



Fernanda Otto Springer

**Ensaio de arrancamento de grampos
em solo residual de gnaisse**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor pelo Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientadores: Alberto Sampaio Ferraz Jardim Sayão
Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Rio de Janeiro
Janeiro de 2006



Fernanda Otto Springer

**Ensaio de arrancamento de grampos
em solo residual de gnaisse**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Alberto Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Orientador
PUC-Rio

Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Coppe/UFRJ

Ennio Marques Palmeira

UnB

Franklin dos Santos Antunes

PUC-Rio

Milton Assis Kanji

USP

Sergio Augusto Barreto da Fontoura

PUC-Rio

José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 27 de Janeiro de 2006

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

Fernanda Otto Springer

Graduou-se em Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, em 1999. Ingressou no curso de mestrado em Geotecnia da PUC-Rio e desenvolveu uma dissertação sobre deformabilidade de estruturas grampeadas. Ingressou no curso de doutorado em Geotecnia em 2001, e atuou na área de geotecnia experimental, desenvolvendo pesquisa sobre ensaios de arrancamento de grampos. Até dezembro de 2005, publicou cinco artigos técnicos e participou de quatro congressos e simpósios em geotecnia.

Ficha Catalográfica

Springer, Fernanda Otto

Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss / Fernanda Otto Springer ; orientadores: Alberto Sampaio Ferraz Jardim Sayão, Anna Laura Lopes da Silva Nunes. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2006.

310 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Solo grampeado. 3. Ensaio de arrancamento. 4. Instrumentação. 5. Exumação de grampo. 6. Solo Residual. I. Sayão, Alberto Sampaio Ferraz Jardim. II. Nunes, Anna Laura Lopes da Silva. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. VI. Título.

CDD: 624

Dedico esta Tese de Doutorado a Marcelo Teixeira Lopes,
meu namorado, que durante
toda a pesquisa
me ofereceu:
Amor, amizade, acesso, admiração, afago, alegria, amparo, animação,
apoio,
apreço, atenção, companhia, compreensão, confiança, conforto,
coragem, criatividade, cuidado, cumplicidade, dedicação,
defesa, empenho, entusiasmo, estímulo, felicidade,
fidelidade, força, generosidade, intensidade,
lealdade, motivação, prazer, proteção,
respeito, satisfação, trabalho,
tolerância, valorização.
Enfim,
TUDO
A você, o meu sincero OBRIGADO.

Agradecimentos

Agradeço,

Aos meus pais que são meus maiores incentivadores. Em especial ao meu pai que me ajudou com as revisões, tabelas e desenhos.

Ao meu namorado Marcelo pelos finais de semana em que me deixou estudar, pelo respeito às minhas necessidades, ao total apoio e incentivo ao meu crescimento profissional. Também devo agradecer, e muito, pelo seu envolvimento direto no projeto de instrumentação da obra do Museu 1. Ajudou a projetar dispositivos, instalar na obra e também por colar mais de 150 *strain gages*. Sua colaboração foi fundamental.

Aos meus sogros que me acolheram em sua casa por quase um ano, para que eu pudesse ficar perto dos locais de instrumentação e de realização dos ensaios de arrancamento.

Ao Professor Alberto Sayão pelos conhecimentos transmitidos, dedicação na orientação deste trabalho, confiança oferecida, respeito e amizade construída. Nos últimos meses sua contribuição tornou-se ainda mais valiosa, com inúmeras orientações sobre conteúdo e formatação.

À Professora Anna Laura Nunes. Sempre esteve presente no desenvolvimento de todo o trabalho, incentivando, trocando opiniões, ensinando. Trabalhou como uma parceira sem impor suas opiniões. Foi um imenso prazer trabalhar com ela, a quem admiro muito e tenho um carinho enorme.

Aos funcionários do galpão da SEEL, Alex, Wilson, Greice, Ludmila, Lassir, Henrique, Júlio e Arnô que sempre foram muito atenciosos comigo. E aos da obra, em especial ao Edinho, Liduíno e Paulo.

