

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Joaquim Nunes Martins Junior**

**Resistência à Tração de um Sistema de Ancoragem  
Embutido no Concreto Sujeito a Carga de Impacto**

**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: Prof. Giuseppe Barbosa Guimarães  
Co-Orientador: Prof. Paulo Batista Gonçalves

Rio de Janeiro  
janeiro de 2006



**Joaquim Nunes Martins Junior**

## **Resistência à Tração de um Sistema de Ancoragem Embutido no Concreto Sujeito a Carga de Impacto**

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

**Prof. Paulo Batista Gonçalves**

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

**Prof. Ronaldo Barros Gomes**

Universidade Federal de Goiás

**Prof. Emil de Souza Sánchez Filho**

Faculdade de Engenharia – UFJF

**Prof. Raul Rosas e Silva**

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 23 de janeiro de 2006.

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

### **Joaquim Nunes Martins Junior**

Graduou-se em Engenharia Civil no CEULM/ULBRA (Centro Universitário Luterano de Manaus). No CEULM/ULBRA, participou de programas de Iniciação Científica na área de Engenharia Civil. Na PUC-Rio desenvolveu seu trabalho de pesquisa com ênfase em Análise Experimental de Estruturas em Concreto.

#### Ficha Catalográfica

Martins Junior, Joaquim Nunes

Resistência à tração de um sistema de ancoragem embutido no concreto sujeito a carga de impacto / Joaquim Nunes Martins Junior; orientadores: Giuseppe Barbosa Guimarães, Paulo Batista Gonçalves. – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

v.,140f.: il. ; 29,7 cm

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

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Concreto. 3. Sistemas de ancoragem. 4. Chumbadores. 5. Resistência à tração. 6. Carregamento dinâmico. 7. Carga de impacto. I. Guimarães, Giuseppe Barbosa. II. Gonçalves, Paulo Batista. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

*“Mais importante é o fim das coisas  
do que o princípio delas”  
Ec 7:8*

*Aos meus pais, à minha querida  
esposa, Tatiana, e aos meus filhos.*

## Agradecimentos

Ao eterno e poderoso Deus, por sua misericórdia, que se renova a cada manhã, dando cada vez mais disposição e saúde para vencer o mundo e alcançar meus objetivos.

Aos professores Giuseppe Guimarães e Paulo Gonçalves, pela atenção e orientação.

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

A minha esposa, Tatiana, pelo apoio, incentivo, carinho e lágrimas, e aos meus filhos, Joaquim Neto e, Victória Beatriz, em especial, pela atenção, momentos de paz e, principalmente, pelos momentos em que estive ausente.

Aos meus pais, Joaquim Nunes e Lourdes Caldas, por terem me gerado e dado todo o apoio moral e amor necessário à formação de minha índole, sempre me amparando nas horas mais difíceis e incentivando durante o decorrer desse projeto.

Aos meus sogros, que sempre me acolheram com braços abertos, me recebendo com um novo filho.

Aos pastores, Sebastião Nunes e Cleuza Suzana, pelas noites em claro, pelo apoio e incentivo para o ingresso nesse projeto.

Aos babais, Eddie Wallace e Daniela Nan Pierre, pela atenção, apoio, cobertura, lágrimas e palavras de ânimo nos momentos difíceis.

Aos paistores, José Antônio Lino e Ludmila Ferber, pela cobertura, pelas palavras de benção liberada sobre os céus da minha família.

Ao casal, Omar Zendim e Aurineide Zendim, pelo apoio recebido.

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

Aos técnicos de laboratório da PUC-Rio: José Nilson, Euclides, Evandro e Haroldo do LEM-DEC, e Marques do ITUC.

A todas as pessoas que contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho.

