

**VERIFICAÇÕES DA PUNÇÃO E DA ESTABILIDADE
GLOBAL EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO:
DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE
RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS**

Juliana Soares Lima

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas

ORIENTADOR: Libânio Miranda Pinheiro

São Carlos

2001

*A meus pais,
meus primeiros Mestres*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Libânio Miranda Pinheiro, pela orientação e pela atenção dispensada a este trabalho.

À amiga Mônica Cristina Cardoso da Guarda, pelas idéias, pelo incentivo, pelo apoio e pela amizade.

Às amigas Tatiana Gesteira Martins de Almeida e Tatiana Bittencourt Dumêt, pelo apoio e pela amizade de sempre.

A Maria Nadir Minatel, por toda sua atenção e ajuda na confecção das referências bibliográficas.

Aos amigos e funcionários do SET, pela receptividade, pelo carinho e pela atenção.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE SIGLAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ASPECTOS GERAIS	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.4. CONTEÚDO.....	3

CAPÍTULO 2

PUNÇÃO EM LAJES	5
2.1. O FENÔMENO DA PUNÇÃO.....	5
2.2. INFLUÊNCIA DA ARMADURA PARA PUNÇÃO.....	7
2.3. COLAPSO PROGRESSIVO	8
2.4. ANÁLISE TEÓRICA DO PROBLEMA DA PUNÇÃO.....	9
2.5. MÉTODO DA SUPERFÍCIE DE CONTROLE.....	10
2.6. TRANSFERÊNCIA DE MOMENTOS DESBALANCEADOS.....	12
2.7. VERIFICAÇÃO DA PUNÇÃO DE ACORDO COM A NBR 6118 (2000).....	13
2.7.1. Cálculo das Tensões Resistentes	15
a) Na face do pilar (contorno C).....	15
b) A 2d da face do pilar (contorno C'), em lajes sem armadura de punção, ou a 2d da última linha de conectores (contorno C''), em lajes com essa armadura.....	15
c) A 2d da face do pilar (contorno C'), em lajes com armadura de punção.....	17
2.7.2. Cálculo das Tensões Atuantes	18
a) Pilar interno, com carregamento simétrico.....	18
b) Pilar interno, com momento em uma direção.....	19
c) Pilar interno, com momentos nas duas direções.....	21
d) Pilar de borda, sem momento no plano paralelo à borda livre	21
e) Pilar de borda, com momento no plano paralelo à borda livre.....	23
f) Pilar de canto	24
g) Presença de aberturas	26
2.7.3. Verificação do Colapso Progressivo	27
2.8. DETALHAMENTO DE ACORDO COM A NBR 6118 (2000).....	27

2.9. COMPLEMENTAÇÕES E COMENTÁRIOS SOBRE A VERIFICAÇÃO DA PUNÇÃO NA NBR 6118 (2000)	30
2.9.1. Tensão do Concreto no Contorno C	30
2.9.2. Limitação do Valor de ρ	32
2.9.3. Perímetro Crítico de Pilares Alongados	32
2.9.4. Valores de K.....	33
2.9.5. Valores de W_p para os Contornos C e C''	34
2.9.6. Tensão Atuante em Pilares Internos com Momentos nas Duas Direções.....	38
2.9.7. Valores da Excentricidade e^* para os Contornos C e C''	38
2.9.8. Método Simplificado para a Punção Excêntrica	41
2.9.9. Posicionamento dos Conectores Tipo Pino	43
2.9.10. Espaçamento Mínimo entre a Armadura e a Face do Pilar	44
2.9.11. Unidades	44
2.9.12. Notação.....	45
2.10. EXEMPLO DE CÁLCULO.....	46
2.10.1. Cálculo dos Esforços	46
2.10.2. Estudo da Laje	47
2.10.3. Pilar P6 (pilar interno).....	50
a) Verificação do contorno C	50
b) Verificação do contorno C'	52
c) Verificação do contorno C''	54
d) Verificação do colapso progressivo.....	56
2.10.4. Pilar P5 (pilar de borda)	56
a) Verificação do contorno C	56
b) Verificação do contorno C'	58
c) Verificação do contorno C''	60
d) Verificação do colapso progressivo.....	62

2.10.5. Pilar P1 (pilar de canto).....	62
a) Verificação do contorno C	62
b) Verificação do contorno C'	65
c) Verificação do contorno C''	66
d) Verificação do colapso progressivo.....	68
2.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
2.12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
2.13. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	72

CAPÍTULO 3

ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS	73
3.1. OS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM E A ESTABILIDADE DE UMA ESTRUTURA.....	73
3.2. DESLOCABILIDADE DOS NÓS DE UMA ESTRUTURA	74
3.3. ANÁLISE TEÓRICA DO PROBLEMA DA ESTABILIDADE GLOBAL.....	75
3.3.1. Classificação quanto à Deslocabilidade dos Nós	75
3.3.2. Determinação dos Efeitos de Segunda Ordem	76
3.4. O PARÂMETRO DE INSTABILIDADE α	77
3.4.1. Módulo de Rigidez da Estrutura.....	78
3.4.2. Valores Limites de α	79
3.5. O PROCESSO P- Δ	81
3.6. O COEFICIENTE γ_z	83
3.7. A INFLUÊNCIA DAS NÃO-LINEARIDADES.....	86
3.7.1. Não-Linearidade Física (NLF)	86
3.7.2. Não-Linearidade Geométrica (NLG)	87

3.8. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE ACORDO COM A NBR 6118 (2000).....	87
3.8.1. Consideração das Ações Horizontais	87
a) Vento	87
b) Desaprumo.....	88
3.8.2. Classificação quanto à Deslocabilidade dos Nós	89
3.8.3. Determinação do Parâmetro α	90
3.8.4. Determinação do Coeficiente γ_z	90
3.8.5. Consideração Simplificada da Não-Linearidade Física	91
3.8.6. Análise de Estruturas de Nós Móveis.....	92
3.9. COMPLEMENTAÇÕES E COMENTÁRIOS SOBRE A NBR 6118 (2000) - ESTABILIDADE.....	92
3.9.1. Obtenção do Módulo de Rigidez Equivalente $(EI)_{eq}$	93
3.9.2. Formulação do Coeficiente γ_z	93
3.9.3. Utilização do Parâmetro α e do Coeficiente γ_z na Classificação quanto à Deslocabilidade dos Nós	95
3.9.4. Utilização do Coeficiente γ_z como Majorador.....	96
3.9.5. Consideração Simplificada da NLF.....	98
3.10. EXEMPLO DE CÁLCULO	99
3.10.1. Critérios de Modelagem	101
3.10.2. Determinação do Parâmetro α	102
3.10.3. Determinação do Coeficiente γ_z	102
a) Cálculo das forças de arrasto.....	103
b) Cálculo do Coeficiente γ_z	104
3.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
3.12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
3.13. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	113

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES.....	115
4.1. A VERIFICAÇÃO DA PUNÇÃO.....	115
4.1.1. Complementações e Comentários.....	117
4.1.2. Sugestões para Novas Pesquisas.....	119
4.2. A VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL.....	120
4.2.1. Complementações e Comentários.....	121
4.2.2. Sugestões para Novas Pesquisas.....	123
4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124

ANEXO A

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE η_{wp}	125
---	-----

ANEXO B

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE η_{e1} E η_{e2}	150
---	-----

ANEXO C

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE β	168
---	-----

ANEXO D

AVALIAÇÃO DO γ_z COMO MAJORADOR.....	201
D.1. EDIFÍCIOS ESTUDADOS.....	201
D.2. VALOR DO MAJORADOR.....	202
D.3. LIMITE PARA O USO DO γ_z COMO MAJORADOR.....	204

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Estágios de fissuração na face superior de uma laje simétrica.	6
Figura 2.2 - Propagação das fissuras	6
Figura 2.3 - Superfícies de ruína por punção.....	6
Figura 2.4 - Conectores tipo pino	8
Figura 2.5 - Comportamento da ligação laje-pilar após a ruína por punção.....	9
Figura 2.6 - Regiões com possibilidade de ruína.....	11
Figura 2.7 - Distribuição de tensões de cisalhamento devidas à transferência de momentos desbalanceados	13
Figura 2.8 - Perímetros críticos	14
Figura 2.9 - Seção para o cálculo de r	17
Figura 2.10 - Alturas úteis da laje nas direções X e Y	17
Figura 2.11 - Disposição da armadura A_{sw} para pilares internos.....	18
Figura 2.12 - Determinação de F_{sd} e M_{sd}	19
Figura 2.13 - Dimensões c_1 e c_2	20
Figura 2.14 - Determinação das dimensões c_1 e c_2 para pilares internos com momentos nas duas direções	21
Figura 2.15 - Perímetro crítico reduzido do contorno C' para pilares de borda.....	22
Figura 2.16 - Excentricidade do perímetro crítico reduzido do contorno C' para pilares de borda	23
Figura 2.17 - Situações de cálculo para verificação de pilares de canto	25
Figura 2.18 - Perímetro crítico reduzido do contorno C' para pilares de canto	25
Figura 2.19 - Excentricidade do perímetro crítico reduzido do contorno C' para pilares de canto.....	26
Figura 2.20 - Redução do perímetro crítico na presença de aberturas próximas ao pilar.....	27

Figura 2.21 - Armadura contra colapso progressivo	28
Figura 2.22 - Detalhes dos conectores tipo pino	28
Figura 2.23 - Disposição dos conectores em planta	29
Figura 2.24 - Espaçamentos necessários para os conectores	29
Figura 2.25 - Interferência de s_e no cálculo de u'	30
Figura 2.26 - Disposição da armadura de punção em pilares de borda e de canto	30
Figura 2.27 - Perímetro crítico de pilares alongados	33
Figura 2.28 - Posicionamento do conector em corte	43
Figura 2.29 - Disposição da armadura de punção em corte (figura 46 da NBR 6118/2000)	44
Figura 2.30 - Forma do pavimento do exemplo (dimensões em centímetros)	47
Figura 2.31 - Detalhamento da armação positiva	48
Figura 2.32 - Detalhamento da armação negativa	49
Figura 2.33 - Arranjo dos conectores tipo pino para o pilar P6	53
Figura 2.34 - Arranjo dos conectores tipo pino para o pilar P5	60
Figura 2.35 - Situações de cálculo para o pilar P1	63
Figura 2.36 - Arranjo dos conectores tipo pino para o pilar P1	66
Figura 3.1 - Módulo de rigidez equivalente	79
Figura 3.2 - Representação da deformada de estruturas com diferentes sistemas de contraventamento	80
Figura 3.3 - Posições deslocadas em iterações sucessivas	81
Figura 3.4 - Processo P-D	82
Figura 3.5 - Desaprumo	88
Figura 3.6 - Transformação do desaprumo em forças horizontais fictícias	89
Figura 3.7 - Edifício estudado	100
Figura 3.8 - Variação dos acréscimos dos esforços de segunda ordem nas direções X e Y	110
Figura A.1 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para pilares internos e de canto	148
Figura A.2 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para pilares de borda	149
Figura B.1 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para pilares de borda	166
Figura B.2 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para pilares de canto	167
Figura D.1 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Orlando Maia II)	215
Figura D.2 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Roma)	215

Figura D.3 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Vela I)	216
Figura D.4 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Fontana di Trevi)	216
Figura D.5 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Multiplus)	217
Figura D.6 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Orlando Maia II)	217
Figura D.7 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Roma)	218
Figura D.8 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Vela I)	218
Figura D.9 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Fontana di Trevi)	219
Figura D.10 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Multiplus)	219
Figura D.11 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y (Ed. Orlando Maia II)	220
Figura D.12 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y (Ed. Roma)	220
Figura D.13 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y (Ed. Vela I)	221
Figura D.14 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y (Ed. Fontana di Trevi)	221
Figura D.15 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y (Ed. Multiplus)	222
Figura D.16 - Diagramas de dispersão	223
Figura D.17 - Relação entre os acréscimos sugeridos por P-D e g_z - Força normal	224
Figura D.18 - Relação entre os acréscimos sugeridos por P-D e g_z - Momentos nos pilares.....	224
Figura D.19 - Relação entre os acréscimos sugeridos por P-D e g_z - Esforços nas vigas	225
Figura D.20 - Relação entre os acréscimos sugeridos por P-D e g_z - Média geral.....	225

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Perímetros críticos para pilares internos	19
Tabela 2.2 - Valores do coeficiente K	20
Tabela 2.3 - Perímetros críticos reduzidos para pilares de borda.....	22
Tabela 2.4 - Perímetros críticos reduzidos para pilares de canto	25
Tabela 2.5 - Valores de W_p'	35
Tabela 2.6 - Valores de h_{wp}	37
Tabela 2.7 - Valores de e* para pilares de borda.....	39
Tabela 2.8 - Valores de e* para pilares de canto	39
Tabela 2.9 - Valores de h_{e1} e de h_{e2}	40
Tabela 2.10 - Valores de b agrupados e aproximados.....	42
Tabela 2.11 - Reações dos pilares	46
Tabela 2.12 - Capacidade resistente de ligações segundo a NBR 6118 (1978) e a NBR 6118 (2000).....	69
Tabela 2.13 - Tensões limites para dispensa de armadura de cisalhamento segundo a NBR 6118 (1978) e a NBR 6118 (2000)	69
Tabela 3.1 - Valores de y e a_{lim} para diferentes sistemas de contraventamento.....	81
Tabela 3.2 - Pés-direitos, alturas e forças verticais dos pavimentos	101
Tabela 3.3 - Forças de arrasto.....	103
Tabela 3.4 - Deslocamentos horizontais na direção X	105
Tabela 3.5 - Deslocamentos horizontais na direção Y	105
Tabela 3.6 - Deslocamentos horizontais na direção X , devidos às forças verticais	106
Tabela 3.7 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D - direção X	108
Tabela 3.8 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D - direção Y	108
Tabela 3.9 - Comparação entre majorações.....	109

Tabela A.1 - Valores de h_{wp} para o quantil de 10%	126
Tabela A.2 - Valores de h_{wp} sugeridos e suas probabilidades de ocorrência	127
Tabela A.3 - Valores de h_{wp} para pilares internos com $c_1 \leq c_2$	127
Tabela A.4 - Valores de h_{wp} para pilares internos com $c_1 > c_2$	130
Tabela A.5 - Valores de h_{wp} para pilares de borda com $c_1 \leq c_2$	134
Tabela A.6 - Valores de h_{wp} para pilares de borda com $c_1 > c_2$	137
Tabela A.7 - Valores de h_{wp} para pilares de canto com $c_1 \leq c_2$	140
Tabela A.8 - Valores de h_{wp} para pilares de canto com $c_1 > c_2$	144
Tabela B.1 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para o quantil de 10%	151
Tabela B.2 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} sugeridos e suas probabilidades de ocorrência.....	151
Tabela B.3 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para pilares de borda com $c_1 \leq c_2$	151
Tabela B.4 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para pilares de borda com $c_1 > c_2$	155
Tabela B.5 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para pilares de canto com $c_1 \leq c_2$	158
Tabela B.6 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para pilares de canto com $c_1 > c_2$	162
Tabela C.1 - Valores de b para o nível de significância de 10%	169
Tabela C.2 - Valores de b sugeridos para $c_1 \leq c_2$ e suas probabilidades de ocorrência.....	170
Tabela C.3 - Valores de b sugeridos para $c_1 > c_2$ e suas probabilidades de ocorrência.....	170
Tabela C.4 - Valores de b para pilares internos com momento atuante em uma direção e $c_1 \leq c_2$	171
Tabela C.5 - Valores de b para pilares internos com momento atuante em uma direção e $c_1 > c_2$	174
Tabela C.6 - Valores de b para pilares internos com momentos atuantes nas duas direções e $c_1 \leq c_2$	177
Tabela C.7 - Valores de b para pilares internos com momentos atuantes nas duas direções e $c_1 > c_2$	180
Tabela C.8 - Valores de b para pilares de borda sem momento no plano paralelo à borda e $c_1 \leq c_2$	183
Tabela C.9 - Valores de b para pilares de borda sem momento no plano paralelo à borda e $c_1 > c_2$	186
Tabela C.10 - Valores de b para pilares de borda com momento no plano paralelo à borda e $c_1 \leq c_2$	189

Tabela C.11 - Valores de b para pilares de borda com momento no plano paralelo à borda e $c_1 > c_2$	192
Tabela C.12 - Valores de b para pilares de canto com $c_1 \leq c_2$	195
Tabela C.13 - Valores de b para pilares de canto com $c_1 > c_2$	198
Tabela D.1 - Características dos edifícios estudados	201
Tabela D.2 - Valores do coeficiente g_z	202
Tabela D.3 - Acréscimos percentuais dos esforços de primeira ordem indicados pelo processo P-D	203
Tabela D.4 - Comparação entre os majoradores.....	203
Tabela D.5 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção X (Ed. Orlando Maia II)	205
Tabela D.6 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção Y (Ed. Orlando Maia II)	206
Tabela D.7 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção X (Ed. Roma)	207
Tabela D.8 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção Y (Ed. Roma)	208
Tabela D.9 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção X (Ed. Vela Branca I).....	209
Tabela D.10 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção Y (Ed. Vela Branca I)	210
Tabela D.11 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção X (Ed. Fontana di Trevi).....	211
Tabela D.12 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção Y (Ed. Fontana di Trevi).....	212
Tabela D.13 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção X (Ed. Multiplus).....	213
Tabela D.14 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D , na direção Y (Ed. Multiplus).....	214

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	- American Concrete Institute
CEB	- Comité Euro-International du Béton
FIP	- Fédération Internationale de la Précontrainte
MC	- Model Code
NBR	- Norma Brasileira Registrada
NLG	- Não-Linearidade Geométrica
NLF	- Não-Linearidade Física

LISTA DE SÍMBOLOS

Capítulo 2

Letras romanas minúsculas

a, a₁, a₂	- trechos dos perímetros críticos reduzidos
c	- dimensão do pilar ou cobrimento da armadura
c₁, c₂	- dimensões do pilar
d	- altura útil da laje
d_ℓ	- comprimento infinitesimal do perímetro crítico
d_x, d_y	- alturas úteis da laje nas direções ortogonais X e Y
e	- distância do comprimento infinitesimal do perímetro crítico ao eixo que passa pelo centro do pilar
e*	- excentricidade do perímetro crítico reduzido no contorno C'
e_o*	- excentricidade do perímetro crítico reduzido no contorno C
e'*	- excentricidade do perímetro crítico reduzido no contorno C''
f_{cd}	- resistência de cálculo do concreto à compressão
f_{ck}	- resistência característica do concreto à compressão
f_{ywd}	- resistência de cálculo da armadura de punção
f_{yd}	- tensão de escoamento da armadura de colapso progressivo

h	- altura da laje
l_b	- comprimento de ancoragem
p	- distância da face do pilar até a última linha de conectores
s_e	- espaçamento entre os conectores mais afastados do pilar
s_o	- espaçamento entre a face do pilar e a primeira linha de conectores
s_r	- espaçamento radial entre linhas de conectores
u	- perímetro crítico do contorno C'
u_o	- perímetro crítico do contorno C
u'	- perímetro crítico do contorno C''
u^*	- perímetro crítico reduzido do contorno C'
u_o^*	- perímetro crítico reduzido do contorno C
u'^*	- perímetro crítico reduzido do contorno C''

Letras romanas maiúsculas

A_s	- soma das áreas das armaduras positivas, devidamente ancoradas, que cruzam cada uma das faces do pilar
A_{sw}	- área da armadura de punção
C	- contorno crítico na face do pilar
C'	- contorno crítico a 2d da face do pilar
C''	- contorno crítico a 2d da região armada
D	- diâmetro do pino
F_{sd}	- força normal de cálculo
K, K₁, K₂	- coeficientes que fornecem a parcela de momento transferida por cisalhamento
M_{sd}, M_{sd1}, M_{sd2}	- momentos desbalanceados de cálculo
M_{sd}*	- momento resultante da excentricidade do perímetro crítico reduzido u* em relação ao centro do pilar
N_{1d}	- força vertical acumulada

N_{2d}	- reação vertical
W_p, W_{p1}, W_{p2}	- módulos de resistência plástica do perímetro crítico u
$W_{p0}, W_{p1,0}, W_{p2,0}$	- módulos de resistência plástica do perímetro crítico u_0
W_p', W_{p1}', W_{p2}'	- módulos de resistência plástica do perímetro crítico u'
X, Y	- direções da armadura de flexão na laje
Letras gregas	
a	- inclinação entre o eixo da armadura de punção e o plano da laje
a_v	- coeficiente de efetividade do concreto
b	- coeficiente para consideração do efeito da excentricidade
h_{e1}, h_{e2}	- coeficiente para correção de e^* em função do contorno estudado
h_{wp}	- coeficiente para correção do W_p' em função da situação de cálculo
r	- taxa geométrica de armadura longitudinal
r_x, r_y	- taxas geométricas de armadura longitudinal nas direções ortogonais X e Y
t_{Rd1}	- tensão resistente de cálculo do concreto a $2d$ ou da face do pilar (lajes sem armadura de punção) ou da região armada
t_{Rd2}	- tensão resistente de cálculo do concreto na face do pilar
t_{Rd3}	- tensão resistente de cálculo do concreto a $2d$ da face do pilar (lajes com armadura de punção)
t_{sd}	- tensão solicitante de cálculo do concreto ao cisalhamento

Capítulo 3

Letras romanas minúsculas

a	- deslocamento horizontal no topo da estrutura
a_h	- deslocamento horizontal no nível do centro de gravidade das cargas verticais da estrutura, decorrente da incidência apenas de ações horizontais
a_v	- deslocamento horizontal no nível do centro de gravidade das cargas verticais da estrutura, decorrente da incidência apenas de ações verticais
a_{vi}	- deslocamento horizontal do pavimento i , decorrente da incidência apenas de ações verticais
d_i	- deslocamento horizontal relativo do pavimento i em relação ao pavimento i-1
d_{i+1}	- deslocamento horizontal relativo do pavimento i+1 em relação ao pavimento i
f_{ck}	- resistência característica do concreto à compressão
h_i	- pé-direito do pavimento i
h_{i+1}	- pé-direito do pavimento i+1
ℓ	- altura total da estrutura, em metros
n	- número de pavimentos, número de pilares contínuos de um pórtico ou número de iterações
q	- força horizontal uniformemente distribuída
r	- razão de progressão geométrica
x_i	- distância vertical do pavimento i à base do edifício
y_i	- deslocamento horizontal do pavimento i
y_{id}	- deslocamento horizontal do pavimento i , provocado por forças horizontais com valores de cálculo

Letras romanas maiúsculas

A_s	- área da armadura de tração
A'_s	- área da armadura de compressão
C_a	- coeficiente de arrasto
E	- módulo de deformação longitudinal
E_c	- módulo de deformação longitudinal inicial do concreto
EI	- módulo de rigidez
$(EI)_{eq}$	- módulo de rigidez equivalente
$(EI)_{sec}$	- módulo de rigidez secante
F_{ai}	- força de arrasto aplicada no pavimento i
FH_{id}	- força horizontal total aplicada no pavimento i , com valor de cálculo
H	- altura total da estrutura
H_i	- força horizontal fictícia aplicada no pavimento i (processo P-D)
DH_i	- força horizontal fictícia devida ao desaprumo, aplicada no pavimento i
I	- momento de inércia da seção transversal bruta
I_c	- momento de inércia da seção transversal bruta de um elemento de concreto
M_1	- momento externo de primeira ordem na base da estrutura indeformada
M_{1d}	- momento externo de primeira ordem na base da estrutura indeformada, com valores de cálculo
$M_{1,tot,d}$	- momento de primeira ordem, com valores de cálculo
M_2	- momento final na posição de equilíbrio (primeira ordem + segunda ordem)
M_{2d}	- momento total, com valores de cálculo
DM_1	- acréscimo de momentos na primeira iteração
DM_d	- acréscimo de momentos na primeira iteração, com valor de cálculo
$DM_{tot,d}$	- acréscimo de momentos após a análise de primeira ordem, com valor de cálculo

DM_i	- acréscimo de momento na i -ésima iteração
N	- somatório das ações verticais atuantes em uma estrutura
N_k	- somatório das ações verticais atuantes em uma estrutura, com valores característicos
P_i	- força vertical atuante no pavimento i
P_{id}	- força vertical atuante no pavimento i , com valor de cálculo
P-D	- processo P-delta
S_1	- fator topográfico
S_2	- fator que considera a rugosidade do terreno e as dimensões da edificação
S_3	- fator estatístico
V_i	- força vertical acumulada até o pavimento i
V_{i+1}	- força vertical acumulada até o pavimento $i+1$
V_{ij}	- força vertical aplicada pelo pavimento i no pilar j
V_o	- velocidade básica do vento
X, Y	- direções de incidência dos ventos

Letras gregas

α	- parâmetro alfa ou parâmetro de instabilidade
α_{lim}	- valor limite para o parâmetro de instabilidade alfa
γ	- parâmetro de forma da linha elástica
g_f	- coeficiente de ponderação
g_z	- coeficiente gama-z
q_a	- ângulo de desaprumo

RESUMO

LIMA, J.S. (2001). *Verificações da punção e da estabilidade global de edifícios de concreto: desenvolvimento e aplicação de recomendações normativas*. São Carlos. 225p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Neste trabalho, são estudadas as verificações da punção e da estabilidade global segundo a revisão da NBR 6118. A partir da análise dos fenômenos físicos e com base nos estudos teóricos realizados, são feitas sugestões para serem contornadas algumas omissões da Norma. Também são propostas complementações que facilitem o entendimento das novas recomendações e, ainda, modificações que melhorem seus resultados. Sugerem-se métodos simplificados relacionados à punção excêntrica, e propõem-se algumas alterações quanto ao uso do g_z como coeficiente majorador na avaliação da estabilidade global. Observa-se que as verificações, apesar de mais trabalhosas, apresentam melhorias significativas em relação à NBR 6118 (1978), mostrando-se mais detalhadas e eficientes. Ainda assim, considera-se importante a introdução de algumas complementações, como aquelas sugeridas neste trabalho.

Palavras-chave: concreto armado; punção; estabilidade global; efeitos de segunda ordem; edifício; normalização.

ABSTRACT

LIMA, J.S. (2001). *Punching shear and global stability of concrete buildings: development and application of code provisions*. São Carlos. 225p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work presents an overview of the requirements for punching shear and global stability of buildings in the draft Brazilian Code for concrete structures. Suggestions are made for fulfilling some omissions of the Code, based on theoretical studies and physical phenomena analysis. Some complements and changes are also proposed to facilitate the understanding of the new recommendations and to improve their results. Simplified methods related to the eccentric punching and modifications in the use of g_z as a first order effects magnifier are suggested. It is concluded that the new provisions are more detailed and efficient, presenting significant improvements on both topics, especially when compared to NBR 6118 (1978). Nevertheless, it is considered important the introduction of some complements, as those suggested in this work.

Keywords: reinforced concrete; punching; stability; second order effects; building; code provisions.

INTRODUÇÃO

1.1. ASPECTOS GERAIS

A simples observação dos centros urbanos em qualquer lugar do mundo é suficiente para se constatar as mudanças sofridas pelos padrões arquitetônicos e urbanísticos nas últimas décadas. Essa formação de novas paisagens é produto direto dos avanços das tecnologias e dos materiais.

No que diz respeito à Engenharia de Estruturas, em especial, o surgimento de novos equipamentos e técnicas de ensaio e instrumentação, e o advento do computador e sua popularização, foram os grandes responsáveis pela possibilidade de sofisticação e refinamento das análises. As modelagens numéricas vêm se mostrando cada vez mais capazes de representar o comportamento dos elementos estruturais e de estruturas como um todo, e as pesquisas experimentais já vêm utilizando modelos mais completos e complexos. Com isso, os fenômenos físicos puderam ser melhor conhecidos, as estimativas de esforços e deslocamentos puderam ser melhor aproximadas, e vêm se conseguindo projetar estruturas mais arrojadas.

Dentro desse novo contexto, e considerando-se as necessidades inerentes à modernidade, surge a necessidade de se rever o projeto de concreto estrutural. Algumas prescrições das normas em vigor já estão ultrapassadas, não sendo mais condizentes com as estruturas que vêm sendo construídas, e certas omissões já não são mais admissíveis.

Por isso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) está finalizando a nova NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto, que substituirá três normas: a NBR 6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado, a NBR 7197 - Projeto de estruturas de concreto protendido, e a NBR 5627 - Projeto de concreto simples. Nesse texto, estarão novas diretrizes para a elaboração de projetos estruturais, com várias complementações e modificações em relação às versões que ainda estão em vigor.

Entretanto, é importante salientar que essas novas recomendações, apesar de certamente serem baseadas em estudos mais recentes, ainda não estão consolidadas. Apenas com trabalhos específicos sobre cada um dos tópicos abordados é que se pode conhecer melhor os fundamentos dos procedimentos propostos, e identificar e preencher as principais lacunas existentes.

1.2. JUSTIFICATIVA

O texto provisório da nova NBR 6118, aqui chamado de NBR 6118 (2000), já foi lançado e está em fase de consulta pública. Alguns de seus temas chamam atenção, seja pelo fato de não terem sido abordados na versão anterior, seja pelas modificações que sofreram. Dentre eles, pode-se citar o dimensionamento de vigas ao esforço cortante e à torção, que trazem nova formulação; a verificação de lajes à punção, que traz novos procedimentos; o cálculo dos esforços de segunda ordem globais e a verificação da estabilidade global de edifícios, que antes não eram sequer mencionados; e os aspectos de qualidade e estados limites de serviço, aos quais vêm se dando bastante ênfase e que também eram negligenciados ou tratados apenas superficialmente no texto anterior. Pode-se falar ainda das questões de análise estrutural, instabilidade local e regiões de descontinuidade.

Frente a todas essas novidades e considerando-se que várias das novas recomendações não têm suas origens indicadas, que algumas modificações não são justificadas, e que os pontos mencionados na seção de comentários não respondem a dúvidas comuns que o projetista de estruturas pode vir a ter, o estudo desse texto torna-se fundamental. Compreendendo-se os fenômenos físicos relacionados a cada um dos assuntos, pode-se identificar seus aspectos fundamentais, ou seja, aqueles que não podem ser negligenciados no projeto, e então verificar se eles estão sendo considerados, e de forma coerente, pela Norma. Pode-se estudar as formulações adotadas e indicar coeficientes ou expressões que venham apresentando melhores desempenhos, apontando-se maneiras práticas de utilizá-los. Resolvendo-se exemplos de situações práticas, pode-se aplicar e também esclarecer as recomendações da Norma, além de se identificar suas principais limitações. E propostas para complementações ou modificações devem surgir naturalmente.

Em especial para este trabalho, foram escolhidos dois tópicos: as verificações da punção e da estabilidade global, sendo que ambos os procedimentos são novidades em relação à NBR 6118 (1978).

No caso da punção, o método adotado anteriormente deu lugar a um novo enfoque, que ainda não é largamente conhecido. E com o aumento da utilização de lajes lisas, tanto a

compreensão do fenômeno da punção quanto de sua verificação vêm se tornando elementos essenciais para a elaboração do projeto.

Já no caso da estabilidade global, nem havia prescrições na versão anterior. E com o aumento do número de pavimentos dos edifícios e de sua esbeltez, a avaliação correta dos efeitos do vento e, principalmente, dos efeitos de segunda ordem por ele causados, vêm se tornando ainda mais importantes.

É claro que os outros tópicos mencionados anteriormente também merecem atenção, mas ficam como propostas para pesquisas futuras.

1.3. OBJETIVOS

Pode-se dizer que são dois os objetivos principais deste trabalho.

O primeiro é esclarecer os procedimentos da NBR 6118 (2000) relativos às verificações da punção e da estabilidade global, elaborando-se um texto didático que auxilie a sua compreensão. A partir da análise dos fenômenos físicos e com base nos estudos teóricos realizados, pretende-se, inclusive, fazer sugestões para serem contornadas as omissões da Norma que, em algumas situações, prejudicam seu entendimento.

O segundo é avaliar a abordagem da NBR 6118 (2000) no que diz respeito aos tópicos estudados, propondo-se tanto complementações que facilitem o entendimento das novas recomendações quanto modificações que melhorem seus resultados. Novamente com base nos estudos teóricos, pretende-se destacar alguns aspectos que deveriam ser considerados nas verificações e não o são, e outros que precisariam ser alterados.

E para ilustrar tanto os procedimentos da Norma como as complementações e alterações sugeridas, serão apresentados exemplos de cálculo de situações práticas.

1.4. CONTEÚDO

No capítulo 2, são estudadas as características da ruptura por punção e os procedimentos para o projeto de grande parte das situações práticas de pilares retangulares, incluindo pilares internos, de borda e de canto, e lajes armadas e não armadas para punção. As recomendações da NBR 6118 (2000) são apresentadas, justificadas e criticadas, sendo sugeridas algumas complementações e modificações. Realiza-se, ainda, um exemplo de cálculo para ilustrar os procedimentos discutidos.

No capítulo 3, são estudados a determinação dos efeitos de segunda ordem, a importância da verificação da estabilidade global e os procedimentos de projeto usualmente adotados para este fim. As recomendações da NBR 6118 (2000), que permitem o uso do

parâmetro de instabilidade α e do coeficiente g_z , são apresentadas e analisadas com base em um processo mais rigoroso, o **P-D**, sugerindo-se, novamente, algumas complementações e modificações. Realiza-se, também, um exemplo de cálculo para ilustrar os procedimentos discutidos.

Por fim, no capítulo 4, são apresentadas as conclusões e algumas considerações finais sobre os estudos realizados. Destacam-se as principais propostas para a versão definitiva da NBR 6118, além de sugestões para novas pesquisas.

PUNÇÃO EM LAJES

Com o aumento da utilização de lajes lisas, tanto a compreensão do fenômeno da punção quanto a sua verificação tornam-se elementos essenciais para a elaboração do projeto. Neste capítulo, são estudadas as características da ruptura por punção e os procedimentos para o projeto de grande parte das situações práticas de pilares retangulares, incluindo pilares internos, de borda e de canto, e lajes armadas e não armadas para punção. As recomendações da NBR 6118 (2000) são apresentadas, justificadas e criticadas, sendo sugeridas algumas complementações e modificações. Por fim, realiza-se um exemplo de cálculo para ilustrar os procedimentos discutidos.

2.1. O FENÔMENO DA PUNÇÃO

A punção é um problema freqüente em lajes lisas e está relacionado à concentração de tensões cisalhantes nas proximidades dos pilares. A região da laje próxima ao pilar sofre uma pequena rotação e move-se verticalmente, fraturando a zona comprimida e separando os dois elementos. Como praticamente não ocorre escoamento da armadura de flexão da laje, fica caracterizada uma ruína do tipo frágil.

À medida que a estrutura vai sendo carregada, várias fissuras radiais de flexão vão sendo formadas (Figura 2.1a). A cerca de $\frac{2}{3}$ da força última de punção, aparecem fissuras circunferenciais (Figura 2.1b), formadas da face carregada para a face oposta da laje, sob uma inclinação que varia entre 25° e 30° com o plano da laje (Figura 2.2).

No caso simétrico de pilares internos, a superfície de ruína é praticamente um tronco de cone (Figura 2.3a). No caso de pilares de borda e de canto (Figura 2.3b e Figura 2.3c, respectivamente), as superfícies são mais irregulares e a análise da ruína é consideravelmente mais difícil, principalmente devido à influência dos efeitos de flexão e de torção.

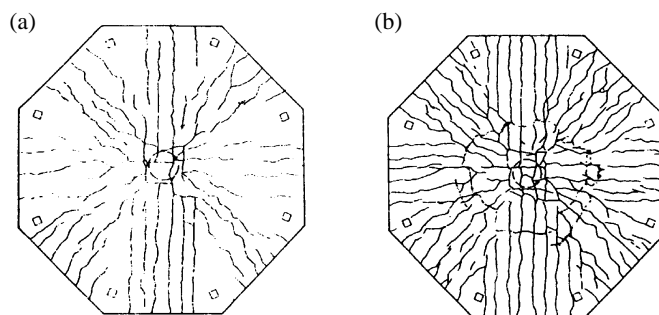


Figura 2.1 - Estágios de fissuração na face superior de uma laje simétrica.

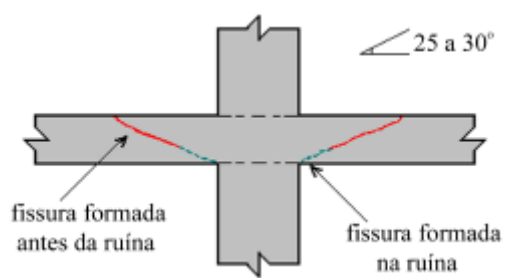


Figura 2.2 - Propagação das fissuras

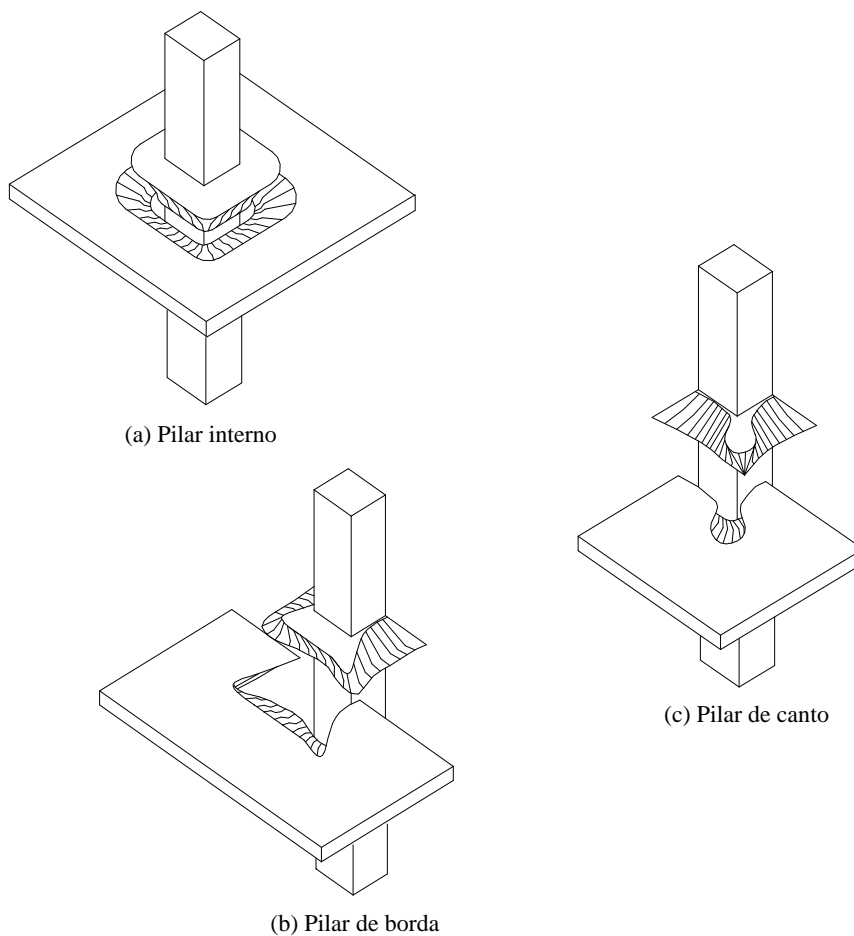


Figura 2.3 - Superfícies de ruína por punção

2.2. INFLUÊNCIA DA ARMADURA PARA PUNÇÃO

Para se evitar a ruína por punção, muitas vezes é necessário se aumentar a resistência da ligação laje-pilar. Soluções comuns como capitéis e “drop panels” podem ser indesejáveis do ponto de vista arquitetônico ou construtivo, e, por isso, o uso de armaduras de cisalhamento para o combate à punção, ou, simplesmente, armaduras de punção, vem crescendo bastante. Essa alternativa, extremamente favorável do ponto de vista da ductilidade, contribui para a mudança do tipo de ruína previsto, de frágil (punção) para dúctil (flexão).

Quando são utilizadas armaduras de punção, o plano preferencial para a formação da superfície de ruína é modificado e vai se afastando da face do pilar. A capacidade resistente da ligação aumenta numa boa proporção, tanto que, de acordo com GOMES (1991), a resistência das lajes com armaduras de punção pode chegar ao dobro da resistência das lajes sem essas armaduras. Esse aumento proporcionado pelas armadura, entretanto, é limitado pela tensão de esmagamento da biela comprimida na face do pilar.

De qualquer forma, a nova tensão resistente da ligação tem uma parcela referente à armadura de punção e outra referente ao concreto.

A parcela do concreto corresponde a cerca de 75% da resistência da laje sem armadura de punção, segundo os estudos de REGAN & BRAESTRUP (1985), com base nos trabalhos de DILGER & GHALI (1981), LANGOHR et al. (1976) e SEIBLE et al. (1980), dentre outros. Essa redução seria consequência, principalmente, das maiores deformações e aberturas de fissuras relacionadas ao trabalho da armadura de cisalhamento. De acordo com GOMES (1991), entretanto, com base em seus resultados experimentais, existem casos em que a parcela do concreto pode atingir quase 100% da resistência da laje não armada para punção, a depender da ancoragem desenvolvida.

Já a parcela da armadura depende de vários parâmetros, como a disposição e os espaçamentos dos elementos, a eficiência das ancoragens, além da própria área de aço. Podem ser utilizados estribos ou conectores tipo pino (*studs*), modelos mais usuais dentre outras possibilidades.

Apesar dos estribos serem escolhidos com maior frequência, a garantia de sua ancoragem requer cuidados essenciais. O estribo deve envolver tanto a armadura de flexão superior quanto a inferior, o que dificulta e pode atrasar o processo executivo. Pequenas falhas nessas ligações provocam escorregamento e já comprometem a eficiência da armação, como mencionado por DILGER & GHALI (1981).

Mais efetivos em termos de ancoragem e mais facilmente colocados nas lajes, os conectores tipo pino vêm apresentado bom desempenho no aumento da resistência da ligação laje-pilar, como comprovado experimentalmente por DILGER & GHALI (1981),

MOKHTAR *et al.* (1985), ELGABRY & GHALI (1987) e LIM & RAGAN (1995). Esse tipo de armação consiste em conjuntos de pinos com pequenas chapas soldadas na parte superior (cabeças de ancoragem), soldados em uma chapa de aço na parte inferior (Figura 2.4). Segundo GHALI (1989), numa mesma situação, esse tipo de armadura requer uma menor área de aço que os estribos, o que também significa economia. Por tudo isso, os conectores tipo pino vêm sendo cada vez mais empregados em diversos países.

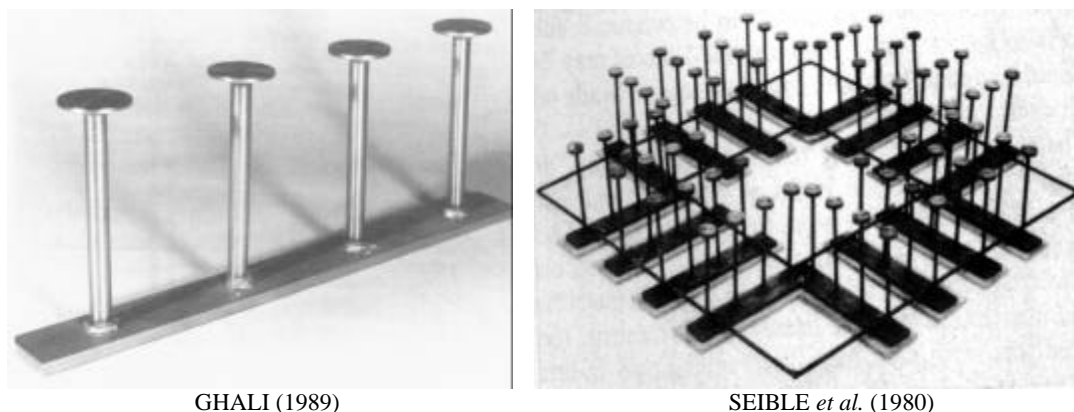


Figura 2.4 - Conectores tipo pino

2.3. COLAPSO PROGRESSIVO

Num edifício, a ruína localizada de uma ligação aumenta a força e a excentricidade nos pilares próximos, podendo desencadear a ruína generalizada de um pavimento e até de uma estrutura, se os painéis de laje caírem uns por cima dos outros. Essa sucessão de ruínas dos painéis é chamada de colapso progressivo, e ocorre devido à capacidade inadequada de uma ligação de absorver as tensões residuais de cisalhamento, relacionadas ao comportamento pós-punção.

A principal medida para se evitar o colapso progressivo é se garantir a ductilidade da ligação laje-pilar. As armaduras negativas, posicionadas na parte superior da laje, podem até aumentar a resistência da ligação, mas não sua ductilidade. Quando tem início o fenômeno da punção, elas tendem a romper o cobrimento superior no ponto em que a fissuração começou, deformando consideravelmente a laje (Figura 2.5a). Muitas vezes, a ruína generalizada não é impedida.

As armaduras de punção até proporcionam um certo aumento de ductilidade, porém muitas vezes insuficiente para evitar o colapso progressivo. A solução que vem demonstrando melhores resultados é a utilização de barras na face inferior da laje (armadura positiva), passando pelos pilares ou ancoradas neles. Essa disposição é bastante efetiva na absorção das tensões residuais de cisalhamento, contribuindo para a melhoria do

comportamento pós-punção, principalmente pelo chamado efeito pino (*dowel action*) (Figura 2.5b). Para isso, é essencial que a ancoragem das barras esteja além do “cone” de punção.

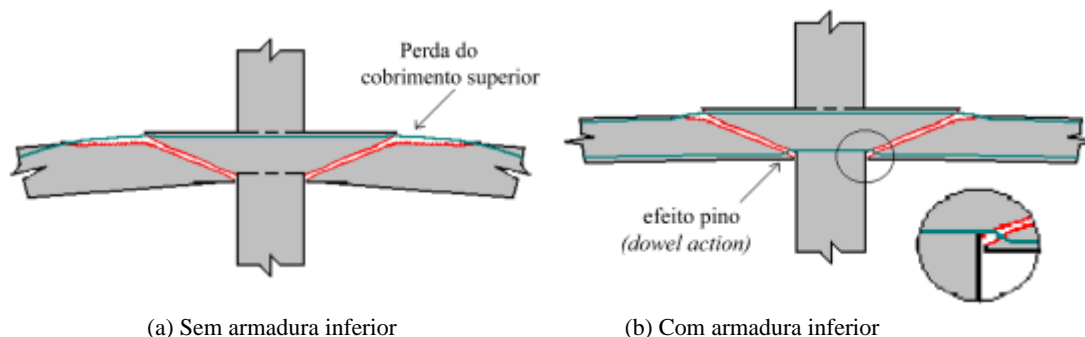


Figura 2.5 - Comportamento da ligação laje-pilar após a ruína por punção

Essa solução foi bastante estudada por HAWKINS & MITCHELL (1979), que comprovaram experimentalmente sua eficiência, desde que a armadura seja corretamente detalhada.

2.4. ANÁLISE TEÓRICA DO PROBLEMA DA PUNÇÃO

Desde os primeiros estudos relacionados à punção, muitas abordagens e métodos de cálculo já foram propostos. Mas até hoje não foi criado um modelo para representação do fenômeno que obtivesse uma aceitação geral.

Para se calcular a resistência de uma ligação à punção, pode-se ter como base a própria resistência da laje à flexão, como propõem LONG & BOND (1967). Isso é possível porque, de uma certa forma, os dois fenômenos estão relacionados, e até, em alguns casos, a carga de ruína por flexão não difere muito da carga de ruína por punção. No entanto, como esta pode ser inferior àquela, e sendo a ruína por punção brusca e frágil, é necessário se garantir a segurança, com verificações adicionais às de flexão.

Enfoques mais racionais podem ser obtidos com a utilização de modelos mecânicos, elásticos ou plásticos. KINNUNEM & NYLANDER¹ *apud* REGAN (1999) criaram o primeiro modelo teórico para lajes sem armadura de punção, e ANDERSSON² *apud* GOMES & REGAN (1999), para lajes com essa armadura. Também podem ser citados

¹ KINNUNEM, S.; NYLANDER, H. (1960). Punching of concrete slabs without shear reinforcement. *Transaction*, n.158, KTH, Stockholm *apud* REGAN (1999).

² ANDERSSON, J. (1963). Punching of concrete slabs with shear reinforcement. *Meddelande n.47*, Institutionen för Byggnadsstatik, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm *apud* GOMES & REGAN (1999).

trabalhos mais recentes como o de SHEHATA³ *apud* REGAN & BRAESTRUP (1985) e o de GOMES & REGAN (1999). Outros modelos, com base na Mecânica da Fratura, já foram desenvolvidos e podem ser implementados em programas computacionais.

A forma mais utilizada para se verificar a punção, entretanto, consiste em calcular uma tensão de cisalhamento em uma superfície denominada superfície de controle, e compará-la a uma tensão resistente do concreto. Cabe o comentário de que este método não representa fisicamente o fenômeno da punção, mas, como colocam REGAN & BRAESTRUP (1985), quando é bem calibrado, fornece previsões bastante próximas da realidade.

2.5. MÉTODO DA SUPERFÍCIE DE CONTROLE

O método da superfície de controle é adotado pelas principais normas internacionais para a verificação da punção. Como já foi comentado, consiste em comparar tensões de cisalhamento atuantes em superfícies consideradas críticas, com tensões resistentes do concreto.

As superfícies críticas a serem estudadas estão relacionadas às regiões com possibilidade de ruína por punção, localizadas entre a face do pilar e o início da armadura, dentro da região armada e além dela (Figura 2.6). Em função dessas regiões, pode-se definir as posições das superfícies em relação às faces do pilar, ou, no caso da superfície além da região armada, em relação ao limite das armaduras. É que, neste caso, tudo se passa como se as condições fossem as mesmas da região ao redor de um pilar, em lajes sem armadura de punção, sendo que as faces do pilar seriam o limite da região armada.

Os contornos das superfícies são aproximadamente circulares ou arredondados, e as alturas, iguais às alturas úteis da laje. Mas isso não significa que se considere a ruptura por punção associada a uma superfície quase cilíndrica. Trata-se apenas de uma aproximação, pois, como se sabe, a superfície de ruína mais se parece com um tronco de cone. Além disso, a tensão de cisalhamento atuante no contorno crítico não tem nenhum significado físico. Portanto, esse método da superfície de controle deve ser entendido somente como um método empírico, que pode conduzir a resultados que se aproximam bastante daqueles dos modelos mecânicos.

De qualquer modo, a ruína por punção pode ser evitada em qualquer uma das superfícies críticas. No primeiro caso (Figura 2.6a), mais difícil de ocorrer, a ruína pode ser evitada com o detalhamento correto da armadura, limitando-se o espaçamento entre a face do

³ SHEHATA, I.A.E.M. (1985). *Theory of punching in concrete slabs*. London. PhD Thesis, The Polytechnic of Central London *apud* REGAN & BRAESTRUP (1985).

pilar e o início da região armada. No segundo caso (Figura 2.6b), a ruína é evitada com o dimensionamento correto da armadura, além de seu detalhamento coerente, e, no terceiro caso (Figura 2.6c), com a disposição da armadura até um contorno a partir do qual a tensão já possa ser absorvida apenas pelo concreto. Essas recomendações são respeitadas quando a tensão atuante no contorno crítico, correspondente a cada situação, for menor que a tensão resistente.

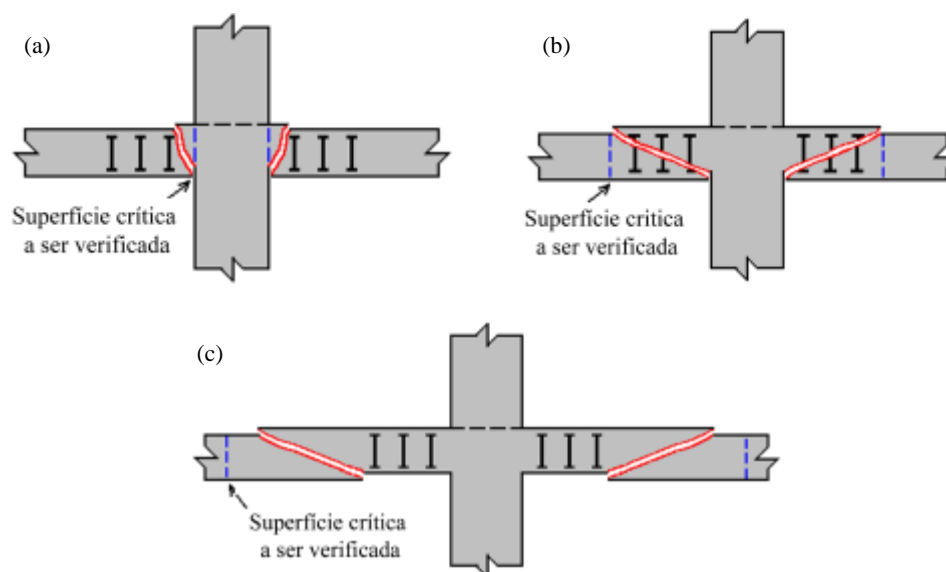


Figura 2.6 - Regiões com possibilidade de ruína

Essa tensão resistente do concreto ao cisalhamento a ser considerada nas verificações, depende de vários fatores, dentre os quais podem ser citados:

- resistência do concreto à compressão;
- altura útil da laje⁴ (em geral, tomada como a média entre as alturas úteis das duas direções ortogonais da armadura de flexão);

⁴ Uma questão que poderia ser levantada diz respeito à preferência do uso da altura útil **d** em vez da própria altura da laje **h**. Isso funciona como se a resistência à punção de uma ligação pudesse ser consideravelmente alterada pelo posicionamento vertical da armadura de flexão da laje, aumentando com a redução do cobrimento superior (maior **d**). Entretanto, isso vai de encontro a diversos resultados experimentais, como os de ALEXANDER & SIMMONDS (1992), que obtiveram um aumento de apenas 3%. BRAESTRUP (1995) sugere, inclusive, que o uso de **h** é mais apropriado. Mas deve-se lembrar, mais uma vez, que o método de controle não se baseia em nenhum modelo mecânico, estando distante do mecanismo de punção em si. Como na grande maioria dos casos os resultados com uso de **d** são conservadores, como indicam ALEXANDER & SIMMONDS (1992), pode-se utilizá-lo nas verificações. Tanto é que, as principais normas internacionais trabalham em termos de **d**.

- dimensões do pilar (que determinam os perímetros críticos);
- taxa de armadura longitudinal da laje.

Quando a laje está armada para punção, também interferem na resistência da ligação:

- tipo do aço da armadura de punção;
- área de aço;
- espaçamento radial dessa armadura.

Nos casos em que há aberturas na laje, a verificação da punção depende ainda de outros fatores, como suas dimensões e seu posicionamento. Além de serem extremamente indesejáveis do ponto de vista estrutural, as aberturas reduzem a ancoragem e o confinamento, e quanto mais próximas estiverem dos pilares, maior será a redução da tensão resistente na região. Os resultados de EL-SALAKAWY *et al.* (1999) mostram o comportamento das ligações nessas situações.

O procedimento usualmente adotado, dentro da idéia do método da superfície de controle, consiste em reduzir o perímetro crítico de acordo com projeções das aberturas que estiverem próximas aos pilares. As projeções radiais são as mais utilizadas, mas, de segundo REGAN (1974), fornecem resultados muito conservadores no caso de aberturas próximas às faces dos pilares. Já as projeções retas têm demonstrado melhores resultados, apesar de também apresentarem limitações. Nenhum destes procedimentos, entretanto, considera possíveis efeitos de excentricidades devidas às aberturas, que podem ser bastante significativos, como alerta REGAN (1974).

Ainda sobre o método da superfície de controle, vale o comentário de que a tensão de compressão diagonal não poderá ser ultrapassada em nenhum dos contornos críticos estudados, sob pena de esmagamento do concreto. Essa avaliação é feita indiretamente, na região mais adjacente ao pilar (em que há maior concentração de tensões), através da comparação da tensão aí atuante com a tensão resistente do concreto.

2.6. TRANSFERÊNCIA DE MOMENTOS DESBALANCEADOS

Quando um momento desbalanceado é transferido em uma ligação laje-pilar, parte se dá por flexão, parte por torção e parte por cisalhamento. Essa distribuição pode ser considerada por uma variedade de métodos, como a Teoria das Placas ou a Analogia de Vigas, e depende essencialmente das dimensões do pilar e da espessura da laje.

Para a punção, em especial, interessa a parcela transferida por cisalhamento. E como mostra REGAN (1999), com base no trabalho de MAST (1970), as tensões cisalhantes podem ser representadas com uma distribuição aproximadamente uniforme (Figura 2.7).

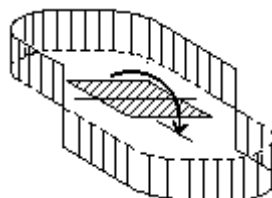


Figura 2.7 - Distribuição de tensões de cisalhamento devidas à transferência de momentos desbalanceados

À medida que vão se afastando das faces do pilar, as tensões cisalhantes provocadas pelos momentos fletores vão decrescendo, até se anularem. Inclusive, na verificação além da região armada, alguns autores consideram que não há mais influência do momento, pois este já não seria transferido por cisalhamento nesse contorno. Daí, concluem que, nessas situações, o cálculo da tensão atuante pode ser feito apenas com a parcela da reação vertical.

Este critério, entretanto, não é adotado pela NBR 6118 (2000). Em todos os contornos, a parcela de tensão devida aos momentos desbalanceados deve ser adicionada à parcela da reação vertical, e a tensão atuante final é comparada à resistência do concreto.

2.7. VERIFICAÇÃO DA PUNÇÃO DE ACORDO COM A NBR 6118 (2000)

O modelo empírico de cálculo adotado pela NBR 6118 (2000) é baseado no método da superfície de controle, sendo considerada a inclinação das fissuras de punção como $26,6^\circ$ ($\arctg 1/2$). Compara-se a tensão de cisalhamento atuante em cada uma das superfícies críticas perpendiculares ao plano médio da laje, com a tensão resistente correspondente. Compara-se também a tensão solicitante máxima com a capacidade resistente da ligação, dada pela resistência do concreto à compressão diagonal.

Quando não for prevista armadura de punção, duas verificações devem ser feitas:

- verificação da compressão do concreto, no contorno C ($\tau_{Rd2} \geq \tau_{Sd}$);
- verificação da punção, no contorno C' ($\tau_{Rd1} \geq \tau_{Sd}$).

Quando for prevista armadura de punção, três verificações devem ser feitas:

- verificação da compressão do concreto, no contorno **C** ($\tau_{Rd2} \geq \tau_{Sd}$);
- verificação da punção, no contorno **C'** ($\tau_{Rd3} \geq \tau_{Sd}$);
- verificação da punção, no contorno **C''** ($\tau_{Rd1} \geq \tau_{Sd}$).

Os contornos críticos **C**, **C'** e **C''** encontram-se, respectivamente, na face do pilar, à distância $2d$ da face do pilar e à distância $2d$ da última linha de armaduras. As tensões resistentes τ_{Rd1} , τ_{Rd2} e τ_{Rd3} são calculadas conforme o item 2.7.1, e as tensões solicitantes τ_{Sd} , conforme o item 2.7.2.

A distância a ser adotada da face do pilar até a superfície crítica já foi alvo de muitas discussões. À medida que ela aumenta, o perímetro crítico também aumenta, e a tensão de cisalhamento diminui, para uma mesma carga atuante. Hoje em dia, sabe-se que o importante é utilizar uma resistência do concreto ao cisalhamento coerente com a distância adotada, desde que esta se mantenha dentro de certos limites. Distâncias reduzidas ou muito grandes tendem a fornecer resultados contra a segurança no caso de lajes bastante armadas à flexão, como comentam REGAN & BRAESTRUP (1985). As comparações feitas por BRAESTRUP (1995) indicam que a definição do perímetro crítico a $2d$ mostra-se bastante apropriada.

Sendo assim, a determinação de cada um dos contornos críticos **C**, **C'** e **C''** pode ser feita como apresentado na Figura 2.8, de acordo com a posição do pilar na estrutura.

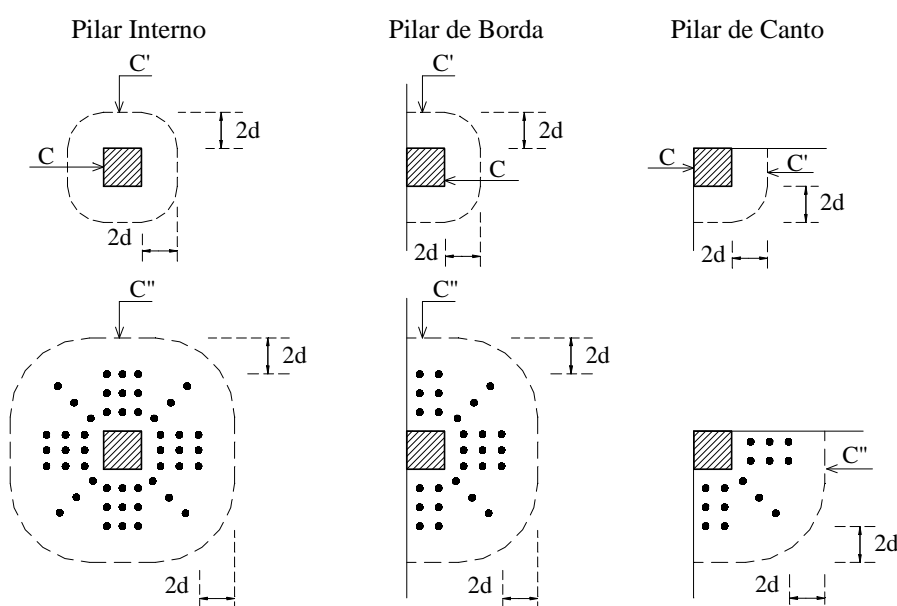


Figura 2.8 - Perímetros críticos

2.7.1. CÁLCULO DAS TENSÕES RESISTENTES

Para o cálculo das tensões resistentes, são utilizadas as expressões indicadas a seguir.

a) Na face do pilar (contorno C)

A capacidade resistente de uma ligação é verificada neste contorno, onde a tensão solicitante é máxima, e é dada pela resistência do concreto à compressão diagonal, como mencionado anteriormente.

Segundo a NBR 6118 (2000), o valor dessa resistência à compressão diagonal para a verificação da punção é considerado igual ao da verificação de cisalhamento de vigas⁵, tomando-se 45° para a inclinação da biela comprimida. Assim,

$$\tau_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \quad (2.1)$$

sendo:

f_{cd} - resistência de cálculo do concreto à compressão;

α_v - coeficiente de efetividade do concreto, dado por $\alpha_v = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$;

f_{ck} - resistência característica do concreto à compressão, em MPa.

Os valores obtidos com a eq.(2.1) são a favor da segurança, uma vez que é desprezado o ganho de resistência do concreto devido ao estado multiaxial em que ele se encontra na laje.

b) A 2d da face do pilar (contorno C'), em lajes sem armadura de punção, ou a 2d da última linha de conectores (contorno C''), em lajes com essa armadura

Na expressão da resistência da ligação nesses contornos, alguns fatores devem ser considerados.

⁵ A resistência do concreto à compressão diagonal para a verificação de cisalhamento de vigas é definida como:

$$\tau_{Rd2} = 0,54 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot \sin^2 \theta \cdot (\cot g\alpha + \cot g\theta)$$

sendo:

θ - inclinação da biela comprimida;

α - inclinação entre o eixo da armadura de cisalhamento e o plano da laje.

A influência da espessura da laje se dá através do chamado efeito de escala (*size effect*), considerado na formulação através do coeficiente obtido experimentalmente $\left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right)$, com **d** em centímetros. Este coeficiente incorpora a observação de que, fixando-se os demais parâmetros, quanto maior a espessura da laje, menor sua tensão resistente, pois a armadura de tração é menos efetiva no controle das fissuras. Quando a laje está armada para punção, o efeito de escala é bem menos pronunciado, como indicam REGAN & BRAESTRUP (1985) e SHERIF & DILGER (1996), e, por isso, alguns autores até dispensam sua consideração nesses casos. Aparentemente, a redução da tensão de cisalhamento com o aumento da altura da laje é compensada pelo acréscimo obtido com a melhoria das ancoragens.

A influência da armadura longitudinal é considerada através de sua taxa, com o coeficiente $(\rho)^{1/3}$, como demonstram SHERIF & DILGER (1996) a partir de diversas séries de resultados experimentais. Essa taxa deve ser calculada para uma largura considerável da laje, que pode ser adotada como a largura do pilar mais **3d** para cada lado. Essa proposta fornece resultados razoáveis, como indicado em REGAN & BRAESTRUP (1985). A tensão de escoamento não é considerada por não afetar significativamente a resistência da ligação, como também comentam SHERIF & DILGER (1996).

O crescimento da resistência à punção com a resistência do concreto pode ser representado por uma função de $(f_{ck})^{1/3}$ com uma ótima aproximação, como demonstrado por REGAN & BRAESTRUP (1985) e SHERIF & DILGER (1996), e também concluído por BRAESTRUP (1995). Para concretos com agregados leves, essa resistência deve ser reduzida a 80%, como apontam REGAN & BRAESTRUP (1985).

Assim sendo, a resistência do concreto ao cisalhamento para a situação em estudo pode ser escrita como:

$$\tau_{Rdl} = 0,13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \quad (2.2)$$

sendo:

f_{ck} em MPa;

r - taxa geométrica de armadura longitudinal, dada por $\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y}$. Para o cálculo de **r_x** e **r_y**, deverá ser considerada uma faixa de largura igual à dimensão do pilar, mais **3d** para cada lado, ou até a borda, se for mais próxima (Figura 2.9);

d - altura útil da laje no contorno crítico estudado, em centímetros, dada por $d = \frac{d_x + d_y}{2}$, sendo **d_x** e **d_y** indicados na Figura 2.10.

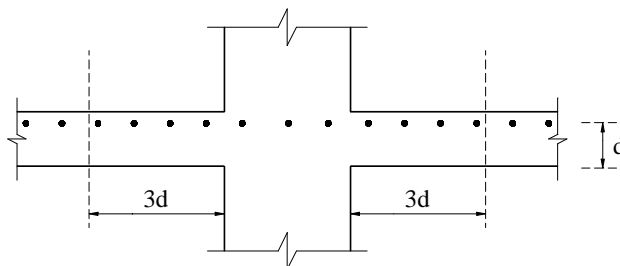


Figura 2.9 - Seção para o cálculo de r

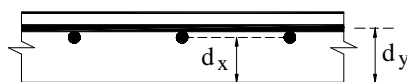


Figura 2.10 - Alturas úteis da laje nas direções X e Y

c) A 2d da face do pilar (contorno C'), em lajes com armadura de punção

Nesta verificação, a tensão resistente tem duas parcelas, como explicado no item 2.2. A primeira é relativa ao concreto, com seu valor reduzido em relação ao das lajes sem armadura de punção. E a segunda é relativa à armadura, e sofre influência direta de sua disposição. Assim, a resistência do concreto ao cisalhamento a 2d da face do pilar, em lajes com armadura de punção, pode ser escrita como:

$$\tau_{Rd3} = 0,10 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} + 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha}{u \cdot d} \quad (2.3)$$

sendo:

A_{sw} - área da armadura de punção num contorno paralelo a C' (Figura 2.11);

f_{ywd} - resistência de cálculo da armadura de punção, em MPa. Para conectores, o valor de **f_{ywd}** não poderá ser superior a 300 MPa em lajes de altura até 15 cm. Se essa altura for superior a 35 cm, **f_{ywd}** poderá chegar a 435 MPa. Para valores intermediários da altura da laje, permite-se fazer interpolação linear;

α - inclinação entre o eixo da armadura de punção e o plano da laje;

s_r - espaçamento radial entre linhas de conectores;

u - perímetro crítico do contorno C' correspondente à posição do pilar (u para pilares internos ou u^* para pilares de borda e de canto, como definido nos itens 2.7.2a, 2.7.2d e 2.7.2f).

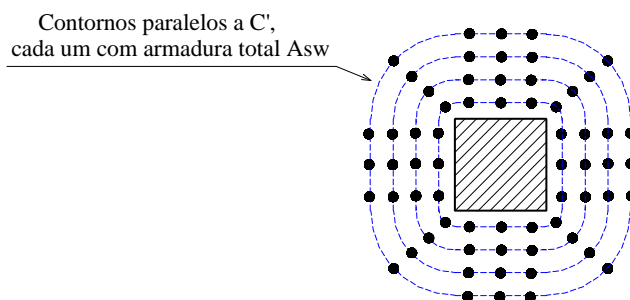


Figura 2.11 - Disposição da armadura A_{sw} para pilares internos

Vale o comentário de que o coeficiente **1,5** da eq.(2.3) pressupõe que o arranjo de armaduras de punção seja feito radialmente, com cada linha de armadura descrevendo circunferências, pelo menos, aproximadas, como ressalta REGAN (1999).

2.7.2. CÁLCULO DAS TENSÕES ATUANTES

Para o cálculo das tensões atuantes, devem ser considerados a posição dos pilares na estrutura e o tipo de carregamento. As expressões a serem utilizadas são apresentadas a seguir.

a) Pilar interno, com carregamento simétrico

Neste caso, a tensão atuante depende apenas da reação do pilar, e pode ser escrita como:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \cdot d} \quad (2.4)$$

sendo:

F_{Sd} - força normal de cálculo, dada por $F_{Sd} = N_{2d} - N_{1d}$ (Figura 2.12). A NBR 6118 (2000) permite também uma redução da reação do pilar para a verificação da punção, de valor igual ao da força distribuída aplicada na face oposta da laje, dentro do perímetro crítico estudado;

u - perímetro crítico do contorno considerado (Tabela 2.1);

d - altura útil da laje no contorno crítico;

c₁ e **c₂** - dimensões do pilar;

p - distância da face do pilar até a última linha de conectores.

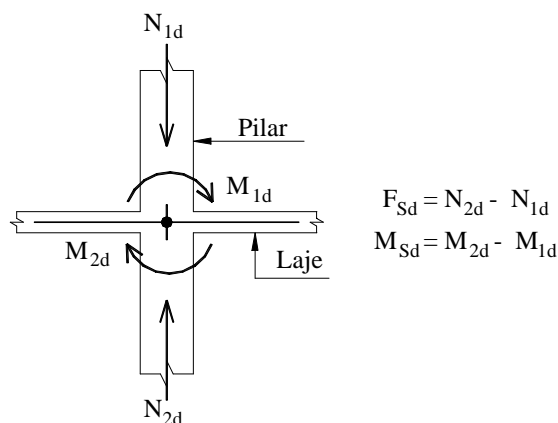


Figura 2.12 - Determinação de **F_{Sd}** e **M_{Sd}**.

Tabela 2.1 - Perímetros críticos para pilares internos

<i>Contorno Crítico</i>	<i>Perímetro Crítico u</i>
C	$u_o = 2 \cdot (c_1 + c_2)$
C'	$u_o = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 4 \cdot \pi \cdot d$
C''	$u' = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 4 \cdot \pi \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot p$
<i>Observação: u' calculado supondo $s_e \leq 2d$ (ver item 2.8)</i>	

b) Pilar interno, com momento em uma direção

Neste caso, a tensão atuante depende, além da reação do pilar, da parcela do momento desbalanceado transferida por cisalhamento. Assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \cdot d} + \frac{K \cdot M_{Sd}}{W_p \cdot d} \quad (2.5)$$

sendo:

M_{Sd} - momento desbalanceado de cálculo, dado por $M_{Sd} = M_{2d} + M_{1d}$ (Figura 2.12);

K - coeficiente que fornece a parcela de momento $K \cdot M_{Sd}$ transferida por cisalhamento

(Tabela 2.2), e que só depende da relação $\frac{c_1}{c_2}$ entre as dimensões do pilar (Figura 2.13);

c_1 - dimensão do pilar na direção da excentricidade;

c_2 - dimensão do pilar na direção perpendicular à excentricidade;

Tabela 2.2 - Valores do coeficiente K

c_1/c_2	0,5	1	2	3
K	0,45	0,60	0,70	0,80

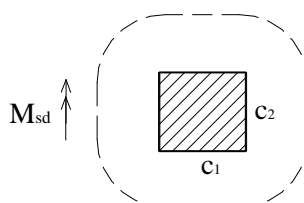


Figura 2.13 - Dimensões c_1 e c_2

W_p - módulo de resistência plástica do perímetro crítico, dado por $W_p = \int_0^u |e| \cdot d\ell$, onde $d\ell$ é

o comprimento infinitesimal de u e e é a distância de $d\ell$ ao eixo que passa pelo centro do pilar e em torno do qual atua M_{sd} . De acordo com essa definição, a NBR 6118 (2000) apresenta apenas a seguinte expressão, correspondente ao contorno crítico C' :

$$W_p = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot c_1 \quad (2.6)$$

Quanto aos contornos C e C'' , não é feita nenhuma indicação sobre a obtenção dos respectivos valores de W_p .

Observa-se que a eq.(2.5) descreve uma relação linear entre a parcela da reação vertical e a do momento desbalanceado, o que é somente uma aproximação. Além disso, os valores de K apresentados não dependem da altura útil da laje, o que seria desejável. Apesar disso, as comparações de REGAN (1999) entre resultados fornecidos por essa expressão e vários resultados experimentais demonstraram que a previsão de transferência de momento com o coeficiente K está apropriada.

c) Pilar interno, com momentos nas duas direções

Neste caso, é feita uma superposição dos efeitos dos momentos nas duas direções, da seguinte forma:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \cdot d} + \frac{K_1 \cdot M_{Sd1}}{W_{p1} \cdot d} + \frac{K_2 \cdot M_{Sd2}}{W_{p2} \cdot d} \quad (2.7)$$

sendo:

M_{Sd1} e M_{Sd2} - momentos desbalanceados de cálculo;

K_1 e K_2 - coeficientes dados pela Tabela 2.2;

W_{p1} e W_{p2} - módulos de resistência plástica nas direções paralelas aos momentos correspondentes, obtidos pela eq.(2.6) para o contorno C' . Nenhuma indicação é feita para os contornos C e C'' .

Observe-se que, para o cálculo das grandezas K e W_p de cada uma das parcelas dos momentos, as dimensões c_1 e c_2 são permutadas (Figura 2.14).

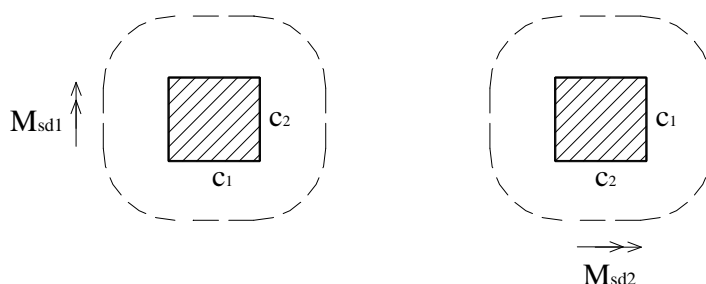


Figura 2.14 - Determinação das dimensões c_1 e c_2 para pilares internos com momentos nas duas direções

d) Pilar de borda, sem momento no plano paralelo à borda livre

Este caso é semelhante àquele do pilar interno com momento em apenas uma direção, sendo que é necessário considerar a excentricidade dos perímetros críticos. Assim:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u^* \cdot d} + \frac{K_1 \cdot M_{Sd}}{W_{p1} \cdot d} \quad (2.8)$$

sendo:

u^* - perímetro crítico reduzido do contorno estudado (Figura 2.15 e Tabela 2.3). Essa redução é necessária, pois a parte mais próxima à borda não é efetiva na absorção das tensões cisalhantes;

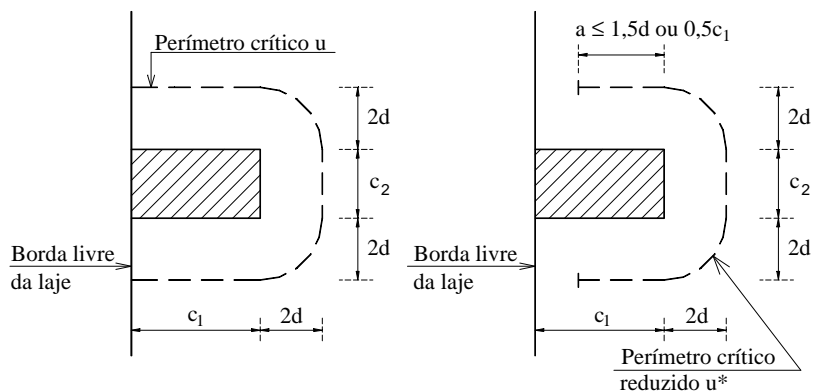


Figura 2.15 - Perímetro crítico reduzido do contorno C' para pilares de borda

Tabela 2.3 - Perímetros críticos reduzidos para pilares de borda

Contorno Crítico	Perímetro Crítico Reduzido u^*
C	$u_0^* = 2 \cdot a + c_2$
C'	$u^* = 2 \cdot a + c_2 + 2 \cdot \pi \cdot d$
C''	$u'^* = 2 \cdot a + c_2 + 2 \cdot \pi \cdot d + \pi \cdot p$
Observação: u'^* calculado supondo $s_e \leq 2d$ (ver item 2.8)	

a - menor valor entre $1,5 \cdot d$ e $0,5 \cdot c_1$;

c_1 - dimensão do pilar na direção perpendicular à borda;

c_2 - dimensão do pilar na direção da borda;

M_{Sd} - momento resultante de cálculo, dado pela expressão $M_{Sd} = (M_{Sd1} - M_{Sd}^*) \geq 0$;

M_{Sd1} - momento desbalanceado de cálculo, no plano perpendicular à borda livre;

M_{Sd}^* - momento resultante da excentricidade do perímetro crítico reduzido u^* em relação ao centro do pilar, no plano perpendicular à borda livre, ou seja, $M_{Sd}^* = F_{Sd} \cdot e^*$;

e^* - excentricidade do perímetro crítico reduzido (Figura 2.16), dada por $e^* = \frac{\int_0^{u^*} |e| \cdot d\ell}{\int_0^{u^*} d\ell}$.

De acordo com essa definição, a NBR 6118 (2000) apresenta apenas a seguinte expressão, correspondente ao contorno crítico C' :

$$e^* = \frac{c_1 \cdot a - a^2 + \frac{c_1 \cdot c_2}{2} + 2 \cdot c_2 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_1}{2 \cdot a + c_2 + 2 \cdot \pi \cdot d} \quad (2.9)$$

Nenhuma indicação é feita para os contornos **C** e **C'**.

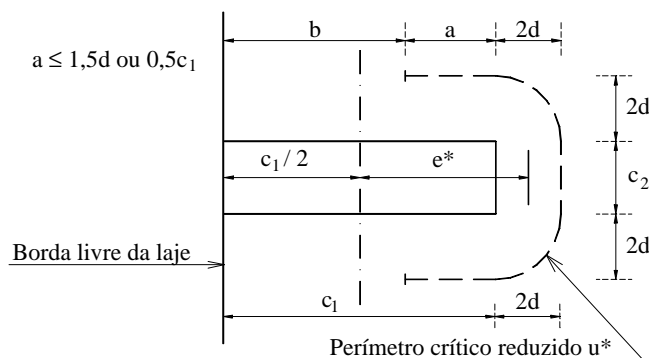


Figura 2.16 - Excentricidade do perímetro crítico reduzido do contorno **C'** para pilares de borda

W_{pl} - módulo de resistência plástica na direção perpendicular à borda livre. Novamente, a NBR 6118 (2000) só fornece a expressão para o contorno **C'**:

$$W_{pl} = \frac{c_1^2}{2} + \frac{c_1 \cdot c_2}{2} + 2 \cdot c_2 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_1 \quad (2.10)$$

Nenhuma indicação é feita para os contornos **C** e **C'**.

Observe-se que, neste caso de pilares de borda sem momento no plano paralelo à borda livre, não é necessário utilizar o momento no plano perpendicular à borda livre com seu valor integral. A excentricidade do perímetro crítico provoca um momento M_{Sd}^* de sentido oposto ao de M_{Sd1} , podendo até anular o efeito deste. A favor da segurança, mesmo que M_{Sd}^* seja maior que M_{Sd1} , o que significaria “alívio” da tensão de cisalhamento atuante, esta situação não é considerada ($M_{Sd1} - M_{Sd}^* \geq 0$).

e) Pilar de borda, com momento no plano paralelo à borda livre

Este caso é semelhante àquele do pilar interno com momentos nas duas direções. Entretanto, além da consideração da excentricidade dos perímetros críticos, é necessário se reduzir o coeficiente que determina a parcela do momento no plano paralelo à borda livre

transferida por cisalhamento (K_2), uma vez que somente uma das faces do pilar na direção deste momento pode ser utilizada. A expressão fica, então:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u^* \cdot d} + \frac{K_1 \cdot M_{Sd}}{W_{p1} \cdot d} + \frac{K_2 \cdot M_{Sd2}}{W_{p2} \cdot d} \quad (2.11)$$

sendo:

M_{Sd2} - momento no plano paralelo à borda livre;

c_1 - dimensão do pilar na direção perpendicular à borda;

c_2 - dimensão do pilar na direção da borda;

K_2 - coeficiente dado pela Tabela 2.2, mas que depende da relação $\frac{c_2}{2 \cdot c_1}$. A inversão da

relação é apenas uma questão de notação, uma vez que c_1 neste caso é perpendicular à excentricidade, e c_2 , paralelo. O fator $\frac{1}{2}$, como foi comentado, considera o fato de que somente uma das laterais c_2 participa da transferência do momento por cisalhamento;

W_{p2} - módulo de resistência plástica na direção paralela à borda livre, para o qual a NBR 6118 (2000) só fornece a expressão correspondente ao contorno C' :

$$W_{p2} = \frac{c_2^2}{4} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_1 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_2 \quad (2.12)$$

A obtenção dos valores de W_{p2} para os contornos C e C'' não é mencionada.

f) Pilar de canto

No caso de pilares de canto, fazem-se as verificações separadas para cada uma das direções (Figura 2.17). Isso ocorre porque as tensões máximas provocadas pelos momentos das duas direções ocorrem em pontos diferentes, tornando a simples superposição de efeitos bastante conservadora. São adotadas, portanto, duas situações de cálculo.

Para cada borda adotada, deverá ser considerado o momento no plano perpendicular a ela. Assim, valem as disposições para pilares de borda sem momento no plano paralelo à borda livre.

O coeficiente K_1 é obtido normalmente de acordo com a Tabela 2.2, lembrando que c_1 é sempre o lado perpendicular à borda adotada, como na Figura 2.17.

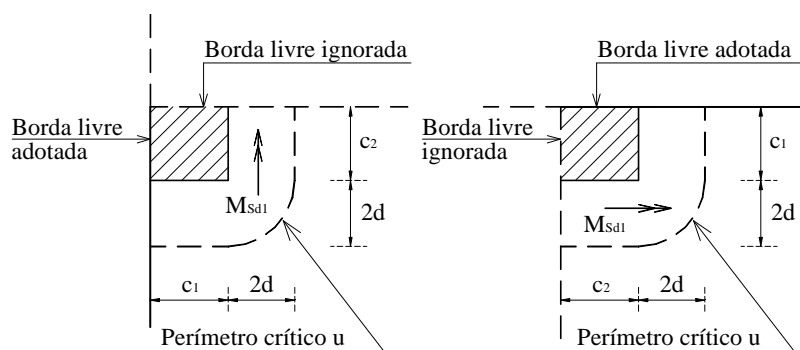


Figura 2.17 - Situações de cálculo para verificação de pilares de canto

Os perímetros críticos reduzidos dos contornos estudados (Figura 2.18) têm os valores indicados na Tabela 2.4.

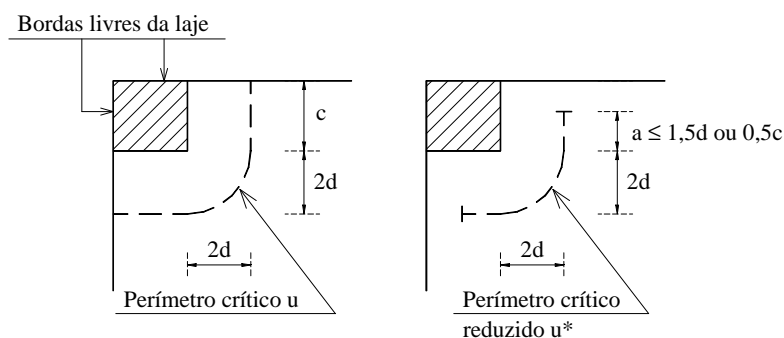


Figura 2.18 - Perímetro crítico reduzido do contorno **C'** para pilares de canto

Tabela 2.4 - Perímetros críticos reduzidos para pilares de canto

Contorno Crítico	Perímetro Crítico Reduzido u^*
C	$u_o^* = a_1 + a_2$
C'	$u^* = a_1 + a_2 + \pi \cdot d$
C''	$u'^* = a_1 + a_2 + \pi \cdot d + \frac{\pi \cdot p}{2}$
<i>Observação: u'^* calculado supondo $s_e \leq 2d$ (ver item 2.8)</i>	

A excentricidade e^* do perímetro crítico reduzido do contorno C' (Figura 2.19) pode ser obtida pela expressão:

$$e^* = \frac{c_1 \cdot a_1 - a_1^2 + a_2 \cdot c_1 + 4 \cdot a_2 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_1}{2 \cdot (a_1 + a_2 + \pi \cdot d)} \quad (2.13)$$

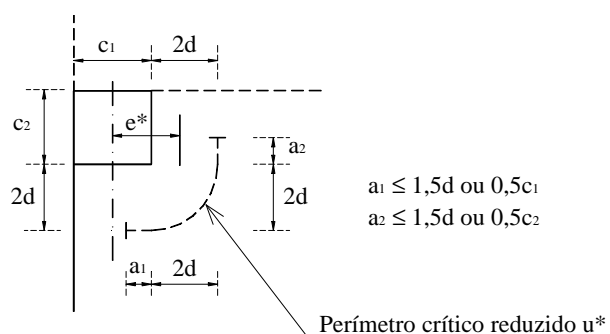


Figura 2.19 - Excentricidade do perímetro crítico reduzido do contorno C' para pilares de canto

O módulo de resistência plástica W_{pl} do contorno C' pode ser calculado pela expressão:

$$W_{pl} = \frac{c_1^2}{4} + \frac{c_1 \cdot c_2}{2} + 2 \cdot c_2 \cdot d + 4 \cdot d^2 + \frac{\pi \cdot d \cdot c_1}{2} \quad (2.14)$$

A obtenção de e^* e W_{pl} para os contornos C e C'' não é mencionada pela NBR 6118 (2000).

g) Presença de aberturas

Existindo aberturas na laje a uma distância inferior a $8d$ da face do pilar (contorno C), os perímetros críticos não poderão ser adotados com seus valores integrais apresentados nos itens anteriores. A parte localizada entre as duas linhas que saem do centro do pilar e tangenciam os limites da abertura (projeção radial) não deve ser considerada (Figura 2.20).

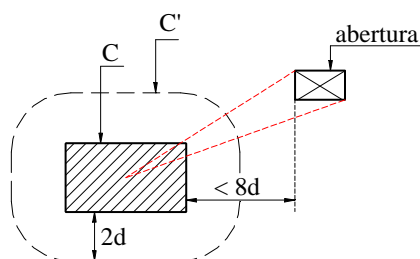


Figura 2.20 - Redução do perímetro crítico na presença de aberturas próximas ao pilar

2.7.3. VERIFICAÇÃO DO COLAPSO PROGRESSIVO

Para garantir a ductilidade da ligação e prevenir o colapso progressivo, deverá ser prevista uma armadura na parte inferior da laje, que atravesse o pilar e esteja ancorada além do contorno C' . Deve ser verificado se:

$$A_s \cdot f_{yd} \geq F_{Sd} \quad (2.15)$$

sendo:

A_s - soma das áreas das barras inferiores, devidamente ancoradas, que cruzam cada uma das faces do pilar (Figura 2.21);

f_{yd} - valor de cálculo da tensão de escoamento do aço.

2.8. DETALHAMENTO DE ACORDO COM A NBR 6118 (2000)

O detalhamento das armaduras de punção deve assegurar que elas possam atingir a tensão de escoamento, sem provocar ruptura do concreto ou escorregamento das ancoragens. Apenas dessa forma, pode-se considerar o aumento da resistência da ligação.

De acordo com a NBR 6118 (2000), tanto estribos quanto conectores tipo pino podem ser utilizados. Em vista das vantagens dos conectores comentadas anteriormente (item 2.2), tanto do ponto de vista estrutural quanto executivo, este tipo de armadura é o mais recomendado, inclusive pela própria Norma.

Para se garantir uma ancoragem efetiva dos conectores, e também que eles atinjam sua tensão de escoamento, algumas limitações geométricas são adotadas. Cada uma das placas de ancoragem superiores deve apresentar uma espessura maior que $\frac{2}{3}$ do diâmetro D do pino, e uma área de pelo menos 10 vezes a dele, como propõem DILGER & GHALI (1981) e GHALI (1989). A placa inferior deve ter uma espessura maior que $0,5D$ e largura superior a $2,5D$. Além disso, as extremidades dos conectores devem estar ancoradas fora do plano da armadura de flexão da laje (Figura 2.22).