Ao Engenheiro Luiz Eduardo (SEEL), sempre tão educado procurando me atender da melhor forma possível.

Ao Dudu França (SEEL) pelo envolvimento nos ensaios de arrancamento. Virou até ilustração da tese por sua participação.

Ao Engenheiro Fernandinho (SEEL) por dividir o uso do macaco comigo.

Ao Engenheiro Paulo Henrique Dias, que foi parceiro, amigo, incentivador e crítico no desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço também pelas fotos que me permitiu obter com sua câmera fotográfica.

À empresa SEEL e ao Engenheiro Fernando França pela iniciativa de ajudar no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus novos amigos da Coppe, Alex e Marcelinho que me ajudaram

muito, em especial, com as exumações.

Ao André pelas vezes em que me ajudou nesta pesquisa.

Ao Tiago e ao Saré por compartilharem conhecimentos e pela amizade solidificada.

Aos funcionários do laboratório de geotecnia da PUC-Rio, Amaury e Josué pela dedicação.

Aos técnicos/engenheiros de instrumentação da Coppe, Hélcio, Luiz Mario e Ricardo Gil que me auxiliaram com o sistema de aquisição de dados.

Aos funcionários do DEC, Ana Roxo, Rita, Fátima, Lenílson e Cristiano, pelo apoio constante.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro no desenvolvimento do doutorado.

A todos os demais colegas da PUC-Rio pela convivência amigável.

Resumo

Springer, Fernanda Otto; Sayão, Alberto Sampaio Ferraz Jardim; Nunes, Anna Laura Lopes da Silva. **Ensaio de arrancamento de grampos em solo residual de gnaiss.** Rio de Janeiro, 2005. 310p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A utilização de inclusões passivas para reforços de solos, comumente conhecida como solo grampeado, vem tendo aceitação crescente no meio geotécnico, em especial no sudeste do Brasil. Porém, esta técnica carece de estudos mais detalhados, em particular sobre a resistência ao arrancamento [q_s] e sobre a influência de parâmetros tais como o tempo de cura da calda de cimento, o número de injeções, a lavagem do furo e o tipo de solo. Assim, nesta pesquisa, estudou-se o comportamento tensão-deformação-resistência de grampos sob solicitação de arrancamento, em função do método de instalação. Foram considerados grampos com e sem pré-lavagem do furo, com uma ou duas injeções de nata de cimento, com três ou dez dias de cura. Os grampos foram executados em solo residual (maduro ou jovem) e em rocha alterada de gnaiss na cidade de Niterói, RJ. Esta pesquisa apresenta uma metodologia de instrumentação de grampos. O monitoramento das deformações dos *strain gages* distribuídos ao longo do comprimento dos grampos forneceu ferramentas para se analisar os mecanismos de distribuição de carga e deformação dos grampos. Esta pesquisa propõe ainda uma metodologia a ser adotada em ensaios de arrancamento de grampos, enfocando-se os detalhes executivos. Alguns dos grampos ensaiados foram exumados e os resultados são apresentados, destacando-se os aspectos da superfície de arrancamento, a uniformidade do diâmetro, a presença de fissuras no grampo, e a litologia dos materiais encontrados ao longo do comprimento do grampo. Uma das principais conclusões é a de que o arrancamento de grampos re-injetados (bainha + 1 injeção) executados em solo residual maduro forneceu resistência ao arrancamento em média 37% superior à do grampo com 1 injeção (bainha).

Palavras-chave

Solo Grampeado; Ensaio de arrancamento; Instrumentação; Exumação de grampo; Solo residual.