## Resumo

Martins Junior, Joaquim N.; Guimarães, Giuseppe Barbosa (orientador); Gonçalves, Paulo B. (co-orientador). **Resistência à Tração de um Sistema de Ancoragem Embutido no Concreto Sujeito a Carga de Impacto**. Rio de Janeiro, 2006. 140p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho tem como objetivo estudar a resistência de um sistema de ancoragem composto de pinos com cabeça embutidos no concreto, quando submetidos a cargas de impacto. A variável adotada foi a taxa de carregamento cujos valores mínimo e máximo foram 0,015 kN/s (estático) e 54.885 kN/s, respectivamente. O sistema de ancoragem foi projetado de forma que a ruptura fosse governada pelo arrancamento do cone de ruptura. Foram ensaiados onze blocos de concreto com um pino embutido no concreto, sujeitos a diferentes taxas de aplicação de carga. Foram também ensaiados quinze corpos-de-prova de concreto à compressão diametral e nove pinos à tração, também sujeitos a diferentes taxas de aplicação de carga. O objetivo desses ensaios foi verificar a influência da taxa de carregamento sobre as resistências dos materiais - concreto e aço - que participam do sistema de ancoragem. Os resultados mostraram que a área da superfície e a inclinação do cone de ruptura não sofrem grandes alterações. A carga de ruptura do cone de concreto cresce com a taxa de carregamento, e que esse crescimento pode ser descrito por uma função logarítmica. O mesmo foi observado para a resistência à tração do concreto por compressão diametral e para os pinos.

## Palavras-chave

concreto; sistemas de ancoragem; chumbadores; resistência à tração; carregamento dinâmico; carga de impacto.

## Abstract

Martins Junior, Joaquim N.; Guimarães, Giuseppe Barbosa (advisor); Gonçalves, Paulo B. (co-advisor). **Tensile Strength of a Concrete Anchoring Subjected to Impact Load**. Rio de Janeiro, 2006. 140p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work investigates the strength of a concrete anchor system constituted of headed studs embedded in concrete subjected to impact tension load. The main variable was the loading rate which varied from a minimum of 0,015 kN/s (static) to a maximum of 54885 kN/s. The anchor system was designed so that the failure was governed by concrete cone breakout. Eleven concrete blocks with a single headed stud were tested under different loading rates. In addition, fifteen concrete cylinders subjected to compression along a diameter (split cylinder test) and nine headed studs subjected to tension were tested under different loading rates in order to investigate the effects of the loading rate on the strength of concrete and steel separately. The results showed that the area and the angle of the concrete cone were not affected by the loading rate. The failure load of the concrete cone increases as the loading rate increases and this phenomenon can be described by a logarithmic function. The concrete split tensile strength and the steel tensile strength also increase as the loading rate increases.

## Keywords

concrete; anchorage system; stud; tensile strength; dynamic load; impact load.

# Sumário

1	Introdução	22
1.1.	Objetivos	22
1.2.	Organização do Trabalho	23
2	Revisão Bibliográfica	24
2.1.	Considerações Iniciais	24
2.2.	Sistemas de Ancoragem para Concreto	24
2.3.	Mecanismos de Transferência de Carga	26
2.4.	Tipos de Ancoragem para Concreto	26
2.4.1.	Sistemas de Pré-concretagem	27
2.4.2.	Sistemas Pós-instalados	29
2.5.	Modos de Ruptura à Tração	30
2.5.1.	Ruptura do Chumbador	31
2.5.2.	Ruptura do Concreto	32
2.5.3.	Arrancamento do Chumbador	32
2.5.4.	Fendilhamento	33
2.6.	Métodos de Cálculo	33
2.6.1.	Método do ACI 349/1985	34
2.6.2.	Método CCD ( <i>Concrete Capacity Design</i> )	35
2.6.3.	Métodos de Bode e Hanenkamp (1985) e Bode e Roik (1987)	38
2.7.	Fatores que Podem Influenciar a Capacidade Resistente de Chumbadores	39
2.7.1.	Proximidade da Borda	39
2.7.2.	Efeito de Disco	39
2.7.3.	Efeito de Cunha	40
2.7.4.	Ancoragens em Grupo	41
2.7.5.	Relação entre o Diâmetro do Dispositivo de Ancoragem e a Altura Efetiva	41
2.7.6.	Concreto Fissurado	42
2.7.7.	Excentricidade de Carregamento	43
2.7.8.	Taxa de Carregamento	43
2.8.	Pesquisas sobre Sistemas de Ancoragem	43
2.8.1.	Concreto	43

