

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Walter Edgley de Oliveira**

**Estudo Experimental da Resistência à Tração de Placas  
de Ancoragem Embutidas em Concreto**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Área de  
Concentração: Estruturas.

Orientador: Giuseppe Barbosa Guimarães

Rio de Janeiro  
abril de 2003



Walter Edgley de Oliveira

## Estudo Experimental da Resistência à Tração de Placas de Ancoragem Embutidas em Concreto

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Giuseppe Barbosa Guimarães**

Orientador  
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

**Profa. Lídia da Conceição D. Shehata**

Universidade Federal Fluminense

**Profa. Marta de Souza Lima Velasco**

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

**Prof. Ronaldo Barros Gomes**

Universidade Federal de Goiás

**Prof. Ney Augusto Dumont**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de abril de 2003.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Walter Edgley de Oliveira**

Graduou-se em Engenharia Civil na UFPB (Universidade Federal da Paraíba). Na UFPB, participou de programas de Monitorias e de Iniciação Científica nas áreas de Informática e Engenharia Civil. Na PUC-Rio desenvolveu seu trabalho de pesquisa com ênfase em Análise Experimental de Estruturas.

#### Ficha Catalográfica

Oliveira, Walter Edgley de

Estudo experimental da resistência à tração de placas de ancoragem embutidas em concreto / Walter Edgley de Oliveira; orientador: Giuseppe Barbosa Guimarães. - Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia civil, 2003.

[20], 106 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia civil – Teses. 2. Placas de ancoragem. 3. Resistência à tração. 4. Chumbadores. 5. Pinos. I. Guimarães, Giuseppe Barbosa. II. Pontifícia Universidade Católica. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Aos meus pais, Iracy e Sebastião, e a minha  
querida esposa Ednalva

## Agradecimentos

Agradeço inicialmente a Deus, pela minha existência e por tudo conquistei.

A minha família, pelo apoio, incentivo e carinho em todos os momentos da minha vida.

Ao professor Giuseppe Barbosa Guimarães, pela orientação e apoio recebidos, e também pela amizade demonstrada ao longo da realização deste trabalho.

Aos colegas da Pós-Graduação, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil, pelo apoio e colaboração.

Aos funcionários do Laboratório de Estrutura e Materiais, onde foi realizada a maior parte do trabalho, a etapa experimental: José Nilson, Euclides, Evandro e Haroldo.

A empresa Eletronuclear, especialmente aos engenheiros Hailton Barbosa Olivieri, Lúcio Gonzalez de Lema e Carlos Prates, que acompanharam e contribuíram com o trabalho.

A todas as pessoas que contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho. Em especial aos amigos Aellington, Alexandre, Anderson, Ivy, Joabson, Pablo e Marcos pelo companheirismo.

Ao CNPq e ao convênio Eletronuclear-PUC-Rio, pelo apoio financeiro.

## Resumo

Oliveira, Walter Edgley de; Guimarães, Giuseppe Barbosa. **Estudo Experimental da Resistência à Tração de Placas de Ancoragem Embutidas em Concreto**. Rio de Janeiro, 2003. 126p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Placas de ancoragem embutidas em concreto são empregadas, geralmente, com a finalidade de permitir a fixação de elementos para a introdução de cargas concentradas nas estruturas de concreto, bem como viabilizar as ligações estruturais entre componentes pré-fabricados. As placas são ancoradas no concreto através de pinos soldados a elas. Estas placas são bastante empregadas em estruturas de usinas nucleares onde um grande número de equipamentos e tubulações são apoiados na estrutura de concreto. A pesquisa é de natureza experimental e tem como objetivo investigar a redução da resistência à tração de placas de ancoragem com grupo de chumbadores, placas instaladas com pequena distância dos bordos do elemento de concreto, e também de duas placas adjacentes, devido a interferência de seus cones de ruptura. A eficiência de uma armadura de suspensão (que transmite a carga além do cone de ruptura), também é verificada. Os resultados experimentais sugerem uma notável redução da resistência à tração para placas com grupo de chumbadores, e que o uso da armadura de suspensão para placa instalada nas proximidades do bordo do elemento de concreto não é muito eficiente. A armadura de suspensão apresentou um bom rendimento quando foi empregada em placas com grupo de chumbadores. Os resultados teóricos obtidos através de equações desenvolvidas para estimativa da carga de ruptura, apresentaram, de maneira geral, uma boa aproximação quando comparados com os resultados experimentais.