Abstract

Springer, Fernanda Otto; Sayão, Alberto Sampaio Ferraz Jardim (Advisor); Nunes, Anna Laura Lopes da Silva (Advisor). **Pullout tests of nails in gneissic residual soil**. Rio de Janeiro, 2005. 310p. DSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The use of passive inclusions for soil reinforcement, commonly known as soil nail, has experienced an increasing acceptance in the geotechnical projects, especially in the southeast of Brazil. However, this technique still lacks more detailed studies regarding the influence of different installation methods on the pullout resistance [q_s]. This research was focused on the study of stress-strain-strength behavior of nails under pullout loading, under different installation procedures. A comprehensive series of pullout tests was carried out on nails installed in holes with and without pre-washing procedures, with one or two consecutive pre-injection steps of cement mortar and with curing time of three or ten days. Test nails were installed in residual gneissic soils with different degrees of weathering along a profile in the same slope in the city of Niterói, Brazil. This methodology developed for the instrumentation of test nails is described in detail. Several strain gages were installed on the nails, for monitoring the strain distribution along the length of the nails. Some of the tested nails were exhumed and observed in detail. This investigation reveals the aspects of the soil-nail interface, with special attention to the uniformity in diameter to the presence of fissures along the nail, and the litology of materials found along the length of the nail. One of the main findings of this experimental investigation is that the re-injection of nails in residual soil resulted in an average increase of 37% of the pullout resistance q_s as compared to usual nails with no re-injection procedures. This research concludes with a proposal for a standard methodology to be adopted in nail's pullout tests.

Keywords

Soil nailing; Pullout test; Instrumentation; Nail's exhumation; Residual soil.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	25
1.1. IMPORTÂNCIA DA PESQUISA	25
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA	26
1.3. ORGANIZAÇÃO DA TESE	27
2 SOLO GRAMPEADO	30
2.1. DESCRIÇÃO DA TÉCNICA	30
2.1.1. <i>Execução do grampeamento</i>	35
2.1.2. <i>Grampo Injetado</i>	35
2.1.3. <i>Grampo Cravado</i>	39
2.2. GEOMETRIA DO GRAMPO.....	40
2.3. PROTEÇÃO DA FACE DA ESCAVAÇÃO.....	41
2.4. MEDIDAS PREVENTIVAS QUANTO À PRESENÇA DE ÁGUA	44
2.5. COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	47
2.5.1. <i>Solo Grampeado e Cortina Ancorada</i>	47
2.5.2. <i>Solo Grampeado e Terra armada</i>	48
2.6. VANTAGENS.....	50
2.7. LIMITAÇÕES	52
2.8. MODELOS DE ANÁLISE E MÉTODOS DE PROJETO	52
2.9. COMPORTAMENTO MECÂNICO DO GRAMPO.....	55
2.10. CORRELAÇÕES EMPÍRICAS	56
2.11. PESQUISAS SOBRE SOLO GRAMPEADO NO BRASIL.....	61
3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA E MECANISMOS DE RUPTURA	66
3.1. TIRANTES.....	66
3.1.1. <i>Ruptura da barra do tirante</i>	68
3.1.2. <i>Ruptura do contato tirante-nata</i>	71
3.1.3. <i>Ruptura do contato nata-maciço</i>	73
3.2. ESTACAS.....	77
3.2.1. <i>Provas de cargas e instrumentação</i>	77
3.2.2. <i>Mecanismos de ruptura de estacas em rocha</i>	80
4 ENSAIOS DE ARRANCAMENTO DE GRAMPOS	88
4.1. ENSAIO TÍPICO	88
4.2. ESQUEMA DE MONTAGEM.....	90
4.3. FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO	91