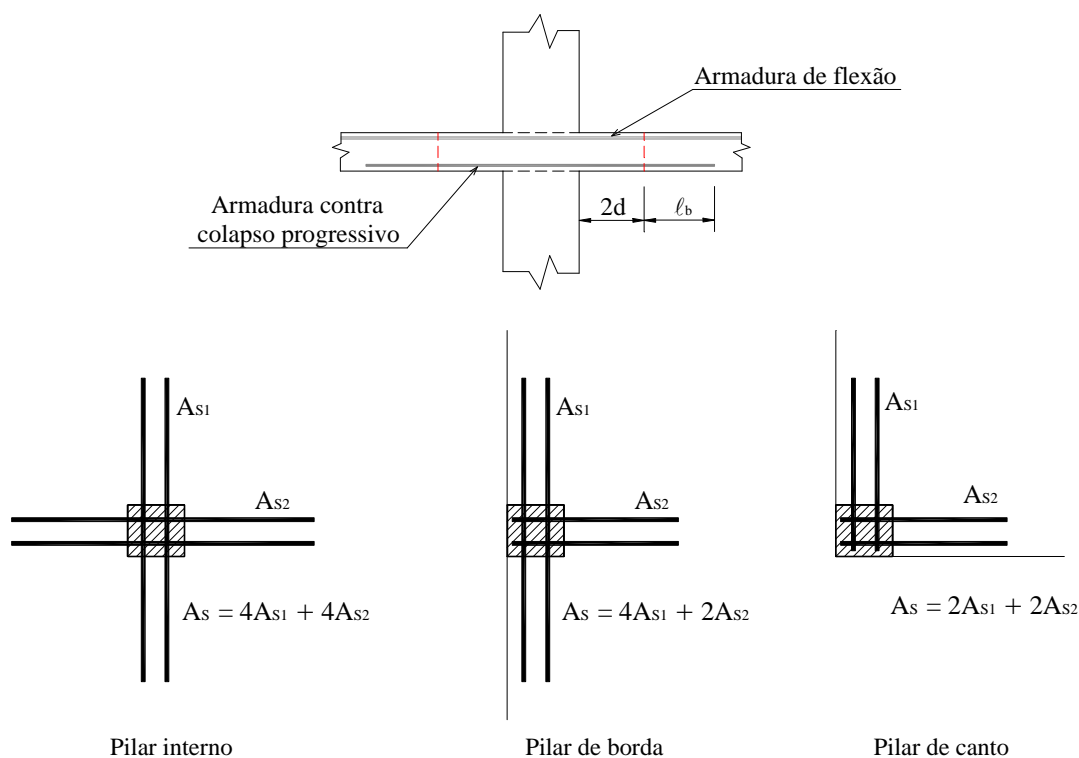


Figura 2.21 - Armadura contra colapso progressivo

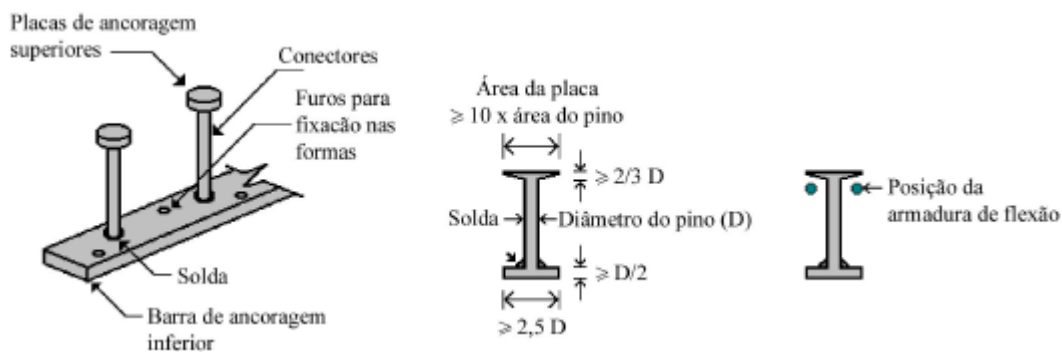


Figura 2.22 - Detalhes dos conectores tipo pino

A disposição dos conectores tanto pode ser radial, como em LANGOHR *et al.* (1976), quanto em linhas paralelas ou perpendiculares às faces do pilar, como em SEIBLE *et al.* (1980) (Figura 2.23). Inclusive GHALI & MEGALLY (2000), utilizando análises numéricas, concluíram que as diferenças dos arranjos dos conectores não afetam significativamente o comportamento estrutural, nem em termos de resistência nem em termos de ductilidade. Por razões construtivas, entretanto, recomendam o uso da disposição ortogonal. Já o trabalho de GOMES (1991) sugere que a disposição radial tende a fornecer melhores resultados, devido à melhor distribuição de tensões.

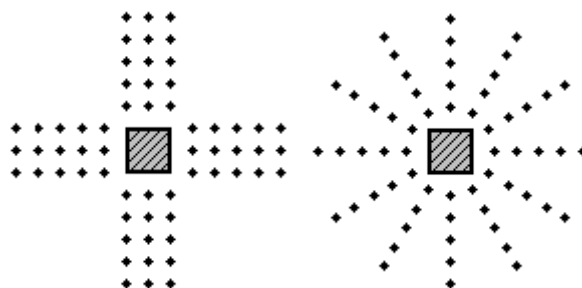


Figura 2.23 - Disposição dos conectores em planta

Em qualquer dos casos, é necessário se utilizar pelo menos três linhas de conectores e se obedecer a espaçamentos máximos, garantindo, dessa forma, a absorção das tensões cisalhantes. O espaçamento entre a face do pilar e a primeira linha de conectores (s_o) deve ser inferior a $0,5d$, e entre duas linhas consecutivas de conectores (s_r), inferior a $0,75d$ (Figura 2.24).

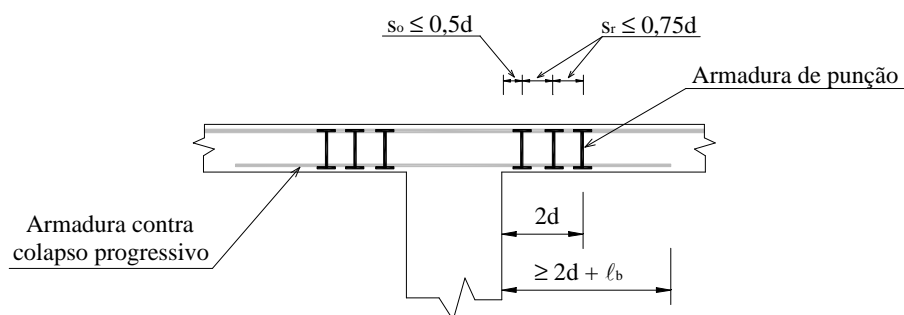


Figura 2.24 - Espaçamentos necessários para os conectores

Entre os conectores mais afastados do pilar, se o espaçamento (s_e) for maior que $2d$, deve ser desprezada uma parte do perímetro crítico que seria usado na verificação do contorno C'' , conforme a Figura 2.25. Sugere-se, entretanto, que o limite de $2d$ seja respeitado, permitindo uma melhor distribuição das tensões.

Para os pilares de borda e de canto, recomenda-se dispor os conectores além do perímetro crítico reduzido, apesar dessa área de aço adicional não ser computada na verificação (Figura 2.26).

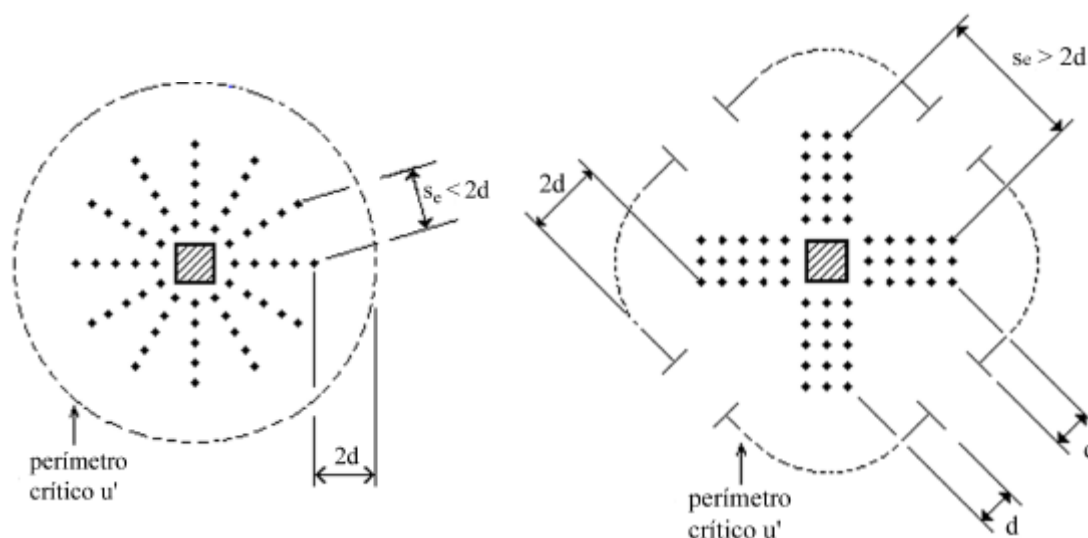


Figura 2.25 - Interferência de s_e no cálculo de u'

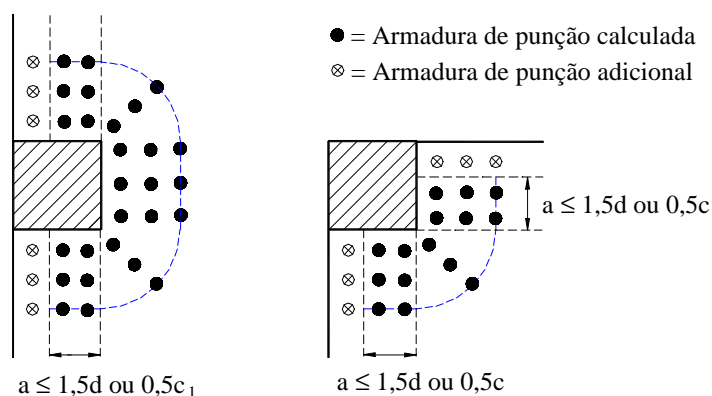


Figura 2.26 - Disposição da armadura de punção em pilares de borda e de canto

2.9. COMPLEMENTAÇÕES E COMENTÁRIOS SOBRE A VERIFICAÇÃO DA PUNÇÃO NA NBR 6118 (2000)

Para facilitar e melhorar a verificação da punção, além de balizar um pouco mais o projeto de suas armaduras, algumas diretrizes adicionais devem ser atendidas. São recomendadas sua análise e incorporação na versão definitiva da nova NBR 6118.

2.9.1. TENSÃO DO CONCRETO NO CONTORNO C

As tensões nas proximidades da ligação de uma laje com um pilar têm uma distribuição bastante complexa. Tanto é que as bielas comprimidas estão, na realidade, submetidas a um estado multiaxial de tensões, o que lhes confere resistências muitas vezes

superiores em relação aos casos observados, por exemplo, em vigas. Portanto, a abordagem da NBR 6118 (2000), que recomenda o uso da eq.(2.1), tende a ser conservadora.

Como já foi comentado, a resistência das bielas pode ser escrita em função da resistência do concreto à compressão diagonal, que, por sua vez, é considerada como apenas uma parcela da resistência do concreto à compressão. No CEB MC-90 (1993), uma das principais referências da NBR 6118 (2000), duas são as razões empregadas para não se adotar esta resistência com seu valor integral.

A primeira é que, com a formação de fissuras de flexão, a absorção das tensões torna-se mais difícil e a resistência na região diminui. Esse efeito é considerado através da introdução de um coeficiente de valor $0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$.

A segunda é que, como as expressões apresentadas nos itens 2.7.1.b) e 2.7.1.c) não têm validade em regiões com grande concentração de tensões, optou-se por restringir de forma indireta o seu uso, através de uma redução de 50% da tensão resistente do concreto. Este aspecto, comentado por REGAN (1999), é considerado através de um coeficiente de valor 0,5.

Assim sendo, a expressão da resistência do concreto à compressão diagonal apresentada no CEB MC-90 (1993) pode ser escrita como:

$$\tau_{Rd2} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd}$$

$$\tau_{Rd2} = 0,3 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd}$$

Alterando-se o coeficiente de segurança de **1,5** para **1,4**, valor adotado pela NBR 6118 (2000), obtém-se:

$$\tau_{Rd2} = 0,32 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \quad (2.16)$$

Observa-se que esta expressão fornece resultados menos conservadores que a eq.(2.1), com diferenças superiores a 15%. Como sua base é experimental, o estado multiaxial é considerado, de uma certa forma. E tanto para os pilares intermediários, que em geral apresentam uma reação vertical maior, quanto para os pilares de borda e de canto, nos

quais o perímetro crítico considerado é o reduzido, essa possibilidade de aumento da tensão resistente proporcionado pela eq.(2.16) é bastante significativa.

Propõe-se, então, a substituição da eq.(2.1) pela (2.16), no item 19.4.4.1 na versão definitiva da NBR 6118.

2.9.2. LIMITAÇÃO DO VALOR DE r

Como já foi comentado no item 2.7.1.b), o aumento da taxa de armadura r também aumenta a resistência da ligação à punção. Entretanto, alguns resultados experimentais, inclusive os de FUSCO (1984), mostram que essa contribuição da taxa r só é efetiva até um limite de aproximadamente **0,02**.

Como pode ocorrer que o r calculado para a faixa já mencionada em 2.7.1.b) seja superior a **0,02**, considera-se importante a introdução deste limite na versão definitiva da NBR 6118. Propõe-se, então, uma complementação da definição de r no item 19.4.4.2.

- Sugestão de redação:

“ r é a taxa geométrica de armadura de flexão aderente (armadura não aderente deve ser desprezada), considerada efetiva desde que $r \leq 0,02$ ”.

2.9.3. PERÍMETRO CRÍTICO DE PILARES ALONGADOS

O estudo de pilares alongados é um pouco mais complexo que o daqueles em que não há grandes diferenças de tamanho entre os lados. Comparando-se ligações com pilares de mesma área e diferentes dimensões, observa-se que aquelas com os mais alongados apresentam cones de punção menores e resistências mais baixas, além de uma ruína mais abrupta.

A NBR 6118 (2000) não faz nenhum comentário quanto à verificação da punção no caso desses pilares, mesmo eles sendo usualmente empregados. Considera-se importante a introdução de alguma recomendação específica para essas situações na versão definitiva da NBR 6118, apesar de muitas vezes ser necessária a utilização de análises mais rigorosas e modelos mais racionais.

Uma alternativa bastante simplificada, dentro do método já apresentado, é se calcular o perímetro crítico desprezando-se a parte central dos lados maiores, onde as tensões são mais baixas. Esse procedimento já era adotado pela NBR 6118 (1978), e pode continuar a ser utilizado na falta de um método mais rigoroso. A redução do perímetro crítico pode ser feita como indicado na Figura 2.27.

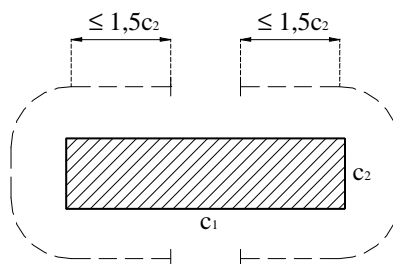


Figura 2.27 - Perímetro crítico de pilares alongados

Sugere-se, então, a introdução da Figura 2.27, como *figura 44*, e uma complementação ao item 19.4.3.6.

- Sugestão de redação:

“No caso de pilares alongados, o trecho do perímetro crítico contido entre duas retas paralelas aos lados menores, distantes deles $1,5c_2$, deve ser desprezado (ver figura 44).” (Figura 2.27).

2.9.4. VALORES DE K

Como já foi mencionado no item 2.6, apenas uma parcela do momento fletor é transmitida por cisalhamento em uma ligação. Quanto mais alongado for o pilar na direção perpendicular à excentricidade ou na direção da borda livre, maior será a parcela do momento transmitida por flexão. Por outro lado, quanto mais alongado for o pilar na direção da excentricidade ou na direção perpendicular à borda livre, maior será a parcela do momento transmitida por cisalhamento.

Na NBR 6118 (2000), essa parcela transmitida por cisalhamento é determinada pelo coeficiente **K**, cujos valores são apresentados na Tabela 2.2. Entretanto, não há comentário sobre os procedimentos que devem ser seguidos nos casos em que a relação $\frac{c_1}{c_2}$ entre as dimensões do pilar é menor que **0,5** ou maior que **3**, situações possíveis na prática. Também não são mencionados os casos de valores intermediários aos apresentados na Tabela 2.2. De qualquer forma, considera-se importante que seja feita alguma alusão a essas situações.

Para a obtenção dos valores intermediários de **K**, pode ser feita uma interpolação linear entre os valores da Tabela 2.2, ou se utilizar diretamente as seguintes expressões:

$$K = 0,3 \cdot \left(\frac{c_1}{c_2} \right) + 0,3 \quad \text{para } 0,5 \leq \frac{c_1}{c_2} < 1 ;$$

$$K = 0,1 \cdot \left(\frac{c_1}{c_2} \right) + 0,5 \quad \text{para } 1 \leq \frac{c_1}{c_2} \leq 3 .$$

Sugere-se, então, uma complementação ao item 19.4.3.2.

- Sugestão de redação:

“O coeficiente K assume os valores indicados na tabela 27, sendo que os valores intermediários podem ser interpolados linearmente”.

Quanto aos valores que extrapolam os limites da Tabela 2.2, deve-se enfatizar que uma determinação mais precisa só pode ser feita com base em modelos numéricos específicos ou resultados experimentais. Pelo menos para os casos em que $\frac{c_1}{c_2} < 0,5$, na falta de uma análise mais rigorosa, pode ser feita uma indicação para o uso de um valor conservador, $K = 0,45$.

2.9.5. VALORES DE W_p PARA OS CONTORNOS C E C’

Já foi mencionado que, na NBR 6118 (2000), não há comentários sobre a obtenção das expressões de W_p para os contornos C e C’. Essa omissão pode acarretar o uso de valores indevidos desse parâmetro para as verificações na face do pilar e além da região armada, não devendo persistir na versão definitiva da NBR 6118.

No CEB MC-90 (1993), no qual a verificação de punção da NBR 6118 (2000) é baseada, não ocorre esse problema. Para o contorno C’, fica claro que deve ser calculado um W_p ’ correspondente ao perímetro crítico u ’, de forma análoga ao W_p para o contorno u . Resolvendo-se a integral de definição, podem ser obtidas as expressões de W_p ’ da Tabela 2.5, para cada situação de cálculo.

Para o contorno C, o CEB MC-90 (1993) escreve a tensão solicitante em termos de uma força de compressão efetiva, $F_{Sd,ef}$, que considera o efeitos dos momentos fletores. Sua expressão é dada por:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd,ef}}{u_o \cdot d} \quad (2.17)$$

Tabela 2.5 - Valores de W_p'

Situação de Cálculo	W_p'
Pilar interno (W_p')	$W_p' = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 \cdot p +$ $+ 16 \cdot d \cdot p + 4 \cdot p^2 + \pi \cdot c_1 \cdot p$
Pilar de borda (W_{p1}')	$W_{p1}' = \frac{c_1^2}{2} + \frac{c_1 \cdot c_2}{2} + 2 \cdot c_2 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_1 + c_2 \cdot p + 8 \cdot d \cdot p +$ $+ \frac{\pi \cdot p \cdot c_1}{2} + 2 \cdot p^2$
Pilar de borda (W_{p2}')	$W_{p2}' = \frac{c_2^2}{4} + c_1 \cdot c_2 + 4 \cdot c_1 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_2 + 2 \cdot c_1 \cdot p + 8 \cdot d \cdot p +$ $+ \frac{\pi \cdot p \cdot c_2}{2} + 2 \cdot p^2$
Pilar de canto (W_{p1}')	$W_{p1}' = \frac{c_1^2}{4} + \frac{c_1 \cdot c_2}{2} + 2 \cdot c_2 \cdot d + 4 \cdot d^2 + \frac{\pi \cdot d \cdot c_1}{2} + c_2 \cdot p + 4 \cdot d \cdot p +$ $+ \frac{\pi \cdot p \cdot c_1}{4} + p^2$

sendo:

$$F_{Sd,ef} = F_{Sd} \cdot \left(1 + K \cdot \frac{M_{Sd}}{F_{Sd}} \cdot \frac{u}{W_p} \right) \quad (2.18)$$

Substituindo a eq.(2.18) na eq.(2.17), e rearrumando para se obter uma expressão similar à da NBR 6118 (2000), tem-se:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u_o \cdot d} + \frac{K \cdot M_{Sd}}{\frac{u_o}{u} \cdot W_p \cdot d} \quad (2.19)$$

Observa-se que o CEB MC-90 (1993), apesar de não fornecer uma expressão direta para o cálculo do W_p no contorno **C**, utiliza uma redução do próprio W_p do contorno **C'** para o cálculo da tensão solicitante na face do pilar⁶. Pode-se escrever então:

⁶ Deve-se ressaltar que essa redução do W_p do contorno **C'** não corresponde à aplicação da integral de definição ao perímetro crítico u_o .

$$W_{po} = \frac{u_o}{u} \cdot W_p \quad (2.20)$$

Para pilares de borda e de canto, devem ser utilizados os perímetros críticos reduzidos:

$$W_{po} = \frac{u_o^*}{u^*} \cdot W_p \quad (2.21)$$

Assim como foi feita uma redução do W_p para se calcular o W_{po} , pode-se pensar numa majoração do W_p para se obter o W_p' . Essa interpretação é bastante prática, pois permite que os valores de W_p' sejam calculados de uma forma mais simples que aquela apresentada na Tabela 2.5. Assim sendo, pode-se escrever:

$$W_p' = \eta_{wp} \frac{u'}{u} \cdot W_p \quad (2.22)$$

Para pilares de borda e de canto:

$$W_p' = \eta_{wp} \frac{u'^*}{u^*} \cdot W_p \quad (2.23)$$

sendo:

h_{wp} - coeficiente para correção do W_p' em função da situação de cálculo.

Para determinar os valores de h_{wp} , as seguintes expressões foram utilizadas:

$$\eta_{wp} = \frac{\frac{W_p'}{W_p}}{\frac{u'}{u}} \quad \text{para pilares internos;}$$

$$\eta_{wp} = \frac{\frac{W_p'}{W_p}}{\frac{u'^*}{u^*}} \quad \text{para pilares de borda e de canto.}$$

Foram resolvidos diversos exemplos para cada situação de cálculo, supondo-se W_p' calculado pela Tabela 2.5 e $s_e \leq 2 \cdot d$. Os dados utilizados e a análise estatística

desenvolvida encontram-se no Anexo A. Observou-se que podem ser adotados os valores de h_{wp} apresentados na Tabela 2.6, mantendo-se o nível de significância em torno de 10%. Mas vale ressaltar que esses valores ainda podem ser melhorados, a partir de outras análises mais refinadas e que considerem uma amostragem maior e mais diversificada.

Tabela 2.6 - Valores de h_{wp}

Situação de Cálculo	$c_1 \leq c_2$	$c_1 > c_2$
Pilar interno (W_p')	1,6	1,3
Pilar de borda (W_{p1}')	1,5	1,1
Pilar de borda (W_{p2}')	1,3	1,3
Pilar de canto (W_{p1}')	1,3	1,1

Pelo que foi exposto, percebe-se que tanto a redução quanto a majoração do W_p , para a determinação de W_{po} e W_p' , respectivamente, podem ser introduzidas na versão definitiva da NBR 6118. Para cálculos mais rigorosos, entretanto, recomenda-se a adoção das expressões completas de W_p' , apresentadas na Tabela 2.5.

- Sugestões de redação:

- item 19.4.4.1

“ t_{sd} é calculado conforme 19.4.3, com u_o , perímetro do contorno C , em lugar de u , e W_{po} , módulo de resistência plástica do contorno C , em lugar de W_p . W_{po} pode ser obtido fazendo-se $W_{po} = \frac{u_o}{u} \cdot W_p$ para pilares internos, e $W_{po} = \frac{u_o^*}{u^*} \cdot W_p$ para pilares de borda e de canto.”

- item 19.4.4.4

“ t_{sd} é calculado conforme 19.4.3, com u' , perímetro do contorno C ”, em lugar de u , e W_p' , módulo de resistência plástica do contorno C ”, em lugar de W_p . W_p' pode ser obtido fazendo-se $W_p' = \eta_{wp} \frac{u'}{u} \cdot W_p$ para pilares internos, e $W_p' = \eta_{wp} \frac{u'^*}{u^*} \cdot W_p$ para pilares de borda e de canto. O coeficiente h_{wp} assume os valores indicados na tabela 2.6”. (Tabela 2.6)

2.9.6. TENSÃO ATUANTE EM PILARES INTERNOS COM MOMENTOS NAS DUAS DIREÇÕES

A distribuição uniforme das tensões cisalhantes apresentada na Figura 2.7 consiste em uma simplificação que conduz a bons resultados em boa parte dos casos. Entretanto, como mostra MAST (1970), as tensões atingem seus valores máximos nas regiões do contorno crítico perpendiculares à excentricidade, diminuindo até zero no eixo de aplicação do momento. Assim, quando houver momentos aplicados nas duas direções, a tensão máxima resultante terá um valor inferior à simples soma entre as parcelas dos momentos em cada direção, visto que as tensões máximas não ocorrem nos mesmos pontos. Em outras palavras, o cálculo da tensão atuante conforme a expressão (2.7) conduz a resultados conservadores.

CORES & ARROYO (1995) apresentam uma proposta do *Task Group 2.3* do CEB, comprovada por resultados experimentais, em que a tensão solicitante que considera os efeitos dos momentos das duas direções é dada por:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \cdot d} + \sqrt{\left(\frac{K_1 \cdot M_{Sd1}}{W_{p1} \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{K_2 \cdot M_{Sd2}}{W_{p2} \cdot d}\right)^2} \quad (2.24)$$

Para a versão definitiva da NBR 6118, sugere-se analisar a adoção desta expressão no lugar da eq.(2.7), o que alteraria o comentário do item 19.4.3.2 no anexo A19.

2.9.7. VALORES DA EXCENTRICIDADE e^* PARA OS CONTORNOS C E C''

Como já foi comentado, a NBR 6118 (2000) não apresenta as expressões para o cálculo de e^* correspondente aos contornos C e C''. Assim como no caso do W_p , essa omissão pode acarretar a escolha de valores indevidos de e^* para as verificações na face do pilar e além da região armada, e deve ser solucionada na versão definitiva da NBR 6118.

Uma primeira idéia seria aplicar a integral de definição de e^* , mencionada no item 2.7.2.d), aos contornos críticos C e C''. Com isso, são obtidas as expressões da Tabela 2.7, para pilares de borda, e da Tabela 2.8, para pilares de canto.

Observa-se, entretanto, que o cálculo de e^* segundo essas expressões pode se tornar um pouco trabalhoso. Fazendo-se uma analogia à solução apresentada para o W_p , pode-se propor que as excentricidades dos perímetros críticos reduzidos dos contornos C e C'' sejam escritas da seguinte forma:

Tabela 2.7 - Valores de e^* para pilares de borda

Contorno Crítico	Excentricidade do perímetro crítico e^*
C	$e_o^* = \frac{c_1 \cdot a - a^2 + \frac{c_1 \cdot c_2}{2}}{2 \cdot a + c_2}$
C''	$e'^* = \frac{\left(c_1 \cdot a - a^2 + \frac{c_1 \cdot c_2}{2} + 2 \cdot c_2 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_1 + \right.}{2 \cdot a + c_2 + 2 \cdot \pi \cdot d + \pi \cdot p}$ $\left. + c_2 \cdot p + 8 \cdot d \cdot p + \frac{\pi \cdot p \cdot c_1}{2} + 2 \cdot p^2 \right)$

Tabela 2.8 - Valores de e^* para pilares de canto

Contorno Crítico	Excentricidade do perímetro crítico e^*
C	$e_o^* = \frac{c_1 \cdot a_1 - a_1^2 + a_2 \cdot c_1}{2 \cdot (a_1 + a_2)}$
C''	$e'^* = \frac{\left(c_1 \cdot a_1 - a_1^2 + a_2 \cdot c_1 + 4 \cdot a_2 \cdot d + 8 \cdot d^2 + \pi \cdot d \cdot c_1 \right.}{2 \cdot \left(a_1 + a_2 + \pi \cdot d + \frac{\pi \cdot p}{2} \right)}$ $\left. + 2 \cdot a_2 \cdot p + 8 \cdot d \cdot p + \frac{\pi \cdot p \cdot c_1}{2} + 2 \cdot p^2 \right)$

$$e_o^* = \eta_{e1} \frac{u_o^*}{u^*} \cdot e^* \quad (2.25)$$

$$e'^* = \eta_{e2} \frac{u'^*}{u^*} \cdot e^* \quad (2.26)$$

sendo:

η_{e1} , η_{e2} - coeficientes para correção de e^* em função do contorno estudado.

Para a determinação dos valores de η_{e1} e η_{e2} , as seguintes expressões foram utilizadas:

$$\eta_{e1} = \frac{\frac{e_o^*}{e^*}}{\frac{u_o^*}{u^*}}$$

$$\eta_{e2} = \frac{\frac{e'^*}{u'^*}}{\frac{e^*}{u^*}}$$

Diversos exemplos foram resolvidos, supondo-se e_o^* e e'^* calculados pela Tabela 2.7 e pela Tabela 2.8, e, novamente, $s_e \leq 2 \cdot d$. Os dados utilizados e a análise estatística desenvolvida encontram-se no Anexo B. Observou-se que podem ser adotados os valores de h_{e1} e de h_{e2} apresentados na Tabela 2.9, tanto para pilares de borda quanto de canto, mantendo-se o nível de significância em torno de 10%. Mas vale ressaltar que esses valores ainda podem ser melhorados, a partir de outras análises mais refinadas e que considerem uma amostragem maior e mais diversificada.

Tabela 2.9 - Valores de h_{e1} e de h_{e2}

<i>Coefficientes</i>	$c_1 \leq c_2$	$c_1 > c_2$
h_{e1}	0,5	1,0
h_{e2}	1,0	0,8

Assim sendo, propõe-se a introdução das expressões de redução e majoração do e^* , utilizadas na determinação, respectivamente, de e_o^* e e'^* , no item 19.4.3.4 do Anexo A.19. Para cálculos mais rigorosos, entretanto, recomenda-se a adoção das expressões completas, indicadas na Tabela 2.7 e na Tabela 2.8.

- Sugestão de redação:

“Tanto para pilares de borda como de canto, permite-se calcular as excentricidades do perímetro crítico reduzido nos contornos C e C” a partir das expressões:

$$e_o^* = \eta_{e1} \cdot \frac{u_o^*}{u^*} \cdot e^*$$

$$e'^* = \eta_{e2} \cdot \frac{u'^*}{u^*} \cdot e^*$$

Os coeficientes h_{e1} e h_{e2} assumem os valores indicados na tabela A.5” (Tabela 2.9).

2.9.8. MÉTODO SIMPLIFICADO PARA A PUNÇÃO EXCÊNTRICA

Nos itens 2.7.2.b) ao 2.7.2.f), foram apresentadas expressões para o cálculo das tensões solicitantes nos casos em que atuam momentos fletores desbalanceados, além da força normal. Essas expressões, entretanto, podem se tornar ou pouco práticas, em situações nas quais não se necessita de uma avaliação mais rigorosa da punção, ou até mesmo inconvenientes, quando se desejar uma análise mais imediata do problema.

Em qualquer um desses casos, pode ser interessante a utilização de um método mais simplificado para a verificação da punção excêntrica. Uma alternativa é a adoção de um coeficiente majorador da tensão atuante causada pela força normal, que leve em consideração o efeito da excentricidade. Assim,

$$\tau_{Sd} = \beta \cdot \frac{F_{Sd}}{u \cdot d} \quad (2.27)$$

sendo:

b - coeficiente para a consideração do efeito da excentricidade.

Pode-se imaginar que o valor de **b** sofrerá variações de acordo com a situação de cálculo e o contorno crítico estudados. De uma maneira geral, com base no cálculo de t_{Sd} pelo método mais rigoroso já apresentado, pode-se escrever:

- no contorno **C**:

$$\beta = \frac{\frac{F_{Sd}}{u_o \cdot d} + \frac{K_1 \cdot (M_{Sd1} - F_{Sd} \cdot e_o^*)}{W_{p1,o} \cdot d} + \frac{K_2 \cdot M_{Sd2}}{W_{p2,o} \cdot d}}{\frac{F_{Sd}}{u_o \cdot d}}$$

- no contorno **C'**:

$$\beta = \frac{\frac{F_{Sd}}{u \cdot d} + \frac{K_1 \cdot (M_{Sd1} - F_{Sd} \cdot e^*)}{W_{p1} \cdot d} + \frac{K_2 \cdot M_{Sd2}}{W_{p2} \cdot d}}{\frac{F_{Sd}}{u \cdot d}}$$

- no contorno **C''**:

$$\beta = \frac{\frac{F_{Sd}}{u' \cdot d} + \frac{K_1 \cdot (M_{Sd1} - F_{Sd} \cdot e'^*)}{W_{p1}' \cdot d} + \frac{K_2 \cdot M_{Sd2}}{W_{p2}' \cdot d}}{\frac{F_{Sd}}{u' \cdot d}}$$

Para que os valores de **b** em cada contorno fossem obtidos a partir dessas expressões, foram resolvidos diversos exemplos para cada situação de cálculo, supondo-se $s_e \leq 2 \cdot d$. Os dados utilizados e a análise estatística desenvolvida encontram-se no Anexo C. Mantendo-se o nível de significância em, no máximo, 10%, observou-se que poderiam ser adotados os valores de **b** da Tabela 2.10. Mas vale ressaltar que esses valores ainda podem ser melhorados a partir de outras análises mais refinadas, e que considerem, principalmente, uma variação maior do carregamento.

Tabela 2.10 - Valores de **b** agrupados e aproximados

Situação de Cálculo	$c_1 \leq c_2$			$c_1 > c_2$		
	C	C'	C''	C	C'	C''
<i>Pilar interno, com carregamento simétrico</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Pilar interno, com momento aplicado</i>	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1
<i>Pilar de borda</i>	1,5	1,3	1,2	1,7	1,4	1,1
<i>Pilar de canto</i>	1,7	1,4	1,1	1,5	1,2	1,1

Propõe-se então a introdução desse método simplificado para o cálculo de τ_{sd} , na parte de comentários da versão definitiva da NBR 6118, item 19.4.3 no anexo A.19.

- Sugestão de redação:

“Permite-se verificar a punção excêntrica através da majoração da tensão solicitante devida à força normal, utilizando-se a seguinte expressão:

$$\tau_{sd} = \beta \cdot \frac{F_{sd}}{u \cdot d}$$

onde:

b é o coeficiente para a consideração do efeito da excentricidade, cujos valores estão indicados na tabela A.4”. (Tabela 2.10)

2.9.9. POSICIONAMENTO DOS CONECTORES TIPO PINO

A resistência das ligações laje-pilar com armadura de punção está diretamente relacionada ao posicionamento correto dos conectores tipo pino. As análises experimentais e as formulações desenvolvidas pressupõem que as chapas metálicas das extremidades dos conectores devem estar o mais próximo possível das faces superior e inferior da laje, praticamente envolvendo as armaduras de flexão (Figura 2.28). Isso é necessário para se evitar a possibilidade de que as fissuras passem ou por cima ou por baixo dessas armaduras, o que faria com que a resistência prevista não fosse atingida.

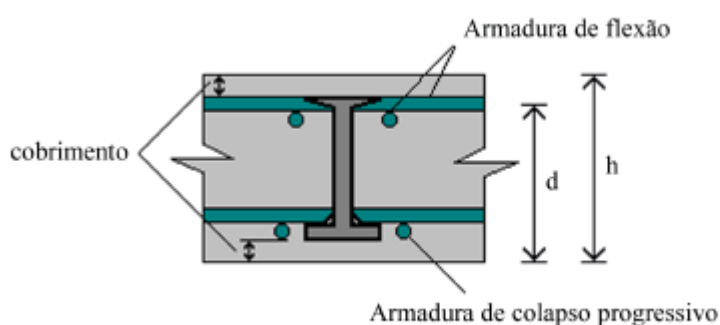


Figura 2.28 - Posicionamento do conector em corte

Alguns trabalhos, como o de GOMES & ANDRADE (2000), vêm estudando a possibilidade de posicionar os conectores sobre a armadura de flexão inferior e abaixo da superior, o que facilitaria significativamente a execução. Apesar dos resultados ainda não serem conclusivos, certamente a contribuição da armadura será inferior à do caso da Figura 2.28, sendo necessárias algumas adaptações no cálculo das tensões resistentes.

Assim sendo, considera-se importante explicitar o posicionamento dos conectores ao qual a formulação da NBR 6118 (2000) está relacionada. Propõe-se acrescentar um comentário na descrição de A_{sw} no item 19.4.4.3.

- Sugestão de redação:

“... Cada uma dessas extremidades deve estar ancorada fora do plano da armadura de flexão correspondente e o mais próximo possível das faces externas da laje, respeitando-se o cobrimento”.

Pode-se também adicionar a Figura 2.28 ao comentário do item 19.4.4.3 no anexo A19, como *figura A.18*.

2.9.10. ESPAÇAMENTO MÍNIMO ENTRE A ARMADURA E A FACE DO PILAR

Distâncias muito pequenas entre a primeira linha de armaduras e a face do pilar não permitem uma boa ancoragem dos conectores na zona comprimida, uma vez que eles podem ser atravessados por fissuras de pequena inclinação. DILGER & GHALI (1981) já propunham a introdução de um limite mínimo para esse espaçamento, sugerindo $0,25d$. Mas REGAN (1999), com base em resultados experimentais, sugere um valor um pouco maior, $0,3d$.

Recomenda-se que seja analisada a adoção deste último limite na versão definitiva da NBR 6118, evitando a possibilidade da primeira linha de conectores tornar-se menos efetiva na absorção das tensões cisalhantes. Uma pequena alteração na *figura 46* poderia ser feita, com o objetivo de indicar esse espaçamento mínimo de $0,3d$ entre a face do pilar e a primeira linha de armaduras (Figura 2.29).

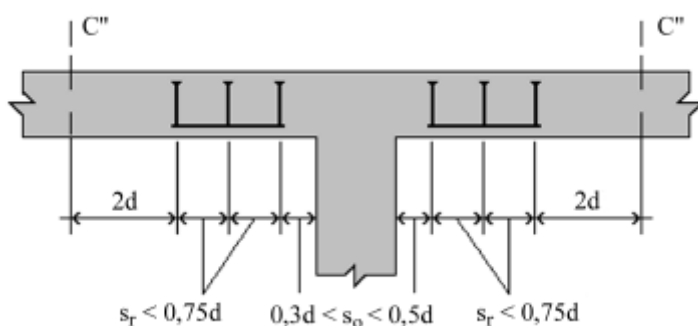


Figura 2.29 - Disposição da armadura de punção em corte (*figura 46 da NBR 6118/2000*)

2.9.11. UNIDADES

Nas expressões para o cálculo das tensões solicitantes, podem ser utilizadas unidades de força e de comprimento quaisquer, desde que coerentes. No caso das tensões resistentes, entretanto, as expressões requerem resistências característica e de cálculo do concreto à compressão em MPa.

Para se evitarem equívocos nos cálculos destas tensões, propõe-se que seja explicitada a unidade da resistência do concreto a ser utilizada, a partir das seguintes complementações.

- Sugestões de redação:
 - item 19.4.4.1
“ f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, em MPa
 f_{cd} é a resistência de cálculo do concreto à compressão, em MPa”
 - item 19.4.4.2
“onde:
 f_{ck} em MPa”
 - item 19.4.4.3
“onde:
 f_{ck} em MPa”

2.9.12. NOTAÇÃO

Para facilitar o entendimento da verificação da punção, evitar possíveis confusões de notação e contemplar algumas sugestões deste trabalho, propõe-se introduzir alguns novos símbolos no item 19.4 - *Dimensionamento de lajes à punção*. São eles:

e_o^*	- excentricidade do perímetro crítico reduzido no contorno C
e'^*	- excentricidade do perímetro crítico reduzido no contorno C'
u_o^*	- perímetro crítico reduzido do contorno C
u'^*	- perímetro crítico reduzido do contorno C'
$W_{p0}, W_{p1,0}, W_{p2,0}$	- módulos de resistência plástica do perímetro crítico u_o
W_p', W_{p1}', W_{p2}'	- módulos de resistência plástica do perímetro crítico u'
b	- coeficiente para consideração do efeito da excentricidade
h_{wp}	- coeficiente para correção do W_p' em função da situação de cálculo
h_{e1}, h_{e2}	- coeficientes para correção de e^* em função do contorno estudado

Além disso, alguns símbolos já utilizados na verificação da punção não são mencionados no *Capítulo 4 - Simbologia*, e devem ser inseridos. São eles:

- item 4.1
- c_1, c_2 - dimensões do pilar
- e^* - excentricidade do perímetro crítico reduzido no contorno C'
- u' - perímetro crítico do contorno C''
- item 4.2
- C'' - contorno crítico a $2d$ da região armada
- W_{p1}, W_{p2} - módulos de resistência plástica do perímetro crítico u
- item 4.3
- a_v - coeficiente de efetividade do concreto
- t_{Rd3} - tensão resistente de cálculo do concreto a $2d$ da face do pilar (lajes com armadura de punção)

2.10. EXEMPLO DE CÁLCULO

Para exemplificar a utilização dos critérios para a verificação da punção, foram estudadas as regiões dos pilares **P1**, **P5** e **P6**, indicados na Figura 2.30. Este pavimento foi adaptado de GUARDA (1995).

2.10.1. CÁLCULO DOS ESFORÇOS

Os esforços foram obtidos a partir da resolução da placa por elementos finitos, utilizando o programa **SAP 90**.

As reações dos pilares são apresentadas na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Reações dos pilares

Pilar	Dimensões (cm x cm)	Esforço		
		N (kN)	M_x (kN.cm)	M_y (kN.cm)
P1	30 x 30	77	4344	1850
P5	40 x 30	178	8536	2049
P6	30 x 40	329	1313	3002

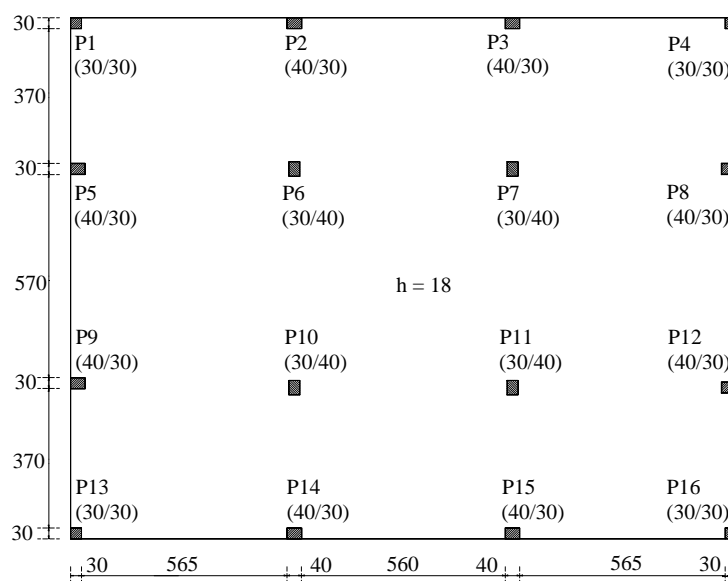


Figura 2.30 - Forma do pavimento do exemplo (dimensões em centímetros)

2.10.2. ESTUDO DA LAJE

O dimensionamento e o detalhamento da laje foram realizados de acordo com as recomendações da NBR 6118 (2000). Adotaram-se os seguintes valores:

$$f_{cd} = \frac{30}{1,4} = 21,43 \text{ MPa}$$

$$c = 2,0 \text{ cm}$$

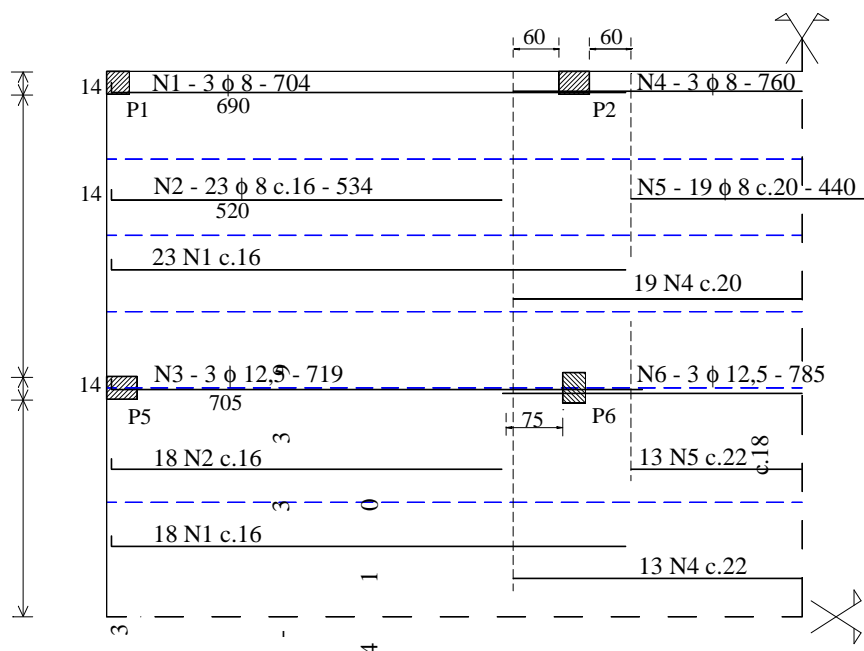
$$d_x = 18 - 2 - 0,5 \cdot 1,25 = 15,375 \text{ cm}$$

$$d_y = 18 - 2 - 1,5 \cdot 1,25 = 14,125 \text{ cm}$$

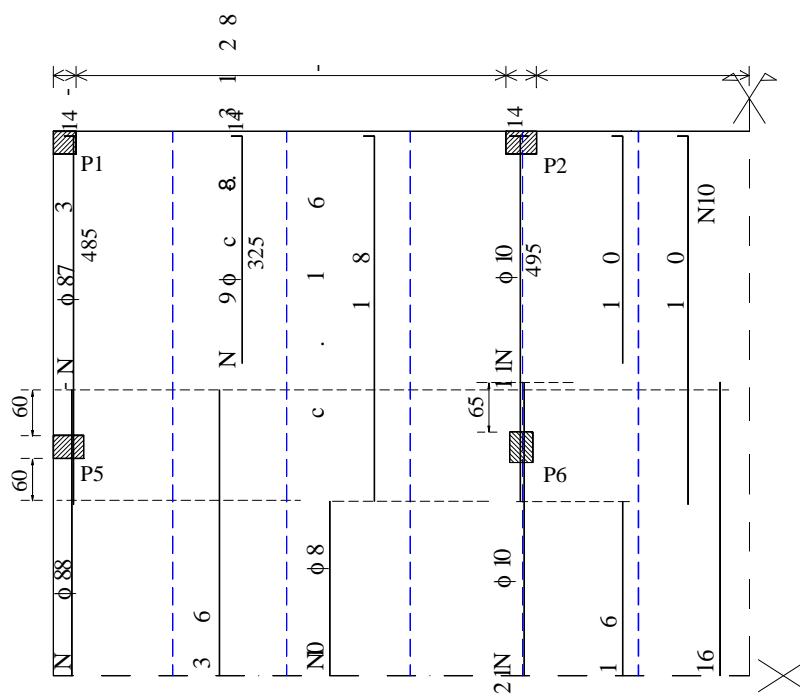
$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = 14,75 \text{ cm}$$

Os detalhamentos das armaduras positivas e negativas estão indicados na Figura 2.31 e na Figura 2.32, respectivamente. Nos dois casos, foi utilizada a simetria do pavimento.

Com esses detalhamentos e com os esforços nos pilares, pode-se iniciar a verificação da punção.

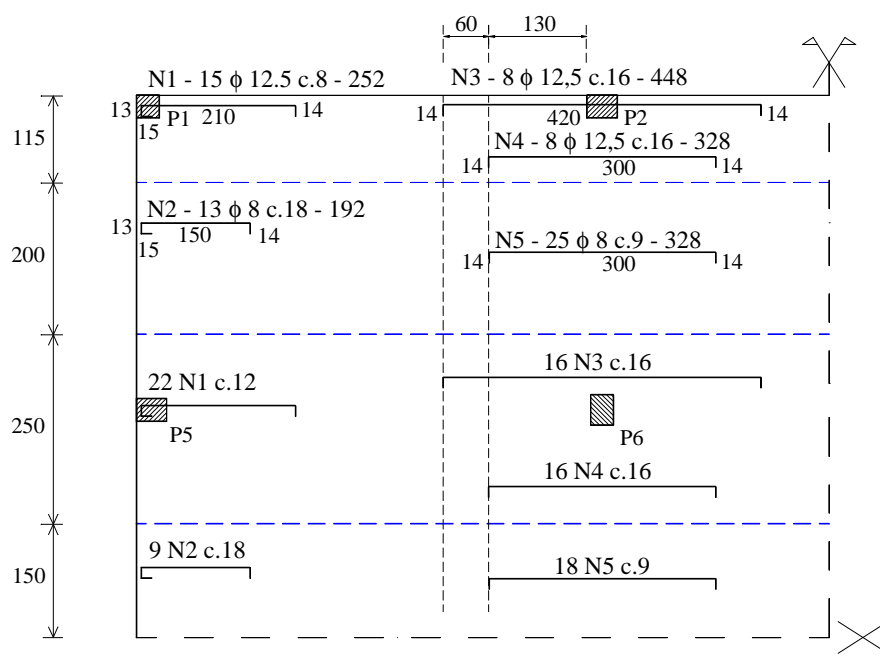


(a) direção X

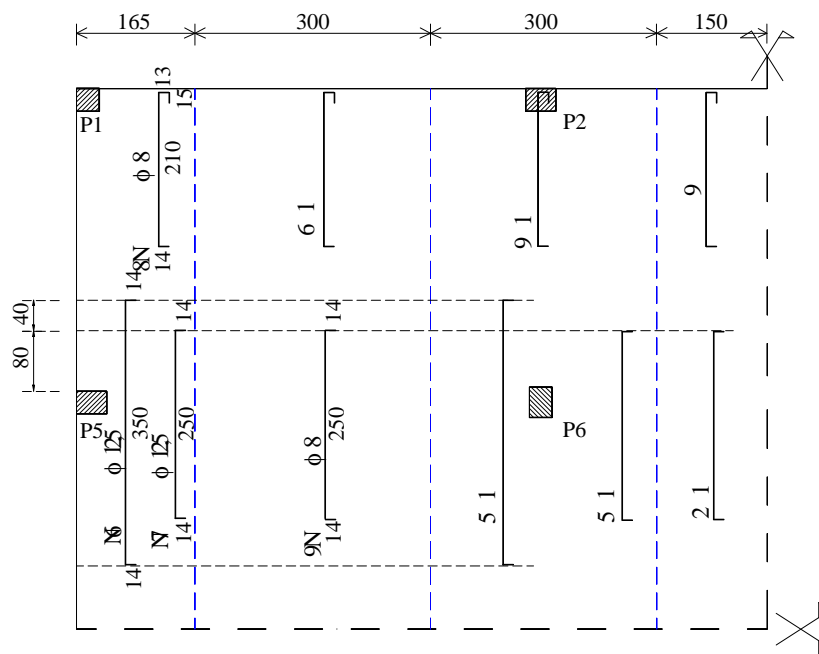


(b) direção Y

Figura 2.31 - Detalhamento da armadura positiva



(a) direção X



(b) direção Y

Figura 2.32 - Detalhamento da armação negativa

2.10.3. PILAR P6 (PILAR INTERNO)

$$F_{Sd} = 1,4 \cdot 329 = 461 \text{ kN}$$

$$M_{Sd1} = 1,4 \cdot 1313 = 1838 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Sd2} = 1,4 \cdot 3002 = 4203 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

a) Verificação do contorno C

Tensão resistente (eq.2.1):

$$\tau_{Rd2} = 0,27 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 21,43 = 5,09 \text{ MPa}$$

Tensão resistente (eq.2.16 - sugestão):

$$\tau_{Rd2} = 0,32 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 21,43 = 6,03 \text{ MPa}$$

Tensão solitante (eq.2.7):

Pela Tabela 2.1:

$$u_o = 2 \cdot (30 + 40) = 140 \text{ cm}$$

$$u = 2 \cdot (30 + 40) + 4 \cdot \pi \cdot 14,75 = 325 \text{ cm}$$

Pela Tabela 2.2:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{30}{40} = 0,75 \quad \frac{1-0,5}{0,6-0,45} = \frac{1-0,75}{0,6-K_1} \Rightarrow K_1 = 0,525$$

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{40}{30} = 1,33 \quad \frac{2-1}{0,7-0,6} = \frac{2-1,33}{0,7-K_2} \Rightarrow K_2 = 0,633$$

Pela eq.(2.6):

$$W_{p1} = \frac{30^2}{2} + 30 \cdot 40 + 4 \cdot 40 \cdot 14,75 + 16 \cdot 14,75^2 + 2 \cdot \pi \cdot 14,75 \cdot 30$$

$$W_{p1} = 10271 \text{ cm}^2$$

$$W_{p2} = \frac{40^2}{2} + 40 \cdot 30 + 4 \cdot 30 \cdot 14,75 + 16 \cdot 14,75^2 + 2 \cdot \pi \cdot 14,75 \cdot 40$$

$$W_{p2} = 10958 \text{ cm}^2$$

Pela eq.(2.20) - *sugestão*:

$$W_{p1,o} = \frac{140}{325} \cdot 10271 = 4424 \text{ cm}^2$$

$$W_{p2,o} = \frac{140}{325} \cdot 10958 = 4720 \text{ cm}^2$$

Assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{461}{140 \cdot 14,75} + \frac{0,525 \cdot 1838}{4424 \cdot 14,75} + \frac{0,633 \cdot 4203}{4720 \cdot 14,75} = 0,223 + 0,015 + 0,038$$

$$\tau_{Sd} = 0,276 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,76 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.24 - *sugestão*):

$$\tau_{Sd} = \frac{461}{140 \cdot 14,75} + \sqrt{\left(\frac{0,525 \cdot 1838}{4424 \cdot 14,75}\right)^2 + \left(\frac{0,633 \cdot 4203}{4720 \cdot 14,75}\right)^2}$$

$$\tau_{Sd} = 0,223 + \sqrt{0,015^2 + 0,038^2} = 0,264 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,64 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.27 - *sugestão*):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,2$.

Assim:

$$\tau_{Sd} = 1,2 \cdot \frac{461}{140 \cdot 14,75} = 0,268 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2,68 \text{ MPa}$$

De qualquer forma,

$$\tau_{Rd2} \geq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Observa-se que quando são utilizadas as expressões sugeridas, eq.(2.16) e eq.(2.24), ao invés das expressões da NBR 6118 (2000), eq.(2.1) e eq.(2.7), a verificação é satisfeita com mais “folga”. Nota-se também que o método simplificado para o cálculo de τ_{Sd} conduziu a um bom resultado, apesar de sua grande simplificação em relação à eq.(2.7) e à eq.(2.24).

b) Verificação do contorno C'

Tensão resistente (eq.2.2):

De acordo com a Figura 2.9 e com a Figura 2.32, tem-se:

$$\rho_x = \frac{16 \cdot 1,23}{15,375 \cdot (2 \cdot 3 \cdot 14,75 + 40)} = 0,00996$$

$$\rho_y = \frac{10 \cdot 1,23}{14,125 \cdot (2 \cdot 3 \cdot 14,75 + 30)} = 0,00735$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0,00996 \cdot 0,00735} = 0,00856$$

Assim,

$$\tau_{Rdl} = 0,13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{14,75}} \right) \cdot (100 \cdot 0,00856 \cdot 30)^{1/3} = 0,83 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.7):

$$\tau_{Sd} = \frac{461}{325 \cdot 14,75} + \frac{0,525 \cdot 1838}{10271 \cdot 14,75} + \frac{0,633 \cdot 4203}{10958 \cdot 14,75} = 0,096 + 0,006 + 0,016$$

$$\tau_{Sd} = 0,118 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,18 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rdl} \leq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{é necessária armadura de punção}$$

Serão utilizados conectores tipo pino, aço CA-50. Sendo 18 cm a espessura da laje, tem-se:

$$\frac{435 - 300}{35 - 15} = \frac{435 - f_{ywd}}{35 - 18} \quad \Rightarrow \quad f_{ywd} = 320,25 \text{ MPa}$$

A área de aço necessária é obtida igualando-se a tensão solicitante à eq.(2.3).

$$1,18 = 0,10 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{14,75}} \right) \cdot (100 \cdot 0,00856 \cdot 30)^{1/3} + 1,5 \cdot \frac{14,75}{s_r} \cdot \frac{A_{sw} \cdot 320,25 \cdot 1}{325 \cdot 14,75}$$

$$\frac{A_{sw}}{s_r} = 0,366 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Adotando-se 16 conectores ϕ 6,3 em cada linha e $s_r = 10 \text{ cm}$, tem-se:

$$A_{sw} = 16 \cdot 0,32 = 5,12 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s_r} = \frac{5,12}{10} = 0,512 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \geq 0,366 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Assim, utilizando-se quatro linhas de conectores e respeitando-se os espaçamentos mínimos, o arranjo será como o da Figura 2.33.

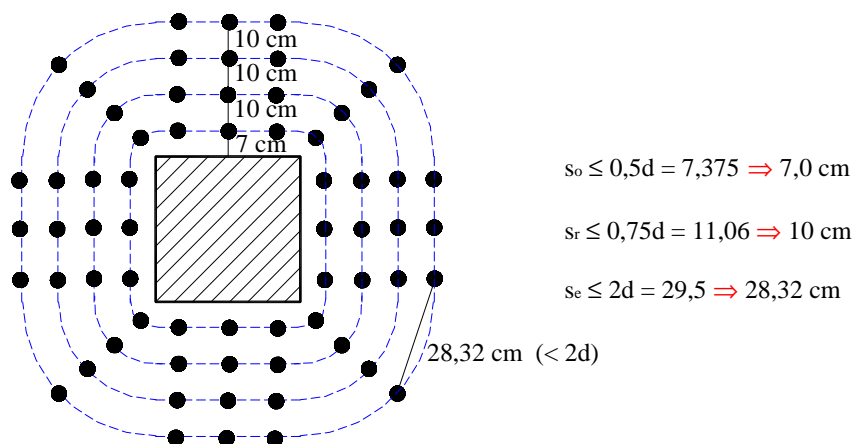


Figura 2.33 - Arranjo dos conectores tipo pino para o pilar **P6**

Tensão solicitante (eq.2.24 - sugestão):

$$\tau_{Sd} = \frac{461}{325 \cdot 14,75} + \sqrt{\left(\frac{0,525 \cdot 1838}{10271 \cdot 14,75}\right)^2 + \left(\frac{0,633 \cdot 4203}{10958 \cdot 14,75}\right)^2}$$

$$\tau_{Sd} = 0,096 + \sqrt{0,006^2 + 0,016^2} = 0,113 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,13 \text{ MPa}$$

Mesmo se utilizando esta expressão, a armadura de punção não pode ser dispensada. Entretanto, a área de aço necessária, obtida a partir da eq.(2.3), é menor que a calculada no item anterior ($\frac{A_{sw}}{s_r} = 0,332 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$).

Tensão solicitante (eq.2.27 - sugestão):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,2$.

Assim:

$$\tau_{Sd} = 1,2 \cdot \frac{461}{325 \cdot 14,75} = 0,115 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,15 \text{ MPa}$$

Observa-se que o método simplificado para o cálculo de t_{Sd} forneceu novamente um resultado próximo daqueles obtidos com a eq.(2.7) e com a eq.(2.24). Nota-se também que foram respeitados os limites $\rho \leq 0,02$ e $s_o \geq 0,3d = 4,43 \text{ cm}$, propostos neste trabalho.

c) Verificação do contorno C''

Tensão resistente (eq.2.2):

$$\tau_{Rdl} = 0,83 \text{ MPa} \quad (\text{como calculado no item 2.10.3.b})$$

Tensão solitante (eq.2.7):

Como $s_e \leq 2d$, pela Tabela 2.1:

$$u' = 2 \cdot (30 + 40) + 4 \cdot \pi \cdot 14,75 + 2 \cdot \pi \cdot 37 = 558 \text{ cm}$$

Pela eq.(2.22) - *sugestão*, tomando-se $\eta_{wp} = 1,6$ para W_{p1}' , e $\eta_{wp} = 1,3$ para W_{p2}' ,

de acordo com a Tabela 2.6:

$$W_{p1}' = 1,6 \cdot \frac{558}{325} \cdot 10271 = 28215 \text{ cm}^2$$

$$W_{p2}' = 1,3 \cdot \frac{558}{325} \cdot 10958 = 24458 \text{ cm}^2$$

Assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{461}{558 \cdot 14,75} + \frac{0,525 \cdot 1838}{28215 \cdot 14,75} + \frac{0,633 \cdot 4203}{24458 \cdot 14,75} = 0,056 + 0,002 + 0,007$$

$$\tau_{Sd} = 0,065 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,65 \text{ MPa}$$

Calculando-se os valores de W_{p1}' e de W_{p2}' a partir da expressão indicada na Tabela 2.5, têm-se:

$$W_{p1}' = \frac{30^2}{2} + 30 \cdot 40 + 4 \cdot 40 \cdot 14,75 + 16 \cdot 14,75^2 + 2 \cdot \pi \cdot 14,75 \cdot 30 + \\ + 2 \cdot 40 \cdot 37 + 16 \cdot 14,75 \cdot 37 + 4 \cdot 37^2 + \pi \cdot 30 \cdot 37$$

$$W_{p1}' = 30926 \text{ cm}^2$$

$$W_{p2}' = \frac{40^2}{2} + 40 \cdot 30 + 4 \cdot 30 \cdot 14,75 + 16 \cdot 14,75^2 + 2 \cdot \pi \cdot 14,75 \cdot 40 + \\ + 2 \cdot 30 \cdot 37 + 16 \cdot 14,75 \cdot 37 + 4 \cdot 37^2 + \pi \cdot 40 \cdot 37$$

$$W_{p2}' = 32036 \text{ cm}^2$$

E assim:

$$\tau_{Sd} = \frac{461}{558 \cdot 14,75} + \frac{0,525 \cdot 1838}{30926 \cdot 14,75} + \frac{0,633 \cdot 4203}{32036 \cdot 14,75} = 0,056 + 0,002 + 0,006$$

$$\tau_{Sd} = 0,064 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,64 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.24 - sugestão):

Considerando-se os valores de W_{p1}' e W_{p2}' calculados pela eq.(2.22) - *sugestão*:

$$\tau_{Sd} = \frac{461}{558 \cdot 14,75} + \sqrt{\left(\frac{0,525 \cdot 1838}{28215 \cdot 14,75}\right)^2 + \left(\frac{0,633 \cdot 4203}{24458 \cdot 14,75}\right)^2}$$

$$\tau_{Sd} = 0,056 + \sqrt{0,002^2 + 0,007^2} = 0,063 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,63 \text{ MPa}$$

Com o uso da expressão da Tabela 2.5:

$$\tau_{Sd} = \frac{461}{558 \cdot 14,75} + \sqrt{\left(\frac{0,525 \cdot 1838}{30926 \cdot 14,75}\right)^2 + \left(\frac{0,633 \cdot 4203}{32036 \cdot 14,75}\right)^2}$$

$$\tau_{Sd} = 0,056 + \sqrt{0,002^2 + 0,006^2} = 0,062 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,62 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.27 - sugestão):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,1$.

Assim:

$$\tau_{Sd} = 1,1 \cdot \frac{461}{558 \cdot 14,75} = 0,062 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,62 \text{ MPa}$$

De qualquer forma,

$$\tau_{Rd1} \geq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Observa-se que os valores de W_{p1}' e de W_{p2}' obtidos pela eq.(2.22), apesar de conservadores, não são distantes daqueles calculados a partir da Tabela 2.5 e são muito mais facilmente calculados. O importante, entretanto, é que as tensões solicitantes obtidas nos dois casos são bastante parecidas. Acredita-se que a boa aproximação dos resultados justifica o uso do método simplificado, o mesmo ocorrendo para o cálculo de t_{sd} pela eq.(2.27), que forneceu um bom resultado em relação àqueles obtidos tanto com a eq.(2.7) quanto com a eq.(2.24).

d) Verificação do colapso progressivo

$$A_s = 6 \cdot 0,8 + 6 \cdot 1,23 = 12,18 \text{ cm}^2$$

$$A_s \cdot f_{yd} = 12,18 \cdot \frac{50}{1,15} = 530 \text{ kN}$$

$$A_s \cdot f_{yd} \geq F_{Sd} \quad \Rightarrow \quad 530 \geq 461 \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

2.10.4. PILAR P5 (PILAR DE BORDA)

$$F_{Sd} = 1,4 \cdot 178 = 249 \text{ kN}$$

$$M_{Sd1} = 1,4 \cdot 8536 = 11950 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Sd2} = 1,4 \cdot 2049 = 2869 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Sd1} = M_{Sdx} \quad (\text{perpendicular à borda livre})$$

$$M_{Sd2} = M_{Sdy} \quad (\text{paralelo à borda livre})$$

$$c_1 = 40 \text{ cm} \quad (\text{perpendicular à borda livre})$$

$$c_2 = 30 \text{ cm} \quad (\text{paralelo à borda livre})$$

a) Verificação do contorno C

Tensão resistente (eq.2.1):

$$\tau_{Rd2} = 5,09 \text{ MPa} \quad (\text{como calculado no item 2.10.3.a})$$

Tensão resistente (eq.2.16 - sugestão):

$$\tau_{Rd2} = 6,03 \text{ MPa} \quad (\text{como calculado no item 2.10.3.a})$$

Tensão solicitante (eq.2.11):

$$a \leq \begin{cases} 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 14,75 = 22,125 \text{ cm} \\ 0,5 \cdot c_1 = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow a = 20 \text{ cm}$$

Pela Tabela 2.3:

$$u_o^* = 2 \cdot 20 + 30 = 70 \text{ cm}$$

$$u^* = 2 \cdot 20 + 30 + 2 \cdot \pi \cdot 14,75 = 163 \text{ cm}$$

Pela eq.(2.9):

$$e^* = \frac{40 \cdot 20 - 20^2 + \frac{40 \cdot 30}{2} + 2 \cdot 30 \cdot 14,75 + 8 \cdot 14,75^2 + \pi \cdot 14,75 \cdot 40}{2 \cdot 20 + 30 + 2 \cdot \pi \cdot 14,75}$$

$$e^* = 33,68 \text{ cm}$$

Pela eq.(2.25) - *sugestão*, tomando-se $\eta_{e1} = 1,0$, de acordo com a Tabela 2.9:

$$e_o^* = \frac{70}{163} \cdot 33,68 = 14,46 \text{ cm}$$

Logo,

$$M_{Sd}^* = F_{Sd} \cdot e_o^* = 249 \cdot 14,46 = 3600 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Sd} = (M_{Sd1} - M_{Sd}^*) = (11950 - 3600) = 8350 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Pela Tabela 2.2:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{40}{30} = 1,33 \quad \frac{2-1}{0,7-0,6} = \frac{2-1,33}{0,7-K_1} \Rightarrow K_1 = 0,633$$

$$\frac{c_2}{2 \cdot c_1} = \frac{30}{2 \cdot 40} = 0,375 \leq 0,5 \Rightarrow K_2 = 0,45$$

(como sugestão deste trabalho)

Pela eq.(2.10):

$$W_{p1} = \frac{40^2}{2} + \frac{40 \cdot 30}{2} + 2 \cdot 30 \cdot 14,75 + 8 \cdot 14,75^2 + \pi \cdot 14,75 \cdot 40 = 5879 \text{ cm}^2$$

Pela eq.(2.12):

$$W_{p2} = \frac{30^2}{4} + 40 \cdot 30 + 4 \cdot 40 \cdot 14,75 + 8 \cdot 14,75^2 + \pi \cdot 14,75 \cdot 30 = 6916 \text{ cm}^2$$

Pela eq.(2.21) - *sugestão*:

$$W_{p1,o} = \frac{70}{163} \cdot 5879 = 2525 \text{ cm}^2$$

$$W_{p2,o} = \frac{70}{163} \cdot 6916 = 2970 \text{ cm}^2$$

Assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{249}{70 \cdot 14,75} + \frac{0,633 \cdot 8350}{2525 \cdot 14,75} + \frac{0,45 \cdot 2869}{2970 \cdot 14,75} = 0,241 + 0,142 + 0,029$$

$$\tau_{Sd} = 0,412 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4,12 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.27 - sugestão):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,7$.

Assim,

$$\tau_{Sd} = 1,7 \cdot \frac{249}{70 \cdot 14,75} = 0,410 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4,10 \text{ MPa}$$

De qualquer forma,

$$\tau_{Rd2} \geq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Com o aumento da tensão resistente proporcionado pela eq.(2.16) em relação à eq.(2.1), a verificação é novamente satisfeita com mais folga. Observa-se também que o valor de e_o^* obtido com o uso da eq.(2.25) está bastante próximo daquele obtido a partir da expressão da Tabela 2.7,

$$e_o^* = \frac{40 \cdot 20 - 20^2 + \frac{40 \cdot 30}{2}}{2 \cdot 20 + 30} = 14,29 \text{ cm}$$

sendo, entretanto, muito mais facilmente calculado. O mesmo ocorre para o cálculo de t_{sd} pela eq.(2.27), cujo resultado se aproxima bastante daquele obtido com a eq.(2.11).

b) Verificação do contorno C'

Tensão resistente (eq.2.2):

Com base na Figura 2.9 e na Figura 2.32, tem-se:

$$\rho_x = \frac{9 \cdot 1,23}{15,375 \cdot (2 \cdot 3 \cdot 14,75 + 30)} = 0,00608$$

$$\rho_y = \frac{7 \cdot 1,23}{14,125 \cdot (3 \cdot 14,75 + 40)} = 0,00724$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0,00608 \cdot 0,00724} = 0,00663$$

$$\tau_{Rd1} = 0,13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{14,75}} \right) \cdot (100 \cdot 0,00663 \cdot 30)^{1/3} = 0,76 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.11):

$$M_{Sd}^* = F_{Sd} \cdot e^* = 249 \cdot 33,68 = 8386 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Sd} = (M_{Sd1} - M_{Sd}^*) = (11950 - 8386) = 3564 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Assim:

$$\tau_{Sd} = \frac{249}{163 \cdot 14,75} + \frac{0,633 \cdot 3564}{5879 \cdot 14,75} + \frac{0,45 \cdot 2869}{6916 \cdot 14,75} = 0,104 + 0,026 + 0,013$$

$$\tau_{Sd} = 0,143 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,43 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rdl} \leq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{é necessária armadura de punção}$$

Serão utilizados novamente conectores tipo pino, aço CA-50.

A área de aço necessária é obtida igualando-se a tensão solicitante à eq.(2.3).

$$1,43 = 0,10 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{14,75}} \right) \cdot (100 \cdot 0,00663 \cdot 30)^{1/3} + 1,5 \cdot \frac{14,75}{s_r} \cdot \frac{A_{sw} \cdot 320,25 \cdot 1}{163 \cdot 14,75}$$

$$\frac{A_{sw}}{s_r} = 0,286 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Adotando-se 9 conectores ϕ 6,3 efetivos em cada linha e $s_r = 10 \text{ cm}$, tem-se:

$$A_{sw} = 9 \cdot 0,32 = 2,88 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s_r} = \frac{2,88}{10} = 0,288 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \geq 0,286 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Assim, utilizando-se quatro linhas de conectores e respeitando-se os espaçamentos mínimos, o arranjo será como o da Figura 2.34.

Tensão solicitante (eq.2.27 - sugestão):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,4$.

Assim,

$$\tau_{Sd} = 1,4 \cdot \frac{249}{163 \cdot 14,75} = 0,145 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,45 \text{ MPa}$$

Observa-se que o cálculo de t_{sa} pelo método simplificado conduziu novamente a um bom resultado em relação àquele obtido com a eq.(2.11). Nota-se também que, mais uma vez, foram respeitados os limites $\rho \leq 0,02$ e $s_o \geq 0,3d = 4,43 \text{ cm}$, propostos neste trabalho.

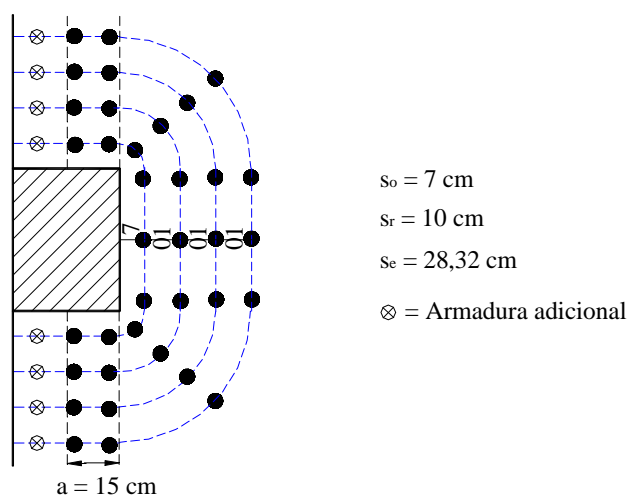


Figura 2.34 - Arranjo dos conectores tipo pino para o pilar P5

c) **Verificação do contorno C''**

Tensão resistente (eq.2.2):

$$\tau_{Rd1} = 0,76 \text{ MPa} \quad (\text{como calculado no item 2.10.4.b})$$

Tensão solicitante (eq.2.11):

Como $s_e \leq 2d$, pela Tabela 2.3:

$$u^* = 2 \cdot 20 + 30 + 2 \cdot \pi \cdot 14,75 + \pi \cdot 37 = 279 \text{ cm}$$

Pela eq.(2.26) - *sugestão*, tomando-se $\eta_{e2} = 0,8$, de acordo com a Tabela 2.9:

$$e'^* = 0,8 \cdot \frac{279}{163} \cdot 33,68 = 46,12 \text{ cm}$$

Logo,

$$M_{Sd}^* = F_{Sd} \cdot e'^* = 249 \cdot 46,12 = 11484 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Sd} = (M_{Sd1} - M_{Sd}^*) = (11950 - 11484) = 466 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Pela eq.(2.23) - *sugestão*, tomando-se $\eta_{wp} = 1,1$ para o W_{p1} , e $\eta_{wp} = 1,3$ para o W_{p2} ,

de acordo com a Tabela 2.6:

$$W_{p1}' = 1,1 \cdot \frac{279}{163} \cdot 5879 = 11069 \text{ cm}^2$$

$$W_{p2}' = 1,3 \cdot \frac{279}{163} \cdot 6916 = 15389 \text{ cm}^2$$

Assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{249}{279 \cdot 14,75} + \frac{0,633 \cdot 466}{11069 \cdot 14,75} + \frac{0,45 \cdot 2869}{15389 \cdot 14,75} = 0,060 + 0,002 + 0,005$$

$$\tau_{Sd} = 0,067 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,67 \text{ MPa}$$

Calculando-se a excentricidade pela expressão da Tabela 2.7, têm-se:

$$e^{*} = \frac{\left(40 \cdot 20 - 20^2 + \frac{40 \cdot 30}{2} + 2 \cdot 30 \cdot 14,75 + 8 \cdot 14,75^2 + \right.}{2 \cdot 20 + 30 + 2 \cdot \pi \cdot 14,75 + \pi \cdot 37} \left. + \pi \cdot 14,75 \cdot 40 + 30 \cdot 37 + 8 \cdot 14,75 \cdot 37 + \frac{\pi \cdot 37 \cdot 40}{2} + 2 \cdot 37^2 \right)$$

$$e^{*} = 57,43 \text{ cm}$$

Logo:

$$M_{Sd}^{*} = F_{Sd} \cdot e^{**} = 249 \cdot 57,43 = 14300 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{sd} = (M_{sd1} - M_{sd}^{*}) = (11950 - 14300) = -2350 \text{ kN} \cdot \text{cm} \leq 0$$

$$M_{sd} = 0$$

Calculando-se W_{p1}' e W_{p2}' pelas expressões da Tabela 2.5, têm-se:

$$W_{p1}' = \frac{40^2}{2} + \frac{40 \cdot 30}{2} + 2 \cdot 30 \cdot 14,75 + 8 \cdot 14,75^2 + \pi \cdot 14,75 \cdot 40 +$$

$$+ 30 \cdot 37 + 8 \cdot 14,75 \cdot 37 + \frac{\pi \cdot 37 \cdot 40}{2} + 2 \cdot 37^2$$

$$W_{p1}' = 16418 \text{ cm}^2$$

$$W_{p2}' = \frac{30^2}{4} + 40 \cdot 30 + 4 \cdot 40 \cdot 14,75 + 8 \cdot 14,75^2 + \pi \cdot 14,75 \cdot 30 +$$

$$+ 2 \cdot 40 \cdot 37 + 8 \cdot 14,75 \cdot 37 + \frac{\pi \cdot 37 \cdot 30}{2} + 2 \cdot 37^2$$

$$W_{p2}' = 18723 \text{ cm}^2$$

E assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{249}{279 \cdot 14,75} + \frac{0,633 \cdot 0}{16418 \cdot 14,75} + \frac{0,45 \cdot 2869}{18723 \cdot 14,75} = 0,060 + 0 + 0,005$$

$$\tau_{Sd} = 0,065 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,65 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.27 - sugestão):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,1$.

Assim,

$$\tau_{Sd} = 1,1 \cdot \frac{249}{279 \cdot 14,75} = 0,066 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,66 \text{ MPa}$$

De qualquer forma,

$$\tau_{Rd1} \geq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Observa-se que os valores de W_{p1}' e de W_{p2}' obtidos pela eq.(2.23), apesar de conservadores, não são distantes daqueles calculados a partir da Tabela 2.8, o mesmo ocorrendo para o e'^* obtido pela eq.(2.26), em relação ao da Tabela 2.7. O importante, entretanto, é que as tensões solicitantes calculadas para os dois casos são bastante parecidas, justificando, mais uma vez, o uso do método simplificado. E quanto ao cálculo de t_{sd} pela eq.(2.27), observa-se que o resultado obtido ficou novamente próximo daqueles correspondentes à eq.(2.11).

d) Verificação do colapso progressivo

$$A_s = 6 \cdot 0,5 + 3 \cdot 1,23 = 6,69 \text{ cm}^2$$

$$A_s \cdot f_{yd} = 6,69 \cdot \frac{50}{1,15} = 291 \text{ kN}$$

$$A_s \cdot f_{yd} \geq F_{Sd} \quad \Rightarrow \quad 291 \geq 249 \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

2.10.5. PILAR P1 (PILAR DE CANTO)

$$F_{Sd} = 1,4 \cdot 77 = 108 \text{ kN}$$

$$M_{Sdx} = 1,4 \cdot 4344 = 6082 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Sdy} = 1,4 \cdot 1850 = 2590 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

As duas situações de cálculo para as verificações estão representadas na Figura 2.35.

a) Verificação do contorno C

Tensão resistente (eq.2.1):

$$\tau_{Rd2} = 5,09 \text{ MPa} \quad (\text{como calculado no item 2.10.3.a})$$

Tensão resistente (eq.2.16 - sugestão):

$$\tau_{Rd2} = 6,03 \text{ MPa} \quad (\text{como calculado no item 2.10.3.a})$$

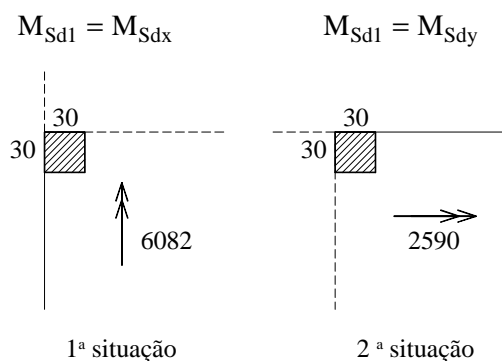


Figura 2.35 - Situações de cálculo para o pilar **P1**

Tensão solicitante (eq.2.8):

$$a_1 = a_2 \leq \begin{cases} 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 14,75 = 22,125 \text{ cm} \\ 0,5 \cdot c_1 = 0,5 \cdot 30 = 15 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow a_1 = a_2 = 15 \text{ cm}$$

Pela Tabela 2.4:

$$u_o^* = 2 \cdot 15 = 30 \text{ cm}$$

$$u^* = 15 + 15 + \pi \cdot 14,75 = 76 \text{ cm}$$

Como o pilar é quadrado, $c_1 = c_2$, e as excentricidades e os valores de \mathbf{K} e de \mathbf{W}_p são iguais para as duas situações de cálculo. O determinante da situação mais crítica é, portanto, apenas o valor do momento \mathbf{M}_{sd} . Se o pilar fosse retangular, seria necessário se calcular a tensão solicitante segundo as duas situações de cálculo, para então se descobrir a mais crítica.

Pela eq.(2.13):

$$e^* = \frac{30 \cdot 15 - 15^2 + 15 \cdot 30 + 4 \cdot 15 \cdot 14,75 + 8 \cdot 14,75^2 + \pi \cdot 14,75 \cdot 30}{2 \cdot (15 + 15 + \pi \cdot 14,75)}$$

$$e^* = 30,72 \text{ cm}$$

Pela eq.(2.25) - *sugestão*, tomando-se $\eta_{el} = 0,5$, de acordo com a Tabela 2.9:

$$e_o^* = 0,5 \cdot \frac{30}{76} \cdot 30,72 = 6,06 \text{ cm}$$

Logo:

$$M_{sd}^* = F_{sd} \cdot e_o^* = 108 \cdot 6,06 = 655 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Sendo a 1ª situação a mais crítica,

$$M_{sd} = (M_{sd1} - M_{sd}^*) = (6082 - 655) = 5427 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Pela Tabela 2.2, $K_1 = 0,6$.

Pela eq.(2.14):

$$W_{pl} = \frac{30^2}{4} + \frac{30 \cdot 30}{2} + 2 \cdot 30 \cdot 14,75 + 4 \cdot 14,75^2 + \frac{\pi \cdot 14,75 \cdot 30}{2} = 3125 \text{ cm}^2$$

Pela eq.(2.21) - *sugestão*:

$$W_{pl,o} = \frac{30}{76} \cdot 3125 = 1234 \text{ cm}^2$$

Assim:

$$\tau_{Sd} = \frac{108}{30 \cdot 14,75} + \frac{0,6 \cdot 5427}{1234 \cdot 14,75} = 0,244 + 0,179 = 0,423 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4,23 \text{ MPa}$$

Calculando-se a excentricidade pela expressão da Tabela 2.8, têm-se:

$$e_o^* = \frac{30 \cdot 15 - 15^2 + 15 \cdot 30}{2 \cdot (15 + 15)} = 11,25 \text{ cm}$$

Logo:

$$M_{Sd}^* = F_{Sd} \cdot e_o^* = 108 \cdot 11,25 = 1215 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{sd} = (M_{sd1} - M_{sd}^*) = (6082 - 1215) = 4867 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

E assim:

$$\tau_{Sd} = \frac{108}{30 \cdot 14,75} + \frac{0,6 \cdot 4867}{1234 \cdot 14,75} = 0,244 + 0,160 = 0,404 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4,04 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.27 - *sugestão*):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,7$.

Assim,

$$\tau_{Sd} = 1,7 \cdot \frac{108}{30 \cdot 14,75} = 0,415 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4,15 \text{ MPa}$$

De qualquer forma,

$$\tau_{Rd2} \geq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Mais uma vez, com o aumento da tensão resistente proporcionado pela eq.(2.16) em relação à eq.(2.1), a verificação é satisfeita com mais folga. Também se observa que, apesar do valor conservador de e_o^* obtido com o uso da eq.(2.25) não estar próximo daquele obtido a partir da Tabela 2.8, a diferença entre as tensões solicitantes calculadas nos dois casos é pequena. E quanto ao método simplificado para o cálculo de t_{sd} , ele forneceu, novamente, um resultado próximo daqueles obtidos com a eq.(2.8).

b) Verificação do contorno C'

Tensão resistente (eq.2.2):

Com base na Figura 2.9 e na Figura 2.32, tem-se:

$$\rho_x = \frac{9 \cdot 1,23}{15,375 \cdot (3 \cdot 14,75 + 30)} = 0,00970$$

$$\rho_y = \frac{5 \cdot 0,5}{14,125 \cdot (3 \cdot 14,75 + 30)} = 0,00238$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0,00970 \cdot 0,00238} = 0,00481$$

$$\tau_{RdI} = 0,13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{14,75}} \right) \cdot (100 \cdot 0,00481 \cdot 30)^{1/3} = 0,68 \text{ MPa}$$

Tensão solitante (eq.2.8):

$$M_{Sd}^* = F_{Sd} \cdot e^* = 108 \cdot 30,72 = 3318 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Sendo a primeira situação a mais crítica,

$$M_{sd} = (M_{sdI} - M_{sd}^*) = (6082 - 3318) = 2764 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

E assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{108}{76 \cdot 14,75} + \frac{0,6 \cdot 2764}{3125 \cdot 14,75} = 0,096 + 0,036 = 0,132 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,32 \text{ MPa}$$

$$\tau_{RdI} \leq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{é necessária armadura de punção}$$

Mais uma vez, serão utilizados conectores tipo pino, aço CA-50.

A área de aço necessária é obtida igualando-se a tensão solitante à eq.(2.3).

$$1,32 = 0,10 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{14,75}} \right) \cdot (100 \cdot 0,00481 \cdot 30)^{1/3} + 1,5 \cdot \frac{14,75}{s_r} \cdot \frac{A_{sw} \cdot 320,25 \cdot 1}{76 \cdot 14,75}$$

$$\frac{A_{sw}}{s_r} = 0,125 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Adotando-se 5 conectores ϕ 6,3 efetivos em cada linha e $s_r = 10 \text{ cm}$, tem-se:

$$A_{sw} = 5 \cdot 0,32 = 1,60 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s_r} = \frac{1,60}{10} = 0,160 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \geq 0,125 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Assim, utilizando-se quatro linhas de conectores e respeitando-se os espaçamentos mínimos, o arranjo será como o da Figura 2.36.

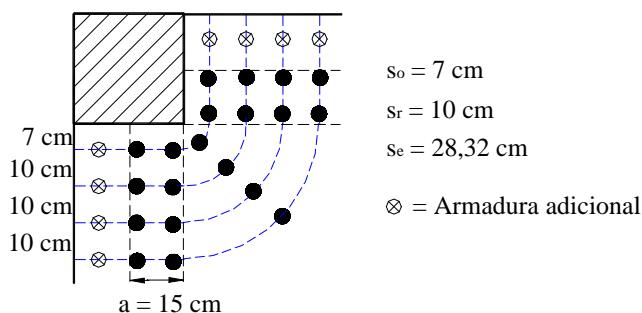


Figura 2.36 - Arranjo dos conectores tipo pino para o pilar P1

Tensão solicitante (eq.2.27 - sugestão):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,4$.

Assim,

$$\tau_{sd} = 1,4 \cdot \frac{108}{76 \cdot 14,75} = 0,135 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1,35 \text{ MPa}$$

Nota-se que o resultado da eq.(2.27) para τ_{sd} se aproxima bastante daquele obtido pela eq.(2.8), sendo, entretanto, muito mais facilmente calculado. Observa-se também que foram respeitados, mais uma vez, os limites $\rho \leq 0,02$ e $s_o \geq 0,3d = 4,43 \text{ cm}$, propostos neste trabalho.

c) Verificação do contorno C''

Tensão resistente (eq.2.2):

$$\tau_{Rd1} = 0,68 \text{ MPa} \quad (\text{como calculado no item 2.10.5.b})$$

Tensão solicitante (eq.2.8):

Como $s_e \leq 2d$, pela Tabela 2.4:

$$u^* = 15 + 15 + \pi \cdot 14,75 + \frac{\pi \cdot 37}{2} = 134 \text{ cm}$$

Pela eq.(2.26) - sugestão, tomando-se $\eta_{e2} = 1,0$, de acordo com a Tabela 2.9:

$$e^* = \frac{134}{76} \cdot 30,72 = 54,16 \text{ cm}$$

Logo:

$$M_{sd}^* = F_{sd} \cdot e^* = 108 \cdot 54,16 = 5849 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Como a primeira situação é a mais crítica,

$$M_{sd} = (M_{sd1} - M_{sd}^*) = (6082 - 5849) = 233 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Pela eq.(2.23) - *sugestão*, tomando-se $\eta_{wp} = 1,3$, de acordo com a Tabela 2.6:

$$W_{pl}' = 1,3 \cdot \frac{134}{76} \cdot 3125 = 7163 \text{ cm}^2$$

Assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{108}{134 \cdot 14,75} + \frac{0,6 \cdot 233}{7163 \cdot 14,75} = 0,055 + 0,001 = 0,056 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,56 \text{ MPa}$$

Calculando-se a excentricidade pela expressão da Tabela 2.8, têm-se:

$$e'^* = \frac{\left(30 \cdot 15 - 15^2 + 15 \cdot 30 + 4 \cdot 15 \cdot 14,75 + 8 \cdot 14,75^2 + \right. \\ \left. + \pi \cdot 14,75 \cdot 30 + 2 \cdot 15 \cdot 37 + 8 \cdot 14,75 \cdot 37 + \frac{\pi \cdot 37 \cdot 30}{2} + 2 \cdot 37^2 \right)}{2 \cdot \left(15 + 15 + \pi \cdot 14,75 + \frac{\pi \cdot 37}{2} \right)}$$

$$e'^* = 54,47 \text{ cm}$$

Logo:

$$M_{Sd}^* = F_{Sd} \cdot e'^* = 108 \cdot 54,47 = 5883 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{Sd} = (M_{Sd1} - M_{Sd}^*) = (6082 - 5883) = 199 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Calculando-se W_{pl}' pela expressão da Tabela 2.5, têm-se:

$$W_{pl}' = \frac{30^2}{4} + \frac{30 \cdot 30}{2} + 2 \cdot 30 \cdot 14,75 + 4 \cdot 14,75^2 + \frac{\pi \cdot 14,75 \cdot 30}{2} + \\ + 30 \cdot 37 + 4 \cdot 14,75 \cdot 37 + \frac{\pi \cdot 37 \cdot 30}{4} + 37^2$$

$$W_{pl}' = 8659 \text{ cm}^2$$

E assim,

$$\tau_{Sd} = \frac{108}{134 \cdot 14,75} + \frac{0,6 \cdot 199}{8659 \cdot 14,75} = 0,055 + 0,001 = 0,056 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,56 \text{ MPa}$$

Tensão solicitante (eq.2.27 - *sugestão*):

Pela Tabela 2.10, $\beta = 1,1$.

Assim,

$$\tau_{Rd} = 1,1 \cdot \frac{108}{134 \cdot 14,75} = 0,060 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,60 \text{ MPa}$$

De qualquer forma,

$$\tau_{Rd} \geq \tau_{Sd} \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Observa-se que valor do W_{pl} obtido com o uso da eq.(2.23), apesar de conservador, está novamente próximo daquele obtido a partir da expressão da Tabela 2.5, sendo muito mais facilmente calculado. O mesmo acontece com o valor de e^{*} obtido pela eq.(2.26), em relação àquele indicado na Tabela 2.8. Desta vez, inclusive, nem se pode considerar diferenças entre os valores das tensões solicitantes calculadas nos dois casos. E quanto ao cálculo de t_{sd} pela eq.(2.27), observa-se que, mais uma vez, o resultado obtido ficou próximo daqueles correspondentes à eq.(2.8).

d) Verificação do colapso progressivo

$$A_s = 6 \cdot 0,5 = 3,0 \text{ cm}^2$$

$$A_s \cdot f_{yd} = 3,0 \cdot \frac{50}{1,15} = 130 \text{ kN}$$

$$A_s \cdot f_{yd} \geq F_{sd} \quad \Rightarrow \quad 130 \geq 108 \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

2.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez conhecido o processo de cálculo sugerido pela NBR 6118 (2000) para a verificação da punção, é interessante se destacar algumas diferenças em relação à versão anterior da norma, NBR 6118 (1978).

A Tabela 2.12 apresenta uma comparação entre a capacidade resistente de ligações de diferentes f_{ck} , segundo a NBR 6118 (1978) e segundo a NBR 6118 (2000). Já na Tabela 2.13, a comparação é feita entre as tensões limites para a dispensa da armadura de cisalhamento, segundo as duas versões da norma.

Observa-se que a NBR 6118 (2000) é bem mais rigorosa quanto à necessidade de colocação de armaduras de cisalhamento, reduzindo a tensão limite a valores em torno de 65% em relação aos da NBR 6118 (1978). Em contrapartida, a capacidade resistente da ligação foi praticamente dobrada, possibilitando o uso de maior taxa de armadura. Uma explicação para isso é a tentativa de se afastar cada vez mais a possibilidade de ruína brusca, através do aumento da ductilidade da ligação pela introdução de armadura. Do ponto de vista estrutural, como já foi comentado no item 2.2, essa prática é realmente bastante desejável.