## Palavras-chave

chumbadores; pinos; placas de ancoragem; resistência à tração.

## Abstract

Oliveira, Walter Edgley de; Guimarães, Giuseppe Barbosa. **Experimental Study on the Tensile Strength of Anchorage Plates Embedded in Concrete**. Rio de Janeiro, 2003. 126p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Anchorage plates embedded in concrete are used with the purpose of allowing the fixation of elements for the introduction of concentrated loads into concrete structures, as well as to make possible the structural connections between prefabricated components. The plates are anchored in the concrete through studs welded to them. These plates are used in structures of nuclear power stations where a great number of equipments and pipings are fixed in the concrete structure. The research is of experimental nature and its objective is to investigate the reduction of the tensile strength of multiple studs group, anchorage plates located close to a free edge, and also of two adjacent plates, due to interference of failure concrete cones. The efficiency of an additional reinforcement (that transfers the load beyond the concrete cone), is also addressed. The experimental results suggest a significant reduction of the tensile strength for plates with studs group, and that the use of the additional reinforcement for anchorage plates located close to a free edge is not too efficient. The additional reinforcement presented a good efficiency when it was used in plates with studs group. The theoretical results obtained from equations developed to estimate the concrete failure load show, in a general way, a good agreement with the experimental results.

## Keywords

anchor (fasteners); studs; anchorage plates; tensile strength.

## Sumário

1	Introdução	21
1.1.	Objetivo	22
1.2.	Organização do trabalho	22
2	Revisão bibliográfica	23
2.1.	Ancoragem para concreto	23
2.2.	Tipos de Esforços	24
2.3.	Mecanismos de transferência de carga	24
2.4.	Tipos de sistemas de ancoragem	25
2.4.1.	Sistemas de pré-concretagem	26
2.4.2.	Sistemas de pós-concretagem	28
2.5.	Sistema de ancoragem estudado	34
2.6.	Modos de ruptura (tração)	34
2.6.1.	Ruptura do Aço	34
2.6.2.	Ruptura do cone de concreto	35
2.6.3.	Ruptura lateral ( <i>Bursting failure</i> )	35
2.6.4.	Arrancamento do chumbador	35
2.6.5.	Fendilhamento	36
2.7.	Métodos de dimensionamento	36
2.7.1.	Método segundo Eligehausen, Fuchs & Mayer (1987/1988) e Rehm et al. (1988) (método $\psi$ )	37
2.7.2.	Método segundo Bode & Hanenkamp (1985) e Bode & Roik (1987)	44
2.7.3.	Método do ACI 349(1985)	46
3	Estudo experimental	47
3.1.	Confecção dos blocos	47
3.1.1.	Características dos blocos	47
3.1.2.	Fôrmas	52
3.1.3.	Armadura construtiva	53
3.1.4.	Armadura de suspensão	54
3.1.5.	Característica do concreto	55
3.2.	Sistemas de ancoragem	57