4.4. QUANTIDADE DE ENSAIOS	92
4.5. ACESSÓRIOS DE ENSAIO	94
4.6. COMPRIMENTO LIVRE E COMPRIMENTO INJETADO	95
4.7. METODOLOGIA DE CARREGAMENTO	96
4.8. RE-INJEÇÃO DE GRAMPOS	98
4.9. INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS	98
4.10. RESULTADOS DA LITERATURA.....	102
4.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	121
5.1. GEOLOGIA DAS ÁREAS DE ESTUDO	121
5.2. ENSAIOS DE LABORATÓRIO	126
5.3. ENSAIOS DE CAMPO.....	128
5.3.1. <i>Influência do número de injeções</i>	131
5.3.2. <i>Influência do tipo de injeção</i>	131
5.3.3. <i>Influência do tempo de cura</i>	132
5.3.4. <i>Influência do efeito da pré-lavagem</i>	132
5.4. METODOLOGIA DE EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.....	132
5.5. INSTRUMENTAÇÃO DOS GRAMPOS.....	137
5.5.1. <i>Materiais adotados</i>	137
5.5.2. <i>Instalação dos strain gages</i>	140
5.5.3. <i>Leitura dos strain gages</i>	149
5.5.4. <i>Aquisição de dados</i>	151
6 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ARRANCAMENTO	153
6.1. ENSAIO DE ARRANCAMENTO FV-01	153
6.2. ENSAIO DE ARRANCAMENTO FV-02	154
6.3. ENSAIO DE ARRANCAMENTO FV-03	155
6.4. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-01	156
6.5. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-02A	157
6.6. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-02B	158
6.7. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-03.....	160
6.8. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO M1-04 E M1-05.....	161
6.9. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-06.....	163
6.10. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-07	165
6.11. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-08.....	166
6.12. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-09.....	167
6.13. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-10.....	168
6.14. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO M1-11, M1-12, M1-13 E M1-14.....	169
6.15. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-15.....	174
6.16. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO M1-16 E M1-17	174

6.17. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-18.....	176
6.18. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO M1-19A E M1-19B	178
6.19. ENSAIO DE ARRANCAMENTO M1-20.....	180
6.20. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO M2-01 E M2-02	181
7 EXUMAÇÃO DE GRAMPOS	184
7.1. OBRA FAGUNDES VARELA [FV]	184
7.2. OBRA MUSEU 1 [M1].....	192
8 ANÁLISES DOS RESULTADOS	206
8.1. CALIBRAÇÕES DOS GRAMPOS INSTRUMENTADOS	206
8.2. ENSAIOS DE LABORATÓRIO	214
8.2.1. Amostras da obra Fagundes Varela.....	214
8.2.2. Amostras da obra Museu 1	217
8.2.3. Amostras da obra Museu 2	222
8.3. ENSAIOS DE ARRANCAMENTO	226
8.4. ANÁLISE DOS FATORES DE INFLUÊNCIA	234
8.4.1. Influência da re-injeção (bainha + 1 injeção).....	234
8.4.2. Influência do tipo de re-injeção (bainha + 1 injeção).....	236
8.4.3. Influência da pré-lavagem do furo.....	238
8.4.4. Influência do tempo de cura da nata de cimento.....	241
8.5. CORRELAÇÕES EMPÍRICAS.....	244
9 CONCLUSÃO	250
9.1. CONCLUSÕES	250
9.2. RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	256
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	258
11 APÊNDICE 1 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ARRANCAMENTO	269
11.1. CURVAS CARGA X DESLOCAMENTO NA CABEÇA DO GRAMPO	269
11.2. GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DE CARGA AO LONGO DO GRAMPO	283
12 APÊNDICE 2 – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DAS BARRAS	300
12.1. CALIBRAÇÃO 01 – GRAMPO M2-01	301
12.2. CALIBRAÇÃO 02– GRAMPO M2-02	306