2.8.2. Sistemas de Ancoragem	45
2.9. Fundamentos de Dinâmica	49
2.9.1. Energia de Deformação e Energia Cinética	49
2.9.2. Fator Dinâmico	52
2.9.3. Forças de Impacto	53
2.9.4. Período Natural	55
2.9.5. Propagação de Ondas	55
3 Programa Experimental	60
3.1. Considerações Iniciais	60
3.2. Características dos Blocos	62
3.2.1. Dimensões	62
3.3. Características dos Pinos P16	65
3.4. Confeccção dos Blocos	66
3.4.1. Forma	66
3.4.2. Armadura Construtiva	67
3.4.3. Concreto	68
3.5. Instrumentação	71
3.5.1. Medida de Deformação	71
3.5.2. Medida de Força	72
3.5.3. Aquisição de Dados	73
3.5.4. Aplicação de Força	73
3.6. Descrição dos Ensaio	80
3.6.1. Ensaio Preliminares	80
3.6.2. Verificação da Resistência do Concreto	83
3.6.3. Ensaio dos Blocos	85
3.6.4. Ensaio dos Pinos P16	87
4 Apresentação e Análise dos Resultados	89
4.1. Considerações Iniciais	89
4.2. Propriedades do Concreto	89
4.2.1. Resistência à Compressão Simples	89
4.2.2. Resistência à Tração	91
4.2.2.1. Influência da Taxa de Carregamento	94
4.3. Ensaio dos Pinos P16	96
4.3.1. Resultados Gerais	96
4.3.2. Influência da Taxa de Carregamento	102

4.4. Ensaio dos Blocos	103
4.4.1. Curvas Força-Tempo	103
4.4.2. Área da Superfície do Cone de Ruptura	103
4.4.3. Inclinação do Cone de Ruptura	107
4.4.4. Comparação com Métodos de Cálculo	111
4.4.5. Influência da Taxa de Carregamento	113
4.5. Comentários	115
5 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	116
5.1. Conclusões	116
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	117
6 Referências Bibliográficas	119
Anexo A Análise da Granulometria a das Massas dos Agregados	124
Anexo B Ensaio Preliminares	128
Anexo C Período Natural do Sistema	129
Anexo D Resultados dos Ensaio	131
Anexo E Superfícies de Ruptura	137

## Lista de figuras

- Figura 2.1 - Elementos básicos que compõem uma ancoragem; adaptado de Fastenings to Concrete and Masonry Structures - CEB (1994). 25
- Figura 2.2 - Tipos de solicitações na ancoragem: (a) e (b) força normal; (c) cisalhamento; (d) tração e cisalhamento combinados; (e) tração, cisalhamento e momento fletor combinados; adaptado de Fastenings to Concrete and Masonry Structures - CEB (1994). 25
- Figura 2.3 - Mecanismos de transferência de carga: (a) ancoragem mecânica; (b) atrito; (c) aderência; adaptado de Fastenings to Concrete and Masonry Structures – CEB (1994). 26
- Figura 2.4 - Encaixe com rosca: (a) tubo amasso; (b) ancoragem reta; (c) parafuso com cabeça; (Fastenings to Concrete and Masonry Structures – CEB, 1994). 27
- Figura 2.5 - Parafusos de formas variadas: (a) parafuso com cabeça; (b) parafuso-L; (c) parafuso-J; (d) pino com cabeça; (Fastenings to Concrete and Masonry Structures – CEB, 1994). 28
- Figura 2.6 - Ancoragem por aderência numa barra nervurada; adaptado de Fastenings to Concrete and Masonry Structures – CEB, 1994. 29
- Figura 2.7 – Respostas de modos de ruptura (Fuchs et alii, 1995). 31
- Figura 2.8 - Modos de ruptura do sistema de ancoragem com cabeça submetido à força de tração: (a) ruptura do chumbador; (b) ruptura do cone de concreto; (c) arrancamento do chumbador; (d) e (e) fendilhamento; (f) ruptura lateral concreto; adaptado de Fastenings to Concrete and Masonry Structures – CEB, 1994. 31
- Figura 2.9 - Cone de ruptura idealizado pelo método ACI 349-85 (Fuchs et alii, 1995). 35
- Figura 2.10 - Tipo de ruptura idealizado pelo Método CCD (Fuchs et alii, 1995; Eligenhausen et al, 1995). 37
- Figura 2.11 - Comparação da expressão ((2.5) com os resultados dos testes de tração de pinos com cabeça, normalizada para concreto com resistência à compressão de 21 MPa; adaptado de Fastenings to Concrete and Masonry Structures – CEB (1994). 37
- Figura 2.12 - Resultados dos testes para chumbadores em função do seu comprimento de ancoragem, comparados com a expressão (2.7);