O que se percebe, de uma maneira geral, é que a verificação da punção em lajes lisas, de acordo com o Projeto de Revisão da NBR 6118 (2000), mostra-se bem mais detalhada e eficiente que a da versão anterior da norma. Além de contemplar os casos de punção excêntrica, o novo texto permite uma melhor observação do acréscimo de resistência

obtido com o uso de armaduras de punção, como os conectores tipo pino, e salienta a importância de se atenderem às disposições construtivas, para que as tensões cisalhantes possam ser absorvidas como previsto.

Mas mesmo com toda essa evolução em relação à versão anterior, acredita-se que algumas alterações e complementações podem ser incorporadas à versão definitiva da nova NBR 6118, melhorando tanto as verificações quanto o detalhamento. Algumas sugestões foram apresentadas neste capítulo.

Tabela 2.12 - Capacidade resistente de ligações segundo a NBR 6118 (1978) e a NBR 6118 (2000)

f_{ck} (MPa)	<i>NBR 6118 (1978)</i> *	<i>NBR 6118 (2000)</i>
	$\tau_{Rd2} = 0,45 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ (MPa)	$\tau_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd}$ (MPa)
20	2,01	3,55
25	2,25	4,34
30	2,46	5,09
35	2,66	5,81
40	2,85	6,48
45	3,02	7,12
50	3,18	7,71

* A notação original foi alterada para facilitar a comparação com a NBR 6118 (2000)

Tabela 2.13 - Tensões limites para dispensa de armadura de cisalhamento segundo a NBR 6118 (1978) e a NBR 6118 (2000)

f_{ck} (MPa)	<i>NBR 6118 (1978)</i> *	<i>NBR 6118 (2000)</i> **
	$\tau_{Rd2} = 0,225 \cdot \sqrt{f_{ck}}$ (MPa)	$\tau_{Rd1} = 0,13 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}}\right) \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3}$ (MPa)
20	1,01	0,72
25	1,13	0,78
30	1,23	0,83
35	1,33	0,87
40	1,42	0,91
45	1,51	0,95
50	1,59	0,98

* A notação original foi alterada para facilitar a comparação com a NBR 6118 (2000)
** Tomou-se $\rho = 1\%$ e $d = 18$ cm

2.12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, S.D.; SIMMONDS, S.H. (1992). Test of column-flat plate connections. *ACI Structural Journal*, v.89, n.5, p.495-502, Sept-Oct.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1999). *ACI 318/99 - Building code requirements for reinforced concrete*. Farmington Hills, ACI.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1978). *NBR 6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000). *Revisão da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto*.
- BRAESTRUP, M.W. (1995). Central punching of reinforced concrete slabs. *CEB Bulletin d'Information*, n.223, p.233-243, June.
- COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON (1993). *CEB-FIP model code 1990*. London, Thomas Telford.
- CORES, H.; ARROYO, J.C. (1995). Ultimate limit state design of R.C. and P.C. slabs. *CEB Bulletin d'Information*, n.223, p.209-231, June.
- DILGER, W.H; GHALI, A. (1981). Shear reinforcement of concrete slabs. *Journal of the Structural Division*, ASCE, v.107, n.ST12, p. 2403-2420, Dec.
- EL-SALAKAWY, E.F.; POLAK, M.A.; SOLIMAN, M.H. (1999). Reinforced concrete slab-column edge connections with openings. *ACI Structural Journal*, v.96, n.1, p.79-87, Jan-Feb.
- ELGABRY, A.A.; GHALI, A. (1987). Tests on concrete slab-column connections with stud-shear reinforcement subjected to shear-moment transfer. *ACI Structural Journal*, v.84, n.5, p.433-442, Sept-Oct.
- FUSCO, P.B. (1984). *Estruturas de concreto - solicitações tangenciais: problemas básicos de cisalhamento no concreto estrutural, problemas gerais de dimensionamento*. São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- GHALI, A. (1989). An efficient solution to punching of slabs. *Concrete International*, v.11, n.6, p.50-54, Nov.
- GHALI, A.; MEGALLY, S. (2000). Stud shear reinforcement for punching: north american and european practices. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PUNCHING SHEAR CAPACITY OF RC SLABS, Stockholm. *Proceedings*. p.201-209.

- GOMES, R.B. (1991). *Punching resistance of reinforced concrete flat slabs with shear reinforcement*. London. PhD Thesis, The Polytechnic of Central London.
- GOMES, R.B.; REGAN, P.E. (1999). Punching resistance of RC flat slabs with shear reinforcement. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, v.125, n.6, p.684-692, June.
- GOMES, R.B.; ANDRADE, M.A. (2000). Does a punching shear reinforcement need to embrace a flexural reinforcement of a reinforced concrete flat slab? In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PUNCHING SHEAR CAPACITY OF RC SLABS, Stockholm. *Proceedings*. p.109-116.
- GUARDA, M.C.C. (1995). *Cálculo de lajes-cogumelo pela teoria das charneiras plásticas*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- HAWKINS, N.M.; MITCHELL, D. (1979). Progressive collapse of flat plate structures. *Journal of the American Concrete Institute*, v.76, n.7, p.775-808, July.
- LANGOHR, P.H.; GHALI, A.; DILGER, W.H. (1976). Special shear reinforcement for concrete flat plates. *Journal of the American Concrete Institute*, v.73, n.3, p.141-146, Mar.
- LIM, F.K.; RAGAN, B.V. (1995). Studies on concrete slabs with stud shear reinforcement in vicinity of edge and corner columns. *ACI Structural Journal*, v.92, n.5, p.515-525, Sept-Oct.
- LONG, A.E.; BOND, D. (1967). Punching failure of reinforced concrete slabs. *Proceedings of The Institution of Civil Engineers*, v.37, p.109-135, May.
- MAST, P.E. (1970). Stresses in flat plates near columns. *Journal of the American Concrete Institute*, v.67, n.10, p.761-768, Oct.
- MOKHTAR, A.; GHALI, A.; DILGER, W. (1985). Stud shear reinforcement for flat concrete plates. *Journal of the American Concrete Institute*, v.82, n.5, p.676-683, Sept-Oct.
- REGAN, P.E. (1974). Design for punching shear. *The Structural Engineer*, v.52, n.6, p.197-207, June.
- REGAN, P.E.; BRAESTRUP, M.W. (1985). Punching shear in reinforced concrete - a state of art report. *CEB Bulletin d'Information*, n.168, Jan.
- REGAN, P.E. (1999). Basic design for moment, shear and torsion. *FIB Bulletin*, v.2, p.141-223, Apr.
- SEIBLE, F.; GHALI, A.; DILGER, W.H. (1980). Preassembled shear reinforcing units for flat plates. *Journal of the American Concrete Institute*, v.77, n.1, p.28-35, Jan-Feb.

SHERIF, A.G.; DILGER, W.H. (1996). Critical review of the CSA A23.3-94 punching shear strength provisions for interior columns. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v.23, n.5, p.998-1011, Oct.

2.13. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ACI COMMITTEE 421 (1992). Shear reinforcement of slabs. *ACI Structural Journal*, v.89, n.5, p.587-601. Sept-Oct.

ANG, A.H-S.; TANG, W.H. (1975). *Probability concepts in engineering planning and design*. New York, John Wiley & Sons. v.1: Basic principles.

FEDERATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE (1999). *Practical design of structural concrete*. London, SETO. (FIP Recommendations).

FUSCO, P.B. (1977). *Estruturas de concreto: fundamentos estatísticos da segurança das estruturas*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil.

GHALI, A.; MEGALLY, S. (1999). Design for punching shear strength with ACI 318-95. *ACI Structural Journal*, v.96, n.4, p.539-548. July-Aug.

GUARDA, M.C.C.; LIMA, J.S.; PINHEIRO, L.M. (2000). Novas diretrizes para a análise da punção no projeto de lajes lisas [CD-ROM]. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 4., São Paulo. *Anais*.

MELGES, J.L.P. (1995). *Punção em lajes: exemplos de cálculo e análise teórico-experimental*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MELO, G.S.S.A.; REGAN, P.E. (1998). Post-punching resistance of connections between flat slabs and interior columns. *Magazine of Concrete Research*, v.50, n.4, p.319-327, Dec.

REGAN, P.E. (1986). Design of reinforced concrete flat slabs. In: NARAYANAN, R. *Concrete framed structures: stability and strength*. London, Elsevier. Cap. 8, p.217-248.

WALRAVEN, J. (2000). Design of structures for punching: present status of revision of EC-2. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PUNCHING SHEAR CAPACITY OF RC SLABS, Stockholm. *Proceedings*. p.211-224.

ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS

Com o aumento do número de pavimentos dos edifícios e de sua esbeltez, a avaliação dos efeitos do vento e, principalmente, dos efeitos de segunda ordem por ele causados, torna-se ainda mais importante. Neste capítulo, são estudados a determinação desses efeitos, a importância da verificação da estabilidade global e os procedimentos de projeto usualmente adotados para este fim. As recomendações da NBR 6118 (2000), que permitem o uso do parâmetro de instabilidade α e do coeficiente g_z , são apresentadas e analisadas com base em um processo mais rigoroso, o P-D, sugerindo-se algumas modificações. Por fim, realiza-se um exemplo de cálculo para ilustrar os procedimentos discutidos.

3.1. OS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM E A ESTABILIDADE DE UMA ESTRUTURA

Os edifícios altos são construções cada vez mais comuns nos principais centros urbanos. Com o crescimento das cidades e a crescente valorização de seu espaço, tornou-se quase que uma obrigação urbanística o emprego de estruturas que compensassem a redução da área da projeção horizontal com o aumento do número de pavimentos.

Até algumas décadas atrás, não eram muitas as edificações mais altas e, em geral, a própria arquitetura conduzia a estruturas robustas. Mas o desenvolvimento de novas tecnologias e de novos materiais possibilitou uma modificação desses padrões arquitetônicos, tornando as estruturas mais esbeltas. Como consequência direta, a rigidez no plano horizontal diminuiu e os efeitos das ações horizontais tornaram-se ainda mais significativos para o estudo da estabilidade.

A estabilidade de uma estrutura pode ser entendida como a sua capacidade de manter o equilíbrio sob a incidência de ações. Num primeiro momento, até se poderia pensar que

este é um problema para resolução da estrutura em sua posição indeformada, ou seja, para uma análise de primeira ordem. Entretanto, esse tipo de avaliação não considera os esforços adicionais que aparecem devido à associação entre os deslocamentos horizontais dos nós da estrutura e o carregamento vertical pré-existente. Para tanto, é preciso considerar a estrutura em sua posição deformada, ou seja, deve-se realizar uma análise de segunda ordem.

Dessa forma, pode-se dizer que os efeitos de primeira ordem são aqueles obtidos a partir de uma análise de equilíbrio que considera a posição geométrica inicial, isto é, indeformada, e os de segunda ordem, aqueles resultantes da análise da estrutura deformada. Enquanto nos estudos de primeira ordem os esforços e os deslocamentos variam linearmente com as ações, nos de segunda ordem, essas relações tornam-se não-lineares.

Vale ressaltar que as novas equações de equilíbrio e de compatibilidade decorrentes do deslocamento lateral dos nós acarretam dois tipos de esforços de segunda ordem: os globais e os locais. Os esforços globais são aqueles introduzidos pelo deslocamento dos nós da estrutura, e os locais, aqueles decorrentes da modificação nos eixos das barras, principalmente dos pilares, que deixam de ser retilíneos devido aos deslocamentos diferenciados de seus pontos extremos.

Para a avaliação dos efeitos globais de segunda ordem, são necessários apenas os esforços nas extremidades de cada barra, ou seja, nos nós. Para os efeitos locais, entretanto, é preciso se conhecer a distribuição dos esforços em cada barra, o que só é possível quando forem conhecidos os momentos fletores e as forças normais finais. Portanto, a análise da estabilidade global de uma estrutura deve preceder a análise da estabilidade local dos pilares, devendo-se lembrar que a dispensa da consideração dos efeitos globais não implica a garantia da estabilidade local, e vice-versa.

Como este capítulo trata apenas da análise dos efeitos de segunda ordem globais, eles serão aqui denominados simplesmente de efeitos de segunda ordem.

3.2. DESLOCABILIDADE DOS NÓS DE UMA ESTRUTURA

As ações horizontais propiciam o surgimento de deslocamentos horizontais, que, associados ao carregamento vertical, produzem efeitos de segunda ordem. Esses efeitos podem ser mais ou menos significativos, com maiores ou menores deslocamentos, a depender da disposição dos elementos estruturais.

A deslocabilidade da estrutura é uma característica muito importante, não só em relação à ruína, como também em relação à utilização. Além da instabilidade que pode acarretar, os deslocamentos excessivos totais ou entre pavimentos podem gerar desconforto

aos usuários e, ainda, mau funcionamento dos elementos não estruturais ligados à estrutura, como esquadrias e paredes de vedação.

As estruturas mais rígidas, quase indeslocáveis, e com pequena interferência dos efeitos de segunda ordem em seus esforços totais, são chamadas de estruturas de nós fixos. As mais flexíveis, bastante deslocáveis, e cujos efeitos de segunda ordem contribuem significativamente para o aumento dos esforços finais, são chamadas de estruturas de nós móveis.

Numa edificação considerada de nós fixos, pode-se utilizar apenas os efeitos de primeira ordem para o dimensionamento de suas peças. Caso ela seja de nós móveis, os esforços adicionais introduzidos por seu afastamento da posição original devem ser obrigatoriamente considerados, sob pena de perda do equilíbrio da estrutura ou de colapso de algum de seus elementos. É indutivo, portanto, que a análise de uma estrutura de nós fixos é bem mais simplificada que a de uma de nós móveis.

Vale reforçar que pode haver perda de estabilidade de algum pilar isolado, mesmo em uma estrutura considerada de nós fixos, devido aos efeitos de segunda ordem locais. Por isso, não pode ser dispensada a verificação local da peça, tanto nas estruturas consideradas deslocáveis quanto nas consideradas indeslocáveis.

3.3. ANÁLISE TEÓRICA DO PROBLEMA DA ESTABILIDADE GLOBAL

São dois os principais pontos a serem discutidos na análise de estabilidade global de edifícios: como se classificar uma estrutura quanto à deslocabilidade dos nós e como devem ser determinados os efeitos de segunda ordem daquelas classificadas como de nós móveis.

3.3.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À DESLOCABILIDADE DOS NÓS

De uma maneira geral, uma edificação poderá ser considerada de nós fixos se os efeitos de segunda ordem forem inferiores a 10%⁷ dos de primeira ordem. Colocando-se de outra forma, os esforços totais não devem exceder os esforços de primeira ordem acrescidos em mais de 10%. Para os momentos fletores, por exemplo, tem-se então:

$$M_{2d} \leq 1,1 \cdot M_{1d}$$

⁷ O ACI 318 (1999) e alguns pesquisadores são mais rigorosos na classificação de uma estrutura de nós fixos, sugerindo que, para esta situação, os efeitos de segunda ordem devem ser inferiores a 5% dos de primeira ordem.

sendo:

M_{2d} - valor de cálculo do momento total (primeira ordem + segunda ordem);

M_{1d} - valor de cálculo do momento de primeira ordem.

Em termos práticos, o estudo da deslocabilidade dos nós de uma estrutura não é feito segundo esta verificação. Geralmente, apenas os efeitos de primeira ordem são conhecidos, pois a análise de segunda ordem consome mais tempo e só é desejável para os casos em que já se imagina que a estrutura seja de nós móveis.

Assim, é importante se utilizar um critério que analise a deslocabilidade dos nós somente com esses resultados de primeira ordem, até para que o projetista decida, quando uma estrutura for considerada de nós móveis, se é o caso de enrijecê-la para torná-la de nós fixos, ou então partir realmente para a análise de segunda ordem.

Em função disso, diferentes tipos de parâmetros já foram sugeridos, alguns sendo calculados em função de cargas críticas, outros a partir da rigidez de cada pavimento. Os valores obtidos são comparados a valores limites, determinando se a estrutura é de nós fixos ou móveis. Podem ser destacados os estudos de BECK & KÖNIG (1966), que introduziram o denominado parâmetro de instabilidade α , base de diversos procedimentos de normas internacionais e comentado no item 3.4, e os estudos de FRANCO & VASCONCELOS (1991), que introduziram o denominado coeficiente g_z , comentado no item 3.6.

3.3.2. DETERMINAÇÃO DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM

Quando uma estrutura é classificada como de nós móveis, surge a necessidade de se considerar também a parcela dos efeitos de segunda ordem no dimensionamento dos elementos estruturais. Esta análise, portanto, exige a adoção de métodos mais sofisticados que os da análise de primeira ordem.

Diferentes tipos de abordagem já foram propostos. Algumas são realizadas em função de cargas críticas, outras modificando as forças laterais incidentes, outras adicionando termos de segunda ordem às matrizes de rigidez das estruturas. Alguns comentários podem ser encontrados em MacGREGOR & HAGE (1977) e LAI & MacGREGOR (1983).

Observa-se, entretanto, que é o chamado processo **P-D** o mais utilizado para a análise da estrutura deformada e conseqüente obtenção dos acréscimos sofridos pelos efeitos de primeira ordem, fornecendo resultados com aproximações muito boas para os casos de edifícios convencionais, como demonstram MacGREGOR & HAGE (1977). Algumas

considerações sobre esse processo são apresentadas no item 3.5. Mas, apesar do **P-D** ser um processo relativamente simples, o tempo despendido é, muitas vezes, maior que o desejado.

Assim, passou-se a trabalhar a idéia de se utilizar um coeficiente majorador dos esforços de primeira ordem, de forma a se tentar prever, a partir dos resultados de primeira ordem, o acréscimo percentual que eles sofreriam com a adição dos efeitos de segunda ordem. Esse tipo de abordagem é bastante simplificado, evidentemente, mas pode apresentar resultados satisfatórios na análise de estruturas convencionais. Algumas indicações são feitas no item 3.6, e comentários adicionais podem ser encontrados em MacGREGOR & HAGE (1977) e em FRANCO & VASCONCELOS (1991).

3.4. O PARÂMETRO DE INSTABILIDADE α

Os primeiros estudos voltados para a avaliação dos efeitos de segunda ordem enfocavam apenas o comportamento de barras isoladas. BECK & KÖNIG (1966), com base na teoria de Eüler, desenvolveram os primeiros trabalhos de maior repercussão que envolveram estruturas como um todo, trabalhando em regime elástico-linear.

Sem contar com a facilidade dos computadores, consideraram o edifício equivalente a um pilar único, engastado na base e livre no topo, de seção constante, e sujeito a uma força vertical uniformemente distribuída ao longo do seu comprimento. Esse pilar tinha rigidez igual à soma das rigidezes dos pilares isolados que participavam do contraventamento da estrutura.

Resolvendo a equação diferencial que permitia a determinação da carga crítica, Beck e König observaram que a perda de estabilidade da estrutura se relacionava a um coeficiente denominado α , que dependia do carregamento e das características geométricas do pilar (comprimento e rigidez), da seguinte forma:

$$\alpha = H \cdot \sqrt{\frac{N}{EI}}$$

sendo:

H - altura total da estrutura;

N - somatório das ações verticais atuantes;

EI - módulo de rigidez da estrutura.

Concluíram ainda que, para manter os efeitos de segunda ordem inferiores a 10% dos de primeira, ou seja, para que uma estrutura pudesse ser considerada de nós fixos, o valor de **a** deveria ser menor ou igual a **0,6**.

Posteriormente, diversos aspectos desses estudos de Beck e König foram discutidos e melhorados, como apresentado por LIMA (1998). Dentre essas melhorias, destacam-se as questões do módulo de rigidez da estrutura e dos valores limite de **a**.

3.4.1. MÓDULO DE RIGIDEZ DA ESTRUTURA

VASCONCELOS (1985) chama a atenção para o fato de que o módulo de rigidez **EI** calculado como a soma das rigidezes individuais dos pilares só pode ser representativo no caso de estruturas pré-moldadas. Para estruturas moldadas no local, há um acréscimo de rigidez considerável devido à solidarização entre vigas e pilares, que, se não for considerado, acarreta valores de **a** bastante conservadores.

Sobre esse problema, FRANCO (1985a) comenta que a rigidez do pilar único que representa a estrutura deveria ser **equivalente** à dos pilares individuais, sendo que a equivalência residiria na igualdade de flechas horizontais no topo, decorrentes da incidência das ações horizontais.

Por exemplo, para um edifício de altura **H**, módulo de rigidez **EI**, submetido a uma força **q** horizontal, e que apresenta um deslocamento **a** no topo, o módulo de rigidez equivalente (**EI**)_{eq} seria o módulo de rigidez de um pilar como o de Beck, de comprimento **H**, submetido à força **q**, e com deslocamento no topo também igual a **a** (Figura 3.1).

Por simplificação, é comum a consideração de **q** como uma força horizontal unitária e concentrada no topo ou como uma força unitária e uniformemente distribuída ao longo da altura da edificação. Para este último caso, que inclusive se aproxima mais do tipo de ação do vento, a expressão do módulo de rigidez equivalente fica:

$$(EI)_{eq} = \frac{q \cdot H^4}{8 \cdot a} \quad (3.1)$$

sendo:

q - ação horizontal unitária uniformemente distribuída;

a - deslocamento horizontal no topo da estrutura, provocado pela ação **q**.

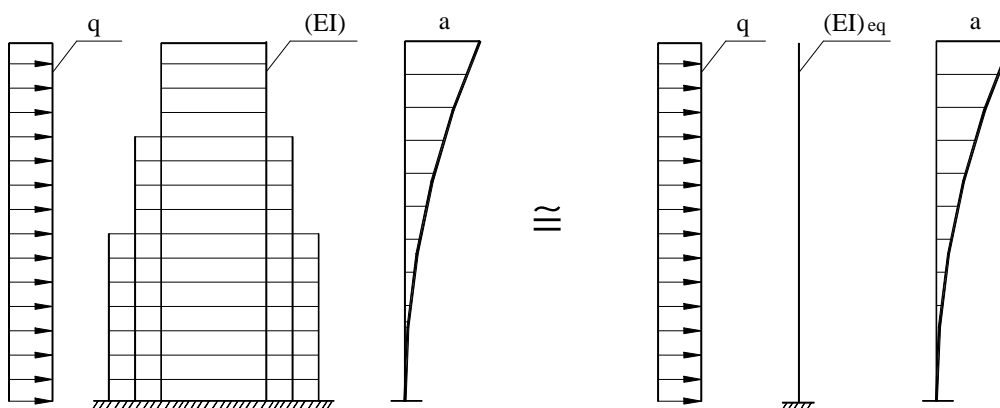


Figura 3.1 - Módulo de rigidez equivalente

Sendo assim, a expressão do parâmetro **a** pode ser escrita como:

$$\alpha = H \cdot \sqrt{\frac{N}{(EI)_{eq}}}$$

3.4.2. VALORES LIMITES DE **a**

FRANCO (1985b) demonstrou que o valor limite para **a** não é único e depende do sistema de contraventamento da estrutura, responsável pela caracterização de sua linha elástica.

Pela Figura 3.2, observa-se que os deslocamentos ao longo da altura são bastante diferentes para cada caso. No caso de pilares-parede, a tendência de crescimento dos deslocamentos aumenta à medida que se aproxima do topo; no caso de pórticos, à medida que se aproxima da base; e no caso de associações entre eles, há uma compensação de tal forma que surge um ponto de inflexão na deformada. Assim, pode-se dizer que, enquanto as estruturas contraventadas por pilares-parede demonstram maior capacidade de absorver esforços nas proximidades da fundação, as estruturas contraventadas por pórticos aumentam sua participação quanto mais se aproxima do topo.

As diferenças entre as deformadas realmente sugerem diferentes respostas aos efeitos de segunda ordem e, conseqüentemente, diferentes valores de α_{lim} . FRANCO (1985b) obteve esses limites estudando o chamado parâmetro de forma da linha elástica (**y**), um coeficiente que considera os deslocamentos laterais de cada pavimento (**e**, indiretamente, a deformada), dado por:

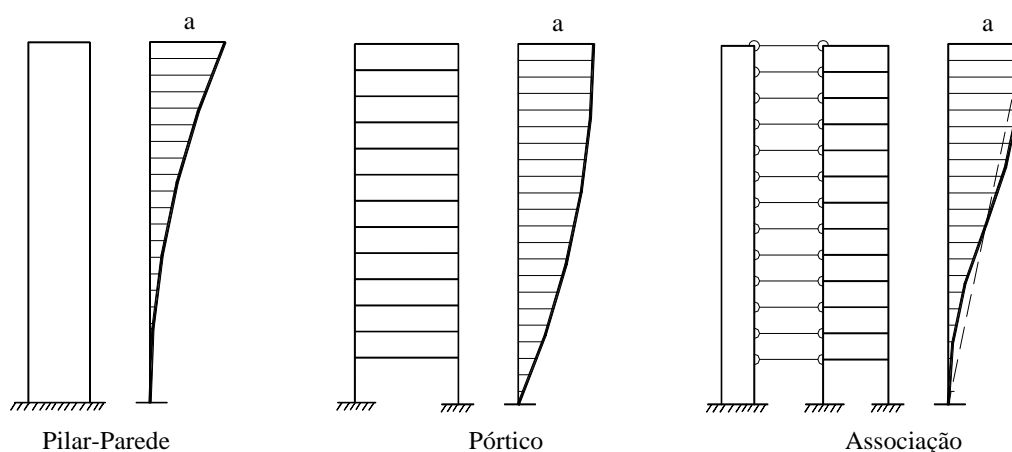


Figura 3.2 - Representação da deformada de estruturas com diferentes sistemas de contraventamento

$$\psi = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{a \cdot N}$$

sendo:

- P_i** - força vertical atuante no pavimento **i**;
- y_i** - deslocamento horizontal do pavimento **i**;
- a** - deslocamento no topo da estrutura;
- N** - somatório das ações verticais atuantes;
- n** - número de pavimentos.

Nesta expressão, ele escreveu o somatório em forma de integral e substituiu o **y_i** por equações da linha elástica para cada um dos sistemas de contraventamento, determinando, então, valores aproximados para os parâmetros de forma. Esses valores, substituídos na expressão de **a_{lim}** deduzida por ele:

$$\alpha_{lim} = \sqrt{\frac{2}{11 \cdot \psi}}$$

forneceram os resultados apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Valores de γ e a_{im} para diferentes sistemas de contraventamento

<i>Tipo de Contraventamento</i>	γ	a_{im}
<i>Pilares-parede</i>	0,40	0,7
<i>Associações</i>	0,50	0,6
<i>Pórticos</i>	0,67	0,5

3.5. O PROCESSO P-D

Com a incidência das ações laterais, os nós da estrutura sofrem deslocamentos denominados de primeira ordem. As forças verticais aplicadas nesses nós, agora deslocados, provocam o aparecimento de novos esforços, que causam novos deslocamentos, e assim sucessivamente. Os esforços e deslocamentos adicionais podem ser obtidos pelo chamado processo **P-D**, que realiza uma análise através de sucessivas iterações, nas quais buscam-se novas condições de equilíbrio para a estrutura (Figura 3.3). A idéia geral do processo clássico é descrita a seguir.

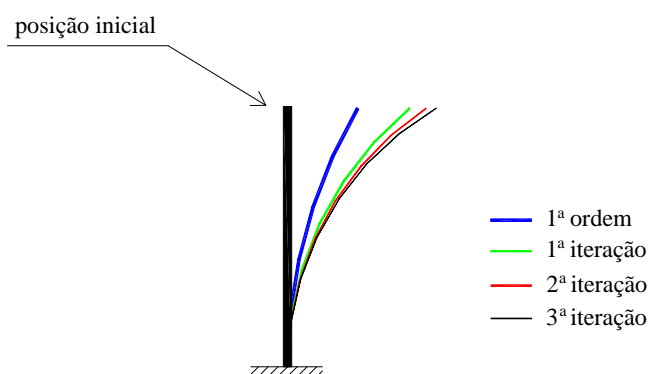
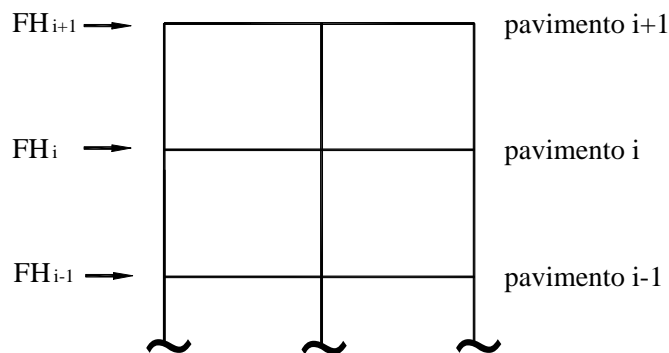


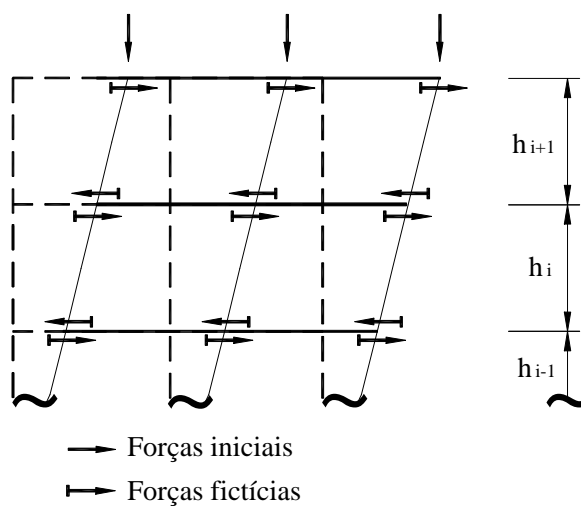
Figura 3.3 - Posições deslocadas em iterações sucessivas

Inicialmente, faz-se a análise da estrutura indeformada (primeira ordem), submetida às ações horizontais (Figura 3.4a). Com os deslocamentos resultantes desta primeira análise, determinam-se os deslocamentos relativos entre pavimentos.

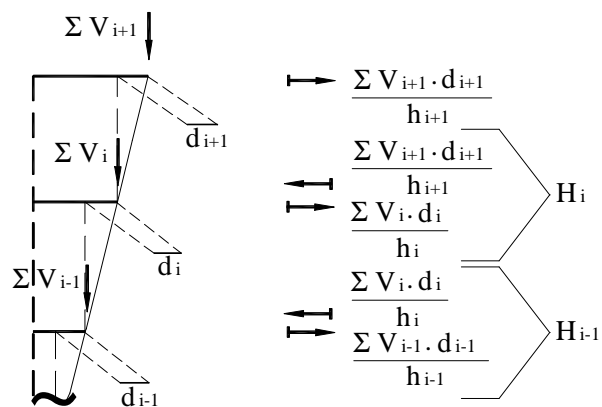
As forças verticais em cada pavimento geram momentos proporcionais aos deslocamentos relativos. Esses momentos podem ser substituídos por binários equivalentes constituídos de forças horizontais (Figura 3.4b), cujas resultantes, em cada pavimento, são as chamadas *forças horizontais fictícias* (Figura 3.4c), dadas por:



(a) Estrutura indeformada



(b) Estrutura deformada



(c) Forças horizontais fictícias

Figura 3.4 - Processo P-D

$$H_i = \frac{\sum V_i \cdot d_i}{h_i} - \frac{\sum V_{i+1} \cdot d_{i+1}}{h_{i+1}}$$

sendo:

V_i e V_{i+1} - forças verticais acumuladas até os pavimentos i e $i+1$, respectivamente;

h_i e h_{i+1} - pés-direitos dos pavimentos i e $i+1$, respectivamente;

d_i e d_{i+1} - deslocamentos horizontais relativos do pavimento i em relação ao pavimento $i-1$ e do pavimento $i+1$ em relação ao pavimento i , respectivamente.

Essas forças horizontais fictícias devem ser somadas às forças horizontais iniciais, resultando nas forças horizontais modificadas, com as quais é feita a análise seguinte. Novos deslocamentos são obtidos e novas forças horizontais fictícias e modificadas são calculadas, dando-se continuidade ao processo. Observe-se que as forças horizontais modificadas ao final de cada iteração devem ser determinadas pelo somatório das forças horizontais fictícias com as forças horizontais iniciais, e não com as forças horizontais modificadas da iteração anterior.

Repetem-se as sucessivas análises até a convergência dos deslocamentos, ponto correspondente à posição de equilíbrio. Os esforços referentes a esta posição são os esforços finais procurados, que incluem os de segunda ordem. Segundo MacGREGOR (1988), o processo pode ser interrompido quando os deslocamentos de uma dada iteração não excederem em mais de 5% os da iteração anterior.

Vale ressaltar que, para computar os deslocamentos laterais com mais precisão, a rigidez EI das barras deveria ser modificada após cada iteração, em função dos novos valores de momentos e considerando os diagramas momento-curvatura. Entretanto, como essa correção tende a ser bastante trabalhosa e exige o conhecimento prévio das armaduras, podem ser adotados processos simplificados, como aquele indicado no item 3.7.1.

Mas algumas outras melhorias podem ser introduzidas em relação ao procedimento apresentado, como aquelas estudadas por LAI & MacGREGOR (1983) e MacGREGOR (1993).

3.6. O COEFICIENTE g_z

Aplicando-se o processo **P-D** em estruturas regulares submetidas a forças horizontais e verticais uniformemente distribuídas, respectivamente, ao longo da altura e ao longo do eixo vertical, pode-se observar que as razões entre os acréscimos de deslocamentos referentes a uma certa iteração e os acréscimos referentes à iteração anterior, têm

praticamente o mesmo valor, quaisquer que sejam essas iterações. Assumindo-se a hipótese de que essa razão seja realmente igual para todas as iterações, pode-se aproximar o desenvolvimento progressivo dos deslocamentos horizontais por uma progressão geométrica decrescente. O mesmo ocorre para os momentos fletores, como comentam VASCONCELOS & FRANÇA (1997).

Com base nessas observações, FRANCO & VASCONCELOS (1991) introduziram o chamado coeficiente g_z .

Seja M_1 o momento externo de primeira ordem na base da estrutura indeformada, ΔM_i o acréscimo no valor do momento na i -ésima iteração e M_2 o momento final após n iterações necessárias para o equilíbrio. Pode-se escrever:

$$M_2 = M_1 + \Delta M_1 + \Delta M_2 + \dots + \Delta M_n$$

A razão desta progressão geométrica é dada por:

$$r = \frac{\Delta M_1}{M_1} = \frac{\Delta M_2}{\Delta M_1} = \frac{\Delta M_n}{\Delta M_{n-1}}$$

e pode-se escrever:

$$M_2 = (1 + r + r^2 + r^3 + \dots + r^n) \cdot M_1$$

Quando n tende ao infinito,

$$M_2 = \frac{1}{1-r} \cdot M_1$$

$$M_2 = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_1}{M_1}} \cdot M_1$$

Denominando-se g_z o coeficiente que majora o momento de primeira ordem, pode-se escrever, considerando-se valores de cálculo:

$$g_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_d}{M_{1d}}} \tag{3.2}$$

Este coeficiente pode ser entendido, portanto, como a soma da progressão geométrica cuja razão é a relação entre o acréscimo de momentos após a análise de primeira ordem DM_d e o momento de primeira ordem M_{1d} .

Realizando-se o cálculo dos deslocamentos em regime elástico e considerando o comportamento não-linear dos materiais da forma simplificada apresentada em 3.7.1, o g_z pode ser calculado com as ações verticais e horizontais de serviço, nos casos usuais de edifícios. Isso ocorre uma vez que o coeficiente de ponderação das ações verticais pode ser tomado igual a **1,0**, e os coeficientes das ações horizontais e dos deslocamentos correspondentes serão cancelados no cálculo da razão da progressão. Mas em casos especiais, como garagens e bibliotecas, as ações verticais devem ser ponderadas com um coeficiente maior, considerado igual a **1,1**. A demonstração de como pode ser introduzida a segurança no cálculo do coeficiente g_z em diversas situações, inclusive em análises não-lineares, está indicada em FRANCO & VASCONCELOS (1991) e VASCONCELOS & FRANÇA (1997).

Quanto à sua aplicação, o g_z pode ser usado para a classificação das estruturas quanto à deslocabilidade dos nós, de maneira análoga ao parâmetro α . Seu valor é calculado e comparado com o valor limite, acima do qual a estrutura deve ser considerada de nós móveis. Lembrando-se do critério que dispensa a adição dos efeitos de segunda ordem se eles não ultrapassarem 10% dos de primeira ordem, a estrutura pode ser considerada de nós fixos quando $g_z \leq 1,1$.

A principal vantagem do g_z , entretanto, é que ele também pode ser utilizado como coeficiente majorador dos efeitos de primeira ordem. De acordo com as indicações de LIMA (1998) e com os comentários de FRANCO (1997), o coeficiente de majoração dos efeitos de primeira ordem de uma estrutura convencional, simétrica e com ações verticais e horizontais uniformemente distribuídas é exatamente o g_z . Mesmo nos casos em que não há uma simetria perfeita da estrutura e considerando-se a ação do vento como não uniforme, a aproximação dos resultados é muito boa.

Mas vale ressaltar que esta aproximação cai gradativamente com o aumento do valor do g_z . Segundo FRANCO & VASCONCELOS (1991), a majoração é bem aplicada até $g_z = 1,2$; segundo CARMO (1995), até $g_z = 1,3$.

Para estruturas cujo valor de g_z seja superior ao limite adotado, deve-se utilizar um método mais rigoroso, como o **P-D**, por exemplo.

3.7. A INFLUÊNCIA DAS NÃO-LINEARIDADES

Para que os efeitos de primeira e de segunda ordens de uma estrutura sejam determinados e sua estabilidade seja analisada, é necessária a criação de modelos que apresentem comportamentos próximos da realidade. Um importante fator a ser considerado é a influência das Não-Linearidades Física e Geométrica.

3.7.1. NÃO-LINEARIDADE FÍSICA (NLF)

A Não-Linearidade Física é o fenômeno correspondente à perda de proporcionalidade entre tensão aplicada e deformação sofrida pelo material. No caso do concreto, isso começa a acontecer antes mesmo de se atingir o limite de proporcionalidade, principalmente devido a fatores como a formação e a abertura de fissuras nas seções transversais das peças.

Para uma análise ideal de segunda ordem, o módulo de rigidez **EI** deveria refletir a distribuição das fissuras ao longo dos elementos, a fluência, a retração e o próprio comportamento inelástico do concreto e do aço das armaduras. Mas essa análise, para estruturas de edifícios, acaba tomando muito tempo e não compensando, frente aos bons resultados que os métodos simplificados podem fornecer.

A idéia atualmente mais aceita é a de se considerar uma porcentagem de perda da rigidez que simule os diversos aspectos anteriormente citados. KORDINA⁸ e HAGE⁹ *apud* MacGREGOR & HAGE (1977) estudaram a variação de rigidez de diversos tipos de vigas (seções retangulares e T) e pilares de pórticos, submetidos a momentos devidos a carregamentos verticais, horizontais, e ambos combinados. Com base nos resultados desses estudos, MacGREGOR & HAGE (1977) concluíram que, à medida que o carregamento é aumentado, os valores convergem para 0,4 **EI** para vigas e 0,8 **EI** para pilares, sendo **E** o módulo de deformação longitudinal secante do concreto e **I** o momento de inércia da seção bruta do elemento. Para lajes, segundo FRANCO (1997), pode ser utilizado 0,3 **EI**, valor próximo do proposto por MacGREGOR (1993).

Essa consideração da NLF através da redução do módulo de rigidez vem apresentando bons resultados, sendo inclusive adotada por diversos pesquisadores e normas internacionais.

⁸ KORDINA, K. (1972). Cracking and crack control. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PLANNING AND DESIGN OF TALL BUILDINGS, Bethlehem, USA. *Proceedings*. v.3, p.721-722. *apud* MacGREGOR & HAGE (1977).

⁹ HAGE, S.E. (1974). *The second-order analysis of reinforced concrete frames*. Edmonton, Canada. Thesis (Master of Science) - University of Alberta *apud* MacGREGOR & HAGE (1977).

3.7.2. NÃO-LINEARIDADE GEOMÉTRICA (NLG)

A Não-Linearidade Geométrica está relacionada com a saída da estrutura de sua posição indeformada, por exemplo, quando sobre ela incidem ações horizontais. A interação dos deslocamentos horizontais resultantes com as forças verticais torna esse afastamento crescente, até que a nova posição de equilíbrio, se ela existir, seja alcançada.

Os modelos usualmente adotados mantêm os nós em suas posições iniciais e modificam ou as forças incidentes (processo **P-D**) ou a matriz de rigidez da estrutura, de acordo com os deslocamentos horizontais. Essas análises são mais refinadas e demandam ferramentas de análise mais sofisticadas, tornando-se, algumas vezes, inconvenientes.

Justamente por isso, em geral, considera-se obrigatória a consideração da NLG apenas para os casos de estruturas de nós móveis, nas quais não seja possível a utilização de um coeficiente majorador dos efeitos de primeira ordem.

3.8. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DE ACORDO COM A NBR 6118 (2000)

A seguir, são indicados os procedimentos prescritos na NBR 6118 (2000) para as diversas etapas da verificação da estabilidade global.

3.8.1. CONSIDERAÇÃO DAS AÇÕES HORIZONTAIS

De acordo com a NBR 6118 (2000), são duas as ações horizontais a serem consideradas no projeto de edifícios: as forças devidas ao vento e as forças fictícias devidas ao desaprumo (imperfeições geométricas). Entretanto, esses carregamentos não precisam ser superpostos, sendo analisada apenas a situação mais desfavorável, ou seja, aquela que provoca o maior momento total na base da estrutura.

a) Vento

Para a maioria dos casos de edifícios usuais, o vento pode ser considerado como uma ação estática, distribuída segundo uma parábola do segundo grau ao longo da edificação¹⁰.

A NBR 6118 (2000) remete o cálculo das forças devidas aos ventos (forças de arrasto) para a NBR 6123 (1988), não sendo realizada nenhuma consideração adicional.

¹⁰ Na verdade, é comum se transformar essa ação distribuída em forças concentradas e aplicadas na altura dos pavimentos, tomando-se os quinhões relativos a cada um deles.

b) Desaprumo

O desaprumo consiste em uma inclinação accidental, um deslocamento angular em relação à posição inicial, variável de edificação para edificação e decorrente de imperfeições construtivas (Figura 3.5). Seus efeitos podem ser significativos para a análise da estabilidade global.

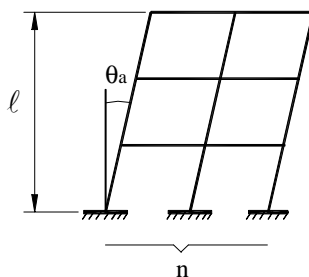


Figura 3.5 - Desaprumo

A NBR 6118 (2000) recomenda que o desaprumo seja estimado através da seguinte expressão:

$$\theta_a = \theta_1 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$$

sendo:

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{\ell}}, \text{ tal que: } \begin{cases} \text{para estruturas de nós fixos:} & \frac{1}{400} \leq \theta_1 \leq \frac{1}{200} \\ \text{para estruturas de nós móveis:} & \frac{1}{300} \leq \theta_1 \leq \frac{1}{200} \end{cases}$$

ℓ - altura total da estrutura, em metros;

n - número de pilares contínuos do pórtico.

Este deslocamento angular deve ser transformado em um conjunto de forças horizontais fictícias auto-equilibradas equivalentes (Figura 3.6), isto é, que provoque o mesmo momento em relação à base da estrutura. Essas forças DH_i é que deverão ser utilizadas na verificação da estabilidade global. Equacionando:

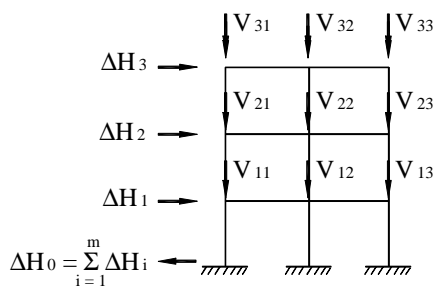


Figura 3.6 - Transformação do desaprumo em forças horizontais fictícias

$$\Delta H_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} \cdot \operatorname{tg} \theta_a$$

sendo:

n o número de pilares contínuos do pórtico;

θ_a o ângulo de desaprumo do pórtico, em radianos (sendo $\theta_a \gg \operatorname{tg} \theta_a$);

V_{ij} a ação vertical aplicada pelo pavimento i no pilar j .

3.8.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO À DESLOCABILIDADE DOS NÓS

A NBR 6118 (2000) enfatiza que todas as estruturas são deslocáveis. No entanto, por conveniência de análise, permite a seguinte classificação:

- pode-se considerar uma estrutura como de nós fixos se seus efeitos de segunda ordem forem inferiores a 10% dos de primeira ordem. Nesses casos, pode-se dispensar a adição da parcela dos esforços de segunda ordem no dimensionamento dos elementos;
- deve-se considerar uma estrutura como de nós móveis se seus efeitos de segunda ordem forem superiores a 10% dos de primeira ordem. Nesses casos, a parcela dos esforços de segunda ordem deve ser somada à de primeira ordem no dimensionamento dos elementos.

São indicados dois processos simplificados para esta classificação, sem a necessidade de um cálculo mais rigoroso: o parâmetro de instabilidade α e o coeficiente g_z .

3.8.3. DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO α

A NBR 6118 (2000) permite o uso do parâmetro de instabilidade α apenas para estruturas que possam ser consideradas simétricas. A condição para que elas possam ser classificadas como de nós fixos é a seguinte:

$$\alpha \leq \alpha_1$$

sendo:

$$\alpha = H \cdot \sqrt{\frac{N_k}{(EI)_{eq}}} \quad (3.3)$$

H - altura total do edifício;

N_k - somatório das ações verticais atuantes, com valores característicos;

$(EI)_{eq}$ - módulo de rigidez equivalente da estrutura, obtido através da igualdade de flechas no topo entre a estrutura real e um pilar equivalente, engastado na base e livre no topo, de seção constante, e submetido ao mesmo carregamento horizontal característico;

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1 \cdot n \quad \text{se } n \leq 3;$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0,5 & \text{(pórticos)} \\ 0,6 & \text{(associações)} \\ 0,7 & \text{(pilares - parede)} \end{cases} \quad \text{se } n \geq 4;$$

n - número de pavimentos do edifício.

3.8.4. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE g_z

Pode-se determinar o coeficiente g_z a partir de uma análise linear de primeira ordem que considere a NLF através das expressões do item 3.8.5. Esse coeficiente pode funcionar de modo análogo ao parâmetro α , na classificação da estrutura quanto à deslocabilidade dos nós, e também como majorador dos efeitos de primeira ordem.

De acordo com a NBR 6118 (2000), a condição para que uma estrutura seja considerada como de nós fixos é a seguinte:

$$\gamma_z \leq 1,1$$

sendo:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{\text{tot,d}}}{M_{1,\text{tot,d}}} \cdot \frac{a_h + a_v}{a_h}} \quad (3.4)$$

$\Delta M_{\text{tot,d}}$ - acréscimo de momentos após a análise de primeira ordem, dado pela soma dos produtos das forças verticais atuantes em cada pavimento (com valores de cálculo) pelos respectivos deslocamentos horizontais:

$$\Delta M_{\text{tot,d}} = \sum (P_{id} \cdot y_{id}) \quad (3.5)$$

$M_{1,\text{tot,d}}$ - momento de primeira ordem, dado pela soma dos produtos de todas as forças horizontais da estrutura (com valores de cálculo) pelas distâncias em relação à base:

$$M_{1,\text{tot,d}} = \sum (FH_{id} \cdot x_i) \quad (3.6)$$

P_{id} - força vertical atuante no pavimento i , com valor de cálculo;

y_{id} - deslocamento horizontal do pavimento i , com valor de cálculo;

FH_{id} - força horizontal aplicada no pavimento i , com valor de cálculo;

x_i - distância vertical do pavimento i à base;

a_h - deslocamento horizontal no nível do centro de gravidade das forças verticais da estrutura, decorrente da incidência apenas de ações horizontais;

a_v - deslocamento horizontal no nível do centro de gravidade das forças verticais da estrutura, decorrente da incidência apenas de ações verticais.

3.8.5. CONSIDERAÇÃO SIMPLIFICADA DA NÃO-LINEARIDADE FÍSICA

Para a análise da estabilidade global, permite-se considerar a não-linearidade física de maneira aproximada, através das seguintes reduções do módulo de rigidez:

- lajes: $(EI)_{\text{sec}} = 0,3 E_c I_c$;
- vigas: $(EI)_{\text{sec}} = 0,4 E_c I_c$, para $A'_s \neq A_s$;
 $(EI)_{\text{sec}} = 0,5 E_c I_c$, para $A'_s = A_s$;
- pilares: $(EI)_{\text{sec}} = 0,8 E_c I_c$;

sendo:

I_c - momento de inércia da seção bruta de concreto, incluindo mesas colaborantes;

E_c - módulo de deformação longitudinal inicial do concreto, dado por:

$$E_c = 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad (3.7)$$

f_{ck} - resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

A_s - área da armadura de tração;

A'_s - área da armadura de compressão.

Quando a estrutura de contraventamento for composta apenas por vigas e pilares, permite-se considerar, para esses dois elementos, $(EI)_{\text{sec}} = 0,7 E_c I_c$.

3.8.6. ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE NÓS MÓVEIS

Como já foi mencionado, os efeitos de segunda ordem devem ser obrigatoriamente considerados para o dimensionamento dos elementos em estruturas de nós móveis. Sua análise pode ser feita de três maneiras:

- utilizando o coeficiente g_z como majorador, que é uma solução aproximada e válida apenas para estruturas regulares em que $\gamma_z \leq 1,3$. A avaliação dos esforços finais (primeira ordem + segunda ordem) é feita com a multiplicação dos momentos de primeira ordem por $0,95 \cdot \gamma_z$;
- utilizando o processo **P-D**, para considerar a NLG, e os valores dos módulos de rigidez reduzidos do item 3.8.5, para considerar a NLF;
- realizando uma análise não-linear de segunda ordem, considerando a NLG através de modificações na matriz de rigidez da estrutura, e a NLF através dos diagramas momento-curvatura de cada seção.

3.9. COMPLEMENTAÇÕES E COMENTÁRIOS SOBRE A NBR 6118 (2000) - ESTABILIDADE

Para melhorar a verificação da estabilidade global e simplificá-la, além de dar mais destaque a certos aspectos importantes, algumas diretrizes adicionais devem ser atendidas. São recomendadas sua análise e incorporação na versão definitiva da nova NBR 6118.

3.9.1. OBTENÇÃO DO MÓDULO DE RIGIDEZ EQUIVALENTE $(EI)_{eq}$

A NBR 6118 (2000) determina o módulo de rigidez equivalente de uma estrutura a partir do “carregamento horizontal característico”. Incide-se este carregamento sobre a estrutura, determina-se o deslocamento no topo e calcula-se, então, o módulo de rigidez de um pilar equivalente, que apresente este mesmo deslocamento sob a ação das mesmas forças.

O problema é que, considerando como “carregamento horizontal característico” as forças devidas ao vento ou ao desaprumo, aplicadas no nível de cada pavimento, seu arranjo varia de caso para caso e depende do número de pavimentos e das proporções dos pé-direitos. Sendo assim, não é possível se encontrar uma expressão geral para relacionar o módulo de rigidez equivalente e o deslocamento no topo. A obtenção de $(EI)_{eq}$ estaria relacionada, portanto, ou à determinação de uma equação da linha elástica para cada edifício estudado, ou à resolução da estrutura por tentativas.

Dadas as simplificações embutidas no próprio conceito de rigidez equivalente, considera-se esses processos trabalhosos demais e pouco apropriados, em termos práticos. O “carregamento horizontal característico” poderia ser substituído por um arranjo único, cuja expressão para o cálculo de a fosse conhecida e facilmente empregada. A utilização de uma força uniformemente distribuída ao longo da altura da edificação, como já foi comentado no item 3.4.1, parece apropriada e permite o cálculo do módulo de rigidez equivalente através de uma expressão bastante simples (eq.3.1).

Recomenda-se, então, a introdução de uma referência quanto à consideração desse tipo de carregamento na versão definitiva da NBR 6118, com o objetivo de fornecer ao projetista uma forma simples para a obtenção de $(EI)_{eq}$. Propõe-se um comentário no anexo A.15, relativo ao item 15.4.1.

- Sugestão de redação:

“No caso de edifícios, o carregamento horizontal característico pode ser considerado uniformemente distribuído ao longo da altura, sendo o valor da rigidez equivalente obtido através da expressão $(EI)_{eq} = \frac{q \cdot H^4}{8 \cdot a}$ ”.

3.9.2. FORMULAÇÃO DO COEFICIENTE g_z

A introdução dos deslocamentos a_v e a_h no denominador da eq.(3.4), em relação à eq.(3.2), visa à consideração da influência da excentricidade existente entre o ponto de aplicação das forças verticais e o centro de gravidade do pavimento, na análise da estabilidade global. É que essa excentricidade propicia um deslocamento horizontal da

estrutura em relação à sua posição inicial, mesmo ela estando submetida apenas a ações verticais.

Nos edifícios assimétricos, há um certo afastamento em relação às hipóteses iniciais adotadas para o g_z , comentadas no item 3.6, pois os efeitos da excentricidade passam a ser mais significativos para a determinação dos esforços e deslocamentos. Nestes casos, acredita-se que, mesmo com a modificação introduzida na eq.(3.4) para considerar esses efeitos, a utilização deste método simplificado pode não conduzir a bons resultados, principalmente em estruturas com grandes excentricidades. Seria mais indicada, então, uma análise mais rigorosa, que permitisse a consideração da NLG.

Nos edifícios convencionais onde há uma certa simetria de forma, por outro lado, também pode ser considerada a simetria na aplicação do carregamento. O ponto de aplicação da resultante das forças verticais tende a coincidir com o centro de gravidade do pavimento, e a_v será muito pequeno em relação a a_h . CARMO (1995) também observa, inclusive com um exemplo, que a influência da excentricidade em estruturas regulares é pequena e pode ser desprezada. Para esses casos, então, a expressão do g_z proposta pela NBR 6118 (2000) recai na própria eq.(3.2), que pode ser reescrita como:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{\text{tot,d}}}{M_{1,\text{tot,d}}}} \quad (3.8)$$

Assim sendo, considera-se mais prudente a substituição da eq.(3.4) pela eq.(3.8) na versão definitiva da NBR 6118, enfatizando-se sua limitação ao caso de estruturas sem grandes assimetrias. Para estes casos, propõe-se a introdução de um comentário no anexo A.15, relativo ao item 15.4.2, que indique a utilização de um método mais rigoroso.

- Sugestão de redação:

“Nos casos de estruturas com grandes assimetrias, a análise de segunda ordem deve considerar os efeitos da não-linearidade geométrica. Podem ser utilizados os processos descritos em 15.6.1” (item 3.8.6)

3.9.3. UTILIZAÇÃO DO PARÂMETRO a E DO COEFICIENTE g_z NA CLASSIFICAÇÃO QUANTO À DESLOCABILIDADE DOS NÓS

Com base nos estudos de LIMA (1998), LIMA & GUARDA (1999a) analisaram a eficiência do parâmetro a e do coeficiente g_z na classificação das estruturas quanto à deslocabilidade dos nós. Essa eficiência foi determinada através de uma comparação com as indicações fornecidas pelo processo **P-D**.

Foram estudados edifícios reais, com estruturas de concreto armado convencionais e bem comportadas, com diferentes números de pavimentos (variou-se entre 14 e 25), e diferentes sistemas de contraventamento (estruturas contraventadas por pórticos, pilares-parede e associações entre os dois). Todos os edifícios foram modelados como pórticos tridimensionais no programa SAP90, utilizando as particularidades das formas de todos os níveis (maior rigidez dos pavimentos inferiores) e considerando as lajes como diafragmas rígidos. As ações horizontais atuantes foram as do vento, calculadas de acordo com as recomendações da NBR 6123 (1988).

Para cada edifício, foram calculados os valores do parâmetro a , do parâmetro de forma y , do a_{lim} e do coeficiente g_z , e então feita a classificação. A seguir, aplicou-se o processo **P-D**, para o qual, com os resultados da última iteração (posição de equilíbrio) e da análise de primeira ordem, foram determinados os acréscimos percentuais sofridos pelo deslocamento no topo da estrutura, pelos momentos fletores e forças cortantes nas vigas, e pelas forças normais e momentos fletores na base e no topo dos pilares, no nível de cada pavimento. Analisando-se os valores desses acréscimos, foi feita a classificação quanto à deslocabilidade dos nós pelo **P-D**.

Os resultados obtidos indicaram que, em 40% dos casos, o parâmetro a classificou como de nós móveis estruturas que poderiam ser de nós fixos. Já que os valores limites propostos pela Norma pareceram bastante adequados se comparados com os valores teóricos obtidos a partir do coeficiente de forma, a falta de precisão do parâmetro a possivelmente está mais relacionada com o excesso de simplificações do método que propriamente com um problema de valor limite. O coeficiente g_z , por outro lado, forneceu a classificação correta para todos os casos estudados.

Observe-se que, em relação às ações, por exemplo, o g_z possibilita a consideração de uma força variável com a altura (como as forças de arrasto), enquanto o a é calculado com uma força uniformemente distribuída. Para que essa melhoria de hipótese pudesse ser estendida ao cálculo do parâmetro a , seriam necessários estudos adicionais sobre a obtenção da linha elástica, como foi comentado no item 3.9.1. Mas como o coeficiente g_z não

considera a forma da elástica da edificação, e sim, os momentos provocados pelo seu carregamento, pode-se submeter o modelo estudado a condições mais próximas das reais.

Assim, o parâmetro α pode até ser utilizado como um “termômetro” na fase inicial do projeto, um indicativo da rigidez da estrutura, mas, para a análise da deslocabilidade dos nós, pode fornecer resultados muito conservadores. Com os recursos e ferramentas disponíveis para a análise estrutural, e com a necessidade de se atentar para o aspecto econômico, julga-se que não é mais necessário se trabalhar com um parâmetro tão simplificado, tendo-se à disposição um outro que, além de fornecer resultados muito melhores, pode funcionar como majorador dos efeitos de primeira ordem - o g_z . Considera-se importante alguma indicação da norma a esse respeito.

Propõe-se, então, a introdução de um outro comentário ao item 15.4.2 no anexo A.15.

- Sugestão de redação:

"Deve-se dar preferência à utilização do coeficiente g_z para se verificar a possibilidade de dispensa da consideração dos esforços globais de 2ª ordem. Seus resultados são menos conservadores que os do parâmetro de instabilidade."

3.9.4. UTILIZAÇÃO DO COEFICIENTE g_z COMO MAJORADOR

Com as facilidades dos computadores e com o desenvolvimento de novas ferramentas para a análise estrutural, não seria necessária a distinção entre estruturas de nós móveis e de nós fixos. Como se sabe, toda estrutura é deslocável, sendo seus deslocamentos mais ou menos relevantes. Assim, pode-se dizer que, em termos práticos, não interessa se os efeitos de segunda ordem são maiores ou menores que 10% dos de primeira ordem. Se o valor do coeficiente de majoração é conhecido, deveria ser considerado na determinação dos esforços finais, mesmo sendo pequeno.

LIMA & GUARDA (1999b), com base nos estudos de LIMA (1998), avaliaram a eficiência do g_z como coeficiente majorador dos efeitos de primeira ordem e os limites para sua aplicação. Essa eficiência foi mais uma vez determinada através de uma comparação com as indicações fornecidas pelo processo **P-D**, como já foi mencionado no item 3.9.3.

Para cada um dos edifícios estudados, calcularam-se os valores do coeficiente g_z , e aplicou-se o processo **P-D**. Foram realizados dois tipo de análise: a primeira, em termos dos acréscimos médios indicados pelo processo **P-D** para cada um dos efeitos de segunda ordem

(deslocamentos no topo da estrutura, momentos fletores e forças cortantes nas vigas, e forças normais e momentos fletores na base e no topo dos pilares); e a segunda, observando a variação desses efeitos em função da altura da edificação.

Estendendo-se esses estudos, como indicado no Anexo D, percebeu-se que a majoração com $0,95g_z$ se distancia mais das médias do **P-D** para todos os efeitos de segunda ordem, enquanto que o uso do g_z , com seu valor integral, mostra-se bastante eficiente e praticamente coincide com as médias do processo mais rigoroso. Para os dados de CARMO (1995) e de PINTO (1997), a conclusão é a mesma.

Considerando-se a variação que cada um dos efeitos de segunda ordem sofreu com a altura do edifício, atentou-se para as seguintes particularidades:

- os incrementos das forças normais dos pilares tendem a sofrer pequenos decréscimos à medida que se aproximam do topo, mantendo-se próximos aos valores de g_z ao longo de toda a altura;
- os momentos fletores na base e no topo dos pilares e os momentos fletores e forças cortantes nas vigas, que têm variações semelhantes, sofrem um aumento até cerca de 25% da altura, um decréscimo até aproximadamente 75% da altura, seguido de um leve aumento até o topo. Nos pavimentos inferiores, $0,95g_z$ tende a subestimar mais os acréscimos, enquanto g_z tende a superestimá-los mais na parte superior.

Deve-se notar que, no caso de edifícios mais altos que os estudados, os efeitos de segunda ordem tendem a ser ainda mais significativos nos pavimentos inferiores, e a subestimativa decorrente da utilização de $0,95g_z$ poderá ser, proporcionalmente, ainda maior.

Com isso, até se poderia utilizar a sugestão de LIMA (1998), de adotar $1,2g_z$ nos primeiros 25% da altura, e $0,8g_z$ nos últimos 25% da altura, aproximando mais os resultados do processo **P-D**. Mas, de uma forma geral, tomando-se um valor único, o que se pode constatar é que a majoração utilizando o g_z já é satisfatória, e mostra-se mais eficiente que aquela feita com $0,95g_z$.

Quanto à questão do valor limite para a utilização do g_z como majorador, foram traçadas retas representativas das variações dos valores de g_z em relação aos acréscimos médios sugeridos pelo processo **P-D**, para cada um dos efeitos de segunda ordem e para a média entre eles. A análise efetuada também se encontra no Anexo D.

Observou-se que, à medida que os valores dos acréscimos aumentam, todas as retas vão se afastando daquela correspondente a valores de acréscimos iguais para g_z e **P-D**. Como

a partir de 20% as diferenças já se mostraram mais significativas, concluiu-se que o limite recomendado deve ficar realmente em torno de **1,2**. PINTO (1997) chega a conclusão semelhante a partir da análise de cada um dos esforços médios e distribuídos em faixas de altura, em 25 edifícios de concreto armado.

No estudo de CARMO (1995), em que o limite de **1,3** é proposto para o g_z , todos os edifícios estudados tinham estruturas de contraventamento semelhantes ($\psi \approx 0,6$) e foram modelados apenas com o pavimento-tipo. Além disso, foi adotada a redução da rigidez igual para todos os elementos ($0,7 EI$), que, como será comentado no item 3.9.5, pode conduzir a subestimativas dos deslocamentos, a alterações dos valores de g_z e, por fim, a modificações dos resultados das análises.

Considerando-se o fato de o limite de **1,2** ter sido obtido tanto a partir de análises que apresentam melhorias em relação às anteriormente citadas (com estruturas com diversos tipos de contraventamento, consideração das particularidades das formas de cada pavimento e utilização de reduções diferenciadas para as vigas e pilares), quanto a partir dos estudos de PINTO (1997) (com outras estruturas e uma análise estatística mais refinada) é razoável que a questão do valor limite seja revista, se possível, com mais dados de outros exemplos.

Portanto, recomendam-se duas alterações no item 15.6.1, com o objetivo de se fazer a majoração dos esforços de primeira ordem com o valor integral de g_z , e até o limite de **1,2**.

- Sugestão de redação:

“Solução aproximada para a determinação dos esforços globais de 2ª ordem, válida para estruturas regulares, consiste na avaliação dos esforços finais (1ª ordem + 2ª ordem) pela multiplicação por $\tilde{\alpha}_z$ dos momentos de 1ª ordem, desde que $\tilde{\alpha}_z \leq 1,2$ ”.

3.9.5. CONSIDERAÇÃO SIMPLIFICADA DA NLF

As análises de PINTO (1997) para as vigas mostraram que a redução da rigidez varia de acordo com as condições de apoio. Foram obtidos valores de $0,4 EI$ a $0,6 EI$ para vigas biapoiadas, e de $0,6 EI$ a $0,64 EI$ para vigas biengastadas, sendo os inferiores correspondentes ao domínio 2 e os superiores, ao limite entre os domínios 3 e 4. Como as vinculações estudadas foram as extremas, as vigas usuais devem apresentar reduções intermediárias entre as duas situações.

PINTO (1997) observou também que a redução da rigidez para os casos com armaduras duplas é menor que para armaduras simples. Esse resultado é bastante razoável, uma vez que a armadura contribui para o controle da fissuração.

Frente a essas considerações, acredita-se que esteja um pouco baixo o valor de 0,4 **EI** proposto pela NBR 6118 (2000) para todos os casos em que $A'_s \neq A_s$, que é a situação mais usual. Talvez fosse melhor se prever reduções diferentes para armaduras simples e duplas, mas esse processo poderia se tornar um pouco trabalhoso. Sugere-se, então, a análise de um valor único de 0,5 **EI** para todas as vigas, o que está coerente com os resultados de PINTO (1997).

Já nas análises para pilares, PINTO (1997) obteve uma redução de rigidez diferenciada a depender da sollicitação predominante (força normal ou momento fletor). Mas o valor de 0,8 **EI**, adotado pela NBR 6118 (2000), está a favor da segurança.

De qualquer forma, parece acertada a diferenciação entre as reduções de vigas e de pilares, uma vez que os tipos de sollicitação, de fissuração e de ruptura de um e de outro elementos são completamente diferentes. Inclusive, vários estudos já comprovaram esse comportamento experimentalmente, como foi mencionado no item 3.7.1.

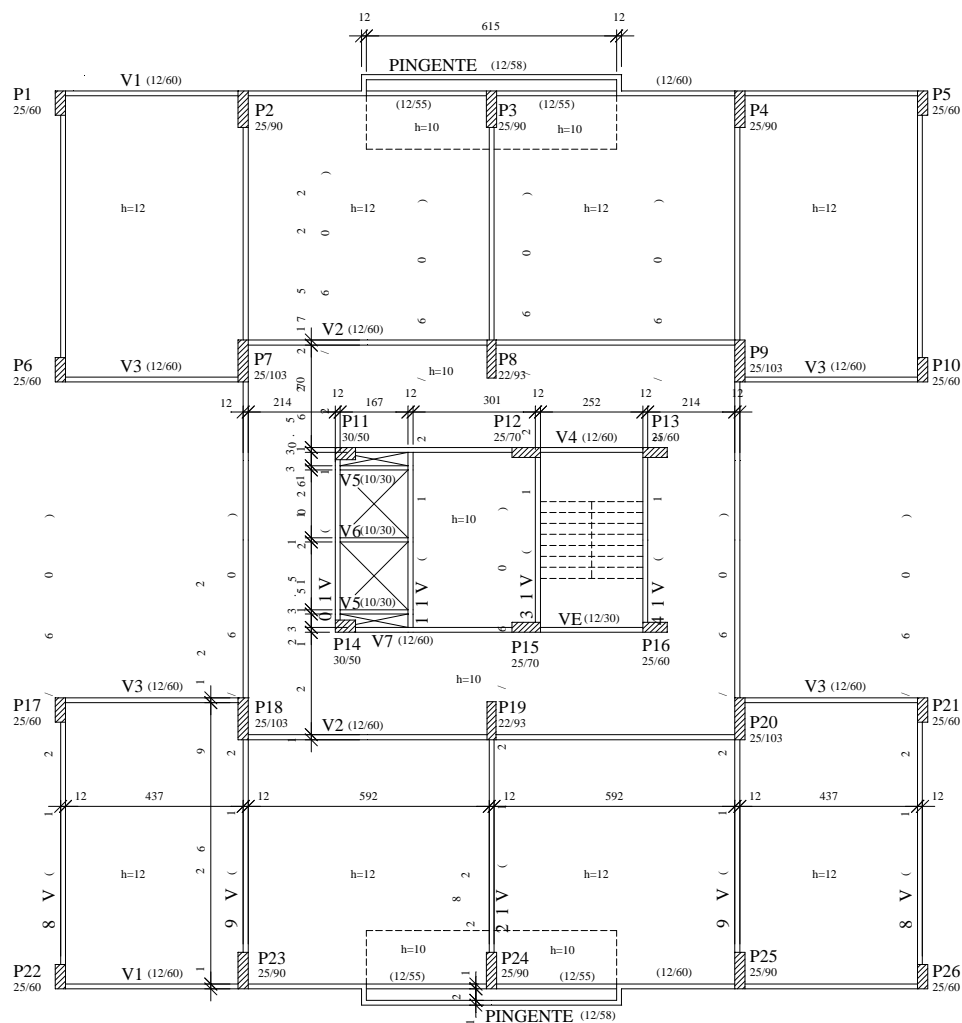
A NBR 6118 (2000), entretanto, ainda permite a adoção do módulo de rigidez único, de 0,7 **EI** tanto para vigas quanto para pilares, possivelmente no intuito de facilitar a análise da estrutura. Esse procedimento deve ser visto com algumas ressalvas pois, como comenta CARMO (1995), as diferenças obtidas para os deslocamentos não devem ser ignoradas, principalmente nos casos em que as vigas contribuam significativamente para a rigidez global. Permitir que o valor do módulo de rigidez das vigas seja aumentado de 0,4 **EI** para 0,7 **EI**, o que representa cerca de 75%, pode inclusive levar à consideração de uma estrutura de nós móveis como fixos, num caso extremo.

Por isso, se a versão definitiva da NBR 6118 realmente permitir uma redução única do módulo de rigidez, acredita-se que o valor de 0,7 **EI** deva ser revisto.

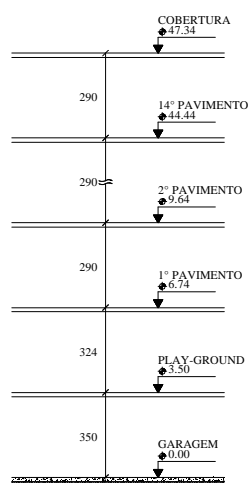
3.10. EXEMPLO DE CÁLCULO

Para exemplificar a utilização dos critérios para a verificação da estabilidade global, foi analisado um edifício residencial de 14 pavimentos, cobertura com piscina, play-ground e garagem, formando 16 níveis, além da fundação. Adotou-se 25 MPa como resistência característica do concreto.

A forma básica do pavimento-tipo, bem como o corte esquemático, encontram-se na Figura 3.7. O nível da garagem encontra-se no subsolo (nível 0,0 m) e, dentre os 14 pavimentos, 13 são tipo. Os pés-direitos, as alturas e as forças verticais por pavimento (valores característicos) encontram-se na Tabela 3.2.



PLANTA BAIXA



CORTE ESQUEMÁTICO

Figura 3.7 - Edifício estudado

Tabela 3.2 - Pés-direitos, alturas e forças verticais dos pavimentos

<i>Pavimento</i>	<i>Pé-direito (m)</i>	(1) <i>x_i (m)</i>	(2) <i>P_i (kN)</i>
<i>Cob.</i>	2,90	47,34	7505
<i>14^o</i>	2,90	44,44	4389
<i>13^o</i>	2,90	41,54	4389
<i>12^o</i>	2,90	38,64	4389
<i>11^o</i>	2,90	35,74	4389
<i>10^o</i>	2,90	32,84	4389
<i>9^o</i>	2,90	29,94	4389
<i>8^o</i>	2,90	27,04	4389
<i>7^o</i>	2,90	24,14	4389
<i>6^o</i>	2,90	21,24	4389
<i>5^o</i>	2,90	18,34	4389
<i>4^o</i>	2,90	15,44	4389
<i>3^o</i>	2,90	12,54	4389
<i>2^o</i>	2,90	9,64	4389
<i>1^o</i>	3,24	6,74	4433
<i>P.G.</i>	3,50	3,50	9023
$N = \sum P_i = 78018 \text{ kN}$			

3.10.1. CRITÉRIOS DE MODELAGEM

A estrutura foi modelada como um pórtico espacial no programa **SAP 90**, considerando-se as lajes trabalhando como diafragmas rígidos. A solidarização entre as vigas e os pilares foi representada com a utilização de trechos rígidos. Vale ressaltar que as formas de todos os níveis foram consideradas com suas peculiaridades.

Para o cálculo do módulo de deformação do concreto, foi utilizada a eq.(3.7). A Não-Linearidade Física foi considerada de forma simplificada, através da redução dos módulos de rigidez, sendo 0,5 **EI** para as vigas e 0,8 **EI** para os pilares.

3.10.2. DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO a

Parâmetro a (eq.3.3)

Para o cálculo do parâmetro a , aplicou-se uma força horizontal unitária uniformemente distribuída, como comentado no item 3.4.1. Os deslocamentos obtidos no topo, para as direções X e Y , foram:

$$a_x = 0,002086 \text{ cm}$$

$$a_y = 0,001715 \text{ cm}$$

Pela eq.(3.1):

$$(EI)_{eqx} = \frac{1 \cdot 47,34^4}{8 \cdot 0,002086} = 3,01 \cdot 10^8 \text{ kN.m}^2$$

$$(EI)_{eqy} = \frac{1 \cdot 47,34^4}{8 \cdot 0,001715} = 3,66 \cdot 10^8 \text{ kN.m}^2$$

Assim,

$$\alpha_x = 47,34 \cdot \sqrt{\frac{78018}{3,01 \cdot 10^8}} = 0,76$$

$$\alpha_y = 47,34 \cdot \sqrt{\frac{78018}{3,66 \cdot 10^8}} = 0,69$$

De acordo com o item 3.4.2, como a estrutura tem comportamento de pórtico, $\alpha_{lim\ x} = \alpha_{lim\ y} = 0,5$. Daí:

$$\alpha_x \geq \alpha_{lim,x}$$

$$\alpha_y \geq \alpha_{lim,y}$$

Portanto, a estrutura é classificada como de **nós móveis** nas duas direções.

3.10.3. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE g_z

Para a determinação do coeficiente g_z , utilizou-se a ação do vento, uma vez que esta situação mostrou-se mais crítica que o desaprumo tanto para a direção X quanto para a direção Y .

a) Cálculo das forças de arrasto

O cálculo das forças de arrasto foi feito de acordo com as recomendações da NBR 6123 (1988). Foram adotados:

- Velocidade básica do vento:
 $V_o = 30$ m/s
- Fatores S_1 , S_2 e S_3 :
 $S_1 = 1,0$ (terreno fracamente acidentado)
 $S_2 =$ (categoria IV e classe B)
 $S_3 = 1,0$ (edificações para residência)
- Coeficientes de arrasto para as direções **X** e **Y**:
 $C_{ax} = 1,29$
 $C_{ay} = 1,24$

Os valores característicos das forças de arrasto são apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Forças de arrasto

<i>Pavimento</i>	(3) $F_{ai,x}$ (kN)	(4) $F_{ai,y}$ (kN)
Cob.	23,33	21,77
14°	45,93	42,85
13°	45,16	42,14
12°	44,35	41,38
11°	43,50	40,58
10°	42,59	39,73
9°	41,61	38,82
8°	40,57	37,85
7°	39,43	36,79
6°	38,19	35,63
5°	36,82	34,35
4°	35,26	32,90
3°	33,48	31,23
2°	31,35	29,25
1°	30,34	28,31
P.G.	13,59	12,68

b) Cálculo do Coeficiente g_z

Coeficiente g_z (eq.3.4)

Aplicando-se as forças de arrasto no nível de cada pavimento, foram obtidos os deslocamentos horizontais apresentados na Tabela 3.4 e na Tabela 3.5, para as direções **X** e **Y**, respectivamente.

Pela eq.(3.5), considerando-se $g_r = 1,0$ para as ações verticais e $g_r = 1,4$ para as ações horizontais:

$$\ddot{M}_{\text{tot,d,x}} = 1,4 \cdot 1543,85 = 2161,39 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\ddot{M}_{\text{tot,d,y}} = 1,4 \cdot 1138,97 = 1594,56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Pela eq.(3.6), considerando-se $g_r = 1,4$ para as ações horizontais:

$$M_{1,\text{tot,d,x}} = 1,4 \cdot 15988,16 = 22383,42 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{1,\text{tot,d,y}} = 1,4 \cdot 14916,69 = 20883,37 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Para o cálculo dos deslocamentos a_h , foram utilizados os dados da Tabela 3.4 e da Tabela 3.5. Logo:

$$a_{h,x} = \frac{\sum_{i=1}^m (P_i \cdot y_{i,x})}{N} = \frac{1543,85}{78018} = 0,019788 \text{ m}$$

$$a_{h,y} = \frac{\sum_{i=1}^m (P_i \cdot y_{i,y})}{N} = \frac{1138,97}{78018} = 0,014599 \text{ m}$$

Para o cálculo dos deslocamentos a_v , o pórtico foi submetido apenas às forças verticais. Os valores dos $a_{v,y}$ foram nulos, devido à simetria do pavimento em relação ao eixo **X**, e os valores dos $a_{v,x}$ encontram-se na Tabela 3.6.

Logo:

$$a_{v,x} = \frac{\sum_{i=1}^m (P_i \cdot a_{v,i,x})}{N} = \frac{69,95}{78018} = 0,000896 \text{ m}$$

$$a_{v,y} = 0$$

Tabela 3.4 - Deslocamentos horizontais na direção X

<i>Pavimento</i>	(5) $y_{i,x}$ (m)	(2x5) $P_i \times y_{i,x}$	(1x3) $x_i \times F_{ai,x}$
<i>Cob.</i>	0,031849	239,03	1104,44
<i>14°</i>	0,031149	136,71	2041,13
<i>13°</i>	0,030279	132,89	1875,95
<i>12°</i>	0,029211	128,21	1713,68
<i>11°</i>	0,027946	122,65	1554,69
<i>10°</i>	0,026490	116,26	1398,66
<i>9°</i>	0,024848	109,06	1245,80
<i>8°</i>	0,023030	101,08	1097,01
<i>7°</i>	0,021046	92,37	951,84
<i>6°</i>	0,018908	82,99	811,16
<i>5°</i>	0,016630	72,99	675,28
<i>4°</i>	0,014230	62,46	544,41
<i>3°</i>	0,011724	51,46	419,84
<i>2°</i>	0,009132	40,08	302,21
<i>1°</i>	0,006439	28,54	204,49
<i>P.G.</i>	0,003000	27,07	47,57
		$\hat{a} (P_i \times y_{i,x}) = 1543,85$	$\hat{a} (x_i \times F_{ai,x}) = 15988,16$

Tabela 3.5 - Deslocamentos horizontais na direção Y

<i>Pavimento</i>	(6) $y_{i,y}$ (m)	(2x6) $P_i \times y_{i,y}$	(1x4) $x_i \times F_{ai,y}$
<i>Cob.</i>	0,024225	181,81	1030,59
<i>14°</i>	0,023693	103,99	1904,25
<i>13°</i>	0,023031	101,08	1750,50
<i>12°</i>	0,022221	97,53	1598,92
<i>11°</i>	0,021222	93,14	1450,33
<i>10°</i>	0,020069	88,08	1304,73
<i>9°</i>	0,018756	82,32	1162,27
<i>8°</i>	0,017289	75,88	1023,46
<i>7°</i>	0,015675	68,80	888,11
<i>6°</i>	0,013923	61,11	756,78
<i>5°</i>	0,012044	52,86	629,98
<i>4°</i>	0,010049	44,11	507,98
<i>3°</i>	0,007955	34,91	391,62
<i>2°</i>	0,005790	25,41	281,97
<i>1°</i>	0,003606	15,99	190,81
<i>P.G.</i>	0,001324	11,95	44,38
		$\hat{a} (P_i \times y_{i,y}) = 1138,97$	$\hat{a} (x_i \times F_{ai,y}) = 14916,69$

Tabela 3.6 - Deslocamentos horizontais na direção **X**, devidos às forças verticais

<i>Pavimento</i>	(7) $a_{vi,x}$ (m)	(2x7) $P_i \times a_{vi,x}$
Cob.	0,002103	15,78
14°	0,001915	8,40
13°	0,001734	7,61
12°	0,001556	6,83
11°	0,001381	6,06
10°	0,001210	5,31
9°	0,001045	4,59
8°	0,000885	3,88
7°	0,000734	3,22
6°	0,000591	2,59
5°	0,000459	2,01
4°	0,000339	1,49
3°	0,000233	1,02
2°	0,000144	0,63
1°	0,000073	0,32
P.G.	0,000020	0,18
		$\hat{a} (P_i \times a_{vi,x}) = 69,95$

E, portanto:

$$\gamma_{z,x} = \frac{1}{1 - \frac{2161,39}{22383,42} \cdot \frac{0,019788 + 0,000896}{0,019788}} = 1,112$$

$$\gamma_{z,y} = \frac{1}{1 - \frac{1594,56}{20883,37} \cdot \frac{0,01150 + 0}{0,01150}} = 1,083$$

Assim, a estrutura é classificada como de **nós móveis** na direção **X** e de **nós fixos** na direção **Y**. Os valores de g_z podem ser utilizados como coeficientes majoradores, uma vez que são inferiores ao limite de **1,3** proposto pela NBR 6118 (2000), ou, considerando-se a proposta deste trabalho, ao limite de **1,2**.

Majorando-se de acordo com a NBR 6118 (2000), com $0,95g_z$, têm-se:

$$\text{direção X} \Rightarrow 0,95 \cdot 1,112 = 1,056$$

$$\text{direção Y} \Rightarrow 0,95 \cdot 1,083 = 1,029$$

Majorando-se de acordo com as sugestões deste trabalho, com o valor integral de g_z , têm-se:

$$\text{direção } \mathbf{X} \Rightarrow 1,112$$

$$\text{direção } \mathbf{Y} \Rightarrow 1,083$$

Para o dimensionamento dos elementos estruturais, os esforços de primeira ordem devem, então, ser multiplicados por esses valores.

Coeficiente g_z (eq.3.8 - sugestão)

Observa-se que a estrutura em estudo apresenta um eixo de simetria em \mathbf{X} , não havendo, portanto, excentricidade na aplicação das forças verticais nesta direção. Em \mathbf{Y} , apesar da simetria não ser perfeita, ela pode ser admitida, uma vez que as diferenças existentes na parte central da forma não devem causar uma excentricidade relevante entre o ponto de aplicação da resultante das forças verticais e o centro de gravidade dos pavimentos. Assim sendo, os valores de g_z podem ser obtidos da seguinte forma:

$$\gamma_{zx} = \frac{1}{1 - \frac{2161,39}{22383,42}} = 1,107$$

$$\gamma_{zy} = \frac{1}{1 - \frac{1594,56}{20883,37}} = 1,083$$

Também neste caso, a estrutura foi classificada como de **nós móveis** na direção \mathbf{X} e de **nós fixos** na direção \mathbf{Y} . Nota-se que é muito pequena a diferença entre os valores do $g_{z,x}$ calculados pela eq.(3.4) e pela eq.(3.8), e que, entre os valores do $g_{z,y}$, é nula. Assim sendo, acredita-se que a trabalhosa determinação de \mathbf{a}_v , realmente não compensa frente aos ótimos resultados obtidos a partir da expressão mais simplificada, decorrente das considerações de simetria.

Apenas para ilustrar, realizou-se a análise da estrutura através do processo **P-D**, de acordo com as indicações do item 3.5. Foram calculadas as médias entre os acréscimos percentuais dos resultados de primeira ordem em relação aos da última iteração, para cada um dos esforços, nas duas direções (Tabela 3.7 e Tabela 3.8). Escrevendo-se esses acréscimos médios na forma de majoradores, pode-se constatar que o g_z se aproxima mais do **P-D** que o $0,95g_z$ (Tabela 3.9).

Tabela 3.7 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D - direção X

Pavimento	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
Cob.	7,3	8,5	8,7	8,0	8,2
14 ^o	7,4	6,8	6,3	7,6	7,7
13 ^o	7,6	6,0	6,1	7,1	6,8
12 ^o	8,1	6,1	5,5	6,0	6,1
11 ^o	8,2	6,2	6,6	6,5	6,5
10 ^o	8,2	7,0	7,3	7,3	7,3
9 ^o	8,2	7,9	8,4	7,7	7,7
8 ^o	8,3	8,3	8,7	8,3	8,3
7 ^o	8,2	9,0	9,3	8,9	8,9
6 ^o	8,5	9,5	9,5	9,1	9,3
5 ^o	8,8	10,2	10,5	10,0	10,0
4 ^o	9,0	10,8	11,1	10,6	10,6
3 ^o	9,1	11,0	11,2	11,0	11,1
2 ^o	9,8	11,7	12,4	11,6	11,6
1 ^o	10,0	12,8	12,9	11,0	11,2
P.G.	10,2	11,2	11,4	9,3	9,4
Média	8,6	8,9	9,1	8,8	8,8
Média final = 8,8					

Tabela 3.8 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D - direção Y

Pavimento	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
Cob.	5,2	5,1	4,8	5,5	5,5
14 ^o	5,0	4,2	3,9	5,1	5,1
13 ^o	5,0	3,7	4,1	4,3	4,3
12 ^o	5,3	3,5	4,7	4,7	4,7
11 ^o	5,5	3,9	5,4	5,3	5,2
10 ^o	6,2	4,6	6,3	6,1	6,1
9 ^o	6,4	5,8	6,8	6,8	6,8
8 ^o	6,5	6,3	7,5	7,0	6,9
7 ^o	6,8	6,8	8,2	8,0	8,0
6 ^o	7,0	7,2	8,7	8,2	8,2
5 ^o	7,4	8,3	9,5	9,0	9,0
4 ^o	7,6	9,1	10,4	9,8	9,8
3 ^o	7,9	10,0	10,3	10,0	10,0
2 ^o	8,3	10,4	10,0	10,0	10,0
1 ^o	8,4	8,8	8,3	9,2	9,3
P.G.	8,4	7,0	7,7	7,2	7,2
Média	6,7	6,5	7,3	7,3	7,3
Média final = 7,0					

Tabela 3.9 - Comparação entre majorações

<i>Direção</i>	<i>0,95g_z</i>	<i>g_z</i>	<i>P-D</i>
X	1,052	1,107	1,088
Y	1,029	1,083	1,070

Considerando-se a variação dos acréscimos obtidos por **P-D** ao longo da altura da edificação, como foi feito no Anexo D, observa-se que o $0,95g_z$ forneceu uma subestimativa razoável dos esforços de segunda ordem, principalmente nas faixas inferiores da estrutura, que são as mais críticas (Figura 3.8). Já o g_z , de uma maneira geral, apresentou bons resultados para todos os casos.

3.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez apresentada a verificação da estabilidade global segundo a NBR 6118 (2000), pode-se comentar sua grande evolução em relação à NBR 6118 (1978).

Nesta versão anterior, obrigava-se a consideração do vento nos casos em que esta ação pudesse produzir efeitos “importantes” e nos casos de estruturas “deslocáveis” em que ou a altura fosse maior que 4 vezes a largura menor, ou o número de filas de pilares em uma dada direção fosse inferior a 4. Além de serem bastante vagas, as recomendações não mencionavam um ponto extremamente importante da análise de edifícios, que é o estudo dos efeitos de segunda ordem globais.

Tal postura não mais poderia ser admitida, pois, com o crescimento do número de pavimentos dos edifícios e de sua esbeltez, os deslocamentos laterais aumentaram e os efeitos de segunda ordem tornaram-se mais relevantes. Por isso, o Projeto de Revisão da NBR 6118 (2000) menciona não apenas a análise das ações horizontais, mas também toda a avaliação da estabilidade global.

De uma maneira geral, o que se observa é que esse novo texto está bem detalhado, comentando desde a importância da análise da ação do vento e do desaprumo, da classificação das estruturas quanto à deslocabilidade dos nós e dos processos a serem adotados, até a necessidade de se considerarem os efeitos de segunda ordem em estruturas de nós móveis.

Ainda assim, acredita-se que pequenas alterações podem ser incorporadas à versão definitiva da nova NBR 6118, melhorando tanto a compreensão quanto a aproximação das verificações. Algumas sugestões foram apresentadas neste capítulo.