3.2.1. Placa de pino único	58
3.2.2. Placas de quatro pinos	59
3.2.3. Adaptação para o ensaio	59
3.2.4. Posicionamento nas fôrmas	60
3.3. Instrumentação	61
3.3.1. Deformações	61
3.3.2. Deslocamentos	63
3.3.3. Sistema de aplicação de carga	64
3.4. Execução dos ensaios	68
3.4.1. Resistência do concreto	68
3.4.2. Placas isoladas com pino único	68
3.4.3. Placas de bordo com pino único	69
3.4.4. Placas de bordo com pino único, com armadura de suspensão	70
3.4.5. Placa de canto com pino único	71
3.4.6. Placa de canto com pino único, com armadura de suspensão	71
3.4.7. Placa de quatro pinos	72
3.4.8. Placa de quatro pinos com armadura de suspensão	73
3.4.9. Duas placas de quatro pinos com distância de 325 mm de eixo a eixo	73
3.4.10. Duas placas de quatro pinos com distância de 200 mm de eixo a eixo	73
4 Apresentação e análise dos resultados	76
4.1. Resistência do concreto	76
4.2. Resultados gerais	78
4.2.1. Placas isoladas com pino único	79
4.2.2. Placa de bordo com pino único	81
4.2.3. Placa de bordo com pino único, com armadura de suspensão	83
4.2.4. Placa de canto com pino único	85
4.2.5. Placa de canto com pino único, com armadura de suspensão	87
4.2.6. Placa de quatro pinos	90
4.2.7. Placa de quatro pinos, com armadura de suspensão	92
4.2.8. Duas placas de quatro pinos com distância de 325 mm de eixo a eixo	95
4.2.9. Duas placas de quatro pinos com distância de 200 mm de eixo a eixo	99
4.3. Influência do bordo e do canto	101
4.4. Eficiência da armadura de suspensão	103
4.5. Área projetada na superfície do bloco	107
4.6. Comportamento do cone de ruptura	110

4.7. Comparação com métodos de cálculos	112
4.7.1. Método de Eligehausen, Fuchs & Mayer (1987/1988) e Rehm et al. (1988) (método $\psi$ )	113
4.7.2. Método de Bode & Hanenkamp (1985) e Bode & Roik (1987)	114
4.7.3. Método do ACI 349(1985)	114
5 Conclusão e sugestões	115
5.1. Conclusões	115
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	117
6 Referências bibliográficas	118
7 Apêndice 1	120

## Lista de figuras

Figura 2.1 - Elementos componentes de uma ancoragem padrão.	24
Figura 2.2 - Possíveis modos de transferência de carga: (a) tração; (b) compressão; (c) cisalhamento; (d) tração e cisalhamento; (e) tração, cisalhamento e momento fletor.	25
Figura 2.3 - Mecanismos de transferência de carga: (a) ancoragem mecânica; (b) atrito; (c) aderência.	25
Figura 2.4 - Encaixes com rosca (a) tubo amassado; (b) elemento de ancoragem reto; (c) cabeça de parafuso.	26
Figura 2.5 - Chumbadores de formas variadas: (a) parafuso com cabeça e (b) pino com cabeça.	27
Figura 2.6 - Detalhes de ancoragem tipo barra canal.	27
Figura 2.7 - Barra com nervuras utilizada em uma ancoragem por aderência.	28
Figura 2.8 - Chumbadores com expansão controlada por torque.	29
Figura 2.9 - Chumbadores com expansão controlada por percussão.	30
Figura 2.10 Chumbadores de expansão de ponta: (a)-(c) o alargamento é formado antes da instalação; (d) e (e) o alargamento é formado durante a instalação do chumbador.	31
Figura 2.11 - Chumbador tipo cápsula: (a) durante instalação; (b) após instalação.	32
Figura 2.12 - Chumbador de injeção de aglomerante a base de cimento e resina.	33
Figura 2.13 - Chumbadores acionados por pólvora.	33
Figura 2.14 - Sistema de ancoragem estudado: (a) placa com 01 e (b) com 04 pinos.	34
Figura 2.15 - Modos de ruptura de sistemas de ancoragem submetidos à tração.	36
Figura 2.16 - Definição do comprimento efetivo de ancoragem $h_{ef}$ para chumbadores com a placa de ancoragem embutida no concreto.	38
Figura 2.17 - Comparação da eq. (2.1) com o resultado de ensaios de pinos com cabeça, normalizado para concreto com resistência à compressão de 21 MPa (Rehm et al., 1988).	39
Figura 2.18 - Comparação da eq. (2.5) com o resultado de ensaios de tração para grupo de quatro chumbadores ligados por uma placa rígida (Rehm et	

