosby (1978)	B-1-27-10-H-DS	12,70	1,88	370	3,00	1	42,9	35,3	1,22
91	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-1-O-DS	19,05	1,88	370	2,99	1	48,3	52,7	0,92
92	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-2-O-DS	19,05	1,88	370	2,99	1	59,2	52,7	1,12
93	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-3-L-DS	19,05	1,88	370	2,99	1	59,8	52,7	1,14
94	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-4-L-DS	19,05	1,88	370	2,99	1	63,6	52,7	1,21
95	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-5-O-DS	19,05	1,88	370	2,99	1	47,8	52,7	0,91
96	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-6-O-DS	19,05	1,88	370	2,99	1	53,2	52,7	1,01
97	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-7-L-DS	19,05	1,88	370	2,99	1	61,6	52,7	1,17

Item	Fonte	CP	d(mm)	t (mm)	f <sub>u</sub> (Mpa)	C	n <sub>par</sub>	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>AISI</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>AISI</sub>
98	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-8-L-DS	19,1	1,88	370	2,99	1	57,6	52,7	1,09
99	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-9-H-DS	19,1	1,88	370	2,99	1	69,8	52,7	1,33
100	Yu e Mosby (1978)	B-1-28-10-H-DS	19,1	1,88	370	2,99	1	60,7	52,7	1,15
101	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-1-O-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	12,3	16,3	0,75
102	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-2-O-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	12,6	16,3	0,77
103	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-3-L-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	18,1	16,3	1,11
104	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-4-L-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	17,6	16,3	1,08
105	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-5-O-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	12,5	16,3	0,76
106	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-6-O-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	12,6	16,3	0,77
107	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-7-L-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	18,2	16,3	1,12
108	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-8-L-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	18,0	16,3	1,10
109	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-9-H-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	19,9	16,3	1,22
110	Yu e Mosby (1978)	B-1-40-10-H-DS	12,7	0,79	514	2,39	1	20,6	16,3	1,26
111	Yu e Mosby (1978)	B-1-39-1-O-DS	6,4	0,79	514	3,00	1	7,6	10,2	0,74
112	Yu e Mosby (1978)	B-1-39-2-O-DS	6,4	0,79	514	3,00	1	7,8	10,2	0,76
113	Yu e Mosby (1978)	B-1-39-3-L-DS	6,4	0,79	514	3,00	1	11,1	10,2	1,09
114	Yu e Mosby (1978)	B-1-39-4-L-DS	6,4	0,79	514	3,00	1	11,1	10,2	1,08
115	Yu e Mosby (1978)	B-1-39-5-H-DS	6,4	0,79	514	3,00	1	10,7	10,2	1,05
116	Yu e Mosby (1978)	B-1-47-1-O-DS	12,7	1,80	478	3,00	1	44,9	43,7	1,03
117	Yu e Mosby (1978)	B-1-47-2-O-DS	12,7	1,80	478	3,00	1	44,5	43,7	1,02
118	Yu e Mosby (1978)	B-1-47-3-L-DS	12,7	1,80	478	3,00	1	44,9	43,7	1,03
119	Yu e Mosby (1978)	B-1-47-4-L-DS	12,7	1,80	478	3,00	1	47,1	43,7	1,08
120	Yu e Mosby (1978)	B-1-47-5-H-DS	12,7	1,80	478	3,00	1	50,8	43,7	1,16
121	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-1-O-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	52,3	64,3	0,81
122	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-2-O-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	54,9	64,3	0,85
123	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-3-L-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	65,3	64,3	1,02
124	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-4-L-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	63,4	64,3	0,99
125	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-5-O-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	55,4	64,3	0,86
126	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-6-O-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	58,5	64,3	0,91
127	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-7-L-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	57,5	64,3	0,89
128	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-8-L-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	61,6	64,3	0,96
129	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-9-H-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	69,7	64,3	1,09
130	Yu e Mosby (1978)	B-1-48-10-H-DS	19,1	1,80	478	2,94	1	60,1	64,3	0,93

## Anexo E

### Ligações com parafusos auto-atarraxantes

Tabela E.1 - Resistência ao arrancamento do parafuso e resistência ao rasgamento do metal-base (Freitas, 2004)

Item	CP	Telha			Terça			Parafuso		$F_{exp}$ (kN)	$F_{NBR}$ (kN)	$F_{exp}/F_{NBR}^A$	$F_{exp}/P_{NBR}^P$	modo de falha
		$t_1$ (mm)	$f_y$ (MPa)	$f_{u1}$ (MPa)	$t_2$ (mm)	$f_y$ (MPa)	$f_{u2}$ (MPa)	$d$ (mm)	$d_h$ (mm)					
1	5.43.1-I	0,41	296	357	0,85	177	326	5,5	15,0	1,09	1,29	0,85	----	pull-out
2	5.43.2-I	0,41	296	357	2,27	306	427	5,5	15,0	4,36	2,77	----	1,58	pull-over
3	5.43.2-II	0,41	296	357	2,27	306	427	5,5	15,0	3,99	2,77	----	1,44	pull-over
4	5.43.3-PI	0,41	296	357	3,00	342	454	5,5	15,0	3,12	2,77	----	1,13	pull-over
5	5.43.3-PII	0,41	296	357	3,00	342	454	5,5	15,0	3,42	2,77	----	1,24	pull-over
6	5.43.3-I	0,41	296	357	3,00	342	454	5,5	15,0	2,79	2,77	----	1,01	pull-over
7	5.43.3-II	0,41	296	357	3,00	342	454	5,5	15,0	4,12	2,77	----	1,49	pull-over
8	5.65.1-P	0,62	308	389	0,85	177	326	5,5	15,0	1,17	1,29	0,91	----	pull-out
9	5.65.1-I	0,62	308	389	0,85	177	326	5,5	15,0	1,11	1,29	0,86	----	pull-out
10	5.65.1-II	0,62	308	389	0,85	177	326	5,5	15,0	0,89	1,29	0,69	----	pull-out
11	5.65.3-II	0,62	308	389	3,00	342	454	5,5	15,0	3,94	4,62	----	0,85	pull-over
12	6.43.1-P	0,41	296	357	0,85	177	326	6,3	15,0	1,00	1,48	0,68	----	pull-out
13	6.43.1-I	0,41	296	357	0,85	177	326	6,3	15,0	1,15	1,48	0,78	----	pull-out
14	6.43.1-II	0,41	296	357	0,85	177	326	6,3	15,0	1,15	1,48	0,78	----	pull-out
15	6.43.2-I	0,41	296	357	2,27	306	427	6,3	15,0	3,99	2,77	----	1,44	pull-over
16	6.43.2-II	0,41	296	357	2,27	306	427	6,3	15,0	3,78	2,77	----	1,37	pull-over
17	6.43.3-I	0,41	296	357	3,00	342	454	6,3	15,0	4,20	2,77	----	1,52	pull-over
18	6.43.3-II	0,41	296	357	3,00	342	454	6,3	15,0	4,12	2,77	----	1,49	pull-over
19	6.65.1-I	0,62	308	389	0,85	177	326	6,3	15,0	1,04	1,48	0,70	----	pull-out
20	6.65.1-II	0,62	308	389	0,85	177	326	6,3	15,0	0,95	1,48	0,64	----	pull-out
21	6.65.2-I	0,62	308	389	2,27	306	427	6,3	15,0	3,60	4,62	----	0,78	pull-over
22	6.65.2-II	0,62	308	389	2,27	306	427	6,3	15,0	3,56	4,62	----	0,77	pull-over
23	6.65.3-I	0,62	308	389	3,00	342	454	6,3	15,0	4,60	4,62	----	0,99	pull-over
24	6.65.3-II	0,62	308	389	3,00	342	454	6,3	15,0	4,09	4,62	----	0,88	pull-over

**Tabela E.2 - Força de cisalhamento resistente de cálculo, Esmagamento/*Tilting***

Item	Fonte	CP	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	f <sub>u2</sub> (MPa)	f <sub>u1</sub> (MPa)	d (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
1	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-8-15×15-L	0,41	0,41	718	701	4,2	4,53	3,24	1,40
2	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-8-18×12-L	0,41	0,41	718	701	4,2	2,69	3,24	0,83
3	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-10-12×20-L	0,41	0,41	718	701	4,9	4,81	3,49	1,38
4	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-10-16×16-L	0,41	0,41	718	701	4,9	3,39	3,49	0,97
5	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-10-16×20-L	0,41	0,41	718	701	4,9	4,77	3,49	1,37
6	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-12-14×20-L	0,41	0,41	718	701	5,4	3,79	3,69	1,03
7	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-12-24×20-L	0,41	0,41	718	701	5,4	3,41	3,69	0,92
8	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-14-10×20-L	0,41	0,41	718	701	6,4	3,97	4,01	0,99
9	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-8-15×15-L	0,41	0,41	718	701	4,2	3,75	3,24	1,16
10	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-8-18×12-L	0,41	0,41	718	701	4,2	2,77	3,24	0,85
11	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-10-12×20-L	0,41	0,41	718	701	4,9	4,66	3,49	1,33
12	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-10-16×16-L	0,41	0,41	718	701	4,9	3,75	3,49	1,07
13	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-10-16×20-L	0,41	0,41	718	701	4,9	4,67	3,49	1,34
14	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-12-14×20-L	0,41	0,41	718	701	5,4	2,99	3,69	0,81
15	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-12-24×20-L	0,41	0,41	718	701	5,4	3,28	3,69	0,89
16	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-14-10×20-L	0,41	0,41	718	701	6,4	3,77	4,01	0,94
17	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-8-15×15-L	0,41	0,41	718	701	4,2	8,25	6,49	1,27
18	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-8-18×12-L	0,41	0,41	718	701	4,2	5,05	6,49	0,78
19	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-10-12×20-L	0,41	0,41	718	701	4,9	8,15	6,99	1,17
20	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-10-16×16-L	0,41	0,41	718	701	4,9	7,15	6,99	1,02
21	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-10-16×20-L	0,41	0,41	718	701	4,9	8,13	6,99	1,16
22	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-12-14×20-L	0,41	0,41	718	701	5,4	7,35	7,38	1,00
23	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-12-24×20-L	0,41	0,41	718	701	5,4	6,98	7,38	0,95
24	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-14-10×20-L	0,41	0,41	718	701	6,4	5,95	8,02	0,74
25	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-8-15×15-L	0,41	0,41	718	701	4,2	9,71	6,49	1,50
26	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-8-18×12-L	0,41	0,41	718	701	4,2	6,11	6,49	0,94
27	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-10-12×20-L	0,41	0,41	718	701	4,9	8,13	6,99	1,16
28	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-10-16×16-L	0,41	0,41	718	701	4,9	6,95	6,99	0,99
29	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-10-16×20-L	0,41	0,41	718	701	4,9	8,98	6,99	1,28
30	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-12-14×20-L	0,41	0,41	718	701	5,4	6,13	7,38	0,83
31	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-12-24×20-L	0,41	0,41	718	701	5,4	6,39	7,38	0,87
32	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-14-10×20-L	0,41	0,41	718	701	6,4	8,08	8,02	1,01
33	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-8-15×15-T	0,41	0,41	821	805	4,2	4,00	3,71	1,08

Item	Fonte	CP	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	f <sub>u2</sub> (MPa)	f <sub>u1</sub> (MPa)	d (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
34	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-8-18×12-T	0,41	0,41	821	805	4,2	3,06	3,71	0,82
35	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-10-12×20-T	0,41	0,41	821	805	4,9	4,62	4,00	1,16
36	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-10-16×16-T	0,41	0,41	821	805	4,9	3,37	4,00	0,84
37	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-10-16×20-T	0,41	0,41	821	805	4,9	4,46	4,00	1,12
38	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-12-14×20-T	0,41	0,41	821	805	5,4	3,78	4,22	0,90
39	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-12-24×20-T	0,41	0,41	821	805	5,4	3,37	4,22	0,80
40	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-14-10×20-T	0,41	0,41	821	805	6,4	3,87	4,58	0,84
41	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-8-15×15-T	0,41	0,41	821	805	4,2	3,88	3,71	1,05
42	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-8-18×12-T	0,41	0,41	821	805	4,2	2,88	3,71	0,78
43	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-10-12×20-T	0,41	0,41	821	805	4,9	4,00	4,00	1,00
44	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-10-16×16-T	0,41	0,41	821	805	4,9	3,06	4,00	0,77
45	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-10-16×20-T	0,41	0,41	821	805	4,9	4,68	4,00	1,17
46	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-12-14×20-T	0,41	0,41	821	805	5,4	3,84	4,22	0,91
47	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-12-24×20-T	0,41	0,41	821	805	5,4	3,26	4,22	0,77
48	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-14-10×20-T	0,41	0,41	821	805	6,4	3,98	4,58	0,87
49	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-8-15×15-T	0,41	0,41	821	805	4,2	8,29	7,42	1,12
50	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-8-18×12-T	0,41	0,41	821	805	4,2	5,93	7,42	0,80
51	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-10-12×20-T	0,41	0,41	821	805	4,9	9,79	7,99	1,23
52	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-10-16×16-T	0,41	0,41	821	805	4,9	6,91	7,99	0,86
53	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-10-16×20-T	0,41	0,41	821	805	4,9	9,04	7,99	1,13
54	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-12-14×20-T	0,41	0,41	821	805	5,4	7,21	8,44	0,85
55	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-12-24×20-T	0,41	0,41	821	805	5,4	6,76	8,44	0,80
56	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-14-10×20-T	0,41	0,41	821	805	6,4	8,44	9,17	0,92
57	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-8-15×15-T	0,41	0,41	821	805	4,2	8,72	7,42	1,18
58	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-8-18×12-T	0,41	0,41	821	805	4,2	5,80	7,42	0,78
59	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-10-12×20-T	0,41	0,41	821	805	4,9	8,25	7,99	1,03
60	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-10-16×16-T	0,41	0,41	821	805	4,9	8,02	7,99	1,00
61	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-10-16×20-T	0,41	0,41	821	805	4,9	7,83	7,99	0,98
62	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-12-14×20-T	0,41	0,41	821	805	5,4	7,36	8,44	0,87
63	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-12-24×20-T	0,41	0,41	821	805	5,4	6,93	8,44	0,82
64	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-14-10×20-T	0,41	0,41	821	805	6,4	7,61	9,17	0,83
65	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-8-15×15-D	0,41	0,41	728	713	4,2	4,45	3,29	1,35
66	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-8-18×12-D	0,41	0,41	728	713	4,2	2,90	3,29	0,88

Item	Fonte	CP	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	f <sub>u2</sub> (MPa)	f <sub>u1</sub> (MPa)	d (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
67	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-10-12×20-D	0,41	0,41	728	713	4,9	4,29	3,54	1,21
68	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2L-10-16×16-D	0,41	0,41	728	713	4,9	3,06	3,54	0,86
69	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-8-15×15-D	0,41	0,41	728	713	4,2	4,21	3,29	1,28
70	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-8-18×12-D	0,41	0,41	728	713	4,2	2,82	3,29	0,86
71	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-10-12×20-D	0,41	0,41	728	713	4,9	3,84	3,54	1,08
72	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S2T-10-16×16-D	0,41	0,41	728	713	4,9	2,92	3,54	0,82
73	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-8-15×15-D	0,41	0,41	728	713	4,2	8,51	6,58	1,29
74	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-8-18×12-D	0,41	0,41	728	713	4,2	5,68	6,58	0,86
75	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-10-12×20-D	0,41	0,41	728	713	4,9	8,71	7,09	1,23
76	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4S-10-16×16-D	0,41	0,41	728	713	4,9	7,76	7,09	1,10
77	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-8-18×12-D	0,41	0,41	728	713	4,2	5,60	6,58	0,85
78	Rogers e Hancock (1997)	042/042-G550-S4D-10-16×16-	0,41	0,41	728	713	4,9	6,73	7,09	0,95
79	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-8-18×12-L	0,59	0,59	719	705	4,2	5,54	5,61	0,99
80	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-10-16×16-L	0,59	0,59	719	705	4,9	5,89	6,04	0,98
81	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-10-16×20-L	0,59	0,59	719	705	4,9	7,35	6,04	1,22
82	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-12-24×20-L	0,59	0,59	719	705	5,4	5,50	6,38	0,86
83	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-8-18×12-L	0,59	0,59	719	705	4,2	5,29	5,61	0,94
84	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-10-16×16-L	0,59	0,59	719	705	4,9	6,14	6,04	1,02
85	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-10-16×20-L	0,59	0,59	719	705	4,9	6,82	6,04	1,13
86	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-12-24×20-L	0,59	0,59	719	705	5,4	5,82	6,38	0,91
87	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-8-18×12-T	0,59	0,59	801	788	4,2	5,74	6,25	0,92
88	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-10-16×16-T	0,59	0,59	801	788	4,9	6,34	6,73	0,94
89	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-10-16×20-T	0,59	0,59	801	788	4,9	8,58	6,73	1,28
90	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-12-24×20-T	0,59	0,59	801	788	5,4	5,39	7,11	0,76
91	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-8-18×12-T	0,59	0,59	801	788	4,2	5,16	6,25	0,83
92	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-10-16×16-T	0,59	0,59	801	788	4,9	5,76	6,73	0,86
93	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-10-16×20-T	0,59	0,59	801	788	4,9	6,71	6,73	1,00
94	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-12-24×20-T	0,59	0,59	801	788	5,4	5,92	7,11	0,83
95	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-8-18×12-D	0,59	0,59	725	712	4,2	5,62	5,66	0,99
96	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-10-16×16-D	0,59	0,59	725	712	4,9	5,78	6,09	0,95
97	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-10-16×20-D	0,59	0,59	725	712	4,9	7,55	6,09	1,24
98	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2L-12-24×20-D	0,59	0,59	725	712	5,4	5,57	6,43	0,87
99	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-8-18×12-D	0,59	0,59	725	712	4,2	5,33	5,66	0,94