adaptada de Fastenings to Concrete and Masonry Structures – CEB (1994).	39
Figura 2.13 – Inclinação do cone de ruptura devido ao efeito de disco (Jermann, 1993 apud Meira, 2005).	40
Figura 2.14 – Ruptura por efeito de cunha; adaptado de Hasselwander et alii (1987).	40
Figura 2.15 - Curvas força vs deslocamento para três diâmetros diferentes do dispositivo de ancoragem: pequeno, médio e grande, $f_c = 33MPa$ ; adaptado de Ozbolt et alii, (1999).	42
Figura 2.16 – Relação entre resistência à compressão e velocidade de aplicação do carregamento; adaptado de Neville (1997).	44
Figura 2.17 – Pulso de rampa tipo para carregamento dinâmico; adaptado de Rodriguez et alii (1995).	47
Figura 2.18 – Esquema de aplicação de carga de impacto adotado por Herzbruch; adaptado de Herzbruch (1994).	48
Figura 2.19 – Curvas força x deslocamento obtidas experimentalmente: (a) carregamento de impacto; (b) carregamento estático; adaptado de Herzbruch (1994).	49
Figura 2.20 – Digramas tipo tensão vs deformação específica: a) energia potencial de deformação; b) energia potencial elástica.	50
Figura 2.21 - Viga bi-apoiada com extremidade em balanço.	52
Figura 2.22 - Resposta de uma carregamento impulsivo arbitrário.	54
Figura 2.23 – Propagação de ondas durante um intervalo de tempo (Clough, 1993).	56
Figura 2.24 – Ondas incidente e refletida ao longo do comprimento de uma barra (Clough, 1993).	56
Figura 2.25 – Reflexão e transmissão de ondas na descontinuidade.	58
Figura 2.26 – Reflexão e transmissão de ondas num sistema de ancoragem.	59
Figura 3.1 – Curva resistência vs. taxa de carregamento – Representação esquemática.	60
Figura 3.2 – Dimensões dos blocos.	63
Figura 3.3 – Detalhe do apoio do bloco de concreto.	63
Figura 3.4 – Armadura dos blocos.	64
Figura 3.5 – Detalhe do pino embutido no bloco de concreto.	65
Figura 3.6 – Detalhe do pino de ancoragem P16.	66
Figura 3.7 – Esquema e detalhes das formas dos blocos.	67