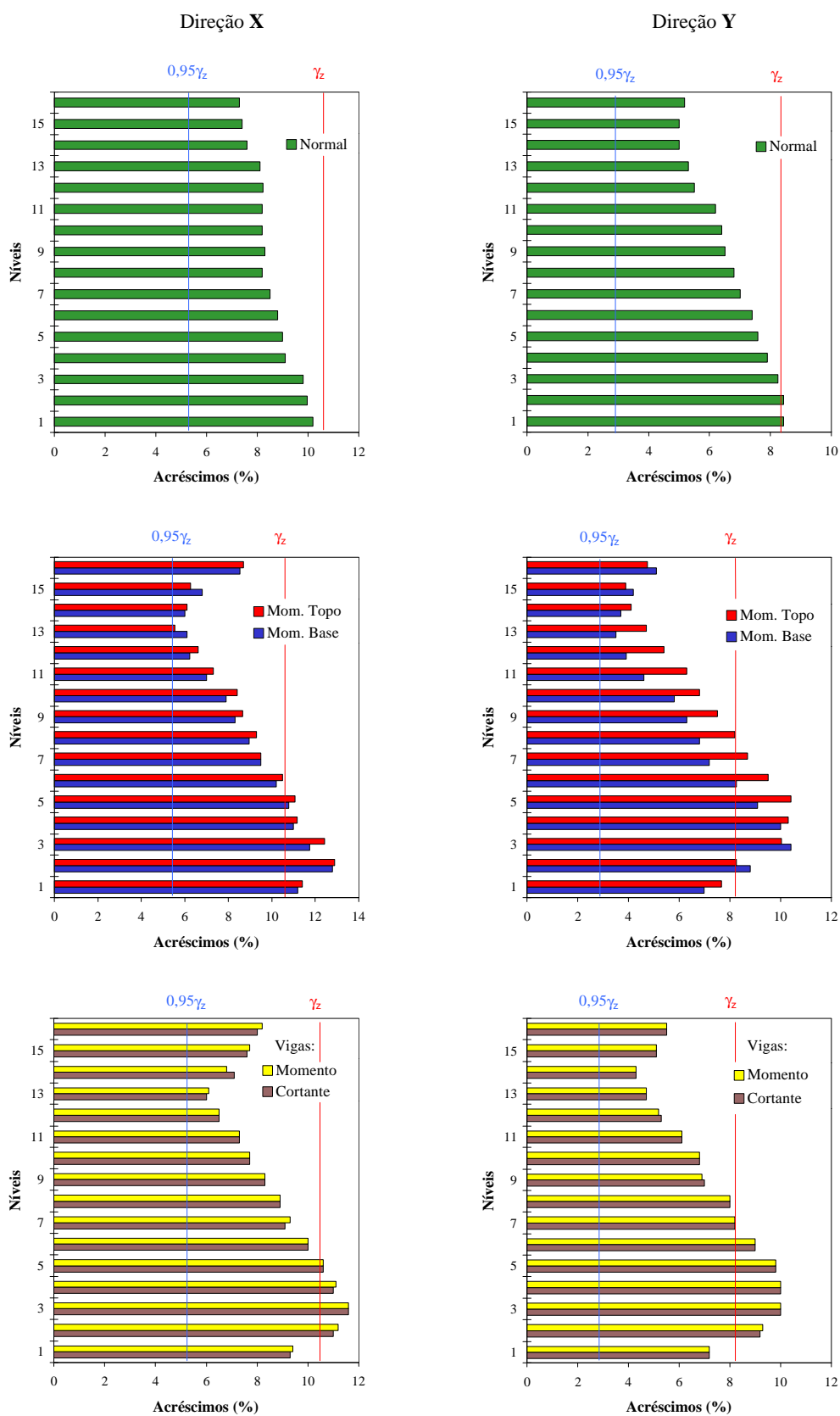


Figura 3.8 - Variação dos acréscimos dos esforços de segunda ordem nas direções X e Y

3.12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1978). *NBR 6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado*. Rio de Janeiro
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000). *Revisão da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1988). *NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas*. Rio de Janeiro.
- BECK, H.; KÖNIG, G. (1966). Restraining forces (Festhaltekräfte) in the analysis of tall buildings. In: SYMPOSIUM ON TALL BUILDINGS, Oxford. *Proceedings*. p.513-536.
- CARMO, R.M.S. (1995). *Efeitos de segunda ordem em edifícios usuais de concreto armado*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON (1993). *CEB-FIP model code 1990*. London, Thomas Telford.
- FRANCO, M. (1985a). Problema de instabilidade dos edifícios altos. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON: Colóquio sobre Estabilidade Global das Estruturas de Concreto Armado, São Paulo. *Anais*.
- FRANCO, M. (1985b). O parâmetro de instabilidade dos edifícios altos. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, Lisboa, n.23, p.69-72.
- FRANCO, M.; VASCONCELOS, A.C. (1991). Practical assessment of second order effects in tall buildings. In: COLOQUIUM ON THE CEB-FIP MC90, Rio de Janeiro. *Proceedings*. p.307-324.
- FRANCO, M. (1997). Instabilidade local e global dos edifícios altos de concreto armado. In: INSTITUTO DE ENGENHARIA. Divisão de Estruturas. *Coletânea de trabalhos sobre estabilidade global e local das estruturas de edifícios*. São Paulo, Instituto de Engenharia/TQS. p.55-76. (Trabalho apresentado no International Symposium da IASS, Milão, 1995)

- LAI, S.A.; MacGREGOR, J.G. (1983). Geometric nonlinearities in unbraced multistory frames. *Journal of the Structural Engineering*, ASCE, v.109, n.ST11, p.2528-2545, Nov.
- LIMA, J.S. (1998). *Avaliação dos efeitos de segunda ordem em edifícios altos*. Salvador. Trabalho de Iniciação Científica - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.
- LIMA, J.S.; GUARDA, M.C.C. (1999a). Comparação entre o parâmetro alfa e o coeficiente Yz na análise da estabilidade global de edifícios altos [CD-ROM]. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41., Salvador. *Anais*.
- LIMA, J.S.; GUARDA, M.C.C. (1999b). Utilização do coeficiente Yz como majorador de efeitos de primeira ordem em edifícios altos [CD-ROM]. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41., Salvador. *Anais*.
- MacGREGOR, J.G.; HAGE, S.E. (1977). Stability analysis and design of concrete frames. *Journal of the Structural Division*, ASCE, v.103, n.ST10, p. 1953-1970, Oct.
- MacGREGOR, J.G. (1992). *Reinforced concrete: mechanics and design*. 2. ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- MacGREGOR, J.G. (1993). Design of slender concrete columns: revisited. *ACI Structural Journal*. v.90, n.3, p. 302-309, May-Jun.
- PINTO, R.S. (1997). *Não-linearidade física e geométrica no projeto de edifícios usuais de concreto armado*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- VASCONCELOS, A.C. (1985). Critérios para dispensa de consideração do efeito de 2ª ordem. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON: Colóquio sobre Estabilidade Global das Estruturas de Concreto Armado, São Paulo. *Anais*.
- VASCONCELOS, A.C.; FRANÇA, R.L.S. (1997). Um método simplificado e muito preciso para avaliação dos momentos de segunda ordem em edifícios altos usuais. In: INSTITUTO DE ENGENHARIA. Divisão de Estruturas. *Coletânea de trabalhos sobre estabilidade global e local das estruturas de edifícios*. São Paulo, Instituto de Engenharia/TQS. p.77-97. (Trabalho apresentado no FIP Symposium, Johannesburg, 1997).

3.13. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1999). *ACI 318/99 - Building code requirements for reinforced concrete*. Farmington Hills, ACI.
- ANTUNES, H.M.C.C. (1978). *Carregamento crítico de instabilidade geral para estruturas tridimensionais de edifícios altos*. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1980). *NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro.
- COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON (1977). CEB-FIP manual of buckling and instability. *CEB Bulletin d'Information*, n.123.
- CORRÊA, M.R.S. (1991). *Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios*. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FINTEL, M. (1975). Deflections of high-rise concrete buildings. *Journal of the American Concrete Institute*, v.72, n.7, p.324-328.
- FRANÇA, R.L.S. (1985). Exemplo de cálculo do esforço de 2a. ordem em um edifício de concreto armado. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON: Colóquio sobre Estabilidade Global das Estruturas de Concreto Armado, São Paulo. *Anais*.
- FUSCO, P.B. (1981). *Estruturas de concreto: solicitações normais*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois.
- GRAZIANO, F.P. (2000). O coeficiente de majoração dos esforços globais γ_z e algumas relações úteis. *Edição Eletrônica da ABECE*, julho. (e-artigos ABECE n.1).
- LIMA, J.S.; GUARDA, M.C.C. (2000). Resultados da aplicação da nova NBR 6118 na avaliação da estabilidade global de edifícios [CD-ROM]. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, 4., São Paulo. *Anais*.
- MENEGOTTO, M. (1999). ULS of buckling. *FIB Bulletin*, v.2, p.225-240, Apr.
- SANTOS, L.M.; FRANCO, M. (1993). Instabilidade e efeitos de segunda ordem nas estruturas de concreto. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, 3., São Paulo. *Anais*.
- SPIEGEL, M.R. (1985). *Estatística*. 2.ed. São Paulo, MacGraw-Hill do Brasil. (Coleção Schaum).

VASCONCELOS, A.C. (1986). Como enrijecer edifícios muito flexíveis? In: LA INGENIARIA ESTRUCTURAL SUDAMERICANA EM LA DÉCADA DEL 80: Homenaje al Ingeriero Julio Ricaldoni, Montevideo, Uruguai. Tomo I. p.237-268.

VASCONCELOS, A.C. (1997). Origem dos parâmetros de estabilidade α e γ_z . In: INSTITUTO DE ENGENHARIA. Divisão de Estruturas. *Coletânea de trabalhos sobre estabilidade global e local das estruturas de edifícios*. São Paulo, Instituto de Engenharia/TQS. p.3-13.

WOOD, B.R.; BEAULIEU, D.; ADAMS, P.F. (1976). Column design by P- Δ method. *Journal of the Structural Division, ASCE*, v.102, n.ST2, p. 411-427, Feb.

CONCLUSÕES

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões e algumas considerações finais sobre os estudos realizados neste trabalho. Destacam-se as principais complementações e modificações propostas para a versão definitiva da NBR 6118, relativas às verificações de punção e de estabilidade global, além de sugestões para novas pesquisas.

4.1. A VERIFICAÇÃO DA PUNÇÃO

A NBR 6118 (2000) adota o método da superfície de controle para a verificação da punção. Este método, que é apenas empírico, não se propõe a representar fisicamente a forma de ruína, mas seus resultados podem se aproximar bastante daqueles obtidos a partir de modelos mecânicos. Estudou-se, então, as principais características e limitações relacionadas a esta análise da punção, sob a ótica da NBR 6118 (2000).

Para facilitar a compreensão das verificações, foram apresentadas expressões para o cálculo das tensões atuantes em cada contorno crítico, e para cada situação de cálculo: pilares internos com carregamento simétrico, pilares internos com momentos aplicados em uma e nas duas direções, pilares de borda com e sem momentos no plano paralelo à borda livre, e pilares de canto. Neste último caso, ressaltou-se que as verificações são feitas separadamente para cada direção, pois os momentos correspondentes provocam tensões cujos valores máximos ocorrem em pontos diferentes.

Para todos os casos com momentos fletores atuantes, observou-se que a parcela transferida por cisalhamento gera uma tensão que é suposta uniforme (Figura 2.7). Notou-se, também, que as expressões utilizadas pressupõem uma relação linear entre esta parcela e a da reação vertical, o que é apenas uma aproximação. Foram explicadas as determinações do

coeficiente K , do parâmetro W_p e da excentricidade do perímetro crítico e^* , apontando-se as omissões da NBR 6118 (2000) para os cálculos nos contornos C e C'' .

Destacaram-se algumas situações em que o perímetro crítico não deve ser tomado com seu valor integral. É o caso de pilares de borda, de pilares de canto, de pilares próximos a aberturas, e do contorno C'' quando os conectores da última linha estiverem tangencialmente afastados mais de $2d$ (Figura 2.25).

Quanto às tensões resistentes, chamou-se atenção para o fato de que elas dependem de diversos fatores, como da resistência do concreto à compressão, das dimensões do pilar, da altura útil e da taxa de armadura longitudinal da laje e, ainda, quando houver armadura de punção, de sua área, de seu espaçamento radial e do tipo do aço.

O que se pode observar das verificações estudadas é que a NBR 6118 (2000) é bem mais rigorosa que a NBR 6118 (1978) quanto à colocação de armaduras de cisalhamento. Por outro lado, a capacidade resistente das ligações foi praticamente dobrada, possibilitando o uso de maior taxa de armadura. Ao que parece, o objetivo foi exatamente esse: obrigar à colocação de mais armaduras para a ruína se tornar menos frágil.

O uso de armaduras, aliás, vem ganhando destaque justamente por proporcionar um aumento de resistência da ligação aliado ao aumento de ductilidade. Os já mencionados conectores tipo pino são apenas um dos tipos possíveis de armaduras de punção, e são sugeridos pela própria NBR 6118 (2000). Foram comentados, inclusive, alguns dos aspectos relacionados ao detalhamento desses conectores, tais como suas dimensões mínimas, seus espaçamentos máximos, seu posicionamento vertical e a necessidade de se dispor conectores adicionais nas proximidades das bordas.

Com base em todo o estudo desenvolvido, sugerem-se algumas alternativas para a solução de problemas de punção em lajes, seja reduzindo as tensões atuantes, seja aumentando as tensões resistentes.

- Se a verificação no contorno C não for atendida, pode-se aumentar a espessura da laje na região (com capitéis ou drop-panels) ou aumentar as dimensões do pilar;
- No caso da verificação no contorno C' em lajes sem armadura de punção, pode-se aumentar a taxa de armadura longitudinal da laje na região ou adicionar armadura de punção;
- No contorno C' em lajes armadas, pode-se aumentar a taxa de armadura longitudinal da laje na região, aumentar o diâmetro dos conectores, aumentar o número de conectores por linha ou diminuir o espaçamento entre as linhas;
- E no caso do contorno C'' , também pode-se aumentar a taxa de armadura longitudinal da laje na região ou, ainda, aumentar o número de linhas de conectores.

O aumento do f_{ck} da laje e o uso de fibras na região da ligação são apenas mais algumas dentre outras soluções possíveis. Evidentemente, o problema da punção é bem mais complexo que simples verificações dos contornos críticos, mas a boa aproximação dos resultados obtidos vem sendo comprovada por diversos trabalhos experimentais.

4.1.1. COMPLEMENTAÇÕES E COMENTÁRIOS

Estudando-se as recomendações da NBR 6118 (2000) para a verificação da punção, puderam ser feitas algumas sugestões.

Como já foi mencionado, identificou-se que há uma omissão quanto às expressões de W_p a serem utilizadas nas verificações da face do pilar (contorno C) e a $2d$ da região armada (contorno C'). Frente a esse problema, tentou-se encontrar uma forma simples para a obtenção dos valores de W_{po} e de W_p' , e propôs-se, respectivamente, a redução e a majoração do W_p relativo ao contorno C'. Com base no CEB MC-90 (1993) e resolvendo-se diversos exemplos de cálculo, chegou-se às seguintes expressões:

$$W_{po} = \frac{u_o}{u} \cdot W_p \quad \text{para pilares internos;}$$

$$W_{po} = \frac{u_o^*}{u^*} \cdot W_p \quad \text{para pilares de borda e de canto;}$$

$$W_p' = \eta_{wp} \cdot \frac{u'}{u} \cdot W_p \quad \text{para pilares internos;}$$

$$W_p' = \eta_{wp} \cdot \frac{u'^*}{u^*} \cdot W_p \quad \text{para pilares de borda e de canto.}$$

Os valores do coeficiente h_{wp} , para a correção do W_p' em função da situação de cálculo, foram apresentados na Tabela 2.6.

Outra omissão semelhante diz respeito à determinação das expressões de e^* para as verificações na face do pilar e a $2d$ da região armada. Numa solução análoga à do W_p , propôs-se a obtenção dos valores de e_o^* e e'^* , respectivamente, pela redução e pela majoração do e^* no contorno C'. Resolvendo-se diversos exemplos de cálculo, chegou-se às seguintes expressões, válidas tanto para pilares de borda quanto de canto:

$$e_o^* = \eta_{e1} \cdot \frac{u_o^*}{u^*} \cdot e^*$$

$$e'^* = \eta_{e2} \cdot \frac{u'^*}{u^*} \cdot e^*$$

Os valores dos coeficientes h_{e1} e h_{e2} , para a correção do e^* em função do contorno estudado, foram apresentados na Tabela 2.9.

Pelos resultados do exemplo do item 2.10, observou-se que tanto os valores das excentricidades e_0^* e e'^* quanto os de W_p' , obtidos pelo método simplificado sugerido, ficaram próximos daqueles calculados segundo os métodos mais rigorosos.

Também propôs-se um método simplificado para a consideração da punção excêntrica, o que evita o cálculo do coeficiente K , do parâmetro W_p , da excentricidade e^* e do momento M_{sd}^* . Consiste em majorar a tensão cisalhante provocada pela reação vertical, através da expressão:

$$\tau_{Sd} = \beta \cdot \frac{F_{Sd}}{u \cdot d}$$

Os valores de b para os três contornos críticos C , C' e C'' , e para as seis situações de cálculo, foram obtidos a partir da resolução de diversos exemplos e apresentados na Tabela 2.10. E pelo exemplo resolvido no item 2.10, observou-se que este método simplificado também pode fornecer bons resultados.

Para o cálculo da tensão resistente na face do pilar, comentou-se que a formulação da NBR 6118 (2000) tende a ser conservadora, pois considera a resistência do concreto à compressão diagonal como no caso de vigas. O acréscimo devido ao estado multiaxial é desprezado. Com base no CEB MC-90 (1993), propôs-se a seguinte expressão:

$$\tau_{Rd2} = 0,32 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd}$$

Resultados conservadores também foram observados com o emprego da expressão da NBR 6118 (2000) para o cálculo da tensão atuante em pilares internos com momentos nas duas direções, já que as tensões provocadas por cada um dos momentos não atingem o valor máximo no mesmo ponto. Com base no trabalho do *Task Group 2.3* do CEB, sugeriu-se a análise da seguinte expressão:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \cdot d} + \sqrt{\left(\frac{K_1 \cdot M_{Sd1}}{W_{p1} \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{K_2 \cdot M_{Sd2}}{W_{p2} \cdot d}\right)^2}$$

Pelo exemplo resolvido no item 2.10, observou-se que os valores obtidos com o uso desta expressão são razoavelmente inferiores aos da proposta da NBR 6118 (2000). Esse enfoque representa, então, uma possível melhoria do cálculo da tensão atuante, e que não necessita de maiores elaborações.

Outro aspecto para o qual chamou-se atenção foi a necessidade de se apresentar uma figura mais detalhada mostrando o posicionamento vertical dos conectores, que devem praticamente envolver as armaduras de flexão (Figura 2.28). Dessa forma, eles permanecem bem ancorados, conseguem costurar as fissuras, escoar e então aumentar a resistência da ligação, como previsto pelas expressões estudadas.

Mencionou-se ainda que devem ser introduzidos um limite máximo de **0,02** para a contribuição da armadura de flexão na resistência à punção, a partir do qual ela não parece ser efetiva, e um limite mínimo de aproximadamente **0,3d** para a distância entre a primeira linha de armaduras e a face do pilar, evitando que os primeiros conectores comecem a ter sua ancoragem prejudicada por fissuras de pequena inclinação.

Finalmente, sugeriu-se a introdução de algum comentário sobre o caso de pilares alongados. Na falta de um método mais preciso, pelo menos a redução do perímetro crítico proposta na NBR 6118 (1978) poderia ser adotada.

4.1.2. SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Uma das sugestões para novas pesquisas é o estudo da expressão para o cálculo das tensões atuantes em pilares internos submetidos a momentos em duas direções. Não parece haver mais dúvidas de que a recomendação da NBR 6118 (2000) é conservadora, mas somente com base em resultados experimentais é que se pode confirmar a proposta do *Task Group 2.3* do CEB.

Outras duas sugestões dizem respeito aos pilares alongados, que necessitam de estudos mais específicos devido às peculiaridades do fenômeno da punção nesses casos. Pelo menos dois aspectos precisam ser melhor avaliados: o coeficiente **K** e a redução do perímetro crítico **u**.

O estudo do coeficiente **K** para situações em que as relações entre os lados do pilar extrapolam os limites da Tabela 2.2, justamente o caso de pilares alongados, seria de grande utilidade. Sugere-se que seja feita uma análise experimental de ligações com pilares de diversas relações entre os lados, principalmente com $c_1/c_2 > 3$, e, com alguns resultados e com uma análise numérica adequada, poderia ser determinada a parcela do momento transferida por cisalhamento em vários casos. E se a relação entre as parcelas das tensões

devidas à reação vertical e ao momento atuante não puder ser considerada linear, outras propostas seriam elaboradas.

Já o estudo da redução do perímetro crítico para o caso de pilares alongados, seria uma forma de subsidiar um pouco mais a adoção deste procedimento. Analisando-se a influência de vários aspectos como a relação entre os lados do pilar e a altura útil da laje, poderia ser obtida uma definição mais precisa do trecho de u a ser considerado no cálculo das tensões. Sugere-se, então, um trabalho experimental com ligações que apresentem essas variáveis, possibilitando uma melhor calibração das recomendações a serem indicadas em norma.

Por fim, recomenda-se um estudo estatístico mais refinado para a obtenção de valores mais precisos de h_{wp} , h_{e1} , h_{e2} e b . Poderia ser investigada também a possibilidade de utilização desses coeficientes para situações não abrangidas neste trabalho, com base em uma amostragem maior e mais diversificada. E inclusive, no caso específico do b , considera-se importante uma maior variação do carregamento, o que daria maior respaldo ao método proposto.

4.2. A VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL

Com a associação entre os deslocamentos horizontais de uma estrutura e seu carregamento vertical, surgem os chamados efeitos de segunda ordem. A proporção desses efeitos, em relação aos de primeira ordem, é o ponto de partida para a verificação da estabilidade global. Foram estudadas, então, as principais características e limitações relacionadas a esta análise, sob a ótica da NBR 6118 (2000).

Para facilitar a compreensão do processo, dividiu-se o problema da estabilidade em duas questões: uma relacionada à avaliação da importância dos efeitos de segunda ordem no dimensionamento dos elementos estruturais, e outra, relacionada à determinação desses efeitos.

Quanto à primeira questão, mostrou-se que a análise de primeira ordem é suficiente apenas para algumas estruturas, sendo necessária, para outras, o estudo de sua posição geométrica deslocada. Nas chamadas estruturas de nós fixos, a interferência dos efeitos de segunda ordem nos esforços totais é pequena e pode-se dispensar sua consideração no dimensionamento de elementos. Já nas chamadas estruturas de nós móveis, esses efeitos contribuem significativamente para o aumento dos esforços finais e devem ser obrigatoriamente determinados e adicionados aos de primeira ordem. Para essa classificação quanto à deslocabilidade dos nós, foram apresentados dois métodos simplificados: o parâmetro de instabilidade a e o coeficiente g_z .

Em relação ao parâmetro \mathbf{a} , comentou-se que ele foi desenvolvido a partir da analogia entre um edifício e um pilar engastado na base e livre no topo, de seção constante. Explicou-se a vantagem da utilização do módulo de rigidez equivalente para este pilar ao invés da soma das rigidezes dos pilares isolados. Ressaltou-se, ainda, que o valor limite de \mathbf{a} , a partir do qual a estrutura é considerada de nós móveis, não é único e depende do sistema de contraventamento da estrutura.

Em relação ao coeficiente \mathbf{g}_z , demonstrou-se sua caracterização como a soma de uma progressão geométrica cuja razão é a relação entre os acréscimos de momentos em duas iterações sucessivas. Mencionou-se a possibilidade de se considerar a Não-Linearidade Física de maneira simplificada, através da redução do módulo de rigidez, e de serem utilizados os valores característicos das ações para a obtenção dos deslocamentos, nos casos de análises elásticas de estruturas usuais. Destacou-se, ainda, o uso do \mathbf{g}_z como coeficiente majorador dos efeitos de primeira ordem, o que representa uma grande vantagem em relação ao \mathbf{a} .

Quanto à segunda questão, relacionada à determinação dos efeitos de segunda ordem, comentou-se tanto sua importância para estruturas de nós móveis quanto a necessidade do emprego de métodos mais rigorosos, considerando a Não-Linearidade Geométrica, nos casos em que a majoração por \mathbf{g}_z não se aplica. Para estas situações, estudou-se um processo que realiza sucessivas iterações até a posição final de equilíbrio, o **P-D**, com a consideração da NLF de maneira simplificada, salientando-se que os resultados obtidos têm aproximações muito boas para os casos de edifícios convencionais.

Chamou-se atenção, ainda, para a necessidade da verificação da estabilidade local independentemente da análise global, uma vez que pode haver perda de estabilidade de algum pilar isolado mesmo em uma estrutura classificada como de nós fixos.

De uma maneira geral, o que se percebe é que a NBR 6118 (2000) introduz a avaliação da estabilidade global de maneira bem detalhada, principalmente considerando-se que este assunto não era abordado pela NBR 6118 (1978). E com base em todo o estudo desenvolvido, observou-se que realmente existem várias alternativas para se realizar essa verificação, mas a maior conveniência de um ou outro método, inclusive a opção, no casos de estruturas de nós móveis, por uma análise de segunda ordem ou pelo enrijecimento da estrutura, varia de acordo com a situação.

4.2.1. COMPLEMENTAÇÕES E COMENTÁRIOS

Estudando-se as recomendações da NBR 6118 (2000) para a verificação da estabilidade global, puderam ser feitas algumas sugestões.

Na determinação do módulo de rigidez equivalente, comentou-se que a utilização do “carregamento horizontal característico” pode ser bastante trabalhosa, uma vez que não é possível se obter uma forma geral para a equação da linha elástica. Frente às simplificações inerentes ao próprio conceito de rigidez equivalente, sugeriu-se a introdução de um comentário na versão definitiva da NBR 6118 permitindo a consideração do “carregamento horizontal característico” como uma força unitária uniformemente distribuída ao longo da altura da edificação, o que resultaria na seguinte equação de $(EI)_{eq}$:

$$(EI)_{eq} = \frac{q \cdot H^4}{8 \cdot a}$$

Quanto à expressão do g_z apresentada na NBR 6118 (2000), observou-se que ela pode conduzir a resultados contra a segurança no caso de estruturas assimétricas com grandes excentricidades. Já para estruturas mais simétricas, cujas excentricidades sejam pequenas ou nulas, percebeu-se que os resultados estão bastante próximos daqueles fornecidos pela expressão original, como indicado no exemplo do item 3.10. Podendo a determinação do termo a_v tornar-se trabalhosa e sendo a utilização do g_z um processo simplificado, considerou-se mais conveniente a adoção deste coeficiente com sua expressão original já bastante estudada,

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

limitando-se seu uso a estruturas regulares e sem grandes assimetrias. Para os casos em que a excentricidade acarreta deslocamentos horizontais relevantes em relação à posição inicial da estrutura, mesmo ela estando submetida apenas a ações verticais, propôs-se o uso de um processo mais rigoroso, que considere a NLG.

Quanto ao g_z como majorador, notou-se que a recomendação da NBR 6118 (2000) para se aplicar $0,95g_z$ não conduz a bons resultados. É claro que a variação dos efeitos de segunda ordem com a altura é bastante significativa, e difícil de ser considerada por uma constante, mas tanto em termos de acréscimos médios quanto em termos de acréscimos ao longo da altura da edificação, $0,95g_z$ forneceu uma subestimativa razoável dos esforços finais, principalmente nos pavimentos inferiores. A majoração com g_z , por outro lado, mostrou-se bastante satisfatória e mais eficiente que aquela feita com $0,95g_z$, como foi

observado pela figura 3.8, referente ao exemplo do item 3.10. Sugeriu-se, então a adoção do g_z com seu valor integral.

Quanto ao limite para o uso do g_z como majorador, ressaltou-se que o valor de **1,2** está mais compatível que o **1,3** indicado pela NBR 6118 (2000).

Mencionou-se ainda a importância de ser introduzido um comentário sobre a preferência à utilização do g_z em relação ao α , já que este parâmetro pode conduzir a resultados bastante conservadores.

Finalmente, chamou-se atenção para dois aspectos relacionados à redução da rigidez para a consideração da NLF. O primeiro foi a possibilidade de estar um pouco baixo o valor **0,4 EI** apontado pela NBR 6118 (2000) para a redução da rigidez de vigas em que $A'_s \neq A_s$. Com base no estudo de PINTO (1997), sugeriu-se a análise do valor de **0,5 EI**. E o segundo foi a observação de que o uso de um valor único de **0,7 EI**, tanto para vigas quanto para pilares, como permite a NBR 6118 (2000), pode levar à obtenção de deslocamentos menores que os reais. Como essa recomendação, num caso extremo, pode até levar à classificação de uma estrutura de nós móveis como fixos, propôs-se uma reavaliação desse valor de **0,7 EI**.

4.2.2. SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Uma das sugestões para novas pesquisas diz respeito à consideração simplificada da NLF em vigas, já que o valor da redução da rigidez não parece estar completamente definido. Sabe-se que há variações entre os casos com armaduras simples e duplas, e a depender das condições de apoio. Propõe-se um estudo experimental para analisar a influência de cada um desses fatores, indicando se o valor de **0,4 EI** é realmente conservador e quais os casos em que realmente se pode adotar **0,5 EI**.

Outra sugestão está relacionada à questão do limite para o uso do g_z como majorador, que ainda precisa ser melhor definida. Apesar dos estudos de LIMA & GUARDA (2000) e de PINTO (1997) apontarem o valor de **1,2**, recomenda-se que seja feita uma análise específica desse problema, tomando-se uma maior quantidade de edifícios, mais flexíveis e mais altos.

Por fim, sugere-se o estudo de uma expressão para a variação do coeficiente g_z com a altura da edificação, ou, pelo menos, uma variação por faixas de altura. Isso permitiria um certo refinamento da majoração dos esforços de primeira ordem, sem implicar maiores dificuldades de análise.

4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização de lajes lisas e estruturas mais esbeltas, as análises dos problemas da punção e da estabilidade global vêm se tornando ainda mais importantes. Para esses dois aspectos, a NBR 6118 (2000) apresenta melhorias significativas em relação à NBR 6118 (1978).

Quanto à punção, o que se observa é que a verificação está um pouco mais complicada e conduz a uma maior área de armadura de cisalhamento. Inclusive, considera-se importante a introdução de algumas simplificações, mas também de algumas complementações, como aquelas que foram propostas neste trabalho. De uma forma geral, entretanto, deve-se ter em mente que a análise está bem mais detalhada e eficiente, possibilitando o desenvolvimento de um projeto melhor.

Quanto à estabilidade global, como sua verificação tornou-se obrigatória, percebe-se que a análise estrutural ficará um pouco mais trabalhosa, principalmente nos casos de estruturas de nós móveis. Apesar de todo o procedimento estar bem detalhado, também se julga importante a introdução de algumas modificações como aquelas propostas neste trabalho. E como a desconsideração dos efeitos de segunda ordem pode implicar uma subestimativa dos esforços solicitantes, e sua consideração desnecessária, uma superestimativa, deve-se atentar para a forma de utilização das novas recomendações, garantindo-se resultados compatíveis com a segurança desejada.

Enfim, acredita-se que as verificações da punção e da estabilidade global estejam realmente melhor elaboradas, mas apenas conhecendo-se as limitações dos métodos empregados e a confiabilidade dos resultados obtidos é que se pode adequá-las às complexidades de cada situação em estudo.

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE h_{wp}

Para a determinação dos valores de h_{wp} , foram resolvidos diversos exemplos com as seguintes características:

- altura útil da laje entre 12 e 22 cm;
- menor dimensão da seção do pilar entre 20 e 30 cm;
- maior dimensão da seção do pilar até 5 vezes a outra;
- distância da última linha de armaduras à face do pilar de pelo menos 2d.

Os 360 exemplos por situação de cálculo foram divididos em função da direção da excentricidade em relação aos lados do pilar, sendo 186 para $c_1 \leq c_2$ e 174 para $c_1 > c_2$. Assim, foram estudados os seguintes casos:

- pilares internos, com $c_1 \leq c_2$ (Tabela A.3);
- pilares internos, com $c_1 > c_2$ (Tabela A.4);
- pilares de borda, com $c_1 \leq c_2$ (Tabela A.5);
- pilares de borda, com $c_1 > c_2$ (Tabela A.6);
- pilares de canto, com $c_1 \leq c_2$ (Tabela A.7);
- pilares de canto, com $c_1 > c_2$ (Tabela A.8).

Em cada um deles, foram calculados a média e o desvio padrão de h_{wp} . Entretanto, para que valores mais representativos fossem obtidos e suas probabilidades de ocorrência fossem conhecidas, estudou-se a possibilidade de se admitir h_{wp} como uma variável de distribuição normal. Essa verificação foi feita utilizando-se o chamado *Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test*, no qual são comparadas as freqüências relativas acumuladas de cada valor de h_{wp} em ordem crescente, com o da função de distribuição esperada. Se as diferenças forem maiores que o limite do nível de significância desejado, a hipótese é rejeitada. As curvas obtidas para cada caso encontram-se na Figura A.1 e na Figura A.2, nas quais:

$s(x)$ - função da freqüência acumulada obtida;

$f(x)$ - função da distribuição teórica proposta;

n - posição do valor da variável, considerando-se sua ordem crescente.

Observa-se que, em todas as situações, a distribuição pode ser realmente considerada como normal, com o nível de significância de 1%. E, portanto, tomando-se o quantil de 10%, pode-se escrever:

$$\eta_{wp} = \bar{\eta}_{wp} - 1,28 \cdot \delta$$

sendo:

$\bar{\eta}_{wp}$ - valor médio dos h_{wp} ;

d - desvio padrão.

Os valores obtidos dessa forma encontram-se na Tabela A.1. Aproximando-se esses resultados, podem ser sugeridos os valores da Tabela A.2.

Tabela A.1 - Valores de h_{wp} para o quantil de 10%

<i>Situação de Cálculo</i>	$c_1 \leq c_2$	$c_1 > c_2$
<i>Pilar interno (W_p')</i>	1,59	1,36
<i>Pilar de borda (W_{p1}')</i>	1,55	1,08
<i>Pilar de borda (W_{p2}')</i>	1,29	1,29
<i>Pilar de canto (W_{p1}')</i>	1,28	1,06

Tabela A.2 - Valores de h_{wp} sugeridos e suas probabilidades de ocorrência

Situação de Cálculo	$c_1 \leq c_2$	$c_1 > c_2$
<i>Pilar interno (W_p')</i>	1,6 (87%)	1,3 (97%)
<i>Pilar de borda (W_{p1}')</i>	1,5 (99%)	1,1 (88%)
<i>Pilar de borda (W_{p2}')</i>	1,3 (89%)	1,3 (89%)
<i>Pilar de canto (W_{p1}')</i>	1,3 (87%)	1,1 (87%)

Tabela A.3 - Valores de h_{wp} para pilares internos com $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	u	u'	wp	wp'	u'/u	wp'/wp	η_{wp}
20	20	12	25	231	388	5372	15243	1,68	2,84	1,69
20	30	12	25	251	408	6052	16423	1,63	2,71	1,67
20	40	12	25	271	428	6732	17603	1,58	2,61	1,65
20	50	12	25	291	448	7412	18783	1,54	2,53	1,65
20	60	12	25	311	468	8092	19963	1,51	2,47	1,64
20	70	12	25	331	488	8772	21143	1,47	2,41	1,63
20	80	12	25	351	508	9452	22323	1,45	2,36	1,63
20	90	12	25	371	528	10132	23503	1,42	2,32	1,63
20	100	12	25	391	548	10812	24683	1,40	2,28	1,63
20	20	14	29	256	438	6615	19457	1,71	2,94	1,72
20	30	14	29	276	458	7375	20797	1,66	2,82	1,70
20	40	14	29	296	478	8135	22137	1,62	2,72	1,68
20	50	14	29	316	498	8895	23477	1,58	2,64	1,67
20	60	14	29	336	518	9655	24817	1,54	2,57	1,67
20	70	14	29	356	538	10415	26157	1,51	2,51	1,66
20	80	14	29	376	558	11175	27497	1,48	2,46	1,66
20	90	14	29	396	578	11935	28837	1,46	2,42	1,65
20	100	14	29	416	598	12695	30177	1,44	2,38	1,65
20	20	16	33	281	488	7987	24184	1,74	3,03	1,74
20	30	16	33	301	508	8827	25684	1,69	2,91	1,72
20	40	16	33	321	528	9667	27184	1,65	2,81	1,71
20	50	16	33	341	548	10507	28684	1,61	2,73	1,70
20	60	16	33	361	568	11347	30184	1,57	2,66	1,69
20	70	16	33	381	588	12187	31684	1,54	2,60	1,68
20	80	16	33	401	608	13027	33184	1,52	2,55	1,68
20	90	16	33	421	628	13867	34684	1,49	2,50	1,68
20	100	16	33	441	648	14707	36184	1,47	2,46	1,67
20	20	18	38	306	545	9486	30114	1,78	3,17	1,78
20	30	18	38	326	565	10406	31794	1,73	3,06	1,76
20	40	18	38	346	585	11326	33474	1,69	2,96	1,75
20	50	18	38	366	605	12246	35154	1,65	2,87	1,74
20	60	18	38	386	625	13166	36834	1,62	2,80	1,73
20	70	18	38	406	645	14086	38514	1,59	2,73	1,72
20	80	18	38	426	665	15006	40194	1,56	2,68	1,72
20	90	18	38	446	685	15926	41874	1,54	2,63	1,71
20	100	18	38	466	705	16846	43554	1,51	2,59	1,71
20	20	20	40	331	583	11113	34427	1,76	3,10	1,76
20	30	20	40	351	603	12113	36227	1,72	2,99	1,74
20	40	20	40	371	623	13113	38027	1,68	2,90	1,73
20	50	20	40	391	643	14113	39827	1,64	2,82	1,72
20	60	20	40	411	663	15113	41627	1,61	2,75	1,71

c1	c2	d	p	u	u'	wp	wp'	u'/u	wp'/wp	η_{wp}
20	70	20	40	431	683	16113	43427	1,58	2,70	1,70
20	80	20	40	451	703	17113	45227	1,56	2,64	1,70
20	90	20	40	471	723	18113	47027	1,53	2,60	1,69
20	100	20	40	491	743	19113	48827	1,51	2,55	1,69
20	20	22	45	356	639	12869	41436	1,79	3,22	1,80
20	30	22	45	376	659	13949	43416	1,75	3,11	1,78
20	40	22	45	396	679	15029	45396	1,71	3,02	1,76
20	50	22	45	416	699	16109	47376	1,68	2,94	1,75
20	60	22	45	436	719	17189	49356	1,65	2,87	1,74
20	70	22	45	456	739	18269	51336	1,62	2,81	1,74
20	80	22	45	476	759	19349	53316	1,59	2,76	1,73
20	90	22	45	496	779	20429	55296	1,57	2,71	1,72
20	100	22	45	516	799	21509	57276	1,55	2,66	1,72
25	40	12	25	281	438	7421	18685	1,56	2,52	1,61
25	50	12	25	301	458	8151	19915	1,52	2,44	1,60
25	60	12	25	321	478	8881	21145	1,49	2,38	1,60
25	75	12	25	351	508	9976	22990	1,45	2,30	1,59
25	80	12	25	361	518	10341	23605	1,44	2,28	1,59
25	90	12	25	381	538	11071	24835	1,41	2,24	1,59
25	100	12	25	401	558	11801	26065	1,39	2,21	1,59
25	110	12	25	421	578	12531	27295	1,37	2,18	1,59
25	125	12	25	451	608	13626	29140	1,35	2,14	1,59
25	40	14	29	306	488	8888	23345	1,60	2,63	1,65
25	50	14	29	326	508	9698	24735	1,56	2,55	1,64
25	60	14	29	346	528	10508	26125	1,53	2,49	1,63
25	75	14	29	376	558	11723	28210	1,48	2,41	1,62
25	80	14	29	386	568	12128	28905	1,47	2,38	1,62
25	90	14	29	406	588	12938	30295	1,45	2,34	1,62
25	100	14	29	426	608	13748	31685	1,43	2,30	1,61
25	110	14	29	446	628	14558	33075	1,41	2,27	1,61
25	125	14	29	476	658	15773	35160	1,38	2,23	1,61
25	40	16	33	331	538	10482	28518	1,63	2,72	1,67
25	50	16	33	351	558	11372	30068	1,59	2,64	1,66
25	60	16	33	371	578	12262	31618	1,56	2,58	1,65
25	75	16	33	401	608	13597	33943	1,52	2,50	1,65
25	80	16	33	411	618	14042	34718	1,50	2,47	1,64
25	90	16	33	431	638	14932	36268	1,48	2,43	1,64
25	100	16	33	451	658	15822	37818	1,46	2,39	1,64
25	110	16	33	471	678	16712	39368	1,44	2,36	1,64
25	125	16	33	501	708	18047	41693	1,41	2,31	1,63
25	40	18	38	356	595	12204	34948	1,67	2,86	1,71
25	50	18	38	376	615	13174	36678	1,63	2,78	1,70
25	60	18	38	396	635	14144	38408	1,60	2,72	1,69
25	75	18	38	426	665	15599	41003	1,56	2,63	1,68
25	80	18	38	436	675	16084	41868	1,55	2,60	1,68
25	90	18	38	456	695	17054	43598	1,52	2,56	1,68
25	100	18	38	476	715	18024	45328	1,50	2,51	1,68
25	110	18	38	496	735	18994	47058	1,48	2,48	1,67
25	125	18	38	526	765	20449	49653	1,45	2,43	1,67
25	40	20	40	381	633	14054	39596	1,66	2,82	1,70
25	50	20	40	401	653	15104	41446	1,63	2,74	1,69
25	60	20	40	421	673	16154	43296	1,60	2,68	1,68
25	75	20	40	451	703	17729	46071	1,56	2,60	1,67
25	80	20	40	461	713	18254	46996	1,54	2,57	1,67
25	90	20	40	481	733	19304	48846	1,52	2,53	1,66

c1	c2	d	p	u	u'	wp	wp'	u'/u	wp'/wp	η_{wp}
25	100	20	40	501	753	20354	50696	1,50	2,49	1,66
25	110	20	40	521	773	21404	52546	1,48	2,45	1,66
25	125	20	40	551	803	22979	55321	1,46	2,41	1,65
25	40	22	45	406	689	16032	47107	1,70	2,94	1,73
25	50	22	45	426	709	17162	49137	1,66	2,86	1,72
25	60	22	45	446	729	18292	51167	1,63	2,80	1,71
25	75	22	45	476	759	19987	54212	1,59	2,71	1,70
25	80	22	45	486	769	20552	55227	1,58	2,69	1,70
25	90	22	45	506	789	21682	57257	1,56	2,64	1,69
25	100	22	45	526	809	22812	59287	1,54	2,60	1,69
25	110	22	45	546	829	23942	61317	1,52	2,56	1,69
25	125	22	45	576	859	25637	64362	1,49	2,51	1,68
30	30	12	25	271	428	7356	18512	1,58	2,52	1,59
30	40	12	25	291	448	8136	19792	1,54	2,43	1,58
30	50	12	25	311	468	8916	21072	1,51	2,36	1,57
30	60	12	25	331	488	9696	22352	1,47	2,31	1,56
30	70	12	25	351	508	10476	23632	1,45	2,26	1,56
30	80	12	25	371	528	11256	24912	1,42	2,21	1,55
30	90	12	25	391	548	12036	26192	1,40	2,18	1,55
30	100	12	25	411	568	12816	27472	1,38	2,14	1,55
30	110	12	25	431	588	13596	28752	1,36	2,11	1,55
30	120	12	25	451	608	14376	30032	1,35	2,09	1,55
30	130	12	25	471	628	15156	31312	1,33	2,07	1,55
30	140	12	25	491	648	15936	32592	1,32	2,05	1,55
30	150	12	25	511	668	16716	33872	1,31	2,03	1,55
30	30	14	29	296	478	8805	23138	1,62	2,63	1,63
30	40	14	29	316	498	9665	24578	1,58	2,54	1,61
30	50	14	29	336	518	10525	26018	1,54	2,47	1,60
30	60	14	29	356	538	11385	27458	1,51	2,41	1,60
30	70	14	29	376	558	12245	28898	1,48	2,36	1,59
30	80	14	29	396	578	13105	30338	1,46	2,32	1,59
30	90	14	29	416	598	13965	31778	1,44	2,28	1,58
30	100	14	29	436	618	14825	33218	1,42	2,24	1,58
30	110	14	29	456	638	15685	34658	1,40	2,21	1,58
30	120	14	29	476	658	16545	36098	1,38	2,18	1,58
30	130	14	29	496	678	17405	37538	1,37	2,16	1,58
30	140	14	29	516	698	18265	38978	1,35	2,13	1,58
30	150	14	29	536	718	19125	40418	1,34	2,11	1,58
30	30	16	33	321	528	10382	28276	1,65	2,72	1,65
30	40	16	33	341	548	11322	29876	1,61	2,64	1,64
30	50	16	33	361	568	12262	31476	1,57	2,57	1,63
30	60	16	33	381	588	13202	33076	1,54	2,51	1,62
30	70	16	33	401	608	14142	34676	1,52	2,45	1,62
30	80	16	33	421	628	15082	36276	1,49	2,41	1,61
30	90	16	33	441	648	16022	37876	1,47	2,36	1,61
30	100	16	33	461	668	16962	39476	1,45	2,33	1,61
30	110	16	33	481	688	17902	41076	1,43	2,29	1,60
30	120	16	33	501	708	18842	42676	1,41	2,26	1,60
30	130	16	33	521	728	19782	44276	1,40	2,24	1,60
30	140	16	33	541	748	20722	45876	1,38	2,21	1,60
30	150	16	33	561	768	21662	47476	1,37	2,19	1,60
30	30	18	38	346	585	12087	34668	1,69	2,87	1,70
30	40	18	38	366	605	13107	36448	1,65	2,78	1,68
30	50	18	38	386	625	14127	38228	1,62	2,71	1,67
30	60	18	38	406	645	15147	40008	1,59	2,64	1,66

c1	c2	d	p	u	u'	wp	wp'	u'/u	wp/wp'	η_{wp}
30	70	18	38	426	665	16167	41788	1,56	2,58	1,66
30	80	18	38	446	685	17187	43568	1,54	2,53	1,65
30	90	18	38	466	705	18207	45348	1,51	2,49	1,65
30	100	18	38	486	725	19227	47128	1,49	2,45	1,64
30	110	18	38	506	745	20247	48908	1,47	2,42	1,64
30	120	18	38	526	765	21267	50688	1,45	2,38	1,64
30	130	18	38	546	785	22287	52468	1,44	2,35	1,64
30	140	18	38	566	805	23307	54248	1,42	2,33	1,64
30	150	18	38	586	825	24327	56028	1,41	2,30	1,64
30	30	20	40	371	623	13920	39290	1,68	2,82	1,68
30	40	20	40	391	643	15020	41190	1,64	2,74	1,67
30	50	20	40	411	663	16120	43090	1,61	2,67	1,66
30	60	20	40	431	683	17220	44990	1,58	2,61	1,65
30	70	20	40	451	703	18320	46890	1,56	2,56	1,64
30	80	20	40	471	723	19420	48790	1,53	2,51	1,64
30	90	20	40	491	743	20520	50690	1,51	2,47	1,63
30	100	20	40	511	763	21620	52590	1,49	2,43	1,63
30	110	20	40	531	783	22720	54490	1,47	2,40	1,63
30	120	20	40	551	803	23820	56390	1,46	2,37	1,63
30	130	20	40	571	823	24920	58290	1,44	2,34	1,62
30	140	20	40	591	843	26020	60190	1,43	2,31	1,62
30	150	20	40	611	863	27120	62090	1,41	2,29	1,62
30	30	22	45	396	679	15881	46762	1,71	2,94	1,72
30	40	22	45	416	699	17061	48842	1,68	2,86	1,71
30	50	22	45	436	719	18241	50922	1,65	2,79	1,69
30	60	22	45	456	739	19421	53002	1,62	2,73	1,69
30	70	22	45	476	759	20601	55082	1,59	2,67	1,68
30	80	22	45	496	779	21781	57162	1,57	2,62	1,67
30	90	22	45	516	799	22961	59242	1,55	2,58	1,67
30	100	22	45	536	819	24141	61322	1,53	2,54	1,66
30	110	22	45	556	839	25321	63402	1,51	2,50	1,66
30	120	22	45	576	859	26501	65482	1,49	2,47	1,66
30	130	22	45	596	879	27681	67562	1,47	2,44	1,66
30	140	22	45	616	899	28861	69642	1,46	2,41	1,65
30	150	22	45	636	919	30041	71722	1,44	2,39	1,65
média										1,65
desvio										0,0535

Tabela A.4 - Valores de h_{wp} para pilares internos com $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	u	u'	wp	wp'	u'/u	wp/wp'	η_{wp}
30	20	12	25	251	408	6576	17232	1,63	2,62	1,61
30	20	14	29	276	458	7945	21698	1,66	2,73	1,64
30	20	16	33	301	508	9442	26676	1,69	2,83	1,67
30	20	18	38	326	565	11067	32888	1,73	2,97	1,72
30	20	20	40	351	603	12820	37390	1,72	2,92	1,70
30	20	22	45	376	659	14701	44682	1,75	3,04	1,74
40	20	12	25	271	428	7880	19322	1,58	2,45	1,55
40	25	12	25	281	438	8320	20012	1,56	2,41	1,54
40	30	12	25	291	448	8760	20702	1,54	2,36	1,53
40	20	14	29	296	478	9375	24039	1,62	2,56	1,59
40	25	14	29	306	488	9855	24809	1,60	2,52	1,58
40	30	14	29	316	498	10335	25579	1,58	2,48	1,57

c1	c2	d	p	u	u'	wp	wp'	u'/u	wp'/wp	η_{wp}
40	20	16	33	321	528	10997	29268	1,65	2,66	1,62
40	25	16	33	331	538	11517	30118	1,63	2,62	1,61
40	30	16	33	341	548	12037	30968	1,61	2,57	1,60
40	20	18	38	346	585	12748	35763	1,69	2,81	1,66
40	25	18	38	356	595	13308	36703	1,67	2,76	1,65
40	30	18	38	366	605	13868	37643	1,65	2,71	1,64
40	20	20	40	371	623	14627	40453	1,68	2,77	1,65
40	25	20	40	381	633	15227	41453	1,66	2,72	1,64
40	30	20	40	391	643	15827	42453	1,64	2,68	1,63
40	20	22	45	396	679	16633	48028	1,71	2,89	1,69
40	25	22	45	406	689	17273	49118	1,70	2,84	1,68
40	30	22	45	416	699	17913	50208	1,68	2,80	1,67
50	20	12	25	291	448	9284	21511	1,54	2,32	1,50
50	25	12	25	301	458	9774	22251	1,52	2,28	1,50
50	30	12	25	311	468	10264	22991	1,51	2,24	1,49
50	20	14	29	316	498	10904	26480	1,58	2,43	1,54
50	25	14	29	326	508	11434	27300	1,56	2,39	1,53
50	30	14	29	336	518	11964	28120	1,54	2,35	1,52
50	20	16	33	341	548	12653	31960	1,61	2,53	1,57
50	25	16	33	351	558	13223	32860	1,59	2,49	1,56
50	30	16	33	361	568	13793	33760	1,57	2,45	1,55
50	20	18	38	366	605	14529	38738	1,65	2,67	1,61
50	25	18	38	376	615	15139	39728	1,63	2,62	1,61
50	30	18	38	386	625	15749	40718	1,62	2,59	1,60
50	20	20	40	391	643	16533	43616	1,64	2,64	1,61
50	25	20	40	401	653	17183	44666	1,63	2,60	1,60
50	30	20	40	411	663	17833	45716	1,61	2,56	1,59
50	20	22	45	416	699	18666	51474	1,68	2,76	1,64
50	25	22	45	426	709	19356	52614	1,66	2,72	1,63
50	30	22	45	436	719	20046	53754	1,65	2,68	1,63
60	20	12	25	311	468	10788	23800	1,51	2,21	1,47
60	25	12	25	321	478	11328	24590	1,49	2,17	1,46
60	30	12	25	331	488	11868	25380	1,47	2,14	1,45
60	20	14	29	336	518	12534	29020	1,54	2,32	1,50
60	25	14	29	346	528	13114	29890	1,53	2,28	1,49
60	30	14	29	356	538	13694	30760	1,51	2,25	1,49
60	20	16	33	361	568	14408	34752	1,57	2,41	1,53
60	25	16	33	371	578	15028	35702	1,56	2,38	1,52
60	30	16	33	381	588	15648	36652	1,54	2,34	1,52
60	20	18	38	386	625	16410	41813	1,62	2,55	1,57
60	25	18	38	396	635	17070	42853	1,60	2,51	1,57
60	30	18	38	406	645	17730	43893	1,59	2,48	1,56
60	20	20	40	411	663	18540	46880	1,61	2,53	1,57
60	25	20	40	421	673	19240	47980	1,60	2,49	1,56
60	30	20	40	431	683	19940	49080	1,58	2,46	1,56
60	20	22	45	436	719	20798	55020	1,65	2,65	1,61
60	25	22	45	446	729	21538	56210	1,63	2,61	1,60
60	30	22	45	456	739	22278	57400	1,62	2,58	1,59
70	20	12	25	331	488	12392	26190	1,47	2,11	1,43
70	30	12	25	351	508	13572	27870	1,45	2,05	1,42
70	20	14	29	356	538	14264	31661	1,51	2,22	1,47
70	30	14	29	376	558	15524	33501	1,48	2,16	1,45
70	20	16	33	381	588	16263	37644	1,54	2,31	1,50
70	30	16	33	401	608	17603	39644	1,52	2,25	1,48
70	20	18	38	406	645	18391	44987	1,59	2,45	1,54

c1	c2	d	p	u	u'	wp	wp'	u'/u	wp'/wp	η_{wp}
70	30	18	38	426	665	19811	47167	1,56	2,38	1,53
70	20	20	40	431	683	20646	50243	1,58	2,43	1,54
70	30	20	40	451	703	22146	52543	1,56	2,37	1,52
70	20	22	45	456	739	23030	58666	1,62	2,55	1,57
70	30	22	45	476	759	24610	61146	1,59	2,48	1,56
75	25	12	25	351	508	13846	28287	1,45	2,04	1,41
75	25	14	29	376	558	15821	33964	1,48	2,15	1,45
75	25	16	33	401	608	17923	40153	1,52	2,24	1,48
75	25	18	38	426	665	20154	47727	1,56	2,37	1,52
75	25	20	40	451	703	22512	53137	1,56	2,36	1,52
75	25	22	45	476	759	24999	61792	1,59	2,47	1,55
80	20	12	25	351	508	14096	28679	1,45	2,03	1,41
80	25	12	25	361	518	14736	29569	1,44	2,01	1,40
80	30	12	25	371	528	15376	30459	1,42	1,98	1,39
80	20	14	29	376	558	16093	34402	1,48	2,14	1,44
80	25	14	29	386	568	16773	35372	1,47	2,11	1,43
80	30	14	29	396	578	17453	36342	1,46	2,08	1,43
80	20	16	33	401	608	18218	40636	1,52	2,23	1,47
80	25	16	33	411	618	18938	41686	1,50	2,20	1,46
80	30	16	33	421	628	19658	42736	1,49	2,17	1,46
80	20	18	38	426	665	20472	48262	1,56	2,36	1,51
80	25	18	38	436	675	21232	49402	1,55	2,33	1,50
80	30	18	38	446	685	21992	50542	1,54	2,30	1,50
80	20	20	40	451	703	22853	53706	1,56	2,35	1,51
80	25	20	40	461	713	23653	54906	1,54	2,32	1,50
80	30	20	40	471	723	24453	56106	1,53	2,29	1,50
80	20	22	45	476	759	25362	62412	1,59	2,46	1,54
80	25	22	45	486	769	26202	63702	1,58	2,43	1,54
80	30	22	45	496	779	27042	64992	1,57	2,40	1,53
90	20	12	25	371	528	15900	31268	1,42	1,97	1,38
90	25	12	25	381	538	16590	32208	1,41	1,94	1,37
90	30	12	25	391	548	17280	33148	1,40	1,92	1,37
90	20	14	29	396	578	18023	37242	1,46	2,07	1,42
90	25	14	29	406	588	18753	38262	1,45	2,04	1,41
90	30	14	29	416	598	19483	39282	1,44	2,02	1,40
90	20	16	33	421	628	20274	43728	1,49	2,16	1,45
90	25	16	33	431	638	21044	44828	1,48	2,13	1,44
90	30	16	33	441	648	21814	45928	1,47	2,11	1,43
90	20	18	38	446	685	22653	51637	1,54	2,28	1,48
90	25	18	38	456	695	23463	52827	1,52	2,25	1,48
90	30	18	38	466	705	24273	54017	1,51	2,23	1,47
90	20	20	40	471	723	25160	57270	1,53	2,28	1,48
90	25	20	40	481	733	26010	58520	1,52	2,25	1,48
90	30	20	40	491	743	26860	59770	1,51	2,23	1,47
90	20	22	45	496	779	27795	66258	1,57	2,38	1,52
90	25	22	45	506	789	28685	67598	1,56	2,36	1,51
90	30	22	45	516	799	29575	68938	1,55	2,33	1,51
100	20	12	25	391	548	17804	33958	1,40	1,91	1,36
100	25	12	25	401	558	18544	34948	1,39	1,88	1,35
100	30	12	25	411	568	19284	35938	1,38	1,86	1,35
100	20	14	29	416	598	20052	40183	1,44	2,00	1,39
100	25	14	29	426	608	20832	41253	1,43	1,98	1,39
100	30	14	29	436	618	21612	42323	1,42	1,96	1,38
100	20	16	33	441	648	22429	46920	1,47	2,09	1,42
100	25	16	33	451	658	23249	48070	1,46	2,07	1,42

c1	c2	d	p	u	u'	wp	wp'	u'/u	wp'/wp	η_{wp}
100	30	16	33	461	668	24069	49220	1,45	2,04	1,41
100	20	18	38	466	705	24934	55112	1,51	2,21	1,46
100	25	18	38	476	715	25794	56352	1,50	2,18	1,46
100	30	18	38	486	725	26654	57592	1,49	2,16	1,45
100	20	20	40	491	743	27566	60933	1,51	2,21	1,46
100	25	20	40	501	753	28466	62233	1,50	2,19	1,46
100	30	20	40	511	763	29366	63533	1,49	2,16	1,45
100	20	22	45	516	799	30327	70204	1,55	2,31	1,50
100	25	22	45	526	809	31267	71594	1,54	2,29	1,49
100	30	22	45	536	819	32207	72984	1,53	2,27	1,48
110	25	12	25	421	578	20598	37787	1,37	1,83	1,34
110	30	12	25	431	588	21388	38827	1,36	1,82	1,33
110	25	14	29	446	628	23012	44344	1,41	1,93	1,37
110	30	14	29	456	638	23842	45464	1,40	1,91	1,36
110	25	16	33	471	678	25554	51412	1,44	2,01	1,40
110	30	16	33	481	688	26424	52612	1,43	1,99	1,39
110	25	18	38	496	735	28225	59977	1,48	2,12	1,43
110	30	18	38	506	745	29135	61267	1,47	2,10	1,43
110	25	20	40	521	773	31023	66046	1,48	2,13	1,44
110	30	20	40	531	783	31973	67396	1,47	2,11	1,43
110	25	22	45	546	829	33949	75690	1,52	2,23	1,47
110	30	22	45	556	839	34939	77130	1,51	2,21	1,46
120	30	12	25	451	608	23592	41817	1,35	1,77	1,31
120	30	14	29	476	658	26172	48705	1,38	1,86	1,35
120	30	16	33	501	708	28880	56104	1,41	1,94	1,37
120	30	18	38	526	765	31716	65041	1,45	2,05	1,41
120	30	20	40	551	803	34680	71359	1,46	2,06	1,41
120	30	22	45	576	859	37772	81376	1,49	2,15	1,45
125	25	12	25	451	608	23866	42234	1,35	1,77	1,31
125	25	14	29	476	658	26469	49167	1,38	1,86	1,34
125	25	16	33	501	708	29200	56613	1,41	1,94	1,37
125	25	18	38	526	765	32059	65601	1,45	2,05	1,41
125	25	20	40	551	803	35046	71954	1,46	2,05	1,41
125	25	22	45	576	859	38160	82022	1,49	2,15	1,44
130	30	12	25	471	628	25896	44906	1,33	1,73	1,30
130	30	14	29	496	678	28601	52045	1,37	1,82	1,33
130	30	16	33	521	728	31435	59697	1,40	1,90	1,36
130	30	18	38	546	785	34397	68916	1,44	2,00	1,39
130	30	20	40	571	823	37486	75423	1,44	2,01	1,40
130	30	22	45	596	879	40704	85722	1,47	2,11	1,43
140	30	12	25	491	648	28300	48095	1,32	1,70	1,29
140	30	14	29	516	698	31131	55486	1,35	1,78	1,32
140	30	16	33	541	748	34090	63389	1,38	1,86	1,34
140	30	18	38	566	805	37178	72891	1,42	1,96	1,38
140	30	20	40	591	843	40393	79586	1,43	1,97	1,38
140	30	22	45	616	899	43736	90168	1,46	2,06	1,41
150	30	12	25	511	668	30804	51385	1,31	1,67	1,28
150	30	14	29	536	718	33761	59027	1,34	1,75	1,30
150	30	16	33	561	768	36846	67181	1,37	1,82	1,33
150	30	18	38	586	825	40059	76966	1,41	1,92	1,37
150	30	20	40	611	863	43400	83849	1,41	1,93	1,37
150	30	22	45	636	919	46869	94714	1,44	2,02	1,40
									média	1,48
									desvio	0,0989

Tabela A.5 - Valores de h_{wp} para pilares de borda com $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	a	u*	u*	wp1	wp1'	wp2	wp2'	u*/u*	wp1/wp1	wp2/wp2	$\eta_{wp}(wp1)$	$\eta_{wp}(wp2)$
20	20	12	25	10	115	194	2786	7721	3366	8801	1,68	2,77	2,61	1,65	1,56
20	30	12	25	10	125	204	3126	8311	4068	9896	1,63	2,66	2,43	1,63	1,50
20	40	12	25	10	135	214	3466	8901	4820	11041	1,58	2,57	2,29	1,63	1,45
20	50	12	25	10	145	224	3806	9491	5622	12235	1,54	2,49	2,18	1,62	1,41
20	60	12	25	10	155	234	4146	10081	6474	13480	1,51	2,43	2,08	1,62	1,38
20	70	12	25	10	165	244	4486	10671	7376	14775	1,47	2,38	2,00	1,61	1,36
20	80	12	25	10	175	254	4826	11261	8328	16120	1,45	2,33	1,94	1,61	1,34
20	90	12	25	10	185	264	5166	11851	9330	17514	1,42	2,29	1,88	1,61	1,32
20	100	12	25	10	195	274	5506	12441	10382	18959	1,40	2,26	1,83	1,61	1,30
20	20	14	29	10	128	219	3408	9829	4068	11069	1,71	2,88	2,72	1,68	1,59
20	30	14	29	10	138	229	3788	10499	4832	12289	1,66	2,77	2,54	1,67	1,53
20	40	14	29	10	148	239	4168	11169	5647	13559	1,62	2,68	2,40	1,66	1,49
20	50	14	29	10	158	249	4548	11839	6512	14880	1,58	2,60	2,28	1,65	1,45
20	60	14	29	10	168	259	4928	12509	7427	16250	1,54	2,54	2,19	1,65	1,42
20	70	14	29	10	178	269	5308	13179	8392	17670	1,51	2,48	2,11	1,64	1,39
20	80	14	29	10	188	279	5688	13849	9407	19141	1,48	2,43	2,03	1,64	1,37
20	90	14	29	10	198	289	6068	14519	10471	20661	1,46	2,39	1,97	1,64	1,35
20	100	14	29	10	208	299	6448	15189	11586	22232	1,44	2,36	1,92	1,64	1,33
20	20	16	33	10	141	244	4093	12192	4833	13592	1,74	2,98	2,81	1,71	1,62
20	30	16	33	10	151	254	4513	12942	5661	14938	1,69	2,87	2,64	1,70	1,56
20	40	16	33	10	161	264	4933	13692	6539	16334	1,65	2,78	2,50	1,69	1,52
20	50	16	33	10	171	274	5353	14442	7466	17780	1,61	2,70	2,38	1,68	1,48
20	60	16	33	10	181	284	5773	15192	8444	19276	1,57	2,63	2,28	1,67	1,45
20	70	16	33	10	191	294	6193	15942	9472	20822	1,54	2,57	2,20	1,67	1,42
20	80	16	33	10	201	304	6613	16692	10549	22418	1,52	2,52	2,13	1,66	1,40
20	90	16	33	10	211	314	7033	17442	11677	24064	1,49	2,48	2,06	1,66	1,38
20	100	16	33	10	221	324	7453	18192	12855	25760	1,47	2,44	2,00	1,66	1,36
20	20	18	38	10	153	272	4843	15157	5663	16737	1,78	3,13	2,96	1,76	1,66
20	30	18	38	10	163	282	5303	15997	6553	18224	1,73	3,02	2,78	1,74	1,61
20	40	18	38	10	173	292	5763	16837	7494	19762	1,69	2,92	2,64	1,73	1,56
20	50	18	38	10	183	302	6223	17677	8484	21349	1,65	2,84	2,52	1,72	1,52
20	60	18	38	10	193	312	6683	18517	9525	22986	1,62	2,77	2,41	1,71	1,49
20	70	18	38	10	203	322	7143	19357	10615	24674	1,59	2,71	2,32	1,71	1,46
20	80	18	38	10	213	332	7603	20197	11756	26411	1,56	2,66	2,25	1,70	1,44
20	90	18	38	10	223	342	8063	21037	12946	28199	1,54	2,61	2,18	1,70	1,42
20	100	18	38	10	233	352	8523	21877	14187	30036	1,51	2,57	2,12	1,70	1,40
20	20	20	40	10	166	291	5657	17313	6557	19013	1,76	3,06	2,90	1,74	1,65
20	30	20	40	10	176	301	6157	18213	7510	20595	1,72	2,96	2,74	1,72	1,60
20	40	20	40	10	186	311	6657	19113	8513	22227	1,68	2,87	2,61	1,71	1,56
20	50	20	40	10	196	321	7157	20013	9567	23908	1,64	2,80	2,50	1,70	1,52
20	60	20	40	10	206	331	7657	20913	10670	25640	1,61	2,73	2,40	1,70	1,49
20	70	20	40	10	216	341	8157	21813	11823	27421	1,58	2,67	2,32	1,69	1,47
20	80	20	40	10	226	351	8657	22713	13027	29253	1,56	2,62	2,25	1,69	1,44
20	90	20	40	10	236	361	9157	23613	14280	31135	1,53	2,58	2,18	1,68	1,42
20	100	20	40	10	246	371	9657	24513	15583	33066	1,51	2,54	2,12	1,68	1,40
20	20	22	45	18	194	336	6534	20818	7514	22698	1,73	3,19	3,02	1,84	1,75
20	30	22	45	18	204	346	7074	21808	8530	24421	1,69	3,08	2,86	1,82	1,69
20	40	22	45	18	214	356	7614	22798	9597	26194	1,66	2,99	2,73	1,80	1,64
20	50	22	45	18	224	366	8154	23788	10713	28017	1,63	2,92	2,62	1,79	1,60
20	60	22	45	18	234	376	8694	24778	11879	29890	1,60	2,85	2,52	1,78	1,57
20	70	22	45	18	244	386	9234	25768	13095	31813	1,58	2,79	2,43	1,77	1,54
20	80	22	45	18	254	396	9774	26758	14361	33786	1,56	2,74	2,35	1,76	1,51
20	90	22	45	18	264	406	10314	27748	15677	35809	1,54	2,69	2,28	1,75	1,49

c1	c2	d	p	a	u*	u'	wp1	wp1'	wp2	wp2'	u*/u*	wp1'/wp1	wp2'/wp2	$\eta_{wp}(wp1)$	$\eta_{wp}(wp2)$
20	100	22	45	18	274	416	10854	28738	17044	37882	1,52	2,65	2,22	1,75	1,47
25	40	12	25	13	140	219	3867	9499	5260	11731	1,56	2,46	2,23	1,58	1,43
25	50	12	25	13	150	229	4232	10114	6112	12975	1,52	2,39	2,12	1,57	1,39
25	60	12	25	13	160	239	4597	10729	7014	14270	1,49	2,33	2,03	1,57	1,37
25	75	12	25	13	175	254	5144	11651	8461	16306	1,45	2,26	1,93	1,56	1,33
25	80	12	25	13	180	259	5327	11959	8968	17010	1,44	2,24	1,90	1,56	1,32
25	90	12	25	13	190	269	5692	12574	10020	18454	1,41	2,21	1,84	1,56	1,30
25	100	12	25	13	200	279	6057	13189	11122	19949	1,39	2,18	1,79	1,56	1,29
25	110	12	25	13	210	289	6422	13804	12274	21494	1,37	2,15	1,75	1,57	1,28
25	125	12	25	13	225	304	6969	14726	14096	23904	1,35	2,11	1,70	1,57	1,26
25	40	14	29	13	153	244	4600	11829	6127	14329	1,60	2,57	2,34	1,61	1,47
25	50	14	29	13	163	254	5005	12524	7042	15700	1,56	2,50	2,23	1,60	1,43
25	60	14	29	13	173	264	5410	13219	8007	17120	1,53	2,44	2,14	1,60	1,40
25	75	14	29	13	188	279	6018	14261	9548	19344	1,48	2,37	2,03	1,60	1,36
25	80	14	29	13	193	284	6220	14609	10087	20111	1,47	2,35	1,99	1,60	1,35
25	90	14	29	13	203	294	6625	15304	11201	21681	1,45	2,31	1,94	1,59	1,34
25	100	14	29	13	213	304	7030	15999	12366	23302	1,43	2,28	1,88	1,59	1,32
25	110	14	29	13	223	314	7435	16694	13581	24972	1,41	2,25	1,84	1,59	1,31
25	125	14	29	13	238	329	8043	17736	15497	27571	1,38	2,21	1,78	1,59	1,29
25	40	16	33	13	166	269	5397	14415	7059	17184	1,63	2,67	2,43	1,64	1,50
25	50	16	33	13	176	279	5842	15190	8036	18680	1,59	2,60	2,32	1,63	1,46
25	60	16	33	13	186	289	6287	15965	9064	20226	1,56	2,54	2,23	1,63	1,43
25	75	16	33	13	201	304	6955	17128	10699	22639	1,52	2,46	2,12	1,62	1,39
25	80	16	33	13	206	309	7177	17515	11269	23468	1,50	2,44	2,08	1,62	1,38
25	90	16	33	13	216	319	7622	18290	12447	25164	1,48	2,40	2,02	1,62	1,37
25	100	16	33	13	226	329	8067	19065	13675	26910	1,46	2,36	1,97	1,62	1,35
25	110	16	33	13	236	339	8512	19840	14952	28706	1,44	2,33	1,92	1,62	1,33
25	125	16	33	13	251	354	9180	21003	16962	31494	1,41	2,29	1,86	1,62	1,31
25	40	18	38	13	178	297	6258	17630	8054	20702	1,67	2,82	2,57	1,69	1,54
25	50	18	38	13	188	307	6743	18495	9094	22339	1,63	2,74	2,46	1,68	1,50
25	60	18	38	13	198	317	7228	19360	10185	24026	1,60	2,68	2,36	1,67	1,47
25	75	18	38	13	213	332	7956	20658	11914	26651	1,56	2,60	2,24	1,66	1,43
25	80	18	38	13	218	337	8198	21090	12516	27551	1,55	2,57	2,20	1,66	1,42
25	90	18	38	13	228	347	8683	21955	13756	29389	1,52	2,53	2,14	1,66	1,40
25	100	18	38	13	238	357	9168	22820	15047	31276	1,50	2,49	2,08	1,66	1,38
25	110	18	38	13	248	367	9653	23685	16387	33213	1,48	2,45	2,03	1,66	1,37
25	125	18	38	13	263	382	10381	24983	18492	36213	1,45	2,41	1,96	1,66	1,35
25	40	20	40	13	191	316	7183	19954	9113	23227	1,66	2,78	2,55	1,67	1,54
25	50	20	40	13	201	326	7708	20879	10217	24958	1,63	2,71	2,44	1,67	1,50
25	60	20	40	13	211	336	8233	21804	11370	26740	1,60	2,65	2,35	1,66	1,47
25	75	20	40	13	226	351	9021	23192	13194	29506	1,56	2,57	2,24	1,65	1,44
25	80	20	40	13	231	356	9283	23654	13827	30453	1,54	2,55	2,20	1,65	1,43
25	90	20	40	13	241	366	9808	24579	15130	32385	1,52	2,51	2,14	1,65	1,41
25	100	20	40	13	251	376	10333	25504	16483	34366	1,50	2,47	2,08	1,64	1,39
25	110	20	40	13	261	386	10858	26429	17887	36398	1,48	2,43	2,03	1,64	1,37
25	125	20	40	13	276	401	11646	27817	20085	39539	1,46	2,39	1,97	1,64	1,35
25	40	22	45	13	203	345	8172	23710	10237	27284	1,70	2,90	2,67	1,71	1,57
25	50	22	45	13	213	355	8737	24725	11403	29157	1,66	2,83	2,56	1,70	1,54
25	60	22	45	13	223	365	9302	25740	12619	31080	1,63	2,77	2,46	1,69	1,51
25	75	22	45	13	238	380	10150	27262	14537	34058	1,59	2,69	2,34	1,69	1,47
25	80	22	45	13	243	385	10432	27770	15201	35076	1,58	2,66	2,31	1,68	1,46
25	90	22	45	13	253	395	10997	28785	16567	37149	1,56	2,62	2,24	1,68	1,44
25	100	22	45	13	263	405	11562	29800	17984	39272	1,54	2,58	2,18	1,68	1,42
25	110	22	45	13	273	415	12127	30815	19450	41445	1,52	2,54	2,13	1,67	1,40
25	125	22	45	13	288	430	12975	32337	21743	44798	1,49	2,49	2,06	1,67	1,38

c1	c2	d	p	a	u*	u'	wp1	wp1'	wp2	wp2'	u*/u*	wp1'/wp1	wp2'/wp2	η_{wp} (wp1)	η_{wp} (wp2)
30	30	12	25	15	135	214	3903	9481	4848	11176	1,58	2,43	2,31	1,54	1,46
30	40	12	25	15	145	224	4293	10121	5700	12421	1,54	2,36	2,18	1,53	1,41
30	50	12	25	15	155	234	4683	10761	6602	13715	1,51	2,30	2,08	1,53	1,38
30	60	12	25	15	165	244	5073	11401	7554	15060	1,47	2,25	1,99	1,52	1,35
30	70	12	25	15	175	254	5463	12041	8556	16455	1,45	2,20	1,92	1,52	1,33
30	80	12	25	15	185	264	5853	12681	9608	17900	1,42	2,17	1,86	1,52	1,31
30	90	12	25	15	195	274	6243	13321	10710	19394	1,40	2,13	1,81	1,52	1,29
30	100	12	25	15	205	284	6633	13961	11862	20939	1,38	2,10	1,77	1,52	1,28
30	110	12	25	15	215	294	7023	14601	13064	22534	1,36	2,08	1,72	1,52	1,26
30	120	12	25	15	225	304	7413	15241	14316	24178	1,35	2,06	1,69	1,52	1,25
30	130	12	25	15	235	314	7803	15881	15618	25873	1,33	2,04	1,66	1,53	1,24
30	140	12	25	15	245	324	8193	16521	16970	27618	1,32	2,02	1,63	1,53	1,23
30	150	12	25	15	255	334	8583	17161	18372	29412	1,31	2,00	1,60	1,53	1,22
30	30	14	29	15	148	239	4627	11794	5692	13729	1,62	2,55	2,41	1,58	1,49
30	40	14	29	15	158	249	5057	12514	6607	15099	1,58	2,47	2,29	1,57	1,45
30	50	14	29	15	168	259	5487	13234	7572	16520	1,54	2,41	2,18	1,56	1,41
30	60	14	29	15	178	269	5917	13954	8587	17990	1,51	2,36	2,10	1,56	1,39
30	70	14	29	15	188	279	6347	14674	9652	19510	1,48	2,31	2,02	1,56	1,36
30	80	14	29	15	198	289	6777	15394	10767	21081	1,46	2,27	1,96	1,56	1,34
30	90	14	29	15	208	299	7207	16114	11931	22701	1,44	2,24	1,90	1,55	1,32
30	100	14	29	15	218	309	7637	16834	13146	24372	1,42	2,20	1,85	1,55	1,31
30	110	14	29	15	228	319	8067	17554	14411	26092	1,40	2,18	1,81	1,55	1,29
30	120	14	29	15	238	329	8497	18274	15726	27862	1,38	2,15	1,77	1,56	1,28
30	130	14	29	15	248	339	8927	18994	17091	29683	1,37	2,13	1,74	1,56	1,27
30	140	14	29	15	258	349	9357	19714	18506	31553	1,35	2,11	1,71	1,56	1,26
30	150	14	29	15	268	359	9787	20434	19970	33473	1,34	2,09	1,68	1,56	1,25
30	30	16	33	15	161	264	5416	14363	6601	16538	1,65	2,65	2,51	1,61	1,52
30	40	16	33	15	171	274	5886	15163	7579	18034	1,61	2,58	2,38	1,60	1,48
30	50	16	33	15	181	284	6356	15963	8606	19580	1,57	2,51	2,28	1,60	1,45
30	60	16	33	15	191	294	6826	16763	9684	21176	1,54	2,46	2,19	1,59	1,42
30	70	16	33	15	201	304	7296	17563	10812	22822	1,52	2,41	2,11	1,59	1,39
30	80	16	33	15	211	314	7766	18363	11989	24518	1,49	2,36	2,05	1,58	1,37
30	90	16	33	15	221	324	8236	19163	13217	26264	1,47	2,33	1,99	1,58	1,35
30	100	16	33	15	231	334	8706	19963	14495	28060	1,45	2,29	1,94	1,58	1,34
30	110	16	33	15	241	344	9176	20763	15822	29906	1,43	2,26	1,89	1,58	1,32
30	120	16	33	15	251	354	9646	21563	17200	31802	1,41	2,24	1,85	1,58	1,31
30	130	16	33	15	261	364	10116	22363	18628	33748	1,40	2,21	1,81	1,58	1,30
30	140	16	33	15	271	374	10586	23163	20105	35744	1,38	2,19	1,78	1,58	1,29
30	150	16	33	15	281	384	11056	23963	21633	37790	1,37	2,17	1,75	1,58	1,28
30	30	18	38	15	173	292	6268	17559	7573	20004	1,69	2,80	2,64	1,66	1,56
30	40	18	38	15	183	302	6778	18449	8614	21642	1,65	2,72	2,51	1,65	1,52
30	50	18	38	15	193	312	7288	19339	9704	23329	1,62	2,65	2,40	1,64	1,49
30	60	18	38	15	203	322	7798	20229	10845	25066	1,59	2,59	2,31	1,63	1,46
30	70	18	38	15	213	332	8308	21119	12035	26854	1,56	2,54	2,23	1,63	1,43
30	80	18	38	15	223	342	8818	22009	13276	28691	1,54	2,50	2,16	1,63	1,41
30	90	18	38	15	233	352	9328	22899	14566	30579	1,51	2,45	2,10	1,62	1,39
30	100	18	38	15	243	362	9838	23789	15907	32516	1,49	2,42	2,04	1,62	1,37
30	110	18	38	15	253	372	10348	24679	17297	34503	1,47	2,38	1,99	1,62	1,36
30	120	18	38	15	263	382	10858	25569	18738	36541	1,45	2,35	1,95	1,62	1,34
30	130	18	38	15	273	392	11368	26459	20228	38628	1,44	2,33	1,91	1,62	1,33
30	140	18	38	15	283	402	11878	27349	21769	40765	1,42	2,30	1,87	1,62	1,32
30	150	18	38	15	293	412	12388	28239	23359	42953	1,41	2,28	1,84	1,62	1,31
30	30	20	40	15	186	311	7185	19870	8610	22495	1,68	2,77	2,61	1,65	1,56
30	40	20	40	15	196	321	7735	20820	9713	24227	1,64	2,69	2,49	1,64	1,52
30	50	20	40	15	206	331	8285	21770	10867	26008	1,61	2,63	2,39	1,63	1,49

c1	c2	d	p	a	u*	u'	wp1	wp1'	wp2	wp2'	u*/u*	wp1'/wp1	wp2'/wp2	$\eta_{wp}(wp1)$	$\eta_{wp}(wp2)$	
30	60	20	40	15	216	341	8835	22720	12070	27840	1,58	2,57	2,31	1,62	1,46	
30	70	20	40	15	226	351	9385	23670	13323	29721	1,56	2,52	2,23	1,62	1,43	
30	80	20	40	15	236	361	9935	24620	14627	31653	1,53	2,48	2,16	1,62	1,41	
30	90	20	40	15	246	371	10485	25570	15980	33635	1,51	2,44	2,10	1,61	1,39	
30	100	20	40	15	256	381	11035	26520	17383	35666	1,49	2,40	2,05	1,61	1,38	
30	110	20	40	15	266	391	11585	27470	18837	37748	1,47	2,37	2,00	1,61	1,36	
30	120	20	40	15	276	401	12135	28420	20340	39880	1,46	2,34	1,96	1,61	1,35	
30	130	20	40	15	286	411	12685	29370	21893	42061	1,44	2,32	1,92	1,61	1,33	
30	140	20	40	15	296	421	13235	30320	23496	44293	1,43	2,29	1,89	1,61	1,32	
30	150	20	40	15	306	431	13785	31270	25150	46575	1,41	2,27	1,85	1,61	1,31	
30	30	22	45	15	198	340	8165	23606	9710	26501	1,71	2,89	2,73	1,69	1,59	
30	40	22	45	15	208	350	8755	24646	10877	28374	1,68	2,81	2,61	1,68	1,55	
30	50	22	45	15	218	360	9345	25686	12093	30297	1,65	2,75	2,51	1,67	1,52	
30	60	22	45	15	228	370	9935	26726	13359	32270	1,62	2,69	2,42	1,66	1,49	
30	70	22	45	15	238	380	10525	27766	14675	34293	1,59	2,64	2,34	1,66	1,47	
30	80	22	45	15	248	390	11115	28806	16041	36366	1,57	2,59	2,27	1,65	1,44	
30	90	22	45	15	258	400	11705	29846	17457	38489	1,55	2,55	2,20	1,65	1,42	
30	100	22	45	15	268	410	12295	30886	18924	40662	1,53	2,51	2,15	1,64	1,41	
30	110	22	45	15	278	420	12885	31926	20440	42885	1,51	2,48	2,10	1,64	1,39	
30	120	22	45	15	288	430	13475	32966	22006	45158	1,49	2,45	2,05	1,64	1,38	
30	130	22	45	15	298	440	14065	34006	23622	47481	1,47	2,42	2,01	1,64	1,36	
30	140	22	45	15	308	450	14655	35046	25288	49854	1,46	2,39	1,97	1,64	1,35	
30	150	22	45	15	318	460	15245	36086	27004	52277	1,44	2,37	1,94	1,64	1,34	
														média	1,63	1,42
														desvio	0,0622	0,0986

Tabela A.6 - Valores de h_{wp} para pilares de borda com $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	a	u*	u'	wp1	wp1'	wp2	wp2'	u*/u*	wp1'/wp1	wp2'/wp2	$\eta_{wp}(wp1)$	$\eta_{wp}(wp2)$
30	20	12	25	15	125	204	3513	8841	4046	9981	1,63	2,52	2,47	1,55	1,52
30	20	14	29	15	138	229	4197	11074	4828	12409	1,66	2,64	2,57	1,59	1,55
30	20	16	33	15	151	254	4946	13563	5673	15092	1,69	2,74	2,66	1,62	1,58
30	20	18	38	15	163	282	5758	16669	6583	18417	1,73	2,89	2,80	1,67	1,62
30	20	20	40	15	176	301	6635	18920	7557	20813	1,72	2,85	2,75	1,66	1,61
30	20	22	45	15	188	330	7575	22566	8594	24678	1,75	2,98	2,87	1,70	1,64
40	20	12	25	18	131	210	4340	10061	4726	11161	1,60	2,32	2,36	1,45	1,48
40	25	12	25	18	136	215	4560	10406	5171	11802	1,58	2,28	2,28	1,45	1,45
40	30	12	25	18	141	220	4780	10751	5628	12456	1,56	2,25	2,21	1,45	1,42
40	20	14	29	20	148	239	5087	12419	5588	13749	1,62	2,44	2,46	1,51	1,52
40	25	14	29	20	153	244	5327	12804	6064	14453	1,60	2,40	2,38	1,51	1,49
40	30	14	29	20	158	249	5567	13189	6552	15169	1,58	2,37	2,32	1,50	1,47
40	20	16	33	20	161	264	5899	15034	6513	16592	1,65	2,55	2,55	1,55	1,55
40	25	16	33	20	166	269	6159	15459	7021	17359	1,63	2,51	2,47	1,54	1,52
40	30	16	33	20	171	274	6419	15884	7541	18138	1,61	2,47	2,41	1,54	1,50
40	20	18	38	20	173	292	6774	18282	7503	20097	1,69	2,70	2,68	1,60	1,59
40	25	18	38	20	178	297	7054	18752	8042	20934	1,67	2,66	2,60	1,59	1,56
40	30	18	38	20	183	302	7334	19222	8593	21784	1,65	2,62	2,53	1,59	1,53
40	20	20	40	20	186	311	7713	20627	8557	22613	1,68	2,67	2,64	1,59	1,58
40	25	20	40	20	191	316	8013	21127	9127	23498	1,66	2,64	2,57	1,59	1,55
40	30	20	40	20	196	321	8313	21627	9710	24395	1,64	2,60	2,51	1,58	1,53
40	20	22	45	20	198	340	8717	24414	9674	26658	1,71	2,80	2,76	1,63	1,61
40	25	22	45	20	203	345	9037	24959	10276	27613	1,70	2,76	2,69	1,63	1,58
40	30	22	45	20	208	350	9357	25504	10890	28581	1,68	2,73	2,62	1,62	1,56

c1	c2	d	p	a	u*	u*	wp1	wp1'	wp2	wp2'	u*/u*	wp1'/wp1	wp2'/wp2	η_{wp} (wp1)	η_{wp} (wp2)
50	20	12	25	18	131	210	5267	11380	5406	12341	1,60	2,16	2,28	1,35	1,43
50	25	12	25	18	136	215	5512	11750	5901	13032	1,58	2,13	2,21	1,35	1,40
50	30	12	25	18	141	220	5757	12120	6408	13736	1,56	2,11	2,14	1,35	1,38
50	20	14	29	21	150	241	6077	13865	6348	15089	1,61	2,28	2,38	1,42	1,48
50	25	14	29	21	155	246	6342	14275	6874	15843	1,59	2,25	2,30	1,42	1,45
50	30	14	29	21	160	251	6607	14685	7412	16609	1,57	2,22	2,24	1,42	1,43
50	20	16	33	24	169	272	6951	16605	7353	18092	1,62	2,39	2,46	1,48	1,52
50	25	16	33	24	174	277	7236	17055	7911	18909	1,60	2,36	2,39	1,48	1,50
50	30	16	33	24	179	282	7521	17505	8481	19738	1,58	2,33	2,33	1,47	1,47
50	20	18	38	25	183	302	7889	19994	8423	21777	1,65	2,53	2,59	1,53	1,57
50	25	18	38	25	188	307	8194	20489	9012	22664	1,63	2,50	2,51	1,53	1,54
50	30	18	38	25	193	312	8499	20984	9613	23564	1,62	2,47	2,45	1,53	1,51
50	20	20	40	25	196	321	8892	22433	9557	24413	1,64	2,52	2,55	1,54	1,56
50	25	20	40	25	201	326	9217	22958	10177	25348	1,63	2,49	2,49	1,53	1,53
50	30	20	40	25	206	331	9542	23483	10810	26295	1,61	2,46	2,43	1,53	1,51
50	20	22	45	25	208	350	9958	26362	10754	28638	1,68	2,65	2,66	1,58	1,59
50	25	22	45	25	213	355	10303	26932	11406	29643	1,66	2,61	2,60	1,57	1,56
50	30	22	45	25	218	360	10648	27502	12070	30661	1,65	2,58	2,54	1,57	1,54
60	20	12	25	18	131	210	6294	12800	6086	13521	1,60	2,03	2,22	1,27	1,39
60	25	12	25	18	136	215	6564	13195	6631	14262	1,58	2,01	2,15	1,28	1,36
60	30	12	25	18	141	220	6834	13590	7188	15016	1,56	1,99	2,09	1,28	1,34
60	20	14	29	21	150	241	7167	15410	7108	16429	1,61	2,15	2,31	1,34	1,44
60	25	14	29	21	155	246	7457	15845	7684	17233	1,59	2,12	2,24	1,34	1,41
60	30	14	29	21	160	251	7747	16280	8272	18049	1,57	2,10	2,18	1,34	1,39
60	20	16	33	24	169	272	8104	18276	8193	19592	1,62	2,26	2,39	1,40	1,48
60	25	16	33	24	174	277	8414	18751	8801	20459	1,60	2,23	2,32	1,40	1,46
60	30	16	33	24	179	282	8724	19226	9421	21338	1,58	2,20	2,26	1,39	1,43
60	20	18	38	27	187	306	9105	21806	9343	23457	1,64	2,40	2,51	1,46	1,53
60	25	18	38	27	192	311	9435	22326	9982	24394	1,62	2,37	2,44	1,46	1,51
60	30	18	38	27	197	316	9765	22846	10633	25344	1,61	2,34	2,38	1,46	1,48
60	20	20	40	30	206	331	10170	24340	10557	26213	1,61	2,39	2,48	1,49	1,54
60	25	20	40	30	211	336	10520	24890	11227	27198	1,60	2,37	2,42	1,48	1,52
60	30	20	40	30	216	341	10870	25440	11910	28195	1,58	2,34	2,37	1,48	1,50
60	20	22	45	30	218	360	11299	28410	11834	30618	1,65	2,51	2,59	1,53	1,57
60	25	22	45	30	223	365	11669	29005	12536	31673	1,63	2,49	2,53	1,52	1,55
60	30	22	45	30	228	370	12039	29600	13250	32741	1,62	2,46	2,47	1,52	1,53
70	20	12	25	18	131	210	7421	14320	6766	14701	1,60	1,93	2,17	1,21	1,36
70	30	12	25	18	141	220	8011	15160	7968	16296	1,56	1,89	2,05	1,22	1,31
70	20	14	29	21	150	241	8357	17055	7868	17769	1,61	2,04	2,26	1,27	1,40
70	30	14	29	21	160	251	8987	17975	9132	19489	1,57	2,00	2,13	1,27	1,36
70	20	16	33	24	169	272	9357	20047	9033	21092	1,62	2,14	2,33	1,33	1,45
70	30	16	33	24	179	282	10027	21047	10361	22938	1,58	2,10	2,21	1,33	1,40
70	20	18	38	27	187	306	10420	23719	10263	25137	1,64	2,28	2,45	1,39	1,50
70	30	18	38	27	197	316	11130	24809	11653	27124	1,61	2,23	2,33	1,39	1,45
70	20	20	40	30	206	331	11548	26346	11557	28013	1,61	2,28	2,42	1,42	1,50
70	30	20	40	30	216	341	12298	27496	13010	30095	1,58	2,24	2,31	1,41	1,46
70	20	22	45	33	224	366	12740	30558	12914	32598	1,63	2,40	2,52	1,47	1,55
70	30	22	45	33	234	376	13530	31798	14430	34821	1,60	2,35	2,41	1,47	1,50
75	25	12	25	18	136	215	8329	15550	7726	16107	1,58	1,87	2,08	1,18	1,32
75	25	14	29	21	155	246	9317	18388	8899	19318	1,59	1,97	2,17	1,24	1,37
75	25	16	33	24	174	277	10368	21483	10136	22784	1,60	2,07	2,25	1,30	1,41
75	25	18	38	27	192	311	11483	25270	11437	26989	1,62	2,20	2,36	1,36	1,46
75	25	20	40	30	211	336	12662	27975	12802	29973	1,60	2,21	2,34	1,38	1,47
75	25	22	45	33	229	371	13906	32302	14231	34718	1,62	2,32	2,44	1,44	1,51
80	20	12	25	18	131	210	8648	15940	7446	15881	1,60	1,84	2,13	1,15	1,33

c1	c2	d	p	a	u*	u*	wp1	wp1'	wp2	wp2'	u*/u*	wp1'/wp1	wp2'/wp2	η_{wp} (wp1)	η_{wp} (wp2)
80	25	12	25	18	136	215	8968	16385	8091	16722	1,58	1,83	2,07	1,16	1,31
80	30	12	25	18	141	220	9288	16830	8748	17576	1,56	1,81	2,01	1,16	1,29
80	20	14	29	21	150	241	9647	18801	8628	19109	1,61	1,95	2,21	1,21	1,38
80	25	14	29	21	155	246	9987	19286	9304	20013	1,59	1,93	2,15	1,22	1,35
80	30	14	29	21	160	251	10327	19771	9992	20929	1,57	1,91	2,09	1,22	1,33
80	20	16	33	24	169	272	10709	21918	9873	22592	1,62	2,05	2,29	1,27	1,42
80	25	16	33	24	174	277	11069	22443	10581	23559	1,60	2,03	2,23	1,27	1,39
80	30	16	33	24	179	282	11429	22968	11301	24538	1,58	2,01	2,17	1,27	1,37
80	20	18	38	27	187	306	11836	25731	11183	26817	1,64	2,17	2,40	1,33	1,46
80	25	18	38	27	192	311	12216	26301	11922	27854	1,62	2,15	2,34	1,33	1,44
80	30	18	38	27	197	316	12596	26871	12673	28904	1,61	2,13	2,28	1,33	1,42
80	20	20	40	30	206	331	13027	28453	12557	29813	1,61	2,18	2,37	1,36	1,47
80	25	20	40	30	211	336	13427	29053	13327	30898	1,60	2,16	2,32	1,36	1,45
80	30	20	40	30	216	341	13827	29653	14110	31995	1,58	2,14	2,27	1,36	1,43
80	20	22	45	33	224	366	14281	32806	13994	34578	1,63	2,30	2,47	1,41	1,52
80	25	22	45	33	229	371	14701	33451	14796	35733	1,62	2,28	2,42	1,41	1,49
80	30	22	45	33	234	376	15121	34096	15610	36901	1,60	2,25	2,36	1,41	1,47
90	20	12	25	18	131	210	9975	17659	8126	17061	1,60	1,77	2,10	1,11	1,31
90	25	12	25	18	136	215	10320	18129	8821	17952	1,58	1,76	2,04	1,11	1,29
90	30	12	25	18	141	220	10665	18599	9528	18856	1,56	1,74	1,98	1,12	1,27
90	20	14	29	21	150	241	11036	20646	9388	20449	1,61	1,87	2,18	1,16	1,36
90	25	14	29	21	155	246	11401	21156	10114	21403	1,59	1,86	2,12	1,17	1,33
90	30	14	29	21	160	251	11766	21666	10852	22369	1,57	1,84	2,06	1,17	1,31
90	20	16	33	24	169	272	12162	23889	10713	24092	1,62	1,96	2,25	1,22	1,39
90	25	16	33	24	174	277	12547	24439	11471	25109	1,60	1,95	2,19	1,22	1,37
90	30	16	33	24	179	282	12932	24989	12241	26138	1,58	1,93	2,14	1,22	1,35
90	20	18	38	27	187	306	13351	27844	12103	28497	1,64	2,09	2,35	1,27	1,44
90	25	18	38	27	192	311	13756	28439	12892	29584	1,62	2,07	2,29	1,27	1,42
90	30	18	38	27	197	316	14161	29034	13693	30684	1,61	2,05	2,24	1,28	1,40
90	20	20	40	30	206	331	14605	30660	13557	31613	1,61	2,10	2,33	1,30	1,45
90	25	20	40	30	211	336	15030	31285	14377	32748	1,60	2,08	2,28	1,30	1,43
90	30	20	40	30	216	341	15455	31910	15210	33895	1,58	2,06	2,23	1,30	1,41
90	20	22	45	33	224	366	15922	35154	15074	36558	1,63	2,21	2,43	1,35	1,49
90	25	22	45	33	229	371	16367	35824	15926	37763	1,62	2,19	2,37	1,35	1,47
90	30	22	45	33	234	376	16812	36494	16790	38981	1,60	2,17	2,32	1,35	1,45
100	20	12	25	18	131	210	11402	19479	8806	18241	1,60	1,71	2,07	1,07	1,30
100	25	12	25	18	136	215	11772	19974	9551	19182	1,58	1,70	2,01	1,08	1,27
100	30	12	25	18	141	220	12142	20469	10308	20136	1,56	1,69	1,95	1,08	1,26
100	20	14	29	21	150	241	12526	22592	10148	21789	1,61	1,80	2,15	1,12	1,34
100	25	14	29	21	155	246	12916	23127	10924	22793	1,59	1,79	2,09	1,13	1,31
100	30	14	29	21	160	251	13306	23662	11712	23809	1,57	1,78	2,03	1,13	1,30
100	20	16	33	24	169	272	13715	25960	11553	25592	1,62	1,89	2,22	1,17	1,37
100	25	16	33	24	174	277	14125	26535	12361	26659	1,60	1,88	2,16	1,18	1,35
100	30	16	33	24	179	282	14535	27110	13181	27738	1,58	1,87	2,10	1,18	1,33
100	20	18	38	27	187	306	14967	30056	13023	30177	1,64	2,01	2,32	1,23	1,41
100	25	18	38	27	192	311	15397	30676	13862	31314	1,62	1,99	2,26	1,23	1,39
100	30	18	38	27	197	316	15827	31296	14713	32464	1,61	1,98	2,21	1,23	1,37
100	20	20	40	30	206	331	16283	32966	14557	33413	1,61	2,02	2,30	1,26	1,42
100	25	20	40	30	211	336	16733	33616	15427	34598	1,60	2,01	2,24	1,26	1,40
100	30	20	40	30	216	341	17183	34266	16310	35795	1,58	1,99	2,19	1,26	1,39
100	20	22	45	33	224	366	17664	37602	16154	38538	1,63	2,13	2,39	1,31	1,46
100	25	22	45	33	229	371	18134	38297	17056	39793	1,62	2,11	2,33	1,31	1,44
100	30	22	45	33	234	376	18604	38992	17970	41061	1,60	2,10	2,28	1,31	1,42
110	25	12	25	18	136	215	13324	21919	10281	20412	1,58	1,65	1,99	1,04	1,26
110	30	12	25	18	141	220	13719	22439	11088	21416	1,56	1,64	1,93	1,05	1,24

c1	c2	d	p	a	u*	u*	wp1	wp1'	wp2	wp2'	u*/u*	wp1'/wp1	wp2'/wp2	η_{wp} (wp1)	η_{wp} (wp2)	
110	25	14	29	21	155	246	14531	25197	11734	24183	1,59	1,73	2,06	1,09	1,30	
110	30	14	29	21	160	251	14946	25757	12572	25249	1,57	1,72	2,01	1,10	1,28	
110	25	16	33	24	174	277	15802	28731	13251	28209	1,60	1,82	2,13	1,14	1,33	
110	30	16	33	24	179	282	16237	29331	14121	29338	1,58	1,81	2,08	1,14	1,31	
110	25	18	38	27	192	311	17137	33013	14832	33044	1,62	1,93	2,23	1,19	1,37	
110	30	18	38	27	197	316	17592	33658	15733	34244	1,61	1,91	2,18	1,19	1,36	
110	25	20	40	30	211	336	18537	36048	16477	36448	1,60	1,94	2,21	1,22	1,39	
110	30	20	40	30	216	341	19012	36723	17410	37695	1,58	1,93	2,17	1,22	1,37	
110	25	22	45	33	229	371	20000	40870	18186	41823	1,62	2,04	2,30	1,26	1,42	
110	30	22	45	33	234	376	20495	41590	19150	43141	1,60	2,03	2,25	1,27	1,40	
120	30	12	25	18	141	220	15396	24508	11868	22696	1,56	1,59	1,91	1,02	1,23	
120	30	14	29	21	160	251	16686	27952	13432	26689	1,57	1,68	1,99	1,07	1,27	
120	30	16	33	24	179	282	18040	31652	15061	30938	1,58	1,75	2,05	1,11	1,30	
120	30	18	38	27	197	316	19458	36121	16753	36024	1,61	1,86	2,15	1,16	1,34	
120	30	20	40	30	216	341	20940	39280	18510	39595	1,58	1,88	2,14	1,19	1,35	
120	30	22	45	33	234	376	22486	44288	20330	45221	1,60	1,97	2,22	1,23	1,39	
125	25	12	25	28	156	235	15839	25023	11376	22257	1,50	1,58	1,96	1,05	1,30	
125	25	14	29	21	155	246	17141	28490	12949	26268	1,59	1,66	2,03	1,05	1,28	
125	25	16	33	24	174	277	18506	32213	14586	30534	1,60	1,74	2,09	1,09	1,31	
125	25	18	38	27	192	311	19936	36707	16287	35639	1,62	1,84	2,19	1,14	1,35	
125	25	20	40	30	211	336	21429	39883	18052	39223	1,60	1,86	2,17	1,17	1,36	
125	25	22	45	33	229	371	22986	44917	19881	44868	1,62	1,95	2,26	1,21	1,40	
130	30	12	25	18	141	220	17173	26678	12648	23976	1,56	1,55	1,90	1,00	1,22	
130	30	14	29	21	160	251	18526	30248	14292	28129	1,57	1,63	1,97	1,04	1,25	
130	30	16	33	24	179	282	19943	34073	16001	32538	1,58	1,71	2,03	1,08	1,29	
130	30	18	38	27	197	316	21423	38683	17773	37804	1,61	1,81	2,13	1,12	1,32	
130	30	20	40	30	216	341	22968	41936	19610	41495	1,58	1,83	2,12	1,15	1,34	
130	30	22	45	33	234	376	24577	47086	21510	47301	1,60	1,92	2,20	1,19	1,37	
140	30	12	25	18	141	220	19050	28948	13428	25256	1,56	1,52	1,88	0,98	1,21	
140	30	14	29	21	160	251	20466	32643	15152	29569	1,57	1,60	1,95	1,02	1,24	
140	30	16	33	24	179	282	21945	36594	16941	34138	1,58	1,67	2,02	1,05	1,27	
140	30	18	38	27	197	316	23489	41345	18793	39584	1,61	1,76	2,11	1,10	1,31	
140	30	20	40	30	216	341	25096	44693	20710	43395	1,58	1,78	2,10	1,13	1,32	
140	30	22	45	33	234	376	26768	49984	22690	49381	1,60	1,87	2,18	1,16	1,36	
150	30	12	25	18	141	220	21027	31317	14208	26536	1,56	1,49	1,87	0,96	1,20	
150	30	14	29	21	160	251	22505	35138	16012	31009	1,57	1,56	1,94	0,99	1,23	
150	30	16	33	24	179	282	24048	39215	17881	35738	1,58	1,63	2,00	1,03	1,26	
150	30	18	38	27	197	316	25654	44108	19813	41364	1,61	1,72	2,09	1,07	1,30	
150	30	20	40	30	216	341	27325	47550	21810	45295	1,58	1,74	2,08	1,10	1,31	
150	30	22	45	33	234	376	29059	52982	23870	51461	1,60	1,82	2,16	1,14	1,34	
														média	1,31	1,41
														desvio	0,1772	0,0992