Item	Fonte	CP	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	f <sub>u2</sub> (MPa)	f <sub>u1</sub> (MPa)	d (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
100	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-10-16×16-D	0,59	0,59	725	712	4,9	5,57	6,09	0,91
101	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-10-16×20-D	0,59	0,59	725	712	4,9	7,27	6,09	1,19
102	Rogers e Hancock (1997)	060/060-G550-S2T-12-24×20-D	0,59	0,59	725	712	5,4	5,13	6,43	0,80
103	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S2L-8-18×12-L	0,53	0,53	417	390	4,2	2,86	2,77	1,03
104	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S2L-10-16×16-L	0,53	0,53	417	390	4,9	3,26	2,98	1,09
105	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S2L-10-16×20-L	0,53	0,53	417	390	4,9	4,87	2,98	1,63
106	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S2L-12-24×20-L	0,53	0,53	417	390	5,4	3,34	3,15	1,06
107	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S2T-8-18×12-L	0,53	0,53	417	390	4,2	3,10	2,77	1,12
108	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S2T-10-16×16-L	0,53	0,53	417	390	4,9	3,47	2,98	1,16
109	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S2T-10-16×20-L	0,53	0,53	417	390	4,9	4,73	2,98	1,59
110	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S2T-12-24×20-L	0,53	0,53	417	390	5,4	3,05	3,15	0,97
111	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S4S-8-18×12-L	0,53	0,53	417	390	4,2	5,53	5,54	1,00
112	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S4S-10-16×16-L	0,53	0,53	417	390	4,9	6,51	5,97	1,09
113	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S4S-10-16×20-L	0,53	0,53	417	390	4,9	9,74	5,97	1,63
114	Rogers e Hancock (1997)	055/055-G300-S4S-12-24×20-L	0,53	0,53	417	390	5,4	6,76	6,30	1,07

Item	Fonte		CP	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	f <sub>u2</sub> (MPa)	f <sub>u1</sub> (MPa)	d (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
115	Macindoe e Pham (1996)	DUET424	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	2,18	1,77	1,23
116	Macindoe e Pham (1996)	DUET423	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,67	1,77	0,94
117	Macindoe e Pham (1996)	DUET422	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,82	1,77	1,03
118	Macindoe e Pham (1996)	DUET15	042-G550/042-G550-S1L-10-16×16	0,42	0,42	751	751	4,7	2,15	1,86	1,15
119	Macindoe e Pham (1996)	DUET14	042-G550/042-G550-S1L-10-16×16	0,42	0,42	751	751	4,7	2,24	1,86	1,20
120	Macindoe e Pham (1996)	DUET13	042-G550/042-G550-S1L-10-16×16	0,42	0,42	751	751	4,7	2,55	1,86	1,37
121	Macindoe e Pham (1996)	DUET12	042-G550/042-G550-S1L-10-16×16	0,42	0,42	751	751	4,7	2,10	1,86	1,13
122	Macindoe e Pham (1996)	DUET11	042-G550/042-G550-S1L-10-16×16	0,42	0,42	751	751	4,7	2,29	1,86	1,23
123	Macindoe e Pham (1996)	DUET120	042-G550/042-G550-S1L-10-12×20	0,42	0,42	751	751	4,8	2,39	1,87	1,28
124	Macindoe e Pham (1996)	DUET119	042-G550/042-G550-S1L-10-12×20	0,42	0,42	751	751	4,8	2,47	1,87	1,32
125	Macindoe e Pham (1996)	DUET118	042-G550/042-G550-S1L-10-12×20	0,42	0,42	751	751	4,8	2,06	1,87	1,10
126	Macindoe e Pham (1996)	DUET117	042-G550/042-G550-S1L-10-12×20	0,42	0,42	751	751	4,8	2,16	1,87	1,15
127	Macindoe e Pham (1996)	DUET116	042-G550/042-G550-S1L-10-12×20	0,42	0,42	751	751	4,8	2,31	1,87	1,23
128	Macindoe e Pham (1996)	DUET115	042-G550/042-G550-S1L-10-12×20	0,42	0,42	751	751	4,8	2,39	1,87	1,28
129	Macindoe e Pham (1996)	D140	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,53	1,77	0,86
130	Macindoe e Pham (1996)	D141	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,55	1,77	0,88
131	Macindoe e Pham (1996)	D142	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,73	1,77	0,98
132	Macindoe e Pham (1996)	D149	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,72	1,77	0,97
133	Macindoe e Pham (1996)	D151	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,56	1,77	0,88
134	Macindoe e Pham (1996)	D145	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,56	1,77	0,88
135	Macindoe e Pham (1996)	D146	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,46	1,77	0,83
136	Macindoe e Pham (1996)	D147	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,62	1,77	0,92
137	Macindoe e Pham (1996)	D143	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,56	1,77	0,88
138	Macindoe e Pham (1996)	D144	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	1,92	1,77	1,09
139	Macindoe e Pham (1996)	D148	042-G550a/042-G550a-S1L-10-16×16	0,42	0,42	713	713	4,7	2,31	1,77	1,31
140	Macindoe e Pham (1996)	DUET329	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	3,15	2,94	1,07
141	Macindoe e Pham (1996)	DUET327	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,94	2,94	1,00
142	Macindoe e Pham (1996)	D17	060-G550/060-G550-S1L-10-12×20	0,58	0,58	730	730	4,8	3,85	2,95	1,30
143	Macindoe e Pham (1996)	D16	060-G550/060-G550-S1L-10-12×20	0,58	0,58	730	730	4,8	3,99	2,95	1,35
144	Macindoe e Pham (1996)	D15	060-G550/060-G550-S1L-10-12×20	0,58	0,58	730	730	4,8	3,57	2,95	1,21
145	Macindoe e Pham (1996)	DUET439	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,75	2,94	0,94
146	Macindoe e Pham (1996)	DUET438	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,71	2,94	0,92
147	Macindoe e Pham (1996)	D150	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,80	2,94	0,95

Item	Fonte		CP	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	f <sub>u2</sub> (MPa)	f <sub>u1</sub> (MPa)	d (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
148	Macindoe e Pham (1996)	DUET437	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,69	2,94	0,92
149	Macindoe e Pham (1996)	DUET436	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,89	2,94	0,98
150	Macindoe e Pham (1996)	D204	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,78	2,94	0,95
151	Macindoe e Pham (1996)	D205	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,98	2,94	1,01
152	Macindoe e Pham (1996)	D206	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	3,03	2,94	1,03
153	Macindoe e Pham (1996)	D152	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	3,07	2,94	1,04
154	Macindoe e Pham (1996)	D153	060-G550/060-G550-S1L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	2,86	2,94	0,97
155	Macindoe e Pham (1996)	DUET341	075-G550/075-G550-S1L-10-16×16	0,75	0,75	680	680	4,7	3,95	4,03	0,98
156	Macindoe e Pham (1996)	DUET340	075-G550/075-G550-S1L-10-16×16	0,75	0,75	680	680	4,7	3,99	4,03	0,99
157	Macindoe e Pham (1996)	DUET339	075-G550/075-G550-S1L-10-16×16	0,75	0,75	680	680	4,7	4,12	4,03	1,02
158	Macindoe e Pham (1996)	DUET338	075-G550/075-G550-S1L-10-16×16	0,75	0,75	680	680	4,7	4,30	4,03	1,07
159	Macindoe e Pham (1996)	D29	075-G550/075-G550-S1L-12-14×20	0,75	0,75	680	680	5,5	4,13	4,35	0,95
160	Macindoe e Pham (1996)	D28	075-G550/075-G550-S1L-12-14×20	0,75	0,75	680	680	5,5	4,29	4,35	0,99
161	Macindoe e Pham (1996)	D27	075-G550/075-G550-S1L-12-14×20	0,75	0,75	680	680	5,5	3,50	4,35	0,80
162	Macindoe e Pham (1996)	DUET418	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,44	4,21	1,06
163	Macindoe e Pham (1996)	DUET421	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,57	4,21	1,09
164	Macindoe e Pham (1996)	DUET420	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,63	4,21	1,10
165	Macindoe e Pham (1996)	DUET406	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,85	4,21	1,15
166	Macindoe e Pham (1996)	D35	080-G550/080-G550-S1L-12-14×20	0,78	0,78	670	670	5,5	4,43	4,55	0,97
167	Macindoe e Pham (1996)	D34	080-G550/080-G550-S1L-12-14×20	0,78	0,78	670	670	5,5	4,85	4,55	1,07
168	Macindoe e Pham (1996)	D33	080-G550/080-G550-S1L-12-14×20	0,78	0,78	670	670	5,5	4,29	4,55	0,94
169	Macindoe e Pham (1996)	DUET411	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	3,69	4,21	0,88
170	Macindoe e Pham (1996)	DUET410	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	3,71	4,21	0,88
171	Macindoe e Pham (1996)	DUET409	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	3,68	4,21	0,87
172	Macindoe e Pham (1996)	DUET402	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,80	4,21	1,14
173	Macindoe e Pham (1996)	DUET401	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	3,83	4,21	0,91
174	Macindoe e Pham (1996)	DUET415	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,39	4,21	1,04
175	Macindoe e Pham (1996)	DUET404	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,89	4,21	1,16
176	Macindoe e Pham (1996)	DUET416	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,12	4,21	0,98
177	Macindoe e Pham (1996)	DUET403	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,50	4,21	1,07
178	Macindoe e Pham (1996)	DUET441	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,33	4,21	1,03
179	Macindoe e Pham (1996)	DUET440	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,54	4,21	1,08
180	Macindoe e Pham (1996)	DUET405	080-G550/080-G550-S1L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	4,53	4,21	1,08

Item	Fonte		CP	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	f <sub>u2</sub> (MPa)	f <sub>u1</sub> (MPa)	d (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
181	Macindoe e Pham (1996)	DUET367	095-G550/095-G550-S1L-10-16×16	0,95	0,95	737	737	4,7	6,82	6,22	1,10
182	Macindoe e Pham (1996)	DUET365	095-G550/095-G550-S1L-10-16×16	0,95	0,95	737	737	4,7	6,21	6,22	1,00
183	Macindoe e Pham (1996)	DUET364	095-G550/095-G550-S1L-10-16×16	0,95	0,95	737	737	4,7	6,34	6,22	1,02
184	Macindoe e Pham (1996)	DUET363	095-G550/095-G550-S1L-10-16×16	0,95	0,95	737	737	4,7	6,31	6,22	1,01
185	Macindoe e Pham (1996)	DUET372	095-G550/095-G550-S1L-14-10×20	0,95	0,95	737	737	6,3	6,60	7,17	0,92
186	Macindoe e Pham (1996)	DUET371	095-G550/095-G550-S1L-14-10×20	0,95	0,95	737	737	6,3	6,96	7,17	0,97
187	Macindoe e Pham (1996)	DUET370	095-G550/095-G550-S1L-14-10×20	0,95	0,95	737	737	6,3	6,57	7,17	0,92
188	Macindoe e Pham (1996)	DUET369	095-G550/095-G550-S1L-14-10×20	0,95	0,95	737	737	6,3	6,62	7,17	0,92
189	Macindoe e Pham (1996)	DUET368	095-G550/095-G550-S1L-14-10×20	0,95	0,95	737	737	6,3	6,70	7,17	0,94
190	Macindoe e Pham (1996)	DUET127	100-G550/100-G550-S1L-10-16×16	1,00	1,00	620	620	4,7	6,61	5,65	1,17
191	Macindoe e Pham (1996)	D38	100-G550a/100-G550a-S1L-12-14×20	1,00	1,00	635	635	5,5	6,21	6,25	0,99
192	Macindoe e Pham (1996)	D37	100-G550a/100-G550a-S1L-12-14×20	1,00	1,00	635	635	5,5	6,40	6,25	1,02
193	Macindoe e Pham (1996)	D36	100-G550a/100-G550a-S1L-12-14×20	1,00	1,00	635	635	5,5	5,76	6,25	0,92
194	Macindoe e Pham (1996)	D207	100-G550a/100-G550a-S1L-10-16×16	1,00	1,00	635	635	4,7	6,41	5,79	1,11
195	Macindoe e Pham (1996)	D212	100-G550a/100-G550a-S1L-10-16×16	1,00	1,00	635	635	4,7	5,87	5,79	1,01
196	Macindoe e Pham (1996)	D209	100-G550a/100-G550a-S1L-10-16×16	1,00	1,00	635	635	4,7	6,24	5,79	1,08
197	Macindoe e Pham (1996)	D210	100-G550a/100-G550a-S1L-10-16×16	1,00	1,00	635	635	4,7	6,17	5,79	1,07
198	Macindoe e Pham (1996)	D211	100-G550a/100-G550a-S1L-10-16×16	1,00	1,00	635	635	4,7	6,06	5,79	1,05
199	Macindoe e Pham (1996)	D200	100-G550a/100-G550a-S1L-10-16×16	1,00	1,00	635	635	4,7	5,33	5,79	0,92
200	Macindoe e Pham (1996)	D425	060-G550/060-G550-S2L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	5,68	5,88	0,97
201	Macindoe e Pham (1996)	D424	060-G550/060-G550-S2L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	6,02	5,88	1,02
202	Macindoe e Pham (1996)	D423	060-G550/060-G550-S2L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	5,41	5,88	0,92
203	Macindoe e Pham (1996)	D419	060-G550/060-G550-S2L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	6,27	5,88	1,07
204	Macindoe e Pham (1996)	D418	060-G550/060-G550-S2L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	6,11	5,88	1,04
205	Macindoe e Pham (1996)	D417	060-G550/060-G550-S2L-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	6,09	5,88	1,04
206	Macindoe e Pham (1996)	D428	080-G550/080-G550-S2L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	8,43	8,41	1,00
207	Macindoe e Pham (1996)	D427	080-G550/080-G550-S2L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	8,03	8,41	0,95
208	Macindoe e Pham (1996)	D426	080-G550/080-G550-S2L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	9,03	8,41	1,07
209	Macindoe e Pham (1996)	D422	080-G550/080-G550-S2L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	9,29	8,41	1,10
210	Macindoe e Pham (1996)	D421	080-G550/080-G550-S2L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	9,91	8,41	1,18
211	Macindoe e Pham (1996)	D420	080-G550/080-G550-S2L-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	8,91	8,41	1,06
212	Macindoe e Pham (1996)	A2011	060-G550/060-G550-S2T-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	5,15	5,88	0,88
213	Macindoe e Pham (1996)	A2010	060-G550/060-G550-S2T-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	4,80	5,88	0,82

Item	Fonte		CP	t <sub>2</sub> (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	f <sub>u2</sub> (MPa)	f <sub>u1</sub> (MPa)	d (mm)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
214	Macindoe e Pham (1996)	A2009	060-G550/060-G550-S2T-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	4,45	5,88	0,76
215	Macindoe e Pham (1996)	A2005	060-G550/060-G550-S2T-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	5,39	5,88	0,92
216	Macindoe e Pham (1996)	A2004	060-G550/060-G550-S2T-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	5,02	5,88	0,85
217	Macindoe e Pham (1996)	A2003	060-G550/060-G550-S2T-10-16×16	0,58	0,58	730	730	4,7	5,35	5,88	0,91
218	Macindoe e Pham (1996)	A2014	080-G550/080-G550-S2T-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	7,46	8,41	0,89
219	Macindoe e Pham (1996)	A2013	080-G550/080-G550-S2T-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	6,96	8,41	0,83
220	Macindoe e Pham (1996)	A2012	080-G550/080-G550-S2T-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	8,08	8,41	0,96
221	Macindoe e Pham (1996)	A2008	080-G550/080-G550-S2T-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	8,97	8,41	1,07
222	Macindoe e Pham (1996)	A2007	080-G550/080-G550-S2T-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	9,50	8,41	1,13
223	Macindoe e Pham (1996)	A2006	080-G550/080-G550-S2T-10-16×16	0,78	0,78	670	670	4,7	8,42	8,41	1,00

**Tabela E.3 - Especificação dos parafusos auto-atarraxantes (Rogers e Hancock, 1997)**

Especificação PAA				d (mm)
8-15×15mm	STITCH	Hexagon	Slot	4,2
8-18×12mm	HITEKS	Hexagon	Head	4,2
10-16×20mm	HITEKS	Special	Pan	4,87
10-12×20mm	STITCH	Hexagon	Head	4,87
10-16×16mm	HITEKS	Hexagon	Head	4,87
12-14×20mm	HITEKS	Hexagon	Head	5,43
12-24×20mm	HITEKS	Hexagon	Head	5,43
14-10×20mm	HITEKS	Hexagon	Head	6,41

## Anexo F

### Barras sem enrijecedores transversais sujeitas a forças concentradas

Tabela F.1 - Esmagamento da alma (*web crippling*)

Autor	Modelo	Seção	Classificação		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>i</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Hetrakul e Yu (1978)	SU-1-EOF-6	Ue	NC	EOF	1,27	60	197	3	302	4,3	0,14	0,35	0,020	4,28	2,76	0,645
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-EOF-1	Ue	NC	EOF	1,27	20	96	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	3,79	3,99	1,053
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-EOF-2	Ue	NC	EOF	1,27	20	97	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	3,83	4,03	1,052
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-EOF-3	Ue	NC	EOF	1,26	40	97	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	4,67	4,62	0,988
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-EOF-4	Ue	NC	EOF	1,26	40	98	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	4,65	4,45	0,956
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-EOF-5	Ue	NC	EOF	1,27	60	97	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	5,49	5,00	0,911
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-EOF-6	Ue	NC	EOF	1,24	61	99	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	5,24	4,92	0,939
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-EOF-1	Ue	NC	EOF	1,27	20	122	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	3,64	3,91	1,075
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-EOF-2	Ue	NC	EOF	1,30	20	118	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	3,86	3,73	0,966
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-EOF-3	Ue	NC	EOF	1,29	39	120	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	4,69	4,40	0,940
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-EOF-4	Ue	NC	EOF	1,28	40	121	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	4,60	4,31	0,938
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-EOF-5	Ue	NC	EOF	1,27	59	120	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	5,26	4,47	0,851
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-EOF-6	Ue	NC	EOF	1,27	60	122	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	5,27	4,75	0,902
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-EOF-1	Ue	NC	EOF	1,27	20	146	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	3,58	3,95	1,104
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-EOF-2	Ue	NC	EOF	1,26	20	147	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	3,47	3,89	1,123
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-EOF-3	Ue	NC	EOF	1,25	41	148	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	4,38	4,02	0,917
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-EOF-4	Ue	NC	EOF	1,24	41	149	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	4,26	4,16	0,977
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-EOF-5	Ue	NC	EOF	1,27	60	146	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	5,13	4,65	0,907
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-EOF-6	Ue	NC	EOF	1,27	60	146	2	325	4,3	0,14	0,35	0,020	5,13	4,98	0,971
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-4-EOF-1	Ue	C	EOF	1,27	20	96	2	325	4,6	0,14	0,35	0,020	4,04	3,89	0,964
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-4-EOF-2	Ue	C	EOF	1,29	20	95	2	325	4,6	0,14	0,35	0,020	4,15	3,88	0,937
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-4-EOF-5	Ue	C	EOF	1,27	60	96	2	325	4,6	0,14	0,35	0,020	5,87	6,60	1,123
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-4-EOF-6	Ue	C	EOF	1,27	60	96	2	325	4,6	0,14	0,35	0,020	5,81	6,25	1,076
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-6'-EOF-1	Ue	C	EOF	1,27	20	145	2	325	4,6	0,14	0,35	0,020	3,80	3,78	0,996
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-6'-EOF-2	Ue	C	EOF	1,27	20	144	2	325	4,6	0,14	0,35	0,020	3,80	3,87	1,016
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-6'-EOF-5	Ue	C	EOF	1,27	60	145	2	325	4,6	0,14	0,35	0,020	5,49	5,23	0,952
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-6'-EOF-6	Ue	C	EOF	1,30	59	142	2	325	4,6	0,14	0,35	0,020	5,71	5,25	0,919
Hetrakul e Yu (1978)	50	Hat	NC	EOF	1,55	25	47	1	232	4,0	0,25	0,68	0,040	5,34	6,42	1,202
Hetrakul e Yu (1978)	51	Hat	NC	EOF	1,56	41	47	1	228	4,0	0,25	0,68	0,040	6,47	7,96	1,231
Hetrakul e Yu (1978)	53	Hat	NC	EOF	1,52	25	48	3	225	4,0	0,25	0,68	0,040	3,75	3,84	1,024
Hetrakul e Yu (1978)	54	Hat	NC	EOF	1,52	42	48	3	201	4,0	0,25	0,68	0,040	4,12	4,95	1,203