Lista de figuras

<i>Figura 1 - Aplicações da técnica do solo grampeado (GeoRio, 1999)</i>	31
<i>Figura 2 - Etapas construtivas de muros de solo grampeado (adaptado de Clouterre, 1991)</i>	34
<i>Figura 3 - Detalhes dos grampos injetados (adaptado de ABMS / ABEF, 1999)</i>	37
<i>Figura 4 – Tipos de cabeça de grampos</i>	39
<i>Figura 5 - Máquina ou bomba de projeção por via seca (GeoRio, 1999)</i>	42
<i>Figura 6 - Projetado via seca</i>	43
<i>Figura 7 - Projetado via úmida</i>	43
<i>Figura 8 - Detalhe do dreno profundo (ABMS / ABEF, 1999)</i>	46
<i>Figura 9 - Detalhe dos drenos tipo barbacã e de paramento (ABMS / ABEF, 1999)</i>	46
<i>Figura 10 - Mecanismos de transferência de carga (ABMS / ABEF, 1999)</i>	47
<i>Figura 11 - Deslocamentos horizontais de muros (Schlosser, 1983)</i>	49
<i>Figura 12 - Mobilização de esforços nos grampos nas zonas ativa e passiva</i>	53
<i>Figura 13 – Correlação q_s, p_1 e $N(SPT)$ (Bustamante e Doix, 1985)</i>	57
<i>Figura 14 – Correlação entre q_s e número de golpes $N(SPT)$ (Ortigão e Palmeira, 1997)</i>	58
<i>Figura 15 – Tensão normal x Fator de carga (λ_1 e λ_1^*) (Proto Silva, 2005)</i>	60
<i>Figura 16 – Tensão normal x Coeficiente de interface (α) (Proto Silva, 2005).</i>	61
<i>Figura 17 – Curva carga x deslocamento do ensaio de verificação de carga atuante</i>	67
<i>Figura 18 - Mecanismos de ruptura de ancoragens (adaptado de Benmokrane, 1986)</i>	68
<i>Figura 19 - Mecanismo de transferência de carga do tirante à nata (Hanna, 1982)</i>	72
<i>Figura 20 – Transferência de carga em estacas instrumentadas (Albuquerque, 2001)</i>	79
<i>Figura 21 – Bulbos do primeiro trecho da estaca Hélice Contínua (Albuquerque, 2001)</i>	80
<i>Figura 22 - Estaca embutida em rocha sob carregamento axial (Johnston e outros, 1987)</i>	81
<i>Figura 23 - Fraturas de tração nas raízes das asperezas (Hassam e O'Neil, 1997)</i>	82
<i>Figura 24 - Idealização dos estágios de transferência de carga (Hassam e O'Neil, 1997)</i>	83
<i>Figura 25 – Mecanismos de ruptura da adesão (Uijl e Bigaj, 1996)</i>	85
<i>Figura 26 - Tensões principais e superfícies de ruptura (Leonhardt e Mönning, 1973)</i>	85
<i>Figura 27 - Superfícies de ruptura próximo à ranhuras (Leonhardt e Mönning, 1973)</i>	86
<i>Figura 28 – Rugosidades dos modelos reduzidos estaca-rocha (Nunes e Castilhos, 2002).</i>	87
<i>Figura 29 – Modo de ruptura da estaca de fuste rugoso (Nunes e Castilhos, 2002).</i>	87
<i>Figura 30 – Tração no grampo (Ortigão e outros, 1993)</i>	88
<i>Figura 31 – Curva deslocamento x força de um ensaio de arrancamento (Clouterre, 1991)</i>	90
<i>Figura 32 - Montagem do ensaio de arrancamento (adaptado de Lazart e outros, 2003)</i>	91
<i>Figura 33 – Ensaio de arrancamento de grampos preliminares (Clouterre, 1991)</i>	95
<i>Figura 34 – Curva típica de ensaio de arrancamento de grampo (Couto, 2002)</i>	99
<i>Figura 35 - Critério de ruptura de arrancamento de grampos (Clouterre, 1991)</i>	100
<i>Figura 36 - Lei de mobilização da resistência ao arrancamento (Frank e Zhao, 1982)</i>	100