al., 1988).	40
Figura 2.19 - Modelo para cálculo da influência do carregamento excêntrico.	42
Figura 2.20 - Cone idealizado e área $A_{c,N}^0$ do cone de um chumbador simples sob tração.	43
Figura 2.21- Cone idealizado e área $A_{c,N}$ : (a) grupo de chumbadores ( $s < s_{cr}$ ); (b) chumbador simples próximo a um bordo ( $c1 < c_{cr}$ ).	43
Figura 2.22 - Resultados da carga de ruptura, para ensaios de chumbadores com cabeça, plotados em função do comprimento de ancoragem comparados com a eq. (2.14) (Bode e Roik (1997)).	45
Figura 2.23 - Dados dos ensaios de chumbadores com cabeça próximos a um bordo, plotados em função do fator: distância do bordo dividido pelo comprimento de ancoragem, comparados com a eq. (2.16) (Bode e Roik (1997)).	46
Figura 3.1 - Distribuição das placas de ancoragem para o bloco B1. (Medidas em cm - altura do bloco = 30 cm).	48
Figura 3.2 - Distribuição das placas de ancoragem para o bloco B2. (Medidas em cm - altura do bloco = 30 cm).	49
Figura 3.3 - Localização da placa de ancoragem para o bloco B3. (Medidas em cm - altura do bloco = 40 cm).	50
Figura 3.4 - Distribuição das placas de ancoragem para o bloco B4: (a) placas instaladas com 32,5cm de eixo a eixo e (b) placas instaladas com 20cm de eixo a eixo. (Medidas em cm - altura do bloco = 40 cm).	51
Figura 3.5 - Detalhe da fôrma de um bloco B4, mostrando as barras de reforço.	52
Figura 3.6 - Layout dos blocos com as barras parafusadas.	53
Figura 3.7 - Detalhamento da armadura construtiva para o bloco B3, sem a utilização de armadura de suspensão.	54
Figura 3.8 - Detalhe da armadura de suspensão usada em placa de canto e de bordo e o posicionamento na fôrma.	56
Figura 3.9 - Detalhe da armadura de suspensão usada em grupo chumbadores e o posicionamento na fôrma.	57
Figura 3.10 - Características da placa de ancoragem de pino único utilizada nos testes. (Medidas em mm)	58
Figura 3.11 - Características da placa de ancoragem de quatro pinos utilizada nos testes.(Medidas em mm)	59
Figura 3.12 - Porca soldada na placa para permitir a introdução do	

carregamento.	60
Figura 3.13 - Posicionamento das placas de ancoragem para um bloco tipo B4.	61
Figura 3.14 - Posicionamento dos extensômetros elétricos nas placas de ancoragem.	62
Figura 3.15 - Posicionamento dos extensômetros elétricos nas armaduras de suspensão: (a) armadura para placa de pino único e (b) para placa com quatro pinos.	63
Figura 3.16 - Posicionamento dos transdutores de deslocamento nos blocos.	64
Figura 3.17 -(a) Esquema geral do sistema de aplicação de carga: vista lateral.	65
Figura 3.17 - (b) Esquema geral do sistema de aplicação de carga: vista lateral.	66
Figura 3.17 - (c) Esquema geral do sistema de aplicação de carga: vista seção 1.	67
Figura 3.17 - (d) Esquema geral do sistema de aplicação de carga: vista seção 2.	67
Figura 3.17 - (e) Esquema geral do sistema de aplicação de carga: vista seção 3.	68
Figura 3.18 - Arranjo experimental para a série de e ensaios de placa de pino único isolada (a), e detalhe do ensaio da placa B1-08.	69
Figura 3.19 - Arranjo experimental e forma da ruptura de placa de pino único de bordo.	70
Figura 3.20 - Ruptura de placa de pino único de bordo com armadura de suspensão.	70
Figura 3.21 - Arranjo experimental para placa de pino único de canto.	71
Figura 3.22 - Arranjo experimental para placas de quatro pinos.	72
Figura 3.23 - Arranjo experimental utilizando quatro apoios.	74
Figura 3.24 - Ruptura da primeira (a) e da segunda placa de ancoragem.	74
Figura 3.25 - Arranjo experimental (a) e tipo de ruptura (b) para associação de duas placas de quatro pinos com distância de 200 mm de eixo a eixo.	75
Figura 4.1 - Crescimento da resistência à compressão do concreto com a idade.	77
Figura 4.2 - Curvas carga vs. deformação no pino para os três ensaios de placas isoladas de pino único.	80
Figura 4.3 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os três ensaios de placas isoladas de pino único.	