Autor	Modelo	Seção	Classificação		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>y</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Hetrakul e Yu (1978)	55	Hat	NC	EOF	1,67	11	43	1	374	4,0	0,25	0,68	0,040	7,51	7,98	1,063
Hetrakul e Yu (1978)	56	Hat	NC	EOF	1,66	23	44	1	370	4,0	0,25	0,68	0,040	9,58	9,22	0,963
Hetrakul e Yu (1978)	57	Hat	NC	EOF	1,61	39	45	1	376	4,0	0,25	0,68	0,040	11,22	11,11	0,990
Hetrakul e Yu (1978)	58	Hat	NC	EOF	1,64	12	44	3	361	4,0	0,25	0,68	0,040	5,43	4,25	0,782
Hetrakul e Yu (1978)	59	Hat	NC	EOF	1,63	23	45	3	382	4,0	0,25	0,68	0,040	7,18	7,43	1,035
Hetrakul e Yu (1978)	60	Hat	NC	EOF	1,61	39	45	3	381	4,0	0,25	0,68	0,040	8,60	9,34	1,086
Hetrakul e Yu (1978)	61	Hat	NC	EOF	1,55	12	97	1	226	4,0	0,25	0,68	0,040	3,31	3,91	1,182
Hetrakul e Yu (1978)	62	Hat	NC	EOF	1,52	25	99	1	210	4,0	0,25	0,68	0,040	3,86	4,47	1,159
Hetrakul e Yu (1978)	63	Hat	NC	EOF	1,52	42	98	1	267	4,0	0,25	0,68	0,040	6,04	5,28	0,874
Hetrakul e Yu (1978)	64	Hat	NC	EOF	1,52	12	98	3	234	4,0	0,25	0,68	0,040	2,49	2,56	1,029
Hetrakul e Yu (1978)	65	Hat	NC	EOF	1,53	25	97	3	223	4,0	0,25	0,68	0,040	3,16	4,09	1,296
Hetrakul e Yu (1978)	66	Hat	NC	EOF	1,52	42	98	3	216	4,0	0,25	0,68	0,040	3,70	4,34	1,173
Hetrakul e Yu (1978)	67	Hat	NC	EOF	1,70	11	87	1	376	4,0	0,25	0,68	0,040	6,65	7,14	1,073
Hetrakul e Yu (1978)	68	Hat	NC	EOF	1,70	22	88	1	362	4,0	0,25	0,68	0,040	8,21	7,78	0,948
Hetrakul e Yu (1978)	69	Hat	NC	EOF	1,69	38	88	1	362	4,0	0,25	0,68	0,040	10,06	8,73	0,868
Hetrakul e Yu (1978)	70	Hat	NC	EOF	1,70	11	88	3	371	4,0	0,25	0,68	0,040	4,95	5,34	1,079
Hetrakul e Yu (1978)	71	Hat	NC	EOF	1,74	22	86	3	362	4,0	0,25	0,68	0,040	6,55	7,45	1,137
Hetrakul e Yu (1978)	72	Hat	NC	EOF	1,75	36	85	3	370	4,0	0,25	0,68	0,040	8,24	8,76	1,063
Hetrakul e Yu (1978)	18-F2	Hat	NC	EOF	1,13	56	167	2	226	4,0	0,25	0,68	0,040	2,22	2,45	1,104
Hetrakul e Yu (1978)	18-F3	Hat	NC	EOF	1,13	56	167	2	226	4,0	0,25	0,68	0,040	2,22	2,58	1,164
Hetrakul e Yu (1978)	18-C1	Hat	NC	EOF	1,13	56	65	2	226	4,0	0,25	0,68	0,040	3,11	3,40	1,095
Hetrakul e Yu (1978)	18-C4	Hat	NC	EOF	1,13	56	65	2	226	4,0	0,25	0,68	0,040	3,11	3,22	1,038
Hetrakul e Yu (1978)	18-H5	Hat	NC	EOF	1,13	56	167	2	226	4,0	0,25	0,68	0,040	2,22	2,71	1,224
Hetrakul e Yu (1978)	18-H5	Hat	NC	EOF	1,13	56	167	2	226	4,0	0,25	0,68	0,040	2,22	2,89	1,305
Hetrakul e Yu (1978)	18-G1	Hat	NC	EOF	1,13	56	65	2	226	4,0	0,25	0,68	0,040	3,11	3,16	1,016
Hetrakul e Yu (1978)	18-G3	Hat	NC	EOF	1,13	56	65	2	226	4,0	0,25	0,68	0,040	3,11	3,09	0,995
Hetrakul e Yu (1978)	16-E1	Hat	NC	EOF	1,61	39	116	1	186	4,0	0,25	0,68	0,040	4,09	5,43	1,328
Hetrakul e Yu (1978)	16-E4	Hat	NC	EOF	1,61	39	116	1	186	4,0	0,25	0,68	0,040	4,09	5,47	1,339
Hetrakul e Yu (1978)	16-B2	Hat	NC	EOF	1,61	39	45	1	186	4,0	0,25	0,68	0,040	5,25	6,89	1,313
Hetrakul e Yu (1978)	16-B4	Hat	NC	EOF	1,61	39	45	1	186	4,0	0,25	0,68	0,040	5,25	6,81	1,296
Hetrakul e Yu (1978)	14-D4	Hat	NC	EOF	1,84	35	102	1	260	4,0	0,25	0,68	0,040	7,67	7,56	0,986
Hetrakul e Yu (1978)	14-D6	Hat	NC	EOF	1,84	35	102	1	260	4,0	0,25	0,68	0,040	7,67	7,54	0,983

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>y</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Hetrakul e Yu (1978)	14-A1	Hat	NC	EOF	1,84	35	39	1	260	4,0	0,25	0,68	0,040	9,65	9,39	0,973
Hetrakul e Yu (1978)	14-A6	Hat	NC	EOF	1,84	35	39	1	260	4,0	0,25	0,68	0,040	9,65	10,05	1,042
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-EOF-1	U	NC	EOF	1,24	20	99	1	250	4,6	0,40	0,60	0,030	2,82	2,79	0,991
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-EOF-2	U	NC	EOF	1,24	20	98	1	250	4,6	0,40	0,60	0,030	2,83	2,66	0,941
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-EOF-5	U	NC	EOF	1,24	61	98	1	250	4,6	0,40	0,60	0,030	4,34	3,99	0,920
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-EOF-6	U	NC	EOF	1,23	62	99	1	250	4,6	0,40	0,60	0,030	4,24	3,71	0,876
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-18-EOF-1	U	NC	EOF	1,23	21	195	1	250	4,6	0,40	0,60	0,030	2,29	2,10	0,917
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-18-EOF-2	U	NC	EOF	1,24	20	195	1	250	4,6	0,40	0,60	0,030	2,34	1,90	0,814
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-18-EOF-5	U	NC	EOF	1,27	60	191	1	250	4,6	0,40	0,60	0,030	3,79	2,53	0,666
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-18-EOF-6	U	NC	EOF	1,24	61	195	1	250	4,6	0,40	0,60	0,030	3,59	2,42	0,676
Hetrakul e Yu (1978)	73	Hat	NC	EOF	1,53	12	148	1	220	4,0	0,25	0,68	0,040	2,70	3,11	1,154
Hetrakul e Yu (1978)	74	Hat	NC	EOF	1,53	25	147	1	219	4,0	0,25	0,68	0,040	3,49	3,51	1,008
Hetrakul e Yu (1978)	75	Hat	NC	EOF	1,52	42	149	1	214	4,0	0,25	0,68	0,040	4,08	3,80	0,933
Hetrakul e Yu (1978)	76	Hat	NC	EOF	1,52	13	148	3	2147	4,0	0,25	0,68	0,040	19,77	1,82	0,092
Hetrakul e Yu (1978)	77	Hat	NC	EOF	1,52	25	148	3	221	4,0	0,25	0,68	0,040	2,61	0,51	0,196
Hetrakul e Yu (1978)	78	Hat	NC	EOF	1,52	42	148	3	207	4,0	0,25	0,68	0,040	3,00	2,34	0,777
Hetrakul e Yu (1978)	79	Hat	NC	EOF	1,64	12	138	1	354	4,0	0,25	0,68	0,040	5,03	4,51	0,898
Hetrakul e Yu (1978)	80	Hat	NC	EOF	1,62	24	139	1	372	4,0	0,25	0,68	0,040	6,66	4,06	0,610
Hetrakul e Yu (1978)	81	Hat	NC	EOF	1,62	39	140	1	356	4,0	0,25	0,68	0,040	7,73	4,77	0,617
Hetrakul e Yu (1978)	82	Hat	NC	EOF	1,62	12	139	3	377	4,0	0,25	0,68	0,040	3,95	3,33	0,842
Hetrakul e Yu (1978)	83	Hat	NC	EOF	1,63	23	138	3	377	4,0	0,25	0,68	0,040	5,15	3,59	0,698
Hetrakul e Yu (1978)	84	Hat	NC	EOF	1,61	39	140	3	378	4,0	0,25	0,68	0,040	6,17	4,08	0,662
Hetrakul e Yu (1978)	85	Hat	NC	EOF	1,55	12	194	1	219	4,0	0,25	0,68	0,040	2,37	3,36	1,418
Hetrakul e Yu (1978)	86	Hat	NC	EOF	1,55	25	195	1	222	4,0	0,25	0,68	0,040	3,08	2,78	0,904
Hetrakul e Yu (1978)	88	Hat	NC	EOF	1,52	13	198	3	216	4,0	0,25	0,68	0,040	1,70	1,86	1,096
Hetrakul e Yu (1978)	89	Hat	NC	EOF	1,52	25	198	3	214	4,0	0,25	0,68	0,040	2,16	3,34	1,542
Hetrakul e Yu (1978)	91	Hat	NC	EOF	1,76	11	172	1	387	4,0	0,25	0,68	0,040	5,51	5,20	0,944
Hetrakul e Yu (1978)	92	Hat	NC	EOF	1,75	22	172	1	378	4,0	0,25	0,68	0,040	6,90	5,46	0,792
Hetrakul e Yu (1978)	93	Hat	NC	EOF	1,73	37	174	1	372	4,0	0,25	0,68	0,040	8,06	5,72	0,709
Hetrakul e Yu (1978)	94	Hat	NC	EOF	1,70	11	178	3	372	4,0	0,25	0,68	0,040	3,72	4,51	1,214
Hetrakul e Yu (1978)	95	Hat	NC	EOF	1,67	23	180	3	368	4,0	0,25	0,68	0,040	4,58	4,33	0,944
Hetrakul e Yu (1978)	96	Hat	NC	EOF	1,69	38	178	3	371	4,0	0,25	0,68	0,040	5,80	4,23	0,729

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>f</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-IOF-1	Ue	NC	IOF	1,26	20	123	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	8,03	6,24	0,778	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-IOF-2	Ue	NC	IOF	1,28	20	121	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	8,27	6,58	0,796	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-IOF-3	Ue	NC	IOF	1,27	40	122	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	9,43	7,78	0,826	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-IOF-4	Ue	NC	IOF	1,28	40	120	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	9,71	8,14	0,839	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-IOF-5	Ue	NC	IOF	1,28	60	121	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	10,79	9,25	0,857	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-IOF-6	Ue	NC	IOF	1,28	60	121	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	10,64	8,16	0,767	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-IOF-1	Ue	NC	IOF	1,27	20	145	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	8,10	6,58	0,812	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-IOF-2	Ue	NC	IOF	1,27	20	146	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	8,26	7,03	0,850	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-IOF-3	Ue	NC	IOF	1,26	40	147	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	9,30	8,41	0,904	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-IOF-4	Ue	NC	IOF	1,26	40	148	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	9,28	8,07	0,870	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-IOF-5	Ue	NC	IOF	1,25	61	148	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	10,05	9,27	0,923	
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6'-IOF-6	Ue	NC	IOF	1,28	60	145	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	10,62	8,41	0,792	
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-6'-IOF-1	Ue	NC	IOF	1,28	20	145	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	8,17	7,34	0,898	
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-6'-IOF-2	Ue	NC	IOF	1,27	20	146	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	8,10	7,31	0,902	
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-6'-IOF-5	Ue	NC	IOF	1,28	59	144	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	10,60	9,10	0,858	
Hetrakul e Yu (1978)	M-SU-6'-IOF-6	Ue	NC	IOF	1,26	60	146	2	325	15,8	0,23	0,14	0,010	10,31	9,52	0,923	
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-IOF-5	U	NC	IOF	1,24	61	98	1	250	14,9	0,32	0,10	0,010	6,36	6,67	1,049	
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-IOF-6	U	NC	IOF	1,24	61	98	1	250	14,9	0,32	0,10	0,010	6,36	6,78	1,066	
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-18-IOF-5	U	NC	IOF	1,24	61	193	1	250	14,9	0,32	0,10	0,010	6,08	7,52	1,236	
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-18-IOF-6	U	NC	IOF	1,24	61	194	1	250	14,9	0,32	0,10	0,010	6,08	6,52	1,072	
Hetrakul e Yu (1978)		13	Hat	NC	IOF	1,54	12	97	1	234	19,5	0,13	0,13	0,040	8,29	9,03	1,089
Hetrakul e Yu (1978)		14	Hat	NC	IOF	1,52	25	99	1	254	19,5	0,13	0,13	0,040	9,88	8,36	0,846
Hetrakul e Yu (1978)		16	Hat	NC	IOF	1,52	13	99	3	255	19,5	0,13	0,13	0,040	7,81	7,65	0,980
Hetrakul e Yu (1978)		17	Hat	NC	IOF	1,53	25	97	3	225	19,5	0,13	0,13	0,040	7,97	8,81	1,105
Hetrakul e Yu (1978)		18	Hat	NC	IOF	1,54	41	97	3	225	19,5	0,13	0,13	0,040	8,94	8,50	0,950
Hetrakul e Yu (1978)		19	Hat	NC	IOF	1,64	12	91	1	372	19,5	0,13	0,13	0,040	15,18	15,57	1,026
Hetrakul e Yu (1978)		20	Hat	NC	IOF	1,66	23	90	1	370	19,5	0,13	0,13	0,040	17,43	15,08	0,865
Hetrakul e Yu (1978)		22	Hat	NC	IOF	1,64	12	91	3	372	19,5	0,13	0,13	0,040	13,52	13,83	1,023
Hetrakul e Yu (1978)		23	Hat	NC	IOF	1,65	23	90	3	365	19,5	0,13	0,13	0,040	15,10	13,97	0,925
Hetrakul e Yu (1978)		24	Hat	NC	IOF	1,67	38	89	3	367	19,5	0,13	0,13	0,040	17,41	14,90	0,856
Hetrakul e Yu (1978)		25	Hat	NC	IOF	1,53	12	148	1	260	19,5	0,13	0,13	0,040	7,70	6,89	0,895
Hetrakul e Yu (1978)		26	Hat	NC	IOF	1,51	25	149	1	247	19,5	0,13	0,13	0,040	8,08	6,84	0,846