Figura 3.8 – Detalhes da armadura construtiva dos blocos.	68
Figura 3.9 – Blocos antes da concretagem.	70
Figura 3.10 – Blocos após a 1ª concretagem (1ª e 2ª betonadas).	71
Figura 3.11 – Posicionamento de EER nos pinos de blocos: a) esquema de posicionamento do EER; b) EER colado; c) proteção com cera.	72
Figura 3.12 – Posicionamento de EER nos pinos P16.	72
Figura 3.13 – Posicionamento da célula de carga.	73
Figura 3.14 – Elemento utilizado como rótula.	74
Figura 3.15 – Esquema do sistema desenvolvido para a aplicação de carga.	75
Figura 3.16 – Dispositivo de transmissão da força do perfil para os blocos e pinos: a) vista lateral; b) vista superior das placas.	76
Figura 3.17 – Martelo de impacto: a) massa de 100 kg; b) massa de 180 kg.	76
Figura 3.18 – Esquema da estrutura de aplicação de força: vista superior.	77
Figura 3.19 – Esquema da estrutura de aplicação de força: corte A-A.	78
Figura 3.20 - Esquema da estrutura de aplicação de força: a) vista frontal 1; b) vista frontal 2.	79
Figura 3.21 – Posicionamento do macaco hidráulico para a realização de ensaios estáticos.	80
Figura 3.22 – Verificação de solda: a) dispositivo de ensaio; b) realização de ensaio.	82
Figura 3.23 – Ensaio dinâmico de compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos.	84
Figura 3.24 – Arranjo experimental para ensaios dos blocos B22EST e B22EST-I.	85
Figura 3.25 – Mola de impacto instalada na extremidade do perfil metálico.	86
Figura 3.26 – Arranjo experimental para ensaios dos blocos B22W180H100-MOLA.	86
Figura 3.27 – Arranjo experimental para ensaios dos blocos B22W100H220.	87
Figura 4.1 – Variação da resistência média à compressão simples do concreto por betonada.	90
Figura 4.2 – Curvas força vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos de compressão diametral - betonada 2.	92
Figura 4.3 – Curvas força vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos de compressão diametral - betonada 3.	92
Figura 4.4 – Curvas força vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos de compressão diametral - betonada 4.	93

Figura 4.5 – Curvas força vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos de compressão diametral - betonada 5.	93
Figura 4.6 – Curvas força vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos de compressão diametral - betonada 6.	94
Figura 4.7 – Crescimento relativo da resistência à tração do concreto vs taxa de carregamento: a) escala logarítmica; b) escala linear.	95
Figura 4.8 – Curvas tensão vs deformação específica obtida no ensaio do pino P16EST.	97
Figura 4.9 – Curvas tensão vs deformação específica obtidas nos ensaios dinâmicos dos pinos P16.	97
Figura 4.9 – Curvas tensão vs deformação específica obtidas nos ensaios dinâmicos dos pinos P16 (continuação).	98
Figura 4.10 – Curvas tensão vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos dos pinos P16.	98
Figura 4.10 – Curvas tensão vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos dos pinos P16 (continuação).	99
Figura 4.11 – Curvas deformação específica vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos dos pinos P16.	100
Figura 4.12 – Crescimento relativo de resistência dos pinos vs taxa de carregamento: a) escala logarítmica; b) escala linear.	102
Figura 4.13 – Curvas força vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos dos blocos B22.	104
Figura 4.13 – Curvas força vs tempo obtidas nos ensaios dinâmicos dos blocos B22 (continuação).	105
Figura 4.14 – Esquema de obtenção do ângulo de inclinação da superfície de ruptura.	108
Figura 4.15 – Perfil do cone de ruptura dos modelos ensaiados.	108
Figura 4.15 – Perfil do cone de ruptura dos modelos ensaiados (contin).	109
Figura 4.15 – Perfil do cone de ruptura dos modelos ensaiados (contin).	110
Figura 4.16 – Crescimento relativo da carga de ruptura do cone de concreto vs taxa de carregamento: a) escala logarítmica; b) escala linear.	114
Figura B.1 – Pino utilizado nos ensaios preliminares.	128
Figura C.1 – Resposta força vs tempo do sistema com pino P16: a) sem neoprene; b) com neoprene.	129
Figura C.2 – Resposta força vs tempo do sistema com bloco de concreto.	130