Tabela A.7 - Valores de h_{wp} para pilares de canto com $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp'/wp	η_{wp}
20	20	12	25	10	10	58	97	1733	4451	1,68	2,57	1,53
20	30	12	25	10	15	63	102	2073	5041	1,63	2,43	1,50
20	40	12	25	10	18	66	105	2413	5631	1,60	2,33	1,46
20	50	12	25	10	18	66	105	2753	6221	1,60	2,26	1,41
20	60	12	25	10	18	66	105	3093	6811	1,60	2,20	1,38
20	70	12	25	10	18	66	105	3433	7401	1,60	2,16	1,35
20	80	12	25	10	18	66	105	3773	7991	1,60	2,12	1,33

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp/wp	η_{wp}
20	90	12	25	10	18	66	105	4113	8581	1,60	2,09	1,31
20	100	12	25	10	18	66	105	4453	9171	1,60	2,06	1,29
20	20	14	29	10	10	64	110	2084	5584	1,71	2,68	1,57
20	30	14	29	10	15	69	115	2464	6254	1,66	2,54	1,53
20	40	14	29	10	20	74	120	2844	6924	1,62	2,43	1,51
20	50	14	29	10	21	75	121	3224	7594	1,61	2,36	1,47
20	60	14	29	10	21	75	121	3604	8264	1,61	2,29	1,43
20	70	14	29	10	21	75	121	3984	8934	1,61	2,24	1,40
20	80	14	29	10	21	75	121	4364	9604	1,61	2,20	1,37
20	90	14	29	10	21	75	121	4744	10274	1,61	2,17	1,35
20	100	14	29	10	21	75	121	5124	10944	1,61	2,14	1,33
20	20	16	33	10	10	70	122	2467	6846	1,74	2,78	1,60
20	30	16	33	10	15	75	127	2887	7596	1,69	2,63	1,56
20	40	16	33	10	20	80	132	3307	8346	1,65	2,52	1,53
20	50	16	33	10	24	84	136	3727	9096	1,62	2,44	1,51
20	60	16	33	10	24	84	136	4147	9846	1,62	2,37	1,47
20	70	16	33	10	24	84	136	4567	10596	1,62	2,32	1,44
20	80	16	33	10	24	84	136	4987	11346	1,62	2,28	1,41
20	90	16	33	10	24	84	136	5407	12096	1,62	2,24	1,39
20	100	16	33	10	24	84	136	5827	12846	1,62	2,20	1,37
20	20	18	38	10	10	77	136	2881	8418	1,78	2,92	1,64
20	30	18	38	10	15	82	141	3341	9258	1,73	2,77	1,60
20	40	18	38	10	20	87	146	3801	10098	1,69	2,66	1,57
20	50	18	38	10	25	92	151	4261	10938	1,65	2,57	1,55
20	60	18	38	10	27	94	153	4721	11778	1,64	2,49	1,52
20	70	18	38	10	27	94	153	5181	12618	1,64	2,44	1,49
20	80	18	38	10	27	94	153	5641	13458	1,64	2,39	1,46
20	90	18	38	10	27	94	153	6101	14298	1,64	2,34	1,43
20	100	18	38	10	27	94	153	6561	15138	1,64	2,31	1,41
20	20	20	40	10	10	83	146	3328	9557	1,76	2,87	1,63
20	30	20	40	10	15	88	151	3828	10457	1,72	2,73	1,59
20	40	20	40	10	20	93	156	4328	11357	1,68	2,62	1,56
20	50	20	40	10	25	98	161	4828	12257	1,64	2,54	1,55
20	60	20	40	10	30	103	166	5328	13157	1,61	2,47	1,53
20	70	20	40	10	30	103	166	5828	14057	1,61	2,41	1,50
20	80	20	40	10	30	103	166	6328	14957	1,61	2,36	1,47
20	90	20	40	10	30	103	166	6828	15857	1,61	2,32	1,44
20	100	20	40	10	30	103	166	7328	16757	1,61	2,29	1,42
20	20	22	45	18	10	97	168	3807	11399	1,73	2,99	1,73
20	30	22	45	18	15	102	173	4347	12389	1,69	2,85	1,68
20	40	22	45	18	20	107	178	4887	13379	1,66	2,74	1,65
20	50	22	45	18	25	112	183	5427	14369	1,63	2,65	1,62
20	60	22	45	18	30	117	188	5967	15359	1,60	2,57	1,61
20	70	22	45	18	33	120	191	6507	16349	1,59	2,51	1,58
20	80	22	45	18	33	120	191	7047	17339	1,59	2,46	1,55
20	90	22	45	18	33	120	191	7587	18329	1,59	2,42	1,52
20	100	22	45	18	33	120	191	8127	19319	1,59	2,38	1,50
25	40	12	25	13	18	68	107	2663	5979	1,58	2,24	1,42
25	50	12	25	13	18	68	107	3028	6594	1,58	2,18	1,38
25	60	12	25	13	18	68	107	3393	7209	1,58	2,12	1,35
25	75	12	25	13	18	68	107	3941	8132	1,58	2,06	1,31
25	80	12	25	13	18	68	107	4123	8439	1,58	2,05	1,30
25	90	12	25	13	18	68	107	4488	9054	1,58	2,02	1,28
25	100	12	25	13	18	68	107	4853	9669	1,58	1,99	1,26
25	110	12	25	13	18	68	107	5218	10284	1,58	1,97	1,25

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp/wp	η_{wp}
25	125	12	25	13	18	68	107	5766	11207	1,58	1,94	1,23
25	40	14	29	13	20	76	122	3110	7304	1,60	2,35	1,47
25	50	14	29	13	21	77	123	3515	7999	1,59	2,28	1,43
25	60	14	29	13	21	77	123	3920	8694	1,59	2,22	1,40
25	75	14	29	13	21	77	123	4528	9737	1,59	2,15	1,35
25	80	14	29	13	21	77	123	4730	10084	1,59	2,13	1,34
25	90	14	29	13	21	77	123	5135	10779	1,59	2,10	1,32
25	100	14	29	13	21	77	123	5540	11474	1,59	2,07	1,30
25	110	14	29	13	21	77	123	5945	12169	1,59	2,05	1,29
25	125	14	29	13	21	77	123	6553	13212	1,59	2,02	1,27
25	40	16	33	13	20	83	135	3589	8758	1,63	2,44	1,50
25	50	16	33	13	24	87	139	4034	9533	1,60	2,36	1,48
25	60	16	33	13	24	87	139	4479	10308	1,60	2,30	1,44
25	75	16	33	13	24	87	139	5146	11470	1,60	2,23	1,40
25	80	16	33	13	24	87	139	5369	11858	1,60	2,21	1,38
25	90	16	33	13	24	87	139	5814	12633	1,60	2,17	1,36
25	100	16	33	13	24	87	139	6259	13408	1,60	2,14	1,34
25	110	16	33	13	24	87	139	6704	14183	1,60	2,12	1,32
25	125	16	33	13	24	87	139	7371	15345	1,60	2,08	1,30
25	40	18	38	13	20	89	149	4099	10545	1,67	2,57	1,54
25	50	18	38	13	25	94	154	4584	11410	1,63	2,49	1,52
25	60	18	38	13	27	96	156	5069	12275	1,62	2,42	1,49
25	75	18	38	13	27	96	156	5797	13573	1,62	2,34	1,44
25	80	18	38	13	27	96	156	6039	14005	1,62	2,32	1,43
25	90	18	38	13	27	96	156	6524	14870	1,62	2,28	1,41
25	100	18	38	13	27	96	156	7009	15735	1,62	2,24	1,38
25	110	18	38	13	27	96	156	7494	16600	1,62	2,22	1,37
25	125	18	38	13	27	96	156	8222	17898	1,62	2,18	1,34
25	40	20	40	13	20	95	158	4642	11827	1,66	2,55	1,54
25	50	20	40	13	25	100	163	5167	12752	1,63	2,47	1,52
25	60	20	40	13	30	105	168	5692	13677	1,60	2,40	1,51
25	75	20	40	13	30	105	168	6479	15065	1,60	2,33	1,46
25	80	20	40	13	30	105	168	6742	15527	1,60	2,30	1,44
25	90	20	40	13	30	105	168	7267	16452	1,60	2,26	1,42
25	100	20	40	13	30	105	168	7792	17377	1,60	2,23	1,40
25	110	20	40	13	30	105	168	8317	18302	1,60	2,20	1,38
25	125	20	40	13	30	105	168	9104	19690	1,60	2,16	1,35
25	40	22	45	13	20	102	172	5216	13885	1,70	2,66	1,57
25	50	22	45	13	25	107	177	5781	14900	1,66	2,58	1,55
25	60	22	45	13	30	112	182	6346	15915	1,63	2,51	1,54
25	75	22	45	13	33	115	185	7194	17437	1,62	2,42	1,50
25	80	22	45	13	33	115	185	7476	17945	1,62	2,40	1,48
25	90	22	45	13	33	115	185	8041	18960	1,62	2,36	1,46
25	100	22	45	13	33	115	185	8606	19975	1,62	2,32	1,44
25	110	22	45	13	33	115	185	9171	20990	1,62	2,29	1,42
25	125	22	45	13	33	115	185	10019	22512	1,62	2,25	1,39
30	30	12	25	15	15	68	107	2536	5701	1,58	2,25	1,42
30	40	12	25	15	18	71	110	2926	6341	1,56	2,17	1,39
30	50	12	25	15	18	71	110	3316	6981	1,56	2,10	1,35
30	60	12	25	15	18	71	110	3706	7621	1,56	2,06	1,32
30	70	12	25	15	18	71	110	4096	8261	1,56	2,02	1,30
30	80	12	25	15	18	71	110	4486	8901	1,56	1,98	1,28
30	90	12	25	15	18	71	110	4876	9541	1,56	1,96	1,26
30	100	12	25	15	18	71	110	5266	10181	1,56	1,93	1,24
30	110	12	25	15	18	71	110	5656	10821	1,56	1,91	1,23

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp/wp	η_{wp}
30	120	12	25	15	18	71	110	6046	11461	1,56	1,90	1,22
30	130	12	25	15	18	71	110	6436	12101	1,56	1,88	1,21
30	140	12	25	15	18	71	110	6826	12741	1,56	1,87	1,20
30	150	12	25	15	18	71	110	7216	13381	1,56	1,85	1,19
30	30	14	29	15	15	74	120	2959	6977	1,62	2,36	1,46
30	40	14	29	15	20	79	125	3389	7697	1,58	2,27	1,44
30	50	14	29	15	21	80	126	3819	8417	1,57	2,20	1,40
30	60	14	29	15	21	80	126	4249	9137	1,57	2,15	1,37
30	70	14	29	15	21	80	126	4679	9857	1,57	2,11	1,34
30	80	14	29	15	21	80	126	5109	10577	1,57	2,07	1,32
30	90	14	29	15	21	80	126	5539	11297	1,57	2,04	1,30
30	100	14	29	15	21	80	126	5969	12017	1,57	2,01	1,28
30	110	14	29	15	21	80	126	6399	12737	1,57	1,99	1,27
30	120	14	29	15	21	80	126	6829	13457	1,57	1,97	1,26
30	130	14	29	15	21	80	126	7259	14177	1,57	1,95	1,24
30	140	14	29	15	21	80	126	7689	14897	1,57	1,94	1,23
30	150	14	29	15	21	80	126	8119	15617	1,57	1,92	1,23
30	30	16	33	15	15	80	132	3413	8382	1,65	2,46	1,49
30	40	16	33	15	20	85	137	3883	9182	1,61	2,36	1,47
30	50	16	33	15	24	89	141	4353	9982	1,58	2,29	1,45
30	60	16	33	15	24	89	141	4823	10782	1,58	2,24	1,41
30	70	16	33	15	24	89	141	5293	11582	1,58	2,19	1,38
30	80	16	33	15	24	89	141	5763	12382	1,58	2,15	1,36
30	90	16	33	15	24	89	141	6233	13182	1,58	2,11	1,34
30	100	16	33	15	24	89	141	6703	13982	1,58	2,09	1,32
30	110	16	33	15	24	89	141	7173	14782	1,58	2,06	1,30
30	120	16	33	15	24	89	141	7643	15582	1,58	2,04	1,29
30	130	16	33	15	24	89	141	8113	16382	1,58	2,02	1,28
30	140	16	33	15	24	89	141	8583	17182	1,58	2,00	1,27
30	150	16	33	15	24	89	141	9053	17982	1,58	1,99	1,26
30	30	18	38	15	15	87	146	3899	10115	1,69	2,59	1,54
30	40	18	38	15	20	92	151	4409	11005	1,65	2,50	1,51
30	50	18	38	15	25	97	156	4919	11895	1,62	2,42	1,49
30	60	18	38	15	27	99	158	5429	12785	1,61	2,35	1,47
30	70	18	38	15	27	99	158	5939	13675	1,61	2,30	1,43
30	80	18	38	15	27	99	158	6449	14565	1,61	2,26	1,41
30	90	18	38	15	27	99	158	6959	15455	1,61	2,22	1,38
30	100	18	38	15	27	99	158	7469	16345	1,61	2,19	1,36
30	110	18	38	15	27	99	158	7979	17235	1,61	2,16	1,35
30	120	18	38	15	27	99	158	8489	18125	1,61	2,14	1,33
30	130	18	38	15	27	99	158	8999	19015	1,61	2,11	1,32
30	140	18	38	15	27	99	158	9509	19905	1,61	2,09	1,30
30	150	18	38	15	27	99	158	10019	20795	1,61	2,08	1,29
30	30	20	40	15	15	93	156	4417	11360	1,68	2,57	1,53
30	40	20	40	15	20	98	161	4967	12310	1,64	2,48	1,51
30	50	20	40	15	25	103	166	5517	13260	1,61	2,40	1,49
30	60	20	40	15	30	108	171	6067	14210	1,58	2,34	1,48
30	70	20	40	15	30	108	171	6617	15160	1,58	2,29	1,45
30	80	20	40	15	30	108	171	7167	16110	1,58	2,25	1,42
30	90	20	40	15	30	108	171	7717	17060	1,58	2,21	1,40
30	100	20	40	15	30	108	171	8267	18010	1,58	2,18	1,38
30	110	20	40	15	30	108	171	8817	18960	1,58	2,15	1,36
30	120	20	40	15	30	108	171	9367	19910	1,58	2,13	1,34
30	130	20	40	15	30	108	171	9917	20860	1,58	2,10	1,33
30	140	20	40	15	30	108	171	10467	21810	1,58	2,08	1,32

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp/wp	η_{wp}
30	150	20	40	15	30	108	171	11017	22760	1,58	2,07	1,31
30	30	22	45	15	15	99	170	4968	13363	1,71	2,69	1,57
30	40	22	45	15	20	104	175	5558	14403	1,68	2,59	1,54
30	50	22	45	15	25	109	180	6148	15443	1,65	2,51	1,52
30	60	22	45	15	30	114	185	6738	16483	1,62	2,45	1,51
30	70	22	45	15	33	117	188	7328	17523	1,60	2,39	1,49
30	80	22	45	15	33	117	188	7918	18563	1,60	2,34	1,46
30	90	22	45	15	33	117	188	8508	19603	1,60	2,30	1,44
30	100	22	45	15	33	117	188	9098	20643	1,60	2,27	1,41
30	110	22	45	15	33	117	188	9688	21683	1,60	2,24	1,40
30	120	22	45	15	33	117	188	10278	22723	1,60	2,21	1,38
30	130	22	45	15	33	117	188	10868	23763	1,60	2,19	1,36
30	140	22	45	15	33	117	188	11458	24803	1,60	2,16	1,35
30	150	22	45	15	33	117	188	12048	25843	1,60	2,15	1,34
											média	1,41
											desvio	0,1077

Tabela A.8 - Valores de h_{wp} para pilares de canto com $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp/wp	η_{wp}
30	20	12	25	15	10	63	102	2146	5061	1,63	2,36	1,45
30	20	14	29	15	10	69	115	2529	6257	1,66	2,47	1,49
30	20	16	33	15	10	75	127	2943	7582	1,69	2,58	1,53
30	20	18	38	15	10	82	141	3389	9225	1,73	2,72	1,57
30	20	20	40	15	10	88	151	3867	10410	1,72	2,69	1,57
30	20	22	45	15	10	94	165	4378	12323	1,75	2,81	1,61
40	20	12	25	18	10	66	105	2610	5720	1,60	2,19	1,37
40	25	12	25	18	13	68	107	2830	6065	1,58	2,14	1,36
40	30	12	25	18	15	71	110	3050	6410	1,56	2,10	1,35
40	20	14	29	20	10	74	120	3024	6980	1,62	2,31	1,43
40	25	14	29	20	13	76	122	3264	7365	1,60	2,26	1,41
40	30	14	29	20	15	79	125	3504	7750	1,58	2,21	1,40
40	20	16	33	20	10	80	132	3469	8367	1,65	2,41	1,47
40	25	16	33	20	13	83	135	3729	8792	1,63	2,36	1,45
40	30	16	33	20	15	85	137	3989	9217	1,61	2,31	1,44
40	20	18	38	20	10	87	146	3947	10081	1,69	2,55	1,51
40	25	18	38	20	13	89	149	4227	10551	1,67	2,50	1,49
40	30	18	38	20	15	92	151	4507	11021	1,65	2,45	1,48
40	20	20	40	20	10	93	156	4457	11313	1,68	2,54	1,51
40	25	20	40	20	13	95	158	4757	11813	1,66	2,48	1,50
40	30	20	40	20	15	98	161	5057	12313	1,64	2,44	1,48
40	20	22	45	20	10	99	170	4998	13297	1,71	2,66	1,55
40	25	22	45	20	13	102	172	5318	13842	1,70	2,60	1,53
40	30	22	45	20	15	104	175	5638	14387	1,68	2,55	1,52
50	20	12	25	18	10	66	105	3123	6430	1,60	2,06	1,29
50	25	12	25	18	13	68	107	3368	6800	1,58	2,02	1,28
50	30	12	25	18	15	71	110	3613	7170	1,56	1,98	1,28
50	20	14	29	21	10	75	121	3569	7752	1,61	2,17	1,35
50	25	14	29	21	13	77	123	3834	8162	1,59	2,13	1,34
50	30	14	29	21	15	80	126	4099	8572	1,57	2,09	1,33
50	20	16	33	24	10	84	136	4046	9203	1,62	2,27	1,41
50	25	16	33	24	13	87	139	4331	9653	1,60	2,23	1,40
50	30	16	33	24	15	89	141	4616	10103	1,58	2,19	1,38

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp/wp	η_{wp}
50	20	18	38	25	10	92	151	4555	10987	1,65	2,41	1,46
50	25	18	38	25	13	94	154	4860	11482	1,63	2,36	1,45
50	30	18	38	25	15	97	156	5165	11977	1,62	2,32	1,43
50	20	20	40	25	10	98	161	5096	12267	1,64	2,41	1,47
50	25	20	40	25	13	100	163	5421	12792	1,63	2,36	1,45
50	30	20	40	25	15	103	166	5746	13317	1,61	2,32	1,44
50	20	22	45	25	10	104	175	5669	14321	1,68	2,53	1,50
50	25	22	45	25	13	107	177	6014	14891	1,66	2,48	1,49
50	30	22	45	25	15	109	180	6359	15461	1,65	2,43	1,48
60	20	12	25	18	10	66	105	3687	7190	1,60	1,95	1,22
60	25	12	25	18	13	68	107	3957	7585	1,58	1,92	1,22
60	30	12	25	18	15	71	110	4227	7980	1,56	1,89	1,21
60	20	14	29	21	10	75	121	4163	8575	1,61	2,06	1,28
60	25	14	29	21	13	77	123	4453	9010	1,59	2,02	1,27
60	30	14	29	21	15	80	126	4743	9445	1,57	1,99	1,27
60	20	16	33	24	10	84	136	4672	10088	1,62	2,16	1,34
60	25	16	33	24	13	87	139	4982	10563	1,60	2,12	1,33
60	30	16	33	24	15	89	141	5292	11038	1,58	2,09	1,32
60	20	18	38	27	10	94	153	5212	11943	1,64	2,29	1,40
60	25	18	38	27	13	96	156	5542	12463	1,62	2,25	1,39
60	30	18	38	27	15	99	158	5872	12983	1,61	2,21	1,38
60	20	20	40	30	10	103	166	5785	13270	1,61	2,29	1,42
60	25	20	40	30	13	105	168	6135	13820	1,60	2,25	1,41
60	30	20	40	30	15	108	171	6485	14370	1,58	2,22	1,40
60	20	22	45	30	10	109	180	6389	15395	1,65	2,41	1,46
60	25	22	45	30	13	112	182	6759	15990	1,63	2,37	1,45
60	30	22	45	30	15	114	185	7129	16585	1,62	2,33	1,44
70	20	12	25	18	10	66	105	4300	8000	1,60	1,86	1,16
70	30	12	25	18	15	71	110	4890	8840	1,56	1,81	1,16
70	20	14	29	21	10	75	121	4808	9448	1,61	1,96	1,22
70	30	14	29	21	15	80	126	5438	10368	1,57	1,91	1,21
70	20	16	33	24	10	84	136	5348	11024	1,62	2,06	1,28
70	30	16	33	24	15	89	141	6018	12024	1,58	2,00	1,26
70	20	18	38	27	10	94	153	5920	12949	1,64	2,19	1,34
70	30	18	38	27	15	99	158	6630	14039	1,61	2,12	1,32
70	20	20	40	30	10	103	166	6524	14323	1,61	2,20	1,36
70	30	20	40	30	15	108	171	7274	15473	1,58	2,13	1,34
70	20	22	45	33	10	112	183	7160	16519	1,63	2,31	1,41
70	30	22	45	33	15	117	188	7950	17759	1,60	2,23	1,39
75	25	12	25	18	13	68	107	4933	8856	1,58	1,80	1,14
75	25	14	29	21	13	77	123	5477	10375	1,59	1,89	1,19
75	25	16	33	24	13	87	139	6053	12023	1,60	1,99	1,24
75	25	18	38	27	13	96	156	6660	14029	1,62	2,11	1,30
75	25	20	40	30	13	105	168	7300	15456	1,60	2,12	1,33
75	25	22	45	33	13	115	185	7972	17732	1,62	2,22	1,38
80	20	12	25	18	10	66	105	4964	8860	1,60	1,78	1,12
80	25	12	25	18	13	68	107	5284	9305	1,58	1,76	1,12
80	30	12	25	18	15	71	110	5604	9750	1,56	1,74	1,12
80	20	14	29	21	10	75	121	5503	10370	1,61	1,88	1,17
80	25	14	29	21	13	77	123	5843	10855	1,59	1,86	1,17
80	30	14	29	21	15	80	126	6183	11340	1,57	1,83	1,17
80	20	16	33	24	10	84	136	6075	12009	1,62	1,98	1,22
80	25	16	33	24	13	87	139	6435	12534	1,60	1,95	1,22
80	30	16	33	24	15	89	141	6795	13059	1,58	1,92	1,22
80	20	18	38	27	10	94	153	6678	14006	1,64	2,10	1,28

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp/wp	η_{wp}
80	25	18	38	27	13	96	156	7058	14576	1,62	2,07	1,27
80	30	18	38	27	15	99	158	7438	15146	1,61	2,04	1,27
80	20	20	40	30	10	103	166	7313	15427	1,61	2,11	1,31
80	25	20	40	30	13	105	168	7713	16027	1,60	2,08	1,30
80	30	20	40	30	15	108	171	8113	16627	1,58	2,05	1,29
80	20	22	45	33	10	112	183	7981	17693	1,63	2,22	1,36
80	25	22	45	33	13	115	185	8401	18338	1,62	2,18	1,35
80	30	22	45	33	15	117	188	8821	18983	1,60	2,15	1,34
90	20	12	25	18	10	66	105	5677	9770	1,60	1,72	1,08
90	25	12	25	18	13	68	107	6022	10240	1,58	1,70	1,08
90	30	12	25	18	15	71	110	6367	10710	1,56	1,68	1,08
90	20	14	29	21	10	75	121	6248	11343	1,61	1,82	1,13
90	25	14	29	21	13	77	123	6613	11853	1,59	1,79	1,13
90	30	14	29	21	15	80	126	6978	12363	1,57	1,77	1,13
90	20	16	33	24	10	84	136	6851	13045	1,62	1,90	1,18
90	25	16	33	24	13	87	139	7236	13595	1,60	1,88	1,18
90	30	16	33	24	15	89	141	7621	14145	1,58	1,86	1,17
90	20	18	38	27	10	94	153	7486	15112	1,64	2,02	1,23
90	25	18	38	27	13	96	156	7891	15707	1,62	1,99	1,23
90	30	18	38	27	15	99	158	8296	16302	1,61	1,97	1,22
90	20	20	40	30	10	103	166	8152	16580	1,61	2,03	1,26
90	25	20	40	30	13	105	168	8577	17205	1,60	2,01	1,26
90	30	20	40	30	15	108	171	9002	17830	1,58	1,98	1,25
90	20	22	45	33	10	112	183	8851	18917	1,63	2,14	1,31
90	25	22	45	33	13	115	185	9296	19587	1,62	2,11	1,30
90	30	22	45	33	15	117	188	9741	20257	1,60	2,08	1,30
100	20	12	25	18	10	66	105	6441	10729	1,60	1,67	1,04
100	25	12	25	18	13	68	107	6811	11224	1,58	1,65	1,05
100	30	12	25	18	15	71	110	7181	11719	1,56	1,63	1,05
100	20	14	29	21	10	75	121	7043	12366	1,61	1,76	1,09
100	25	14	29	21	13	77	123	7433	12901	1,59	1,74	1,09
100	30	14	29	21	15	80	126	7823	13436	1,57	1,72	1,09
100	20	16	33	24	10	84	136	7677	14130	1,62	1,84	1,14
100	25	16	33	24	13	87	139	8087	14705	1,60	1,82	1,14
100	30	16	33	24	15	89	141	8497	15280	1,58	1,80	1,14
100	20	18	38	27	10	94	153	8343	16268	1,64	1,95	1,19
100	25	18	38	27	13	96	156	8773	16888	1,62	1,92	1,19
100	30	18	38	27	15	99	158	9203	17508	1,61	1,90	1,18
100	20	20	40	30	10	103	166	9042	17783	1,61	1,97	1,22
100	25	20	40	30	13	105	168	9492	18433	1,60	1,94	1,22
100	30	20	40	30	15	108	171	9942	19083	1,58	1,92	1,21
100	20	22	45	33	10	112	183	9772	20191	1,63	2,07	1,27
100	25	22	45	33	13	115	185	10242	20886	1,62	2,04	1,26
100	30	22	45	33	15	117	188	10712	21581	1,60	2,01	1,26
110	25	12	25	18	13	68	107	7649	12259	1,58	1,60	1,02
110	30	12	25	18	15	71	110	8044	12779	1,56	1,59	1,02
110	25	14	29	21	13	77	123	8303	13998	1,59	1,69	1,06
110	30	14	29	21	15	80	126	8718	14558	1,57	1,67	1,06
110	25	16	33	24	13	87	139	8989	15866	1,60	1,77	1,10
110	30	16	33	24	15	89	141	9424	16466	1,58	1,75	1,11
110	25	18	38	27	13	96	156	9706	18119	1,62	1,87	1,15
110	30	18	38	27	15	99	158	10161	18764	1,61	1,85	1,15
110	25	20	40	30	13	105	168	10456	19712	1,60	1,89	1,18
110	30	20	40	30	15	108	171	10931	20387	1,58	1,87	1,18
110	25	22	45	33	13	115	185	11237	22235	1,62	1,98	1,22

c1	c2	d	p	a1	a2	u*	u*	wp	wp'	u*/u*	wp/wp	η_{wp}
110	30	22	45	33	15	117	188	11732	22955	1,60	1,96	1,22
120	30	12	25	18	15	71	110	8958	13889	1,56	1,55	1,00
120	30	14	29	21	15	80	126	9663	15731	1,57	1,63	1,04
120	30	16	33	24	15	89	141	10400	17701	1,58	1,70	1,08
120	30	18	38	27	15	99	158	11169	20070	1,61	1,80	1,12
120	30	20	40	30	15	108	171	11970	21740	1,58	1,82	1,15
120	30	22	45	33	15	117	188	12803	24379	1,60	1,90	1,19
125	25	12	25	28	13	78	117	9001	13905	1,50	1,54	1,03
125	25	14	29	21	13	77	123	9702	15739	1,59	1,62	1,02
125	25	16	33	24	13	87	139	10434	17700	1,60	1,70	1,06
125	25	18	38	27	13	96	156	11199	20060	1,62	1,79	1,10
125	25	20	40	30	13	105	168	11996	21723	1,60	1,81	1,13
125	25	22	45	33	13	115	185	12824	24352	1,62	1,90	1,17
130	30	12	25	18	15	71	110	9921	15049	1,56	1,52	0,98
130	30	14	29	21	15	80	126	10658	16954	1,57	1,59	1,01
130	30	16	33	24	15	89	141	11426	18987	1,58	1,66	1,05
130	30	18	38	27	15	99	158	12227	21427	1,61	1,75	1,09
130	30	20	40	30	15	108	171	13059	23143	1,58	1,77	1,12
130	30	22	45	33	15	117	188	13923	25853	1,60	1,86	1,16
140	30	12	25	18	15	71	110	10935	16259	1,56	1,49	0,96
140	30	14	29	21	15	80	126	11703	18226	1,57	1,56	0,99
140	30	16	33	24	15	89	141	12503	20322	1,58	1,63	1,03
140	30	18	38	27	15	99	158	13334	22833	1,61	1,71	1,07
140	30	20	40	30	15	108	171	14198	24596	1,58	1,73	1,09
140	30	22	45	33	15	117	188	15094	27377	1,60	1,81	1,13
150	30	12	25	18	15	71	110	11998	17519	1,56	1,46	0,94
150	30	14	29	21	15	80	126	12798	19549	1,57	1,53	0,97
150	30	16	33	24	15	89	141	13629	21708	1,58	1,59	1,01
150	30	18	38	27	15	99	158	14492	24289	1,61	1,68	1,04
150	30	20	40	30	15	108	171	15387	26100	1,58	1,70	1,07
150	30	22	45	33	15	117	188	16315	28951	1,60	1,77	1,11
											média	1,25
											desvio	0,1562

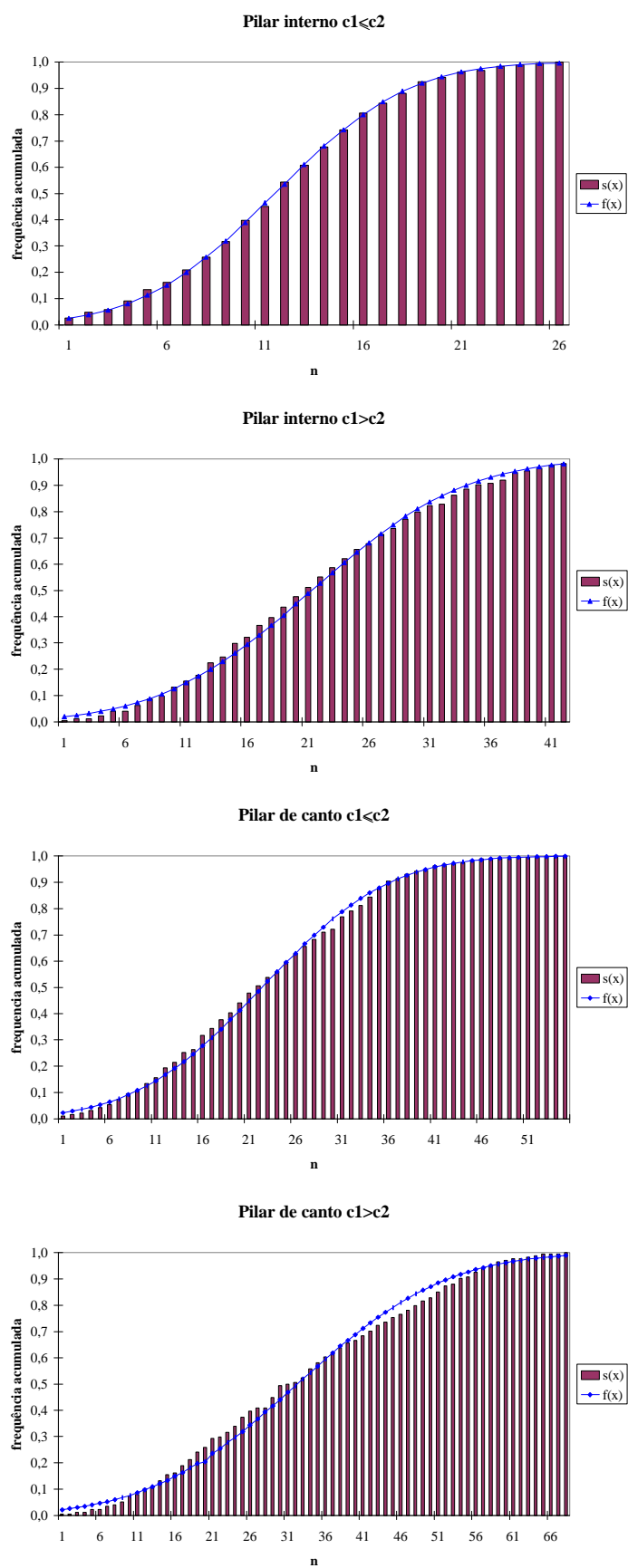


Figura A.1 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para pilares internos e de canto

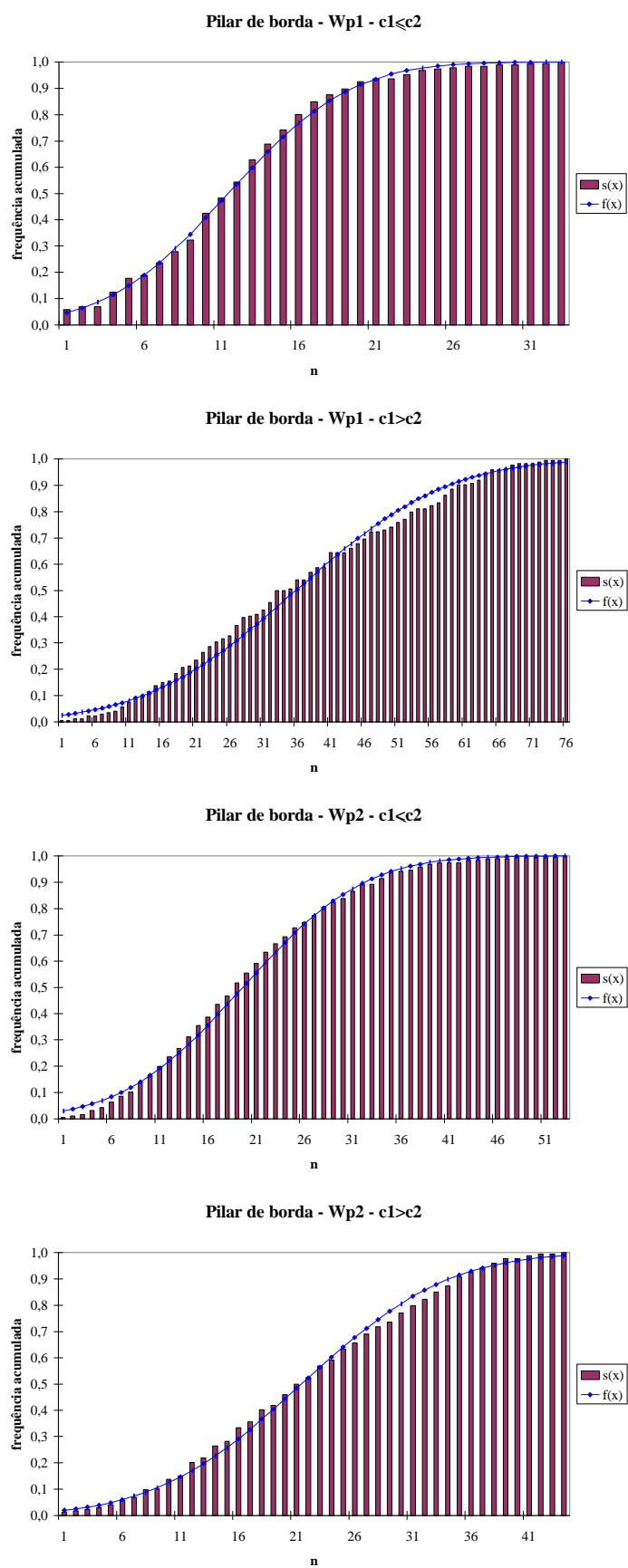


Figura A.2 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para pilares de borda

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE h_{e1} E h_{e2}

Para a determinação dos valores de h_{e1} e de h_{e2} , foram resolvidos diversos exemplos com mesmas características mencionadas no Anexo A. Novamente, os exemplos foram agrupados de acordo com a situação de cálculo, e considerando-se a direção da excentricidade em relação aos lados do pilar. Foram estudados os seguintes casos:

- pilares de borda com $c_1 \leq c_2$ (Tabela B.3);
- pilares de borda com $c_1 > c_2$ (Tabela B.4);
- pilares de canto com $c_1 \leq c_2$ (Tabela B.5);
- pilares de canto com $c_1 > c_2$ (Tabela B.6).

Foram calculados as médias e os desvios padrões de h_{e1} e de h_{e2} , e estudou-se a possibilidade de se admiti-los como variáveis de distribuição normal. Mais uma vez foi utilizado o *Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test*, cujas curvas, relativas a cada caso, encontram-se na Figura B.1 e na Figura B.2. Observa-se que a aproximação mostrou-se válida para todas as situações estudadas, com nível de significância de 1%. Portanto, tomando-se o quantil de 10%, pode-se escrever:

$$\eta_{e1} = \bar{\eta}_{e1} - 1,28 \cdot \delta_1$$

$$\eta_{e2} = \bar{\eta}_{e2} - 1,28 \cdot \delta_2$$

sendo:

$\bar{\eta}_{e1}$ - valor médio dos h_{e1} ;

$\bar{\eta}_{e2}$ - valor médio dos h_{e2} ;

d_1 - desvio padrão correspondente a h_{e1} ;

d_2 - desvio padrão correspondente a h_{e2} .

Os valores obtidos dessa forma encontram-se na Tabela B.1. Aproximando-se esses resultados, podem ser sugeridos os valores da Tabela B.2.

Tabela B.1 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para o quantil de 10%

Situação de Cálculo	$c_1 \leq c_2$	$c_1 > c_2$
Pilar de borda (h_{e1})	0,50	1,06
Pilar de canto (h_{e1})	0,63	1,06
Pilar de borda (h_{e2})	1,03	0,80
Pilar de canto (h_{e2})	1,01	0,80

Tabela B.2 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} sugeridos e suas probabilidades de ocorrência

Situação de Cálculo	$c_1 \leq c_2$	$c_1 > c_2$
h_{e1}	0,5 (90% para pilares de borda) (99% para pilares de canto)	1,0 (94% para pilares de borda) (97% para pilares de canto)
h_{e2}	1,0 (97% para pilares de borda) (98% para pilares de canto)	0,8 (90% para pilares de borda) (90% para pilares de canto)

Tabela B.3 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para pilares de borda com $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	eo*	e*	e'*	uo*/u*	u'*/u*	eo*/e*	e'*/e*	η_{e1}	η_{e2}
20	20	12	25	10	40	115	194	7,50	23,28	39,30	0,35	1,68	0,32	1,69	0,93	1,00
20	30	12	25	10	50	125	204	8,00	24,13	40,26	0,40	1,63	0,33	1,67	0,83	1,03
20	40	12	25	10	60	135	214	8,33	24,86	41,14	0,44	1,58	0,34	1,65	0,76	1,05
20	50	12	25	10	70	145	224	8,57	25,49	41,94	0,48	1,54	0,34	1,65	0,70	1,07
20	60	12	25	10	80	155	234	8,75	26,04	42,67	0,51	1,51	0,34	1,64	0,65	1,09
20	70	12	25	10	90	165	244	8,89	26,52	43,34	0,54	1,47	0,34	1,63	0,62	1,11
20	80	12	25	10	100	175	254	9,00	26,94	43,95	0,57	1,45	0,33	1,63	0,59	1,13
20	90	12	25	10	110	185	264	9,09	27,32	44,52	0,59	1,42	0,33	1,63	0,56	1,14
20	100	12	25	10	120	195	274	9,17	27,67	45,05	0,61	1,40	0,33	1,63	0,54	1,16
20	20	14	29	10	40	128	219	7,50	25,85	44,41	0,31	1,71	0,29	1,72	0,93	1,00
20	30	14	29	10	50	138	229	8,00	26,73	45,40	0,36	1,66	0,30	1,70	0,83	1,02
20	40	14	29	10	60	148	239	8,33	27,49	46,30	0,41	1,62	0,30	1,68	0,75	1,04

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	eo*	e*	e'*	uo*/u*	u'/u*	eo*/e*	e'/e*	η_{e1}	η_{e2}
20	50	14	29	10	70	158	249	8,57	28,16	47,13	0,44	1,58	0,30	1,67	0,69	1,06
20	60	14	29	10	80	168	259	8,75	28,74	47,90	0,48	1,54	0,30	1,67	0,64	1,08
20	70	14	29	10	90	178	269	8,89	29,26	48,61	0,51	1,51	0,30	1,66	0,60	1,10
20	80	14	29	10	100	188	279	9,00	29,73	49,27	0,53	1,48	0,30	1,66	0,57	1,12
20	90	14	29	10	110	198	289	9,09	30,14	49,88	0,56	1,46	0,30	1,65	0,54	1,13
20	100	14	29	10	120	208	299	9,17	30,52	50,45	0,58	1,44	0,30	1,65	0,52	1,15
20	20	16	33	10	40	141	244	7,50	28,42	49,52	0,28	1,74	0,26	1,74	0,93	1,00
20	30	16	33	10	50	151	254	8,00	29,32	50,52	0,33	1,69	0,27	1,72	0,82	1,02
20	40	16	33	10	60	161	264	8,33	30,11	51,45	0,37	1,65	0,28	1,71	0,74	1,04
20	50	16	33	10	70	171	274	8,57	30,81	52,30	0,41	1,61	0,28	1,70	0,68	1,06
20	60	16	33	10	80	181	284	8,75	31,43	53,10	0,44	1,57	0,28	1,69	0,63	1,07
20	70	16	33	10	90	191	294	8,89	31,98	53,85	0,47	1,54	0,28	1,68	0,59	1,09
20	80	16	33	10	100	201	304	9,00	32,48	54,54	0,50	1,52	0,28	1,68	0,56	1,11
20	90	16	33	10	110	211	314	9,09	32,93	55,19	0,52	1,49	0,28	1,68	0,53	1,12
20	100	16	33	10	120	221	324	9,17	33,34	55,80	0,54	1,47	0,27	1,67	0,51	1,14
20	20	18	38	10	40	153	272	7,50	30,98	55,26	0,26	1,78	0,24	1,78	0,93	1,00
20	30	18	38	10	50	163	282	8,00	31,90	56,28	0,31	1,73	0,25	1,76	0,82	1,02
20	40	18	38	10	60	173	292	8,33	32,72	57,22	0,35	1,69	0,25	1,75	0,73	1,04
20	50	18	38	10	70	183	302	8,57	33,44	58,11	0,38	1,65	0,26	1,74	0,67	1,05
20	60	18	38	10	80	193	312	8,75	34,09	58,94	0,41	1,62	0,26	1,73	0,62	1,07
20	70	18	38	10	90	203	322	8,89	34,68	59,71	0,44	1,59	0,26	1,72	0,58	1,08
20	80	18	38	10	100	213	332	9,00	35,21	60,45	0,47	1,56	0,26	1,72	0,54	1,10
20	90	18	38	10	110	223	342	9,09	35,69	61,13	0,49	1,54	0,25	1,71	0,52	1,12
20	100	18	38	10	120	233	352	9,17	36,13	61,78	0,51	1,51	0,25	1,71	0,49	1,13
20	20	20	40	10	40	166	291	7,50	33,54	59,09	0,24	1,76	0,22	1,76	0,93	1,00
20	30	20	40	10	50	176	301	8,00	34,48	60,11	0,28	1,72	0,23	1,74	0,82	1,02
20	40	20	40	10	60	186	311	8,33	35,31	61,07	0,32	1,68	0,24	1,73	0,73	1,03
20	50	20	40	10	70	196	321	8,57	36,07	61,97	0,36	1,64	0,24	1,72	0,66	1,05
20	60	20	40	10	80	206	331	8,75	36,74	62,82	0,39	1,61	0,24	1,71	0,61	1,06
20	70	20	40	10	90	216	341	8,89	37,36	63,61	0,42	1,58	0,24	1,70	0,57	1,08
20	80	20	40	10	100	226	351	9,00	37,92	64,37	0,44	1,56	0,24	1,70	0,54	1,09
20	90	20	40	10	110	236	361	9,09	38,43	65,07	0,47	1,53	0,24	1,69	0,51	1,10
20	100	20	40	10	120	246	371	9,17	38,90	65,75	0,49	1,51	0,24	1,69	0,48	1,12
20	20	22	45	18	56	194	336	4,21	32,80	61,54	0,29	1,73	0,13	1,88	0,45	1,09
20	30	22	45	18	66	204	346	5,09	33,84	62,63	0,32	1,69	0,15	1,85	0,47	1,09
20	40	22	45	18	76	214	356	5,74	34,78	63,65	0,35	1,66	0,16	1,83	0,46	1,10
20	50	22	45	18	86	224	366	6,23	35,63	64,62	0,38	1,63	0,17	1,81	0,46	1,11
20	60	22	45	18	96	234	376	6,63	36,42	65,53	0,41	1,60	0,18	1,80	0,44	1,12
20	70	22	45	18	106	244	386	6,94	37,14	66,40	0,43	1,58	0,19	1,79	0,43	1,13
20	80	22	45	18	116	254	396	7,21	37,80	67,22	0,46	1,56	0,19	1,78	0,42	1,14
20	90	22	45	18	126	264	406	7,43	38,41	68,01	0,48	1,54	0,19	1,77	0,41	1,15
20	100	22	45	18	136	274	416	7,62	38,98	68,75	0,50	1,52	0,20	1,76	0,39	1,16
25	40	12	25	13	65	140	219	10,10	26,43	42,67	0,46	1,56	0,38	1,61	0,83	1,04
25	50	12	25	13	75	150	229	10,42	27,10	43,49	0,50	1,52	0,38	1,60	0,77	1,05
25	60	12	25	13	85	160	239	10,66	27,69	44,25	0,53	1,49	0,39	1,60	0,73	1,07
25	75	12	25	13	100	175	254	10,94	28,44	45,27	0,57	1,45	0,38	1,59	0,67	1,10
25	80	12	25	13	105	180	259	11,01	28,66	45,58	0,58	1,44	0,38	1,59	0,66	1,11
25	90	12	25	13	115	190	269	11,14	29,07	46,17	0,60	1,41	0,38	1,59	0,63	1,12
25	100	12	25	13	125	200	279	11,25	29,44	46,72	0,62	1,39	0,38	1,59	0,61	1,14
25	110	12	25	13	135	210	289	11,34	29,78	47,23	0,64	1,37	0,38	1,59	0,59	1,15
25	125	12	25	13	150	225	304	11,46	30,23	47,94	0,67	1,35	0,38	1,59	0,57	1,18
25	40	14	29	13	65	153	244	10,10	29,05	47,82	0,42	1,60	0,35	1,65	0,82	1,03
25	50	14	29	13	75	163	254	10,42	29,75	48,68	0,46	1,56	0,35	1,64	0,76	1,05
25	60	14	29	13	85	173	264	10,66	30,38	49,47	0,49	1,53	0,35	1,63	0,71	1,07
25	75	14	29	13	100	188	279	10,94	31,18	50,54	0,53	1,48	0,35	1,62	0,66	1,09

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	eo*	e*	e'*	uo*/u*	u'/u'	eo*/e*	e'*/e'*	η_{e1}	η_{e2}
25	80	14	29	13	105	193	284	11,01	31,42	50,88	0,54	1,47	0,35	1,62	0,64	1,10
25	90	14	29	13	115	203	294	11,14	31,87	51,51	0,57	1,45	0,35	1,62	0,62	1,12
25	100	14	29	13	125	213	304	11,25	32,28	52,10	0,59	1,43	0,35	1,61	0,59	1,13
25	110	14	29	13	135	223	314	11,34	32,65	52,66	0,61	1,41	0,35	1,61	0,57	1,15
25	125	14	29	13	150	238	329	11,46	33,14	53,42	0,63	1,38	0,35	1,61	0,55	1,17
25	40	16	33	13	65	166	269	10,10	31,66	52,97	0,39	1,63	0,32	1,67	0,81	1,03
25	50	16	33	13	75	176	279	10,42	32,39	53,85	0,43	1,59	0,32	1,66	0,75	1,05
25	60	16	33	13	85	186	289	10,66	33,05	54,66	0,46	1,56	0,32	1,65	0,70	1,06
25	75	16	33	13	100	201	304	10,94	33,90	55,79	0,50	1,52	0,32	1,65	0,65	1,08
25	80	16	33	13	105	206	309	11,01	34,16	56,14	0,51	1,50	0,32	1,64	0,63	1,09
25	90	16	33	13	115	216	319	11,14	34,64	56,81	0,53	1,48	0,32	1,64	0,60	1,11
25	100	16	33	13	125	226	329	11,25	35,08	57,44	0,55	1,46	0,32	1,64	0,58	1,12
25	110	16	33	13	135	236	339	11,34	35,48	58,03	0,57	1,44	0,32	1,64	0,56	1,14
25	125	16	33	13	150	251	354	11,46	36,02	58,85	0,60	1,41	0,32	1,63	0,53	1,16
25	40	18	38	13	65	178	297	10,10	34,26	58,74	0,36	1,67	0,29	1,71	0,81	1,03
25	50	18	38	13	75	188	307	10,42	35,02	59,64	0,40	1,63	0,30	1,70	0,75	1,04
25	60	18	38	13	85	198	317	10,66	35,70	60,49	0,43	1,60	0,30	1,69	0,70	1,06
25	75	18	38	13	100	213	332	10,94	36,60	61,66	0,47	1,56	0,30	1,68	0,64	1,08
25	80	18	38	13	105	218	337	11,01	36,87	62,03	0,48	1,55	0,30	1,68	0,62	1,09
25	90	18	38	13	115	228	347	11,14	37,38	62,74	0,50	1,52	0,30	1,68	0,59	1,10
25	100	18	38	13	125	238	357	11,25	37,85	63,40	0,52	1,50	0,30	1,68	0,57	1,12
25	110	18	38	13	135	248	367	11,34	38,28	64,03	0,54	1,48	0,30	1,67	0,54	1,13
25	125	18	38	13	150	263	382	11,46	38,86	64,91	0,57	1,45	0,29	1,67	0,52	1,15
25	40	20	40	13	65	191	316	10,10	36,86	62,59	0,34	1,66	0,27	1,70	0,80	1,02
25	50	20	40	13	75	201	326	10,42	37,64	63,50	0,37	1,63	0,28	1,69	0,74	1,04
25	60	20	40	13	85	211	336	10,66	38,34	64,37	0,40	1,60	0,28	1,68	0,69	1,05
25	75	20	40	13	100	226	351	10,94	39,28	65,57	0,44	1,56	0,28	1,67	0,63	1,07
25	80	20	40	13	105	231	356	11,01	39,57	65,94	0,46	1,54	0,28	1,67	0,61	1,08
25	90	20	40	13	115	241	366	11,14	40,11	66,67	0,48	1,52	0,28	1,66	0,58	1,09
25	100	20	40	13	125	251	376	11,25	40,60	67,36	0,50	1,50	0,28	1,66	0,56	1,11
25	110	20	40	13	135	261	386	11,34	41,06	68,01	0,52	1,48	0,28	1,66	0,53	1,12
25	125	20	40	13	150	276	401	11,46	41,68	68,92	0,54	1,46	0,27	1,65	0,51	1,14
25	40	22	45	13	65	203	345	10,10	39,44	68,35	0,32	1,70	0,26	1,73	0,80	1,02
25	50	22	45	13	75	213	355	10,42	40,24	69,28	0,35	1,66	0,26	1,72	0,74	1,04
25	60	22	45	13	85	223	365	10,66	40,97	70,17	0,38	1,63	0,26	1,71	0,68	1,05
25	75	22	45	13	100	238	380	10,94	41,95	71,41	0,42	1,59	0,26	1,70	0,62	1,07
25	80	22	45	13	105	243	385	11,01	42,25	71,80	0,43	1,58	0,26	1,70	0,60	1,07
25	90	22	45	13	115	253	395	11,14	42,81	72,55	0,45	1,56	0,26	1,69	0,57	1,09
25	100	22	45	13	125	263	405	11,25	43,33	73,27	0,47	1,54	0,26	1,69	0,55	1,10
25	110	22	45	13	135	273	415	11,34	43,81	73,95	0,49	1,52	0,26	1,69	0,52	1,11
25	125	22	45	13	150	288	430	11,46	44,47	74,91	0,52	1,49	0,26	1,68	0,50	1,13
30	30	12	25	15	60	135	214	11,25	27,16	43,27	0,44	1,58	0,41	1,59	0,93	1,01
30	40	12	25	15	70	145	224	11,79	27,98	44,19	0,48	1,54	0,42	1,58	0,87	1,03
30	50	12	25	15	80	155	234	12,19	28,69	45,04	0,51	1,51	0,42	1,57	0,83	1,04
30	60	12	25	15	90	165	244	12,50	29,31	45,82	0,54	1,47	0,43	1,56	0,78	1,06
30	70	12	25	15	100	175	254	12,75	29,86	46,53	0,57	1,45	0,43	1,56	0,75	1,08
30	80	12	25	15	110	185	264	12,95	30,36	47,19	0,59	1,42	0,43	1,55	0,72	1,09
30	90	12	25	15	120	195	274	13,13	30,80	47,81	0,61	1,40	0,43	1,55	0,69	1,11
30	100	12	25	15	130	205	284	13,27	31,20	48,38	0,63	1,38	0,43	1,55	0,67	1,12
30	110	12	25	15	140	215	294	13,39	31,56	48,91	0,65	1,36	0,42	1,55	0,65	1,14
30	120	12	25	15	150	225	304	13,50	31,89	49,40	0,67	1,35	0,42	1,55	0,64	1,15
30	130	12	25	15	160	235	314	13,59	32,19	49,87	0,68	1,33	0,42	1,55	0,62	1,16
30	140	12	25	15	170	245	324	13,68	32,47	50,31	0,69	1,32	0,42	1,55	0,61	1,17
30	150	12	25	15	180	255	334	13,75	32,73	50,72	0,70	1,31	0,42	1,55	0,60	1,19
30	30	14	29	15	60	148	239	11,25	29,75	48,39	0,41	1,62	0,38	1,63	0,93	1,01

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	eo*	e*	e'*	uo*/u*	u'/u*	eo*/e*	e'/e*	η_{e1}	η_{e2}
30	40	14	29	15	70	158	249	11,79	30,59	49,34	0,44	1,58	0,39	1,61	0,87	1,02
30	50	14	29	15	80	168	259	12,19	31,33	50,21	0,48	1,54	0,39	1,60	0,82	1,04
30	60	14	29	15	90	178	269	12,50	31,99	51,02	0,51	1,51	0,39	1,60	0,77	1,06
30	70	14	29	15	100	188	279	12,75	32,57	51,78	0,53	1,48	0,39	1,59	0,74	1,07
30	80	14	29	15	110	198	289	12,95	33,10	52,48	0,56	1,46	0,39	1,59	0,70	1,09
30	90	14	29	15	120	208	299	13,13	33,58	53,13	0,58	1,44	0,39	1,58	0,68	1,10
30	100	14	29	15	130	218	309	13,27	34,01	53,74	0,60	1,42	0,39	1,58	0,65	1,11
30	110	14	29	15	140	228	319	13,39	34,40	54,31	0,61	1,40	0,39	1,58	0,63	1,13
30	120	14	29	15	150	238	329	13,50	34,76	54,85	0,63	1,38	0,39	1,58	0,62	1,14
30	130	14	29	15	160	248	339	13,59	35,10	55,35	0,65	1,37	0,39	1,58	0,60	1,15
30	140	14	29	15	170	258	349	13,68	35,40	55,83	0,66	1,35	0,39	1,58	0,59	1,17
30	150	14	29	15	180	268	359	13,75	35,69	56,28	0,67	1,34	0,39	1,58	0,57	1,18
30	30	16	33	15	60	161	264	11,25	32,34	53,51	0,37	1,65	0,35	1,65	0,93	1,01
30	40	16	33	15	70	171	274	11,79	33,20	54,48	0,41	1,61	0,36	1,64	0,86	1,02
30	50	16	33	15	80	181	284	12,19	33,96	55,38	0,44	1,57	0,36	1,63	0,81	1,04
30	60	16	33	15	90	191	294	12,50	34,65	56,21	0,47	1,54	0,36	1,62	0,76	1,05
30	70	16	33	15	100	201	304	12,75	35,26	56,99	0,50	1,52	0,36	1,62	0,73	1,07
30	80	16	33	15	110	211	314	12,95	35,82	57,73	0,52	1,49	0,36	1,61	0,69	1,08
30	90	16	33	15	120	221	324	13,13	36,33	58,41	0,54	1,47	0,36	1,61	0,66	1,09
30	100	16	33	15	130	231	334	13,27	36,79	59,06	0,56	1,45	0,36	1,61	0,64	1,11
30	110	16	33	15	140	241	344	13,39	37,21	59,67	0,58	1,43	0,36	1,60	0,62	1,12
30	120	16	33	15	150	251	354	13,50	37,60	60,24	0,60	1,41	0,36	1,60	0,60	1,13
30	130	16	33	15	160	261	364	13,59	37,96	60,78	0,61	1,40	0,36	1,60	0,58	1,15
30	140	16	33	15	170	271	374	13,68	38,30	61,30	0,63	1,38	0,36	1,60	0,57	1,16
30	150	16	33	15	180	281	384	13,75	38,61	61,79	0,64	1,37	0,36	1,60	0,56	1,17
30	30	18	38	15	60	173	292	11,25	34,91	59,27	0,35	1,69	0,32	1,70	0,93	1,00
30	40	18	38	15	70	183	302	11,79	35,79	60,25	0,38	1,65	0,33	1,68	0,86	1,02
30	50	18	38	15	80	193	312	12,19	36,58	61,17	0,41	1,62	0,33	1,67	0,80	1,03
30	60	18	38	15	90	203	322	12,50	37,29	62,03	0,44	1,59	0,34	1,66	0,76	1,05
30	70	18	38	15	100	213	332	12,75	37,93	62,84	0,47	1,56	0,34	1,66	0,72	1,06
30	80	18	38	15	110	223	342	12,95	38,52	63,61	0,49	1,54	0,34	1,65	0,68	1,08
30	90	18	38	15	120	233	352	13,13	39,05	64,33	0,51	1,51	0,34	1,65	0,65	1,09
30	100	18	38	15	130	243	362	13,27	39,55	65,01	0,53	1,49	0,34	1,64	0,63	1,10
30	110	18	38	15	140	253	372	13,39	40,00	65,65	0,55	1,47	0,33	1,64	0,61	1,12
30	120	18	38	15	150	263	382	13,50	40,42	66,26	0,57	1,45	0,33	1,64	0,59	1,13
30	130	18	38	15	160	273	392	13,59	40,80	66,84	0,59	1,44	0,33	1,64	0,57	1,14
30	140	18	38	15	170	283	402	13,68	41,16	67,39	0,60	1,42	0,33	1,64	0,55	1,15
30	150	18	38	15	180	293	412	13,75	41,50	67,92	0,61	1,41	0,33	1,64	0,54	1,16
30	30	20	40	15	60	186	311	11,25	37,49	63,10	0,32	1,68	0,30	1,68	0,93	1,00
30	40	20	40	15	70	196	321	11,79	38,38	64,09	0,36	1,64	0,31	1,67	0,86	1,02
30	50	20	40	15	80	206	331	12,19	39,19	65,03	0,39	1,61	0,31	1,66	0,80	1,03
30	60	20	40	15	90	216	341	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04
30	70	20	40	15	100	226	351	12,75	40,59	66,73	0,44	1,56	0,31	1,64	0,71	1,06
30	80	20	40	15	110	236	361	12,95	41,20	67,51	0,47	1,53	0,31	1,64	0,67	1,07
30	90	20	40	15	120	246	371	13,13	41,76	68,25	0,49	1,51	0,31	1,63	0,64	1,08
30	100	20	40	15	130	256	381	13,27	42,28	68,96	0,51	1,49	0,31	1,63	0,62	1,09
30	110	20	40	15	140	266	391	13,39	42,76	69,62	0,53	1,47	0,31	1,63	0,59	1,11
30	120	20	40	15	150	276	401	13,50	43,20	70,25	0,54	1,46	0,31	1,63	0,57	1,12
30	130	20	40	15	160	286	411	13,59	43,62	70,86	0,56	1,44	0,31	1,62	0,56	1,13
30	140	20	40	15	170	296	421	13,68	44,00	71,43	0,57	1,43	0,31	1,62	0,54	1,14
30	150	20	40	15	180	306	431	13,75	44,36	71,98	0,59	1,41	0,31	1,62	0,53	1,15
30	30	22	45	15	60	198	340	11,25	40,06	68,85	0,30	1,71	0,28	1,72	0,93	1,00
30	40	22	45	15	70	208	350	11,79	40,97	69,85	0,34	1,68	0,29	1,71	0,86	1,02
30	50	22	45	15	80	218	360	12,19	41,79	70,80	0,37	1,65	0,29	1,69	0,80	1,03
30	60	22	45	15	90	228	370	12,50	42,55	71,70	0,39	1,62	0,29	1,69	0,75	1,04

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	eo*	e*	e'*	uo*/u*	u'/u*	eo*/e*	e'*/e*	η_{e1}	η_{e2}	
30	70	22	45	15	100	238	380	12,75	43,24	72,55	0,42	1,59	0,29	1,68	0,70	1,05	
30	80	22	45	15	110	248	390	12,95	43,87	73,36	0,44	1,57	0,30	1,67	0,67	1,07	
30	90	22	45	15	120	258	400	13,13	44,46	74,13	0,46	1,55	0,30	1,67	0,64	1,08	
30	100	22	45	15	130	268	410	13,27	45,00	74,86	0,48	1,53	0,29	1,66	0,61	1,09	
30	110	22	45	15	140	278	420	13,39	45,50	75,55	0,50	1,51	0,29	1,66	0,58	1,10	
30	120	22	45	15	150	288	430	13,50	45,97	76,21	0,52	1,49	0,29	1,66	0,56	1,11	
30	130	22	45	15	160	298	440	13,59	46,41	76,84	0,54	1,47	0,29	1,66	0,55	1,12	
30	140	22	45	15	170	308	450	13,68	46,82	77,45	0,55	1,46	0,29	1,65	0,53	1,13	
30	150	22	45	15	180	318	460	13,75	47,20	78,03	0,57	1,44	0,29	1,65	0,52	1,14	
															média	0,66	1,09
															desvio	0,1247	0,0472

Tabela B.4 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para pilares de borda com $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	eo*	e*	e'*	uo*/u*	u'/u*	eo*/e*	e'*/e*	η_{e1}	η_{e2}
30	20	12	25	15	50	125	204	10,50	26,22	42,25	0,40	1,63	0,40	1,61	1,00	0,99
30	20	14	29	15	50	138	229	10,50	28,79	47,36	0,36	1,66	0,36	1,64	1,01	0,99
30	20	16	33	15	50	151	254	10,50	31,36	52,47	0,33	1,69	0,33	1,67	1,01	0,99
30	20	18	38	15	50	163	282	10,50	33,93	58,21	0,31	1,73	0,31	1,72	1,01	0,99
30	20	20	40	15	50	176	301	10,50	36,49	62,04	0,28	1,72	0,29	1,70	1,01	0,99
30	20	22	45	15	50	188	330	10,50	39,05	67,78	0,27	1,75	0,27	1,74	1,01	0,99
40	20	12	25	18	56	131	210	14,21	29,95	46,00	0,43	1,60	0,47	1,54	1,11	0,96
40	25	12	25	18	61	136	215	14,69	30,47	46,53	0,45	1,58	0,48	1,53	1,08	0,97
40	30	12	25	18	66	141	220	15,09	30,95	47,04	0,47	1,56	0,49	1,52	1,04	0,98
40	20	14	29	20	60	148	239	13,33	31,68	50,28	0,41	1,62	0,42	1,59	1,04	0,98
40	25	14	29	20	65	153	244	13,85	32,21	50,82	0,42	1,60	0,43	1,58	1,01	0,99
40	30	14	29	20	70	158	249	14,29	32,71	51,35	0,44	1,58	0,44	1,57	0,99	1,00
40	20	16	33	20	60	161	264	13,33	34,25	55,39	0,37	1,65	0,39	1,62	1,04	0,98
40	25	16	33	20	65	166	269	13,85	34,79	55,94	0,39	1,63	0,40	1,61	1,01	0,99
40	30	16	33	20	70	171	274	14,29	35,29	56,47	0,41	1,61	0,40	1,60	0,99	1,00
40	20	18	38	20	60	173	292	13,33	36,82	61,14	0,35	1,69	0,36	1,66	1,04	0,98
40	25	18	38	20	65	178	297	13,85	37,36	61,69	0,36	1,67	0,37	1,65	1,02	0,99
40	30	18	38	20	70	183	302	14,29	37,87	62,22	0,38	1,65	0,38	1,64	0,99	0,99
40	20	20	40	20	60	186	311	13,33	39,39	64,97	0,32	1,68	0,34	1,65	1,05	0,98
40	25	20	40	20	65	191	316	13,85	39,93	65,52	0,34	1,66	0,35	1,64	1,02	0,99
40	30	20	40	20	70	196	321	14,29	40,44	66,06	0,36	1,64	0,35	1,63	0,99	0,99
40	20	22	45	20	60	198	340	13,33	41,95	70,71	0,30	1,71	0,32	1,69	1,05	0,98
40	25	22	45	20	65	203	345	13,85	42,50	71,27	0,32	1,70	0,33	1,68	1,02	0,99
40	30	22	45	20	70	208	350	14,29	43,01	71,81	0,34	1,68	0,33	1,67	0,99	0,99
50	20	12	25	18	56	131	210	19,21	34,95	51,00	0,43	1,60	0,55	1,46	1,29	0,91
50	25	12	25	18	61	136	215	19,69	35,47	51,53	0,45	1,58	0,56	1,45	1,24	0,92
50	30	12	25	18	66	141	220	20,09	35,95	52,04	0,47	1,56	0,56	1,45	1,20	0,93
50	20	14	29	21	62	150	241	17,89	36,25	54,85	0,41	1,61	0,49	1,51	1,19	0,94
50	25	14	29	21	67	155	246	18,42	36,79	55,41	0,43	1,59	0,50	1,51	1,16	0,95
50	30	14	29	21	72	160	251	18,88	37,30	55,94	0,45	1,57	0,51	1,50	1,12	0,96
50	20	16	33	24	68	169	272	16,53	37,53	58,70	0,40	1,62	0,44	1,56	1,09	0,97
50	25	16	33	24	73	174	277	17,11	38,09	59,27	0,42	1,60	0,45	1,56	1,07	0,97
50	30	16	33	24	78	179	282	17,62	38,62	59,81	0,44	1,58	0,46	1,55	1,04	0,98
50	20	18	38	25	70	183	302	16,07	39,68	64,03	0,38	1,65	0,41	1,61	1,06	0,98
50	25	18	38	25	75	188	307	16,67	40,24	64,60	0,40	1,63	0,41	1,61	1,04	0,98
50	30	18	38	25	80	193	312	17,19	40,78	65,15	0,41	1,62	0,42	1,60	1,02	0,99
50	20	20	40	25	70	196	321	16,07	42,25	67,87	0,36	1,64	0,38	1,61	1,06	0,98
50	25	20	40	25	75	201	326	16,67	42,82	68,44	0,37	1,63	0,39	1,60	1,04	0,98

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	eo*	e*	e'*	uo*/u*	u'/u'	eo*/e*	e'*e'	η_{e1}	η_{e2}
50	30	20	40	25	80	206	331	17,19	43,36	68,99	0,39	1,61	0,40	1,59	1,02	0,99
50	20	22	45	25	70	208	350	16,07	44,82	73,62	0,34	1,68	0,36	1,64	1,07	0,98
50	25	22	45	25	75	213	355	16,67	45,39	74,19	0,35	1,66	0,37	1,63	1,04	0,98
50	30	22	45	25	80	218	360	17,19	45,93	74,74	0,37	1,65	0,37	1,63	1,02	0,99
60	20	12	25	18	56	131	210	24,21	39,95	56,00	0,43	1,60	0,61	1,40	1,42	0,88
60	25	12	25	18	61	136	215	24,69	40,47	56,53	0,45	1,58	0,61	1,40	1,36	0,89
60	30	12	25	18	66	141	220	25,09	40,95	57,04	0,47	1,56	0,61	1,39	1,31	0,90
60	20	14	29	21	62	150	241	22,89	41,25	59,85	0,41	1,61	0,55	1,45	1,34	0,90
60	25	14	29	21	67	155	246	23,42	41,79	60,41	0,43	1,59	0,56	1,45	1,30	0,91
60	30	14	29	21	72	160	251	23,88	42,30	60,94	0,45	1,57	0,56	1,44	1,25	0,92
60	20	16	33	24	68	169	272	21,53	42,53	63,70	0,40	1,62	0,51	1,50	1,25	0,93
60	25	16	33	24	73	174	277	22,11	43,09	64,27	0,42	1,60	0,51	1,49	1,22	0,93
60	30	16	33	24	78	179	282	22,62	43,62	64,81	0,44	1,58	0,52	1,49	1,19	0,94
60	20	18	38	27	74	187	306	20,15	43,81	68,19	0,40	1,64	0,46	1,56	1,16	0,95
60	25	18	38	27	79	192	311	20,77	44,38	68,76	0,41	1,62	0,47	1,55	1,14	0,96
60	30	18	38	27	84	197	316	21,32	44,93	69,32	0,43	1,61	0,47	1,54	1,11	0,96
60	20	20	40	30	80	206	331	18,75	45,07	70,75	0,39	1,61	0,42	1,57	1,07	0,97
60	25	20	40	30	85	211	336	19,41	45,66	71,33	0,40	1,60	0,43	1,56	1,05	0,98
60	30	20	40	30	90	216	341	20,00	46,23	71,90	0,42	1,58	0,43	1,56	1,04	0,98
60	20	22	45	30	80	218	360	18,75	47,65	76,50	0,37	1,65	0,39	1,61	1,07	0,97
60	25	22	45	30	85	223	365	19,41	48,24	77,08	0,38	1,63	0,40	1,60	1,06	0,98
60	30	22	45	30	90	228	370	20,00	48,81	77,65	0,39	1,62	0,41	1,59	1,04	0,98
70	20	12	25	18	56	131	210	29,21	44,95	61,00	0,43	1,60	0,65	1,36	1,52	0,85
70	30	12	25	18	66	141	220	30,09	45,95	62,04	0,47	1,56	0,65	1,35	1,40	0,87
70	20	14	29	21	62	150	241	27,89	46,25	64,85	0,41	1,61	0,60	1,40	1,46	0,87
70	30	14	29	21	72	160	251	28,88	47,30	65,94	0,45	1,57	0,61	1,39	1,36	0,89
70	20	16	33	24	68	169	272	26,53	47,53	68,70	0,40	1,62	0,56	1,45	1,38	0,89
70	30	16	33	24	78	179	282	27,62	48,62	69,81	0,44	1,58	0,57	1,44	1,30	0,91
70	20	18	38	27	74	187	306	25,15	48,81	73,19	0,40	1,64	0,52	1,50	1,30	0,92
70	30	18	38	27	84	197	316	26,32	49,93	74,32	0,43	1,61	0,53	1,49	1,24	0,93
70	20	20	40	30	80	206	331	23,75	50,07	75,75	0,39	1,61	0,47	1,51	1,22	0,94
70	30	20	40	30	90	216	341	25,00	51,23	76,90	0,42	1,58	0,49	1,50	1,17	0,95
70	20	22	45	33	86	224	366	22,34	51,34	80,22	0,38	1,63	0,44	1,56	1,13	0,96
70	30	22	45	33	96	234	376	23,66	52,52	81,39	0,41	1,60	0,45	1,55	1,10	0,97
75	25	12	25	18	61	136	215	32,19	47,97	64,03	0,45	1,58	0,67	1,33	1,50	0,85
75	25	14	29	21	67	155	246	30,92	49,29	67,91	0,43	1,59	0,63	1,38	1,45	0,87
75	25	16	33	24	73	174	277	29,61	50,59	71,77	0,42	1,60	0,59	1,42	1,39	0,89
75	25	18	38	27	79	192	311	28,27	51,88	76,26	0,41	1,62	0,54	1,47	1,33	0,91
75	25	20	40	30	85	211	336	26,91	53,16	78,83	0,40	1,60	0,51	1,48	1,25	0,93
75	25	22	45	33	91	229	371	25,53	54,44	83,31	0,40	1,62	0,47	1,53	1,18	0,95
80	20	12	25	18	56	131	210	34,21	49,95	66,00	0,43	1,60	0,68	1,32	1,61	0,83
80	25	12	25	18	61	136	215	34,69	50,47	66,53	0,45	1,58	0,69	1,32	1,54	0,84
80	30	12	25	18	66	141	220	35,09	50,95	67,04	0,47	1,56	0,69	1,32	1,48	0,85
80	20	14	29	21	62	150	241	32,89	51,25	69,85	0,41	1,61	0,64	1,36	1,55	0,85
80	25	14	29	21	67	155	246	33,42	51,79	70,41	0,43	1,59	0,65	1,36	1,49	0,86
80	30	14	29	21	72	160	251	33,88	52,30	70,94	0,45	1,57	0,65	1,36	1,44	0,86
80	20	16	33	24	68	169	272	31,53	52,53	73,70	0,40	1,62	0,60	1,40	1,49	0,87
80	25	16	33	24	73	174	277	32,11	53,09	74,27	0,42	1,60	0,60	1,40	1,44	0,88
80	30	16	33	24	78	179	282	32,62	53,62	74,81	0,44	1,58	0,61	1,40	1,39	0,88
80	20	18	38	27	74	187	306	30,15	53,81	78,19	0,40	1,64	0,56	1,45	1,42	0,89
80	25	18	38	27	79	192	311	30,77	54,38	78,76	0,41	1,62	0,57	1,45	1,38	0,89
80	30	18	38	27	84	197	316	31,32	54,93	79,32	0,43	1,61	0,57	1,44	1,34	0,90
80	20	20	40	30	80	206	331	28,75	55,07	80,75	0,39	1,61	0,52	1,47	1,34	0,91
80	25	20	40	30	85	211	336	29,41	55,66	81,33	0,40	1,60	0,53	1,46	1,31	0,92
80	30	20	40	30	90	216	341	30,00	56,23	81,90	0,42	1,58	0,53	1,46	1,28	0,92

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u**	eo*	e*	e**	uo*/u*	u*/u**	eo*/e*	e**/e*	η_{e1}	η_{e2}
80	20	22	45	33	86	224	366	27,34	56,34	85,22	0,38	1,63	0,49	1,51	1,27	0,93
80	25	22	45	33	91	229	371	28,03	56,94	85,81	0,40	1,62	0,49	1,51	1,24	0,93
80	30	22	45	33	96	234	376	28,66	57,52	86,39	0,41	1,60	0,50	1,50	1,22	0,94
90	20	12	25	18	56	131	210	39,21	54,95	71,00	0,43	1,60	0,71	1,29	1,67	0,81
90	25	12	25	18	61	136	215	39,69	55,47	71,53	0,45	1,58	0,72	1,29	1,60	0,82
90	30	12	25	18	66	141	220	40,09	55,95	72,04	0,47	1,56	0,72	1,29	1,54	0,83
90	20	14	29	21	62	150	241	37,89	56,25	74,85	0,41	1,61	0,67	1,33	1,63	0,83
90	25	14	29	21	67	155	246	38,42	56,79	75,41	0,43	1,59	0,68	1,33	1,56	0,84
90	30	14	29	21	72	160	251	38,88	57,30	75,94	0,45	1,57	0,68	1,33	1,51	0,84
90	20	16	33	24	68	169	272	36,53	57,53	78,70	0,40	1,62	0,63	1,37	1,57	0,85
90	25	16	33	24	73	174	277	37,11	58,09	79,27	0,42	1,60	0,64	1,36	1,52	0,85
90	30	16	33	24	78	179	282	37,62	58,62	79,81	0,44	1,58	0,64	1,36	1,47	0,86
90	20	18	38	27	74	187	306	35,15	58,81	83,19	0,40	1,64	0,60	1,41	1,51	0,86
90	25	18	38	27	79	192	311	35,77	59,38	83,76	0,41	1,62	0,60	1,41	1,46	0,87
90	30	18	38	27	84	197	316	36,32	59,93	84,32	0,43	1,61	0,61	1,41	1,42	0,88
90	20	20	40	30	80	206	331	33,75	60,07	85,75	0,39	1,61	0,56	1,43	1,44	0,89
90	25	20	40	30	85	211	336	34,41	60,66	86,33	0,40	1,60	0,57	1,42	1,41	0,89
90	30	20	40	30	90	216	341	35,00	61,23	86,90	0,42	1,58	0,57	1,42	1,37	0,90
90	20	22	45	33	86	224	366	32,34	61,34	90,22	0,38	1,63	0,53	1,47	1,37	0,90
90	25	22	45	33	91	229	371	33,03	61,94	90,81	0,40	1,62	0,53	1,47	1,34	0,91
90	30	22	45	33	96	234	376	33,66	62,52	91,39	0,41	1,60	0,54	1,46	1,31	0,91
100	20	12	25	18	56	131	210	44,21	59,95	76,00	0,43	1,60	0,74	1,27	1,73	0,79
100	25	12	25	18	61	136	215	44,69	60,47	76,53	0,45	1,58	0,74	1,27	1,65	0,80
100	30	12	25	18	66	141	220	45,09	60,95	77,04	0,47	1,56	0,74	1,26	1,59	0,81
100	20	14	29	21	62	150	241	42,89	61,25	79,85	0,41	1,61	0,70	1,30	1,69	0,81
100	25	14	29	21	67	155	246	43,42	61,79	80,41	0,43	1,59	0,70	1,30	1,63	0,82
100	30	14	29	21	72	160	251	43,88	62,30	80,94	0,45	1,57	0,70	1,30	1,56	0,83
100	20	16	33	24	68	169	272	41,53	62,53	83,70	0,40	1,62	0,66	1,34	1,65	0,83
100	25	16	33	24	73	174	277	42,11	63,09	84,27	0,42	1,60	0,67	1,34	1,59	0,84
100	30	16	33	24	78	179	282	42,62	63,62	84,81	0,44	1,58	0,67	1,33	1,53	0,84
100	20	18	38	27	74	187	306	40,15	63,81	88,19	0,40	1,64	0,63	1,38	1,59	0,84
100	25	18	38	27	79	192	311	40,77	64,38	88,76	0,41	1,62	0,63	1,38	1,54	0,85
100	30	18	38	27	84	197	316	41,32	64,93	89,32	0,43	1,61	0,64	1,38	1,49	0,86
100	20	20	40	30	80	206	331	38,75	65,07	90,75	0,39	1,61	0,60	1,39	1,53	0,87
100	25	20	40	30	85	211	336	39,41	65,66	91,33	0,40	1,60	0,60	1,39	1,49	0,87
100	30	20	40	30	90	216	341	40,00	66,23	91,90	0,42	1,58	0,60	1,39	1,45	0,88
100	20	22	45	33	86	224	366	37,34	66,34	95,22	0,38	1,63	0,56	1,44	1,47	0,88
100	25	22	45	33	91	229	371	38,03	66,94	95,81	0,40	1,62	0,57	1,43	1,43	0,89
100	30	22	45	33	96	234	376	38,66	67,52	96,39	0,41	1,60	0,57	1,43	1,40	0,89
110	25	12	25	18	61	136	215	49,69	65,47	81,53	0,45	1,58	0,76	1,25	1,70	0,79
110	30	12	25	18	66	141	220	50,09	65,95	82,04	0,47	1,56	0,76	1,24	1,63	0,80
110	25	14	29	21	67	155	246	48,42	66,79	85,41	0,43	1,59	0,72	1,28	1,68	0,81
110	30	14	29	21	72	160	251	48,88	67,30	85,94	0,45	1,57	0,73	1,28	1,61	0,81
110	25	16	33	24	73	174	277	47,11	68,09	89,27	0,42	1,60	0,69	1,31	1,64	0,82
110	30	16	33	24	78	179	282	47,62	68,62	89,81	0,44	1,58	0,69	1,31	1,59	0,83
110	25	18	38	27	79	192	311	45,77	69,38	93,76	0,41	1,62	0,66	1,35	1,60	0,83
110	30	18	38	27	84	197	316	46,32	69,93	94,32	0,43	1,61	0,66	1,35	1,55	0,84
110	25	20	40	30	85	211	336	44,41	70,66	96,33	0,40	1,60	0,63	1,36	1,56	0,85
110	30	20	40	30	90	216	341	45,00	71,23	96,90	0,42	1,58	0,63	1,36	1,51	0,86
110	25	22	45	33	91	229	371	43,03	71,94	100,81	0,40	1,62	0,60	1,40	1,51	0,87
110	30	22	45	33	96	234	376	43,66	72,52	101,39	0,41	1,60	0,60	1,40	1,47	0,87
120	30	12	25	18	66	141	220	55,09	70,95	87,04	0,47	1,56	0,78	1,23	1,66	0,79
120	30	14	29	21	72	160	251	53,88	72,30	90,94	0,45	1,57	0,75	1,26	1,66	0,80
120	30	16	33	24	78	179	282	52,62	73,62	94,81	0,44	1,58	0,71	1,29	1,64	0,81
120	30	18	38	27	84	197	316	51,32	74,93	99,32	0,43	1,61	0,68	1,33	1,61	0,83