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r/t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>	
Hetrakul e Yu (1978)		28	Hat	NC	IOF	1,53	12	148	3	287	19,5	0,13	0,13	0,040	7,59	5,78	0,762
Hetrakul e Yu (1978)		29	Hat	NC	IOF	1,51	25	149	3	228	19,5	0,13	0,13	0,040	6,63	6,27	0,945
Hetrakul e Yu (1978)		30	Hat	NC	IOF	1,49	43	151	3	223	19,5	0,13	0,13	0,040	7,02	6,78	0,966
Hetrakul e Yu (1978)		31	Hat	NC	IOF	1,65	12	136	1	376	19,5	0,13	0,13	0,040	13,34	10,68	0,800
Hetrakul e Yu (1978)		34	Hat	NC	IOF	1,62	12	139	3	377	19,5	0,13	0,13	0,040	11,39	10,68	0,938
Hetrakul e Yu (1978)		35	Hat	NC	IOF	1,63	23	139	3	374	19,5	0,13	0,13	0,040	12,86	10,51	0,817
Hetrakul e Yu (1978)		36	Hat	NC	IOF	1,61	39	140	3	373	19,5	0,13	0,13	0,040	13,93	10,73	0,770
Hetrakul e Yu (1978)		37	Hat	NC	IOF	1,53	12	197	1	221	19,5	0,13	0,13	0,040	5,63	6,45	1,145
Hetrakul e Yu (1978)		38	Hat	NC	IOF	1,56	24	193	1	229	19,5	0,13	0,13	0,040	6,94	6,89	0,994
Hetrakul e Yu (1978)		39	Hat	NC	IOF	1,55	41	197	1	263	19,5	0,13	0,13	0,040	8,67	7,56	0,872
Hetrakul e Yu (1978)		41	Hat	NC	IOF	1,54	25	196	3	224	19,5	0,13	0,13	0,040	5,83	6,23	1,067
Hetrakul e Yu (1978)		42	Hat	NC	IOF	1,55	41	195	3	223	19,5	0,13	0,13	0,040	6,51	6,45	0,990
Hetrakul e Yu (1978)		43	Hat	NC	IOF	1,69	11	179	1	371	19,5	0,13	0,13	0,040	11,97	10,63	0,888
Hetrakul e Yu (1978)		44	Hat	NC	IOF	1,69	23	179	1	374	19,5	0,13	0,13	0,040	13,57	10,23	0,754
Hetrakul e Yu (1978)		46	Hat	NC	IOF	1,68	11	180	3	385	19,5	0,13	0,13	0,040	10,89	10,01	0,919
Hetrakul e Yu (1978)		47	Hat	NC	IOF	1,70	22	177	3	373	19,5	0,13	0,13	0,040	12,28	11,24	0,915
Hetrakul e Yu (1978)		48	Hat	NC	IOF	1,68	38	180	3	368	19,5	0,13	0,13	0,040	13,09	11,46	0,875
Wing e Shuster(1981)	5W-IOF		Hat	C	IOF	0,97	26	99	2	274	19,5	0,13	0,13	0,040	3,98	2,70	0,678
Wing e Shuster(1981)	6W-IOF		Hat	C	IOF	0,61	42	158	4	265	19,5	0,13	0,13	0,040	1,31	1,25	0,959
Wing e Shuster(1981)	7W-IOF		Hat	C	IOF	1,52	17	128	2	231	19,5	0,13	0,13	0,040	7,35	6,89	0,939
Wing e Shuster(1981)	34W-IOF		Hat	C	IOF	0,61	42	157	4	265	19,5	0,13	0,13	0,040	1,31	1,39	1,062
Wing e Shuster(1981)	35W-IOF		Hat	C	IOF	0,61	83	156	4	265	19,5	0,13	0,13	0,040	1,56	1,73	1,104
Wing e Shuster(1981)	36W-IOF		Hat	C	IOF	0,61	125	156	4	265	19,5	0,13	0,13	0,040	1,75	2,00	1,141
Wing e Shuster(1981)	57W-IOF		Hat	C	IOF	1,52	17	62	2	231	19,5	0,13	0,13	0,040	9,18	6,51	0,709
Wing e Shuster(1981)	60W-IOF		Hat	C	IOF	1,14	22	83	2	253	19,5	0,13	0,13	0,040	5,37	4,39	0,818
Wing e Shuster(1981)	61W-IOF		Hat	C	IOF	1,14	44	83	2	253	19,5	0,13	0,13	0,040	6,21	5,27	0,848
Wing e Shuster(1981)	62W-IOF		Hat	C	IOF	1,14	67	83	2	253	19,5	0,13	0,13	0,040	6,86	5,73	0,836
Wing e Shuster(1981)	69W-IOF		Hat	C	IOF	0,97	79	99	2	274	19,5	0,13	0,13	0,040	5,14	4,23	0,821
Wing e Shuster(1981)	124W-IOF		Hat	C	IOF	0,61	208	158	4	265	19,5	0,13	0,13	0,040	2,04	1,78	0,872
Wing e Shuster(1981)	125w-IOF		Hat	C	IOF	0,61	167	158	4	265	19,5	0,13	0,13	0,040	1,90	1,78	0,935
Wing e Shuster(1981)	128w-IOF		Hat	C	IOF	0,61	167	157	4	265	19,5	0,13	0,13	0,040	1,91	1,87	0,978
Wing e Shuster(1981)	134W-IOF		Hat	C	IOF	0,97	105	100	2	274	19,5	0,13	0,13	0,040	5,56	4,94	0,888

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Wing e Shuster(1981)	135W-IOF	Hat	C	IOF	0,97	132	100	2	274	19,5	0,13	0,13	0,040	5,93	5,42	0,915
Wing e Shuster(1981)	136W-IOF	Hat	C	IOF	0,97	26	100	2	274	19,5	0,13	0,13	0,040	3,97	3,31	0,834
Wing e Shuster(1981)	137W-IOF	Hat	C	IOF	0,97	53	99	2	274	19,5	0,13	0,13	0,040	4,64	3,91	0,844
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ETF-1	Ue	NC	ETF	1,27	20	97	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,45	3,05	0,884
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ETF-2	Ue	NC	ETF	1,31	19	94	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,61	2,97	0,822
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ETF-3	Ue	NC	ETF	1,30	39	95	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,90	3,31	0,849
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ETF-4	Ue	NC	ETF	1,30	39	95	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,91	3,34	0,853
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ETF-5	Ue	NC	ETF	1,27	60	97	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,91	3,40	0,870
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ETF-6	Ue	NC	ETF	1,27	60	97	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,91	3,45	0,881
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ETF-1	Ue	NC	ETF	1,28	20	120	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,32	2,67	0,803
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ETF-2	Ue	NC	ETF	1,29	20	120	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,37	2,74	0,812
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ETF-3	Ue	NC	ETF	1,29	39	120	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,54	2,74	0,772
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ETF-4	Ue	NC	ETF	1,27	40	121	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,33	2,78	0,835
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ETF-5	Ue	NC	ETF	1,29	59	119	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,78	3,05	0,806
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ETF-6	Ue	NC	ETF	1,28	60	121	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,66	3,00	0,820
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ETF-1	Ue	NC	ETF	1,24	20	149	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	2,78	2,60	0,935
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ETF-2	Ue	NC	ETF	1,27	20	145	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	2,95	2,42	0,823
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ETF-3	Ue	NC	ETF	1,25	41	148	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	2,96	2,70	0,913
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ETF-4	Ue	NC	ETF	1,26	40	147	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,10	2,65	0,854
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ETF-5	Ue	NC	ETF	1,26	61	148	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,24	2,96	0,913
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ETF-6	Ue	NC	ETF	1,27	60	146	2	325	15,8	0,32	0,05	0,040	3,34	2,94	0,880
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-ETF-5	U	NC	ETF	1,23	62	100	1	250	2,0	0,11	0,37	0,010	2,38	3,47	1,457
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-ETF-6	U	NC	ETF	1,24	61	99	1	250	2,0	0,11	0,37	0,010	2,42	3,36	1,385
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-19-ETF-5	U	NC	ETF	1,24	61	195	1	250	2,0	0,11	0,37	0,010	2,32	2,02	0,874
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-19-ETF-6	U	NC	ETF	1,24	61	194	1	250	2,0	0,11	0,37	0,010	2,32	2,09	0,903
Wing e Shuster(1981)	5W-ETF	Hat	C	ETF	1,52	17	128	2	231	10,3	0,10	0,07	0,030	4,11	4,26	1,037
Wing e Shuster(1981)	26W-ETF	Hat	C	ETF	0,61	42	156	4	265	10,3	0,10	0,07	0,030	0,74	0,73	0,980
Wing e Shuster(1981)	27W-ETF	Hat	C	ETF	0,61	42	156	4	265	10,3	0,10	0,07	0,030	0,74	0,67	0,902
Wing e Shuster(1981)	28W-ETF	Hat	C	ETF	0,61	42	81	4	265	10,3	0,10	0,07	0,030	0,86	0,87	1,005
Wing e Shuster(1981)	29W-ETF	Hat	C	ETF	0,97	26	100	2	274	10,3	0,10	0,07	0,030	2,11	1,79	0,846
Wing e Shuster(1981)	30W-ETF	Hat	C	ETF	0,61	42	157	4	265	10,3	0,10	0,07	0,030	0,74	0,65	0,880
Wing e Shuster(1981)	31W-ETF	Hat	C	ETF	1,52	17	63	2	231	10,3	0,10	0,07	0,030	4,73	4,49	0,949

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Wing e Shuster(1981)	32W-ETF	Hat	C	ETF	1,52	17	29	2	231	10,3	0,10	0,07	0,030	5,22	5,16	0,989
Wing e Shuster(1981)	33W-ETF	Hat	C	ETF	0,97	26	46	2	274	10,3	0,10	0,07	0,030	2,40	1,56	0,648
Wing e Shuster(1981)	2WR-ETF	Hat	C	ETF	1,00	51	73	5	299	10,3	0,10	0,07	0,030	2,70	2,44	0,901
Wing e Shuster(1981)	3WR-ETF	Hat	C	ETF	1,54	33	47	4	302	10,3	0,10	0,07	0,030	6,64	5,54	0,834
Wing e Shuster(1981)	4wR-ETF	Hat	C	ETF	1,54	33	46	4	302	10,3	0,10	0,07	0,030	6,61	5,54	0,839
Wing e Shuster(1981)	6WR-ETF	Hat	C	ETF	1,54	33	43	6	302	10,3	0,10	0,07	0,030	6,28	4,99	0,795
Wing e Shuster(1981)	7WR-ETF	Hat	C	ETF	1,54	33	61	4	302	10,3	0,10	0,07	0,030	6,30	4,75	0,753
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ITF-1	Ue	NC	ITF	1,31	19	94	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	7,12	7,63	1,072
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ITF-2	Ue	NC	ITF	1,32	19	94	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	7,21	7,67	1,063
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ITF-3	Ue	NC	ITF	1,27	40	97	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	7,52	8,52	1,133
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ITF-4	Ue	NC	ITF	1,29	39	96	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	7,82	8,81	1,126
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ITF-5	Ue	NC	ITF	1,33	58	93	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	8,17	9,83	1,203
Hetrakul e Yu (1978)	SU-4-ITF-6	Ue	NC	ITF	1,30	59	95	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	8,01	10,27	1,283
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ITF-1	Ue	NC	ITF	1,27	20	122	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	6,44	6,71	1,042
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ITF-2	Ue	NC	ITF	1,28	20	121	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	6,55	6,81	1,039
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ITF-3	Ue	NC	ITF	1,28	40	121	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	7,74	6,89	0,891
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ITF-4	Ue	NC	ITF	1,27	40	121	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	7,58	7,61	1,003
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ITF-5	Ue	NC	ITF	1,27	60	120	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	8,81	7,21	0,817
Hetrakul e Yu (1978)	SU-5-ITF-6	Ue	NC	ITF	1,28	60	122	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	8,88	7,16	0,807
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ITF-1	Ue	NC	ITF	1,26	20	147	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	6,23	6,52	1,046
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ITF-2	Ue	NC	ITF	1,26	20	147	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	6,98	5,48	0,786
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ITF-3	Ue	NC	ITF	1,27	40	145	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	8,31	5,45	0,656
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ITF-4	Ue	NC	ITF	1,26	40	147	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	7,27	5,69	0,783
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ITF-5	Ue	NC	ITF	1,28	60	144	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	8,55	5,92	0,692
Hetrakul e Yu (1978)	SU-6-ITF-6	Ue	NC	ITF	1,24	61	149	2	325	25,9	0,52	0,15	0,001	7,87	5,56	0,706
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-ITF-5	U	NC	ITF	1,26	61	96	1	250	14,0	0,47	0,25	0,040	5,37	7,14	1,329
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-17-ITF-6	U	NC	ITF	1,24	61	96	1	250	14,0	0,47	0,25	0,040	5,26	7,14	1,358
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-19-ITF-5	U	NC	ITF	1,24	61	194	1	250	14,0	0,47	0,25	0,040	3,82	3,34	0,872
Hetrakul e Yu (1978)	U-SU-19-ITF-6	U	NC	ITF	1,24	61	196	1	250	14,0	0,47	0,25	0,040	3,81	3,49	0,917
Wing e Shuster(1981)	1W-ITF	Hat	C	ITF	1,52	17	28	2	231	11,5	0,14	0,22	0,020	8,63	6,67	0,773
Wing e Shuster(1981)	2W-ITF	Hat	C	ITF	0,97	26	46	2	274	11,5	0,14	0,22	0,020	4,22	3,00	0,712
Wing e Shuster(1981)	3W-ITF	Hat	C	ITF	0,61	42	74	4	265	11,5	0,14	0,22	0,020	1,64	1,48	0,898

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Wing e Shuster(1981)	4W-ITF	Hat	C	ITF	0,61	42	157	4	265	11,5	0,14	0,22	0,020	1,49	1,67	1,121
Wing e Shuster(1981)	5W-ITF	Hat	C	ITF	0,61	42	158	4	265	11,5	0,14	0,22	0,020	1,49	1,50	1,012
Wing e Shuster(1981)	6W-ITF	Hat	C	ITF	1,52	17	62	2	231	11,5	0,14	0,22	0,020	8,14	7,51	0,922
Wing e Shuster(1981)	7W-ITF	Hat	C	ITF	0,97	26	98	2	274	11,5	0,14	0,22	0,020	3,91	3,20	0,817
Wing e Shuster(1981)	8W-ITF	Hat	C	ITF	1,52	17	62	2	231	11,5	0,14	0,22	0,020	8,14	7,17	0,881
Wing e Shuster(1981)	9W-ITF	Hat	C	ITF	1,52	17	62	2	231	11,5	0,14	0,22	0,020	8,14	7,23	0,888
Wing e Shuster(1981)	22w-ITF	Hat	C	ITF	1,52	17	30	2	231	11,5	0,14	0,22	0,020	8,59	8,45	0,983
Wing e Shuster(1981)	23W-ITF	Hat	C	ITF	0,97	26	47	2	274	11,5	0,14	0,22	0,020	4,21	3,34	0,793
Wing e Shuster(1981)	24W-ITF	Hat	C	ITF	0,61	42	75	4	265	11,5	0,14	0,22	0,020	1,64	1,56	0,948
Wing e Shuster(1981)	25W-ITF	Hat	C	ITF	0,61	83	159	4	265	11,5	0,14	0,22	0,020	1,84	1,89	1,025
Wing e Shuster(1981)	26W-ITF	Hat	C	ITF	0,61	125	156	4	265	11,5	0,14	0,22	0,020	2,13	2,16	1,014
Wing e Shuster(1981)	27w-ITF	Hat	C	ITF	0,97	53	99	2	274	11,5	0,14	0,22	0,020	4,77	3,28	0,688
Wing e Shuster(1981)	28W-ITF	Hat	C	ITF	0,97	79	99	2	274	11,5	0,14	0,22	0,020	5,43	3,69	0,680
Wing e Shuster(1981)	29W-ITF	Hat	C	ITF	1,52	33	63	2	231	11,5	0,14	0,22	0,020	9,71	9,31	0,959
Wing e Shuster(1981)	30W-ITF	Hat	C	ITF	1,52	50	63	2	231	11,5	0,14	0,22	0,020	10,94	10,81	0,988
Wing e Shuster(1981)	2wR-ITF	Hat	C	ITF	1,00	51	73	5	299	11,5	0,14	0,22	0,020	5,12	4,04	0,789
Wing e Shuster(1981)	3WR-ITF	Hat	C	ITF	1,54	33	47	4	302	11,5	0,14	0,22	0,020	11,79	9,21	0,781
Wing e Shuster(1981)	6WR-ITF	Hat	C	ITF	1,54	33	46	4	302	11,5	0,14	0,22	0,020	11,67	9,32	0,799
Wing e Shuster(1981)	9WR-ITF	Hat	C	ITF	1,54	33	43	6	302	11,5	0,14	0,22	0,020	10,67	8,32	0,780
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-EOF-1	Ie	NC	EOF	1,24	20	148	2	325	10,1	0,14	0,28	0,001	9,17	10,48	1,142
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-EOF-2	Ie	NC	EOF	1,27	20	145	2	325	10,1	0,14	0,28	0,001	9,56	10,99	1,149
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,26	61	147	2	325	10,1	0,14	0,28	0,001	13,15	13,30	1,011
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,24	61	148	2	325	10,1	0,14	0,28	0,001	12,92	12,23	0,947
Hetrakul e Yu (1978)	I-3'-EOF-1	Ie	NC	EOF	1,17	22	150	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	5,79	8,41	1,451
Hetrakul e Yu (1978)	I-3'-EOF-2	Ie	NC	EOF	1,17	22	151	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	5,79	7,52	1,297
Hetrakul e Yu (1978)	I-3'-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,17	65	152	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	8,20	10,63	1,297
Hetrakul e Yu (1978)	I-3'-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,17	65	151	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	8,20	10,85	1,324
Hetrakul e Yu (1978)	I-5'-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,52	50	120	2	325	10,1	0,14	0,28	0,001	18,54	18,33	0,989
Hetrakul e Yu (1978)	I-5'-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,52	50	120	2	325	10,1	0,14	0,28	0,001	18,54	19,88	1,073
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-EOF-1	Ie	NC	EOF	1,91	13	97	1	295	10,1	0,14	0,28	0,001	18,29	23,13	1,265
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-EOF-2	Ie	NC	EOF	1,91	13	96	1	295	10,1	0,14	0,28	0,001	18,38	23,95	1,303
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,91	40	97	1	295	10,1	0,14	0,28	0,001	25,05	25,04	1,000