Figura D.1 – Curvas típicas tensão vs. deformação específica obtidas nos ensaios dinâmicos dos chumbadores P16.	131
Figura D.1 – Curvas típicas tensão vs. deformação específica obtidas nos ensaios dinâmicos dos chumbadores P16 (continuação).	132
Figura D.2 – Curvas típica deformação específica vs. tempo obtidas nos ensaios dinâmicos dos chumbadores P16.	132
Figura D.2 – Curvas típica deformação específica vs. tempo obtidas nos ensaios dinâmicos dos chumbadores P16 (continuação).	133
Figura D.3 – Curvas força vs. deformação específica no chumbador obtidas nos ensaios dos blocos B22.	133
Figura D.3 – Curvas força vs. deformação específica no chumbador obtidas nos ensaios dos blocos B22 (continuação).	134
Figura D.3 – Curvas força vs. deformação específica no chumbador obtidas nos ensaios dos blocos B22 (continuação).	135
Figura D.4 – Curvas deformação específica no chumbador vs. tempo obtidas nos ensaios dos blocos B22.	135
Figura D-4 – Curvas deformação específica no chumbador vs. tempo obtidas nos ensaios dos blocos B22 (continuação).	136
Figura E.1 – Superfície de ruptura dos blocos a) B22EST-11 e b) B22EST-9.	137
Figura E.2 – Superfície de ruptura dos blocos a) B22EST-I-5 e b) B22EST-I-6.	137
Figura E.3 – Superfície de ruptura dos blocos a) B22W180H100-MOLA-3 e b) B22W180H100-MOLA-4.	138
Figura E.4 – Superfície de ruptura dos blocos a) B22W100H220-7 e b) B22W100H220-8.	138
Figura E.5 – Superfície de ruptura dos blocos a) B22W180H220-1; b) B22W180H220-2 e c) B22W180H220-13.	139

## Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Identificação e nomenclatura dos blocos de concreto B22 ensaiados.	61
Tabela 3.2 – Corpos-de-prova ensaiados à compressão diametral.	61
Tabela 3.3 - Identificação e nomenclatura dos pinos P16 ensaiados.	62
Tabela 3.4 – Consumo de materiais por metro cúbico de concreto.	69
Tabela 3.5 – Consumo de materiais por metro cúbico de concreto.	69
Tabela 3.6 – Resultado da verificação da eficiência da solda.	82
Tabela 4.1 – Resultados dos ensaios de compressão simples do concreto.	90
Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios de tração do concreto por compressão diametral.	91
Tabela 4.3 – Resultados gerais obtidos nos ensaios dos pinos.	96
Tabela 4.4 – Resultados gerais obtidos nos ensaios dos blocos de concreto.	104
Tabela 4.5 – Comparação da área superficial experimental com área superficial teórica.	107
Tabela 4.6 – Ângulos de inclinação dos cones de ruptura.	110
Tabela 4.7 – Comparação dos valores da força normalizada obtidos nos ensaios estáticos com os valores das forças normalizadas estimadas pelos métodos de cálculo.	111
Tabela 4.8 – Relação entre os valores das forças experimentais normalizadas e os valores das forças normalizadas previstas pelo Método CCD.	113
Tabela A.1 – Valores de resíduos passantes e retidos - agregado miúdo.	124
Tabela A.2 – Valores de resíduos passantes e retidos - agregado miúdo.	125
Tabela B.1 – Resultados dos ensaios preliminares.	128
Tabela C.1 – Resultados da determinação do período natural do sistema com pinos P16.	130
Tabela C.2 – Resultados da determinação do período natural do sistema com bloco de concreto.	130
Tabela E.1 – Dados das superfícies de ruptura dos blocos.	140