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u**	eo*	e*	e**	uo*/u*	u*/u**	eo*/e*	e**/e*	η _{e1}	η _{e2}	
120	30	20	40	30	90	216	341	50,00	76,23	101,90	0,42	1,58	0,66	1,34	1,57	0,84	
120	30	22	45	33	96	234	376	48,66	77,52	106,39	0,41	1,60	0,63	1,37	1,53	0,86	
125	25	12	25	28	81	156	235	52,82	68,69	84,82	0,52	1,50	0,77	1,23	1,48	0,82	
125	25	14	29	21	67	155	246	55,92	74,29	92,91	0,43	1,59	0,75	1,25	1,74	0,79	
125	25	16	33	24	73	174	277	54,61	75,59	96,77	0,42	1,60	0,72	1,28	1,72	0,80	
125	25	18	38	27	79	192	311	53,27	76,88	101,26	0,41	1,62	0,69	1,32	1,68	0,81	
125	25	20	40	30	85	211	336	51,91	78,16	103,83	0,40	1,60	0,66	1,33	1,65	0,83	
125	25	22	45	33	91	229	371	50,53	79,44	108,31	0,40	1,62	0,64	1,36	1,60	0,84	
130	30	12	25	18	66	141	220	60,09	75,95	92,04	0,47	1,56	0,79	1,21	1,70	0,78	
130	30	14	29	21	72	160	251	58,88	77,30	95,94	0,45	1,57	0,76	1,24	1,69	0,79	
130	30	16	33	24	78	179	282	57,62	78,62	99,81	0,44	1,58	0,73	1,27	1,68	0,80	
130	30	18	38	27	84	197	316	56,32	79,93	104,32	0,43	1,61	0,70	1,31	1,65	0,81	
130	30	20	40	30	90	216	341	55,00	81,23	106,90	0,42	1,58	0,68	1,32	1,62	0,83	
130	30	22	45	33	96	234	376	53,66	82,52	111,39	0,41	1,60	0,65	1,35	1,59	0,84	
140	30	12	25	18	66	141	220	65,09	80,95	97,04	0,47	1,56	0,80	1,20	1,72	0,77	
140	30	14	29	21	72	160	251	63,88	82,30	100,94	0,45	1,57	0,78	1,23	1,72	0,78	
140	30	16	33	24	78	179	282	62,62	83,62	104,81	0,44	1,58	0,75	1,25	1,71	0,79	
140	30	18	38	27	84	197	316	61,32	84,93	109,32	0,43	1,61	0,72	1,29	1,69	0,80	
140	30	20	40	30	90	216	341	60,00	86,23	111,90	0,42	1,58	0,70	1,30	1,67	0,82	
140	30	22	45	33	96	234	376	58,66	87,52	116,39	0,41	1,60	0,67	1,33	1,64	0,83	
150	30	12	25	18	66	141	220	70,09	85,95	102,04	0,47	1,56	0,82	1,19	1,75	0,76	
150	30	14	29	21	72	160	251	68,88	87,30	105,94	0,45	1,57	0,79	1,21	1,75	0,77	
150	30	16	33	24	78	179	282	67,62	88,62	109,81	0,44	1,58	0,76	1,24	1,75	0,78	
150	30	18	38	27	84	197	316	66,32	89,93	114,32	0,43	1,61	0,74	1,27	1,73	0,79	
150	30	20	40	30	90	216	341	65,00	91,23	116,90	0,42	1,58	0,71	1,28	1,71	0,81	
150	30	22	45	33	96	234	376	63,66	92,52	121,39	0,41	1,60	0,69	1,31	1,68	0,82	
															média	1,37	0,89
															desvio	0,2446	0,0683

Tabela B.5 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para pilares de canto com $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u**	eo*	e*	e**	uo*/u*	u*/u**	eo*/e*	e**/e*	η _{e1}	η _{e2}
20	20	12	25	10	10	20	58	97	7,50	23,28	39,30	0,35	1,68	0,32	1,69	0,93	1,00
20	30	12	25	10	15	25	63	102	8,00	24,13	40,26	0,40	1,63	0,33	1,67	0,83	1,03
20	40	12	25	10	18	28	66	105	8,21	24,58	40,80	0,43	1,60	0,33	1,66	0,78	1,04
20	50	12	25	10	18	28	66	105	8,21	24,58	40,80	0,43	1,60	0,33	1,66	0,78	1,04
20	60	12	25	10	18	28	66	105	8,21	24,58	40,80	0,43	1,60	0,33	1,66	0,78	1,04
20	70	12	25	10	18	28	66	105	8,21	24,58	40,80	0,43	1,60	0,33	1,66	0,78	1,04
20	80	12	25	10	18	28	66	105	8,21	24,58	40,80	0,43	1,60	0,33	1,66	0,78	1,04
20	90	12	25	10	18	28	66	105	8,21	24,58	40,80	0,43	1,60	0,33	1,66	0,78	1,04
20	100	12	25	10	18	28	66	105	8,21	24,58	40,80	0,43	1,60	0,33	1,66	0,78	1,04
20	20	14	29	10	10	20	64	110	7,50	25,85	44,41	0,31	1,71	0,29	1,72	0,93	1,00
20	30	14	29	10	15	25	69	115	8,00	26,73	45,40	0,36	1,66	0,30	1,70	0,83	1,02
20	40	14	29	10	20	30	74	120	8,33	27,49	46,30	0,41	1,62	0,30	1,68	0,75	1,04
20	50	14	29	10	21	31	75	121	8,39	27,63	46,47	0,41	1,61	0,30	1,68	0,73	1,05
20	60	14	29	10	21	31	75	121	8,39	27,63	46,47	0,41	1,61	0,30	1,68	0,73	1,05
20	70	14	29	10	21	31	75	121	8,39	27,63	46,47	0,41	1,61	0,30	1,68	0,73	1,05
20	80	14	29	10	21	31	75	121	8,39	27,63	46,47	0,41	1,61	0,30	1,68	0,73	1,05
20	90	14	29	10	21	31	75	121	8,39	27,63	46,47	0,41	1,61	0,30	1,68	0,73	1,05
20	100	14	29	10	21	31	75	121	8,39	27,63	46,47	0,41	1,61	0,30	1,68	0,73	1,05
20	20	16	33	10	10	20	70	122	7,50	28,42	49,52	0,28	1,74	0,26	1,74	0,93	1,00
20	30	16	33	10	15	25	75	127	8,00	29,32	50,52	0,33	1,69	0,27	1,72	0,82	1,02
20	40	16	33	10	20	30	80	132	8,33	30,11	51,45	0,37	1,65	0,28	1,71	0,74	1,04
20	50	16	33	10	24	34	84	136	8,53	30,67	52,14	0,40	1,62	0,28	1,70	0,69	1,05

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u**	eo*	e*	e**	uo*/u*	u*/u**	eo*/e*	e**/e*	ηe1	ηe2
20	60	16	33	10	24	34	84	136	8,53	30,67	52,14	0,40	1,62	0,28	1,70	0,69	1,05
20	70	16	33	10	24	34	84	136	8,53	30,67	52,14	0,40	1,62	0,28	1,70	0,69	1,05
20	80	16	33	10	24	34	84	136	8,53	30,67	52,14	0,40	1,62	0,28	1,70	0,69	1,05
20	90	16	33	10	24	34	84	136	8,53	30,67	52,14	0,40	1,62	0,28	1,70	0,69	1,05
20	100	16	33	10	24	34	84	136	8,53	30,67	52,14	0,40	1,62	0,28	1,70	0,69	1,05
20	20	18	38	10	10	20	77	136	7,50	30,98	55,26	0,26	1,78	0,24	1,78	0,93	1,00
20	30	18	38	10	15	25	82	141	8,00	31,90	56,28	0,31	1,73	0,25	1,76	0,82	1,02
20	40	18	38	10	20	30	87	146	8,33	32,72	57,22	0,35	1,69	0,25	1,75	0,73	1,04
20	50	18	38	10	25	35	92	151	8,57	33,44	58,11	0,38	1,65	0,26	1,74	0,67	1,05
20	60	18	38	10	27	37	94	153	8,65	33,71	58,45	0,40	1,64	0,26	1,73	0,65	1,06
20	70	18	38	10	27	37	94	153	8,65	33,71	58,45	0,40	1,64	0,26	1,73	0,65	1,06
20	80	18	38	10	27	37	94	153	8,65	33,71	58,45	0,40	1,64	0,26	1,73	0,65	1,06
20	90	18	38	10	27	37	94	153	8,65	33,71	58,45	0,40	1,64	0,26	1,73	0,65	1,06
20	100	18	38	10	27	37	94	153	8,65	33,71	58,45	0,40	1,64	0,26	1,73	0,65	1,06
20	20	20	40	10	10	20	83	146	7,50	33,54	59,09	0,24	1,76	0,22	1,76	0,93	1,00
20	30	20	40	10	15	25	88	151	8,00	34,48	60,11	0,28	1,72	0,23	1,74	0,82	1,02
20	40	20	40	10	20	30	93	156	8,33	35,31	61,07	0,32	1,68	0,24	1,73	0,73	1,03
20	50	20	40	10	25	35	98	161	8,57	36,07	61,97	0,36	1,64	0,24	1,72	0,66	1,05
20	60	20	40	10	30	40	103	166	8,75	36,74	62,82	0,39	1,61	0,24	1,71	0,61	1,06
20	70	20	40	10	30	40	103	166	8,75	36,74	62,82	0,39	1,61	0,24	1,71	0,61	1,06
20	80	20	40	10	30	40	103	166	8,75	36,74	62,82	0,39	1,61	0,24	1,71	0,61	1,06
20	90	20	40	10	30	40	103	166	8,75	36,74	62,82	0,39	1,61	0,24	1,71	0,61	1,06
20	100	20	40	10	30	40	103	166	8,75	36,74	62,82	0,39	1,61	0,24	1,71	0,61	1,06
20	20	22	45	18	10	28	97	168	4,21	32,80	61,54	0,29	1,73	0,13	1,88	0,45	1,09
20	30	22	45	18	15	33	102	173	5,09	33,84	62,63	0,32	1,69	0,15	1,85	0,47	1,09
20	40	22	45	18	20	38	107	178	5,74	34,78	63,65	0,35	1,66	0,16	1,83	0,46	1,10
20	50	22	45	18	25	43	112	183	6,23	35,63	64,62	0,38	1,63	0,17	1,81	0,46	1,11
20	60	22	45	18	30	48	117	188	6,63	36,42	65,53	0,41	1,60	0,18	1,80	0,44	1,12
20	70	22	45	18	33	51	120	191	6,82	36,86	66,06	0,42	1,59	0,19	1,79	0,44	1,13
20	80	22	45	18	33	51	120	191	6,82	36,86	66,06	0,42	1,59	0,19	1,79	0,44	1,13
20	90	22	45	18	33	51	120	191	6,82	36,86	66,06	0,42	1,59	0,19	1,79	0,44	1,13
20	100	22	45	18	33	51	120	191	6,82	36,86	66,06	0,42	1,59	0,19	1,79	0,44	1,13
25	40	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	50	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	60	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	75	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	80	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	90	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	100	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	110	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	125	12	25	13	18	31	68	107	9,94	26,13	42,32	0,45	1,58	0,38	1,62	0,85	1,03
25	40	14	29	13	20	33	76	122	10,10	29,05	47,82	0,42	1,60	0,35	1,65	0,82	1,03
25	50	14	29	13	21	34	77	123	10,17	29,20	48,00	0,43	1,59	0,35	1,64	0,81	1,04
25	60	14	29	13	21	34	77	123	10,17	29,20	48,00	0,43	1,59	0,35	1,64	0,81	1,04
25	75	14	29	13	21	34	77	123	10,17	29,20	48,00	0,43	1,59	0,35	1,64	0,81	1,04
25	80	14	29	13	21	34	77	123	10,17	29,20	48,00	0,43	1,59	0,35	1,64	0,81	1,04
25	90	14	29	13	21	34	77	123	10,17	29,20	48,00	0,43	1,59	0,35	1,64	0,81	1,04
25	100	14	29	13	21	34	77	123	10,17	29,20	48,00	0,43	1,59	0,35	1,64	0,81	1,04
25	110	14	29	13	21	34	77	123	10,17	29,20	48,00	0,43	1,59	0,35	1,64	0,81	1,04
25	125	14	29	13	21	34	77	123	10,17	29,20	48,00	0,43	1,59	0,35	1,64	0,81	1,04
25	40	16	33	13	20	33	83	135	10,10	31,66	52,97	0,39	1,63	0,32	1,67	0,81	1,03
25	50	16	33	13	24	37	87	139	10,36	32,25	53,67	0,42	1,60	0,32	1,66	0,76	1,04
25	60	16	33	13	24	37	87	139	10,36	32,25	53,67	0,42	1,60	0,32	1,66	0,76	1,04
25	75	16	33	13	24	37	87	139	10,36	32,25	53,67	0,42	1,60	0,32	1,66	0,76	1,04
25	80	16	33	13	24	37	87	139	10,36	32,25	53,67	0,42	1,60	0,32	1,66	0,76	1,04

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u**	eo*	e*	e**	uo*/u*	u**/u*	eo*/e*	e**/e*	ηe1	ηe2
25	90	16	33	13	24	37	87	139	10,36	32,25	53,67	0,42	1,60	0,32	1,66	0,76	1,04
25	100	16	33	13	24	37	87	139	10,36	32,25	53,67	0,42	1,60	0,32	1,66	0,76	1,04
25	110	16	33	13	24	37	87	139	10,36	32,25	53,67	0,42	1,60	0,32	1,66	0,76	1,04
25	125	16	33	13	24	37	87	139	10,36	32,25	53,67	0,42	1,60	0,32	1,66	0,76	1,04
25	40	18	38	13	20	33	89	149	10,10	34,26	58,74	0,36	1,67	0,29	1,71	0,81	1,03
25	50	18	38	13	25	38	94	154	10,42	35,02	59,64	0,40	1,63	0,30	1,70	0,75	1,04
25	60	18	38	13	27	40	96	156	10,52	35,30	59,99	0,41	1,62	0,30	1,70	0,72	1,05
25	75	18	38	13	27	40	96	156	10,52	35,30	59,99	0,41	1,62	0,30	1,70	0,72	1,05
25	80	18	38	13	27	40	96	156	10,52	35,30	59,99	0,41	1,62	0,30	1,70	0,72	1,05
25	90	18	38	13	27	40	96	156	10,52	35,30	59,99	0,41	1,62	0,30	1,70	0,72	1,05
25	100	18	38	13	27	40	96	156	10,52	35,30	59,99	0,41	1,62	0,30	1,70	0,72	1,05
25	110	18	38	13	27	40	96	156	10,52	35,30	59,99	0,41	1,62	0,30	1,70	0,72	1,05
25	125	18	38	13	27	40	96	156	10,52	35,30	59,99	0,41	1,62	0,30	1,70	0,72	1,05
25	40	20	40	13	20	33	95	158	10,10	36,86	62,59	0,34	1,66	0,27	1,70	0,80	1,02
25	50	20	40	13	25	38	100	163	10,42	37,64	63,50	0,37	1,63	0,28	1,69	0,74	1,04
25	60	20	40	13	30	43	105	168	10,66	38,34	64,37	0,40	1,60	0,28	1,68	0,69	1,05
25	75	20	40	13	30	43	105	168	10,66	38,34	64,37	0,40	1,60	0,28	1,68	0,69	1,05
25	80	20	40	13	30	43	105	168	10,66	38,34	64,37	0,40	1,60	0,28	1,68	0,69	1,05
25	90	20	40	13	30	43	105	168	10,66	38,34	64,37	0,40	1,60	0,28	1,68	0,69	1,05
25	100	20	40	13	30	43	105	168	10,66	38,34	64,37	0,40	1,60	0,28	1,68	0,69	1,05
25	110	20	40	13	30	43	105	168	10,66	38,34	64,37	0,40	1,60	0,28	1,68	0,69	1,05
25	125	20	40	13	30	43	105	168	10,66	38,34	64,37	0,40	1,60	0,28	1,68	0,69	1,05
25	40	22	45	13	20	33	102	172	10,10	39,44	68,35	0,32	1,70	0,26	1,73	0,80	1,02
25	50	22	45	13	25	38	107	177	10,42	40,24	69,28	0,35	1,66	0,26	1,72	0,74	1,04
25	60	22	45	13	30	43	112	182	10,66	40,97	70,17	0,38	1,63	0,26	1,71	0,68	1,05
25	75	22	45	13	33	46	115	185	10,78	41,38	70,67	0,40	1,62	0,26	1,71	0,66	1,06
25	80	22	45	13	33	46	115	185	10,78	41,38	70,67	0,40	1,62	0,26	1,71	0,66	1,06
25	90	22	45	13	33	46	115	185	10,78	41,38	70,67	0,40	1,62	0,26	1,71	0,66	1,06
25	100	22	45	13	33	46	115	185	10,78	41,38	70,67	0,40	1,62	0,26	1,71	0,66	1,06
25	110	22	45	13	33	46	115	185	10,78	41,38	70,67	0,40	1,62	0,26	1,71	0,66	1,06
25	125	22	45	13	33	46	115	185	10,78	41,38	70,67	0,40	1,62	0,26	1,71	0,66	1,06
30	30	12	25	15	15	30	68	107	11,25	27,16	43,27	0,44	1,58	0,41	1,59	0,93	1,01
30	40	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	50	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	60	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	70	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	80	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	90	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	100	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	110	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	120	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	130	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	140	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	150	12	25	15	18	33	71	110	11,59	27,67	43,83	0,47	1,56	0,42	1,58	0,90	1,02
30	30	14	29	15	15	30	74	120	11,25	29,75	48,39	0,41	1,62	0,38	1,63	0,93	1,01
30	40	14	29	15	20	35	79	125	11,79	30,59	49,34	0,44	1,58	0,39	1,61	0,87	1,02
30	50	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03
30	60	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03
30	70	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03
30	80	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03
30	90	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03
30	100	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03
30	110	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03
30	120	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03
30	130	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u**	eo*	e*	e**	uo*/u*	u**/u*	eo*/e*	e**/e*	ηe1	ηe2	
30	140	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03	
30	150	14	29	15	21	36	80	126	11,88	30,75	49,52	0,45	1,57	0,39	1,61	0,86	1,03	
30	30	16	33	15	15	30	80	132	11,25	32,34	53,51	0,37	1,65	0,35	1,65	0,93	1,01	
30	40	16	33	15	20	35	85	137	11,79	33,20	54,48	0,41	1,61	0,36	1,64	0,86	1,02	
30	50	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	60	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	70	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	80	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	90	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	100	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	110	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	120	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	130	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	140	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	150	16	33	15	24	39	89	141	12,12	33,81	55,20	0,44	1,58	0,36	1,63	0,82	1,03	
30	30	18	38	15	15	30	87	146	11,25	34,91	59,27	0,35	1,69	0,32	1,70	0,93	1,00	
30	40	18	38	15	20	35	92	151	11,79	35,79	60,25	0,38	1,65	0,33	1,68	0,86	1,02	
30	50	18	38	15	25	40	97	156	12,19	36,58	61,17	0,41	1,62	0,33	1,67	0,80	1,03	
30	60	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	70	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	80	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	90	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	100	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	110	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	120	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	130	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	140	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	150	18	38	15	27	42	99	158	12,32	36,87	61,52	0,43	1,61	0,33	1,67	0,78	1,04	
30	30	20	40	15	15	30	93	156	11,25	37,49	63,10	0,32	1,68	0,30	1,68	0,93	1,00	
30	40	20	40	15	20	35	98	161	11,79	38,38	64,09	0,36	1,64	0,31	1,67	0,86	1,02	
30	50	20	40	15	25	40	103	166	12,19	39,19	65,03	0,39	1,61	0,31	1,66	0,80	1,03	
30	60	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	70	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	80	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	90	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	100	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	110	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	120	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	130	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	140	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	150	20	40	15	30	45	108	171	12,50	39,92	65,90	0,42	1,58	0,31	1,65	0,75	1,04	
30	30	22	45	15	15	30	99	170	11,25	40,06	68,85	0,30	1,71	0,28	1,72	0,93	1,00	
30	40	22	45	15	20	35	104	175	11,79	40,97	69,85	0,34	1,68	0,29	1,71	0,86	1,02	
30	50	22	45	15	25	40	109	180	12,19	41,79	70,80	0,37	1,65	0,29	1,69	0,80	1,03	
30	60	22	45	15	30	45	114	185	12,50	42,55	71,70	0,39	1,62	0,29	1,69	0,75	1,04	
30	70	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
30	80	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
30	90	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
30	100	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
30	110	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
30	120	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
30	130	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
30	140	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
30	150	22	45	15	33	48	117	188	12,66	42,97	72,22	0,41	1,60	0,29	1,68	0,72	1,05	
																média	0,77	1,04
																desvio	0,1068	0,0221

Tabela B.6 - Valores de h_{e1} e de h_{e2} para pilares de canto com $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u**	eo*	e*	e**	uo*/u*	u*/u**	eo*/e*	e**/e*	ηe1	ηe2
30	20	12	25	15	10	25	63	102	10,50	26,22	42,25	0,40	1,63	0,40	1,61	1,00	0,99
30	20	14	29	15	10	25	69	115	10,50	28,79	47,36	0,36	1,66	0,36	1,64	1,01	0,99
30	20	16	33	15	10	25	75	127	10,50	31,36	52,47	0,33	1,69	0,33	1,67	1,01	0,99
30	20	18	38	15	10	25	82	141	10,50	33,93	58,21	0,31	1,73	0,31	1,72	1,01	0,99
30	20	20	40	15	10	25	88	151	10,50	36,49	62,04	0,28	1,72	0,29	1,70	1,01	0,99
30	20	22	45	15	10	25	94	165	10,50	39,05	67,78	0,27	1,75	0,27	1,74	1,01	0,99
40	20	12	25	18	10	28	66	105	14,21	29,95	46,00	0,43	1,60	0,47	1,54	1,11	0,96
40	25	12	25	18	13	31	68	107	14,69	30,47	46,53	0,45	1,58	0,48	1,53	1,08	0,97
40	30	12	25	18	15	33	71	110	15,09	30,95	47,04	0,47	1,56	0,49	1,52	1,04	0,98
40	20	14	29	20	10	30	74	120	13,33	31,68	50,28	0,41	1,62	0,42	1,59	1,04	0,98
40	25	14	29	20	13	33	76	122	13,85	32,21	50,82	0,42	1,60	0,43	1,58	1,01	0,99
40	30	14	29	20	15	35	79	125	14,29	32,71	51,35	0,44	1,58	0,44	1,57	0,99	1,00
40	20	16	33	20	10	30	80	132	13,33	34,25	55,39	0,37	1,65	0,39	1,62	1,04	0,98
40	25	16	33	20	13	33	83	135	13,85	34,79	55,94	0,39	1,63	0,40	1,61	1,01	0,99
40	30	16	33	20	15	35	85	137	14,29	35,29	56,47	0,41	1,61	0,40	1,60	0,99	1,00
40	20	18	38	20	10	30	87	146	13,33	36,82	61,14	0,35	1,69	0,36	1,66	1,04	0,98
40	25	18	38	20	13	33	89	149	13,85	37,36	61,69	0,36	1,67	0,37	1,65	1,02	0,99
40	30	18	38	20	15	35	92	151	14,29	37,87	62,22	0,38	1,65	0,38	1,64	0,99	0,99
40	20	20	40	20	10	30	93	156	13,33	39,39	64,97	0,32	1,68	0,34	1,65	1,05	0,98
40	25	20	40	20	13	33	95	158	13,85	39,93	65,52	0,34	1,66	0,35	1,64	1,02	0,99
40	30	20	40	20	15	35	98	161	14,29	40,44	66,06	0,36	1,64	0,35	1,63	0,99	0,99
40	20	22	45	20	10	30	99	170	13,33	41,95	70,71	0,30	1,71	0,32	1,69	1,05	0,98
40	25	22	45	20	13	33	102	172	13,85	42,50	71,27	0,32	1,70	0,33	1,68	1,02	0,99
40	30	22	45	20	15	35	104	175	14,29	43,01	71,81	0,34	1,68	0,33	1,67	0,99	0,99
50	20	12	25	18	10	28	66	105	19,21	34,95	51,00	0,43	1,60	0,55	1,46	1,29	0,91
50	25	12	25	18	13	31	68	107	19,69	35,47	51,53	0,45	1,58	0,56	1,45	1,24	0,92
50	30	12	25	18	15	33	71	110	20,09	35,95	52,04	0,47	1,56	0,56	1,45	1,20	0,93
50	20	14	29	21	10	31	75	121	17,89	36,25	54,85	0,41	1,61	0,49	1,51	1,19	0,94
50	25	14	29	21	13	34	77	123	18,42	36,79	55,41	0,43	1,59	0,50	1,51	1,16	0,95
50	30	14	29	21	15	36	80	126	18,88	37,30	55,94	0,45	1,57	0,51	1,50	1,12	0,96
50	20	16	33	24	10	34	84	136	16,53	37,53	58,70	0,40	1,62	0,44	1,56	1,09	0,97
50	25	16	33	24	13	37	87	139	17,11	38,09	59,27	0,42	1,60	0,45	1,56	1,07	0,97
50	30	16	33	24	15	39	89	141	17,62	38,62	59,81	0,44	1,58	0,46	1,55	1,04	0,98
50	20	18	38	25	10	35	92	151	16,07	39,68	64,03	0,38	1,65	0,41	1,61	1,06	0,98
50	25	18	38	25	13	38	94	154	16,67	40,24	64,60	0,40	1,63	0,41	1,61	1,04	0,98
50	30	18	38	25	15	40	97	156	17,19	40,78	65,15	0,41	1,62	0,42	1,60	1,02	0,99
50	20	20	40	25	10	35	98	161	16,07	42,25	67,87	0,36	1,64	0,38	1,61	1,06	0,98
50	25	20	40	25	13	38	100	163	16,67	42,82	68,44	0,37	1,63	0,39	1,60	1,04	0,98
50	30	20	40	25	15	40	103	166	17,19	43,36	68,99	0,39	1,61	0,40	1,59	1,02	0,99
50	20	22	45	25	10	35	104	175	16,07	44,82	73,62	0,34	1,68	0,36	1,64	1,07	0,98
50	25	22	45	25	13	38	107	177	16,67	45,39	74,19	0,35	1,66	0,37	1,63	1,04	0,98
50	30	22	45	25	15	40	109	180	17,19	45,93	74,74	0,37	1,65	0,37	1,63	1,02	0,99
60	20	12	25	18	10	28	66	105	24,21	39,95	56,00	0,43	1,60	0,61	1,40	1,42	0,88
60	25	12	25	18	13	31	68	107	24,69	40,47	56,53	0,45	1,58	0,61	1,40	1,36	0,89
60	30	12	25	18	15	33	71	110	25,09	40,95	57,04	0,47	1,56	0,61	1,39	1,31	0,90
60	20	14	29	21	10	31	75	121	22,89	41,25	59,85	0,41	1,61	0,55	1,45	1,34	0,90
60	25	14	29	21	13	34	77	123	23,42	41,79	60,41	0,43	1,59	0,56	1,45	1,30	0,91
60	30	14	29	21	15	36	80	126	23,88	42,30	60,94	0,45	1,57	0,56	1,44	1,25	0,92
60	20	16	33	24	10	34	84	136	21,53	42,53	63,70	0,40	1,62	0,51	1,50	1,25	0,93
60	25	16	33	24	13	37	87	139	22,11	43,09	64,27	0,42	1,60	0,51	1,49	1,22	0,93
60	30	16	33	24	15	39	89	141	22,62	43,62	64,81	0,44	1,58	0,52	1,49	1,19	0,94
60	20	18	38	27	10	37	94	153	20,15	43,81	68,19	0,40	1,64	0,46	1,56	1,16	0,95
60	25	18	38	27	13	40	96	156	20,77	44,38	68,76	0,41	1,62	0,47	1,55	1,14	0,96

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u**	eo*	e*	e**	uo*/u*	u**/u*	eo*/e*	e**/e*	ηe1	ηe2
60	30	18	38	27	15	42	99	158	21,32	44,93	69,32	0,43	1,61	0,47	1,54	1,11	0,96
60	20	20	40	30	10	40	103	166	18,75	45,07	70,75	0,39	1,61	0,42	1,57	1,07	0,97
60	25	20	40	30	13	43	105	168	19,41	45,66	71,33	0,40	1,60	0,43	1,56	1,05	0,98
60	30	20	40	30	15	45	108	171	20,00	46,23	71,90	0,42	1,58	0,43	1,56	1,04	0,98
60	20	22	45	30	10	40	109	180	18,75	47,65	76,50	0,37	1,65	0,39	1,61	1,07	0,97
60	25	22	45	30	13	43	112	182	19,41	48,24	77,08	0,38	1,63	0,40	1,60	1,06	0,98
60	30	22	45	30	15	45	114	185	20,00	48,81	77,65	0,39	1,62	0,41	1,59	1,04	0,98
70	20	12	25	18	10	28	66	105	29,21	44,95	61,00	0,43	1,60	0,65	1,36	1,52	0,85
70	30	12	25	18	15	33	71	110	30,09	45,95	62,04	0,47	1,56	0,65	1,35	1,40	0,87
70	20	14	29	21	10	31	75	121	27,89	46,25	64,85	0,41	1,61	0,60	1,40	1,46	0,87
70	30	14	29	21	15	36	80	126	28,88	47,30	65,94	0,45	1,57	0,61	1,39	1,36	0,89
70	20	16	33	24	10	34	84	136	26,53	47,53	68,70	0,40	1,62	0,56	1,45	1,38	0,89
70	30	16	33	24	15	39	89	141	27,62	48,62	69,81	0,44	1,58	0,57	1,44	1,30	0,91
70	20	18	38	27	10	37	94	153	25,15	48,81	73,19	0,40	1,64	0,52	1,50	1,30	0,92
70	30	18	38	27	15	42	99	158	26,32	49,93	74,32	0,43	1,61	0,53	1,49	1,24	0,93
70	20	20	40	30	10	40	103	166	23,75	50,07	75,75	0,39	1,61	0,47	1,51	1,22	0,94
70	30	20	40	30	15	45	108	171	25,00	51,23	76,90	0,42	1,58	0,49	1,50	1,17	0,95
70	20	22	45	33	10	43	112	183	22,34	51,34	80,22	0,38	1,63	0,44	1,56	1,13	0,96
70	30	22	45	33	15	48	117	188	23,66	52,52	81,39	0,41	1,60	0,45	1,55	1,10	0,97
75	25	12	25	18	13	31	68	107	32,19	47,97	64,03	0,45	1,58	0,67	1,33	1,50	0,85
75	25	14	29	21	13	34	77	123	30,92	49,29	67,91	0,43	1,59	0,63	1,38	1,45	0,87
75	25	16	33	24	13	37	87	139	29,61	50,59	71,77	0,42	1,60	0,59	1,42	1,39	0,89
75	25	18	38	27	13	40	96	156	28,27	51,88	76,26	0,41	1,62	0,54	1,47	1,33	0,91
75	25	20	40	30	13	43	105	168	26,91	53,16	78,83	0,40	1,60	0,51	1,48	1,25	0,93
75	25	22	45	33	13	46	115	185	25,53	54,44	83,31	0,40	1,62	0,47	1,53	1,18	0,95
80	20	12	25	18	10	28	66	105	34,21	49,95	66,00	0,43	1,60	0,68	1,32	1,61	0,83
80	25	12	25	18	13	31	68	107	34,69	50,47	66,53	0,45	1,58	0,69	1,32	1,54	0,84
80	30	12	25	18	15	33	71	110	35,09	50,95	67,04	0,47	1,56	0,69	1,32	1,48	0,85
80	20	14	29	21	10	31	75	121	32,89	51,25	69,85	0,41	1,61	0,64	1,36	1,55	0,85
80	25	14	29	21	13	34	77	123	33,42	51,79	70,41	0,43	1,59	0,65	1,36	1,49	0,86
80	30	14	29	21	15	36	80	126	33,88	52,30	70,94	0,45	1,57	0,65	1,36	1,44	0,86
80	20	16	33	24	10	34	84	136	31,53	52,53	73,70	0,40	1,62	0,60	1,40	1,49	0,87
80	25	16	33	24	13	37	87	139	32,11	53,09	74,27	0,42	1,60	0,60	1,40	1,44	0,88
80	30	16	33	24	15	39	89	141	32,62	53,62	74,81	0,44	1,58	0,61	1,40	1,39	0,88
80	20	18	38	27	10	37	94	153	30,15	53,81	78,19	0,40	1,64	0,56	1,45	1,42	0,89
80	25	18	38	27	13	40	96	156	30,77	54,38	78,76	0,41	1,62	0,57	1,45	1,38	0,89
80	30	18	38	27	15	42	99	158	31,32	54,93	79,32	0,43	1,61	0,57	1,44	1,34	0,90
80	20	20	40	30	10	40	103	166	28,75	55,07	80,75	0,39	1,61	0,52	1,47	1,34	0,91
80	25	20	40	30	13	43	105	168	29,41	55,66	81,33	0,40	1,60	0,53	1,46	1,31	0,92
80	30	20	40	30	15	45	108	171	30,00	56,23	81,90	0,42	1,58	0,53	1,46	1,28	0,92
80	20	22	45	33	10	43	112	183	27,34	56,34	85,22	0,38	1,63	0,49	1,51	1,27	0,93
80	25	22	45	33	13	46	115	185	28,03	56,94	85,81	0,40	1,62	0,49	1,51	1,24	0,93
80	30	22	45	33	15	48	117	188	28,66	57,52	86,39	0,41	1,60	0,50	1,50	1,22	0,94
90	20	12	25	18	10	28	66	105	39,21	54,95	71,00	0,43	1,60	0,71	1,29	1,67	0,81
90	25	12	25	18	13	31	68	107	39,69	55,47	71,53	0,45	1,58	0,72	1,29	1,60	0,82
90	30	12	25	18	15	33	71	110	40,09	55,95	72,04	0,47	1,56	0,72	1,29	1,54	0,83
90	20	14	29	21	10	31	75	121	37,89	56,25	74,85	0,41	1,61	0,67	1,33	1,63	0,83
90	25	14	29	21	13	34	77	123	38,42	56,79	75,41	0,43	1,59	0,68	1,33	1,56	0,84
90	30	14	29	21	15	36	80	126	38,88	57,30	75,94	0,45	1,57	0,68	1,33	1,51	0,84
90	20	16	33	24	10	34	84	136	36,53	57,53	78,70	0,40	1,62	0,63	1,37	1,57	0,85
90	25	16	33	24	13	37	87	139	37,11	58,09	79,27	0,42	1,60	0,64	1,36	1,52	0,85
90	30	16	33	24	15	39	89	141	37,62	58,62	79,81	0,44	1,58	0,64	1,36	1,47	0,86
90	20	18	38	27	10	37	94	153	35,15	58,81	83,19	0,40	1,64	0,60	1,41	1,51	0,86
90	25	18	38	27	13	40	96	156	35,77	59,38	83,76	0,41	1,62	0,60	1,41	1,46	0,87
90	30	18	38	27	15	42	99	158	36,32	59,93	84,32	0,43	1,61	0,61	1,41	1,42	0,88

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u*	eo*	e*	e*	uo*/u*	u*/u*	eo*/e*	e*/e*	ηe1	ηe2
90	20	20	40	30	10	40	103	166	33,75	60,07	85,75	0,39	1,61	0,56	1,43	1,44	0,89
90	25	20	40	30	13	43	105	168	34,41	60,66	86,33	0,40	1,60	0,57	1,42	1,41	0,89
90	30	20	40	30	15	45	108	171	35,00	61,23	86,90	0,42	1,58	0,57	1,42	1,37	0,90
90	20	22	45	33	10	43	112	183	32,34	61,34	90,22	0,38	1,63	0,53	1,47	1,37	0,90
90	25	22	45	33	13	46	115	185	33,03	61,94	90,81	0,40	1,62	0,53	1,47	1,34	0,91
90	30	22	45	33	15	48	117	188	33,66	62,52	91,39	0,41	1,60	0,54	1,46	1,31	0,91
100	20	12	25	18	10	28	66	105	44,21	59,95	76,00	0,43	1,60	0,74	1,27	1,73	0,79
100	25	12	25	18	13	31	68	107	44,69	60,47	76,53	0,45	1,58	0,74	1,27	1,65	0,80
100	30	12	25	18	15	33	71	110	45,09	60,95	77,04	0,47	1,56	0,74	1,26	1,59	0,81
100	20	14	29	21	10	31	75	121	42,89	61,25	79,85	0,41	1,61	0,70	1,30	1,69	0,81
100	25	14	29	21	13	34	77	123	43,42	61,79	80,41	0,43	1,59	0,70	1,30	1,63	0,82
100	30	14	29	21	15	36	80	126	43,88	62,30	80,94	0,45	1,57	0,70	1,30	1,56	0,83
100	20	16	33	24	10	34	84	136	41,53	62,53	83,70	0,40	1,62	0,66	1,34	1,65	0,83
100	25	16	33	24	13	37	87	139	42,11	63,09	84,27	0,42	1,60	0,67	1,34	1,59	0,84
100	30	16	33	24	15	39	89	141	42,62	63,62	84,81	0,44	1,58	0,67	1,33	1,53	0,84
100	20	18	38	27	10	37	94	153	40,15	63,81	88,19	0,40	1,64	0,63	1,38	1,59	0,84
100	25	18	38	27	13	40	96	156	40,77	64,38	88,76	0,41	1,62	0,63	1,38	1,54	0,85
100	30	18	38	27	15	42	99	158	41,32	64,93	89,32	0,43	1,61	0,64	1,38	1,49	0,86
100	20	20	40	30	10	40	103	166	38,75	65,07	90,75	0,39	1,61	0,60	1,39	1,53	0,87
100	25	20	40	30	13	43	105	168	39,41	65,66	91,33	0,40	1,60	0,60	1,39	1,49	0,87
100	30	20	40	30	15	45	108	171	40,00	66,23	91,90	0,42	1,58	0,60	1,39	1,45	0,88
100	20	22	45	33	10	43	112	183	37,34	66,34	95,22	0,38	1,63	0,56	1,44	1,47	0,88
100	25	22	45	33	13	46	115	185	38,03	66,94	95,81	0,40	1,62	0,57	1,43	1,43	0,89
100	30	22	45	33	15	48	117	188	38,66	67,52	96,39	0,41	1,60	0,57	1,43	1,40	0,89
110	25	12	25	18	13	31	68	107	49,69	65,47	81,53	0,45	1,58	0,76	1,25	1,70	0,79
110	30	12	25	18	15	33	71	110	50,09	65,95	82,04	0,47	1,56	0,76	1,24	1,63	0,80
110	25	14	29	21	13	34	77	123	48,42	66,79	85,41	0,43	1,59	0,72	1,28	1,68	0,81
110	30	14	29	21	15	36	80	126	48,88	67,30	85,94	0,45	1,57	0,73	1,28	1,61	0,81
110	25	16	33	24	13	37	87	139	47,11	68,09	89,27	0,42	1,60	0,69	1,31	1,64	0,82
110	30	16	33	24	15	39	89	141	47,62	68,62	89,81	0,44	1,58	0,69	1,31	1,59	0,83
110	25	18	38	27	13	40	96	156	45,77	69,38	93,76	0,41	1,62	0,66	1,35	1,60	0,83
110	30	18	38	27	15	42	99	158	46,32	69,93	94,32	0,43	1,61	0,66	1,35	1,55	0,84
110	25	20	40	30	13	43	105	168	44,41	70,66	96,33	0,40	1,60	0,63	1,36	1,56	0,85
110	30	20	40	30	15	45	108	171	45,00	71,23	96,90	0,42	1,58	0,63	1,36	1,51	0,86
110	25	22	45	33	13	46	115	185	43,03	71,94	100,81	0,40	1,62	0,60	1,40	1,51	0,87
110	30	22	45	33	15	48	117	188	43,66	72,52	101,39	0,41	1,60	0,60	1,40	1,47	0,87
120	30	12	25	18	15	33	71	110	55,09	70,95	87,04	0,47	1,56	0,78	1,23	1,66	0,79
120	30	14	29	21	15	36	80	126	53,88	72,30	90,94	0,45	1,57	0,75	1,26	1,66	0,80
120	30	16	33	24	15	39	89	141	52,62	73,62	94,81	0,44	1,58	0,71	1,29	1,64	0,81
120	30	18	38	27	15	42	99	158	51,32	74,93	99,32	0,43	1,61	0,68	1,33	1,61	0,83
120	30	20	40	30	15	45	108	171	50,00	76,23	101,90	0,42	1,58	0,66	1,34	1,57	0,84
120	30	22	45	33	15	48	117	188	48,66	77,52	106,39	0,41	1,60	0,63	1,37	1,53	0,86
125	25	12	25	28	13	41	78	117	52,82	68,69	84,82	0,52	1,50	0,77	1,23	1,48	0,82
125	25	14	29	21	13	34	77	123	55,92	74,29	92,91	0,43	1,59	0,75	1,25	1,74	0,79
125	25	16	33	24	13	37	87	139	54,61	75,59	96,77	0,42	1,60	0,72	1,28	1,72	0,80
125	25	18	38	27	13	40	96	156	53,27	76,88	101,26	0,41	1,62	0,69	1,32	1,68	0,81
125	25	20	40	30	13	43	105	168	51,91	78,16	103,83	0,40	1,60	0,66	1,33	1,65	0,83
125	25	22	45	33	13	46	115	185	50,53	79,44	108,31	0,40	1,62	0,64	1,36	1,60	0,84
130	30	12	25	18	15	33	71	110	60,09	75,95	92,04	0,47	1,56	0,79	1,21	1,70	0,78
130	30	14	29	21	15	36	80	126	58,88	77,30	95,94	0,45	1,57	0,76	1,24	1,69	0,79
130	30	16	33	24	15	39	89	141	57,62	78,62	99,81	0,44	1,58	0,73	1,27	1,68	0,80
130	30	18	38	27	15	42	99	158	56,32	79,93	104,32	0,43	1,61	0,70	1,31	1,65	0,81
130	30	20	40	30	15	45	108	171	55,00	81,23	106,90	0,42	1,58	0,68	1,32	1,62	0,83
130	30	22	45	33	15	48	117	188	53,66	82,52	111,39	0,41	1,60	0,65	1,35	1,59	0,84
140	30	12	25	18	15	33	71	110	65,09	80,95	97,04	0,47	1,56	0,80	1,20	1,72	0,77

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u'*	eo*	e*	e'*	uo*/u*	u'*/u*	eo*/e*	e'*/e*	ηe1	ηe2
140	30	14	29	21	15	36	80	126	63,88	82,30	100,94	0,45	1,57	0,78	1,23	1,72	0,78
140	30	16	33	24	15	39	89	141	62,62	83,62	104,81	0,44	1,58	0,75	1,25	1,71	0,79
140	30	18	38	27	15	42	99	158	61,32	84,93	109,32	0,43	1,61	0,72	1,29	1,69	0,80
140	30	20	40	30	15	45	108	171	60,00	86,23	111,90	0,42	1,58	0,70	1,30	1,67	0,82
140	30	22	45	33	15	48	117	188	58,66	87,52	116,39	0,41	1,60	0,67	1,33	1,64	0,83
150	30	12	25	18	15	33	71	110	70,09	85,95	102,04	0,47	1,56	0,82	1,19	1,75	0,76
150	30	14	29	21	15	36	80	126	68,88	87,30	105,94	0,45	1,57	0,79	1,21	1,75	0,77
150	30	16	33	24	15	39	89	141	67,62	88,62	109,81	0,44	1,58	0,76	1,24	1,75	0,78
150	30	18	38	27	15	42	99	158	66,32	89,93	114,32	0,43	1,61	0,74	1,27	1,73	0,79
150	30	20	40	30	15	45	108	171	65,00	91,23	116,90	0,42	1,58	0,71	1,28	1,71	0,81
150	30	22	45	33	15	48	117	188	63,66	92,52	121,39	0,41	1,60	0,69	1,31	1,68	0,82
média																1,37	0,89
desvio																0,2446	0,0683

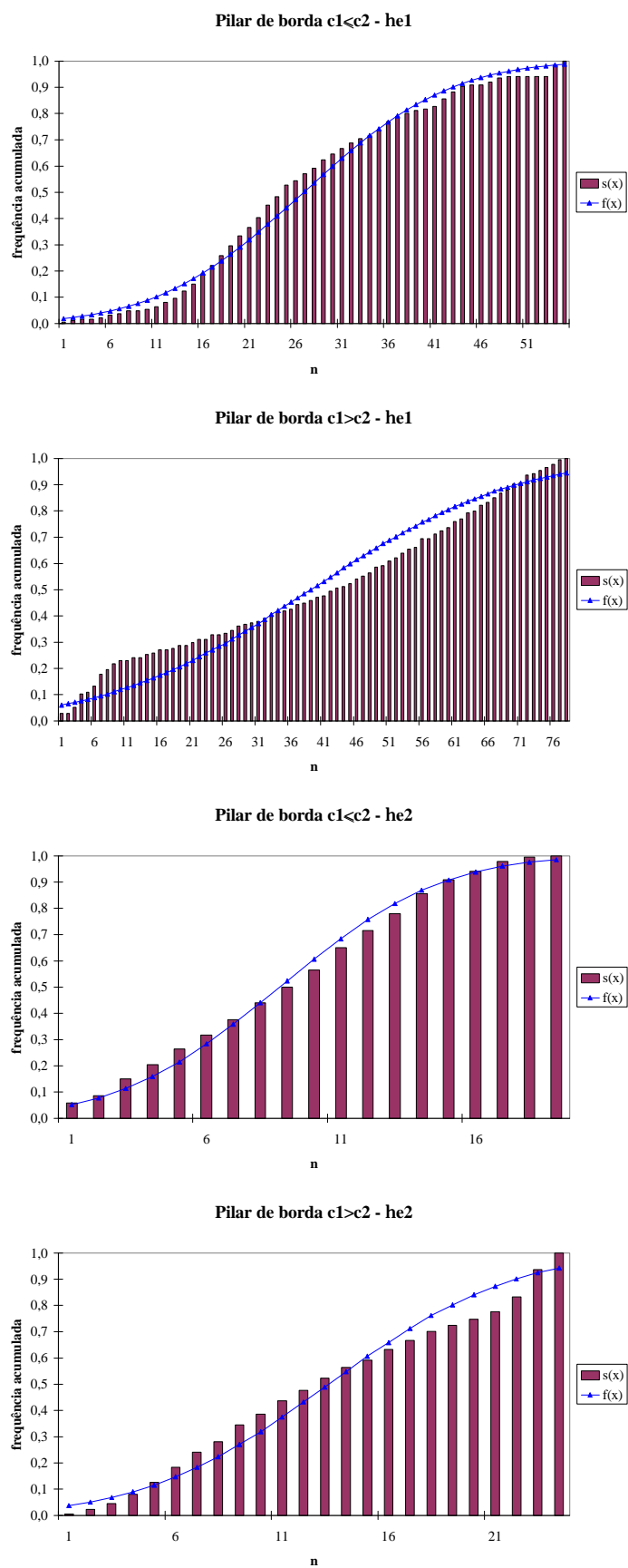


Figura B.1 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para pilares de borda

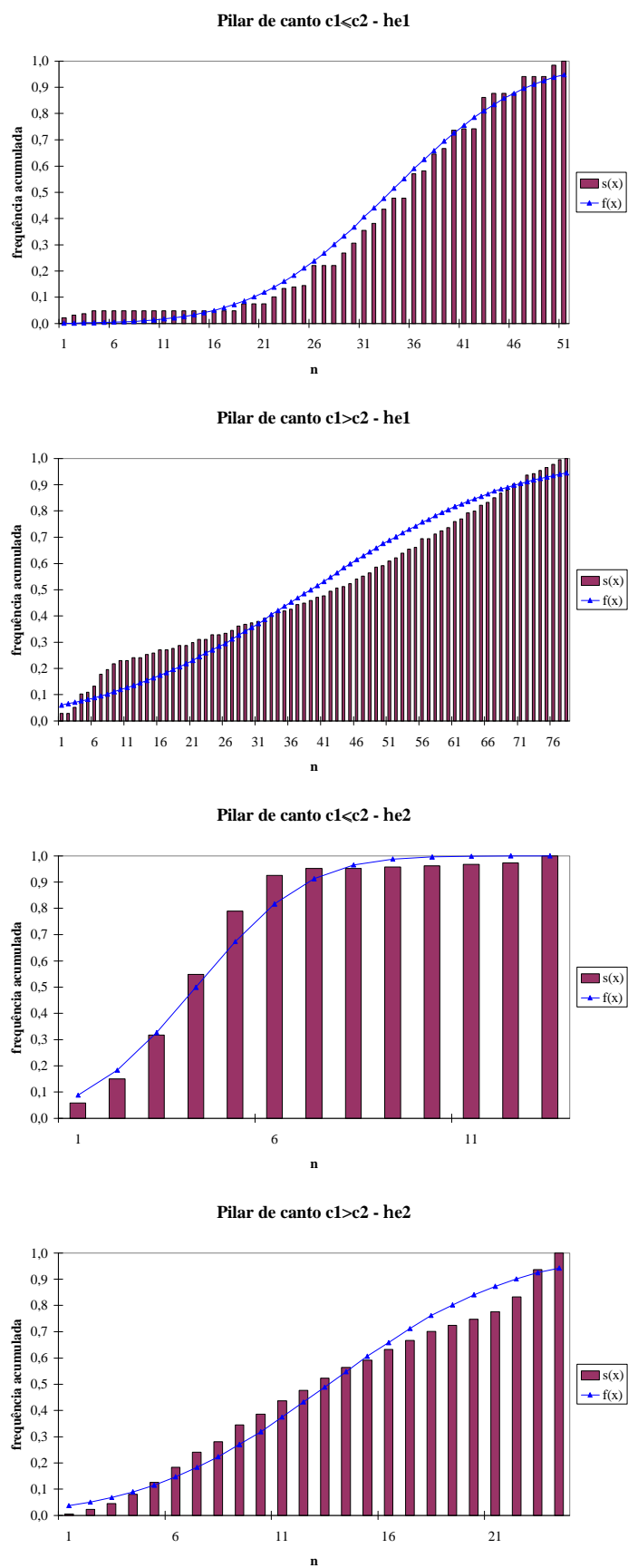


Figura B.2 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para pilares de canto

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE \tilde{b}

Para a determinação dos valores de \tilde{b} , foram resolvidos diversos exemplos com mesmas características mencionadas no Anexo A, a menos da maior dimensão da seção do pilar. Esta dimensão foi limitada a 3 vezes a outra, uma vez que a NBR 6118 (2000) só indica valores de K para $c_1/c_2 \leq 3$. Mais uma vez, os exemplos foram agrupados de acordo com a situação de cálculo e considerando-se a direção da excentricidade em relação aos lados do pilar. Foram estudados os seguintes casos:

- pilares internos com momento atuante em uma direção e $c_1 \leq c_2$ (Tabela C.4);
- pilares internos com momento atuante em uma direção e $c_1 > c_2$ (Tabela C.5);
- pilares internos com momentos atuantes nas duas direções e $c_1 \leq c_2$ (Tabela C.6);
- pilares internos com momentos atuantes nas duas direções e $c_1 > c_2$ (Tabela C.7);
- pilares de borda sem momento no plano paralelo à borda e $c_1 \leq c_2$ (Tabela C.8);
- pilares de borda sem momento no plano paralelo à borda e $c_1 > c_2$ (Tabela C.9);
- pilares de borda com momento no plano paralelo à borda e $c_1 \leq c_2$ (Tabela C.10);
- pilares de borda com momento no plano paralelo à borda e $c_1 > c_2$ (Tabela C.11);
- pilares de canto com $c_1 \leq c_2$ (Tabela C.12);
- pilares de canto com $c_1 > c_2$ (Tabela C.13).

Nas tabelas apresentadas, \tilde{b}_o , \tilde{b} e \tilde{b}' correspondem aos contornos C, C' e C'', respectivamente.

Foram calculados as médias e os desvios padrões de **b** para todos os casos, e estudou-se a possibilidade de se admiti-lo como uma variável de distribuição normal. Mais uma vez, foi utilizado o *Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test*, a partir do qual se observou a validade da aproximação para todas as situações estudadas. Assim, tomando-se o nível de significância de 10%, pode-se escrever:

$$\beta = \bar{\beta} + 1,28 \cdot \delta$$

sendo:

$\bar{\beta}$ - valor médio dos **b**;

d - desvio padrão.

Os valores obtidos dessa forma encontram-se na Tabela C.1. Agrupando-se e aproximando-se esses resultados, podem ser sugeridos os valores da Tabela C.2 e da Tabela C.3.

Tabela C.1 - Valores de **b** para o nível de significância de 10%

<i>Situação de Cálculo</i>	<i>c₁ ≤ c₂</i>			<i>c₁ > c₂</i>		
	<i>C</i>	<i>C'</i>	<i>C''</i>	<i>C</i>	<i>C'</i>	<i>C''</i>
<i>Pilar interno, com momento aplicado em uma direção</i>	1,13	1,13	1,08	1,12	1,12	1,08
<i>Pilar interno, com momentos aplicados nas duas direções</i>	1,16	1,16	1,10	1,14	1,14	1,09
<i>Pilar de borda, sem momento aplicado no plano paralelo à borda livre</i>	1,46	1,15	1,01	1,64	1,35	1,00
<i>Pilar de borda, com momento aplicado no plano paralelo à borda livre</i>	1,50	1,22	1,12	1,68	1,39	1,03
<i>Pilar de canto</i>	1,62	1,35	1,10	1,44	1,16	1,03

Tabela C.2 - Valores de **b** sugeridos para $c_1 \leq c_2$ e suas probabilidades de ocorrência

Situação de Cálculo	$c_1 \leq c_2$		
	C	C'	C''
Pilar interno, com momento aplicado	1,2 (99% para um momento) (99% para dois momentos)	1,2 (99% para um momento) (99% para dois momentos)	1,1 (99% para um momento) (90% para dois momentos)
Pilar de borda	1,5 (93% para um momento) (90% para dois momentos)	1,3 (99% para um momento) (99% para dois momentos)	1,2 (99% para um momento) (99% para dois momentos)
Pilar de canto	1,7 (94%)	1,4 (94%)	1,1 (90%)

Tabela C.3 - Valores de **b** sugeridos para $c_1 > c_2$ e suas probabilidades de ocorrência

Situação de Cálculo	$c_1 > c_2$		
	C	C'	C''
Pilar interno, com momento aplicado	1,2 (99% para um momento) (99% para dois momentos)	1,2 (99% para um momento) (99% para dois momentos)	1,1 (99% para um momento) (99% para dois momentos)
Pilar de borda	1,7 (93% para um momento) (91% para dois momentos)	1,4 (93% para um momento) (91% para dois momentos)	1,1 (99% para um momento) (99% para dois momentos)
Pilar de canto	1,5 (95%)	1,2 (96%)	1,1 (99%)

Tabela C.4 - Valores de **b** para pilares internos com momento atuante em uma direção e $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	uo	u	u'	wplo	wpl	wp1'	K1	Fsd	Msd	β_0	β	β'
20	20	12,0	25	80	231	388	1862	5372	15243	0,600	100	1000	1,26	1,26	1,15
20	30	12,0	25	100	251	408	2413	6052	16423	0,501	150	1100	1,15	1,15	1,09
20	40	12,0	25	120	271	428	2983	6732	17603	0,450	200	1200	1,11	1,11	1,07
20	50	12,0	25	140	291	448	3568	7412	18783	0,450	250	1300	1,09	1,09	1,06
20	60	12,0	25	160	311	468	4166	8092	19963	0,450	300	1400	1,08	1,08	1,05
20	20	14,0	29	80	256	438	2068	6615	19457	0,600	100	1000	1,23	1,23	1,14
20	30	14,0	29	100	276	458	2673	7375	20797	0,501	150	1100	1,14	1,14	1,08
20	40	14,0	29	120	296	478	3299	8135	22137	0,450	200	1200	1,10	1,10	1,06
20	50	14,0	29	140	316	498	3942	8895	23477	0,450	250	1300	1,08	1,08	1,05
20	60	14,0	29	160	336	518	4599	9655	24817	0,450	300	1400	1,07	1,07	1,04
20	20	16,0	33	80	281	488	2273	7987	24184	0,600	100	1000	1,21	1,21	1,12
20	30	16,0	33	100	301	508	2932	8827	25684	0,501	150	1100	1,13	1,13	1,07
20	40	16,0	33	120	321	528	3613	9667	27184	0,450	200	1200	1,09	1,09	1,05
20	50	16,0	33	140	341	548	4313	10507	28684	0,450	250	1300	1,08	1,08	1,04
20	60	16,0	33	160	361	568	5028	11347	30184	0,450	300	1400	1,07	1,07	1,04
20	20	18,0	38	80	306	545	2478	9486	30114	0,600	100	1000	1,19	1,19	1,11
20	30	18,0	38	100	326	565	3190	10406	31794	0,501	150	1100	1,12	1,12	1,07
20	40	18,0	38	120	346	585	3926	11326	33474	0,450	200	1200	1,08	1,08	1,05
20	50	18,0	38	140	366	605	4682	12246	35154	0,450	250	1300	1,07	1,07	1,04
20	60	18,0	38	160	386	625	5455	13166	36834	0,450	300	1400	1,06	1,06	1,04
20	20	20,0	40	80	331	583	2683	11113	34427	0,600	100	1000	1,18	1,18	1,10
20	30	20,0	40	100	351	603	3448	12113	36227	0,501	150	1100	1,11	1,11	1,06
20	40	20,0	40	120	371	623	4238	13113	38027	0,450	200	1200	1,08	1,08	1,04
20	50	20,0	40	140	391	643	5049	14113	39827	0,450	250	1300	1,06	1,06	1,04
20	60	20,0	40	160	411	663	5879	15113	41627	0,450	300	1400	1,06	1,06	1,03
20	20	22,0	45	80	356	639	2888	12869	41436	0,600	100	1000	1,17	1,17	1,09
20	30	22,0	45	100	376	659	3705	13949	43416	0,501	150	1100	1,10	1,10	1,06
20	40	22,0	45	120	396	679	4549	15029	45396	0,450	200	1200	1,07	1,07	1,04
20	50	22,0	45	140	416	699	5415	16109	47376	0,450	250	1300	1,06	1,06	1,03
20	60	22,0	45	160	436	719	6301	17189	49356	0,450	300	1400	1,05	1,05	1,03
25	40	12,0	25	130	281	438	3436	7421	18685	0,489	250	1500	1,11	1,11	1,07

c1	c2	d	p	uo	u	u'	wplo	wpl	wpl'	K1	Fsd	Msd	β_0	β	β'
25	50	12,0	25	150	301	458	4065	8151	19915	0,450	350	1600	1,08	1,08	1,05
25	60	12,0	25	170	321	478	4707	8881	21145	0,450	450	1700	1,06	1,06	1,04
25	75	12,0	25	200	351	508	5688	9976	22990	0,450	500	1800	1,06	1,06	1,04
25	40	14,0	29	130	306	488	3777	8888	23345	0,489	250	1500	1,10	1,10	1,06
25	50	14,0	29	150	326	508	4463	9698	24735	0,450	350	1600	1,07	1,07	1,04
25	60	14,0	29	170	346	528	5164	10508	26125	0,450	450	1700	1,06	1,06	1,03
25	75	14,0	29	200	376	558	6237	11723	28210	0,450	500	1800	1,05	1,05	1,03
25	40	16,0	33	130	331	538	4116	10482	28518	0,489	250	1500	1,09	1,09	1,06
25	50	16,0	33	150	351	558	4859	11372	30068	0,450	350	1600	1,06	1,06	1,04
25	60	16,0	33	170	371	578	5618	12262	31618	0,450	450	1700	1,05	1,05	1,03
25	75	16,0	33	200	401	608	6780	13597	33943	0,450	500	1800	1,05	1,05	1,03
25	40	18,0	38	130	356	595	4454	12204	34948	0,489	250	1500	1,09	1,09	1,05
25	50	18,0	38	150	376	615	5253	13174	36678	0,450	350	1600	1,06	1,06	1,03
25	60	18,0	38	170	396	635	6069	14144	38408	0,450	450	1700	1,05	1,05	1,03
25	75	18,0	38	200	426	665	7320	15599	41003	0,450	500	1800	1,04	1,04	1,03
25	40	20,0	40	130	381	633	4791	14054	39596	0,489	250	1500	1,08	1,08	1,05
25	50	20,0	40	150	401	653	5645	15104	41446	0,450	350	1600	1,05	1,05	1,03
25	60	20,0	40	170	421	673	6518	16154	43296	0,450	450	1700	1,04	1,04	1,03
25	75	20,0	40	200	451	703	7856	17729	46071	0,450	500	1800	1,04	1,04	1,02
25	40	22,0	45	130	406	689	5128	16032	47107	0,489	250	1500	1,07	1,07	1,04
25	50	22,0	45	150	426	709	6037	17162	49137	0,450	350	1600	1,05	1,05	1,03
25	60	22,0	45	170	446	729	6965	18292	51167	0,450	450	1700	1,04	1,04	1,02
25	75	22,0	45	200	476	759	8390	19987	54212	0,450	500	1800	1,04	1,04	1,02
30	30	12,0	25	120	271	428	3260	7356	18512	0,600	250	1600	1,14	1,14	1,09
30	40	12,0	25	140	291	448	3917	8136	19792	0,525	350	1800	1,10	1,10	1,06
30	50	12,0	25	160	311	468	4590	8916	21072	0,480	450	2000	1,07	1,07	1,05
30	60	12,0	25	180	331	488	5276	9696	22352	0,450	500	2200	1,07	1,07	1,04
30	70	12,0	25	200	351	508	5973	10476	23632	0,450	500	2400	1,07	1,07	1,05
30	80	12,0	25	220	371	528	6678	11256	24912	0,450	600	2600	1,06	1,06	1,04
30	90	12,0	25	240	391	548	7392	12036	26192	0,450	650	2800	1,06	1,06	1,04
30	30	14,0	29	120	296	478	3570	8805	23138	0,600	250	1600	1,13	1,13	1,08
30	40	14,0	29	140	316	498	4283	9665	24578	0,525	300	1800	1,10	1,10	1,06
30	50	14,0	29	160	336	518	5013	10525	26018	0,480	350	2000	1,09	1,09	1,05

c1	c2	d	p	uo	u	u'	wplo	wpl	wpl'	K1	Fsd	Msd	β_0	β	β'	
30	60	14,0	29	180	356	538	5758	11385	27458	0,450	450	2200	1,07	1,07	1,04	
30	70	14,0	29	200	376	558	6514	12245	28898	0,450	500	2400	1,07	1,07	1,04	
30	80	14,0	29	220	396	578	7282	13105	30338	0,450	600	2600	1,06	1,06	1,04	
30	90	14,0	29	240	416	598	8058	13965	31778	0,450	650	2800	1,06	1,06	1,04	
30	30	16,0	33	120	321	528	3880	10382	28276	0,600	250	1600	1,12	1,12	1,07	
30	40	16,0	33	140	341	548	4647	11322	29876	0,525	300	1800	1,09	1,09	1,06	
30	50	16,0	33	160	361	568	5434	12262	31476	0,480	350	2000	1,08	1,08	1,05	
30	60	16,0	33	180	381	588	6236	13202	33076	0,450	450	2200	1,06	1,06	1,04	
30	70	16,0	33	200	401	608	7052	14142	34676	0,450	500	2400	1,06	1,06	1,04	
30	80	16,0	33	220	421	628	7880	15082	36276	0,450	600	2600	1,05	1,05	1,03	
30	90	16,0	33	240	441	648	8718	16022	37876	0,450	650	2800	1,05	1,05	1,03	
30	30	18,0	38	120	346	585	4190	12087	34668	0,600	250	1600	1,11	1,11	1,06	
30	40	18,0	38	140	366	605	5011	13107	36448	0,525	300	1800	1,09	1,09	1,05	
30	50	18,0	38	160	386	625	5853	14127	38228	0,480	350	2000	1,07	1,07	1,04	
30	60	18,0	38	180	406	645	6712	15147	40008	0,450	450	2200	1,06	1,06	1,04	
30	70	18,0	38	200	426	665	7587	16167	41788	0,450	500	2400	1,06	1,06	1,03	
30	80	18,0	38	220	446	685	8474	17187	43568	0,450	600	2600	1,05	1,05	1,03	
30	90	18,0	38	240	466	705	9373	18207	45348	0,450	650	2800	1,05	1,05	1,03	
30	30	20,0	40	120	371	623	4498	13920	39290	0,600	250	1600	1,10	1,10	1,06	
30	40	20,0	40	140	391	643	5373	15020	41190	0,525	300	1800	1,08	1,08	1,05	
30	50	20,0	40	160	411	663	6270	16120	43090	0,480	350	2000	1,07	1,07	1,04	
30	60	20,0	40	180	431	683	7186	17220	44990	0,450	450	2200	1,06	1,06	1,03	
30	70	20,0	40	200	451	703	8118	18320	46890	0,450	500	2400	1,05	1,05	1,03	
30	80	20,0	40	220	471	723	9065	19420	48790	0,450	600	2600	1,05	1,05	1,03	
30	90	20,0	40	240	491	743	10023	20520	50690	0,450	650	2800	1,05	1,05	1,03	
30	30	22,0	45	120	396	679	4807	15881	46762	0,600	250	1600	1,10	1,10	1,06	
30	40	22,0	45	140	416	699	5735	17061	48842	0,525	300	1800	1,08	1,08	1,05	
30	50	22,0	45	160	436	719	6687	18241	50922	0,480	350	2000	1,07	1,07	1,04	
30	60	22,0	45	180	456	739	7658	19421	53002	0,450	450	2200	1,05	1,05	1,03	
30	70	22,0	45	200	476	759	8647	20601	55082	0,450	500	2400	1,05	1,05	1,03	
30	80	22,0	45	220	496	779	9652	21781	57162	0,450	600	2600	1,04	1,04	1,03	
30	90	22,0	45	240	516	799	10670	22961	59242	0,450	650	2800	1,04	1,04	1,03	
													média	1,08	1,08	1,05
													desvio	0,0411	0,0411	0,0237

Tabela C.5 - Valores de **b** para pilares internos com momento atuante em uma direção e $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	uo	u	u'	wpl0	wpl	wpl'	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'
30	20	12,0	25	100	251	408	2622	6576	17232	0,650	150	1100	1,18	1,18	1,11
30	20	14,0	29	100	276	458	2879	7945	21698	0,650	150	1100	1,17	1,17	1,10
30	20	16,0	33	100	301	508	3136	9442	26676	0,650	150	1100	1,15	1,15	1,09
30	20	18,0	38	100	326	565	3393	11067	32888	0,650	150	1100	1,14	1,14	1,08
30	20	20,0	40	100	351	603	3649	12820	37390	0,650	150	1100	1,13	1,13	1,08
30	20	22,0	45	100	376	659	3905	14701	44682	0,650	150	1100	1,12	1,12	1,07
40	20	12,0	25	120	271	428	3492	7880	19322	0,700	200	1200	1,14	1,14	1,09
40	25	12,0	25	130	281	438	3852	8320	20012	0,660	250	1500	1,13	1,13	1,09
40	30	12,0	25	140	291	448	4217	8760	20702	0,633	350	1800	1,11	1,11	1,07
40	20	14,0	29	120	296	478	3801	9375	24039	0,700	200	1200	1,13	1,13	1,08
40	25	14,0	29	130	306	488	4188	9855	24809	0,660	250	1500	1,12	1,12	1,08
40	30	14,0	29	140	316	498	4580	10335	25579	0,633	300	1800	1,12	1,12	1,07
40	20	16,0	33	120	321	528	4110	10997	29268	0,700	200	1200	1,12	1,12	1,08
40	25	16,0	33	130	331	538	4523	11517	30118	0,660	250	1500	1,11	1,11	1,07
40	30	16,0	33	140	341	548	4941	12037	30968	0,633	300	1800	1,11	1,11	1,07
40	20	18,0	38	120	346	585	4419	12748	35763	0,700	200	1200	1,11	1,11	1,07
40	25	18,0	38	130	356	595	4857	13308	36703	0,660	250	1500	1,11	1,11	1,06
40	30	18,0	38	140	366	605	5302	13868	37643	0,633	300	1800	1,10	1,10	1,06
40	20	20,0	40	120	371	623	4727	14627	40453	0,700	200	1200	1,11	1,11	1,06
40	25	20,0	40	130	381	633	5191	15227	41453	0,660	250	1500	1,10	1,10	1,06
40	30	20,0	40	140	391	643	5662	15827	42453	0,633	300	1800	1,09	1,09	1,06
40	20	22,0	45	120	396	679	5035	16633	48028	0,700	200	1200	1,10	1,10	1,06
40	25	22,0	45	130	406	689	5525	17273	49118	0,660	250	1500	1,09	1,09	1,06
40	30	22,0	45	140	416	699	6022	17913	50208	0,633	300	1800	1,09	1,09	1,05
50	20	12,0	25	140	291	448	4470	9284	21511	0,750	250	1300	1,12	1,12	1,08
50	25	12,0	25	150	301	458	4874	9774	22251	0,700	350	1600	1,10	1,10	1,07
50	30	12,0	25	160	311	468	5284	10264	22991	0,667	450	2000	1,09	1,09	1,06
50	20	14,0	29	140	316	498	4832	10904	26480	0,750	250	1300	1,11	1,11	1,07
50	25	14,0	29	150	326	508	5262	11434	27300	0,700	350	1600	1,09	1,09	1,06
50	30	14,0	29	160	336	518	5698	11964	28120	0,667	350	2000	1,11	1,11	1,07
50	20	16,0	33	140	341	548	5194	12653	31960	0,750	250	1300	1,11	1,11	1,07

c1	c2	d	p	uo	u	u'	wplo	wpl	wpl'	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'
50	25	16,0	33	150	351	558	5650	13223	32860	0,700	350	1600	1,08	1,08	1,05
50	30	16,0	33	160	361	568	6112	13793	33760	0,667	350	2000	1,10	1,10	1,06
50	20	18,0	38	140	366	605	5555	14529	38738	0,750	250	1300	1,10	1,10	1,06
50	25	18,0	38	150	376	615	6036	15139	39728	0,700	350	1600	1,08	1,08	1,05
50	30	18,0	38	160	386	625	6525	15749	40718	0,667	350	2000	1,09	1,09	1,06
50	20	20,0	40	140	391	643	5915	16533	43616	0,750	250	1300	1,09	1,09	1,06
50	25	20,0	40	150	401	653	6422	17183	44666	0,700	350	1600	1,07	1,07	1,05
50	30	20,0	40	160	411	663	6937	17833	45716	0,667	350	2000	1,09	1,09	1,06
50	20	22,0	45	140	416	699	6275	18666	51474	0,750	250	1300	1,09	1,09	1,05
50	25	22,0	45	150	426	709	6808	19356	52614	0,700	350	1600	1,07	1,07	1,04
50	30	22,0	45	160	436	719	7348	20046	53754	0,667	350	2000	1,08	1,08	1,05
60	20	12,0	25	160	311	468	5554	10788	23800	0,800	300	1400	1,11	1,11	1,07
60	25	12,0	25	170	321	478	6003	11328	24590	0,740	450	1700	1,08	1,08	1,05
60	30	12,0	25	180	331	488	6458	11868	25380	0,700	500	2200	1,09	1,09	1,06
60	20	14,0	29	160	336	518	5970	12534	29020	0,800	300	1400	1,10	1,10	1,07
60	25	14,0	29	170	346	528	6445	13114	29890	0,740	450	1700	1,07	1,07	1,05
60	30	14,0	29	180	356	538	6925	13694	30760	0,700	450	2200	1,09	1,09	1,06
60	20	16,0	33	160	361	568	6385	14408	34752	0,800	300	1400	1,09	1,09	1,06
60	25	16,0	33	170	371	578	6885	15028	35702	0,740	450	1700	1,07	1,07	1,05
60	30	16,0	33	180	381	588	7391	15648	36652	0,700	450	2200	1,08	1,08	1,05
60	20	18,0	38	160	386	625	6799	16410	41813	0,800	300	1400	1,09	1,09	1,06
60	25	18,0	38	170	396	635	7324	17070	42853	0,740	450	1700	1,06	1,06	1,04
60	30	18,0	38	180	406	645	7857	17730	43893	0,700	450	2200	1,08	1,08	1,05
60	20	20,0	40	160	411	663	7212	18540	46880	0,800	300	1400	1,08	1,08	1,05
60	25	20,0	40	170	421	673	7763	19240	47980	0,740	450	1700	1,06	1,06	1,04
60	30	20,0	40	180	431	683	8321	19940	49080	0,700	450	2200	1,07	1,07	1,05
60	20	22,0	45	160	436	719	7624	20798	55020	0,800	300	1400	1,08	1,08	1,05
60	25	22,0	45	170	446	729	8201	21538	56210	0,740	450	1700	1,06	1,06	1,04
60	30	22,0	45	180	456	739	8785	22278	57400	0,700	450	2200	1,07	1,07	1,04
70	30	12,0	25	200	351	508	7738	13572	27870	0,733	500	2400	1,09	1,09	1,06
70	30	14,0	29	200	376	558	8259	15524	33501	0,733	500	2400	1,09	1,09	1,06
70	30	16,0	33	200	401	608	8778	17603	39644	0,733	500	2400	1,08	1,08	1,05
70	30	18,0	38	200	426	665	9297	19811	47167	0,733	500	2400	1,08	1,08	1,05

c1	c2	d	p	uo	u	u'	wplo	wpl	wpl'	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'	
70	30	20,0	40	200	451	703	9814	22146	52543	0,733	500	2400	1,07	1,07	1,05	
70	30	22,0	45	200	476	759	10330	24610	61146	0,733	500	2400	1,07	1,07	1,04	
75	25	12,0	25	200	351	508	7894	13846	28287	0,800	500	1800	1,07	1,07	1,05	
75	25	14,0	29	200	376	558	8417	15821	33964	0,800	500	1800	1,07	1,07	1,05	
75	25	16,0	33	200	401	608	8938	17923	40153	0,800	500	1800	1,06	1,06	1,04	
75	25	18,0	38	200	426	665	9458	20154	47727	0,800	500	1800	1,06	1,06	1,04	
75	25	20,0	40	200	451	703	9976	22512	53137	0,800	500	1800	1,06	1,06	1,04	
75	25	22,0	45	200	476	759	10494	24999	61792	0,800	500	1800	1,05	1,05	1,04	
80	30	12,0	25	220	371	528	9123	15376	30459	0,767	600	2600	1,08	1,08	1,06	
80	30	14,0	29	220	396	578	9698	17453	36342	0,767	600	2600	1,08	1,08	1,05	
80	30	16,0	33	220	421	628	10271	19658	42736	0,767	600	2600	1,07	1,07	1,05	
80	30	18,0	38	220	446	685	10843	21992	50542	0,767	600	2600	1,07	1,07	1,05	
80	30	20,0	40	220	471	723	11414	24453	56106	0,767	600	2600	1,06	1,06	1,04	
80	30	22,0	45	220	496	779	11983	27042	64992	0,767	600	2600	1,06	1,06	1,04	
90	30	12,0	25	240	391	548	10612	17280	33148	0,800	650	2800	1,08	1,08	1,06	
90	30	14,0	29	240	416	598	11242	19483	39282	0,800	650	2800	1,07	1,07	1,05	
90	30	16,0	33	240	441	648	11870	21814	45928	0,800	650	2800	1,07	1,07	1,05	
90	30	18,0	38	240	466	705	12496	24273	54017	0,800	650	2800	1,07	1,07	1,04	
90	30	20,0	40	240	491	743	13120	26860	59770	0,800	650	2800	1,06	1,06	1,04	
90	30	22,0	45	240	516	799	13743	29575	68938	0,800	650	2800	1,06	1,06	1,04	
													média	1,09	1,09	1,06
													desvio	0,0256	0,0256	0,0150

Tabela C.6 - Valores de b para pilares internos com momentos atuantes nas duas direções e $c_1 \leq c_2$

direção 1											direção 2											
c1	c2	d	p	uo	u	u'	wp1o	wp1	wp1'	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_0	β	β'
20	20	12,0	25	80	231	388	1862	5372	15243	0,600	20	20	1862	5372	15243	0,600	100	500	500	1,26	1,26	1,15
20	30	12,0	25	100	251	408	2413	6052	16423	0,501	30	20	2622	6576	17232	0,650	150	550	750	1,20	1,20	1,12
20	40	12,0	25	120	271	428	2983	6732	17603	0,450	40	20	3492	7880	19322	0,700	200	600	1000	1,17	1,17	1,11
20	50	12,0	25	140	291	448	3568	7412	18783	0,450	50	20	4470	9284	21511	0,750	250	650	1250	1,16	1,16	1,11
20	60	12,0	25	160	311	468	4166	8092	19963	0,450	60	20	5554	10788	23800	0,800	300	700	1500	1,16	1,16	1,10
20	20	14,0	29	80	256	438	2068	6615	19457	0,600	20	20	2068	6615	19457	0,600	100	500	500	1,23	1,23	1,14
20	30	14,0	29	100	276	458	2673	7375	20797	0,501	30	20	2879	7945	21698	0,650	150	550	750	1,18	1,18	1,11
20	40	14,0	29	120	296	478	3299	8135	22137	0,450	40	20	3801	9375	24039	0,700	200	600	1000	1,16	1,16	1,10
20	50	14,0	29	140	316	498	3942	8895	23477	0,450	50	20	4832	10904	26480	0,750	250	650	1250	1,15	1,15	1,10
20	60	14,0	29	160	336	518	4599	9655	24817	0,450	60	20	5970	12534	29020	0,800	300	700	1500	1,14	1,14	1,09
20	20	16,0	33	80	281	488	2273	7987	24184	0,600	20	20	2273	7987	24184	0,600	100	500	500	1,21	1,21	1,12
20	30	16,0	33	100	301	508	2932	8827	25684	0,501	30	20	3136	9442	26676	0,650	150	550	750	1,17	1,17	1,10
20	40	16,0	33	120	321	528	3613	9667	27184	0,450	40	20	4110	10997	29268	0,700	200	600	1000	1,15	1,15	1,09
20	50	16,0	33	140	341	548	4313	10507	28684	0,450	50	20	5194	12653	31960	0,750	250	650	1250	1,14	1,14	1,09
20	60	16,0	33	160	361	568	5028	11347	30184	0,450	60	20	6385	14408	34752	0,800	300	700	1500	1,13	1,13	1,09
20	20	18,0	38	80	306	545	2478	9486	30114	0,600	20	20	2478	9486	30114	0,600	100	500	500	1,19	1,19	1,11
20	30	18,0	38	100	326	565	3190	10406	31794	0,501	30	20	3393	11067	32888	0,650	150	550	750	1,15	1,15	1,09
20	40	18,0	38	120	346	585	3926	11326	33474	0,450	40	20	4419	12748	35763	0,700	200	600	1000	1,14	1,14	1,08
20	50	18,0	38	140	366	605	4682	12246	35154	0,450	50	20	5555	14529	38738	0,750	250	650	1250	1,13	1,13	1,08
20	60	18,0	38	160	386	625	5455	13166	36834	0,450	60	20	6799	16410	41813	0,800	300	700	1500	1,12	1,12	1,08
20	20	20,0	40	80	331	583	2683	11113	34427	0,600	20	20	2683	11113	34427	0,600	100	500	500	1,18	1,18	1,10
20	30	20,0	40	100	351	603	3448	12113	36227	0,501	30	20	3649	12820	37390	0,650	150	550	750	1,14	1,14	1,08
20	40	20,0	40	120	371	623	4238	13113	38027	0,450	40	20	4727	14627	40453	0,700	200	600	1000	1,13	1,13	1,08
20	50	20,0	40	140	391	643	5049	14113	39827	0,450	50	20	5915	16533	43616	0,750	250	650	1250	1,12	1,12	1,07
20	60	20,0	40	160	411	663	5879	15113	41627	0,450	60	20	7212	18540	46880	0,800	300	700	1500	1,12	1,12	1,07
20	20	22,0	45	80	356	639	2888	12869	41436	0,600	20	20	2888	12869	41436	0,600	100	500	500	1,17	1,17	1,09
20	30	22,0	45	100	376	659	3705	13949	43416	0,501	30	20	3905	14701	44682	0,650	150	550	750	1,13	1,13	1,08
20	40	22,0	45	120	396	679	4549	15029	45396	0,450	40	20	5035	16633	48028	0,700	200	600	1000	1,12	1,12	1,07
20	50	22,0	45	140	416	699	5415	16109	47376	0,450	50	20	6275	18666	51474	0,750	250	650	1250	1,11	1,11	1,07
20	60	22,0	45	160	436	719	6301	17189	49356	0,450	60	20	7624	20798	55020	0,800	300	700	1500	1,11	1,11	1,07
25	40	12,0	25	130	281	438	3436	7421	18685	0,489	40	25	3852	8320	20012	0,660	250	750	1250	1,17	1,17	1,11

direção 1										direção 2												
c1	c2	d	p	uo	u	u'	wp1o	wp1	wp1'	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_o	β	β'
25	50	12,0	25	150	301	458	4065	8151	19915	0,450	50	25	4874	9774	22251	0,700	350	800	1600	1,14	1,14	1,09
25	60	12,0	25	170	321	478	4707	8881	21145	0,450	60	25	6003	11328	24590	0,740	450	850	1900	1,12	1,12	1,08
25	75	12,0	25	200	351	508	5688	9976	22990	0,450	75	25	7894	13846	28287	0,800	500	900	2500	1,13	1,13	1,09
25	40	14,0	29	130	306	488	3777	8888	23345	0,489	40	25	4188	9855	24809	0,660	250	750	1250	1,15	1,15	1,10
25	50	14,0	29	150	326	508	4463	9698	24735	0,450	50	25	5262	11434	27300	0,700	350	800	1600	1,13	1,13	1,08
25	60	14,0	29	170	346	528	5164	10508	26125	0,450	60	25	6445	13114	29890	0,740	450	850	1900	1,11	1,11	1,07
25	75	14,0	29	200	376	558	6237	11723	28210	0,450	75	25	8417	15821	33964	0,800	500	900	2500	1,12	1,12	1,08
25	40	16,0	33	130	331	538	4116	10482	28518	0,489	40	25	4523	11517	30118	0,660	250	750	1250	1,14	1,14	1,09
25	50	16,0	33	150	351	558	4859	11372	30068	0,450	50	25	5650	13223	32860	0,700	350	800	1600	1,12	1,12	1,07
25	60	16,0	33	170	371	578	5618	12262	31618	0,450	60	25	6885	15028	35702	0,740	450	850	1900	1,10	1,10	1,07
25	75	16,0	33	200	401	608	6780	13597	33943	0,450	75	25	8938	17923	40153	0,800	500	900	2500	1,11	1,11	1,08
25	40	18,0	38	130	356	595	4454	12204	34948	0,489	40	25	4857	13308	36703	0,660	250	750	1250	1,13	1,13	1,08
25	50	18,0	38	150	376	615	5253	13174	36678	0,450	50	25	6036	15139	39728	0,700	350	800	1600	1,11	1,11	1,07
25	60	18,0	38	170	396	635	6069	14144	38408	0,450	60	25	7324	17070	42853	0,740	450	850	1900	1,10	1,10	1,06
25	75	18,0	38	200	426	665	7320	15599	41003	0,450	75	25	9458	20154	47727	0,800	500	900	2500	1,11	1,11	1,07
25	40	20,0	40	130	381	633	4791	14054	39596	0,489	40	25	5191	15227	41453	0,660	250	750	1250	1,12	1,12	1,07
25	50	20,0	40	150	401	653	5645	15104	41446	0,450	50	25	6422	17183	44666	0,700	350	800	1600	1,10	1,10	1,06
25	60	20,0	40	170	421	673	6518	16154	43296	0,450	60	25	7763	19240	47980	0,740	450	850	1900	1,09	1,09	1,06
25	75	20,0	40	200	451	703	7856	17729	46071	0,450	75	25	9976	22512	53137	0,800	500	900	2500	1,10	1,10	1,07
25	40	22,0	45	130	406	689	5128	16032	47107	0,489	40	25	5525	17273	49118	0,660	250	750	1250	1,11	1,11	1,07
25	50	22,0	45	150	426	709	6037	17162	49137	0,450	50	25	6808	19356	52614	0,700	350	800	1600	1,10	1,10	1,06
25	60	22,0	45	170	446	729	6965	18292	51167	0,450	60	25	8201	21538	56210	0,740	450	850	1900	1,09	1,09	1,05
25	75	22,0	45	200	476	759	8390	19987	54212	0,450	75	25	10494	24999	61792	0,800	500	900	2500	1,10	1,10	1,06
30	30	12,0	25	120	271	428	3260	7356	18512	0,600	30	30	3260	7356	18512	0,600	250	800	800	1,14	1,14	1,09
30	40	12,0	25	140	291	448	3917	8136	19792	0,525	40	30	4217	8760	20702	0,633	350	900	1000	1,11	1,11	1,07
30	50	12,0	25	160	311	468	4590	8916	21072	0,480	50	30	5284	10264	22991	0,666	450	1000	1300	1,10	1,10	1,06
30	60	12,0	25	180	331	488	5276	9696	22352	0,450	60	30	6458	11868	25380	0,700	500	1100	1600	1,10	1,10	1,06
30	70	12,0	25	200	351	508	5973	10476	23632	0,450	70	30	7738	13572	27870	0,733	500	1200	1900	1,11	1,11	1,07
30	80	12,0	25	220	371	528	6678	11256	24912	0,450	80	30	9123	15376	30459	0,766	600	1300	2200	1,10	1,10	1,07
30	90	12,0	25	240	391	548	7392	12036	26192	0,450	90	30	10612	17280	33148	0,800	650	1400	2500	1,10	1,10	1,07
30	30	14,0	29	120	296	478	3570	8805	23138	0,600	30	30	3570	8805	23138	0,600	250	800	800	1,13	1,13	1,08
30	40	14,0	29	140	316	498	4283	9665	24578	0,525	40	30	4580	10335	25579	0,633	300	900	1000	1,12	1,12	1,07
30	50	14,0	29	160	336	518	5013	10525	26018	0,480	50	30	5698	11964	28120	0,666	350	1000	1300	1,11	1,11	1,07

direção 1										direção 2													
c1	c2	d	p	uo	u	u'	wp1o	wp1	wp1'	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_0	β	β'	
30	60	14,0	29	180	356	538	5758	11385	27458	0,450	60	30	6925	13694	30760	0,700	450	1100	1600	1,10	1,10	1,07	
30	70	14,0	29	200	376	558	6514	12245	28898	0,450	70	30	8259	15524	33501	0,733	500	1200	1900	1,10	1,10	1,07	
30	80	14,0	29	220	396	578	7282	13105	30338	0,450	80	30	9698	17453	36342	0,766	600	1300	2200	1,09	1,09	1,06	
30	90	14,0	29	240	416	598	8058	13965	31778	0,450	90	30	11242	19483	39282	0,800	650	1400	2500	1,09	1,09	1,07	
30	30	16,0	33	120	321	528	3880	10382	28276	0,600	30	30	3880	10382	28276	0,600	250	800	800	1,12	1,12	1,07	
30	40	16,0	33	140	341	548	4647	11322	29876	0,525	40	30	4941	12037	30968	0,633	300	900	1000	1,11	1,11	1,07	
30	50	16,0	33	160	361	568	5434	12262	31476	0,480	50	30	6112	13793	33760	0,666	350	1000	1300	1,11	1,11	1,07	
30	60	16,0	33	180	381	588	6236	13202	33076	0,450	60	30	7391	15648	36652	0,700	450	1100	1600	1,09	1,09	1,06	
30	70	16,0	33	200	401	608	7052	14142	34676	0,450	70	30	8778	17603	39644	0,733	500	1200	1900	1,09	1,09	1,06	
30	80	16,0	33	220	421	628	7880	15082	36276	0,450	80	30	10271	19658	42736	0,766	600	1300	2200	1,09	1,09	1,06	
30	90	16,0	33	240	441	648	8718	16022	37876	0,450	90	30	11870	21814	45928	0,800	650	1400	2500	1,09	1,09	1,06	
30	30	18,0	38	120	346	585	4190	12087	34668	0,600	30	30	4190	12087	34668	0,600	250	800	800	1,11	1,11	1,06	
30	40	18,0	38	140	366	605	5011	13107	36448	0,525	40	30	5302	13868	37643	0,633	300	900	1000	1,10	1,10	1,06	
30	50	18,0	38	160	386	625	5853	14127	38228	0,480	50	30	6525	15749	40718	0,666	350	1000	1300	1,10	1,10	1,06	
30	60	18,0	38	180	406	645	6712	15147	40008	0,450	60	30	7857	17730	43893	0,700	450	1100	1600	1,09	1,09	1,05	
30	70	18,0	38	200	426	665	7587	16167	41788	0,450	70	30	9297	19811	47167	0,733	500	1200	1900	1,09	1,09	1,06	
30	80	18,0	38	220	446	685	8474	17187	43568	0,450	80	30	10843	21992	50542	0,766	600	1300	2200	1,08	1,08	1,05	
30	90	18,0	38	240	466	705	9373	18207	45348	0,450	90	30	12496	24273	54017	0,800	650	1400	2500	1,08	1,08	1,06	
30	30	20,0	40	120	371	623	4498	13920	39290	0,600	30	30	4498	13920	39290	0,600	250	800	800	1,10	1,10	1,06	
30	40	20,0	40	140	391	643	5373	15020	41190	0,525	40	30	5662	15827	42453	0,633	300	900	1000	1,09	1,09	1,06	
30	50	20,0	40	160	411	663	6270	16120	43090	0,480	50	30	6937	17833	45716	0,666	350	1000	1300	1,09	1,09	1,06	
30	60	20,0	40	180	431	683	7186	17220	44990	0,450	60	30	8321	19940	49080	0,700	450	1100	1600	1,08	1,08	1,05	
30	70	20,0	40	200	451	703	8118	18320	46890	0,450	70	30	9814	22146	52543	0,733	500	1200	1900	1,08	1,08	1,05	
30	80	20,0	40	220	471	723	9065	19420	48790	0,450	80	30	11414	24453	56106	0,766	600	1300	2200	1,08	1,08	1,05	
30	90	20,0	40	240	491	743	10023	20520	50690	0,450	90	30	13120	26860	59770	0,800	650	1400	2500	1,08	1,08	1,05	
30	30	22,0	45	120	396	679	4807	15881	46762	0,600	30	30	4807	15881	46762	0,600	250	800	800	1,10	1,10	1,06	
30	40	22,0	45	140	416	699	5735	17061	48842	0,525	40	30	6022	17913	50208	0,633	300	900	1000	1,09	1,09	1,05	
30	50	22,0	45	160	436	719	6687	18241	50922	0,480	50	30	7348	20046	53754	0,666	350	1000	1300	1,09	1,09	1,05	
30	60	22,0	45	180	456	739	7658	19421	53002	0,450	60	30	8785	22278	57400	0,700	450	1100	1600	1,08	1,08	1,05	
30	70	22,0	45	200	476	759	8647	20601	55082	0,450	70	30	10330	24610	61146	0,733	500	1200	1900	1,08	1,08	1,05	
30	80	22,0	45	220	496	779	9652	21781	57162	0,450	80	30	11983	27042	64992	0,766	600	1300	2200	1,07	1,07	1,05	
30	90	22,0	45	240	516	799	10670	22961	59242	0,450	90	30	13743	29575	68938	0,800	650	1400	2500	1,08	1,08	1,05	
																				média	1,12	1,12	1,07
																				desvio	0,0353	0,0353	0,0202