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,91	40	96	1	295	10,1	0,14	0,28	0,001	25,18	23,64	0,939
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-EOF-7	Ie	NC	EOF	1,97	39	92	1	295	10,1	0,14	0,28	0,001	26,49	25,06	0,946
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-EOF-8	Ie	NC	EOF	1,93	39	95	1	295	10,1	0,14	0,28	0,001	25,63	30,02	1,172
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-EOF-1	Ie	NC	EOF	1,19	21	150	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	6,03	7,92	1,313
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-EOF-2	Ie	NC	EOF	1,17	22	149	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	5,80	8,54	1,474
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,17	65	150	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	8,20	11,30	1,378
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,17	65	152	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	8,20	10,45	1,275
Hetrakul e Yu (1978)	I-9-EOF-1	Ie	NC	EOF	1,17	22	148	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	5,80	9,23	1,593
Hetrakul e Yu (1978)	I-9-EOF-2	Ie	NC	EOF	1,17	22	150	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	5,79	8,12	1,401
Hetrakul e Yu (1978)	I-9-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,17	65	150	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	8,20	11,16	1,362
Hetrakul e Yu (1978)	I-9-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,17	65	149	2	231	10,1	0,14	0,28	0,001	8,20	11,41	1,392
Hetrakul e Yu (1978)	I-12-EOF-1	Ie	NC	EOF	1,30	20	144	2	371	10,1	0,14	0,28	0,001	11,27	10,99	0,975
Hetrakul e Yu (1978)	I-12-EOF-2	Ie	NC	EOF	1,28	20	145	2	371	10,1	0,14	0,28	0,001	10,98	11,14	1,015
Hetrakul e Yu (1978)	I-12-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,30	59	144	2	371	10,1	0,14	0,28	0,001	15,83	13,17	0,832
Hetrakul e Yu (1978)	I-12-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,30	59	143	2	371	10,1	0,14	0,28	0,001	15,83	12,59	0,795
Hetrakul e Yu (1978)	I-12'-EOF-5	Ie	NC	EOF	2,74	28	49	1	315	10,1	0,14	0,28	0,001	50,56	45,59	0,902
Hetrakul e Yu (1978)	I-12'-EOF-6	Ie	NC	EOF	2,73	28	49	1	315	10,1	0,14	0,28	0,001	50,12	51,51	1,028
Hetrakul e Yu (1978)	I-16-EOF-1	Ie	NC	EOF	1,35	19	73	2	371	10,1	0,14	0,28	0,001	12,14	11,39	0,938
Hetrakul e Yu (1978)	I-16-EOF-2	Ie	NC	EOF	1,28	20	77	2	371	10,1	0,14	0,28	0,001	11,10	15,90	1,433
Hetrakul e Yu (1978)	I-16-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,30	59	76	2	371	10,1	0,14	0,28	0,001	15,88	13,57	0,854
Hetrakul e Yu (1978)	I-16-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,30	59	77	2	371	10,1	0,14	0,28	0,001	15,88	14,01	0,882
Hetrakul e Yu (1978)	I-U-17-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,24	61	99	1	250	10,1	0,14	0,28	0,001	10,66	11,36	1,066
Hetrakul e Yu (1978)	I-U-17-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,24	61	98	1	250	10,1	0,14	0,28	0,001	10,66	9,92	0,930
Hetrakul e Yu (1978)	I-U-18-EOF-5	Ie	NC	EOF	1,23	62	197	1	250	10,1	0,14	0,28	0,001	10,43	9,07	0,870
Hetrakul e Yu (1978)	I-U-18-EOF-6	Ie	NC	EOF	1,24	61	195	1	250	10,1	0,14	0,28	0,001	10,62	10,16	0,957
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-IOF-1	Ie	NC	IOF	1,24	20	149	2	325	23,5	0,17	0,11	0,001	13,38	11,14	0,833
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-IOF-2	Ie	NC	IOF	1,27	20	146	2	325	23,5	0,17	0,11	0,001	13,92	10,90	0,783
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-IOF-1	Ie	NC	IOF	1,19	21	149	2	231	23,5	0,17	0,11	0,001	8,74	8,01	0,916
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-IOF-2	Ie	NC	IOF	1,17	22	149	2	231	23,5	0,17	0,11	0,001	8,37	8,03	0,959
Hetrakul e Yu (1978)	I-9-IOF-1	Ie	NC	IOF	1,18	22	148	2	231	23,5	0,17	0,11	0,001	8,56	7,47	0,873
Hetrakul e Yu (1978)	I-9-IOF-2	Ie	NC	IOF	1,17	22	150	2	231	23,5	0,17	0,11	0,001	8,37	6,85	0,818
Hetrakul e Yu (1978)	I-9-IOF-5	Ie	NC	IOF	1,17	65	149	2	231	23,5	0,17	0,11	0,001	10,45	8,78	0,841

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>i</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Hetrakul e Yu (1978)	I-9-IOF-6	Ie	NC	IOF	1,16	66	151	2	231	23,5	0,17	0,11	0,001	10,24	8,38	0,819
Hetrakul e Yu (1978)	I-12-IOF-1	Ie	NC	IOF	1,28	20	145	2	371	23,5	0,17	0,11	0,001	16,21	11,76	0,726
Hetrakul e Yu (1978)	I-12-IOF-2	Ie	NC	IOF	1,31	19	143	2	371	23,5	0,17	0,11	0,001	16,86	11,83	0,702
Hetrakul e Yu (1978)	I-12-IOF-5	Ie	NC	IOF	1,28	59	146	2	371	23,5	0,17	0,11	0,001	20,11	14,97	0,744
Hetrakul e Yu (1978)	I-U-18-IOF-5	Ie	NC	IOF	1,24	61	195	1	250	23,5	0,17	0,11	0,001	13,92	12,14	0,873
Hetrakul e Yu (1978)	I-U-18-IOF-6	Ie	NC	IOF	1,24	61	195	1	250	23,5	0,17	0,11	0,001	13,92	11,41	0,820
Hetrakul e Yu (1978)	1a-1-IOF	Ie	NC	IOF	1,17	27	170	1	222	23,5	0,17	0,11	0,001	9,18	8,12	0,884
Hetrakul e Yu (1978)	4a-1-IOF	Ie	NC	IOF	1,55	16	98	1	208	23,5	0,17	0,11	0,001	13,91	16,68	1,199
Hetrakul e Yu (1978)	4a-2-IOF	Ie	NC	IOF	1,55	25	98	1	208	23,5	0,17	0,11	0,001	14,87	17,12	1,151
Hetrakul e Yu (1978)	6a-1-IOF	Ie	NC	IOF	1,64	15	121	1	257	23,5	0,17	0,11	0,001	19,19	17,79	0,927
Hetrakul e Yu (1978)	6a-2-IOF	Ie	NC	IOF	1,64	23	121	1	257	23,5	0,17	0,11	0,001	20,49	19,57	0,955
Hetrakul e Yu (1978)	6b-1-IOF	Ie	NC	IOF	1,64	39	121	1	257	23,5	0,17	0,11	0,001	22,56	19,13	0,848
Hetrakul e Yu (1978)	11-1-IOF	Ie	NC	IOF	2,77	9	71	1	250	23,5	0,17	0,11	0,001	49,50	48,93	0,989
Hetrakul e Yu (1978)	11-2-IOF	Ie	NC	IOF	2,77	14	71	1	250	23,5	0,17	0,11	0,001	52,28	55,16	1,055
Hetrakul e Yu (1978)	18c-1-IOF	Ie	NC	IOF	3,12	8	64	1	259	23,5	0,17	0,11	0,001	64,31	46,70	0,726
Hetrakul e Yu (1978)	18c-2-IOF	Ie	NC	IOF	3,12	20	64	1	259	23,5	0,17	0,11	0,001	73,24	57,38	0,783
Hetrakul e Yu (1978)	1-3-ETF-1	Ie	NC	ETF	1,27	20	145	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	5,07	3,58	0,706
Hetrakul e Yu (1978)	1-3-ETF-2	Ie	NC	ETF	1,26	20	147	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	4,95	3,78	0,763
Hetrakul e Yu (1978)	1-3-ETF-5	Ie	NC	ETF	1,27	60	146	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	6,04	4,98	0,824
Hetrakul e Yu (1978)	1-3-ETF-6	Ie	NC	ETF	1,24	61	149	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	5,76	4,60	0,799
Hetrakul e Yu (1978)	1-3-ETF-1#	Ie	NC	ETF	1,27	20	185	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	4,46	3,65	0,817
Hetrakul e Yu (1978)	1-3-ETF-2#	Ie	NC	ETF	1,27	20	145	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	5,07	3,60	0,711
Hetrakul e Yu (1978)	1-3-ETF-5#	Ie	NC	ETF	1,24	61	148	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	5,76	4,47	0,776
Hetrakul e Yu (1978)	1-3-ETF-6#	Ie	NC	ETF	1,27	60	145	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	6,05	4,27	0,706
Hetrakul e Yu (1978)	1-5'-ETF-5	Ie	NC	ETF	1,52	50	120	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	9,26	6,54	0,706
Hetrakul e Yu (1978)	1-5'-ETF-6	Ie	NC	ETF	1,52	50	120	2	325	15,7	0,09	0,08	0,040	9,16	6,25	0,682
Hetrakul e Yu (1978)	1-6-ETF-1	Ie	NC	ETF	1,91	13	96	1	295	15,7	0,09	0,08	0,040	11,92	9,05	0,759
Hetrakul e Yu (1978)	1-6-ETF-2	Ie	NC	ETF	1,91	13	97	1	295	15,7	0,09	0,08	0,040	11,87	9,36	0,789
Hetrakul e Yu (1978)	1-6-ETF-5	Ie	NC	ETF	1,91	40	96	1	295	15,7	0,09	0,08	0,040	13,94	13,05	0,937
Hetrakul e Yu (1978)	1-6-ETF-6	Ie	NC	ETF	1,91	40	96	1	295	15,7	0,09	0,08	0,040	13,92	13,61	0,978
Hetrakul e Yu (1978)	1-6-ETF-7	Ie	NC	ETF	1,91	40	97	1	295	15,7	0,09	0,08	0,040	13,84	11,97	0,865
Hetrakul e Yu (1978)	1-6-ETF-8	Ie	NC	ETF	1,93	39	95	1	295	15,7	0,09	0,08	0,040	14,25	10,68	0,749

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-ETF-1	Ie	NC	ETF	1,19	21	147	2	231	15,7	0,09	0,08	0,040	3,17	3,94	1,240
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-ETF-2	Ie	NC	ETF	1,17	22	152	2	231	15,7	0,09	0,08	0,040	3,00	3,94	1,311
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-ETF-5	Ie	NC	ETF	1,17	65	153	2	231	15,7	0,09	0,08	0,040	3,59	4,74	1,320
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-ETF-6	Ie	NC	ETF	1,17	65	152	2	231	15,7	0,09	0,08	0,040	3,59	4,87	1,356
Hetrakul e Yu (1978)	I-12'-ETF-5	Ie	NC	ETF	2,74	28	49	1	315	15,7	0,09	0,08	0,040	34,63	20,68	0,597
Hetrakul e Yu (1978)	I-12'-ETF-6	Ie	NC	ETF	2,74	28	49	1	315	15,7	0,09	0,08	0,040	34,63	23,33	0,674
Hetrakul e Yu (1978)	2b-6-ETF	Ie	NC	ETF	1,53	25	64	1	208	15,7	0,09	0,08	0,040	6,64	8,32	1,253
Hetrakul e Yu (1978)	3-4-ETF	Ie	NC	ETF	1,52	42	64	1	208	15,7	0,09	0,08	0,040	7,10	8,01	1,128
Hetrakul e Yu (1978)	4a-6-ETF	Ie	NC	ETF	1,55	16	98	1	208	15,7	0,09	0,08	0,040	5,69	7,12	1,251
Hetrakul e Yu (1978)	4a-7-ETF	Ie	NC	ETF	1,55	25	98	1	208	15,7	0,09	0,08	0,040	6,00	7,56	1,260
Hetrakul e Yu (1978)	4b-4-ETF	Ie	NC	ETF	1,55	41	98	1	208	15,7	0,09	0,08	0,040	6,50	8,45	1,300
Hetrakul e Yu (1978)	6a-5-ETF	Ie	NC	ETF	1,64	15	121	1	257	15,7	0,09	0,08	0,040	7,30	8,23	1,128
Hetrakul e Yu (1978)	6a-6-ETF	Ie	NC	ETF	1,64	23	121	1	257	15,7	0,09	0,08	0,040	7,69	8,54	1,111
Hetrakul e Yu (1978)	6b-5-ETF	Ie	NC	ETF	1,64	39	121	1	257	15,7	0,09	0,08	0,040	8,31	10,01	1,204
Hetrakul e Yu (1978)	9a-3-ETF	Ie	NC	ETF	2,72	9	35	1	242	15,7	0,09	0,08	0,040	24,28	22,68	0,934
Hetrakul e Yu (1978)	9b-5-ETF	Ie	NC	ETF	2,72	9	35	1	242	15,7	0,09	0,08	0,040	24,28	23,80	0,980
Hetrakul e Yu (1978)	9b-6-ETF	Ie	NC	ETF	2,72	14	35	1	242	15,7	0,09	0,08	0,040	25,35	26,47	1,044
Hetrakul e Yu (1978)	9b-7-ETF	Ie	NC	ETF	2,72	23	35	1	242	15,7	0,09	0,08	0,040	27,05	30,47	1,126
Hetrakul e Yu (1978)	10a-6-ETF	Ie	NC	ETF	2,75	9	53	1	242	15,7	0,09	0,08	0,040	23,03	26,24	1,139
Hetrakul e Yu (1978)	10a-7-ETF	Ie	NC	ETF	2,75	14	53	1	242	15,7	0,09	0,08	0,040	24,05	26,47	1,101
Hetrakul e Yu (1978)	10b-5-ETF	Ie	NC	ETF	2,75	23	53	1	242	15,7	0,09	0,08	0,040	25,65	34,47	1,344
Hetrakul e Yu (1978)	13a-5-ETF	Ie	NC	ETF	3,41	7	28	1	246	15,7	0,09	0,08	0,040	39,33	30,02	0,763
Hetrakul e Yu (1978)	13a-6-ETF	Ie	NC	ETF	3,41	11	28	1	246	15,7	0,09	0,08	0,040	40,92	37,81	0,924
Hetrakul e Yu (1978)	13b-4-ETF	Ie	NC	ETF	3,41	19	28	1	246	15,7	0,09	0,08	0,040	43,43	56,93	1,311
Hetrakul e Yu (1978)	14a-6-ETF	Ie	NC	ETF	3,75	7	38	1	228	15,7	0,09	0,08	0,040	41,78	39,59	0,948
Hetrakul e Yu (1978)	14a-7-ETF	Ie	NC	ETF	3,75	10	38	1	228	15,7	0,09	0,08	0,040	43,39	49,60	1,143
Hetrakul e Yu (1978)	14b-5-ETF	Ie	NC	ETF	3,75	17	38	1	228	15,7	0,09	0,08	0,040	45,96	54,71	1,190
Hetrakul e Yu (1978)	16d-3-ETF	Ie	NC	ETF	1,17	22	172	1	222	15,7	0,09	0,08	0,040	2,82	3,91	1,387
Hetrakul e Yu (1978)	16d-4-ETF	Ie	NC	ETF	1,17	54	172	1	222	15,7	0,09	0,08	0,040	3,27	4,09	1,252
Hetrakul e Yu (1978)	17d-3-ETF	Ie	NC	ETF	1,92	13	104	1	247	15,7	0,09	0,08	0,040	9,92	10,90	1,098
Hetrakul e Yu (1978)	17d-4-ETF	Ie	NC	ETF	1,92	33	104	1	247	15,7	0,09	0,08	0,040	11,22	13,61	1,213
Hetrakul e Yu (1978)	18a-3-ETF	Ie	NC	ETF	3,12	8	64	1	259	15,7	0,09	0,08	0,040	30,20	30,25	1,001

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>i</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Hetrakul e Yu (1978)	16a-4-ETF	Ie	NC	ETF	3,12	20	64	1	259	15,7	0,09	0,08	0,040	33,47	33,36	0,997
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-ITF-1	Ie	NC	ITF	1,27	20	146	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	10,91	8,52	0,781
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-ITF-2	Ie	NC	ITF	1,27	20	146	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	10,85	9,25	0,852
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-ITF-5	Ie	NC	ITF	1,27	60	145	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	13,02	10,56	0,811
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-ITF-6	Ie	NC	ITF	2,26	61	149	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	40,70	9,81	0,241
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-ITF-1#	Ie	NC	ITF	1,24	20	148	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	10,33	9,30	0,900
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-ITF-2#	Ie	NC	ITF	1,27	20	146	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	10,85	9,65	0,890
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-ITF-5#	Ie	NC	ITF	1,26	61	147	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	12,64	9,81	0,776
Hetrakul e Yu (1978)	I-3-ITF-6#	Ie	NC	ITF	1,24	61	149	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	12,33	10,39	0,842
Hetrakul e Yu (1978)	I-5'-ITF-5	Ie	NC	ITF	1,55	49	118	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	20,78	16,79	0,808
Hetrakul e Yu (1978)	I-5'-ITF-6	Ie	NC	ITF	1,56	49	117	2	325	36,5	0,14	0,08	0,040	20,82	18,99	0,912
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-ITF-1	Ie	NC	ITF	1,91	13	97	1	295	36,5	0,14	0,08	0,040	25,87	19,93	0,770
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-ITF-2	Ie	NC	ITF	1,91	13	97	1	295	36,5	0,14	0,08	0,040	25,95	20,33	0,783
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-ITF-5	Ie	NC	ITF	1,91	40	96	1	295	36,5	0,14	0,08	0,040	30,31	22,13	0,730
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-ITF-6	Ie	NC	ITF	1,91	40	96	1	295	36,5	0,14	0,08	0,040	30,22	23,57	0,780
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-ITF-7	Ie	NC	ITF	1,93	39	95	1	295	36,5	0,14	0,08	0,040	31,09	26,49	0,852
Hetrakul e Yu (1978)	I-6-ITF-8	Ie	NC	ITF	1,93	39	96	1	295	36,5	0,14	0,08	0,040	31,06	27,56	0,887
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-ITF-1	Ie	NC	ITF	1,17	22	152	2	231	36,5	0,14	0,08	0,040	6,40	9,51	1,486
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-ITF-2	Ie	NC	ITF	1,18	22	150	2	231	36,5	0,14	0,08	0,040	6,58	8,71	1,324
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-ITF-5	Ie	NC	ITF	1,17	65	152	2	231	36,5	0,14	0,08	0,040	7,67	10,59	1,381
Hetrakul e Yu (1978)	I-6"-ITF-6	Ie	NC	ITF	1,17	65	152	2	231	36,5	0,14	0,08	0,040	7,67	10,63	1,386
Hetrakul e Yu (1978)	I-12'-ITF-5	Ie	NC	ITF	2,74	28	49	1	315	36,5	0,14	0,08	0,040	76,04	46,13	0,607
Hetrakul e Yu (1978)	I-12'-ITF-6	Ie	NC	ITF	2,74	28	49	1	315	36,5	0,14	0,08	0,040	76,08	50,66	0,666
Hetrakul e Yu (1978)	2a-4-ITF	Ie	NC	ITF	1,53	17	64	1	208	36,5	0,14	0,08	0,040	13,82	15,88	1,149
Hetrakul e Yu (1978)	2b-5-ITF	Ie	NC	ITF	1,53	25	64	1	208	36,5	0,14	0,08	0,040	14,59	17,44	1,195
Hetrakul e Yu (1978)	3-3-ITF	Ie	NC	ITF	1,52	42	64	1	208	36,5	0,14	0,08	0,040	15,59	21,57	1,384
Hetrakul e Yu (1978)	4a-4-ITF	Ie	NC	ITF	1,55	16	98	1	208	36,5	0,14	0,08	0,040	12,50	15,57	1,245
Hetrakul e Yu (1978)	4a-5-ITF	Ie	NC	ITF	1,55	25	98	1	208	36,5	0,14	0,08	0,040	13,19	16,90	1,282
Hetrakul e Yu (1978)	4b-3-ITF	Ie	NC	ITF	1,55	41	98	1	208	36,5	0,14	0,08	0,040	14,28	21,13	1,480
Hetrakul e Yu (1978)	6a-4-ITF	Ie	NC	ITF	1,64	23	121	1	257	36,5	0,14	0,08	0,040	16,89	16,19	0,959
Hetrakul e Yu (1978)	6b-4-ITF	Ie	NC	ITF	1,64	39	121	1	257	36,5	0,14	0,08	0,040	18,26	36,70	2,010
Hetrakul e Yu (1978)	9a-1-ITF	Ie	NC	ITF	2,72	9	35	1	242	36,5	0,14	0,08	0,040	53,35	47,15	0,884