## Lista de símbolos

$\alpha$	Relação entre as propriedades de duas barras
$A$	Área da seção transversal de um elemento
$A_1$	Área da seção transversal da barra 1
$A_2$	Área da seção transversal da barra 2
$A_{35^\circ}$	Área da superfície de ruptura projetada da pirâmide de tensão de $35^\circ$
$A_b$	Área digitalizada da superfície do bloco
$A_c$	Área da superfície do cone de ruptura
$A_m$	Área de fusão do material base
$A_p$	Área digitalizada da superfície de ruptura
$A_r$	Área real da superfície do bloco
$A_{rp}$	Área real da superfície de ruptura
$A_{rp,m}$	Área média da superfície de ruptura real
$A_s$	Área da seção transversal de um chumbador
$A_w$	Área de fusão do metal de solda
$\delta$	Flecha na extremidade de uma viga em balanço
$\Delta t$	Tempo de carregamento
$d$	Diâmetro do corpo-de-prova cilíndrico
$d_u$	Diâmetro da cabeça do chumbador
$\varepsilon$	Deformação específica
$\varepsilon_y$	Deformação específica de início de escoamento
$\varepsilon_{elast}$	Deformação específica elástica
$E$	Módulo de elasticidade de um material
$E_1$	Módulo de elasticidade da barra 1
$E_2$	Módulo de elasticidade da barra 2
$E_{cin}$	Energia cinética
$E_{def}$	Energia potencial de deformação
$E_{elast}$	Energia potencial elástica
$\phi$	Fator dinâmico dado pela Resistência dos Materiais
$\phi_m$	Fator de resistência do metal base
$\phi_w$	Fator de resistência do metal de solda
$f_c$	Resistência à compressão obtida em corpos-de-prova cilíndricos

$f_{cc}$	Resistência à compressão simples obtida em cubos de concreto
$f_{cm}$	Resistência média à compressão do concreto no dia de ensaio
$f_{cm28}$	Resistência média à compressão do concreto aos 28 dias
$f_{ct}$	Resistência à tração do concreto agindo no cone de ruptura
$f_{t,est}$	Resistência à tração estática do concreto
$f_{t,est,m}$	Resistência média à tração estática do concreto
$f_{t,din}$	Resistência à tração dinâmica do concreto
$F$	Força máxima obtida nos ensaios de compressão diametral
$F_{max}$	Força máxima obtida experimentalmente
$F_u$	Resistência à tração do metal base
$F_w$	Resistência à tração do metal de solda
$F_{início}$	Força de início de carregamento obtida experimentalmente
$F_I$	Força incidente
$F_R$	Força Refletida
$F_T$	Força Transmitida
$F_u$	Força de ruptura do chumbador
$g$	Aceleração da gravidade
$h$	Altura de queda de um corpo
$h_{ef}$	Comprimento efetivo de ancoragem
$h_{nom}$	Comprimento nominal de ancoragem
$l$	Comprimento do corpo-de-prova cilíndrico
$L$	Comprimento do pino de ancoragem
$m$	Massa de um corpo
$m_1$	Massa da barra 1
$m_2$	Massa da barra 2
$\bar{m}$	Massa por unidade de comprimento
$N_{u,ACI,norm}$	Carga de ruptura estimada pelo método do ACI normalizada
$N_{u,BODE,norm}$	Carga de ruptura estimada pelo método do BODE normalizada
$N_{u,CCD,norm}$	Carga de ruptura estimada pelo método do CCD normalizada
$N_{u,ACI}$	Carga de ruptura estimada pelo método do ACI
$N_{u,BODE}$	Carga de ruptura estimada pelo método de Bode <i>et alii</i>
$N_{u,CCD}$	Carga de ruptura estimada pelo método CCD
$N_{u,norm}$	Carga de ruptura obtida experimentalmente normalizada
$P$	Força aplicada num elemento
$\theta$	Ângulo de inclinação do cone de ruptura
$\rho$	Massa específica do material

$\sigma$	Tensão aplicada à uma barra uniforme
$\sigma_{\text{elast}}$	Tensão elástica
$\sigma_y$	Tensão de início de escoamento
$\sigma_{\text{max}}$	Tensão máxima obtida experimentalmente
TC	Taxa de carregamento
v	Velocidade de um corpo em queda livre
V	Velocidade de propagação de ondas num material
$V_r$	Força resistente
W	Trabalho realizado por uma força aplicada