<i>Figura 37 - Distribuição de deformação em grampo longo de 12m (Clouterre, 1991)</i>	101
<i>Figura 38 - Distribuição teórica de carga em grampo curto de 3m (Clouterre, 1991)</i>	101
<i>Figura 39 - Distribuição teórica de carga em grampo longo de 12m (Clouterre, 1991).</i>	101
<i>Figura 40 – Localização das obras Museu 1 e 2 (Morro do Palácio) e Fagundes Varela</i>	122
<i>Figura 41 – Visão global das obras Museu 1 e 2</i>	123
<i>Figura 42 – Mapeamento geológico-geotécnico do Museu 1 – Talude superior (adaptado de Gomes Silva, 2006)</i>	125
<i>Figura 43 – Mapeamento geológico-geotécnico do Museu 1 – Talude inferior (adaptado de Gomes Silva, 2006)</i>	126
<i>Figura 44– Mapeamento geológico-geotécnico do Museu 2 (adaptado de Gomes Silva, 2006)</i>	126
<i>Figura 45 – Localização dos ensaios de arrancamento executados nas 3 obras</i>	130
<i>Figura 46 – Montagem do sistema de ensaio de arrancamento de grampo</i>	133
<i>Figura 47 - Colocação de espuma na barra de aço para garantia do trecho livre</i>	134
<i>Figura 48 - Suporte externo para apoio do extensômetro</i>	134
<i>Figura 49 - Inserção dos componentes de um grampo tipo re-injetado no furo</i>	135
<i>Figura 50 - Esquema da instrumentação da barra de aço e do grampo</i>	138
<i>Figura 51 – Strain gage colável, modelo unidirecional simples de forma tradicional</i>	138
<i>Figura 52 – Insumos e ferramentas da instrumentação</i>	140
<i>Figura 53 – Marcação da distribuição dos strain gages ao longo da barra</i>	141
<i>Figura 54 – Marcação do alinhamento das Barras CA50</i>	141
<i>Figura 55 – Marcação do alinhamento nas barras INCO-13-D rosqueadas</i>	142
<i>Figura 56 – Preparação da superfície por meio de usinagem das barras</i>	143
<i>Figura 57 – Limpeza da superfície polida para recebimento do strain gage</i>	144
<i>Figura 58 – Colagem da fita adesiva FK-1 alinhada ao eixo do strain gage</i>	144
<i>Figura 59 – Colagem da fita adesiva à barra de aço</i>	144
<i>Figura 60 – Retirada da fita adesiva FK-1</i>	145
<i>Figura 61 – Colagem do terminal à barra de aço</i>	145
<i>Figura 62 – Seleção e corte dos pares de fios de ligação dos strain gages</i>	146
<i>Figura 63 – Soldagem dos fios dos strain gages aos terminais e ao cabo</i>	147
<i>Figura 64 – Verificação do cabeamento do strain gage e da transmissão de sinal</i>	147
<i>Figura 65 – Detalhe da araldite aplicada</i>	148
<i>Figura 66 – Aplicação de Quilosa Sintex para proteção do strain gage e conexões</i>	149
<i>Figura 67 - Esquema de ligação dos equipamentos para aquisição de dados</i>	152
<i>Figura 68 – Sistema de montagem do ensaio de arrancamento FV-01</i>	153
<i>Figura 69 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento FV-01</i>	154
<i>Figura 70 – Sistema de montagem dos ensaios de arrancamento FV-02</i>	155
<i>Figura 71 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento FV-02</i>	155
<i>Figura 72 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento FV-03</i>	156
<i>Figura 73 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-01</i>	157
<i>Figura 74 – Utilização de cunhas na montagem do ensaio M1-02A</i>	157