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>y</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Hetrakul e Yu (1978)	9a-2-ITF	Ie	NC	ITF	2,72	14	35	1	242	36,5	0,14	0,08	0,040	55,70	57,38	1,030
Hetrakul e Yu (1978)	9b-3-ITF	Ie	NC	ITF	2,72	9	35	1	242	36,5	0,14	0,08	0,040	53,35	43,59	0,817
Hetrakul e Yu (1978)	9b-4-ITF	Ie	NC	ITF	2,72	14	35	1	242	36,5	0,14	0,08	0,040	55,70	48,26	0,866
Hetrakul e Yu (1978)	9b-5-ITF	Ie	NC	ITF	2,72	23	35	1	242	36,5	0,14	0,08	0,040	59,44	57,38	0,965
Hetrakul e Yu (1978)	10a-4-ITF	Ie	NC	ITF	2,75	9	53	1	242	36,5	0,14	0,08	0,040	50,61	46,04	0,910
Hetrakul e Yu (1978)	10a-5-ITF	Ie	NC	ITF	2,75	14	53	1	242	36,5	0,14	0,08	0,040	52,83	51,37	0,972
Hetrakul e Yu (1978)	10b-4-ITF	Ie	NC	ITF	2,75	23	53	1	242	36,5	0,14	0,08	0,040	56,36	55,82	0,990
Hetrakul e Yu (1978)	11-4-ITF	Ie	NC	ITF	2,77	9	71	1	250	36,5	0,14	0,08	0,040	49,68	51,60	1,039
Hetrakul e Yu (1978)	11-5-ITF	Ie	NC	ITF	2,77	14	71	1	250	36,5	0,14	0,08	0,040	51,86	49,37	0,952
Hetrakul e Yu (1978)	12-4-ITF	Ie	NC	ITF	2,82	23	70	1	250	36,5	0,14	0,08	0,040	57,13	56,93	0,997
Hetrakul e Yu (1978)	12-5-ITF	Ie	NC	ITF	2,82	27	70	1	250	36,5	0,14	0,08	0,040	58,63	64,05	1,092
Hetrakul e Yu (1978)	13a-3-ITF	Ie	NC	ITF	3,41	7	28	1	246	36,5	0,14	0,08	0,040	86,42	70,06	0,811
Hetrakul e Yu (1978)	13a-4-ITF	Ie	NC	ITF	3,41	11	28	1	246	36,5	0,14	0,08	0,040	89,91	77,17	0,858
Hetrakul e Yu (1978)	13b-3-ITF	Ie	NC	ITF	3,41	19	28	1	246	36,5	0,14	0,08	0,040	95,42	80,29	0,841
Hetrakul e Yu (1978)	14a-4-ITF	Ie	NC	ITF	3,75	7	38	1	228	36,5	0,14	0,08	0,040	91,79	74,06	0,807
Hetrakul e Yu (1978)	14a-5-ITF	Ie	NC	ITF	3,75	10	38	1	228	36,5	0,14	0,08	0,040	95,34	90,29	0,947
Hetrakul e Yu (1978)	14b-4-ITF	Ie	NC	ITF	3,75	17	38	1	228	36,5	0,14	0,08	0,040	100,97	97,63	0,967
Hetrakul e Yu (1978)	15a-4-ITF	Ie	NC	ITF	3,74	7	52	1	228	36,5	0,14	0,08	0,040	86,19	79,84	0,926
Hetrakul e Yu (1978)	15a-5-ITF	Ie	NC	ITF	3,74	10	52	1	228	36,5	0,14	0,08	0,040	89,52	87,85	0,981
Hetrakul e Yu (1978)	15a-6-ITF	Ie	NC	ITF	3,74	17	52	1	228	36,5	0,14	0,08	0,040	94,82	106,31	1,121
Hetrakul e Yu (1978)	15b-4-ITF	Ie	NC	ITF	3,74	20	52	1	228	36,5	0,14	0,08	0,040	97,07	89,40	0,921
Hetrakul e Yu (1978)	16d-1-ITF	Ie	NC	ITF	1,17	22	172	1	222	36,5	0,14	0,08	0,040	6,20	7,12	1,147
Hetrakul e Yu (1978)	16d-2-ITF	Ie	NC	ITF	1,17	54	172	1	222	36,5	0,14	0,08	0,040	7,18	8,72	1,214
Hetrakul e Yu (1978)	17d-1-ITF	Ie	NC	ITF	1,92	13	104	1	247	36,5	0,14	0,08	0,040	21,80	27,84	1,277
Hetrakul e Yu (1978)	17d-2-ITF	Ie	NC	ITF	1,92	33	104	1	247	36,5	0,14	0,08	0,040	24,66	30,02	1,218
Hetrakul e Yu (1978)	18a-1-ITF	Ie	NC	ITF	3,12	8	64	1	259	36,5	0,14	0,08	0,040	66,36	57,38	0,865
Hetrakul e Yu (1978)	18a-2-ITF	Ie	NC	ITF	3,12	20	64	1	259	36,5	0,14	0,08	0,040	73,53	64,94	0,883
Beshara (1999)	C-120-7-30	Ue	C	ETF	1,45	21	72	5	332	8,6	0,08	0,12	0,048	4,54	3,84	0,846
Beshara (1999)	C-120-7-60	Ue	C	ETF	1,45	44	72	5	332	8,6	0,08	0,12	0,048	5,27	4,74	0,900
Beshara (1999)	C-120-10-30	Ue	C	ETF	1,45	21	67	7	332	8,6	0,08	0,12	0,048	4,45	3,75	0,843
Beshara (1999)	C-120-10-60	Ue	C	ETF	1,45	44	67	7	332	8,6	0,08	0,12	0,048	5,16	4,17	0,807
Beshara (1999)	C-120-14-100A	Ue	C	ETF	1,45	70	60	10	332	8,6	0,08	0,12	0,048	5,67	4,77	0,841

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Beshara (1999)	C-120-14-100B	Ue	C	ETF	1,45	70	60	10	332	8,6	0,08	0,12	0,048	5,67	4,68	0,826
Beshara (1999)	C-200-7-30	Ue	C	ETF	1,16	26	158	6	328	8,6	0,08	0,12	0,048	1,95	2,07	1,062
Beshara (1999)	C-200-7-60	Ue	C	ETF	1,16	55	158	6	328	8,6	0,08	0,12	0,048	2,28	2,46	1,077
Beshara (1999)	C-200-10-30	Ue	C	ETF	1,16	26	153	9	328	8,6	0,08	0,12	0,048	1,90	2,01	1,058
Beshara (1999)	C-200-10-60	Ue	C	ETF	1,16	55	153	9	328	8,6	0,08	0,12	0,048	2,23	2,19	0,983
Beshara (1999)	C-300-7-30	Ue	C	ETF	1,45	21	195	5	448	8,6	0,08	0,12	0,048	3,40	2,85	0,837
Beshara (1999)	C-300-7-60	Ue	C	ETF	1,45	44	195	5	448	8,6	0,08	0,12	0,048	3,95	3,27	0,828
Beshara (1999)	C-300-10-30	Ue	C	ETF	1,45	21	191	7	448	8,6	0,08	0,12	0,048	3,33	2,76	0,829
Beshara (1999)	C-300-10-60	Ue	C	ETF	1,45	44	191	7	448	8,6	0,08	0,12	0,048	3,86	3,06	0,792
Beshara (1999)	C-300-14-30	Ue	C	ETF	1,45	21	185	10	448	8,6	0,08	0,12	0,048	3,27	2,67	0,817
Beshara (1999)	C-300-14-60	Ue	C	ETF	1,45	44	185	10	448	8,6	0,08	0,12	0,048	3,79	2,91	0,768
Beshara (1999)	Z-120-7-30	Ze	C	ETF	1,45	21	71	5	332	10,3	0,05	0,16	0,052	6,21	5,43	0,874
Beshara (1999)	Z-120-7-60	Ze	C	ETF	1,45	44	71	5	332	10,3	0,05	0,16	0,052	7,40	6,18	0,835
Beshara (1999)	Z-120-10-30	Ze	C	ETF	1,45	21	67	7	332	10,3	0,05	0,16	0,052	6,20	5,31	0,857
Beshara (1999)	Z-120-10-60	Ze	C	ETF	1,45	44	67	7	332	10,3	0,05	0,16	0,052	7,39	6,09	0,825
Beshara (1999)	Z-120-14-30	Ze	C	ETF	1,45	21	61	10	332	10,3	0,05	0,16	0,052	6,22	5,25	0,844
Beshara (1999)	Z-120-14-60	Ze	C	ETF	1,45	44	61	10	332	10,3	0,05	0,16	0,052	7,41	5,85	0,790
Beshara (1999)	Z-200-7-30	Ze	C	ETF	1,16	26	158	6	323	10,3	0,05	0,16	0,052	2,47	2,73	1,106
Beshara (1999)	Z-200-7-60	Ze	C	ETF	1,16	55	158	6	323	10,3	0,05	0,16	0,052	2,97	2,88	0,970
Beshara (1999)	Z-200-10-30	Ze	C	ETF	1,16	26	153	9	323	10,3	0,05	0,16	0,052	2,47	2,64	1,068
Beshara (1999)	Z-200-10-60	Ze	C	ETF	1,16	55	153	9	323	10,3	0,05	0,16	0,052	2,98	2,67	0,897
Beshara (1999)	Z-300-7-30	Ze	C	ETF	1,45	21	195	5	446	10,3	0,05	0,16	0,052	4,07	3,36	0,826
Beshara (1999)	Z-300-7-60	Ze	C	ETF	1,45	44	195	5	446	10,3	0,05	0,16	0,052	4,85	3,78	0,780
Beshara (1999)	Z-300-10-30	Ze	C	ETF	1,45	21	191	7	446	10,3	0,05	0,16	0,052	4,08	3,30	0,809
Beshara (1999)	Z-300-10-60	Ze	C	ETF	1,45	44	191	7	446	10,3	0,05	0,16	0,052	4,86	3,69	0,759
Beshara (1999)	Z-300-14-30	Ze	C	ETF	1,45	21	186	10	446	10,3	0,05	0,16	0,052	4,10	3,36	0,820
Beshara (1999)	Z-300-14-60	Ze	C	ETF	1,45	44	186	10	446	10,3	0,05	0,16	0,052	4,88	3,66	0,749
Beshara (1999)	C-120-7-30	Ue	C	ITF	1,45	21	72	5	332	23,0	0,10	0,08	0,031	12,60	10,70	0,849
Beshara (1999)	C-120-7-60	Ue	C	ITF	1,45	44	72	5	332	23,0	0,10	0,08	0,031	14,13	11,80	0,835
Beshara (1999)	C-120-10-30	Ue	C	ITF	1,45	21	67	7	332	23,0	0,10	0,08	0,031	12,05	9,96	0,827
Beshara (1999)	C-120-10-60	Ue	C	ITF	1,45	44	67	7	332	23,0	0,10	0,08	0,031	13,51	11,00	0,814
Beshara (1999)	C-120-14-30	Ue	C	ITF	1,45	21	60	10	332	23,0	0,10	0,08	0,031	11,47	9,06	0,790

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>y</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Beshara (1999)	C-120-14-60	Ue	C	ITF	1,45	44	60	10	332	23,0	0,10	0,08	0,031	12,86	10,10	0,786
Beshara (1999)	C-200-7-30	Ue	C	ITF	1,16	26	158	6	328	23,0	0,10	0,08	0,031	6,58	7,20	1,095
Beshara (1999)	C-200-7-60	Ue	C	ITF	1,16	55	158	6	328	23,0	0,10	0,08	0,031	7,44	7,56	1,016
Beshara (1999)	C-200-10-30	Ue	C	ITF	1,16	26	152	9	328	23,0	0,10	0,08	0,031	6,23	6,57	1,054
Beshara (1999)	C-200-10-60	Ue	C	ITF	1,16	55	153	9	328	23,0	0,10	0,08	0,031	7,04	7,08	1,006
Beshara (1999)	C-300-7-30	Ue	C	ITF	1,45	21	195	5	448	23,0	0,10	0,08	0,031	13,07	11,00	0,841
Beshara (1999)	C-300-7-60	Ue	C	ITF	1,45	44	195	5	448	23,0	0,10	0,08	0,031	14,66	11,60	0,791
Beshara (1999)	C-300-10-30	Ue	C	ITF	1,45	21	191	7	448	23,0	0,10	0,08	0,031	12,45	9,99	0,802
Beshara (1999)	C-300-10-60	Ue	C	ITF	1,45	44	191	7	448	23,0	0,10	0,08	0,031	13,96	10,90	0,781
Beshara (1999)	C-300-14-60	Ue	C	ITF	1,45	44	186	10	448	23,0	0,10	0,08	0,031	13,18	10,30	0,781
Beshara (1999)	C-300-14-100	Ue	C	ITF	1,45	70	186	10	448	23,0	0,10	0,08	0,031	14,37	10,60	0,737
Beshara (1999)	Z-120-7-30	Ze	C	ITF	1,45	21	71	5	332	25,9	0,07	0,07	0,040	13,37	11,70	0,875
Beshara (1999)	Z-120-7-60	Ze	C	ITF	1,45	44	71	5	332	25,9	0,07	0,07	0,040	14,83	13,10	0,883
Beshara (1999)	Z-120-10-30	Ze	C	ITF	1,45	21	68	7	332	25,9	0,07	0,07	0,040	13,02	11,60	0,891
Beshara (1999)	Z-120-10-60	Ze	C	ITF	1,45	44	69	7	332	25,9	0,07	0,07	0,040	14,42	12,60	0,874
Beshara (1999)	Z-120-14-30	Ze	C	ITF	1,45	21	61	10	332	25,9	0,07	0,07	0,040	12,81	11,30	0,882
Beshara (1999)	Z-120-14-60	Ze	C	ITF	1,45	44	61	10	426	25,9	0,07	0,07	0,040	18,23	15,10	0,828
Beshara (1999)	Z-200-7-30	Ze	C	ITF	1,16	26	158	6	323	25,9	0,07	0,07	0,040	6,29	7,83	1,246
Beshara (1999)	Z-200-7-60	Ze	C	ITF	1,16	55	158	6	323	25,9	0,07	0,07	0,040	7,03	8,16	1,160
Beshara (1999)	Z-200-10-30	Ze	C	ITF	1,16	26	151	9	323	25,9	0,07	0,07	0,040	6,17	7,65	1,240
Beshara (1999)	Z-200-10-60	Ze	C	ITF	1,16	55	151	9	323	25,9	0,07	0,07	0,040	6,90	7,86	1,139
Beshara (1999)	Z-300-7-30	Ze	C	ITF	1,45	21	195	5	446	25,9	0,07	0,07	0,040	11,96	10,30	0,861
Beshara (1999)	Z-300-7-60	Ze	C	ITF	1,45	44	195	5	446	25,9	0,07	0,07	0,040	13,27	10,80	0,814
Beshara (1999)	Z-300-10-30	Ze	C	ITF	1,45	21	191	7	446	25,9	0,07	0,07	0,040	11,69	9,48	0,811
Beshara (1999)	Z-300-10-60	Ze	C	ITF	1,45	44	191	7	446	25,9	0,07	0,07	0,040	12,97	9,78	0,754
Beshara (1999)	Z-300-14-30	Ze	C	ITF	1,45	21	185	10	446	25,9	0,07	0,07	0,040	11,42	8,88	0,777
Beshara (1999)	Z-300-14-60	Ze	C	ITF	1,45	44	185	10	446	25,9	0,07	0,07	0,040	12,68	9,99	0,788
Bhakta (1992)	I1-F	Ie	C	IOF	2,77	48	68	1	391	23,5	0,17	0,11	0,001	98,18	58,70	0,598
Bhakta (1992)	I2-F	Ie	C	IOF	2,77	48	68	1	391	23,5	0,17	0,11	0,001	98,18	60,50	0,616
Bhakta (1992)	I5-F	Ie	C	IOF	1,63	82	116	2	413	23,5	0,17	0,11	0,001	37,21	20,50	0,551
Bhakta (1992)	I6-F	Ie	C	IOF	1,63	82	116	2	413	23,5	0,17	0,11	0,001	37,21	21,40	0,575
Bhakta (1992)	I9-F	Ie	C	IOF	1,60	83	134	5	432	23,5	0,17	0,11	0,001	31,97	21,20	0,663