	80
Figura 4.4 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura, para os três ensaios de placas isoladas de pino único.	81
Figura 4.5 - Curvas carga vs. deformação no pino para os três ensaios de placas de pino único de bordo.	82
Figura 4.6 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os três ensaios de placas de pino único de bordo.	82
Figura 4.7 - Curvas carga vs. deformação no pino para os três ensaios de placas de pino único de bordo, com armadura de suspensão.	83
Figura 4.8 - Curvas carga vs. deformação na armadura de suspensão para os três ensaios de placas de pino único de bordo.	84
Figura 4.9 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os três ensaios de placas com pino único próximo a um bordo, com armadura de suspensão.	84
Figura 4.10 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura, para os três ensaios de placas com pino único próximo a um bordo, com armadura de suspensão.	85
Figura 4.11 - Curvas carga vs. deformação no pino para os três ensaios de placas de pino único de canto.	86
Figura 4.12 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os três ensaios de placas de pino único de canto.	86
Figura 4.13 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura, para os três ensaios de placas de pino único de canto.	87
Figura 4.14 - Curvas carga vs. deformação no pino para os dois ensaios de placas de pino único de canto, com armadura de suspensão.	88
Figura 4.15 - Curvas carga vs. deformação na armadura de suspensão para os dois ensaios de placas de pino único de canto.	88
Figura 4.16 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os dois ensaios de placas de pino único de canto, com armadura de suspensão	89
Figura 4.17 - Curvas carga vs. da placa em relação ao cone de ruptura, para os dois ensaios de placas de pino único de canto, com armadura de suspensão .	89
Figura 4.18 - Influência do posicionamento nas medidas de deslocamento para	

os ensaios de pino único de canto com armadura de suspensão.	90
Figura 4.19 - Curvas carga vs. deformação no pino para os três ensaios de placas de quatro pinos.	91
Figura 4.20 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os três ensaios de placas de quatro pinos.	91
Figura 4.21 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura, para os três ensaios de placas de quatro pinos.	92
Figura 4.22 - Curva carga vs. deformação no pino para o ensaio da placa de quatro pinos, com armadura de suspensão.	93
Figura 4.23 - Curva carga vs. deformação nas armaduras de suspensão para placas de quatro pinos, com armadura de suspensão.	93
Figura 4.24 - Curva carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para placas de quatro pinos com armadura de suspensão.	94
Figura 4.25 - Curva carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura, para placas de quatro pinos com armadura de suspensão.	94
Figura 4.26 - Curvas carga vs. deformação no pino, para os três ensaios de placas de quatro pinos com distância de 325 mm de eixo a eixo.	96
Figura 4.27 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os três ensaios de placas de quatro pinos com distância de 325 mm de eixo a eixo.	96
Figura 4.28 - Curvas carga vs. deslocamento das placas em relação ao cone de ruptura, para os três ensaios de placas de quatro pinos com distância de 325 mm de eixo a eixo.	97
Figura 4.29 - Curvas carga vs. deformação no pino para os três ensaios das placas remanescentes.	97
Figura 4.30 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os três ensaios das placas remanescentes.	98
Figura 4.31 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura, para os três ensaios das placas remanescentes.	98
Figura 4.32 - Curvas carga vs. deformação no pino para os três ensaios de placas de quatro pinos com distância de 200 mm de eixo a eixo.	99
Figura 4.33 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, para os três ensaios de placas de quatro pinos com distância de 200 mm de eixo a eixo.	100
Figura 4.34 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de	