Tabela C.7 - Valores de b para pilares internos com momentos atuantes nas duas direções e $c_1 > c_2$

direção 1											direção 2											
c1	c2	d	p	uo	u	u'	wp1o	wp1	wp1'	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_o	β	β'
30	20	12,0	25	100	251	408	2622	6576	17232	0,650	20	30	2413	6052	16423	0,498	150	550	750	1,19	1,19	1,12
30	20	14,0	29	100	276	458	2879	7945	21698	0,650	20	30	2673	7375	20797	0,498	150	550	750	1,18	1,18	1,11
30	20	16,0	33	100	301	508	3136	9442	26676	0,650	20	30	2932	8827	25684	0,498	150	550	750	1,16	1,16	1,09
30	20	18,0	38	100	326	565	3393	11067	32888	0,650	20	30	3190	10406	31794	0,498	150	550	750	1,15	1,15	1,09
30	20	20,0	40	100	351	603	3649	12820	37390	0,650	20	30	3448	12113	36227	0,498	150	550	750	1,14	1,14	1,08
30	20	22,0	45	100	376	659	3905	14701	44682	0,650	20	30	3705	13949	43416	0,498	150	550	750	1,13	1,13	1,07
40	20	12,0	25	120	271	428	3492	7880	19322	0,700	20	40	2983	6732	17603	0,450	200	600	1000	1,16	1,16	1,10
40	25	12,0	25	130	281	438	3852	8320	20012	0,660	25	40	3436	7421	18685	0,486	250	750	1250	1,16	1,16	1,10
40	30	12,0	25	140	291	448	4217	8760	20702	0,633	30	40	3917	8136	19792	0,525	350	900	1000	1,11	1,11	1,07
40	20	14,0	29	120	296	478	3801	9375	24039	0,700	20	40	3299	8135	22137	0,450	200	600	1000	1,15	1,15	1,09
40	25	14,0	29	130	306	488	4188	9855	24809	0,660	25	40	3777	8888	23345	0,486	250	750	1250	1,15	1,15	1,09
40	30	14,0	29	140	316	498	4580	10335	25579	0,633	30	40	4283	9665	24578	0,525	300	900	1000	1,12	1,12	1,07
40	20	16,0	33	120	321	528	4110	10997	29268	0,700	20	40	3613	9667	27184	0,450	200	600	1000	1,14	1,14	1,08
40	25	16,0	33	130	331	538	4523	11517	30118	0,660	25	40	4116	10482	28518	0,486	250	750	1250	1,13	1,13	1,08
40	30	16,0	33	140	341	548	4941	12037	30968	0,633	30	40	4647	11322	29876	0,525	300	900	1000	1,11	1,11	1,07
40	20	18,0	38	120	346	585	4419	12748	35763	0,700	20	40	3926	11326	33474	0,450	200	600	1000	1,13	1,13	1,07
40	25	18,0	38	130	356	595	4857	13308	36703	0,660	25	40	4454	12204	34948	0,486	250	750	1250	1,12	1,12	1,07
40	30	18,0	38	140	366	605	5302	13868	37643	0,633	30	40	5011	13107	36448	0,525	300	900	1000	1,10	1,10	1,06
40	20	20,0	40	120	371	623	4727	14627	40453	0,700	20	40	4238	13113	38027	0,450	200	600	1000	1,12	1,12	1,07
40	25	20,0	40	130	381	633	5191	15227	41453	0,660	25	40	4791	14054	39596	0,486	250	750	1250	1,12	1,12	1,07
40	30	20,0	40	140	391	643	5662	15827	42453	0,633	30	40	5373	15020	41190	0,525	300	900	1000	1,09	1,09	1,06
40	20	22,0	45	120	396	679	5035	16633	48028	0,700	20	40	4549	15029	45396	0,450	200	600	1000	1,11	1,11	1,06
40	25	22,0	45	130	406	689	5525	17273	49118	0,660	25	40	5128	16032	47107	0,486	250	750	1250	1,11	1,11	1,06
40	30	22,0	45	140	416	699	6022	17913	50208	0,633	30	40	5735	17061	48842	0,525	300	900	1000	1,09	1,09	1,05
50	20	12,0	25	140	291	448	4470	9284	21511	0,750	20	50	3568	7412	18783	0,450	250	650	1250	1,15	1,15	1,09
50	25	12,0	25	150	301	458	4874	9774	22251	0,700	25	50	4065	8151	19915	0,450	350	800	1600	1,13	1,13	1,08
50	30	12,0	25	160	311	468	5284	10264	22991	0,667	30	50	4590	8916	21072	0,480	450	1000	1300	1,09	1,09	1,06
50	20	14,0	29	140	316	498	4832	10904	26480	0,750	20	50	3942	8895	23477	0,450	250	650	1250	1,14	1,14	1,08
50	25	14,0	29	150	326	508	5262	11434	27300	0,700	25	50	4463	9698	24735	0,450	350	800	1600	1,11	1,11	1,07
50	30	14,0	29	160	336	518	5698	11964	28120	0,667	30	50	5013	10525	26018	0,480	350	1000	1300	1,11	1,11	1,07
50	20	16,0	33	140	341	548	5194	12653	31960	0,750	20	50	4313	10507	28684	0,450	250	650	1250	1,13	1,13	1,08

direção 1											direção 2											
c1	c2	d	p	uo	u	u'	wp1o	wp1	wp1'	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_0	β	β'
50	25	16,0	33	150	351	558	5650	13223	32860	0,700	25	50	4859	11372	30068	0,450	350	800	1600	1,11	1,11	1,07
50	30	16,0	33	160	361	568	6112	13793	33760	0,667	30	50	5434	12262	31476	0,480	350	1000	1300	1,10	1,10	1,06
50	20	18,0	38	140	366	605	5555	14529	38738	0,750	20	50	4682	12246	35154	0,450	250	650	1250	1,12	1,12	1,07
50	25	18,0	38	150	376	615	6036	15139	39728	0,700	25	50	5253	13174	36678	0,450	350	800	1600	1,10	1,10	1,06
50	30	18,0	38	160	386	625	6525	15749	40718	0,667	30	50	5853	14127	38228	0,480	350	1000	1300	1,10	1,10	1,06
50	20	20,0	40	140	391	643	5915	16533	43616	0,750	20	50	5049	14113	39827	0,450	250	650	1250	1,11	1,11	1,07
50	25	20,0	40	150	401	653	6422	17183	44666	0,700	25	50	5645	15104	41446	0,450	350	800	1600	1,09	1,09	1,06
50	30	20,0	40	160	411	663	6937	17833	45716	0,667	30	50	6270	16120	43090	0,480	350	1000	1300	1,09	1,09	1,06
50	20	22,0	45	140	416	699	6275	18666	51474	0,750	20	50	5415	16109	47376	0,450	250	650	1250	1,10	1,10	1,06
50	25	22,0	45	150	426	709	6808	19356	52614	0,700	25	50	6037	17162	49137	0,450	350	800	1600	1,09	1,09	1,05
50	30	22,0	45	160	436	719	7348	20046	53754	0,667	30	50	6687	18241	50922	0,480	350	1000	1300	1,08	1,08	1,05
60	20	12,0	25	160	311	468	5554	10788	23800	0,800	20	60	4166	8092	19963	0,450	300	700	1500	1,14	1,14	1,09
60	25	12,0	25	170	321	478	6003	11328	24590	0,740	25	60	4707	8881	21145	0,450	450	850	1900	1,11	1,11	1,07
60	30	12,0	25	180	331	488	6458	11868	25380	0,700	30	60	5276	9696	22352	0,450	500	1100	1600	1,09	1,09	1,06
60	20	14,0	29	160	336	518	5970	12534	29020	0,800	20	60	4599	9655	24817	0,450	300	700	1500	1,13	1,13	1,08
60	25	14,0	29	170	346	528	6445	13114	29890	0,740	25	60	5164	10508	26125	0,450	450	850	1900	1,10	1,10	1,06
60	30	14,0	29	180	356	538	6925	13694	30760	0,700	30	60	5758	11385	27458	0,450	450	1100	1600	1,09	1,09	1,06
60	20	16,0	33	160	361	568	6385	14408	34752	0,800	20	60	5028	11347	30184	0,450	300	700	1500	1,12	1,12	1,07
60	25	16,0	33	170	371	578	6885	15028	35702	0,740	25	60	5618	12262	31618	0,450	450	850	1900	1,09	1,09	1,06
60	30	16,0	33	180	381	588	7391	15648	36652	0,700	30	60	6236	13202	33076	0,450	450	1100	1600	1,09	1,09	1,06
60	20	18,0	38	160	386	625	6799	16410	41813	0,800	20	60	5455	13166	36834	0,450	300	700	1500	1,11	1,11	1,07
60	25	18,0	38	170	396	635	7324	17070	42853	0,740	25	60	6069	14144	38408	0,450	450	850	1900	1,09	1,09	1,05
60	30	18,0	38	180	406	645	7857	17730	43893	0,700	30	60	6712	15147	40008	0,450	450	1100	1600	1,08	1,08	1,05
60	20	20,0	40	160	411	663	7212	18540	46880	0,800	20	60	5879	15113	41627	0,450	300	700	1500	1,10	1,10	1,06
60	25	20,0	40	170	421	673	7763	19240	47980	0,740	25	60	6518	16154	43296	0,450	450	850	1900	1,08	1,08	1,05
60	30	20,0	40	180	431	683	8321	19940	49080	0,700	30	60	7186	17220	44990	0,450	450	1100	1600	1,08	1,08	1,05
60	20	22,0	45	160	436	719	7624	20798	55020	0,800	20	60	6301	17189	49356	0,450	300	700	1500	1,10	1,10	1,06
60	25	22,0	45	170	446	729	8201	21538	56210	0,740	25	60	6965	18292	51167	0,450	450	850	1900	1,08	1,08	1,05
60	30	22,0	45	180	456	739	8785	22278	57400	0,700	30	60	7658	19421	53002	0,450	450	1100	1600	1,07	1,07	1,04
70	30	12,0	25	200	351	508	7738	13572	27870	0,733	30	70	5973	10476	23632	0,450	500	1200	1900	1,10	1,10	1,07
70	30	14,0	29	200	376	558	8259	15524	33501	0,733	30	70	6514	12245	28898	0,450	500	1200	1900	1,10	1,10	1,06
70	30	16,0	33	200	401	608	8778	17603	39644	0,733	30	70	7052	14142	34676	0,450	500	1200	1900	1,09	1,09	1,06
70	30	18,0	38	200	426	665	9297	19811	47167	0,733	30	70	7587	16167	41788	0,450	500	1200	1900	1,08	1,08	1,05

direção 1											direção 2												
c1	c2	d	p	uo	u	u'	wp1o	wp1	wp1'	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_o	β	β'	
70	30	20,0	40	200	451	703	9814	22146	52543	0,733	30	70	8118	18320	46890	0,450	500	1200	1900	1,08	1,08	1,05	
70	30	22,0	45	200	476	759	10330	24610	61146	0,733	30	70	8647	20601	55082	0,450	500	1200	1900	1,07	1,07	1,05	
75	25	12,0	25	200	351	508	7894	13846	28287	0,800	25	75	5688	9976	22990	0,450	500	900	2500	1,12	1,12	1,08	
75	25	14,0	29	200	376	558	8417	15821	33964	0,800	25	75	6237	11723	28210	0,450	500	900	2500	1,11	1,11	1,07	
75	25	16,0	33	200	401	608	8938	17923	40153	0,800	25	75	6780	13597	33943	0,450	500	900	2500	1,10	1,10	1,06	
75	25	18,0	38	200	426	665	9458	20154	47727	0,800	25	75	7320	15599	41003	0,450	500	900	2500	1,09	1,09	1,06	
75	25	20,0	40	200	451	703	9976	22512	53137	0,800	25	75	7856	17729	46071	0,450	500	900	2500	1,09	1,09	1,05	
75	25	22,0	45	200	476	759	10494	24999	61792	0,800	25	75	8390	19987	54212	0,450	500	900	2500	1,08	1,08	1,05	
80	30	12,0	25	220	371	528	9123	15376	30459	0,767	30	80	6678	11256	24912	0,450	600	1300	2200	1,09	1,09	1,06	
80	30	14,0	29	220	396	578	9698	17453	36342	0,767	30	80	7282	13105	30338	0,450	600	1300	2200	1,09	1,09	1,06	
80	30	16,0	33	220	421	628	10271	19658	42736	0,767	30	80	7880	15082	36276	0,450	600	1300	2200	1,08	1,08	1,05	
80	30	18,0	38	220	446	685	10843	21992	50542	0,767	30	80	8474	17187	43568	0,450	600	1300	2200	1,08	1,08	1,05	
80	30	20,0	40	220	471	723	11414	24453	56106	0,767	30	80	9065	19420	48790	0,450	600	1300	2200	1,07	1,07	1,05	
80	30	22,0	45	220	496	779	11983	27042	64992	0,767	30	80	9652	21781	57162	0,450	600	1300	2200	1,07	1,07	1,04	
90	30	12,0	25	240	391	548	10612	17280	33148	0,800	30	90	7392	12036	26192	0,450	650	1400	2500	1,10	1,10	1,06	
90	30	14,0	29	240	416	598	11242	19483	39282	0,800	30	90	8058	13965	31778	0,450	650	1400	2500	1,09	1,09	1,06	
90	30	16,0	33	240	441	648	11870	21814	45928	0,800	30	90	8718	16022	37876	0,450	650	1400	2500	1,08	1,08	1,05	
90	30	18,0	38	240	466	705	12496	24273	54017	0,800	30	90	9373	18207	45348	0,450	650	1400	2500	1,08	1,08	1,05	
90	30	20,0	40	240	491	743	13120	26860	59770	0,800	30	90	10023	20520	50690	0,450	650	1400	2500	1,07	1,07	1,05	
90	30	22,0	45	240	516	799	13743	29575	68938	0,800	30	90	10670	22961	59242	0,450	650	1400	2500	1,07	1,07	1,04	
																				média	1,11	1,11	1,06
																				desvio	0,0263	0,0263	0,0156

Tabela C.8 - Valores de b para pilares de borda sem momento no plano paralelo à borda e $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wplo	wpl	wpl'	eo*	e*	e'*	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'
20	20	12,0	25	10	40	115	194	966	2786	7721	7,50	23,28	39,30	0,600	50	2300	1,96	1,56	1,10
20	30	12,0	25	10	50	125	204	1246	3126	8311	8,00	24,13	40,26	0,501	70	2500	1,56	1,23	1,00
20	40	12,0	25	10	60	135	214	1536	3466	8901	8,33	24,86	41,14	0,450	100	2700	1,33	1,04	1,00
20	50	12,0	25	10	70	145	224	1832	3806	9491	8,57	25,49	41,94	0,450	120	3000	1,28	1,00	1,00
20	60	12,0	25	10	80	155	234	2134	4146	10081	8,75	26,04	42,67	0,450	150	3200	1,21	1,00	1,00
20	20	14,0	29	10	40	128	219	1065	3408	9829	7,50	25,85	44,41	0,600	50	2300	1,87	1,45	1,02
20	30	14,0	29	10	50	138	229	1373	3788	10499	8,00	26,73	45,40	0,501	70	2500	1,51	1,16	1,00
20	40	14,0	29	10	60	148	239	1690	4168	11169	8,33	27,49	46,30	0,450	100	2700	1,30	1,00	1,00
20	50	14,0	29	10	70	158	249	2015	4548	11839	8,57	28,16	47,13	0,450	120	3000	1,26	1,00	1,00
20	60	14,0	29	10	80	168	259	2347	4928	12509	8,75	28,74	47,90	0,450	150	3200	1,19	1,00	1,00
20	20	16,0	33	10	40	141	244	1165	4093	12192	7,50	28,42	49,52	0,600	50	2300	1,79	1,36	1,00
20	30	16,0	33	10	50	151	254	1499	4513	12942	8,00	29,32	50,52	0,501	70	2500	1,46	1,11	1,00
20	40	16,0	33	10	60	161	264	1844	4933	13692	8,33	30,11	51,45	0,450	100	2700	1,27	1,00	1,00
20	50	16,0	33	10	70	171	274	2197	5353	14442	8,57	30,81	52,30	0,450	120	3000	1,24	1,00	1,00
20	60	16,0	33	10	80	181	284	2558	5773	15192	8,75	31,43	53,10	0,450	150	3200	1,18	1,00	1,00
20	20	18,0	38	10	40	153	272	1265	4843	15157	7,50	30,98	55,26	0,600	50	2300	1,73	1,28	1,00
20	30	18,0	38	10	50	163	282	1626	5303	15997	8,00	31,90	56,28	0,501	70	2500	1,43	1,06	1,00
20	40	18,0	38	10	60	173	292	1998	5763	16837	8,33	32,72	57,22	0,450	100	2700	1,25	1,00	1,00
20	50	18,0	38	10	70	183	302	2379	6223	17677	8,57	33,44	58,11	0,450	120	3000	1,22	1,00	1,00
20	60	18,0	38	10	80	193	312	2769	6683	18517	8,75	34,09	58,94	0,450	150	3200	1,16	1,00	1,00
20	20	20,0	40	10	40	166	291	1366	5657	17313	7,50	33,54	59,09	0,600	50	2300	1,68	1,22	1,00
20	30	20,0	40	10	50	176	301	1752	6157	18213	8,00	34,48	60,11	0,501	70	2500	1,40	1,02	1,00
20	40	20,0	40	10	60	186	311	2151	6657	19113	8,33	35,31	61,07	0,450	100	2700	1,23	1,00	1,00
20	50	20,0	40	10	70	196	321	2560	7157	20013	8,57	36,07	61,97	0,450	120	3000	1,20	1,00	1,00
20	60	20,0	40	10	80	206	331	2978	7657	20913	8,75	36,74	62,82	0,450	150	3200	1,15	1,00	1,00
20	20	22,0	45	18	56	194	336	1884	6534	20818	4,21	32,80	61,54	0,600	50	2300	1,75	1,24	1,00
20	30	22,0	45	18	66	204	346	2286	7074	21808	5,09	33,84	62,63	0,501	70	2500	1,44	1,03	1,00
20	40	22,0	45	18	76	214	356	2701	7614	22798	5,74	34,78	63,65	0,450	100	2700	1,27	1,00	1,00
20	50	22,0	45	18	86	224	366	3127	8154	23788	6,23	35,63	64,62	0,450	120	3000	1,23	1,00	1,00
20	60	22,0	45	18	96	234	376	3563	8694	24778	6,63	36,42	65,53	0,450	150	3200	1,18	1,00	1,00
25	40	12,0	25	13	65	140	219	1790	3867	9499	10,10	26,43	42,67	0,489	120	3400	1,32	1,03	1,00

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wpl0	wpl	wpl'	eo*	e*	e'*	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'
25	50	12,0	25	13	75	150	229	2110	4232	10114	10,42	27,10	43,49	0,450	170	3600	1,17	1,00	1,00
25	60	12,0	25	13	85	160	239	2436	4597	10729	10,66	27,69	44,25	0,450	220	3900	1,11	1,00	1,00
25	75	12,0	25	13	100	175	254	2933	5144	11651	10,94	28,44	45,27	0,450	250	4100	1,08	1,00	1,00
25	40	14,0	29	13	65	153	244	1955	4600	11829	10,10	29,05	47,82	0,489	120	3400	1,30	1,00	1,00
25	50	14,0	29	13	75	163	254	2303	5005	12524	10,42	29,75	48,68	0,450	170	3600	1,16	1,00	1,00
25	60	14,0	29	13	85	173	264	2659	5410	13219	10,66	30,38	49,47	0,450	220	3900	1,10	1,00	1,00
25	75	14,0	29	13	100	188	279	3201	6018	14261	10,94	31,18	50,54	0,450	250	4100	1,08	1,00	1,00
25	40	16,0	33	13	65	166	269	2119	5397	14415	10,10	31,66	52,97	0,489	120	3400	1,27	1,00	1,00
25	50	16,0	33	13	75	176	279	2496	5842	15190	10,42	32,39	53,85	0,450	170	3600	1,15	1,00	1,00
25	60	16,0	33	13	85	186	289	2880	6287	15965	10,66	33,05	54,66	0,450	220	3900	1,09	1,00	1,00
25	75	16,0	33	13	100	201	304	3468	6955	17128	10,94	33,90	55,79	0,450	250	4100	1,07	1,00	1,00
25	40	18,0	38	13	65	178	297	2284	6258	17630	10,10	34,26	58,74	0,489	120	3400	1,25	1,00	1,00
25	50	18,0	38	13	75	188	307	2689	6743	18495	10,42	35,02	59,64	0,450	170	3600	1,14	1,00	1,00
25	60	18,0	38	13	85	198	317	3101	7228	19360	10,66	35,70	60,49	0,450	220	3900	1,09	1,00	1,00
25	75	18,0	38	13	100	213	332	3733	7956	20658	10,94	36,60	61,66	0,450	250	4100	1,07	1,00	1,00
25	40	20,0	40	13	65	191	316	2449	7183	19954	10,10	36,86	62,59	0,489	120	3400	1,24	1,00	1,00
25	50	20,0	40	13	75	201	326	2881	7708	20879	10,42	37,64	63,50	0,450	170	3600	1,13	1,00	1,00
25	60	20,0	40	13	85	211	336	3322	8233	21804	10,66	38,34	64,37	0,450	220	3900	1,08	1,00	1,00
25	75	20,0	40	13	100	226	351	3997	9021	23192	10,94	39,28	65,57	0,450	250	4100	1,06	1,00	1,00
25	40	22,0	45	13	65	203	345	2614	8172	23710	10,10	39,44	68,35	0,489	120	3400	1,22	1,00	1,00
25	50	22,0	45	13	75	213	355	3073	8737	24725	10,42	40,24	69,28	0,450	170	3600	1,12	1,00	1,00
25	60	22,0	45	13	85	223	365	3542	9302	25740	10,66	40,97	70,17	0,450	220	3900	1,08	1,00	1,00
25	75	22,0	45	13	100	238	380	4261	10150	27262	10,94	41,95	71,41	0,450	250	4100	1,06	1,00	1,00
30	30	12,0	25	15	60	135	214	1730	3903	9481	11,25	27,16	43,27	0,600	120	3600	1,39	1,06	1,00
30	40	12,0	25	15	70	145	224	2067	4293	10121	11,79	27,98	44,19	0,525	150	4100	1,28	1,00	1,00
30	50	12,0	25	15	80	155	234	2411	4683	10761	12,19	28,69	45,04	0,480	170	4500	1,23	1,00	1,00
30	60	12,0	25	15	90	165	244	2760	5073	11401	12,50	29,31	45,82	0,450	220	5000	1,15	1,00	1,00
30	70	12,0	25	15	100	175	254	3115	5463	12041	12,75	29,86	46,53	0,450	250	5400	1,13	1,00	1,00
30	80	12,0	25	15	110	185	264	3473	5853	12681	12,95	30,36	47,19	0,450	300	5900	1,10	1,00	1,00
30	90	12,0	25	15	120	195	274	3834	6243	13321	13,13	30,80	47,81	0,450	320	6300	1,09	1,00	1,00
30	30	14,0	29	15	60	148	239	1876	4627	11794	11,25	29,75	48,39	0,600	120	3600	1,36	1,00	1,00
30	40	14,0	29	15	70	158	249	2241	5057	12514	11,79	30,59	49,34	0,525	150	4100	1,25	1,00	1,00
30	50	14,0	29	15	80	168	259	2614	5487	13234	12,19	31,33	50,21	0,480	170	4500	1,21	1,00	1,00

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wpl0	wpl	wpl'	eo*	e*	e'*	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'	
30	60	14,0	29	15	90	178	269	2993	5917	13954	12,50	31,99	51,02	0,450	220	5000	1,14	1,00	1,00	
30	70	14,0	29	15	100	188	279	3377	6347	14674	12,75	32,57	51,78	0,450	250	5400	1,12	1,00	1,00	
30	80	14,0	29	15	110	198	289	3766	6777	15394	12,95	33,10	52,48	0,450	300	5900	1,09	1,00	1,00	
30	90	14,0	29	15	120	208	299	4159	7207	16114	13,13	33,58	53,13	0,450	320	6300	1,09	1,00	1,00	
30	30	16,0	33	15	60	161	264	2024	5416	14363	11,25	32,34	53,51	0,600	120	3600	1,33	1,00	1,00	
30	40	16,0	33	15	70	171	274	2416	5886	15163	11,79	33,20	54,48	0,525	150	4100	1,24	1,00	1,00	
30	50	16,0	33	15	80	181	284	2817	6356	15963	12,19	33,96	55,38	0,480	170	4500	1,19	1,00	1,00	
30	60	16,0	33	15	90	191	294	3224	6826	16763	12,50	34,65	56,21	0,450	220	5000	1,13	1,00	1,00	
30	70	16,0	33	15	100	201	304	3638	7296	17563	12,75	35,26	56,99	0,450	250	5400	1,11	1,00	1,00	
30	80	16,0	33	15	110	211	314	4058	7766	18363	12,95	35,82	57,73	0,450	300	5900	1,08	1,00	1,00	
30	90	16,0	33	15	120	221	324	4482	8236	19163	13,13	36,33	58,41	0,450	320	6300	1,08	1,00	1,00	
30	30	18,0	38	15	60	173	292	2173	6268	17559	11,25	34,91	59,27	0,600	120	3600	1,31	1,00	1,00	
30	40	18,0	38	15	70	183	302	2591	6778	18449	11,79	35,79	60,25	0,525	150	4100	1,22	1,00	1,00	
30	50	18,0	38	15	80	193	312	3020	7288	19339	12,19	36,58	61,17	0,480	170	4500	1,18	1,00	1,00	
30	60	18,0	38	15	90	203	322	3456	7798	20229	12,50	37,29	62,03	0,450	220	5000	1,12	1,00	1,00	
30	70	18,0	38	15	100	213	332	3899	8308	21119	12,75	37,93	62,84	0,450	250	5400	1,10	1,00	1,00	
30	80	18,0	38	15	110	223	342	4348	8818	22009	12,95	38,52	63,61	0,450	300	5900	1,08	1,00	1,00	
30	90	18,0	38	15	120	233	352	4802	9328	22899	13,13	39,05	64,33	0,450	320	6300	1,07	1,00	1,00	
30	30	20,0	40	15	60	186	311	2322	7185	19870	11,25	37,49	63,10	0,600	120	3600	1,29	1,00	1,00	
30	40	20,0	40	15	70	196	321	2767	7735	20820	11,79	38,38	64,09	0,525	150	4100	1,21	1,00	1,00	
30	50	20,0	40	15	80	206	331	3223	8285	21770	12,19	39,19	65,03	0,480	170	4500	1,17	1,00	1,00	
30	60	20,0	40	15	90	216	341	3687	8835	22720	12,50	39,92	65,90	0,450	220	5000	1,11	1,00	1,00	
30	70	20,0	40	15	100	226	351	4159	9385	23670	12,75	40,59	66,73	0,450	250	5400	1,10	1,00	1,00	
30	80	20,0	40	15	110	236	361	4637	9935	24620	12,95	41,20	67,51	0,450	300	5900	1,07	1,00	1,00	
30	90	20,0	40	15	120	246	371	5122	10485	25570	13,13	41,76	68,25	0,450	320	6300	1,07	1,00	1,00	
30	30	22,0	45	15	60	198	340	2472	8165	23606	11,25	40,06	68,85	0,600	120	3600	1,27	1,00	1,00	
30	40	22,0	45	15	70	208	350	2943	8755	24646	11,79	40,97	69,85	0,525	150	4100	1,19	1,00	1,00	
30	50	22,0	45	15	80	218	360	3426	9345	25686	12,19	41,79	70,80	0,480	170	4500	1,16	1,00	1,00	
30	60	22,0	45	15	90	228	370	3918	9935	26726	12,50	42,55	71,70	0,450	220	5000	1,11	1,00	1,00	
30	70	22,0	45	15	100	238	380	4418	10525	27766	12,75	43,24	72,55	0,450	250	5400	1,09	1,00	1,00	
30	80	22,0	45	15	110	248	390	4926	11115	28806	12,95	43,87	73,36	0,450	300	5900	1,07	1,00	1,00	
30	90	22,0	45	15	120	258	400	5440	11705	29846	13,13	44,46	74,13	0,450	320	6300	1,07	1,00	1,00	
																	média	1,23	1,03	1,01
																	desvio	0,1837	0,0951	0,0105

Tabela C.9 - Valores de b para pilares de borda sem momento no plano paralelo à borda e $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wplo	wpl	wpl'	eo*	e*	e'*	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'
30	20	12,0	25	15	50	125	204	1401	3513	8841	10,50	26,22	42,25	0,650	70	2800	1,93	1,93	1,00
30	20	14,0	29	15	50	138	229	1521	4197	11074	10,50	28,79	47,36	0,650	70	2800	1,85	1,85	1,00
30	20	16,0	33	15	50	151	254	1643	4946	13563	10,50	31,36	52,47	0,650	70	2800	1,79	1,79	1,00
30	20	18,0	38	15	50	163	282	1765	5758	16669	10,50	33,93	58,21	0,650	70	2800	1,74	1,74	1,00
30	20	20,0	40	15	50	176	301	1889	6635	18920	10,50	36,49	62,04	0,650	70	2800	1,69	1,69	1,00
30	20	22,0	45	15	50	188	330	2012	7575	22566	10,50	39,05	67,78	0,650	70	2800	1,65	1,65	1,00
40	20	12,0	25	18	56	131	210	1850	4340	10061	14,21	29,95	46,00	0,700	100	3000	1,64	1,64	1,00
40	25	12,0	25	20	65	140	219	2111	4560	10406	13,85	29,63	45,70	0,660	120	3800	1,64	1,64	1,00
40	30	12,0	25	20	70	145	224	2301	4780	10751	14,29	30,12	46,22	0,633	150	4500	1,58	1,00	1,00
40	20	14,0	29	18	56	144	235	1979	5087	12419	14,21	32,53	51,11	0,700	100	3000	1,59	1,00	1,00
40	25	14,0	29	20	65	153	244	2264	5327	12804	13,85	32,21	50,82	0,660	120	3800	1,60	1,00	1,00
40	30	14,0	29	20	70	158	249	2467	5567	13189	14,29	32,71	51,35	0,633	150	4500	1,54	1,00	1,00
40	20	16,0	33	18	56	157	260	2110	5899	15034	14,21	35,10	56,23	0,700	100	3000	1,56	1,00	1,00
40	25	16,0	33	20	65	166	269	2418	6159	15459	13,85	34,79	55,94	0,660	120	3800	1,56	1,00	1,00
40	30	16,0	33	20	70	171	274	2635	6419	15884	14,29	35,29	56,47	0,633	150	4500	1,50	1,00	1,00
40	20	18,0	38	20	60	173	292	2348	6774	18282	13,33	36,82	61,14	0,700	100	3000	1,54	1,00	1,00
40	25	18,0	38	20	65	178	297	2574	7054	18752	13,85	37,36	61,69	0,660	120	3800	1,53	1,00	1,00
40	30	18,0	38	20	70	183	302	2804	7334	19222	14,29	37,87	62,22	0,633	150	4500	1,47	1,00	1,00
40	20	20,0	40	20	60	186	311	2493	7713	20627	13,33	39,39	64,97	0,700	100	3000	1,51	1,00	1,00
40	25	20,0	40	20	65	191	316	2732	8013	21127	13,85	39,93	65,52	0,660	120	3800	1,50	1,00	1,00
40	30	20,0	40	20	70	196	321	2974	8313	21627	14,29	40,44	66,06	0,633	150	4500	1,45	1,00	1,00
40	20	22,0	45	20	60	198	340	2638	8717	24414	13,33	41,95	70,71	0,700	100	3000	1,48	1,00	1,00
40	25	22,0	45	20	65	203	345	2890	9037	24959	13,85	42,50	71,27	0,660	120	3800	1,47	1,00	1,00
40	30	22,0	45	20	70	208	350	3145	9357	25504	14,29	43,01	71,81	0,633	150	4500	1,42	1,00	1,00
50	20	12,0	25	18	56	131	210	2245	5267	11380	19,21	34,95	51,00	0,750	120	3300	1,51	1,00	1,00
50	25	12,0	25	24	73	148	227	2711	5512	11750	17,11	32,92	49,02	0,700	170	4000	1,44	1,00	1,00
50	30	12,0	25	25	80	155	234	2964	5757	12120	17,19	33,02	49,14	0,667	170	5000	1,53	1,00	1,00
50	20	14,0	29	18	56	144	235	2364	6077	13865	19,21	37,53	56,11	0,750	120	3300	1,49	1,00	1,00
50	25	14,0	29	24	73	161	252	2876	6342	14275	17,11	35,51	54,15	0,700	170	4000	1,42	1,00	1,00
50	30	14,0	29	25	80	168	259	3147	6607	14685	17,19	35,62	54,27	0,667	170	5000	1,50	1,00	1,00
50	20	16,0	33	18	56	157	260	2487	6951	16605	19,21	40,10	61,23	0,750	120	3300	1,46	1,00	1,00

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u**	wpl0	wpl	wpl'	eo*	e*	e**	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'
50	25	16,0	33	24	73	174	277	3044	7236	17055	17,11	38,09	59,27	0,700	170	4000	1,39	1,00	1,00
50	30	16,0	33	25	80	181	284	3333	7521	17505	17,19	38,20	59,39	0,667	170	5000	1,47	1,00	1,00
50	20	18,0	38	21	62	175	294	2794	7889	19994	17,89	41,40	65,72	0,750	120	3300	1,46	1,00	1,00
50	25	18,0	38	25	75	188	307	3267	8194	20489	16,67	40,24	64,60	0,700	170	4000	1,38	1,00	1,00
50	30	18,0	38	25	80	193	312	3521	8499	20984	17,19	40,78	65,15	0,667	170	5000	1,45	1,00	1,00
50	20	20,0	40	21	62	188	313	2938	8892	22433	17,89	43,96	69,55	0,750	120	3300	1,44	1,00	1,00
50	25	20,0	40	25	75	201	326	3445	9217	22958	16,67	42,82	68,44	0,700	170	4000	1,36	1,00	1,00
50	30	20,0	40	25	80	206	331	3712	9542	23483	17,19	43,36	68,99	0,667	170	5000	1,42	1,00	1,00
50	20	22,0	45	21	62	200	342	3083	9958	26362	17,89	46,53	75,30	0,750	120	3300	1,41	1,00	1,00
50	25	22,0	45	25	75	213	355	3624	10303	26932	16,67	45,39	74,19	0,700	170	4000	1,34	1,00	1,00
50	30	22,0	45	25	80	218	360	3903	10648	27502	17,19	45,93	74,74	0,667	170	5000	1,40	1,00	1,00
60	20	12,0	25	18	56	131	210	2682	6294	12800	24,21	39,95	56,00	0,800	150	3500	1,00	1,00	1,00
60	25	12,0	25	24	73	148	227	3229	6564	13195	22,11	37,92	54,02	0,740	220	4400	1,00	1,00	1,00
60	30	12,0	25	30	90	165	244	3719	6834	13590	20,00	35,88	52,02	0,700	220	5500	1,42	1,00	1,00
60	20	14,0	29	18	56	144	235	2788	7167	15410	24,21	42,53	61,11	0,800	150	3500	1,00	1,00	1,00
60	25	14,0	29	24	73	161	252	3382	7457	15845	22,11	40,51	59,15	0,740	220	4400	1,00	1,00	1,00
60	30	14,0	29	30	90	178	269	3918	7747	16280	20,00	38,47	57,16	0,700	220	5500	1,40	1,00	1,00
60	20	16,0	33	18	56	157	260	2899	8104	18276	24,21	45,10	66,23	0,800	150	3500	1,00	1,00	1,00
60	25	16,0	33	24	73	174	277	3540	8414	18751	22,11	43,09	64,27	0,740	220	4400	1,00	1,00	1,00
60	30	16,0	33	30	90	191	294	4121	8724	19226	20,00	41,06	62,29	0,700	220	5500	1,38	1,00	1,00
60	20	18,0	38	21	62	175	294	3224	9105	21806	22,89	46,40	70,72	0,800	150	3500	1,36	1,00	1,00
60	25	18,0	38	27	79	192	311	3880	9435	22326	20,77	44,38	68,76	0,740	220	4400	1,00	1,00	1,00
60	30	18,0	38	30	90	203	322	4327	9765	22846	20,00	43,65	68,06	0,700	220	5500	1,36	1,00	1,00
60	20	20,0	40	21	62	188	313	3360	10170	24340	22,89	48,96	74,55	0,800	150	3500	1,34	1,00	1,00
60	25	20,0	40	27	79	205	330	4061	10520	24890	20,77	46,96	72,60	0,740	220	4400	1,00	1,00	1,00
60	30	20,0	40	30	90	216	341	4536	10870	25440	20,00	46,23	71,90	0,700	220	5500	1,35	1,00	1,00
60	20	22,0	45	21	62	200	342	3499	11299	28410	22,89	51,53	80,30	0,800	150	3500	1,33	1,00	1,00
60	25	22,0	45	27	79	217	359	4244	11669	29005	20,77	49,53	78,35	0,740	220	4400	1,00	1,00	1,00
60	30	22,0	45	30	90	228	370	4747	12039	29600	20,00	48,81	77,65	0,700	220	5500	1,33	1,00	1,00
70	30	12,0	25	18	66	141	220	3739	8011	15160	30,09	45,95	62,04	0,733	250	6000	1,00	1,00	1,00
70	30	14,0	29	21	72	160	251	4045	8987	17975	28,88	47,30	65,94	0,733	250	6000	1,00	1,00	1,00
70	30	16,0	33	24	78	179	282	4381	10027	21047	27,62	48,62	69,81	0,733	250	6000	1,00	1,00	1,00
70	30	18,0	38	27	84	197	316	4744	11130	24809	26,32	49,93	74,32	0,733	250	6000	1,00	1,00	1,00

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wplo	wpl	wpl'	eo*	e*	e'*	K1	Fsd	Msd1	β_0	β	β'	
70	30	20,0	40	30	90	216	341	5132	12298	27496	25,00	51,23	76,90	0,733	250	6000	1,00	1,00	1,00	
70	30	22,0	45	33	96	234	376	5545	13530	31798	23,66	52,52	81,39	0,733	250	6000	1,30	1,00	1,00	
75	25	12,0	25	18	61	136	215	3725	8329	15550	32,19	47,97	64,03	0,800	250	4500	1,00	1,00	1,00	
75	25	14,0	29	21	67	155	246	4028	9317	18388	30,92	49,29	67,91	0,800	250	4500	1,00	1,00	1,00	
75	25	16,0	33	24	73	174	277	4362	10368	21483	29,61	50,59	71,77	0,800	250	4500	1,00	1,00	1,00	
75	25	18,0	38	27	79	192	311	4722	11483	25270	28,27	51,88	76,26	0,800	250	4500	1,00	1,00	1,00	
75	25	20,0	40	30	85	211	336	5109	12662	27975	26,91	53,16	78,83	0,800	250	4500	1,00	1,00	1,00	
75	25	22,0	45	33	91	229	371	5520	13906	32302	25,53	54,44	83,31	0,800	250	4500	1,00	1,00	1,00	
80	30	12,0	25	18	66	141	220	4335	9288	16830	35,09	50,95	67,04	0,767	300	6500	1,00	1,00	1,00	
80	30	14,0	29	21	72	160	251	4648	10327	19771	33,88	52,30	70,94	0,767	300	6500	1,00	1,00	1,00	
80	30	16,0	33	24	78	179	282	4993	11429	22968	32,62	53,62	74,81	0,767	300	6500	1,00	1,00	1,00	
80	30	18,0	38	27	84	197	316	5368	12596	26871	31,32	54,93	79,32	0,767	300	6500	1,00	1,00	1,00	
80	30	20,0	40	30	90	216	341	5770	13827	29653	30,00	56,23	81,90	0,767	300	6500	1,00	1,00	1,00	
80	30	22,0	45	33	96	234	376	6197	15121	34096	28,66	57,52	86,39	0,767	300	6500	1,00	1,00	1,00	
90	30	12,0	25	18	66	141	220	4978	10665	18599	40,09	55,95	72,04	0,800	320	7000	1,00	1,00	1,00	
90	30	14,0	29	21	72	160	251	5296	11766	21666	38,88	57,30	75,94	0,800	320	7000	1,00	1,00	1,00	
90	30	16,0	33	24	78	179	282	5650	12932	24989	37,62	58,62	79,81	0,800	320	7000	1,00	1,00	1,00	
90	30	18,0	38	27	84	197	316	6035	14161	29034	36,32	59,93	84,32	0,800	320	7000	1,00	1,00	1,00	
90	30	20,0	40	30	90	216	341	6450	15455	31910	35,00	61,23	86,90	0,800	320	7000	1,00	1,00	1,00	
90	30	22,0	45	33	96	234	376	6891	16812	36494	33,66	62,52	91,39	0,800	320	7000	1,00	1,00	1,00	
																	média	1,31	1,07	1,00
																	desvio	0,2632	0,2209	0,0000

Tabela C.10 - Valores de **b** para pilares de borda com momento no plano paralelo à borda e $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wp1o	wp1	wp1'	eo*	e*	e'*	K1	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_o	β	β'
20	20	12,0	25	10	40	115	194	966	2786	7721	7,50	23,28	39,30	0,600	1167	3366	8801	0,500	50	2000	300	1,91	1,52	1,08
20	30	12,0	25	10	50	125	204	1246	3126	8311	8,00	24,13	40,26	0,501	1622	4068	9896	0,750	70	2200	450	1,62	1,30	1,10
20	40	12,0	25	10	60	135	214	1536	3466	8901	8,33	24,86	41,14	0,450	2136	4820	11041	1,000	100	2400	600	1,44	1,17	1,12
20	50	12,0	25	10	70	145	224	1832	3806	9491	8,57	25,49	41,94	0,450	2707	5622	12235	1,250	120	2600	750	1,43	1,20	1,14
20	60	12,0	25	10	80	155	234	2134	4146	10081	8,75	26,04	42,67	0,450	3333	6474	13480	1,500	150	2800	900	1,38	1,22	1,16
20	20	14,0	29	10	40	128	219	1065	3408	9829	7,50	25,85	44,41	0,600	1271	4068	11069	0,500	50	2000	300	1,83	1,41	1,06
20	30	14,0	29	10	50	138	229	1373	3788	10499	8,00	26,73	45,40	0,501	1751	4832	12289	0,750	70	2200	450	1,57	1,22	1,09
20	40	14,0	29	10	60	148	239	1690	4168	11169	8,33	27,49	46,30	0,450	2290	5647	13559	1,000	100	2400	600	1,41	1,16	1,11
20	50	14,0	29	10	70	158	249	2015	4548	11839	8,57	28,16	47,13	0,450	2886	6512	14880	1,250	120	2600	750	1,39	1,19	1,13
20	60	14,0	29	10	80	168	259	2347	4928	12509	8,75	28,74	47,90	0,450	3537	7427	16250	1,500	150	2800	900	1,36	1,20	1,14
20	20	16,0	33	10	40	141	244	1165	4093	12192	7,50	28,42	49,52	0,600	1376	4833	13592	0,500	50	2000	300	1,76	1,33	1,05
20	30	16,0	33	10	50	151	254	1499	4513	12942	8,00	29,32	50,52	0,501	1880	5661	14938	0,750	70	2200	450	1,52	1,16	1,08
20	40	16,0	33	10	60	161	264	1844	4933	13692	8,33	30,11	51,45	0,450	2444	6539	16334	1,000	100	2400	600	1,38	1,15	1,10
20	50	16,0	33	10	70	171	274	2197	5353	14442	8,57	30,81	52,30	0,450	3065	7466	17780	1,250	120	2600	750	1,37	1,18	1,12
20	60	16,0	33	10	80	181	284	2558	5773	15192	8,75	31,43	53,10	0,450	3742	8444	19276	1,500	150	2800	900	1,33	1,19	1,13
20	20	18,0	38	10	40	153	272	1265	4843	15157	7,50	30,98	55,26	0,600	1480	5663	16737	0,500	50	2000	300	1,70	1,25	1,05
20	30	18,0	38	10	50	163	282	1626	5303	15997	8,00	31,90	56,28	0,501	2009	6553	18224	0,750	70	2200	450	1,48	1,12	1,07
20	40	18,0	38	10	60	173	292	1998	5763	16837	8,33	32,72	57,22	0,450	2598	7494	19762	1,000	100	2400	600	1,35	1,14	1,09
20	50	18,0	38	10	70	183	302	2379	6223	17677	8,57	33,44	58,11	0,450	3244	8484	21349	1,250	120	2600	750	1,34	1,17	1,11
20	60	18,0	38	10	80	193	312	2769	6683	18517	8,75	34,09	58,94	0,450	3946	9525	22986	1,500	150	2800	900	1,31	1,18	1,12
20	20	20,0	40	10	40	166	291	1366	5657	17313	7,50	33,54	59,09	0,600	1583	6557	19013	0,500	50	2000	300	1,65	1,19	1,05
20	30	20,0	40	10	50	176	301	1752	6157	18213	8,00	34,48	60,11	0,501	2138	7510	20595	0,750	70	2200	450	1,45	1,11	1,07
20	40	20,0	40	10	60	186	311	2151	6657	19113	8,33	35,31	61,07	0,450	2751	8513	22227	1,000	100	2400	600	1,33	1,13	1,08
20	50	20,0	40	10	70	196	321	2560	7157	20013	8,57	36,07	61,97	0,450	3423	9567	23908	1,250	120	2600	750	1,32	1,16	1,11
20	60	20,0	40	10	80	206	331	2978	7657	20913	8,75	36,74	62,82	0,450	4150	10670	25640	1,500	150	2800	900	1,29	1,17	1,12
20	20	22,0	45	18	56	194	336	1884	6534	20818	4,21	32,80	61,54	0,600	2167	7514	22698	0,500	50	2000	300	1,72	1,21	1,04
20	30	22,0	45	18	66	204	346	2286	7074	21808	5,09	33,84	62,63	0,501	2757	8530	24421	0,750	70	2200	450	1,50	1,12	1,07
20	40	22,0	45	18	76	214	356	2701	7614	22798	5,74	34,78	63,65	0,450	3404	9597	26194	1,000	100	2400	600	1,37	1,13	1,08
20	50	22,0	45	18	86	224	366	3127	8154	23788	6,23	35,63	64,62	0,450	4109	10713	28017	1,250	120	2600	750	1,35	1,16	1,10
20	60	22,0	45	18	96	234	376	3563	8694	24778	6,63	36,42	65,53	0,450	4869	11879	29890	1,500	150	2800	900	1,32	1,18	1,11
25	40	12,0	25	13	65	140	219	1790	3867	9499	10,10	26,43	42,67	0,489	2435	5260	11731	0,800	120	3000	750	1,40	1,13	1,09

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wplo	wpl	wpl'	eo*	e*	e'*	K1	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	βo	β	β'
25	50	12,0	25	13	75	150	229	2110	4232	10114	10,42	27,10	43,49	0,450	3048	6112	12975	1,000	170	3200	950	1,27	1,14	1,10
25	60	12,0	25	13	85	160	239	2436	4597	10729	10,66	27,69	44,25	0,450	3717	7014	14270	1,200	220	3400	1100	1,21	1,14	1,10
25	75	12,0	25	13	100	175	254	2933	5144	11651	10,94	28,44	45,27	0,450	4824	8461	16306	1,500	250	3600	1500	1,24	1,19	1,14
25	40	14,0	29	13	65	153	244	1955	4600	11829	10,10	29,05	47,82	0,489	2604	6127	14329	0,800	120	3000	750	1,37	1,12	1,09
25	50	14,0	29	13	75	163	254	2303	5005	12524	10,42	29,75	48,68	0,450	3241	7042	15700	1,000	170	3200	950	1,25	1,13	1,09
25	60	14,0	29	13	85	173	264	2659	5410	13219	10,66	30,38	49,47	0,450	3935	8007	17120	1,200	220	3400	1100	1,20	1,13	1,09
25	75	14,0	29	13	100	188	279	3201	6018	14261	10,94	31,18	50,54	0,450	5080	9548	19344	1,500	250	3600	1500	1,23	1,18	1,13
25	40	16,0	33	13	65	166	269	2119	5397	14415	10,10	31,66	52,97	0,489	2772	7059	17184	0,800	120	3000	750	1,34	1,12	1,08
25	50	16,0	33	13	75	176	279	2496	5842	15190	10,42	32,39	53,85	0,450	3434	8036	18680	1,000	170	3200	950	1,24	1,12	1,08
25	60	16,0	33	13	85	186	289	2880	6287	15965	10,66	33,05	54,66	0,450	4153	9064	20226	1,200	220	3400	1100	1,19	1,12	1,09
25	75	16,0	33	13	100	201	304	3468	6955	17128	10,94	33,90	55,79	0,450	5335	10699	22639	1,500	250	3600	1500	1,21	1,17	1,12
25	40	18,0	38	13	65	178	297	2284	6258	17630	10,10	34,26	58,74	0,489	2939	8054	20702	0,800	120	3000	750	1,32	1,11	1,07
25	50	18,0	38	13	75	188	307	2689	6743	18495	10,42	35,02	59,64	0,450	3626	9094	22339	1,000	170	3200	950	1,22	1,12	1,08
25	60	18,0	38	13	85	198	317	3101	7228	19360	10,66	35,70	60,49	0,450	4370	10185	24026	1,200	220	3400	1100	1,18	1,12	1,08
25	75	18,0	38	13	100	213	332	3733	7956	20658	10,94	36,60	61,66	0,450	5591	11914	26651	1,500	250	3600	1500	1,20	1,16	1,11
25	40	20,0	40	13	65	191	316	2449	7183	19954	10,10	36,86	62,59	0,489	3107	9113	23227	0,800	120	3000	750	1,30	1,10	1,07
25	50	20,0	40	13	75	201	326	2881	7708	20879	10,42	37,64	63,50	0,450	3819	10217	24958	1,000	170	3200	950	1,21	1,11	1,07
25	60	20,0	40	13	85	211	336	3322	8233	21804	10,66	38,34	64,37	0,450	4588	11370	26740	1,200	220	3400	1100	1,17	1,11	1,08
25	75	20,0	40	13	100	226	351	3997	9021	23192	10,94	39,28	65,57	0,450	5847	13194	29506	1,500	250	3600	1500	1,19	1,15	1,11
25	40	22,0	45	13	65	203	345	2614	8172	23710	10,10	39,44	68,35	0,489	3274	10237	27284	0,800	120	3000	750	1,28	1,10	1,06
25	50	22,0	45	13	75	213	355	3073	8737	24725	10,42	40,24	69,28	0,450	4011	11403	29157	1,000	170	3200	950	1,20	1,10	1,07
25	60	22,0	45	13	85	223	365	3542	9302	25740	10,66	40,97	70,17	0,450	4805	12619	31080	1,200	220	3400	1100	1,16	1,11	1,07
25	75	22,0	45	13	100	238	380	4261	10150	27262	10,94	41,95	71,41	0,450	6102	14537	34058	1,500	250	3600	1500	1,18	1,15	1,10
30	30	12,0	25	15	60	135	214	1730	3903	9481	11,25	27,16	43,27	0,600	2148	4848	11176	0,500	120	3200	500	1,38	1,06	1,04
30	40	12,0	25	15	70	145	224	2067	4293	10121	11,79	27,98	44,19	0,525	2744	5700	12421	0,667	150	3600	600	1,29	1,07	1,05
30	50	12,0	25	15	80	155	234	2411	4683	10761	12,19	28,69	45,04	0,480	3399	6602	13715	0,833	170	4000	800	1,27	1,09	1,07
30	60	12,0	25	15	90	165	244	2760	5073	11401	12,50	29,31	45,82	0,450	4110	7554	15060	1,000	220	4400	950	1,20	1,09	1,07
30	70	12,0	25	15	100	175	254	3115	5463	12041	12,75	29,86	46,53	0,450	4878	8556	16455	1,167	250	4800	1100	1,20	1,11	1,08
30	80	12,0	25	15	110	185	264	3473	5853	12681	12,95	30,36	47,19	0,450	5701	9608	17900	1,333	300	5200	1300	1,17	1,11	1,09
30	90	12,0	25	15	120	195	274	3834	6243	13321	13,13	30,80	47,81	0,450	6577	10710	19394	1,500	320	5600	1500	1,19	1,13	1,10
30	30	14,0	29	15	60	148	239	1876	4627	11794	11,25	29,75	48,39	0,600	2308	5692	13729	0,500	120	3200	500	1,35	1,05	1,04
30	40	14,0	29	15	70	158	249	2241	5057	12514	11,79	30,59	49,34	0,525	2928	6607	15099	0,667	150	3600	600	1,26	1,06	1,04
30	50	14,0	29	15	80	168	259	2614	5487	13234	12,19	31,33	50,21	0,480	3607	7572	16520	0,833	170	4000	800	1,25	1,09	1,06

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wp1o	wp1	wp1'	eo*	e*	e'*	K1	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msdl	Msd2	βo	β	β'		
30	60	14,0	29	15	90	178	269	2993	5917	13954	12,50	31,99	51,02	0,450	4343	8587	17990	1,000	220	4400	950	1,19	1,09	1,06		
30	70	14,0	29	15	100	188	279	3377	6347	14674	12,75	32,57	51,78	0,450	5135	9652	19510	1,167	250	4800	1100	1,19	1,10	1,07		
30	80	14,0	29	15	110	198	289	3766	6777	15394	12,95	33,10	52,48	0,450	5983	10767	21081	1,333	300	5200	1300	1,16	1,11	1,08		
30	90	14,0	29	15	120	208	299	4159	7207	16114	13,13	33,58	53,13	0,450	6885	11931	22701	1,500	320	5600	1500	1,18	1,12	1,09		
30	30	16,0	33	15	60	161	264	2024	5416	14363	11,25	32,34	53,51	0,600	2467	6601	16538	0,500	120	3200	500	1,32	1,05	1,03		
30	40	16,0	33	15	70	171	274	2416	5886	15163	11,79	33,20	54,48	0,525	3111	7579	18034	0,667	150	3600	600	1,25	1,06	1,04		
30	50	16,0	33	15	80	181	284	2817	6356	15963	12,19	33,96	55,38	0,480	3814	8606	19580	0,833	170	4000	800	1,24	1,08	1,06		
30	60	16,0	33	15	90	191	294	3224	6826	16763	12,50	34,65	56,21	0,450	4574	9684	21176	1,000	220	4400	950	1,18	1,08	1,06		
30	70	16,0	33	15	100	201	304	3638	7296	17563	12,75	35,26	56,99	0,450	5391	10812	22822	1,167	250	4800	1100	1,17	1,10	1,07		
30	80	16,0	33	15	110	211	314	4058	7766	18363	12,95	35,82	57,73	0,450	6264	11989	24518	1,333	300	5200	1300	1,15	1,10	1,07		
30	90	16,0	33	15	120	221	324	4482	8236	19163	13,13	36,33	58,41	0,450	7192	13217	26264	1,500	320	5600	1500	1,17	1,12	1,09		
30	30	18,0	38	15	60	173	292	2173	6268	17559	11,25	34,91	59,27	0,600	2625	7573	20004	0,500	120	3200	500	1,30	1,05	1,03		
30	40	18,0	38	15	70	183	302	2591	6778	18449	11,79	35,79	60,25	0,525	3293	8614	21642	0,667	150	3600	600	1,23	1,06	1,04		
30	50	18,0	38	15	80	193	312	3020	7288	19339	12,19	36,58	61,17	0,480	4021	9704	23329	0,833	170	4000	800	1,22	1,08	1,05		
30	60	18,0	38	15	90	203	322	3456	7798	20229	12,50	37,29	62,03	0,450	4806	10845	25066	1,000	220	4400	950	1,17	1,08	1,06		
30	70	18,0	38	15	100	213	332	3899	8308	21119	12,75	37,93	62,84	0,450	5648	12035	26854	1,167	250	4800	1100	1,17	1,09	1,06		
30	80	18,0	38	15	110	223	342	4348	8818	22009	12,95	38,52	63,61	0,450	6546	13276	28691	1,333	300	5200	1300	1,15	1,10	1,07		
30	90	18,0	38	15	120	233	352	4802	9328	22899	13,13	39,05	64,33	0,450	7499	14566	30579	1,500	320	5600	1500	1,16	1,11	1,08		
30	30	20,0	40	15	60	186	311	2322	7185	19870	11,25	37,49	63,10	0,600	2782	8610	22495	0,500	120	3200	500	1,28	1,04	1,03		
30	40	20,0	40	15	70	196	321	2767	7735	20820	11,79	38,38	64,09	0,525	3475	9713	24227	0,667	150	3600	600	1,22	1,05	1,04		
30	50	20,0	40	15	80	206	331	3223	8285	21770	12,19	39,19	65,03	0,480	4227	10867	26008	0,833	170	4000	800	1,21	1,07	1,05		
30	60	20,0	40	15	90	216	341	3687	8835	22720	12,50	39,92	65,90	0,450	5037	12070	27840	1,000	220	4400	950	1,16	1,08	1,05		
30	70	20,0	40	15	100	226	351	4159	9385	23670	12,75	40,59	66,73	0,450	5904	13323	29721	1,167	250	4800	1100	1,16	1,09	1,06		
30	80	20,0	40	15	110	236	361	4637	9935	24620	12,95	41,20	67,51	0,450	6827	14627	31653	1,333	300	5200	1300	1,14	1,09	1,07		
30	90	20,0	40	15	120	246	371	5122	10485	25570	13,13	41,76	68,25	0,450	7806	15980	33635	1,500	320	5600	1500	1,15	1,11	1,08		
30	30	22,0	45	15	60	198	340	2472	8165	23606	11,25	40,06	68,85	0,600	2939	9710	26501	0,500	120	3200	500	1,27	1,04	1,03		
30	40	22,0	45	15	70	208	350	2943	8755	24646	11,79	40,97	69,85	0,525	3656	10877	28374	0,667	150	3600	600	1,20	1,05	1,03		
30	50	22,0	45	15	80	218	360	3426	9345	25686	12,19	41,79	70,80	0,480	4433	12093	30297	0,833	170	4000	800	1,20	1,07	1,05		
30	60	22,0	45	15	90	228	370	3918	9935	26726	12,50	42,55	71,70	0,450	5268	13359	32270	1,000	220	4400	950	1,15	1,07	1,05		
30	70	22,0	45	15	100	238	380	4418	10525	27766	12,75	43,24	72,55	0,450	6160	14675	34293	1,167	250	4800	1100	1,15	1,08	1,06		
30	80	22,0	45	15	110	248	390	4926	11115	28806	12,95	43,87	73,36	0,450	7108	16041	36366	1,333	300	5200	1300	1,13	1,09	1,06		
30	90	22,0	45	15	120	258	400	5440	11705	29846	13,13	44,46	74,13	0,450	8112	17457	38489	1,500	320	5600	1500	1,15	1,10	1,07		
																						média	1,30	1,13	1,08	
																							desvio	0,1590	0,0725	0,0289

Tabela C.11 - Valores de b para pilares de borda com momento no plano paralelo à borda e $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wp1o	wp1	wp1'	eo*	e*	e'*	K1	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_o	β	β'
30	20	12,0	25	15	50	125	204	1401	3513	8841	10,50	26,22	42,25	0,650	1613	4046	9981	0,333	70	2800	450	1,99	1,99	1,04
30	20	14,0	29	15	50	138	229	1521	4197	11074	10,50	28,79	47,36	0,650	1750	4828	12409	0,333	70	2800	450	1,92	1,92	1,04
30	20	16,0	33	15	50	151	254	1643	4946	13563	10,50	31,36	52,47	0,650	1884	5673	15092	0,333	70	2800	450	1,85	1,85	1,04
30	20	18,0	38	15	50	163	282	1765	5758	16669	10,50	33,93	58,21	0,650	2018	6583	18417	0,333	70	2800	450	1,79	1,79	1,03
30	20	20,0	40	15	50	176	301	1889	6635	18920	10,50	36,49	62,04	0,650	2151	7557	20813	0,333	70	2800	450	1,74	1,74	1,03
30	20	22,0	45	15	50	188	330	2012	7575	22566	10,50	39,05	67,78	0,650	2283	8594	24678	0,333	70	2800	450	1,69	1,69	1,03
40	20	12,0	25	18	56	131	210	1850	4340	10061	14,21	29,95	46,00	0,700	2014	4726	11161	0,250	100	3000	600	1,68	1,68	1,03
40	25	12,0	25	20	65	140	219	2111	4560	10406	13,85	29,63	45,70	0,660	2394	5171	11802	0,313	120	3800	750	1,70	1,70	1,04
40	30	12,0	25	20	70	145	224	2301	4780	10751	14,29	30,12	46,22	0,633	2710	5628	12456	0,375	150	4500	600	1,62	1,04	1,03
40	20	14,0	29	18	56	144	235	1979	5087	12419	14,21	32,53	51,11	0,700	2174	5588	13749	0,250	100	3000	600	1,63	1,04	1,03
40	25	14,0	29	20	65	153	244	2264	5327	12804	13,85	32,21	50,82	0,660	2577	6064	14453	0,313	120	3800	750	1,65	1,05	1,03
40	30	14,0	29	20	70	158	249	2467	5567	13189	14,29	32,71	51,35	0,633	2904	6552	15169	0,375	150	4500	600	1,57	1,04	1,02
40	20	16,0	33	18	56	157	260	2110	5899	15034	14,21	35,10	56,23	0,700	2330	6513	16592	0,250	100	3000	600	1,59	1,04	1,02
40	25	16,0	33	20	65	166	269	2418	6159	15459	13,85	34,79	55,94	0,660	2757	7021	17359	0,313	120	3800	750	1,61	1,05	1,03
40	30	16,0	33	20	70	171	274	2635	6419	15884	14,29	35,29	56,47	0,633	3095	7541	18138	0,375	150	4500	600	1,54	1,03	1,02
40	20	18,0	38	20	60	173	292	2348	6774	18282	13,33	36,82	61,14	0,700	2601	7503	20097	0,250	100	3000	600	1,57	1,03	1,02
40	25	18,0	38	20	65	178	297	2574	7054	18752	13,85	37,36	61,69	0,660	2935	8042	20934	0,313	120	3800	750	1,57	1,04	1,03
40	30	18,0	38	20	70	183	302	2804	7334	19222	14,29	37,87	62,22	0,633	3285	8593	21784	0,375	150	4500	600	1,51	1,03	1,02
40	20	20,0	40	20	60	186	311	2493	7713	20627	13,33	39,39	64,97	0,700	2765	8557	22613	0,250	100	3000	600	1,54	1,03	1,02
40	25	20,0	40	20	65	191	316	2732	8013	21127	13,85	39,93	65,52	0,660	3112	9127	23498	0,313	120	3800	750	1,54	1,04	1,03
40	30	20,0	40	20	70	196	321	2974	8313	21627	14,29	40,44	66,06	0,633	3474	9710	24395	0,375	150	4500	600	1,48	1,03	1,02
40	20	22,0	45	20	60	198	340	2638	8717	24414	13,33	41,95	70,71	0,700	2928	9674	26658	0,250	100	3000	600	1,51	1,03	1,02
40	25	22,0	45	20	65	203	345	2890	9037	24959	13,85	42,50	71,27	0,660	3287	10276	27613	0,313	120	3800	750	1,51	1,04	1,02
40	30	22,0	45	20	70	208	350	3145	9357	25504	14,29	43,01	71,81	0,633	3661	10890	28581	0,375	150	4500	600	1,45	1,03	1,02
50	20	12,0	25	18	56	131	210	2245	5267	11380	19,21	34,95	51,00	0,750	2304	5406	12341	0,200	120	3300	750	1,54	1,03	1,02
50	25	12,0	25	24	73	148	227	2711	5512	11750	17,11	32,92	49,02	0,700	2903	5901	13032	0,250	170	4000	950	1,48	1,04	1,02
50	30	12,0	25	25	80	155	234	2964	5757	12120	17,19	33,02	49,14	0,667	3299	6408	13736	0,300	170	5000	800	1,56	1,03	1,02
50	20	14,0	29	18	56	144	235	2364	6077	13865	19,21	37,53	56,11	0,750	2469	6348	15089	0,200	120	3300	750	1,52	1,03	1,02
50	25	14,0	29	24	73	161	252	2876	6342	14275	17,11	35,51	54,15	0,700	3117	6874	15843	0,250	170	4000	950	1,45	1,03	1,02
50	30	14,0	29	25	80	168	259	3147	6607	14685	17,19	35,62	54,27	0,667	3530	7412	16609	0,300	170	5000	800	1,53	1,03	1,02
50	20	16,0	33	18	56	157	260	2487	6951	16605	19,21	40,10	61,23	0,750	2631	7353	18092	0,200	120	3300	750	1,49	1,03	1,02

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wplo	wpl	wpl'	eo*	e*	e'*	K1	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	βo	β	β'
50	25	16,0	33	24	73	174	277	3044	7236	17055	17,11	38,09	59,27	0,700	3328	7911	18909	0,250	170	4000	950	1,43	1,03	1,02
50	30	16,0	33	25	80	181	284	3333	7521	17505	17,19	38,20	59,39	0,667	3758	8481	19738	0,300	170	5000	800	1,50	1,03	1,02
50	20	18,0	38	21	62	175	294	2794	7889	19994	17,89	41,40	65,72	0,750	2982	8423	21777	0,200	120	3300	750	1,48	1,03	1,02
50	25	18,0	38	25	75	188	307	3267	8194	20489	16,67	40,24	64,60	0,700	3593	9012	22664	0,250	170	4000	950	1,41	1,03	1,02
50	30	18,0	38	25	80	193	312	3521	8499	20984	17,19	40,78	65,15	0,667	3983	9613	23564	0,300	170	5000	800	1,47	1,03	1,02
50	20	20,0	40	21	62	188	313	2938	8892	22433	17,89	43,96	69,55	0,750	3157	9557	24413	0,200	120	3300	750	1,46	1,02	1,02
50	25	20,0	40	25	75	201	326	3445	9217	22958	16,67	42,82	68,44	0,700	3804	10177	25348	0,250	170	4000	950	1,39	1,03	1,02
50	30	20,0	40	25	80	206	331	3712	9542	23483	17,19	43,36	68,99	0,667	4205	10810	26295	0,300	170	5000	800	1,45	1,03	1,02
50	20	22,0	45	21	62	200	342	3083	9958	26362	17,89	46,53	75,30	0,750	3330	10754	28638	0,200	120	3300	750	1,44	1,02	1,01
50	25	22,0	45	25	75	213	355	3624	10303	26932	16,67	45,39	74,19	0,700	4012	11406	29643	0,250	170	4000	950	1,37	1,03	1,02
50	30	22,0	45	25	80	218	360	3903	10648	27502	17,19	45,93	74,74	0,667	4425	12070	30661	0,300	170	5000	800	1,43	1,03	1,02
60	20	12,0	25	18	56	131	210	2682	6294	12800	24,21	39,95	56,00	0,800	2594	6086	13521	0,167	150	3500	900	1,02	1,02	1,02
60	25	12,0	25	24	73	148	227	3229	6564	13195	22,11	37,92	54,02	0,740	3262	6631	14262	0,208	220	4400	1100	1,02	1,02	1,02
60	30	12,0	25	30	90	165	244	3719	6834	13590	20,00	35,88	52,02	0,700	3911	7188	15016	0,250	220	5500	950	1,45	1,02	1,02
60	20	14,0	29	18	56	144	235	2788	7167	15410	24,21	42,53	61,11	0,800	2765	7108	16429	0,167	150	3500	900	1,02	1,02	1,01
60	25	14,0	29	24	73	161	252	3382	7457	15845	22,11	40,51	59,15	0,740	3485	7684	17233	0,208	220	4400	1100	1,02	1,02	1,02
60	30	14,0	29	30	90	178	269	3918	7747	16280	20,00	38,47	57,16	0,700	4184	8272	18049	0,250	220	5500	950	1,43	1,02	1,02
60	20	16,0	33	18	56	157	260	2899	8104	18276	24,21	45,10	66,23	0,800	2931	8193	19592	0,167	150	3500	900	1,02	1,02	1,01
60	25	16,0	33	24	73	174	277	3540	8414	18751	22,11	43,09	64,27	0,740	3702	8801	20459	0,208	220	4400	1100	1,02	1,02	1,01
60	30	16,0	33	30	90	191	294	4121	8724	19226	20,00	41,06	62,29	0,700	4450	9421	21338	0,250	220	5500	950	1,40	1,02	1,01
60	20	18,0	38	21	62	175	294	3224	9105	21806	22,89	46,40	70,72	0,800	3308	9343	23457	0,167	150	3500	900	1,38	1,02	1,01
60	25	18,0	38	27	79	192	311	3880	9435	22326	20,77	44,38	68,76	0,740	4105	9982	24394	0,208	220	4400	1100	1,02	1,02	1,01
60	30	18,0	38	30	90	203	322	4327	9765	22846	20,00	43,65	68,06	0,700	4712	10633	25344	0,250	220	5500	950	1,38	1,02	1,01
60	20	20,0	40	21	62	188	313	3360	10170	24340	22,89	48,96	74,55	0,800	3488	10557	26213	0,167	150	3500	900	1,36	1,02	1,01
60	25	20,0	40	27	79	205	330	4061	10520	24890	20,77	46,96	72,60	0,740	4334	11227	27198	0,208	220	4400	1100	1,02	1,02	1,01
60	30	20,0	40	30	90	216	341	4536	10870	25440	20,00	46,23	71,90	0,700	4970	11910	28195	0,250	220	5500	950	1,37	1,02	1,01
60	20	22,0	45	21	62	200	342	3499	11299	28410	22,89	51,53	80,30	0,800	3664	11834	30618	0,167	150	3500	900	1,35	1,02	1,01
60	25	22,0	45	27	79	217	359	4244	11669	29005	20,77	49,53	78,35	0,740	4559	12536	31673	0,208	220	4400	1100	1,02	1,02	1,01
60	30	22,0	45	30	90	228	370	4747	12039	29600	20,00	48,81	77,65	0,700	5225	13250	32741	0,250	220	5500	950	1,35	1,02	1,01
70	30	12,0	25	18	66	141	220	3739	8011	15160	30,09	45,95	62,04	0,733	3719	7968	16296	0,214	250	6000	1100	1,02	1,02	1,01
70	30	14,0	29	21	72	160	251	4045	8987	17975	28,88	47,30	65,94	0,733	4111	9132	19489	0,214	250	6000	1100	1,02	1,02	1,01
70	30	16,0	33	24	78	179	282	4381	10027	21047	27,62	48,62	69,81	0,733	4527	10361	22938	0,214	250	6000	1100	1,02	1,02	1,01
70	30	18,0	38	27	84	197	316	4744	11130	24809	26,32	49,93	74,32	0,733	4967	11653	27124	0,214	250	6000	1100	1,02	1,02	1,01

c1	c2	d	p	a	uo*	u*	u'*	wplo	wpl	wpl'	eo*	e*	e'*	K1	wp2o	wp2	wp2'	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_0	β	β'
70	30	20,0	40	30	90	216	341	5132	12298	27496	25,00	51,23	76,90	0,733	5429	13010	30095	0,214	250	6000	1100	1,02	1,02	1,01
70	30	22,0	45	33	96	234	376	5545	13530	31798	23,66	52,52	81,39	0,733	5914	14430	34821	0,214	250	6000	1100	1,32	1,02	1,01
75	25	12,0	25	18	61	136	215	3725	8329	15550	32,19	47,97	64,03	0,800	3455	7726	16107	0,167	250	4500	1500	1,02	1,02	1,01
75	25	14,0	29	21	67	155	246	4028	9317	18388	30,92	49,29	67,91	0,800	3847	8899	19318	0,167	250	4500	1500	1,02	1,02	1,01
75	25	16,0	33	24	73	174	277	4362	10368	21483	29,61	50,59	71,77	0,800	4264	10136	22784	0,167	250	4500	1500	1,02	1,02	1,01
75	25	18,0	38	27	79	192	311	4722	11483	25270	28,27	51,88	76,26	0,800	4703	11437	26989	0,167	250	4500	1500	1,02	1,02	1,01
75	25	20,0	40	30	85	211	336	5109	12662	27975	26,91	53,16	78,83	0,800	5165	12802	29973	0,167	250	4500	1500	1,02	1,02	1,01
75	25	22,0	45	33	91	229	371	5520	13906	32302	25,53	54,44	83,31	0,800	5649	14231	34718	0,167	250	4500	1500	1,02	1,02	1,01
80	30	12,0	25	18	66	141	220	4335	9288	16830	35,09	50,95	67,04	0,767	4083	8748	17576	0,188	300	6500	1300	1,01	1,01	1,01
80	30	14,0	29	21	72	160	251	4648	10327	19771	33,88	52,30	70,94	0,767	4498	9992	20929	0,188	300	6500	1300	1,01	1,01	1,01
80	30	16,0	33	24	78	179	282	4993	11429	22968	32,62	53,62	74,81	0,767	4937	11301	24538	0,188	300	6500	1300	1,01	1,01	1,01
80	30	18,0	38	27	84	197	316	5368	12596	26871	31,32	54,93	79,32	0,767	5401	12673	28904	0,188	300	6500	1300	1,01	1,01	1,01
80	30	20,0	40	30	90	216	341	5770	13827	29653	30,00	56,23	81,90	0,767	5888	14110	31995	0,188	300	6500	1300	1,01	1,01	1,01
80	30	22,0	45	33	96	234	376	6197	15121	34096	28,66	57,52	86,39	0,767	6398	15610	36901	0,188	300	6500	1300	1,01	1,01	1,01
90	30	12,0	25	18	66	141	220	4978	10665	18599	40,09	55,95	72,04	0,800	4447	9528	18856	0,167	320	7000	1500	1,01	1,01	1,01
90	30	14,0	29	21	72	160	251	5296	11766	21666	38,88	57,30	75,94	0,800	4885	10852	22369	0,167	320	7000	1500	1,01	1,01	1,01
90	30	16,0	33	24	78	179	282	5650	12932	24989	37,62	58,62	79,81	0,800	5348	12241	26138	0,167	320	7000	1500	1,01	1,01	1,01
90	30	18,0	38	27	84	197	316	6035	14161	29034	36,32	59,93	84,32	0,800	5836	13693	30684	0,167	320	7000	1500	1,01	1,01	1,01
90	30	20,0	40	30	90	216	341	6450	15455	31910	35,00	61,23	86,90	0,800	6347	15210	33895	0,167	320	7000	1500	1,01	1,01	1,01
90	30	22,0	45	33	96	234	376	6891	16812	36494	33,66	62,52	91,39	0,800	6882	16790	38981	0,167	320	7000	1500	1,01	1,01	1,01
																					média	1,33	1,10	1,02
																					desvio	0,2745	0,2301	0,0080

Tabela C.12 - Valores de **b** para pilares de canto com $c_1 \leq c_2$

c1	c2	d	p	al	a2	uo*	u*	u'*	wp1o	wp1	wp1'	eo*	e*	e'*	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	eo*	e*	e'*	K2	Fsd	Msd1	Msd2	β_o	β	β'
20	20	12,0	25	10	10	20	58	97	601	1733	4451	7,50	23,28	39,30	0,600	20	20	601	1733	4451	7,50	23,28	39,30	1,000	20	1500	300	2,35	2,03	1,47
20	30	12,0	25	10	15	25	63	102	827	2073	5041	8,00	24,13	40,26	0,501	30	20	856	2146	5061	10,50	26,22	42,25	1,500	30	1600	450	1,69	1,44	1,13
20	40	12,0	25	10	18	28	66	105	1028	2413	5631	8,21	24,58	40,80	0,450	40	20	1112	2610	5720	14,21	29,95	46,00	2,000	50	1800	600	1,34	1,14	1,00
20	50	12,0	25	10	18	28	66	105	1173	2753	6221	8,21	24,58	40,80	0,450	50	20	1331	3123	6430	19,21	34,95	51,00	2,500	60	2000	750	1,27	1,09	1,00
20	60	12,0	25	10	18	28	66	105	1318	3093	6811	8,21	24,58	40,80	0,450	60	20	1571	3687	7190	24,21	39,95	56,00	3,000	70	2100	900	1,21	1,05	1,00
20	20	14,0	29	10	10	20	64	110	651	2084	5584	7,50	25,85	44,41	0,600	20	20	651	2084	5584	7,50	25,85	44,41	1,000	20	1500	300	2,24	1,91	1,36
20	30	14,0	29	10	15	25	69	115	893	2464	6254	8,00	26,73	45,40	0,501	30	20	916	2529	6257	10,50	28,79	47,36	1,500	30	1600	450	1,64	1,37	1,07
20	40	14,0	29	10	20	30	74	120	1153	2844	6924	8,33	27,49	46,30	0,450	40	20	1226	3024	6980	13,33	31,68	50,28	2,000	50	1800	600	1,32	1,10	1,00
20	50	14,0	29	10	21	31	75	121	1333	3224	7594	8,39	27,63	46,47	0,450	50	20	1475	3569	7752	17,89	36,25	54,85	2,500	60	2000	750	1,26	1,06	1,00
20	60	14,0	29	10	21	31	75	121	1490	3604	8264	8,39	27,63	46,47	0,450	60	20	1721	4163	8575	22,89	41,25	59,85	3,000	70	2100	900	1,20	1,02	1,00
20	20	16,0	33	10	10	20	70	122	702	2467	6846	7,50	28,42	49,52	0,600	20	20	702	2467	6846	7,50	28,42	49,52	1,000	20	1500	300	2,15	1,80	1,27
20	30	16,0	33	10	15	25	75	127	959	2887	7596	8,00	29,32	50,52	0,501	30	20	978	2943	7582	10,50	31,36	52,47	1,500	30	1600	450	1,59	1,31	1,02
20	40	16,0	33	10	20	30	80	132	1236	3307	8346	8,33	30,11	51,45	0,450	40	20	1297	3469	8367	13,33	34,25	55,39	2,000	50	1800	600	1,30	1,06	1,00
20	50	16,0	33	10	24	34	84	136	1504	3727	9096	8,53	30,67	52,14	0,450	50	20	1632	4046	9203	16,53	37,53	58,70	2,500	60	2000	750	1,25	1,03	1,00
20	60	16,0	33	10	24	34	84	136	1673	4147	9846	8,53	30,67	52,14	0,450	60	20	1885	4672	10088	21,53	42,53	63,70	3,000	70	2100	900	1,20	1,00	1,00
20	20	18,0	38	10	10	20	77	136	753	2881	8418	7,50	30,98	55,26	0,600	20	20	753	2881	8418	7,50	30,98	55,26	1,000	20	1500	300	2,08	1,70	1,19
20	30	18,0	38	10	15	25	82	141	1024	3341	9258	8,00	31,90	56,28	0,501	30	20	1039	3389	9225	10,50	33,93	58,21	1,500	30	1600	450	1,55	1,26	1,00
20	40	18,0	38	10	20	30	87	146	1318	3801	10098	8,33	32,72	57,22	0,450	40	20	1368	3947	10081	13,33	36,82	61,14	2,000	50	1800	600	1,28	1,03	1,00
20	50	18,0	38	10	25	35	92	151	1629	4261	10938	8,57	33,44	58,11	0,450	50	20	1741	4555	10987	16,07	39,68	64,03	2,500	60	2000	750	1,24	1,00	1,00
20	60	18,0	38	10	27	37	94	153	1867	4721	11778	8,65	33,71	58,45	0,450	60	20	2062	5212	11943	20,15	43,81	68,19	3,000	70	2100	900	1,19	1,00	1,00
20	20	20,0	40	10	10	20	83	146	804	3328	9557	7,50	33,54	59,09	0,600	20	20	804	3328	9557	7,50	33,54	59,09	1,000	20	1500	300	2,01	1,62	1,15
20	30	20,0	40	10	15	25	88	151	1090	3828	10457	8,00	34,48	60,11	0,501	30	20	1101	3867	10410	10,50	36,49	62,04	1,500	30	1600	450	1,52	1,22	1,00
20	40	20,0	40	10	20	30	93	156	1399	4328	11357	8,33	35,31	61,07	0,450	40	20	1440	4457	11313	13,33	39,39	64,97	2,000	50	1800	600	1,27	1,01	1,00
20	50	20,0	40	10	25	35	98	161	1727	4828	12257	8,57	36,07	61,97	0,450	50	20	1823	5096	12267	16,07	42,25	67,87	2,500	60	2000	750	1,23	1,00	1,00
20	60	20,0	40	10	30	40	103	166	2073	5328	13157	8,75	36,74	62,82	0,450	60	20	2250	5785	13270	18,75	45,07	70,75	3,000	70	2100	900	1,18	1,00	1,00
20	20	22,0	45	18	10	28	97	168	1098	3807	11399	4,21	32,80	61,54	0,600	20	20	1098	3807	11399	8,21	37,58	66,45	1,000	20	1500	300	2,08	1,65	1,12
20	30	22,0	45	18	15	33	102	173	1405	4347	12389	5,09	33,84	62,63	0,501	30	20	1415	4378	12323	11,59	40,61	69,46	1,500	30	1600	450	1,57	1,23	1,00
20	40	22,0	45	18	20	38	107	178	1734	4887	13379	5,74	34,78	63,65	0,450	40	20	1773	4998	13297	14,74	43,60	72,43	2,000	50	1800	600	1,30	1,01	1,00
20	50	22,0	45	18	25	43	112	183	2081	5427	14369	6,23	35,63	64,62	0,450	50	20	2174	5669	14321	17,73	46,54	75,39	2,500	60	2000	750	1,25	1,00	1,00
20	60	22,0	45	18	30	48	117	188	2446	5967	15359	6,63	36,42	65,53	0,450	60	20	2619	6389	15395	20,63	49,45	78,31	3,000	70	2100	900	1,21	1,00	1,00
25	40	12,0	25	13	18	31	68	107	1191	2663	5979	9,94	26,13	42,32	0,489	40	25	1266	2830	6065	14,69	30,47	46,53	1,600	60	2300	750	1,36	1,15	1,00