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Bhakta (1992)	I10-F	Ie	C	IOF	1,60	83	131	5	432	23,5	0,17	0,11	0,001	31,97	21,50	0,672
Cain (1995)	I1-F	Ie	C	IOF	1,70	78	112	2	422	23,5	0,17	0,11	0,001	41,55	26,90	0,647
Cain (1995)	I2-F	Ie	C	IOF	1,70	78	112	2	422	23,5	0,17	0,11	0,001	41,55	26,70	0,643
Cain (1995)	I3-F	Ie	C	IOF	1,70	78	112	2	422	23,5	0,17	0,11	0,001	41,55	27,70	0,667
Cain (1995)	I4-F	Ie	C	IOF	1,70	78	112	2	422	23,5	0,17	0,11	0,001	41,55	27,00	0,650
Cain (1995)	I5-F	Ie	C	IOF	1,70	78	112	2	422	23,5	0,17	0,11	0,001	41,55	27,50	0,662
Cain (1995)	I6-F	Ie	C	IOF	1,70	78	112	2	422	23,5	0,17	0,11	0,001	41,55	28,00	0,674
Cain (1995)	I7-F	Ie	C	IOF	2,16	62	89	2	436	23,5	0,17	0,11	0,001	67,88	45,80	0,675
Cain (1995)	I8-F	Ie	C	IOF	2,16	62	88	2	436	23,5	0,17	0,11	0,001	67,88	44,80	0,660
Cain (1995)	I9-F	Ie	C	IOF	2,16	62	88	2	436	23,5	0,17	0,11	0,001	67,88	44,50	0,656
Cain (1995)	I10-F	Ie	C	IOF	2,16	62	88	2	436	23,5	0,17	0,11	0,001	67,88	44,40	0,654
Cain (1995)	I11-F	Ie	C	IOF	2,16	62	88	2	436	23,5	0,17	0,11	0,001	67,88	47,20	0,695
Cain (1995)	I12-F	Ie	C	IOF	2,16	62	89	2	436	23,5	0,17	0,11	0,001	67,88	45,80	0,675
Bhakta (1992)	I3	Ie	NC	EOF	2,77	48	68	1	391	10,1	0,14	0,28	0,001	73,60	58,30	0,792
Bhakta (1992)	I4	Ie	NC	EOF	2,77	48	68	1	391	10,1	0,14	0,28	0,001	73,60	61,20	0,831
Bhakta (1992)	I7	Ie	NC	EOF	1,63	82	116	2	413	10,1	0,14	0,28	0,001	30,14	21,30	0,707
Bhakta (1992)	I8	Ie	NC	EOF	1,63	82	116	2	413	10,1	0,14	0,28	0,001	30,14	21,10	0,700
Bhakta (1992)	I11	Ie	NC	EOF	1,60	83	131	5	432	10,1	0,14	0,28	0,001	27,01	20,20	0,748
Bhakta (1992)	I12	Ie	NC	EOF	1,60	83	131	5	432	10,1	0,14	0,28	0,001	27,01	19,90	0,737
Bhakta (1992)	C1-F	Ue	C	EOF	2,77	24	68	1	391	4,6	0,14	0,35	0,020	26,05	20,40	0,783
Bhakta (1992)	C2-F	Ue	C	EOF	2,77	24	69	1	391	4,6	0,14	0,35	0,020	26,01	20,90	0,803
Bhakta (1992)	C5-F	Ue	C	EOF	1,63	41	116	2	413	4,6	0,14	0,35	0,020	9,98	8,29	0,831
Bhakta (1992)	C6-F	Ue	C	EOF	1,63	41	116	2	413	4,6	0,14	0,35	0,020	9,98	7,40	0,742
Bhakta (1992)	C9-F	Ue	C	EOF	1,60	42	131	5	432	4,6	0,14	0,35	0,020	8,80	6,65	0,756
Bhakta (1992)	C10-F	Ue	C	EOF	1,60	42	132	5	432	4,6	0,14	0,35	0,020	8,79	6,62	0,753
Bhakta (1992)	Z3-F	Ze	C	EOF	1,78	38	133	5	421	4,6	0,14	0,35	0,020	10,28	8,43	0,820
Bhakta (1992)	Z4-F	Ze	C	EOF	1,78	38	133	5	421	4,6	0,14	0,35	0,020	10,28	8,15	0,793
Bhakta (1992)	Z7-F	Ze	C	EOF	2,54	26	72	3	447	4,6	0,14	0,35	0,020	22,92	18,30	0,798
Bhakta (1992)	Z8-F	Ze	C	EOF	2,54	26	72	3	447	4,6	0,14	0,35	0,020	22,92	17,60	0,768
Cain (1995)	Z1,3-F	Ze	C	EOF	1,55	43	96	4	425	4,6	0,14	0,35	0,020	8,91	7,01	0,787
Cain (1995)	Z1,4-F	Ze	C	EOF	1,55	43	96	4	425	4,6	0,14	0,35	0,020	8,91	6,99	0,785
Cain (1995)	Z2,3-F	Ze	C	EOF	2,11	32	70	3	449	4,6	0,14	0,35	0,020	17,17	13,80	0,804

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>y</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Cain (1995)	Z2,4-F	Ze	C	EOF	2,11	32	70	3	449	4,6	0,14	0,35	0,020	17,17	13,80	0,804
Cain (1995)	Z3,3-F	Ze	C	EOF	1,55	43	129	4	427	4,6	0,14	0,35	0,020	8,60	7,58	0,881
Cain (1995)	Z3,4-F	Ze	C	EOF	1,55	43	129	4	427	4,6	0,14	0,35	0,020	8,60	7,77	0,904
Cain (1995)	Z4,3-F	Ze	C	EOF	2,11	32	94	3	434	4,6	0,14	0,35	0,020	16,06	12,30	0,766
Cain (1995)	Z4,4-F	Ze	C	EOF	2,11	32	94	3	434	4,6	0,14	0,35	0,020	16,06	12,10	0,754
Cain (1995)	Z5,3-F	Ze	C	EOF	1,50	45	151	4	504	4,6	0,14	0,35	0,020	9,33	6,19	0,664
Cain (1995)	Z5,4-F	Ze	C	EOF	1,50	45	150	4	504	4,6	0,14	0,35	0,020	9,34	6,56	0,703
Cain (1995)	Z6,3-F	Ze	C	EOF	1,91	35	118	3	508	4,6	0,14	0,35	0,020	15,18	11,00	0,725
Cain (1995)	Z6,4-F	Ze	C	EOF	1,91	35	118	3	508	4,6	0,14	0,35	0,020	15,18	11,20	0,738
Cain (1995)	Z7,3-F	Ze	C	EOF	1,91	35	143	4	392	4,6	0,14	0,35	0,020	10,92	9,01	0,825
Cain (1995)	Z7,4-F	Ze	C	EOF	1,91	35	143	4	392	4,6	0,14	0,35	0,020	10,92	9,12	0,835
Gerges (1997)	150-7-30-B	Ue	C	EOF	1,28	23	108	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,55	3,47	0,977
Gerges (1997)	150-7-60-A	Ue	C	EOF	1,28	50	106	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,58	3,81	0,832
Gerges (1997)	150-7-100-A	Ue	C	EOF	1,28	79	106	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	5,43	4,94	0,909
Gerges (1997)	150-7-100-B	Ue	C	EOF	1,28	79	106	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	5,43	4,94	0,909
Gerges (1997)	150-10-30-A	Ue	C	EOF	1,28	23	100	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,22	3,37	1,046
Gerges (1997)	150-10-30-B	Ue	C	EOF	1,28	23	100	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,22	3,32	1,031
Gerges (1997)	150-10-60-A	Ue	C	EOF	1,28	50	100	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,14	3,67	0,886
Gerges (1997)	150-10-60-B	Ue	C	EOF	1,28	50	101	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,14	3,70	0,894
Gerges (1997)	150-10-100-A	Ue	C	EOF	1,28	79	99	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,92	4,05	0,823
Gerges (1997)	150-10-100-B	Ue	C	EOF	1,28	79	102	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,90	4,11	0,839
Gerges (1997)	200-7-30-A	Ue	C	EOF	1,28	23	145	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,40	3,38	0,993
Gerges (1997)	200-7-60-A	Ue	C	EOF	1,28	50	144	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,38	3,65	0,832
Gerges (1997)	200-7-60-B	Ue	C	EOF	1,28	50	145	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,38	3,63	0,829
Gerges (1997)	200-7-100-A	Ue	C	EOF	1,28	79	144	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	5,20	4,41	0,848
Gerges (1997)	200-7-100-B	Ue	C	EOF	1,28	79	144	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	5,20	4,43	0,852
Gerges (1997)	200-10-30-A	Ue	C	EOF	1,28	23	140	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,07	3,10	1,009
Gerges (1997)	200-10-30-B	Ue	C	EOF	1,28	23	139	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,08	3,12	1,014
Gerges (1997)	200-10-60-A	Ue	C	EOF	1,28	50	140	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,95	3,41	0,862
Gerges (1997)	200-10-60-B	Ue	C	EOF	1,28	50	139	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,96	3,41	0,862
Gerges (1997)	200-10-100-A	Ue	C	EOF	1,28	79	140	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,69	3,67	0,783
Gerges (1997)	200-10-100-B	Ue	C	EOF	1,28	79	139	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,69	3,67	0,782

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Gerges (1997)	250-7-30-A	Ue	C	EOF	1,28	23	184	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,27	3,17	0,970
Gerges (1997)	250-7-30-B	Ue	C	EOF	1,28	23	184	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,27	3,26	0,998
Gerges (1997)	250-7-60-A	Ue	C	EOF	1,28	50	184	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,20	3,53	0,840
Gerges (1997)	250-7-60-B	Ue	C	EOF	1,28	50	184	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,20	3,51	0,835
Gerges (1997)	250-7-100-A	Ue	C	EOF	1,28	79	184	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,99	4,04	0,810
Gerges (1997)	250-7-100-B	Ue	C	EOF	1,28	79	184	5	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,99	4,06	0,814
Gerges (1997)	250-10-30-A	Ue	C	EOF	1,28	23	179	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	2,95	3,00	1,017
Gerges (1997)	250-10-30-B	Ue	C	EOF	1,28	23	178	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	2,95	2,94	0,996
Gerges (1997)	250-10-60-A	Ue	C	EOF	1,28	50	178	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,80	3,21	0,845
Gerges (1997)	250-10-60-B	Ue	C	EOF	1,28	50	177	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	3,80	3,19	0,839
Gerges (1997)	250-10-100-A	Ue	C	EOF	1,28	79	179	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,50	3,64	0,809
Gerges (1997)	250-10-100-B	Ue	C	EOF	1,28	79	178	7	321	4,6	0,14	0,35	0,020	4,50	3,52	0,782
Bhakta (1992)	Z1	Ze	NC	EOF	1,78	38	133	5	421	5,7	0,09	0,02	0,001	6,76	6,20	0,917
Bhakta (1992)	Z2	Ze	NC	EOF	1,78	38	132	5	421	5,7	0,09	0,02	0,001	6,76	6,18	0,914
Bhakta (1992)	Z5	Ze	NC	EOF	2,54	26	72	3	447	5,7	0,09	0,02	0,001	15,02	13,90	0,926
Bhakta (1992)	Z6	Ze	NC	EOF	2,54	26	72	3	447	5,7	0,09	0,02	0,001	15,02	14,30	0,952
Cain (1995)	Z1,1	Ze	NC	EOF	1,55	43	96	4	425	5,7	0,09	0,02	0,001	5,32	4,61	0,866
Cain (1995)	Z1,2	Ze	NC	EOF	1,55	43	96	4	425	5,7	0,09	0,02	0,001	5,32	4,42	0,830
Cain (1995)	Z2,1	Ze	NC	EOF	2,11	32	70	3	449	5,7	0,09	0,02	0,001	10,59	9,15	0,864
Cain (1995)	Z2,2	Ze	NC	EOF	2,11	32	70	3	449	5,7	0,09	0,02	0,001	10,59	9,06	0,856
Cain (1995)	Z3,1	Ze	NC	EOF	1,55	43	129	4	427	5,7	0,09	0,02	0,001	5,34	5,61	1,050
Cain (1995)	Z3,2	Ze	NC	EOF	1,55	43	129	4	427	5,7	0,09	0,02	0,001	5,34	5,36	1,004
Cain (1995)	Z4,1	Ze	NC	EOF	2,11	32	94	3	434	5,7	0,09	0,02	0,001	10,22	8,70	0,851
Cain (1995)	Z4,2	Ze	NC	EOF	2,11	32	94	3	434	5,7	0,09	0,02	0,001	10,22	8,95	0,876
Cain (1995)	Z5,1	Ze	NC	EOF	1,50	45	151	4	504	5,7	0,09	0,02	0,001	5,89	5,91	1,004
Cain (1995)	Z5,2	Ze	NC	EOF	1,50	45	150	4	504	5,7	0,09	0,02	0,001	5,89	5,87	0,997
Cain (1995)	Z6,1	Ze	NC	EOF	1,91	35	118	3	508	5,7	0,09	0,02	0,001	9,71	5,91	0,608
Cain (1995)	Z6,2	Ze	NC	EOF	1,91	35	118	3	508	5,7	0,09	0,02	0,001	9,71	5,80	0,597
Cain (1995)	Z7,1	Ze	NC	EOF	1,91	35	143	4	392	5,7	0,09	0,02	0,001	7,31	6,78	0,927
Cain (1995)	Z7,2	Ze	NC	EOF	1,91	35	143	4	392	5,7	0,09	0,02	0,001	7,31	6,81	0,931
Bhakta (1992)	C3	Ue	NC	EOF	2,77	24	69	1	391	4,3	0,14	0,35	0,020	24,33	19,00	0,781
Bhakta (1992)	C4	Ue	NC	EOF	2,77	24	69	1	391	4,3	0,14	0,35	0,020	24,33	18,90	0,777

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>t</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Bhakta (1992)	C7	Ue	NC	EOF	1,63	41	116	2	413	4,3	0,14	0,35	0,020	9,33	6,79	0,728
Bhakta (1992)	C8	Ue	NC	EOF	1,63	41	116	2	413	4,3	0,14	0,35	0,020	9,33	6,90	0,740
Bhakta (1992)	C11	Ue	NC	EOF	1,60	42	131	5	432	4,3	0,14	0,35	0,020	8,22	6,65	0,809
Bhakta (1992)	C12	Ue	NC	EOF	1,60	42	131	5	432	4,3	0,14	0,35	0,020	8,22	6,73	0,818
Langan (1994)	EOF-SU-1-1-1	Ue	NC	EOF	1,52	17	192	3	413	4,3	0,14	0,35	0,002	7,55	4,42	0,586
Langan (1994)	EOF-SU-1-1-2	Ue	NC	EOF	1,52	17	192	3	413	4,3	0,14	0,35	0,002	7,55	4,67	0,619
Langan (1994)	EOF-SU-2-1-1	Ue	NC	EOF	1,12	23	73	4	365	4,3	0,14	0,35	0,002	3,79	3,14	0,829
Langan (1994)	EOF-SU-2-1-2	Ue	NC	EOF	1,12	23	73	4	365	4,3	0,14	0,35	0,002	3,79	3,09	0,816
Langan (1994)	EOF-SU-3-1-1	Ue	NC	EOF	0,91	28	89	4	441	4,3	0,14	0,35	0,002	3,13	2,06	0,657
Langan (1994)	EOF-SU-3-1-2	Ue	NC	EOF	0,91	28	89	4	441	4,3	0,14	0,35	0,002	3,13	2,03	0,648
Langan (1994)	EOF-SU-4-1-1	Ue	NC	EOF	1,80	14	45	2	558	4,3	0,14	0,35	0,002	14,11	10,70	0,758
Langan (1994)	EOF-SU-4-1-2	Ue	NC	EOF	1,80	14	45	2	558	4,3	0,14	0,35	0,002	14,11	10,70	0,758
Langan (1994)	EOF-SU-5-1-1	Ue	NC	EOF	1,50	17	34	3	372	4,3	0,14	0,35	0,002	6,69	5,92	0,885
Langan (1994)	EOF-SU-5-1-2	Ue	NC	EOF	1,50	17	34	3	372	4,3	0,14	0,35	0,002	6,69	5,59	0,835
Langan (1994)	EOF-SU-6-1-1	Ue	NC	EOF	0,84	30	62	5	462	4,3	0,14	0,35	0,002	2,79	2,11	0,755
Langan (1994)	EOF-SU-6-1-2	Ue	NC	EOF	0,84	30	62	5	462	4,3	0,14	0,35	0,002	2,79	2,11	0,755
Langan (1994)	EOF-SU-7-1-1	Ue	NC	EOF	1,58	16	34	3	255	4,3	0,14	0,35	0,002	5,03	4,42	0,879
Langan (1994)	EOF-SU-7-1-2	Ue	NC	EOF	1,58	16	34	3	255	4,3	0,14	0,35	0,002	5,03	4,73	0,941
Langan (1994)	EOF-SU-8-1-1	Ue	NC	EOF	0,99	26	54	4	234	4,3	0,14	0,35	0,002	1,94	1,81	0,932
Langan (1994)	EOF-SU-8-1-2	Ue	NC	EOF	0,99	26	54	4	234	4,3	0,14	0,35	0,002	1,94	1,87	0,963
Langan (1994)	EOF-SU-9-1-1	Ue	NC	EOF	1,12	23	74	4	324	4,3	0,14	0,35	0,002	3,36	2,98	0,887
Langan (1994)	EOF-SU-9-1-2	Ue	NC	EOF	1,12	23	74	4	324	4,3	0,14	0,35	0,002	3,36	3,03	0,902
Langan (1994)	EOF-SU-10-1-1	Ue	NC	EOF	1,96	13	42	2	441	4,3	0,14	0,35	0,002	12,97	8,90	0,686
Langan (1994)	EOF-SU-12-1-1	Ue	NC	EOF	0,84	30	168	5	641	4,3	0,14	0,35	0,002	3,84	2,48	0,646
Langan (1994)	EOF-SU-12-1-2	Ue	NC	EOF	0,84	30	168	5	641	4,3	0,14	0,35	0,002	3,84	2,66	0,693
Langan (1994)	EOF-SU-13-1-1	Ue	NC	EOF	1,14	22	168	3	496	4,3	0,14	0,35	0,002	5,31	3,78	0,711
Langan (1994)	EOF-SU-13-1-2	Ue	NC	EOF	1,14	22	168	3	496	4,3	0,14	0,35	0,002	5,31	3,76	0,707
Langan (1994)	IOF-SU-5-1-1	Ue	NC	IOF	0,84	91	98	5	406	15,8	0,23	0,14	0,010	4,74	4,12	0,870
Langan (1994)	IOF-SU-5-1-2	Ue	NC	IOF	0,84	91	98	5	406	15,8	0,23	0,14	0,010	4,74	4,12	0,870
Langan (1994)	IOF-SU-5-8-1	Ue	NC	IOF	0,84	121	98	5	406	15,8	0,23	0,14	0,010	5,15	4,29	0,833
Langan (1994)	IOF-SU-5-8-2	Ue	NC	IOF	0,84	121	98	5	406	15,8	0,23	0,14	0,010	5,15	4,34	0,842
Langan (1994)	IOF-SU-6-1-1	Ue	NC	IOF	1,14	67	72	3	365	15,8	0,23	0,14	0,010	8,44	6,40	0,758