ruptura, para os três ensaios de placas de quatro pinos com distância de 200 mm de eixo a eixo.	100
Figura 4.35 - Curvas carga vs. deformação de placas de pino único instaladas em três pontos distintos: B1-06 placa de canto, B1-09 placa isolada e B2-15 placa de bordo	102
Figura 4.36 - Curvas carga vs. deslocamento de placas de pino único instaladas em três pontos distintos: B1-06 placa de canto, B1-09 placa isolada e B2-15 placa de bordo.	102
Figura 4.37 - Curvas carga vs. deformação de placas de pino único: B1-06 canto sem armadura; B2-15 bordo sem armadura; B1-01 canto com armadura; B2-10 bordo com armadura.	105
Figura 4.38 - Curvas carga vs. deslocamento de placas de pino único: B1-06 canto sem armadura; B2-15 bordo sem armadura; B1-01 canto com armadura; B2-10 bordo com armadura.	105
Figura 4.39 - Curvas carga vs. deformação de placas de quatro pinos: B3-17 sem armadura; B3-19 com armadura.	106
Figura 4.40 - Curvas carga vs. deslocamento de placas de quatro pinos: B3-17 sem armadura; B3-19 com armadura.	106
Figura 4.41 - Superfície de ruptura irregular do ensaio de placa de quatro pinos isolada.	108
Figura 4.42 - Metodologia utilizada no cálculo para obtenção da área de superfície do cone de ruptura.	110
Figura 4.43 - Ruptura em placas de canto.	111
Figura 4.44 - Ruptura em placas de bordo.	111
Figura 4.45 - Cones de ruptura: (a) placa de quatro pinos isolada, (b) e (c) duas placas de quatro pinos com distância de 200 mm de eixo a eixo, (d) placa de bordo com armadura de suspensão e (e) placa de bordo sem armadura de suspensão.	112
Figura 7.1 - Curvas carga vs. deformação no pino na primeira placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 325 mm.	120
Figura 7.2 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura na primeira placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 325 mm.	121
Figura 7.3 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura na primeira placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 325 mm.	121

- Figura 7.4 - Curvas carga vs. deformação no pino na segunda placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 325 mm. 122
- Figura 7.5 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, na segunda placa para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 325 mm. 122
- Figura 7.6 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura na segunda placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 325 mm. 123
- Figura 7.7 - Curvas carga vs. deformação no pino na primeira placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 200 mm. 124
- Figura 7.8 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura na primeira placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 200 mm. 124
- Figura 7.9 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura na primeira placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 200 mm. 125
- Figura 7.10 - Curvas carga vs. deformação no pino na segunda placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 200 mm. 125
- Figura 7.11 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação a um ponto fora do cone de ruptura, na segunda placa para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 200 mm. 126
- Figura 7.12 - Curvas carga vs. deslocamento da placa em relação ao cone de ruptura na segunda placa, para os ensaios de duas placas com distância de eixo a eixo igual a 200 mm. 126

## Lista de tabelas

Tabela 3.1 Nomenclatura dos blocos de suporte das placas de ancoragem.	47
Tabela 4.1 - Resultado da resistência à compressão de acordo com a idade do concreto.	76
Tabela 4.2 - Valores de resistência à compressão do concreto nos ensaios de placas com pino único de acordo com a eq. (4.1).	77
Tabela 4.3 - Valores de resistência à compressão do concreto nos ensaios de placas com quatro pinos.	78
Tabela 4.4 - Valores de carga de ruptura, deformação e deslocamentos obtidos nos ensaios.	78
Tabela 4.5 - Normalização da carga de ruptura para placas de pinos únicos, instaladas em pontos distintos.	101
Tabela 4.6 - Normalização da carga de ruptura para placas com e sem armadura de suspensão.	104
Tabela 4.7 - Comparação da área superficial experimental com área superficial da projeção da pirâmide de tensão de 35°.	109
Tabela 4.8 - Comparação dos valores da carga normalizada obtidos nos ensaios com os valores da carga normalizada obtidas pela eq. (2.1).	113
Tabela 4.9 - Comparação dos valores da carga normalizada obtida nos ensaios com os valores da carga normalizada obtidas pela eq. (2.14).	114