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u**	wplo	wpl	wpl'	eo*	e*	e**	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	eo*	e*	e**	K2	Fsd	Msd1	Msd2	βo	β	β'
25	50	12,0	25	13	18	31	68	107	1354	3028	6594	9,94	26,13	42,32	0,450	50	25	1506	3368	6800	19,69	35,47	51,53	2,000	80	2400	950	1,20	1,04	1,00
25	60	12,0	25	13	18	31	68	107	1518	3393	7209	9,94	26,13	42,32	0,450	60	25	1770	3957	7585	24,69	40,47	56,53	2,400	110	2600	1100	1,12	1,00	1,00
25	75	12,0	25	13	18	31	68	107	1762	3941	8132	9,94	26,13	42,32	0,450	75	25	2206	4933	8856	32,19	47,97	64,03	3,000	120	2700	1500	1,10	1,00	1,00
25	40	14,0	29	13	20	33	76	122	1322	3110	7304	10,10	29,05	47,82	0,489	40	25	1387	3264	7365	13,85	32,21	50,82	1,600	60	2300	750	1,34	1,11	1,00
25	50	14,0	29	13	21	34	77	123	1520	3515	7999	10,17	29,20	48,00	0,450	50	25	1657	3834	8162	18,42	36,79	55,41	2,000	80	2400	950	1,20	1,01	1,00
25	60	14,0	29	13	21	34	77	123	1695	3920	8694	10,17	29,20	48,00	0,450	60	25	1925	4453	9010	23,42	41,79	60,41	2,400	110	2600	1100	1,12	1,00	1,00
25	75	14,0	29	13	21	34	77	123	1958	4528	9737	10,17	29,20	48,00	0,450	75	25	2368	5477	10375	30,92	49,29	67,91	3,000	120	2700	1500	1,09	1,00	1,00
25	40	16,0	33	13	20	33	83	135	1409	3589	8758	10,10	31,66	52,97	0,489	40	25	1464	3729	8792	13,85	34,79	55,94	1,600	60	2300	750	1,32	1,08	1,00
25	50	16,0	33	13	24	37	87	139	1697	4034	9533	10,36	32,25	53,67	0,450	50	25	1822	4331	9653	17,11	38,09	59,27	2,000	80	2400	950	1,19	1,00	1,00
25	60	16,0	33	13	24	37	87	139	1884	4479	10308	10,36	32,25	53,67	0,450	60	25	2096	4982	10563	22,11	43,09	64,27	2,400	110	2600	1100	1,12	1,00	1,00
25	75	16,0	33	13	24	37	87	139	2165	5146	11470	10,36	32,25	53,67	0,450	75	25	2546	6053	12023	29,61	50,59	71,77	3,000	120	2700	1500	1,09	1,00	1,00
25	40	18,0	38	13	20	33	89	149	1496	4099	10545	10,10	34,26	58,74	0,489	40	25	1543	4227	10551	13,85	37,36	61,69	1,600	60	2300	750	1,30	1,04	1,00
25	50	18,0	38	13	25	38	94	154	1828	4584	11410	10,42	35,02	59,64	0,450	50	25	1938	4860	11482	16,67	40,24	64,60	2,000	80	2400	950	1,18	1,00	1,00
25	60	18,0	38	13	27	40	96	156	2085	5069	12275	10,52	35,30	59,99	0,450	60	25	2279	5542	12463	20,77	44,38	68,76	2,400	110	2600	1100	1,11	1,00	1,00
25	75	18,0	38	13	27	40	96	156	2384	5797	13573	10,52	35,30	59,99	0,450	75	25	2739	6660	14029	28,27	51,88	76,26	3,000	120	2700	1500	1,09	1,00	1,00
25	40	20,0	40	13	20	33	95	158	1582	4642	11827	10,10	36,86	62,59	0,489	40	25	1622	4757	11813	13,85	39,93	65,52	1,600	60	2300	750	1,28	1,01	1,00
25	50	20,0	40	13	25	38	100	163	1931	5167	12752	10,42	37,64	63,50	0,450	50	25	2026	5421	12792	16,67	42,82	68,44	2,000	80	2400	950	1,17	1,00	1,00
25	60	20,0	40	13	30	43	105	168	2297	5692	13677	10,66	38,34	64,37	0,450	60	25	2475	6135	13820	19,41	45,66	71,33	2,400	110	2600	1100	1,11	1,00	1,00
25	75	20,0	40	13	30	43	105	168	2614	6479	15065	10,66	38,34	64,37	0,450	75	25	2945	7300	15456	26,91	53,16	78,83	3,000	120	2700	1500	1,09	1,00	1,00
25	40	22,0	45	13	20	33	102	172	1668	5216	13885	10,10	39,44	68,35	0,489	40	25	1701	5318	13842	13,85	42,50	71,27	1,600	60	2300	750	1,27	1,00	1,00
25	50	22,0	45	13	25	38	107	177	2033	5781	14900	10,42	40,24	69,28	0,450	50	25	2115	6014	14891	16,67	45,39	74,19	2,000	80	2400	950	1,16	1,00	1,00
25	60	22,0	45	13	30	43	112	182	2416	6346	15915	10,66	40,97	70,17	0,450	60	25	2574	6759	15990	19,41	48,24	77,08	2,400	110	2600	1100	1,10	1,00	1,00
25	75	22,0	45	13	33	46	115	185	2856	7194	17437	10,78	41,38	70,67	0,450	75	25	3165	7972	17732	25,53	54,44	83,31	3,000	120	2700	1500	1,08	1,00	1,00
30	30	12,0	25	15	15	30	68	107	1124	2536	5701	11,25	27,16	43,27	0,600	30	30	1124	2536	5701	11,25	27,16	43,27	1,000	60	2400	500	1,46	1,21	1,00
30	40	12,0	25	15	18	33	71	110	1366	2926	6341	11,59	27,67	43,83	0,525	40	30	1424	3050	6410	15,09	30,95	47,04	1,333	70	2700	600	1,34	1,14	1,00
30	50	12,0	25	15	18	33	71	110	1548	3316	6981	11,59	27,67	43,83	0,480	50	30	1687	3613	7170	20,09	35,95	52,04	1,667	80	3000	800	1,27	1,10	1,00
30	60	12,0	25	15	18	33	71	110	1730	3706	7621	11,59	27,67	43,83	0,450	60	30	1973	4227	7980	25,09	40,95	57,04	2,000	110	3300	950	1,16	1,02	1,00
30	70	12,0	25	15	18	33	71	110	1912	4096	8261	11,59	27,67	43,83	0,450	70	30	2283	4890	8840	30,09	45,95	62,04	2,333	120	3600	1100	1,14	1,02	1,00
30	80	12,0	25	15	18	33	71	110	2094	4486	8901	11,59	27,67	43,83	0,450	80	30	2616	5604	9750	35,09	50,95	67,04	2,667	150	3900	1300	1,10	1,00	1,00
30	90	12,0	25	15	18	33	71	110	2276	4876	9541	11,59	27,67	43,83	0,450	90	30	2972	6367	10710	40,09	55,95	72,04	3,000	160	4200	1500	1,10	1,00	1,00
30	30	14,0	29	15	15	30	74	120	1200	2959	6977	11,25	29,75	48,39	0,600	30	30	1200	2959	6977	11,25	29,75	48,39	1,000	60	2400	500	1,43	1,15	1,00
30	40	14,0	29	15	20	35	79	125	1502	3389	7697	11,79	30,59	49,34	0,525	40	30	1553	3504	7750	14,29	32,71	51,35	1,333	70	2700	600	1,33	1,10	1,00
30	50	14,0	29	15	21	36	80	126	1719	3819	8417	11,88	30,75	49,52	0,480	50	30	1845	4099	8572	18,88	37,30	55,94	1,667	80	3000	800	1,26	1,07	1,00

c1	c2	d	p	al	a2	uo*	u*	u**	wpl0	wpl	wpl'	eo*	e*	e**	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	eo*	e*	e**	K2	Fsd	Msd1	Msd2	βo	β	β'
30	60	14,0	29	15	21	36	80	126	1912	4249	9137	11,88	30,75	49,52	0,450	60	30	2135	4743	9445	23,88	42,30	60,94	2,000	110	3300	950	1,15	1,00	1,00
30	70	14,0	29	15	21	36	80	126	2106	4679	9857	11,88	30,75	49,52	0,450	70	30	2448	5438	10368	28,88	47,30	65,94	2,333	120	3600	1100	1,14	1,00	1,00
30	80	14,0	29	15	21	36	80	126	2299	5109	10577	11,88	30,75	49,52	0,450	80	30	2783	6183	11340	33,88	52,30	70,94	2,667	150	3900	1300	1,10	1,00	1,00
30	90	14,0	29	15	21	36	80	126	2493	5539	11297	11,88	30,75	49,52	0,450	90	30	3141	6978	12363	38,88	57,30	75,94	3,000	160	4200	1500	1,09	1,00	1,00
30	30	16,0	33	15	15	30	80	132	1276	3413	8382	11,25	32,34	53,51	0,600	30	30	1276	3413	8382	11,25	32,34	53,51	1,000	60	2400	500	1,41	1,11	1,00
30	40	16,0	33	15	20	35	85	137	1594	3883	9182	11,79	33,20	54,48	0,525	40	30	1638	3989	9217	14,29	35,29	56,47	1,333	70	2700	600	1,31	1,06	1,00
30	50	16,0	33	15	24	39	89	141	1902	4353	9982	12,12	33,81	55,20	0,480	50	30	2017	4616	10103	17,62	38,62	59,81	1,667	80	3000	800	1,25	1,04	1,00
30	60	16,0	33	15	24	39	89	141	2107	4823	10782	12,12	33,81	55,20	0,450	60	30	2312	5292	11038	22,62	43,62	64,81	2,000	110	3300	950	1,15	1,00	1,00
30	70	16,0	33	15	24	39	89	141	2312	5293	11582	12,12	33,81	55,20	0,450	70	30	2629	6018	12024	27,62	48,62	69,81	2,333	120	3600	1100	1,14	1,00	1,00
30	80	16,0	33	15	24	39	89	141	2518	5763	12382	12,12	33,81	55,20	0,450	80	30	2969	6795	13059	32,62	53,62	74,81	2,667	150	3900	1300	1,10	1,00	1,00
30	90	16,0	33	15	24	39	89	141	2723	6233	13182	12,12	33,81	55,20	0,450	90	30	3330	7621	14145	37,62	58,62	79,81	3,000	160	4200	1500	1,09	1,00	1,00
30	30	18,0	38	15	15	30	87	146	1352	3899	10115	11,25	34,91	59,27	0,600	30	30	1352	3899	10115	11,25	34,91	59,27	1,000	60	2400	500	1,38	1,07	1,00
30	40	18,0	38	15	20	35	92	151	1686	4409	11005	11,79	35,79	60,25	0,525	40	30	1723	4507	11021	14,29	37,87	62,22	1,333	70	2700	600	1,29	1,03	1,00
30	50	18,0	38	15	25	40	97	156	2038	4919	11895	12,19	36,58	61,17	0,480	50	30	2140	5165	11977	17,19	40,78	65,15	1,667	80	3000	800	1,24	1,01	1,00
30	60	18,0	38	15	27	42	99	158	2314	5429	12785	12,32	36,87	61,52	0,450	60	30	2503	5872	12983	21,32	44,93	69,32	2,000	110	3300	950	1,14	1,00	1,00
30	70	18,0	38	15	27	42	99	158	2531	5939	13675	12,32	36,87	61,52	0,450	70	30	2826	6630	14039	26,32	49,93	74,32	2,333	120	3600	1100	1,13	1,00	1,00
30	80	18,0	38	15	27	42	99	158	2749	6449	14565	12,32	36,87	61,52	0,450	80	30	3170	7438	15146	31,32	54,93	79,32	2,667	150	3900	1300	1,09	1,00	1,00
30	90	18,0	38	15	27	42	99	158	2966	6959	15455	12,32	36,87	61,52	0,450	90	30	3535	8296	16302	36,32	59,93	84,32	3,000	160	4200	1500	1,09	1,00	1,00
30	30	20,0	40	15	15	30	93	156	1428	4417	11360	11,25	37,49	63,10	0,600	30	30	1428	4417	11360	11,25	37,49	63,10	1,000	60	2400	500	1,36	1,03	1,00
30	40	20,0	40	15	20	35	98	161	1777	4967	12310	11,79	38,38	64,09	0,525	40	30	1809	5057	12313	14,29	40,44	66,06	1,333	70	2700	600	1,28	1,00	1,00
30	50	20,0	40	15	25	40	103	166	2146	5517	13260	12,19	39,19	65,03	0,480	50	30	2235	5746	13317	17,19	43,36	68,99	1,667	80	3000	800	1,23	1,00	1,00
30	60	20,0	40	15	30	45	108	171	2532	6067	14210	12,50	39,92	65,90	0,450	60	30	2706	6485	14370	20,00	46,23	71,90	2,000	110	3300	950	1,14	1,00	1,00
30	70	20,0	40	15	30	45	108	171	2762	6617	15160	12,50	39,92	65,90	0,450	70	30	3036	7274	15473	25,00	51,23	76,90	2,333	120	3600	1100	1,13	1,00	1,00
30	80	20,0	40	15	30	45	108	171	2991	7167	16110	12,50	39,92	65,90	0,450	80	30	3386	8113	16627	30,00	56,23	81,90	2,667	150	3900	1300	1,09	1,00	1,00
30	90	20,0	40	15	30	45	108	171	3221	7717	17060	12,50	39,92	65,90	0,450	90	30	3757	9002	17830	35,00	61,23	86,90	3,000	160	4200	1500	1,09	1,00	1,00
30	30	22,0	45	15	15	30	99	170	1504	4968	13363	11,25	40,06	68,85	0,600	30	30	1504	4968	13363	11,25	40,06	68,85	1,000	60	2400	500	1,34	1,00	1,00
30	40	22,0	45	15	20	35	104	175	1868	5558	14403	11,79	40,97	69,85	0,525	40	30	1895	5638	14387	14,29	43,01	71,81	1,333	70	2700	600	1,26	1,00	1,00
30	50	22,0	45	15	25	40	109	180	2254	6148	15443	12,19	41,79	70,80	0,480	50	30	2331	6359	15461	17,19	45,93	74,74	1,667	80	3000	800	1,22	1,00	1,00
30	60	22,0	45	15	30	45	114	185	2657	6738	16483	12,50	42,55	71,70	0,450	60	30	2811	7129	16585	20,00	48,81	77,65	2,000	110	3300	950	1,13	1,00	1,00
30	70	22,0	45	15	33	48	117	188	3003	7328	17523	12,66	42,97	72,22	0,450	70	30	3258	7950	17759	23,66	52,52	81,39	2,333	120	3600	1100	1,12	1,00	1,00
30	80	22,0	45	15	33	48	117	188	3245	7918	18563	12,66	42,97	72,22	0,450	80	30	3615	8821	18983	28,66	57,52	86,39	2,667	150	3900	1300	1,09	1,00	1,00
30	90	22,0	45	15	33	48	117	188	3487	8508	19603	12,66	42,97	72,22	0,450	90	30	3992	9741	20257	33,66	62,52	91,39	3,000	160	4200	1500	1,08	1,00	1,00

média	1,29	1,09	1,02
desvio	0,2618	0,2013	0,0714

Tabela C.13 - Valores de **b** para pilares de canto com $c_1 > c_2$

c1	c2	d	p	al	a2	uo*	u*	u'*	wp1o	wp1	wp1'	eo*	e*	e'*	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	eo*	e*	e'*	K2	Fsd	Msd1	Msd2	βo	β	β'
30	20	12,0	25	15	10	25	63	102	856	2146	5061	10,50	26,22	42,25	0,650	20	30	827	2073	5041	8,00	24,13	40,26	0,667	30	1600	450	1,81	1,51	1,15
30	20	14,0	29	15	10	25	69	115	916	2529	6257	10,50	28,79	47,36	0,650	20	30	893	2464	6254	8,00	26,73	45,40	0,667	30	1600	450	1,76	1,44	1,07
30	20	16,0	33	15	10	25	75	127	978	2943	7582	10,50	31,36	52,47	0,650	20	30	959	2887	7596	8,00	29,32	50,52	0,667	30	1600	450	1,71	1,37	1,01
30	20	18,0	38	15	10	25	82	141	1039	3389	9225	10,50	33,93	58,21	0,650	20	30	1024	3341	9258	8,00	31,90	56,28	0,667	30	1600	450	1,67	1,30	1,00
30	20	20,0	40	15	10	25	88	151	1101	3867	10410	10,50	36,49	62,04	0,650	20	30	1090	3828	10457	8,00	34,48	60,11	0,667	30	1600	450	1,63	1,25	1,00
30	20	22,0	45	15	18	33	102	173	1415	4378	12323	11,59	40,61	69,46	0,650	20	30	1405	4347	12389	5,09	33,84	62,63	0,667	30	1600	450	1,63	1,19	1,00
40	20	12,0	25	18	10	28	66	105	1112	2610	5720	14,21	29,95	46,00	0,700	20	40	1028	2413	5631	8,21	24,58	40,80	0,500	50	1800	600	1,38	1,11	1,00
40	25	12,0	25	18	13	31	68	107	1266	2830	6065	14,69	30,47	46,53	0,660	25	40	1191	2663	5979	9,94	26,13	42,32	0,625	60	2300	750	1,38	1,13	1,00
40	30	12,0	25	18	15	33	71	110	1424	3050	6410	15,09	30,95	47,04	0,633	30	40	1366	2926	6341	11,59	27,67	43,83	0,750	70	2700	600	1,34	1,11	1,00
40	20	14,0	29	20	10	30	74	120	1226	3024	6980	13,33	31,68	50,28	0,700	20	40	1153	2844	6924	8,33	27,49	46,30	0,500	50	1800	600	1,39	1,07	1,00
40	25	14,0	29	20	13	33	76	122	1387	3264	7365	13,85	32,21	50,82	0,660	25	40	1322	3110	7304	10,10	29,05	47,82	0,625	60	2300	750	1,38	1,09	1,00
40	30	14,0	29	20	15	35	79	125	1553	3504	7750	14,29	32,71	51,35	0,633	30	40	1502	3389	7697	11,79	30,59	49,34	0,750	70	2700	600	1,35	1,08	1,00
40	20	16,0	33	20	10	30	80	132	1297	3469	8367	13,33	34,25	55,39	0,700	20	40	1236	3307	8346	8,33	30,11	51,45	0,500	50	1800	600	1,37	1,03	1,00
40	25	16,0	33	20	13	33	83	135	1464	3729	8792	13,85	34,79	55,94	0,660	25	40	1409	3589	8758	10,10	31,66	52,97	0,625	60	2300	750	1,36	1,05	1,00
40	30	16,0	33	20	15	35	85	137	1638	3989	9217	14,29	35,29	56,47	0,633	30	40	1594	3883	9182	11,79	33,20	54,48	0,750	70	2700	600	1,33	1,04	1,00
40	20	18,0	38	20	10	30	87	146	1368	3947	10081	13,33	36,82	61,14	0,700	20	40	1318	3801	10098	8,33	32,72	57,22	0,500	50	1800	600	1,35	1,00	1,00
40	25	18,0	38	20	13	33	89	149	1543	4227	10551	13,85	37,36	61,69	0,660	25	40	1496	4099	10545	10,10	34,26	58,74	0,625	60	2300	750	1,34	1,01	1,00
40	30	18,0	38	20	15	35	92	151	1723	4507	11021	14,29	37,87	62,22	0,633	30	40	1686	4409	11005	11,79	35,79	60,25	0,750	70	2700	600	1,31	1,01	1,00
40	20	20,0	40	20	10	30	93	156	1440	4457	11313	13,33	39,39	64,97	0,700	20	40	1399	4328	11357	8,33	35,31	61,07	0,500	50	1800	600	1,33	1,00	1,00
40	25	20,0	40	20	13	33	95	158	1622	4757	11813	13,85	39,93	65,52	0,660	25	40	1582	4642	11827	10,10	36,86	62,59	0,625	60	2300	750	1,32	1,00	1,00
40	30	20,0	40	20	15	35	98	161	1809	5057	12313	14,29	40,44	66,06	0,633	30	40	1777	4967	12310	11,79	38,38	64,09	0,750	70	2700	600	1,30	1,00	1,00
40	20	22,0	45	20	18	38	107	178	1773	4998	13297	14,74	43,60	72,43	0,700	20	40	1734	4887	13379	5,74	34,78	63,65	0,500	50	1800	600	1,32	1,00	1,00
40	25	22,0	45	20	13	33	102	172	1701	5318	13842	13,85	42,50	71,27	0,660	25	40	1668	5216	13885	10,10	39,44	68,35	0,625	60	2300	750	1,31	1,00	1,00
40	30	22,0	45	20	15	35	104	175	1895	5638	14387	14,29	43,01	71,81	0,633	30	40	1868	5558	14403	11,79	40,97	69,85	0,750	70	2700	600	1,28	1,00	1,00
50	20	12,0	25	18	10	28	66	105	1331	3123	6430	19,21	34,95	51,00	0,750	20	50	1173	2753	6221	8,21	24,58	40,80	0,400	60	2000	750	1,22	1,00	1,00
50	25	12,0	25	18	13	31	68	107	1506	3368	6800	19,69	35,47	51,53	0,700	25	50	1354	3028	6594	9,94	26,13	42,32	0,500	80	2400	950	1,15	1,00	1,00
50	30	12,0	25	18	15	33	71	110	1687	3613	7170	20,09	35,95	52,04	0,667	30	50	1548	3316	6981	11,59	27,67	43,83	0,600	80	3000	800	1,23	1,02	1,00
50	20	14,0	29	21	10	31	75	121	1475	3569	7752	17,89	36,25	54,85	0,750	20	50	1333	3224	7594	8,39	27,63	46,47	0,400	60	2000	750	1,24	1,00	1,00
50	25	14,0	29	21	13	34	77	123	1657	3834	8162	18,42	36,79	55,41	0,700	25	50	1520	3515	7999	10,17	29,20	48,00	0,500	80	2400	950	1,16	1,00	1,00
50	30	14,0	29	21	15	36	80	126	1845	4099	8572	18,88	37,30	55,94	0,667	30	50	1719	3819	8417	11,88	30,75	49,52	0,600	80	3000	800	1,24	1,00	1,00
50	20	16,0	33	24	10	34	84	136	1632	4046	9203	16,53	37,53	58,70	0,750	20	50	1504	3727	9096	8,53	30,67	52,14	0,400	60	2000	750	1,26	1,00	1,00

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u**	wp1o	wp1	wp1'	eo*	e*	e**	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	eo*	e*	e**	K2	Fsd	Msd1	Msd2	βo	β	β'
50	25	16,0	33	24	13	37	87	139	1822	4331	9653	17,11	38,09	59,27	0,700	25	50	1697	4034	9533	10,36	32,25	53,67	0,500	80	2400	950	1,18	1,00	1,00
50	30	16,0	33	24	15	39	89	141	2017	4616	10103	17,62	38,62	59,81	0,667	30	50	1902	4353	9982	12,12	33,81	55,20	0,600	80	3000	800	1,26	1,00	1,00
50	20	18,0	38	25	10	35	92	151	1741	4555	10987	16,07	39,68	64,03	0,750	20	50	1629	4261	10938	8,57	33,44	58,11	0,400	60	2000	750	1,26	1,00	1,00
50	25	18,0	38	25	13	38	94	154	1938	4860	11482	16,67	40,24	64,60	0,700	25	50	1828	4584	11410	10,42	35,02	59,64	0,500	80	2400	950	1,18	1,00	1,00
50	30	18,0	38	25	15	40	97	156	2140	5165	11977	17,19	40,78	65,15	0,667	30	50	2038	4919	11895	12,19	36,58	61,17	0,600	80	3000	800	1,25	1,00	1,00
50	20	20,0	40	25	10	35	98	161	1823	5096	12267	16,07	42,25	67,87	0,750	20	50	1727	4828	12257	8,57	36,07	61,97	0,400	60	2000	750	1,25	1,00	1,00
50	25	20,0	40	25	13	38	100	163	2026	5421	12792	16,67	42,82	68,44	0,700	25	50	1931	5167	12752	10,42	37,64	63,50	0,500	80	2400	950	1,17	1,00	1,00
50	30	20,0	40	25	15	40	103	166	2235	5746	13317	17,19	43,36	68,99	0,667	30	50	2146	5517	13260	12,19	39,19	65,03	0,600	80	3000	800	1,24	1,00	1,00
50	20	22,0	45	25	18	43	112	183	2174	5669	14321	17,73	46,54	75,39	0,750	20	50	2081	5427	14369	6,23	35,63	64,62	0,400	60	2000	750	1,23	1,00	1,00
50	25	22,0	45	25	13	38	107	177	2115	6014	14891	16,67	45,39	74,19	0,700	25	50	2033	5781	14900	10,42	40,24	69,28	0,500	80	2400	950	1,17	1,00	1,00
50	30	22,0	45	25	15	40	109	180	2331	6359	15461	17,19	45,93	74,74	0,667	30	50	2254	6148	15443	12,19	41,79	70,80	0,600	80	3000	800	1,23	1,00	1,00
60	20	12,0	25	18	10	28	66	105	1571	3687	7190	24,21	39,95	56,00	0,800	20	60	1318	3093	6811	8,21	24,58	40,80	0,333	70	2100	900	1,08	1,00	1,00
60	25	12,0	25	18	13	31	68	107	1770	3957	7585	24,69	40,47	56,53	0,740	25	60	1518	3393	7209	9,94	26,13	42,32	0,417	110	2600	1100	1,00	1,00	1,00
60	30	12,0	25	18	15	33	71	110	1973	4227	7980	25,09	40,95	57,04	0,700	30	60	1730	3706	7621	11,59	27,67	43,83	0,500	110	3300	950	1,06	1,00	1,00
60	20	14,0	29	21	10	31	75	121	1721	4163	8575	22,89	41,25	59,85	0,800	20	60	1490	3604	8264	8,39	27,63	46,47	0,333	70	2100	900	1,10	1,00	1,00
60	25	14,0	29	21	13	34	77	123	1925	4453	9010	23,42	41,79	60,41	0,740	25	60	1695	3920	8694	10,17	29,20	48,00	0,417	110	2600	1100	1,00	1,00	1,00
60	30	14,0	29	21	15	36	80	126	2135	4743	9445	23,88	42,30	60,94	0,700	30	60	1912	4249	9137	11,88	30,75	49,52	0,500	110	3300	950	1,07	1,00	1,00
60	20	16,0	33	24	10	34	84	136	1885	4672	10088	21,53	42,53	63,70	0,800	20	60	1673	4147	9846	8,53	30,67	52,14	0,333	70	2100	900	1,12	1,00	1,00
60	25	16,0	33	24	13	37	87	139	2096	4982	10563	22,11	43,09	64,27	0,740	25	60	1884	4479	10308	10,36	32,25	53,67	0,417	110	2600	1100	1,02	1,00	1,00
60	30	16,0	33	24	15	39	89	141	2312	5292	11038	22,62	43,62	64,81	0,700	30	60	2107	4823	10782	12,12	33,81	55,20	0,500	110	3300	950	1,09	1,00	1,00
60	20	18,0	38	27	10	37	94	153	2062	5212	11943	20,15	43,81	68,19	0,800	20	60	1867	4721	11778	8,65	33,71	58,45	0,333	70	2100	900	1,14	1,00	1,00
60	25	18,0	38	27	13	40	96	156	2279	5542	12463	20,77	44,38	68,76	0,740	25	60	2085	5069	12275	10,52	35,30	59,99	0,417	110	2600	1100	1,04	1,00	1,00
60	30	18,0	38	27	15	42	99	158	2503	5872	12983	21,32	44,93	69,32	0,700	30	60	2314	5429	12785	12,32	36,87	61,52	0,500	110	3300	950	1,10	1,00	1,00
60	20	20,0	40	30	10	40	103	166	2250	5785	13270	18,75	45,07	70,75	0,800	20	60	2073	5328	13157	8,75	36,74	62,82	0,333	70	2100	900	1,16	1,00	1,00
60	25	20,0	40	30	13	43	105	168	2475	6135	13820	19,41	45,66	71,33	0,740	25	60	2297	5692	13677	10,66	38,34	64,37	0,417	110	2600	1100	1,05	1,00	1,00
60	30	20,0	40	30	15	45	108	171	2706	6485	14370	20,00	46,23	71,90	0,700	30	60	2532	6067	14210	12,50	39,92	65,90	0,500	110	3300	950	1,12	1,00	1,00
60	20	22,0	45	30	18	48	117	188	2619	6389	15395	20,63	49,45	78,31	0,800	20	60	2446	5967	15359	6,63	36,42	65,53	0,333	70	2100	900	1,14	1,00	1,00
60	25	22,0	45	30	13	43	112	182	2574	6759	15990	19,41	48,24	77,08	0,740	25	60	2416	6346	15915	10,66	40,97	70,17	0,417	110	2600	1100	1,05	1,00	1,00
60	30	22,0	45	30	15	45	114	185	2811	7129	16585	20,00	48,81	77,65	0,700	30	60	2657	6738	16483	12,50	42,55	71,70	0,500	110	3300	950	1,11	1,00	1,00
70	30	12,0	25	18	15	33	71	110	2283	4890	8840	30,09	45,95	62,04	0,733	30	70	1912	4096	8261	11,59	27,67	43,83	0,429	120	3600	1100	1,00	1,00	1,00
70	30	14,0	29	21	15	36	80	126	2448	5438	10368	28,88	47,30	65,94	0,733	30	70	2106	4679	9857	11,88	30,75	49,52	0,429	120	3600	1100	1,01	1,00	1,00
70	30	16,0	33	24	15	39	89	141	2629	6018	12024	27,62	48,62	69,81	0,733	30	70	2312	5293	11582	12,12	33,81	55,20	0,429	120	3600	1100	1,03	1,00	1,00
70	30	18,0	38	27	15	42	99	158	2826	6630	14039	26,32	49,93	74,32	0,733	30	70	2531	5939	13675	12,32	36,87	61,52	0,429	120	3600	1100	1,04	1,00	1,00

c1	c2	d	p	a1	a2	uo*	u*	u'*	wp1o	wp1	wp1'	eo*	e*	e'*	K1	c1	c2	wp2o	wp2	wp2'	eo*	e*	e'*	K2	Fsd	Msd1	Msd2	βo	β	β'
70	30	20,0	40	30	15	45	108	171	3036	7274	15473	25,00	51,23	76,90	0,733	30	70	2762	6617	15160	12,50	39,92	65,90	0,429	120	3600	1100	1,05	1,00	1,00
70	30	22,0	45	33	15	48	117	188	3258	7950	17759	23,66	52,52	81,39	0,733	30	70	3003	7328	17523	12,66	42,97	72,22	0,429	120	3600	1100	1,07	1,00	1,00
75	25	12,0	25	18	13	31	68	107	2206	4933	8856	32,19	47,97	64,03	0,800	25	75	1762	3941	8132	9,94	26,13	42,32	0,333	120	2700	1500	1,01	1,00	1,00
75	25	14,0	29	21	13	34	77	123	2368	5477	10375	30,92	49,29	67,91	0,800	25	75	1958	4528	9737	10,17	29,20	48,00	0,333	120	2700	1500	1,01	1,00	1,00
75	25	16,0	33	24	13	37	87	139	2546	6053	12023	29,61	50,59	71,77	0,800	25	75	2165	5146	11470	10,36	32,25	53,67	0,333	120	2700	1500	1,01	1,00	1,00
75	25	18,0	38	27	13	40	96	156	2739	6660	14029	28,27	51,88	76,26	0,800	25	75	2384	5797	13573	10,52	35,30	59,99	0,333	120	2700	1500	1,01	1,00	1,00
75	25	20,0	40	30	13	43	105	168	2945	7300	15456	26,91	53,16	78,83	0,800	25	75	2614	6479	15065	10,66	38,34	64,37	0,333	120	2700	1500	1,01	1,00	1,00
75	25	22,0	45	33	13	46	115	185	3165	7972	17732	25,53	54,44	83,31	0,800	25	75	2856	7194	17437	10,78	41,38	70,67	0,333	120	2700	1500	1,01	1,00	1,00
80	30	12,0	25	18	15	33	71	110	2616	5604	9750	35,09	50,95	67,04	0,767	30	80	2094	4486	8901	11,59	27,67	43,83	0,375	150	3900	1300	1,00	1,00	1,00
80	30	14,0	29	21	15	36	80	126	2783	6183	11340	33,88	52,30	70,94	0,767	30	80	2299	5109	10577	11,88	30,75	49,52	0,375	150	3900	1300	1,00	1,00	1,00
80	30	16,0	33	24	15	39	89	141	2969	6795	13059	32,62	53,62	74,81	0,767	30	80	2518	5763	12382	12,12	33,81	55,20	0,375	150	3900	1300	1,00	1,00	1,00
80	30	18,0	38	27	15	42	99	158	3170	7438	15146	31,32	54,93	79,32	0,767	30	80	2749	6449	14565	12,32	36,87	61,52	0,375	150	3900	1300	1,00	1,00	1,00
80	30	20,0	40	30	15	45	108	171	3386	8113	16627	30,00	56,23	81,90	0,767	30	80	2991	7167	16110	12,50	39,92	65,90	0,375	150	3900	1300	1,00	1,00	1,00
80	30	22,0	45	33	15	48	117	188	3615	8821	18983	28,66	57,52	86,39	0,767	30	80	3245	7918	18563	12,66	42,97	72,22	0,375	150	3900	1300	1,00	1,00	1,00
90	30	12,0	25	18	15	33	71	110	2972	6367	10710	40,09	55,95	72,04	0,800	30	90	2276	4876	9541	11,59	27,67	43,83	0,333	160	4200	1500	1,00	1,00	1,00
90	30	14,0	29	21	15	36	80	126	3141	6978	12363	38,88	57,30	75,94	0,800	30	90	2493	5539	11297	11,88	30,75	49,52	0,333	160	4200	1500	1,00	1,00	1,00
90	30	16,0	33	24	15	39	89	141	3330	7621	14145	37,62	58,62	79,81	0,800	30	90	2723	6233	13182	12,12	33,81	55,20	0,333	160	4200	1500	1,00	1,00	1,00
90	30	18,0	38	27	15	42	99	158	3535	8296	16302	36,32	59,93	84,32	0,800	30	90	2966	6959	15455	12,32	36,87	61,52	0,333	160	4200	1500	1,00	1,00	1,00
90	30	20,0	40	30	15	45	108	171	3757	9002	17830	35,00	61,23	86,90	0,800	30	90	3221	7717	17060	12,50	39,92	65,90	0,333	160	4200	1500	1,00	1,00	1,00
90	30	22,0	45	33	15	48	117	188	3992	9741	20257	33,66	62,52	91,39	0,800	30	90	3487	8508	19603	12,66	42,97	72,22	0,333	160	4200	1500	1,00	1,00	1,00
																											média	1,19	1,03	1,01
																											desvio	0,1932	0,0951	0,0176

AVALIAÇÃO DO g_z COMO MAJORADOR

D.1. EDIFÍCIOS ESTUDADOS

Para se estudar o coeficiente g_z como majorador dos esforços de primeira ordem, utilizou-se cinco edifícios de concreto armado também analisados por LIMA & GUARDA (1999b) e projetados pela SISTEMA CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. Suas principais características encontram-se na Tabela D.1.

Tabela D.1 - Características dos edifícios estudados

<i>Edifício</i>	<i>Carga na Fundação (kN)</i>	<i>f_{ck} (MPa)</i>	<i>Níveis</i>						
			<i>Itens</i>	<i>Gar.</i>	<i>P.G.</i>	<i>1º</i>	<i>Tipo</i>	<i>Cob.</i>	<i>Total</i>
<i>Orlando Maia II</i>	50420	20	Quant.	-	1	1	11	1	14
			h (m)	-	3,00	2,85	2,85	2,85	40,20
<i>Roma</i>	76500	25	Quant.	1	1	1	13	1	17
			h (m)	2,95	2,95	3,96	2,95	2,95	51,16
<i>Vela Branca I</i>	77000	25	Quant.	3	1	1	14	1	20
			h (m)	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	58,00
<i>Fontana di Trevi</i>	65700	25	Quant.	1	1	1	19	1	23
			h (m)	2,90	3,20	4,80	2,90	2,90	69,20
<i>Multiplus</i>	123000	24	Quant.	4	1	1	18	1	25
			h (m)	3,00	3,17	3,34	3,00	3,00	75,71
<i>Observações: Gar. = garagem 1º = primeiro pavimento Cob = cobertura</i> <i>P.G. = play-ground Tipo = pavimento tipo</i>									

Os edifícios foram modelados como pórticos tridimensionais no programa **SAP 90**, observando-se as particularidades das formas de todos os níveis e considerando-se as lajes como diafragmas rígidos. As ações horizontais atuantes foram as do vento, tomadas de

acordo com as recomendações da NBR 6123 (1988). A Não-Linearidade Física foi considerada de forma simplificada, como comentado no item 3.9.6, utilizando-se 0,5 **EI** para as vigas e 0,8 **EI** para os pilares.

D.2. VALOR DO MAJORADOR

Calculou-se o coeficiente g_z para todos os casos, obtendo-se os valores indicados na Tabela D.2.

Tabela D.2 - Valores do coeficiente g_z

<i>Edifício</i>	<i>Direção</i>	<i>g_z</i>
<i>Orlando</i>	X	1,141
	Y	1,087
<i>Roma</i>	X	1,060
	Y	1,163
<i>Vela Branca I</i>	X	1,096
	Y	1,121
<i>Fontana di Trevi</i>	X	1,092
	Y	1,111
<i>Multiplus</i>	X	1,055
	Y	1,075

Em seguida, realizou-se a análise pelo processo **P-D**. Foram comparados os resultados referentes à última iteração com os resultados da análise de primeira ordem, determinando-se os acréscimos percentuais (efeitos de segunda ordem) das forças normais e momentos fletores nos pilares e momentos fletores e forças cortantes nas vigas (Tabela D.5 a Tabela D.14). Um resumo dos resultados médios de cada um dos esforços e a média entre eles, para cada edifício, encontram-se na Tabela D.3.

Essas médias foram, então, escritas como coeficientes majoradores e calculou-se $0,95g_z$, como recomenda a NBR 6118 (2000). Os valores obtidos encontram-se na Tabela D.4.

Observa-se que a majoração com $0,95g_z$ se distancia mais da média do **P-D**, enquanto que o uso do g_z , com seu valor integral mostra-se bastante eficiente, praticamente coincidindo com a média do processo rigoroso em alguns casos.

Tabela D.3 - Acréscimos percentuais dos esforços de primeira ordem indicados pelo processo **P-D**

<i>Edifício</i>	<i>Direção</i>	<i>Pilares</i>		<i>Vigas</i>	<i>Média</i>
		<i>Força Normal</i>	<i>Momentos Fletores</i>	<i>Momentos /Cortantes</i>	
<i>Orlando Maia II</i>	X	13,3	12,9	13,4	13,5
	Y	8,7	9,7	8,7	9,0
<i>Roma</i>	X	5,8	5,7	6,0	5,9
	Y	12,6	14,0	14,0	14,2
<i>Vela Branca I</i>	X	9,2	10,7	9,3	9,8
	Y	11,5	13,5	11,8	12,3
<i>Fontana di Trevi</i>	X	8,7	9,2	7,9	8,7
	Y	8,9	10,2	9,5	9,9
<i>Multiplus</i>	X	4,7	4,3	5,6	5,0
	Y	6,4	6,5	7,1	6,8

Tabela D.4 - Comparação entre os majoradores

<i>Edifício</i>	<i>Direção</i>	<i>0,95g_z</i>	<i>g_z</i>	<i>P-D</i>
<i>Orlando Maia II</i>	X	1,084	1,141	1,132
	Y	1,033	1,087	1,091
<i>Roma</i>	X	1,007	1,060	1,058
	Y	1,105	1,163	1,137
<i>Vela Branca I</i>	X	1,041	1,096	1,098
	Y	1,065	1,121	1,124
<i>Fontana di Trevi</i>	X	1,033	1,092	1,086
	Y	1,044	1,111	1,097
<i>Multiplus</i>	X	1,00	1,055	1,049
	Y	1,015	1,075	1,067

Fazendo a análise agora não mais em termos de acréscimos médios, e sim, considerando-se a variação que cada um dos efeitos de segunda ordem sofre com a altura do edifício, foram montados os gráficos das Figuras D.1 a D.15.

Inicialmente, pode-se observar que os incrementos das forças normais dos pilares (Figura D.1 a Figura D.5) tendem a sofrer pequenos decréscimos à medida que se aproximam do topo. Os valores máximos estão próximos à base, e mantêm-se compatíveis aos de g_z .

Para os momentos fletores na base e no topo dos pilares (Figura D.6 a Figura D.10), nota-se que seus incrementos têm variações bastante semelhantes ao longo da altura, apesar de seus valores absolutos serem diferentes. Há um aumento até o primeiro pavimento, que varia do segundo ao sexto nível, e a partir daí, há um decréscimo até aproximadamente 75% da altura, seguido de um leve aumento até o topo. Nos pavimentos inferiores, $0,95g_z$ subestima bastante os acréscimos, enquanto g_z os superestima um pouco na parte superior. O Edifício Multiplus se distancia um pouco dessas características, possivelmente devido à existência de travamentos laterais até o sexto nível (nos demais casos, esses travamentos limitavam-se aos dois primeiros níveis).

Para os momentos fletores e forças cortantes nas vigas (Figura D.11 a Figura D.15), a tendência é basicamente a mesma dos momentos fletores dos pilares.

De qualquer forma, o que se pretende mostrar é que a majoração utilizando o g_z já é satisfatória, e mostra-se mais eficiente que aquela feita com $0,95g_z$. Uma subestimativa maior, por exemplo, nos momentos fletores nos pilares, pode trazer conseqüências danosas ao projeto.

D.3. LIMITE PARA O USO DO g_z COMO MAJORADOR

Para se analisar o limite para a utilização do g_z como majorador, foram estudadas as relações entre os valores desse coeficiente e os acréscimos sugeridos pelo processo **P-D**, sendo considerados tanto aqueles correspondentes a cada um dos esforços de segunda ordem em separado, quanto aqueles relacionados à média geral. Para isso, foram elaborados diagramas de dispersão com os dados já calculados de todos os edifícios, que são apresentados na Figura D.16.

Observa-se que esses dados podem ser aproximados por linhas retas, e, para ajustá-las, foi utilizado o Método dos Mínimos Quadrados. As retas resultantes são apresentadas da Figura D.17 à Figura D.20.

À medida que os valores dos acréscimos aumentam, percebe-se que tanto as retas das médias quanto as dos acréscimos individuais vão se afastando da reta que corresponde a valores de acréscimos iguais para g_z e **P-D**, aqui chamada de ideal. De uma maneira geral, observa-se uma boa aproximação até 20%. Neste ponto, as diferenças em relação aos valores da reta ideal já são de 8% para a média, 14% para a força normal e 13% para os esforços nas vigas. Confirmando-se essa tendência, g_z realmente só poderia ser considerado um bom majorador para valores inferiores a **1,2**.

Tabela D.5 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo **P-D**,
na direção **X** (Ed. Orlando Maia II)

<i>Nível</i>	<i>Pilares</i>			<i>Vigas</i>	
	<i>Normal</i>	<i>Mom. Base</i>	<i>Mom. Topo</i>	<i>Cortante</i>	<i>Momento</i>
14	12,1	12,2	12,0	12,6	12,5
13	12,3	9,8	9,6	10,5	10,6
12	12,4	10,2	10,0	10,0	10,0
11	12,6	11,2	10,9	10,8	10,8
10	12,6	12,1	12,2	11,3	11,4
9	12,7	12,8	13,0	12,3	12,3
8	12,7	12,8	13,2	12,9	12,9
7	13,1	13,3	13,9	14,0	14,0
6	13,5	14,1	14,5	15,0	15,0
5	14,0	14,9	15,1	15,8	15,8
4	14,5	15,2	15,3	16,1	16,1
3	14,6	15,3	15,3	16,3	16,3
2	14,6	13,8	13,6	16,0	16,0
1	14,5	11,7	11,3	13,9	13,9
Média	13,3	12,8	12,9	13,4	13,4
Média final: 13,2					

Tabela D.6 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D,
na direção Y (Ed. Orlando Maia II)

Nível	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
14	8,6	8,6	8,5	9,2	9,2
13	8,4	8,0	7,8	8,0	8,0
12	8,4	7,8	7,6	7,7	7,7
11	8,5	7,6	7,7	6,6	6,6
10	8,5	8,3	8,5	7,4	7,4
9	8,5	8,8	9,2	8,4	8,4
8	8,6	9,7	10,1	9,0	9,0
7	8,7	10,1	10,9	9,0	9,0
6	9,0	10,9	11,2	9,6	9,6
5	9,0	11,9	11,7	10,0	10,0
4	9,1	11,9	11,9	10,0	10,0
3	9,1	11,8	11,6	10,0	10,0
2	9,1	10,4	10,0	9,0	9,0
1	9,0	8,4	8,8	8,0	8,0
Média	8,7	9,6	9,7	8,7	8,7
Média final: 9,1					

Tabela D.7 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo **P-D**,
na direção **X** (Ed. Roma)

<i>Nível</i>	<i>Pilares</i>			<i>Vigas</i>	
	<i>Normal</i>	<i>Mom. Base</i>	<i>Mom. Topo</i>	<i>Cortante</i>	<i>Momento</i>
17	5,3	4,7	4,6	4,2	4,2
16	5,3	4,6	4,3	4,4	4,4
15	5,5	3,8	4,3	4,4	4,4
14	6,0	3,6	4,1	4,5	4,5
13	6,1	3,2	4,4	4,6	4,6
12	6,0	4,0	4,9	4,7	4,7
11	6,0	4,3	5,7	5,1	5,1
10	6,0	4,4	5,9	5,5	5,5
9	5,9	5,2	6,3	6,3	6,3
8	5,4	5,3	6,7	6,5	6,5
7	5,5	6,1	6,8	6,8	6,8
6	5,5	6,4	7,2	7,4	7,4
5	5,6	6,4	7,5	7,6	7,6
4	6,0	7,2	7,7	7,9	7,9
3	6,3	8,6	8,3	8,1	8,1
2	6,3	8,3	8,2	7,6	7,6
1	6,3	4,8	4,4	6,5	6,5
Média	5,8	5,3	6,0	6,0	6,0
Média final: 5,8					

Tabela D.8 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo **P-D**,
na direção **Y** (Ed. Roma)

<i>Nível</i>	<i>Pilares</i>			<i>Vigas</i>	
	<i>Normal</i>	<i>Mom. Base</i>	<i>Mom. Topo</i>	<i>Cortante</i>	<i>Momento</i>
17	10,4	7,4	7,5	7,6	7,6
16	10,5	6,8	6,8	7,6	7,6
15	10,7	7,0	7,3	7,4	7,4
14	10,8	8,0	8,1	8,0	8,0
13	11,0	9,2	9,4	9,0	9,0
12	11,1	10,5	10,7	10,0	10,0
11	11,2	11,8	12,0	11,3	11,3
10	11,6	13,1	13,6	12,9	13,0
9	11,9	15,0	15,0	14,0	14,0
8	12,0	16,1	16,5	16,0	16,0
7	12,1	18,0	18,0	17,0	17,0
6	13,1	19,1	19,4	18,7	18,7
5	14,3	20,3	20,9	20,0	20,0
4	15,2	21,2	21,5	21,0	21,0
3	15,9	20,9	21,0	21,1	21,1
2	16,3	18,9	18,1	20,0	20,0
1	16,4	13,6	12,6	17,0	17,0
Média	12,6	13,9	14,0	14,0	14,0
Média final: 13,7					

Tabela D.9 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D,
na direção X (Ed. Vela Branca I)

Nível	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
20	8,6	7,6	7,2	8,6	8,6
19	8,6	7,4	6,8	8,6	8,5
18	8,6	7,2	6,7	7,7	7,7
17	8,7	6,6	6,4	7,0	7,0
16	8,7	6,9	7,1	6,3	6,3
15	8,9	7,4	8,0	6,7	6,7
14	8,8	8,5	8,8	7,6	7,6
13	9,0	9,6	10,2	7,9	7,9
12	9,0	10,7	11,3	8,8	8,8
11	9,0	11,7	12,1	9,0	9,0
10	9,2	12,8	13,0	10,0	10,0
9	9,2	13,8	14,1	10,2	10,2
8	9,2	14,0	14,3	11,0	11,0
7	9,3	14,2	14,2	11,2	11,2
6	9,4	14,0	14,5	12,0	12,0
5	9,6	14,1	13,9	12,0	12,0
4	10,0	14,1	13,6	12,0	12,0
3	10,3	12,6	12,3	11,1	11,1
2	10,0	11,0	10,6	10,1	10,1
1	9,7	7,6	7,9	7,6	7,6
Média	9,2	10,6	10,7	9,3	9,3
Média final: 9,8					

Tabela D.10 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D,
na direção Y (Ed. Vela Branca I)

Nível	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
20	9,9	10,6	10,7	8,8	8,8
19	10,1	10,4	10,7	8,6	8,7
18	10,2	10,9	10,7	9,3	9,3
17	10,0	11,4	11,5	9,7	9,7
16	10,3	11,9	12,1	10,3	10,3
15	10,7	12,9	12,8	10,8	10,8
14	10,9	13,1	13,6	11,2	11,2
13	10,9	14,7	14,4	11,7	11,7
12	11,1	14,8	15,1	12,9	12,8
11	11,6	15,0	15,2	13,6	13,6
10	11,8	15,6	15,3	14,3	14,3
9	12,1	15,9	15,6	14,3	14,3
8	12,3	16,0	15,8	14,3	14,3
7	12,4	15,8	15,1	14,3	14,3
6	12,4	15,6	15,2	14,3	14,3
5	12,6	15,5	15,0	13,3	13,3
4	12,5	15,3	14,8	13,0	13,0
3	12,4	13,6	12,8	11,8	11,8
2	12,5	12,6	11,9	10,5	10,5
1	12,6	9,9	10,3	8,2	8,2
Média	11,5	13,6	13,4	11,8	11,8
Média final: 12,4					

Tabela D.11 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D,
na direção X (Ed. Fontana di Trevi)

Nível	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
23	7,5	8,7	8,7	6,8	6,8
22	7,5	8,0	8,0	6,5	6,5
21	7,6	7,6	7,6	6,4	6,4
20	7,8	7,3	7,3	6,1	6,1
19	8,0	6,8	6,7	6,0	6,0
18	8,2	6,5	6,5	6,1	6,1
17	8,2	6,7	6,6	6,2	6,2
16	8,1	6,9	6,9	6,4	6,4
15	8,2	7,2	7,4	6,5	6,5
14	8,3	7,5	7,5	7,0	7,0
13	8,6	7,7	7,9	7,3	7,3
12	8,7	8,4	8,5	7,6	7,7
11	8,6	8,9	9,1	8,2	8,2
10	8,7	9,3	9,6	8,3	8,3
9	9,0	9,8	9,9	8,5	8,6
8	9,2	9,9	10,1	8,9	8,9
7	9,5	10,9	10,9	9,2	9,2
6	9,5	11,3	11,2	9,3	9,3
5	9,5	12,0	12,2	9,6	9,6
4	9,6	12,8	12,8	9,8	9,8
3	9,8	12,6	12,8	10,3	10,2
2	9,9	12,0	12,0	10,9	10,9
1	9,9	11,7	11,2	9,9	10,0
Média	8,7	9,2	9,2	7,9	7,9
Média final: 8,6					

Tabela D.12 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D,
na direção Y (Ed. Fontana di Trevi)

Nível	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
23	7,7	8,7	9,1	9,0	9,1
22	7,9	8,3	8,0	6,8	6,8
21	7,9	7,9	7,8	5,8	5,8
20	7,8	7,5	7,3	5,5	5,5
19	8,0	7,1	7,1	5,8	5,8
18	8,0	6,9	7,2	5,7	5,7
17	8,0	6,9	7,3	6,2	6,2
16	8,1	7,2	7,8	6,9	6,8
15	8,2	7,8	8,3	7,4	7,4
14	8,2	8,5	8,9	8,1	8,1
13	8,4	8,9	9,4	8,7	8,7
12	8,6	9,4	10,1	8,9	8,9
11	8,6	10,1	10,6	9,9	9,9
10	8,8	11,2	11,3	10,0	10,0
9	9,2	11,0	11,6	11,0	11,0
8	9,6	12,1	12,4	11,2	11,2
7	9,9	12,5	12,8	12,0	12,0
6	9,9	13,5	13,7	12,6	12,6
5	9,9	14,7	14,8	13,2	13,2
4	9,9	14,7	15,1	14,2	14,2
3	10,2	14,6	14,5	14,7	14,6
2	10,8	13,5	13,3	14,5	14,5
1	10,9	9,8	9,4	11,2	11,3
Média	8,9	10,1	10,3	9,5	9,5
Média final: 9,7					

Tabela D.13 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D,
na direção X (Ed. Multiplus)

Nível	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
25	4,4	3,3	3,2	5,5	5,6
24	4,3	3,2	3,1	5,3	5,3
23	4,3	3,3	3,1	5,1	5,0
22	4,3	3,5	3,2	4,8	4,9
21	4,4	3,5	3,4	4,8	4,8
20	4,4	3,8	3,6	4,8	4,8
19	4,4	3,8	3,8	4,8	4,8
18	4,4	4,0	4,0	4,8	4,8
17	4,5	4,2	4,3	5,2	5,2
16	4,5	4,5	4,6	5,3	5,5
15	4,5	4,7	4,7	5,7	5,8
14	4,6	4,7	4,8	5,8	5,8
13	4,6	5,0	5,0	6,0	6,0
12	4,5	5,0	5,1	6,2	6,2
11	4,8	5,0	5,1	6,2	6,4
10	4,7	5,0	5,1	6,3	6,5
9	5,0	5,2	5,3	6,5	6,5
8	5,0	5,1	5,1	6,5	6,5
7	5,1	5,1	4,8	6,4	6,3
6	5,1	4,9	4,9	6,2	6,3
5	5,0	4,3	4,5	6,0	6,0
4	5,0	4,3	4,5	5,7	5,7
3	5,0	3,9	3,7	5,4	5,4
2	5,0	3,9	3,9	5,0	5,0
1	4,9	3,5	3,7	4,6	4,6
Média	4,7	4,3	4,3	5,6	5,6
Média final: 4,9					

Tabela D.14 - Acréscimos percentuais dos esforços pelo processo P-D,
na direção Y (Ed. Multiplus)

Nível	Pilares			Vigas	
	Normal	Mom. Base	Mom. Topo	Cortante	Momento
25	5,4	4,4	4,3	5,8	5,8
24	5,3	4,3	4,1	5,5	5,5
23	5,2	4,8	4,7	5,8	5,9
22	5,3	5,2	5,0	6,1	6,1
21	5,4	5,6	5,5	6,1	6,1
20	5,8	6,0	5,8	6,2	6,4
19	5,9	6,5	6,2	6,8	6,8
18	6,0	6,9	6,7	6,8	6,8
17	6,1	7,1	6,9	7,0	7,0
16	6,3	7,4	7,3	7,0	7,0
15	6,6	7,8	7,8	7,3	7,2
14	6,5	8,2	8,1	7,9	7,9
13	6,9	8,1	8,3	8,0	8,1
12	7,1	8,2	8,3	8,1	8,5
11	7,1	8,4	8,5	8,7	8,5
10	7,0	8,5	8,4	8,6	8,6
9	7,0	8,2	8,2	8,8	8,6
8	7,0	8,0	8,1	8,8	8,8
7	7,0	7,9	8,0	8,5	8,4
6	7,1	7,3	7,6	7,9	7,8
5	7,1	6,6	6,5	7,1	7,2
4	6,8	5,6	5,9	6,7	6,8
3	6,8	5,0	5,0	6,3	6,2
2	6,8	4,3	4,2	5,7	5,7
1	6,7	3,4	3,6	5,4	5,1
Média	6,4	6,5	6,5	7,1	7,1
Média final: 6,7					

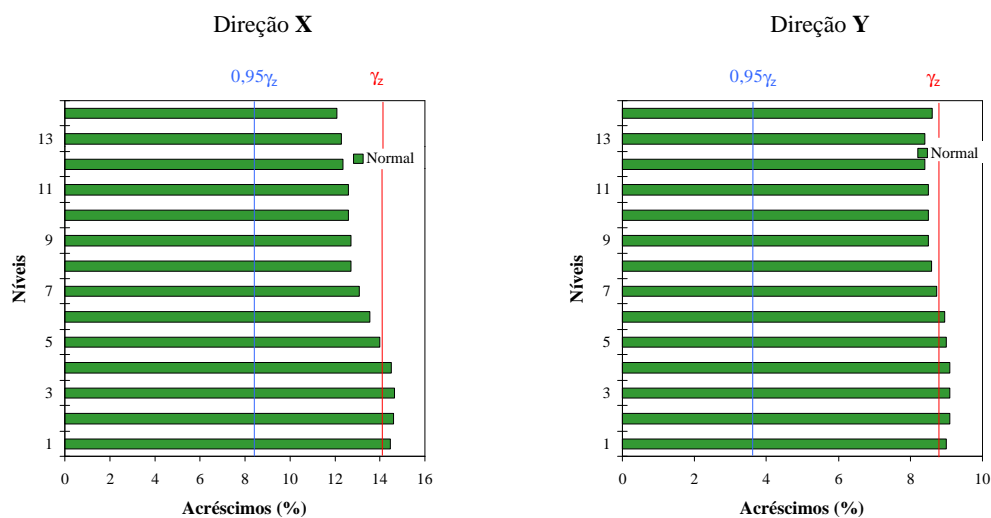


Figura D.1 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y
(Ed. Orlando Maia II)

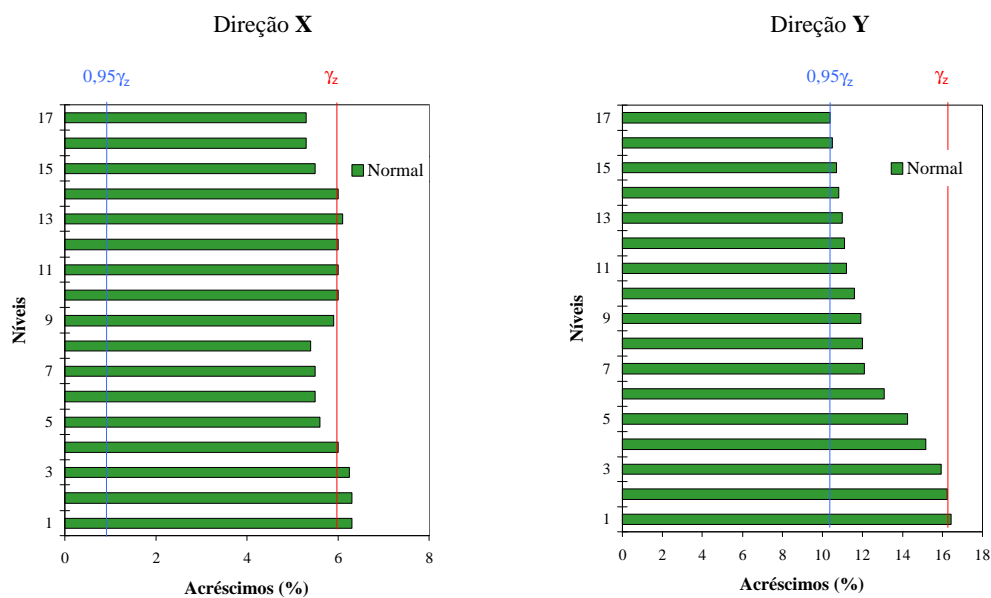


Figura D.2 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y
(Ed. Roma)

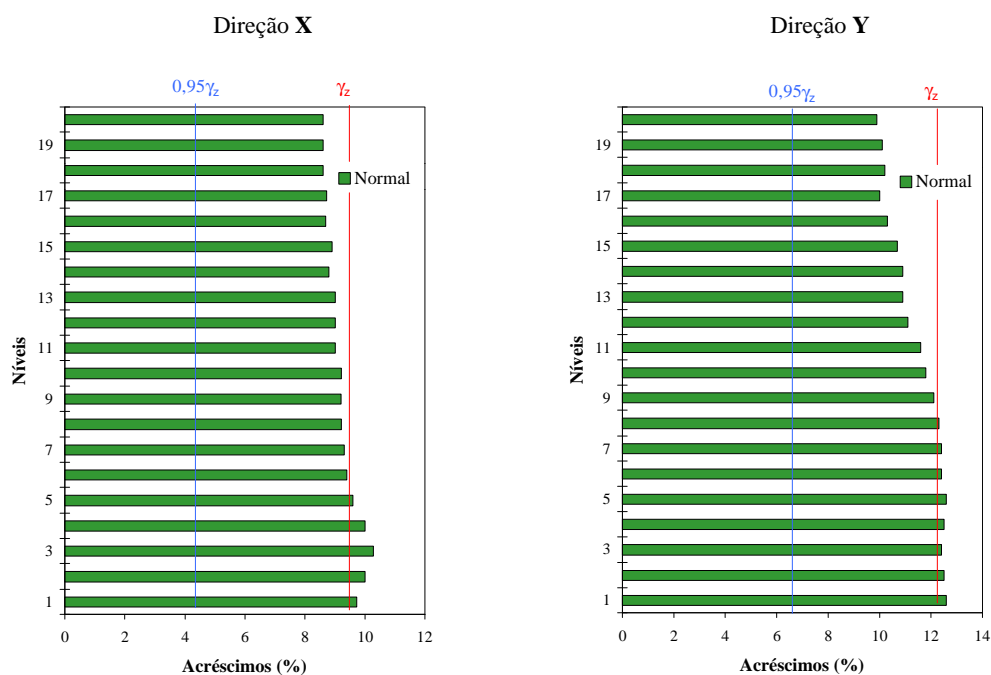


Figura D.3 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Vela I)

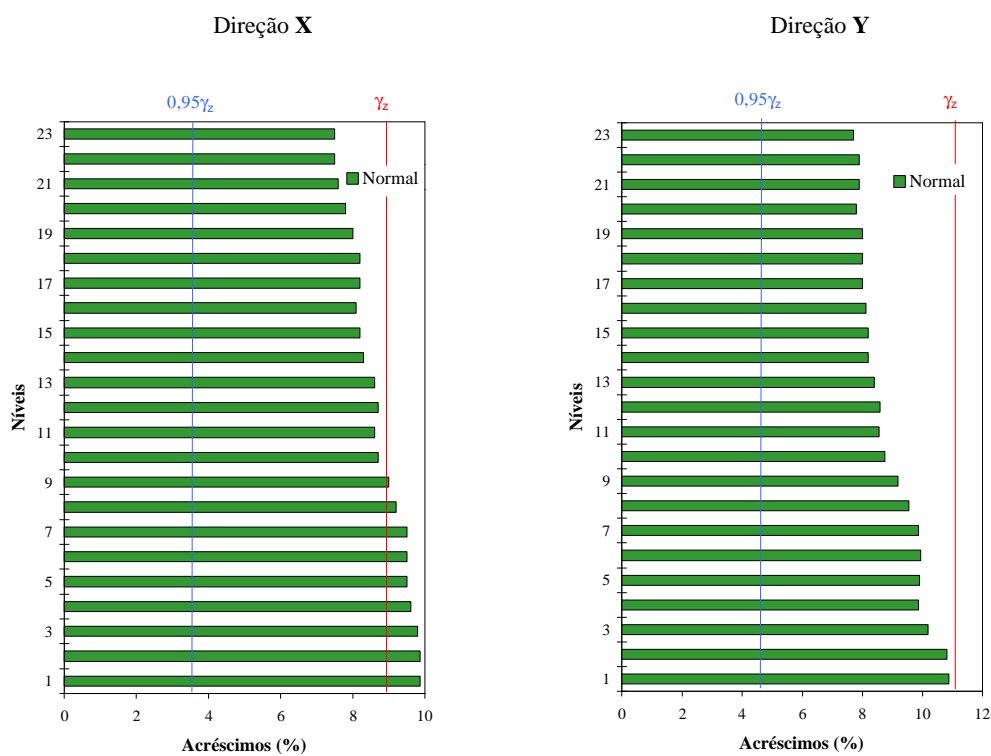


Figura D.4 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Fontana di Trevi)

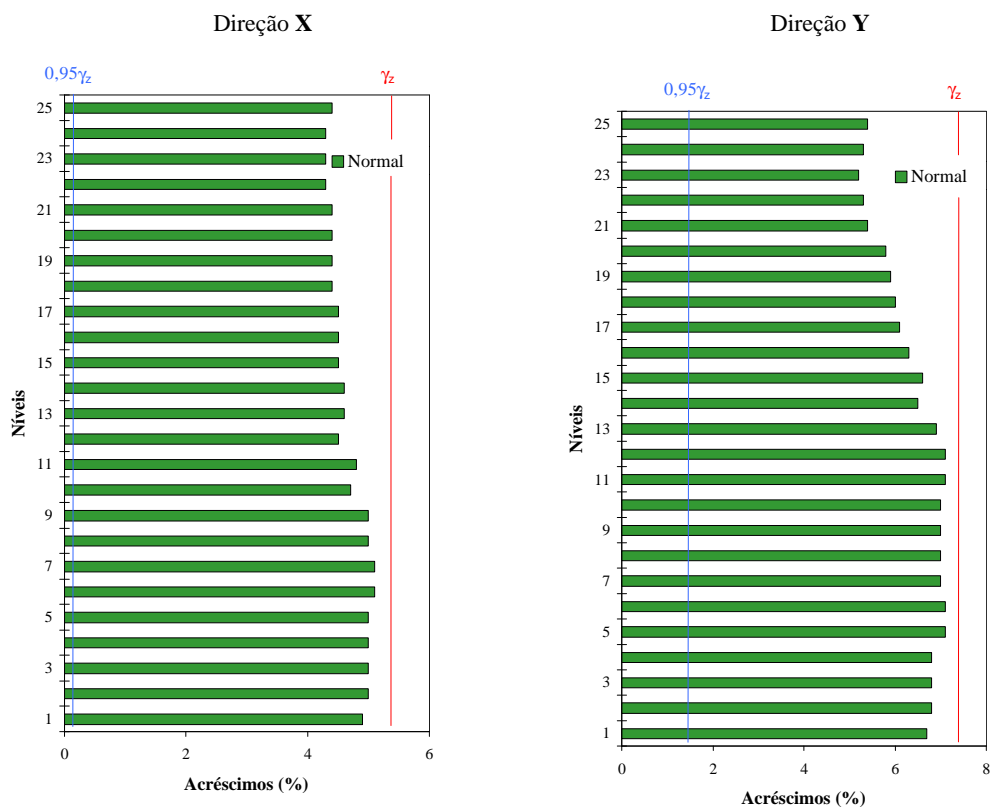


Figura D.5 - Variação dos acréscimos de força normal dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Multiplus)

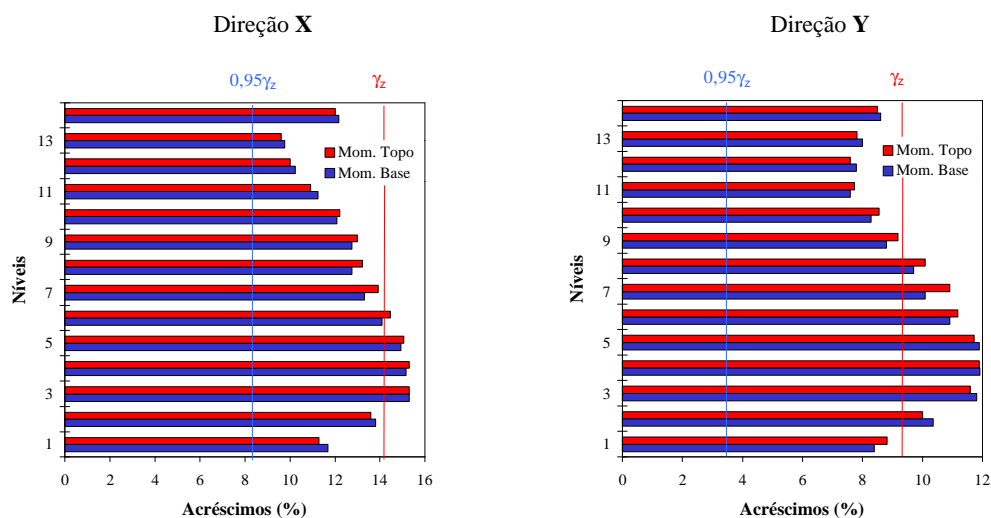


Figura D.6 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Orlando Maia II)

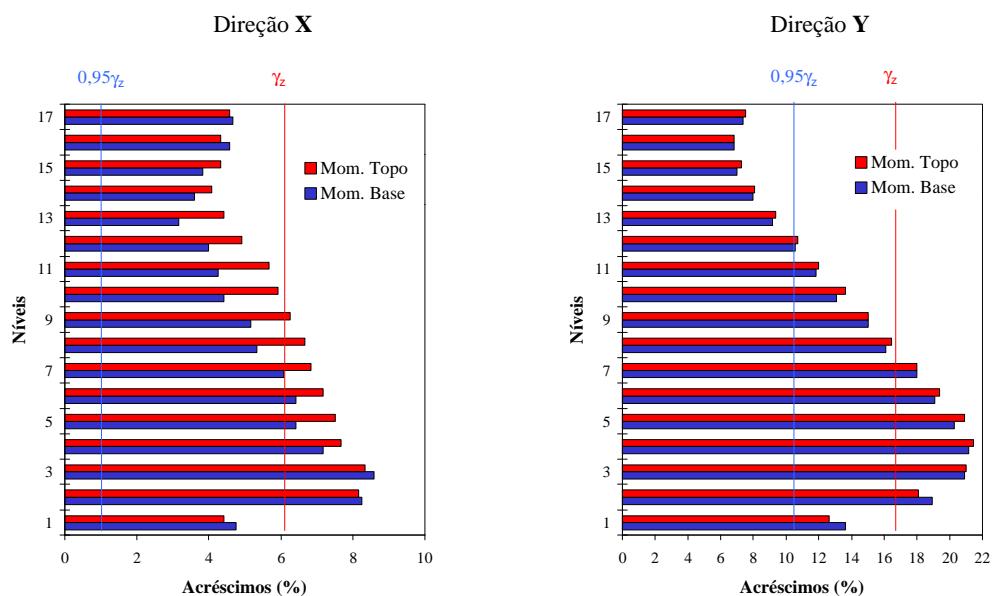


Figura D.7 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Roma)

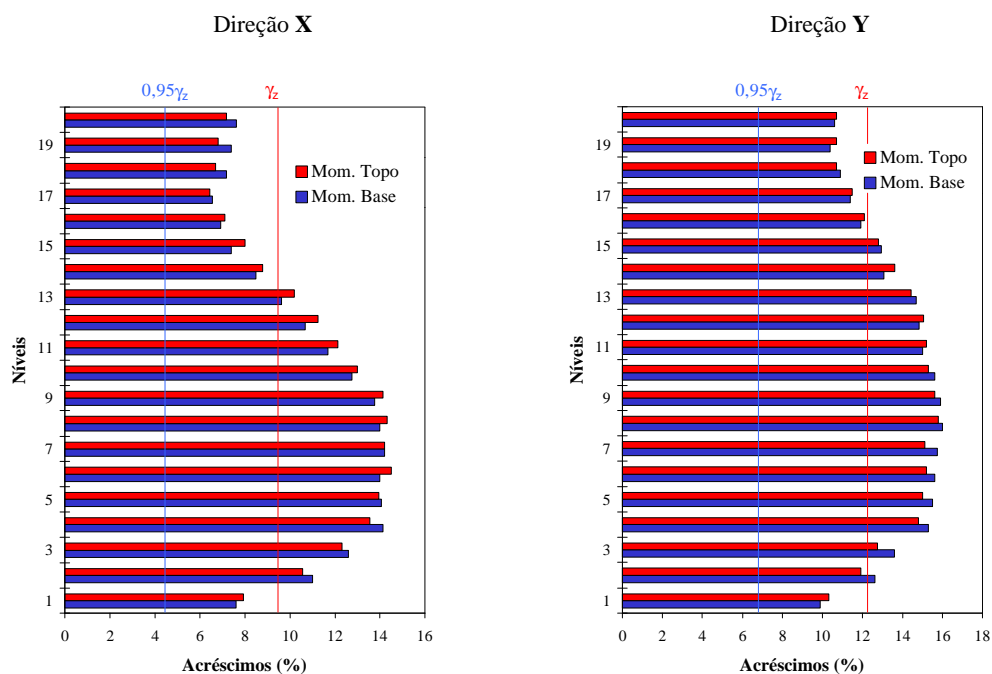


Figura D.8 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y (Ed. Vela I)

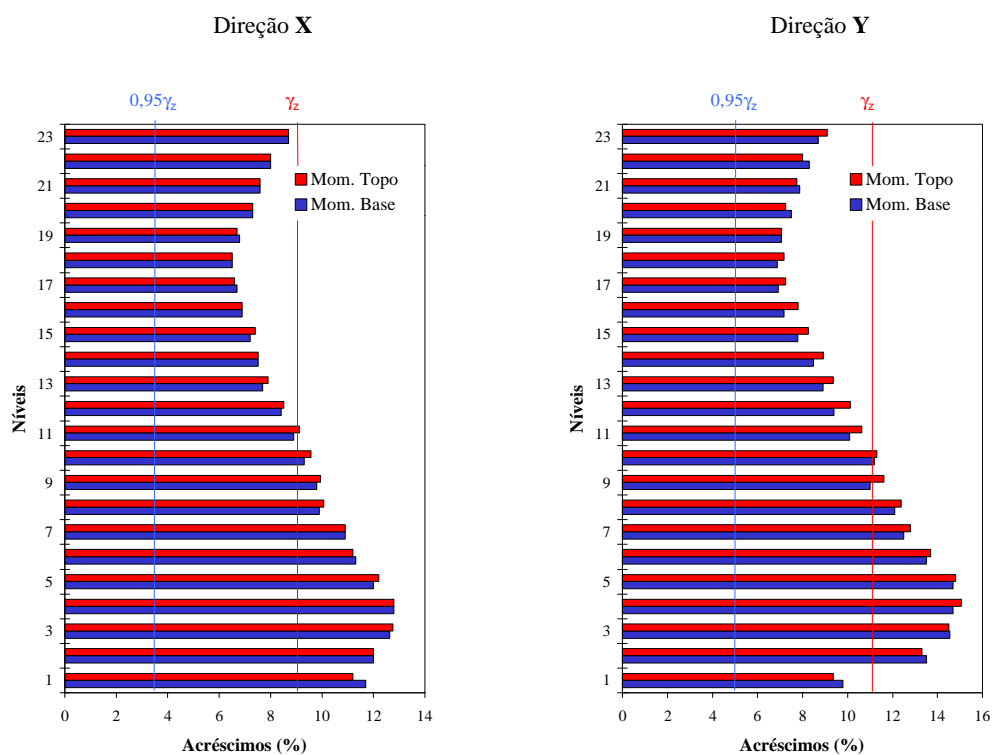


Figura D.9 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y
(Ed. Fontana di Trevi)

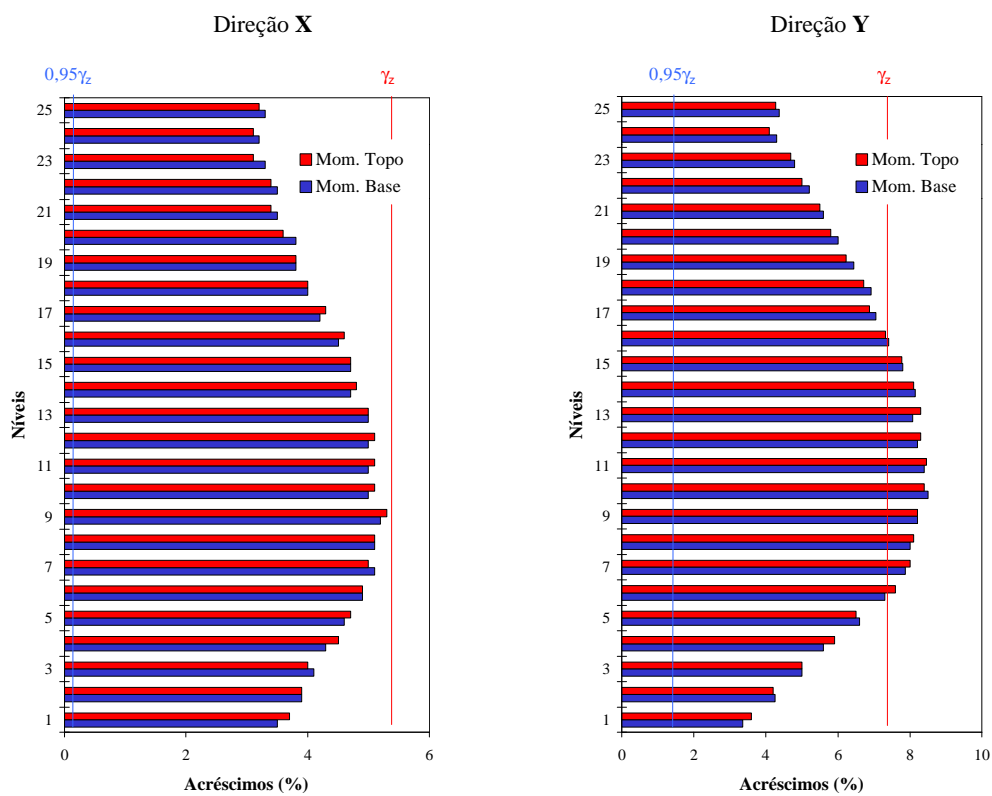


Figura D.10 - Variação dos acréscimos de momentos fletores dos pilares, nas direções X e Y
(Ed. Multiplus)

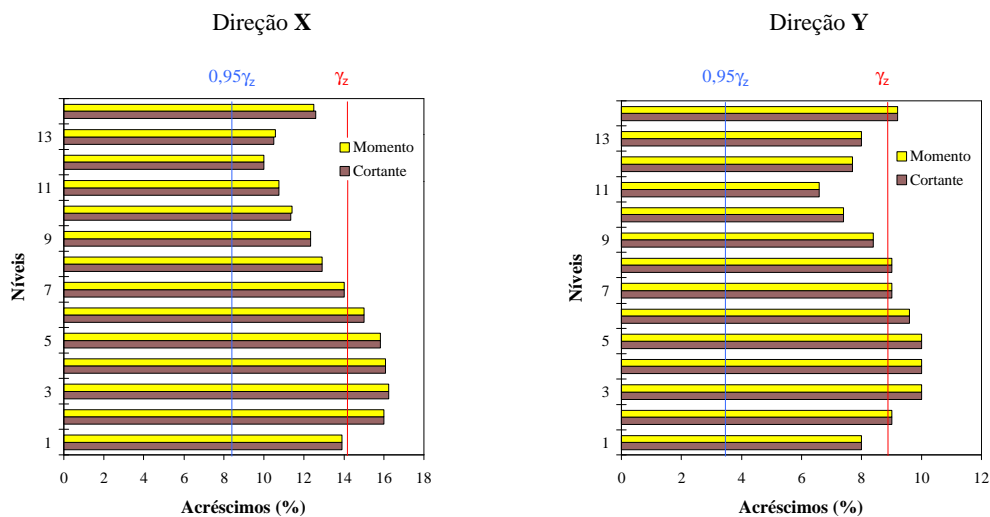


Figura D.11 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y
(Ed. Orlando Maia II)

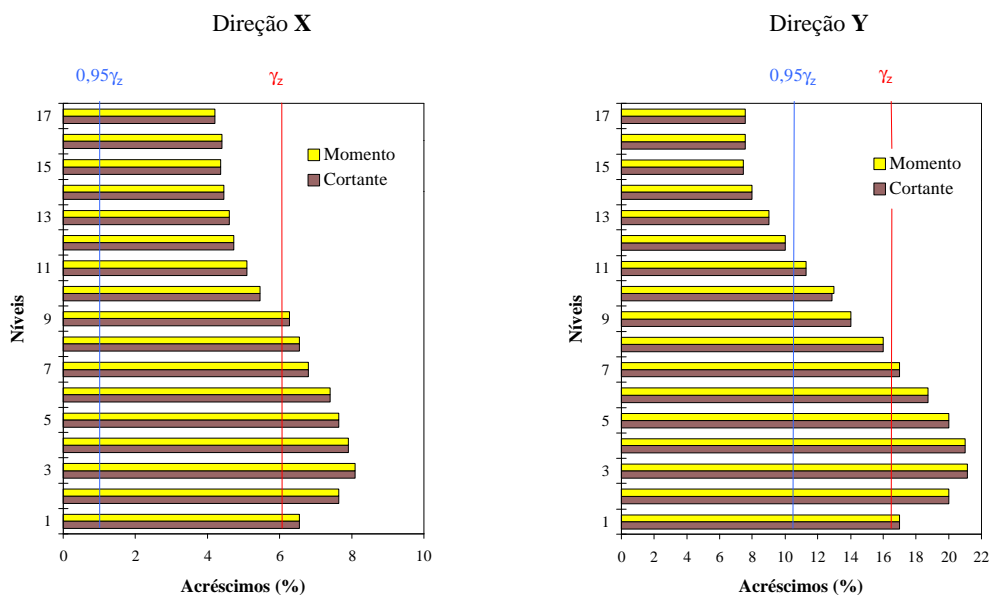


Figura D.12 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y
(Ed. Roma)

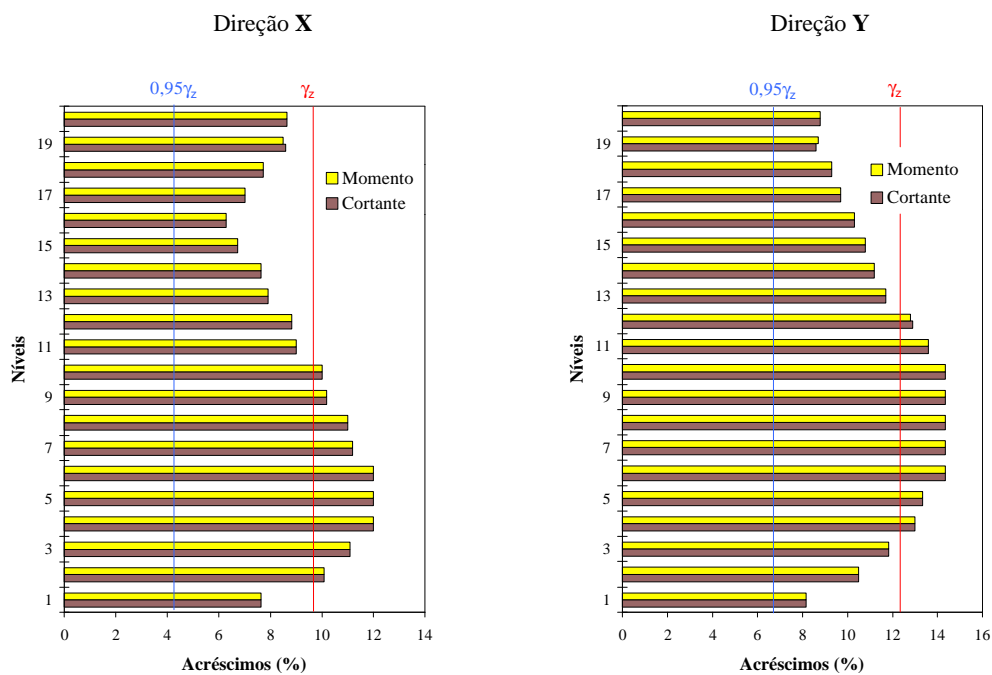


Figura D.13 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y (Ed. Vela I)

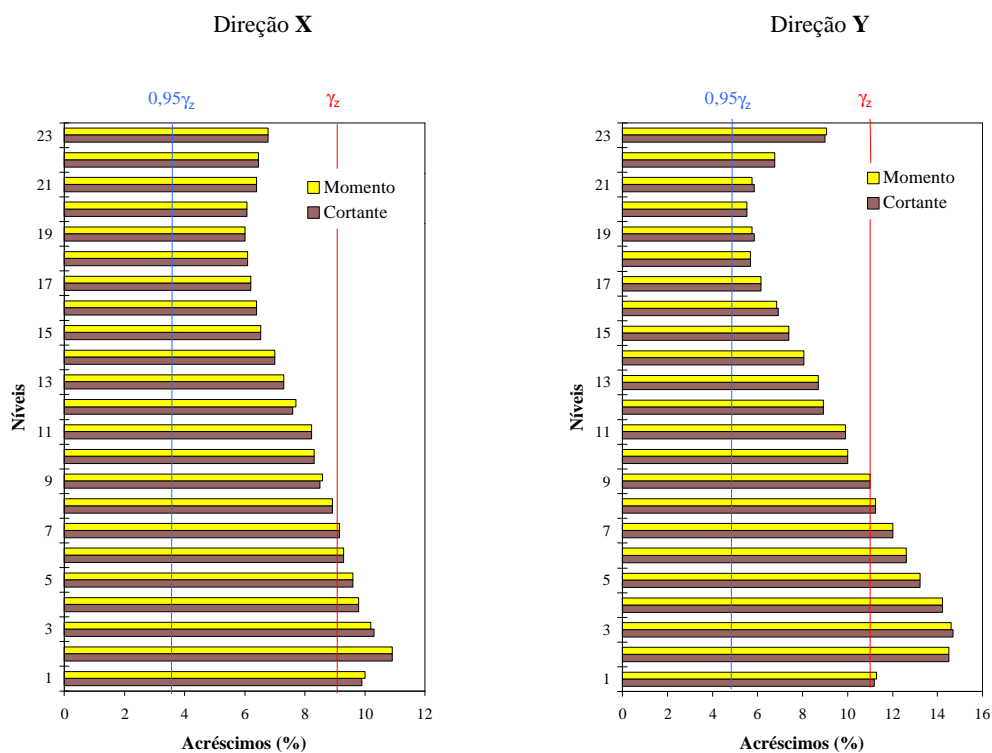


Figura D.14 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y (Ed. Fontana di Trevi)

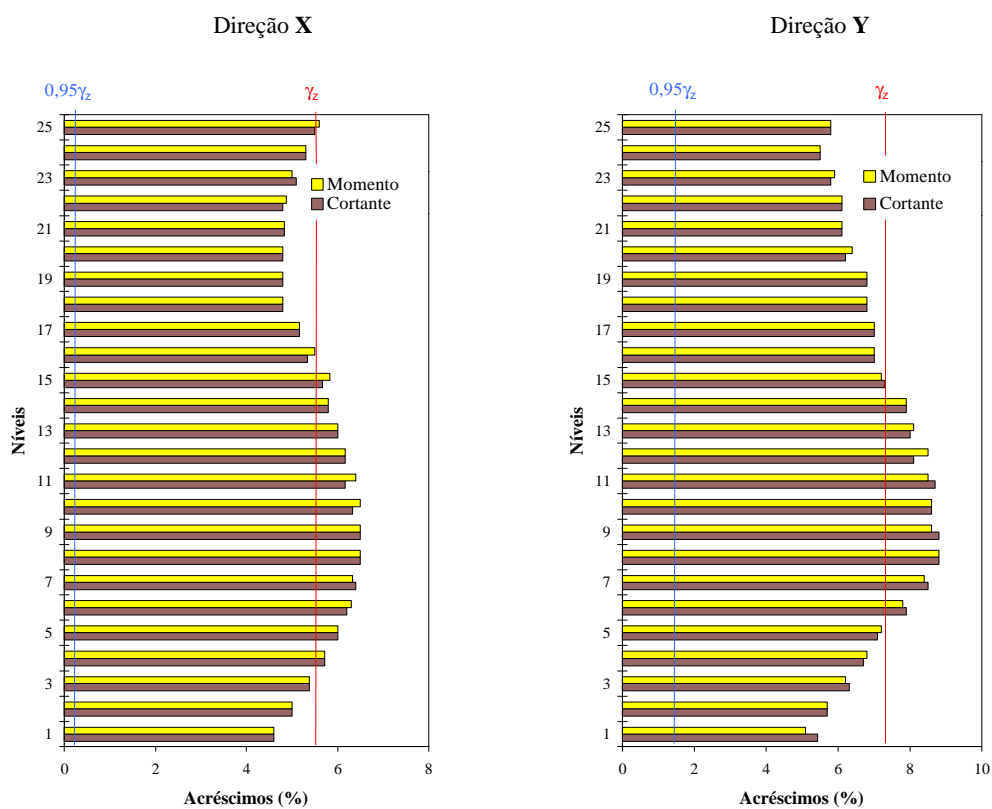


Figura D.15 - Variação dos acréscimos de esforços das vigas, nas direções X e Y (Ed. Multiplus)

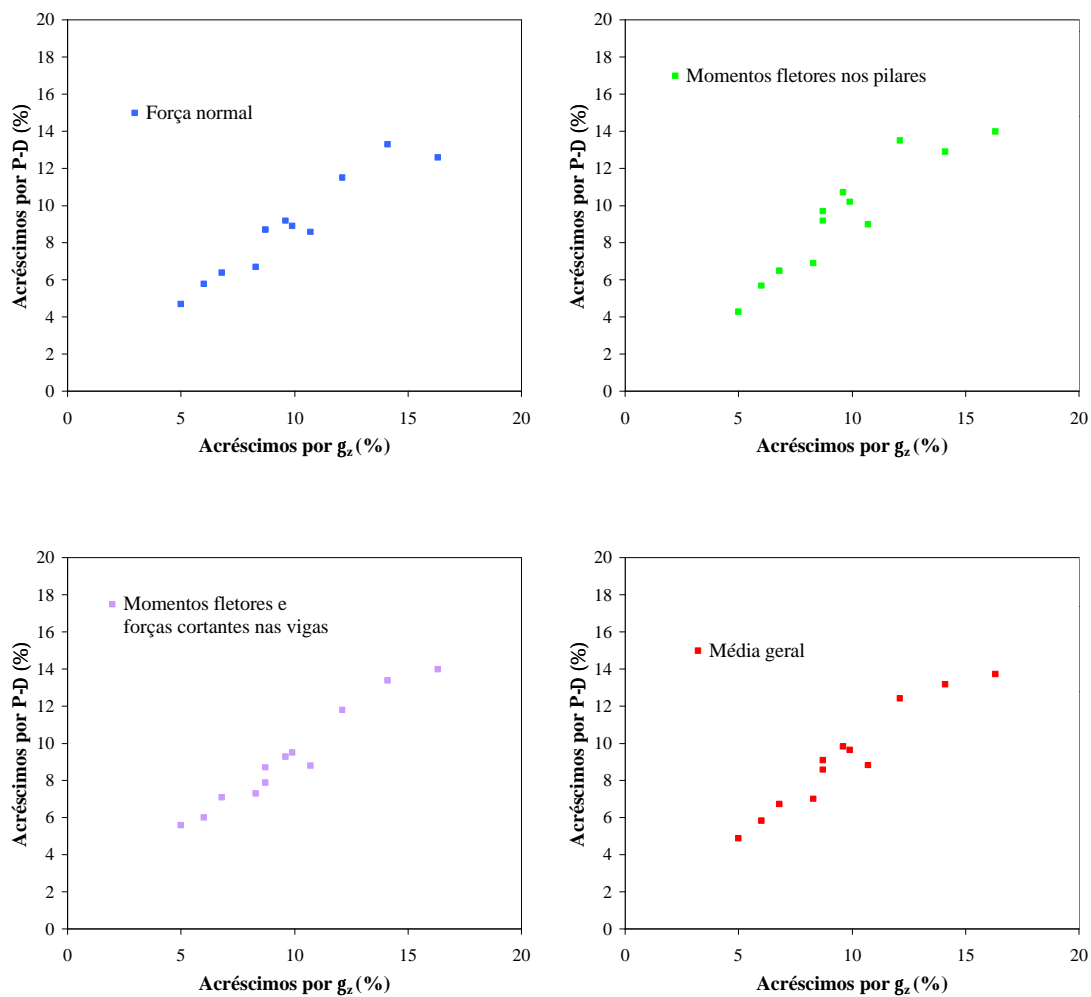


Figura D.16 - Diagramas de dispersão

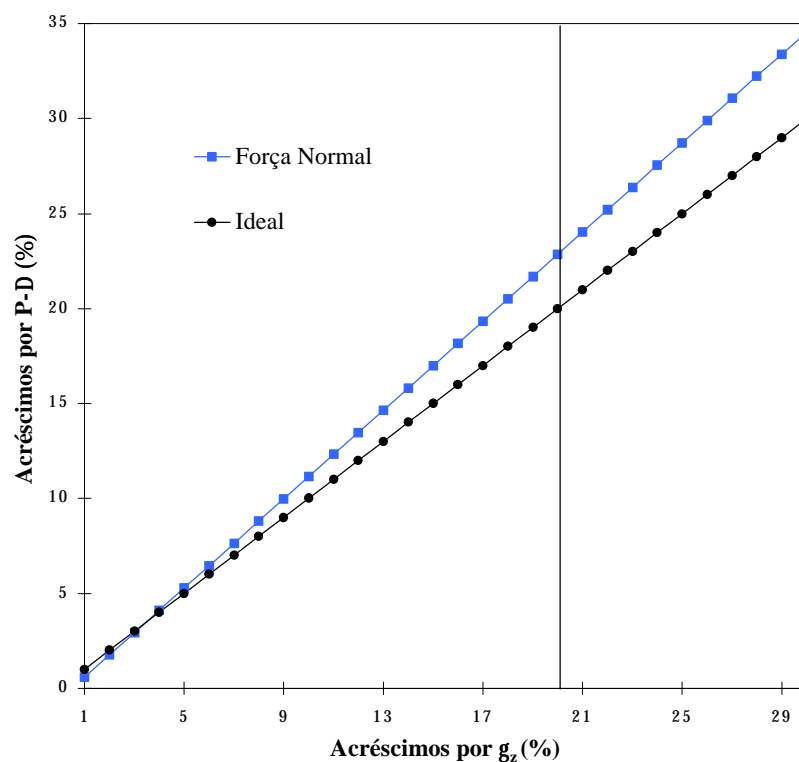


Figura D.17 - Relação entre os acréscimos sugeridos por P-D e g_z - Força normal

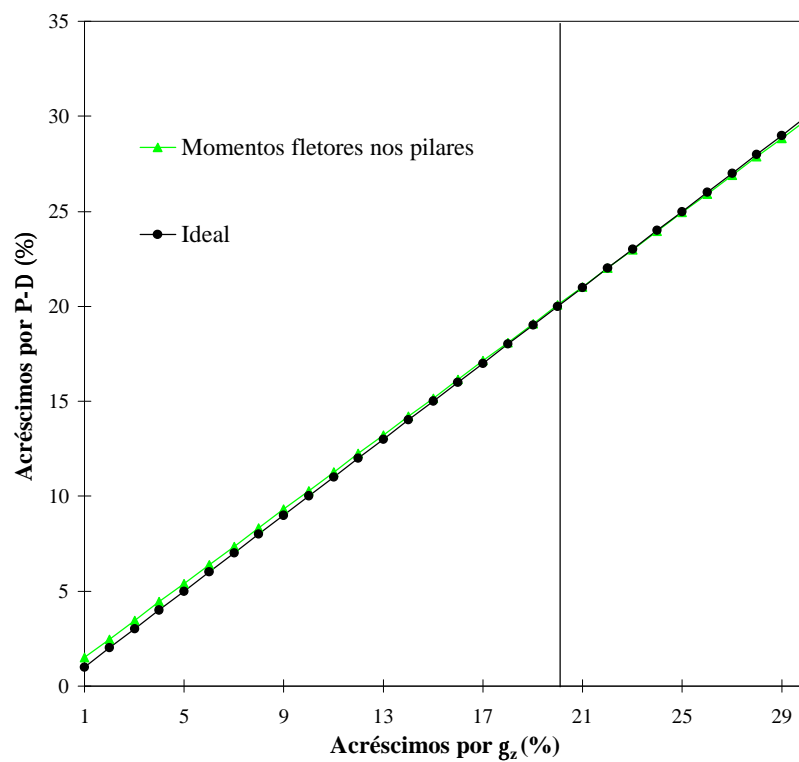


Figura D.18 - Relação entre os acréscimos sugeridos por P-D e g_z - Momentos nos pilares

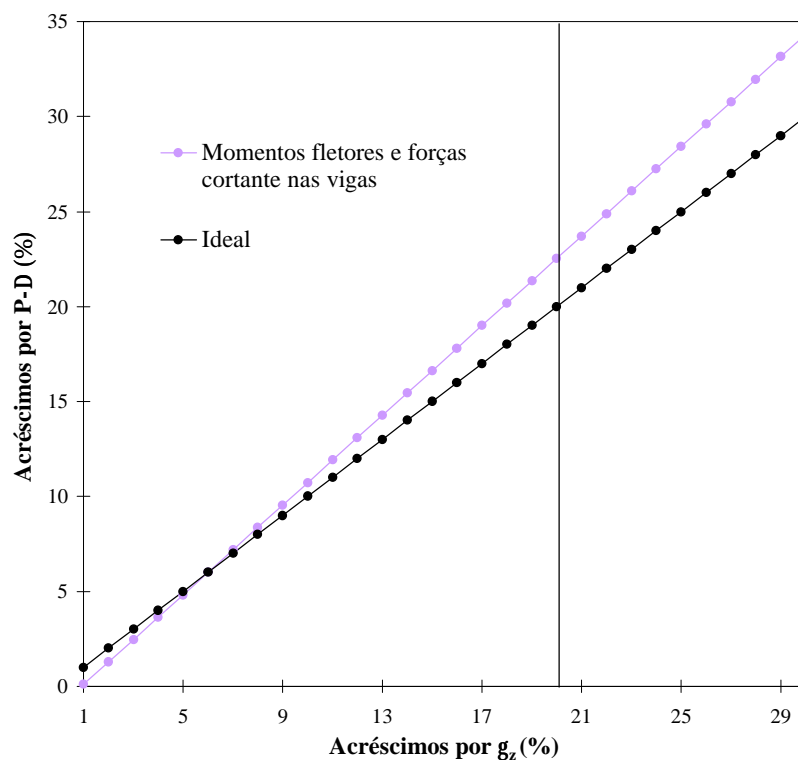


Figura D.19 - Relação entre os acréscimos sugeridos por **P-D** e g_z - Esforços nas vigas

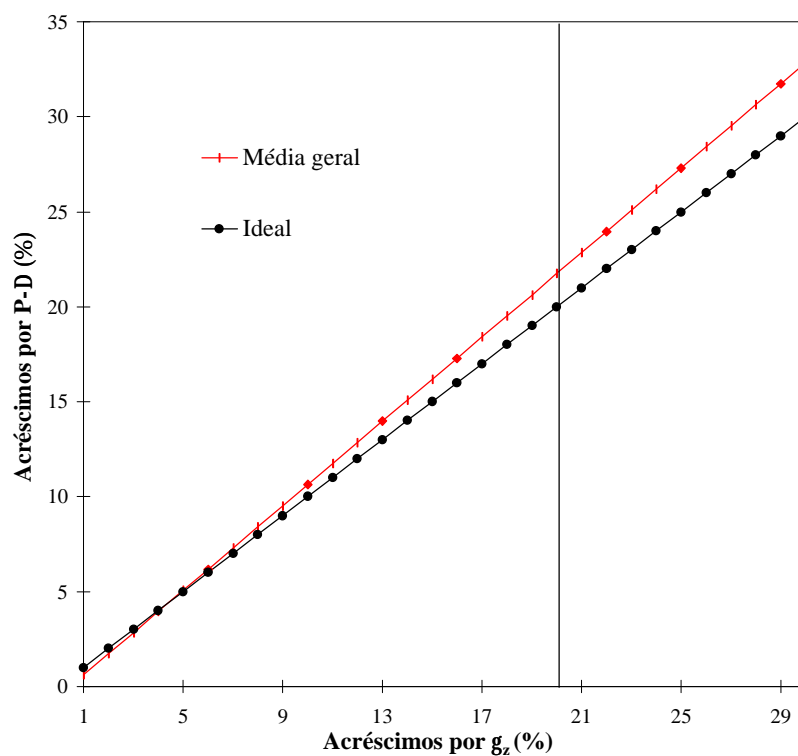


Figura D.20 - Relação entre os acréscimos sugeridos por **P-D** e g_z - Média geral