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>y</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Langan (1994)	IOF-SU-6-1-2	Ue	NC	IOF	1,14	67	72	3	365	15,8	0,23	0,14	0,010	8,44	6,07	0,719
Langan (1994)	IOF-SU-10-1-1	Ue	NC	IOF	1,14	67	168	3	496	15,8	0,23	0,14	0,010	10,92	10,10	0,925
Langan (1994)	IOF-SU-10-1-2	Ue	NC	IOF	1,14	67	168	3	496	15,8	0,23	0,14	0,010	10,92	10,30	0,943
Young e Hancock (2001)	100x50x4	U	NC	EOF	3,85	13	22	1	440	4,6	0,40	0,60	0,030	47,76	34,40	0,720
Young e Hancock (2001)	100504	U	NC	EOF	3,85	7	22	1	440	4,6	0,40	0,60	0,030	38,20	31,40	0,822
Young e Hancock (2001)	125654	U	NC	EOF	3,85	17	29	1	405	4,6	0,40	0,60	0,030	47,98	35,30	0,736
Young e Hancock (2001)	125654	U	NC	EOF	3,87	8	29	1	405	4,6	0,40	0,60	0,030	38,36	29,70	0,774
Young e Hancock (2001)	200755	U	NC	EOF	4,72	16	38	1	415	4,6	0,40	0,60	0,030	73,06	49,30	0,675
Young e Hancock (2001)	200755	U	NC	EOF	4,75	8	38	1	415	4,6	0,40	0,60	0,030	58,59	42,70	0,729
Young e Hancock (2001)	250906	U	NC	EOF	6,00	15	37	1	445	4,6	0,40	0,60	0,030	108,22	64,30	0,594
Young e Hancock (2001)	250906	U	NC	EOF	6,00	8	37	1	445	4,6	0,40	0,60	0,030	86,06	61,30	0,712
Young e Hancock (2001)	300906	U	NC	EOF	6,00	15	45	1	435	4,6	0,40	0,60	0,030	100,73	64,80	0,643
Young e Hancock (2001)	300906	U	NC	EOF	6,00	8	45	1	435	4,6	0,40	0,60	0,030	80,11	62,50	0,780
Young e Hancock (2001)	75404	U	NC	IOF	3,85	10	15	1	450	14,9	0,32	0,10	0,010	85,51	49,00	0,573
Young e Hancock (2001)	75404	U	NC	IOF	3,85	5	15	1	450	14,9	0,32	0,10	0,010	79,40	47,20	0,594
Young e Hancock (2001)	100504	U	NC	IOF	3,85	13	22	1	440	14,9	0,32	0,10	0,010	84,16	57,90	0,688
Young e Hancock (2001)	100504	U	NC	IOF	3,85	7	22	1	440	14,9	0,32	0,10	0,010	77,63	56,30	0,725
Young e Hancock (2001)	125654	U	NC	IOF	3,85	17	29	1	405	14,9	0,32	0,10	0,010	80,89	63,60	0,786
Young e Hancock (2001)	125654	U	NC	IOF	3,87	8	29	1	405	14,9	0,32	0,10	0,010	74,82	57,40	0,767
Young e Hancock (2001)	200755	U	NC	IOF	4,72	16	38	1	415	14,9	0,32	0,10	0,010	126,03	94,50	0,750
Young e Hancock (2001)	200755	U	NC	IOF	4,75	8	38	1	415	14,9	0,32	0,10	0,010	116,90	91,20	0,780
Young e Hancock (2001)	250906	U	NC	IOF	6,00	15	37	1	445	14,9	0,32	0,10	0,010	196,66	142,80	0,726
Young e Hancock (2001)	250906	U	NC	IOF	6,00	8	37	1	445	14,9	0,32	0,10	0,010	180,58	132,30	0,733
Young e Hancock (2001)	300906	U	NC	IOF	6,00	15	45	1	435	14,9	0,32	0,10	0,010	187,65	143,40	0,764
Young e Hancock (2001)	300906	U	NC	IOF	6,00	8	45	1	435	14,9	0,32	0,10	0,010	172,30	134,60	0,781
Young e Hancock (2001)	75404	U	NC	ETF	3,85	10	15	1	450	2,0	0,11	0,37	0,010	24,96	22,10	0,886
Young e Hancock (2001)	75404	U	NC	ETF	3,85	5	15	1	450	2,0	0,11	0,37	0,010	20,98	18,30	0,872
Young e Hancock (2001)	100504	U	NC	ETF	3,85	13	22	1	440	2,0	0,11	0,37	0,010	25,67	24,80	0,966
Young e Hancock (2001)	100504	U	NC	ETF	3,85	7	22	1	440	2,0	0,11	0,37	0,010	21,37	22,60	1,057
Young e Hancock (2001)	125654	U	NC	ETF	3,85	17	29	1	405	2,0	0,11	0,37	0,010	25,43	28,20	1,109
Young e Hancock (2001)	125654	U	NC	ETF	3,87	8	29	1	405	2,0	0,11	0,37	0,010	21,16	23,40	1,106
Young e Hancock (2001)	200x75x5	U	NC	ETF	4,72	16	38	1	415	2,0	0,11	0,37	0,010	38,43	40,20	1,046

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r <sub>y</sub> /t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Young e Hancock (2001)	200x75x5	U	NC	ETF	4,75	8	38	1	415	2,0	0,11	0,37	0,010	32,08	31,20	0,973
Young e Hancock (2001)	250906	U	NC	ETF	6,00	15	37	1	445	2,0	0,11	0,37	0,010	63,96	50,60	0,791
Young e Hancock (2001)	250906	U	NC	ETF	6,00	8	37	1	445	2,0	0,11	0,37	0,010	52,93	46,90	0,886
Young e Hancock (2001)	300906	U	NC	ETF	6,00	15	45	1	435	2,0	0,11	0,37	0,010	61,84	49,40	0,799
Young e Hancock (2001)	300906	U	NC	ETF	6,00	8	45	1	435	2,0	0,11	0,37	0,010	51,17	45,40	0,887
Young e Hancock (2001)	75404	U	NC	ITF	3,85	10	15	1	450	14,0	0,47	0,25	0,040	74,92	51,30	0,685
Young e Hancock (2001)	75404	U	NC	ITF	3,85	5	15	1	450	14,0	0,47	0,25	0,040	65,13	54,90	0,843
Young e Hancock (2001)	100504	U	NC	ITF	3,85	13	22	1	440	14,0	0,47	0,25	0,040	72,44	58,30	0,805
Young e Hancock (2001)	100504	U	NC	ITF	3,85	7	22	1	440	14,0	0,47	0,25	0,040	62,38	66,30	1,063
Young e Hancock (2001)	125654	U	NC	ITF	3,85	17	29	1	405	14,0	0,47	0,25	0,040	70,58	60,40	0,856
Young e Hancock (2001)	125654	U	NC	ITF	3,87	8	29	1	405	14,0	0,47	0,25	0,040	60,74	64,40	1,060
Young e Hancock (2001)	200755	U	NC	ITF	4,72	16	38	1	415	14,0	0,47	0,25	0,040	108,11	100,10	0,926
Young e Hancock (2001)	200755	U	NC	ITF	4,75	8	38	1	415	14,0	0,47	0,25	0,040	93,36	99,80	1,069
Young e Hancock (2001)	250906	U	NC	ITF	6,00	15	37	1	445	14,0	0,47	0,25	0,040	153,66	148,50	0,966
Young e Hancock (2001)	250906	U	NC	ITF	6,00	8	37	1	445	14,0	0,47	0,25	0,040	131,52	148,40	1,128
Young e Hancock (2001)	300906	U	NC	ITF	6,00	15	45	1	435	14,0	0,47	0,25	0,040	140,15	149,10	1,064
Young e Hancock (2001)	300x90x6	U	NC	ITF	6,00	8	45	1	435	14,0	0,47	0,25	0,040	119,96	144,60	1,205
Young e Hancock (1998)	S1EOF125N32,5-a	U	NC	EOF	3,84	8	29	1	405	4,6	0,40	0,60	0,030	37,75	29,70	0,787
Young e Hancock (1998)	S1EOF125N32,5-b	U	NC	EOF	3,84	8	29	1	405	4,6	0,40	0,60	0,030	37,75	29,70	0,787
Young e Hancock (1998)	S1EOF200N75-a	U	NC	EOF	4,71	16	38	1	415	4,6	0,40	0,60	0,030	72,85	49,30	0,677
Young e Hancock (1998)	S1EOF200N75-b	U	NC	EOF	4,71	16	38	1	415	4,6	0,40	0,60	0,030	72,85	49,30	0,677
Young e Hancock (1998)	S1EOF200N37,5-a	U	NC	EOF	4,72	8	38	1	415	4,6	0,40	0,60	0,030	58,05	43,70	0,753
Young e Hancock (1998)	S1EOF200N37,5-b	U	NC	EOF	4,74	8	38	1	415	4,6	0,40	0,60	0,030	58,45	43,70	0,748
Young e Hancock (1998)	S2EOF80N40-a	U	NC	EOF	3,82	11	17	1	280	4,6	0,40	0,60	0,030	28,63	26,40	0,922
Young e Hancock (1998)	S2EOF80N40-b	U	NC	EOF	3,85	10	17	1	280	4,6	0,40	0,60	0,030	29,08	26,40	0,908
Young e Hancock (1998)	S2EOF140N50-a	U	NC	EOF	3,87	13	32	1	290	4,6	0,40	0,60	0,030	31,09	27,90	0,897
Young e Hancock (1998)	S2EOF140N50-b	U	NC	EOF	3,87	13	32	1	290	4,6	0,40	0,60	0,030	31,09	27,90	0,897
Young e Hancock (1998)	S2EOF150N75-a	U	NC	EOF	3,86	19	35	1	275	4,6	0,40	0,60	0,030	33,48	33,20	0,992
Young e Hancock (1998)	S2EOF150N75-b	U	NC	EOF	3,86	19	35	1	275	4,6	0,40	0,60	0,030	33,48	33,20	0,992
Young e Hancock (1998)	S1IOF125N65-a	U	NC	IOF	3,86	17	29	1	405	14,9	0,32	0,10	0,010	81,41	63,60	0,781
Young e Hancock (1998)	S1IOF125N65-b	U	NC	IOF	3,86	17	29	1	405	14,9	0,32	0,10	0,010	81,41	63,60	0,781
Young e Hancock (1998)	S1IOF125N32,5-a	U	NC	IOF	3,86	8	29	1	405	14,9	0,32	0,10	0,010	74,49	57,40	0,771

Autor	Modelo	Seção	Classific.		t (mm)	c/t	h/t	r/t	f <sub>y</sub> (Mpa)	α	α <sub>r</sub>	α <sub>c</sub>	α <sub>h</sub>	F <sub>NBR</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> (kN)	F <sub>exp</sub> /F <sub>NBR</sub>
Young e Hancock (1998)	S1IOF125N32,5-b	U	NC	IOF	3,86	8	29	1	405	14,9	0,32	0,10	0,010	74,49	57,40	0,771
Young e Hancock (1998)	S1IOF200N75-a	U	NC	IOF	4,74	16	38	1	415	14,9	0,32	0,10	0,010	127,15	94,50	0,743
Young e Hancock (1998)	S1IOF200N75-b	U	NC	IOF	4,73	16	38	1	415	14,9	0,32	0,10	0,010	126,73	94,50	0,746
Young e Hancock (1998)	S1IOF200N37,5-a	U	NC	IOF	4,72	8	38	1	415	14,9	0,32	0,10	0,010	115,66	91,20	0,789
Young e Hancock (1998)	S1IOF200N37,5-b	U	NC	IOF	4,74	8	38	1	415	14,9	0,32	0,10	0,010	116,57	91,20	0,782
Young e Hancock (1998)	S2IOF80N40-a(1)	U	NC	IOF	3,85	10	17	1	280	14,9	0,32	0,10	0,010	52,83	43,90	0,831
Young e Hancock (1998)	S2IOF80N40-b(1)	U	NC	IOF	3,81	11	17	1	280	14,9	0,32	0,10	0,010	51,68	43,90	0,850
Young e Hancock (1998)	S2IOF80N40-a(2)	U	NC	IOF	3,84	10	17	1	280	14,9	0,32	0,10	0,010	52,55	44,20	0,841
Young e Hancock (1998)	S2IOF80N40-b(2)	U	NC	IOF	3,82	11	17	1	280	14,9	0,32	0,10	0,010	51,95	44,20	0,851
Young e Hancock (1998)	S2IOF140N50-a	U	NC	IOF	3,89	13	32	1	290	14,9	0,32	0,10	0,010	56,61	49,70	0,878
Young e Hancock (1998)	S2IOF140N50-b	U	NC	IOF	3,90	13	32	1	290	14,9	0,32	0,10	0,010	56,85	49,70	0,874
Young e Hancock (1998)	S2IOF150N75-a	U	NC	IOF	3,85	20	35	1	275	14,9	0,32	0,10	0,010	55,51	55,10	0,993
Young e Hancock (1998)	S2IOF150N75-b	U	NC	IOF	3,85	20	35	1	275	14,9	0,32	0,10	0,010	55,51	55,10	0,993
Young e Hancock (1998)	S1ETF125N65	U	NC	ETF	3,86	17	29	1	405	2,0	0,11	0,37	0,010	25,57	28,20	1,103
Young e Hancock (1998)	S1ETF125N32,5	U	NC	ETF	3,83	8	29	1	405	2,0	0,11	0,37	0,010	20,78	23,40	1,126
Young e Hancock (1998)	S1ETF200N75	U	NC	ETF	4,72	16	38	1	415	2,0	0,11	0,37	0,010	38,49	40,20	1,045
Young e Hancock (1998)	S1ETF200N37,5	U	NC	ETF	4,72	8	38	1	415	2,0	0,11	0,37	0,010	31,77	31,20	0,982
Young e Hancock (1998)	S2ETF80N40	U	NC	ETF	3,85	10	17	1	280	2,0	0,11	0,37	0,010	15,50	14,80	0,955
Young e Hancock (1998)	S2ETF100N50	U	NC	ETF	4,83	10	16	1	295	2,0	0,11	0,37	0,010	25,48	26,70	1,048
Young e Hancock (1998)	S2ETF140N50	U	NC	ETF	3,88	13	32	1	290	2,0	0,11	0,37	0,010	17,04	18,70	1,097
Young e Hancock (1998)	S2ETF150N75	U	NC	ETF	3,86	19	35	1	275	2,0	0,11	0,37	0,010	18,01	19,00	1,055
Young e Hancock (1998)	S3ETF96N75	U	NC	ETF	1,47	51	61	1	510	2,0	0,11	0,37	0,010	6,78	5,40	0,796
Young e Hancock (1998)	S3ETF96N50	U	NC	ETF	1,47	34	61	1	510	2,0	0,11	0,37	0,010	5,88	4,80	0,816
Young e Hancock (1998)	S3ETF96N37,5	U	NC	ETF	1,47	26	63	1	550	2,0	0,11	0,37	0,010	5,75	4,30	0,748
Young e Hancock (1998)	S3ETF96N25	U	NC	ETF	1,47	17	63	1	550	2,0	0,11	0,37	0,010	5,06	3,80	0,750
Young e Hancock (1998)	S1ITF125N65(1)	U	NC	ITF	3,84	17	29	1	405	14,0	0,47	0,25	0,040	70,04	60,40	0,862
Young e Hancock (1998)	S1ITF125N65(2)	U	NC	ITF	3,84	17	29	1	405	14,0	0,47	0,25	0,040	70,04	59,60	0,851
Young e Hancock (1998)	S1ITF125N32,5(1)	U	NC	ITF	3,85	8	29	1	405	14,0	0,47	0,25	0,040	60,21	64,40	1,070
Young e Hancock (1998)	S1ITF125N32,5(2)	U	NC	ITF	3,85	8	29	1	405	14,0	0,47	0,25	0,040	60,21	63,80	1,060
Young e Hancock (1998)	S1ITF200N75	U	NC	ITF	4,72	16	38	1	415	14,0	0,47	0,25	0,040	108,25	100,00	0,924
Young e Hancock (1998)	S1ITF200N37,5	U	NC	ITF	4,73	8	38	1	415	14,0	0,47	0,25	0,040	92,77	99,80	1,076
Young e Hancock (1998)	S2ITF80N40	U	NC	ITF	3,78	11	17	1	280	14,0	0,47	0,25	0,040	43,81	32,40	0,739

<b>Autor</b>	<b>Modelo</b>	<b>Seção</b>	<b>Classific.</b>		<b>t</b> <b>(mm)</b>	<b>c/t</b>	<b>h/t</b>	<b>r<sub>i</sub>/t</b>	<b>f<sub>y</sub></b> <b>(Mpa)</b>	<b>α</b>	<b>α<sub>r</sub></b>	<b>α<sub>c</sub></b>	<b>α<sub>h</sub></b>	<b>F<sub>NBR</sub></b> <b>(kN)</b>	<b>F<sub>exp</sub></b> <b>(kN)</b>	<b>F<sub>exp</sub>/F<sub>NBR</sub></b>
Young e Hancock (1998)	S2ITF100N50	U	NC	ITF	4,82	10	16	1	295	14,0	0,47	0,25	0,040	70,54	56,90	0,807
Young e Hancock (1998)	S2ITF140N50	U	NC	ITF	3,89	13	32	1	290	14,0	0,47	0,25	0,040	47,18	44,30	0,939
Young e Hancock (1998)	S2ITF150N75	U	NC	ITF	3,86	19	35	1	275	14,0	0,47	0,25	0,040	47,99	43,60	0,908
Young e Hancock (1998)	S3ITF96N75	U	NC	ITF	1,47	51	61	1	510	14,0	0,47	0,25	0,040	18,98	14,20	0,748
Young e Hancock (1998)	S3ITF96N50	U	NC	ITF	1,46	34	61	1	510	14,0	0,47	0,25	0,040	16,55	13,10	0,792
Young e Hancock (1998)	S3ITF96N37,5	U	NC	ITF	1,47	26	63	1	550	14,0	0,47	0,25	0,040	16,51	12,50	0,757
Young e Hancock (1998)	S3ITF96N25	U	NC	ITF	1,47	17	63	1	550	14,0	0,47	0,25	0,040	14,82	12,30	0,830

Nota:

- Nomeclatura original do modelo (corpo-de-prova)