## Lista de símbolos

$\alpha$	Ângulo do cone de ruptura, medido a partir de plano perpendicular ao eixo do chumbador até a superfície de ruptura
$A_{C,N}^0$	Área do cone na superfície do concreto, para um chumbador simples com grande espaçamento e com grande distância de bordo
A35	Área de ruptura na superfície do bloco da projeção da pirâmide de tensão de 35°
$A_b$	Área da superfície do bloco calculada na imagem
$A_{C,N}$	Área atual do cone de ruptura para uma ancoragem na superfície do concreto
$A_p$	Área calculada na imagem do cone de ruptura projetada na superfície do bloco
$A_r$	Área real da superfície do bloco
$A_{rp}$	Área real do cone de ruptura projetada na superfície do bloco
$A_{rp,m}$	Média da área ruptura na superfície do bloco obtida experimentalmente
$c_{cr}$	Distância crítica para que haja redução da capacidade de carga por efeito de bordo
d1	Deslocamento máximo da placa em relação a um ponto fora do cone
d1 <sub>m</sub>	Deslocamento máximo médio da placa em relação a um ponto fora do cone
d2	Deslocamento máximo da placa em relação ao cone de ruptura
d2 <sub>m</sub>	Deslocamento máximo médio da placa em relação ao cone de ruptura
d <sub>h</sub>	Diâmetro da cabeça do pino
e	Excentricidade da carga de tração em relação ao centróide do grupo de chumbadores
$\epsilon_{armad}$	Deformação máxima na armadura de suspensão
$\epsilon_{m,armad}$	Deformação máxima média na armadura de suspensão
$\epsilon_{m,pino}$	Deformação máxima média no eixo do pino
$\epsilon_{pino}$	Deformação máxima no eixo do pino
$f_c$	Resistência à compressão do concreto
$f_{ct}$	Resistência à tração do concreto
$h_{ef}$	Comprimento efetivo de ancoragem

$N_u$	Carga de ruptura obtida experimentalmente
$N_u^*$	Carga de ruptura normalizada, obtida experimentalmente
$N_u^*BHR$	Carga de ruptura normalizada obtida pelo método de Bode, Hanenkamp & Roik
$N_{u,m}^*$	Carga de ruptura normalizada média, obtida experimentalmente
$N_{u,\psi}^*$	Carga de ruptura normalizada obtida pelo método $\psi$
$N_{u,m}$	Carga última média
$N_{u,m,gec}$	Carga de ruptura para arranjos ortogonais e simétricas de grupos de chumbadores com influência de espaçamento, excentricidade da carga e distância de bordo
$N_{u,m,gr}$	Carga última média de um grupo de chumbadores
$N_{u,mc}$	Carga última com influência de bordo
$N_{u,me}$	Carga última com influência de carga excêntrica
$N_{u,méd}$	Carga de ruptura média dos ensaios do mesmo tipo
$N_{u,mn}$	Carga prevista para um grupo de n chumbadores
s	Distância entre chumbadores
$s_{cr}$	Distância crítica para que haja redução da capacidade de carga por efeito de grupo
$s_i$	Distância de entre centros dos chumbadores na direção i
$s_{t,i}$	Distância máxima em cada direção
$\psi_{A,N}$	Fator resultante da redução da superfície de ruptura promovida pelos efeitos geométricos do espaçamento e distância de bordo
$\psi_c$	Fator de redução da capacidade de carga devido à interrupção da distribuição das tensões no concreto ocasionada pela proximidade do bordo do elemento de concreto
$\psi_e$	Fator que introduz a influência de carga excêntrica sobre o grupo de chumbadores
$\psi_{e,i}$	Fator que introduz a influência de carga excêntrica sobre o grupo de chumbadores na direção i
$\psi_s$	Fator de redução da capacidade de carga devido ao espaçamento entre chumbadores
$\psi_{s,i}$	Fator de redução da capacidade de carga devido ao espaçamento entre chumbadores na direção i