<i>Figura 75 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-02A</i>	158
<i>Figura 76 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-02B</i>	159
<i>Figura 77 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-02B</i>	160
<i>Figura 78 – Luva presa à grade de reação no ensaio M1-03</i>	161
<i>Figura 79 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-03</i>	161
<i>Figura 80 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-04</i>	162
<i>Figura 81 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-05</i>	162
<i>Figura 82 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-05</i>	163
<i>Figura 83 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-06</i>	164
<i>Figura 84 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-06</i>	164
<i>Figura 85 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-07</i>	165
<i>Figura 86 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-07</i>	165
<i>Figura 87 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-08</i>	166
<i>Figura 88 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-08</i>	166
<i>Figura 89 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-09</i>	167
<i>Figura 90 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-09</i>	168
<i>Figura 91 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-10</i>	169
<i>Figura 92 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-10</i>	169
<i>Figura 93 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-11</i>	170
<i>Figura 94 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-12</i>	171
<i>Figura 95 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-12</i>	171
<i>Figura 96 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-13</i>	172
<i>Figura 97 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-14</i>	173
<i>Figura 98 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-15</i>	174
<i>Figura 99 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-16</i>	175
<i>Figura 100 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-16</i>	175
<i>Figura 101 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-17</i>	176
<i>Figura 102 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-18</i>	177
<i>Figura 103 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-18</i>	177
<i>Figura 104 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-19A</i>	178
<i>Figura 105 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-19A</i>	178
<i>Figura 106 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-19B</i>	179
<i>Figura 107 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-19B</i>	179
<i>Figura 108 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-20</i>	180
<i>Figura 109 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-20</i>	180
<i>Figura 110 – Cupinzeiro na região dos grampos M2-01 e M2-02 (Gomes Silva, 2006)</i>	182
<i>Figura 111 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M2-01</i>	182
<i>Figura 112 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M2-02</i>	183
<i>Figura 113 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M2-01</i>	183
<i>Figura 114 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M2-02</i>	183

<i>Figura 115 – Aspecto do grampo FV-03 após o ensaio e a exumação</i>	185
<i>Figura 116 – Curvas Carga x Deslocamento dos grampos exumados FV-02 e FV-03</i>	186
<i>Figura 117 – Histogramas de distribuição granulométrica do solo do grampo FV-02</i>	188
<i>Figura 118 – Histograma de distribuição granulométrica do solo do grampo FV-03</i>	188
<i>Figura 119 – Aspecto dos bulbos e diâmetros dos grampos exumados (FV-02 e FV-03)</i>	189
<i>Figura 120 – Aspecto da re-injeção e diâmetro do bulbo para o grampo FV-02</i>	191
<i>Figura 121 – Aspecto da re-injeção e diâmetro do bulbo para o grampo FV-03</i>	191
<i>Figura 122 – Fissuras transversais encontradas no grampo exumado FV-03</i>	191
<i>Figura 123 – Fissuras transversais encontradas no grampo exumado FV-02</i>	192
<i>Figura 124 - Curvas Carga x Deslocamento dos grampos exumados M1-19 e M1-20</i>	194
<i>Figura 125 – Histograma de distribuição granulométrica do solo do grampo M1-19</i>	196
<i>Figura 126 – Histograma de distribuição granulométrica do solo do grampo M1-20</i>	196
<i>Figura 127 – Diâmetros ao longo dos grampos exumados M1-19 e M1-20</i>	197
<i>Figura 128 – Ineficiência da espuma no preenchimento total do furo com nata</i>	198
<i>Figura 129 – Evidências do arrancamento no contato barra/nata</i>	198
<i>Figura 130 – Diâmetros ao longo dos grampos M1-19 e M1-20 – de 0 a 4m</i>	200
<i>Figura 131 – Diâmetros ao longo dos grampos M1-19 e M1-20 – de 4 a 0m</i>	201
<i>Figura 132 – Fraturas, bulbo e exsudação dos grampos M1-19 e M1-20 - fotos do topo</i>	202
<i>Figura 133 – Fraturas, bulbo e exsudação dos grampos M1-19 e M1-20 - fotos da base</i>	203
<i>Figura 134 - Ruptura no contato barra/nata para ranhuras pouco espaçadas</i>	204
<i>Figura 135 – Detalhe da montagem do equipamento para calibração das barras de aço</i>	207
<i>Figura 136 – Curvas de calibração da barra de aço instrumentada M2-01</i>	208
<i>Figura 137 – Curvas de calibração da barra de aço instrumentada M2-02]</i>	209
<i>Figura 138 - Curvas de Deformação x Carga da calibração da barra M2-01</i>	212
<i>Figura 139 - Curvas de Deformação x Carga da calibração da barra M2-02</i>	213
<i>Figura 140 – Distribuição granulométrica do solo da Fagundes Varela</i>	215
<i>Figura 141 – Curvas do ensaio de cisalhamento direto – Solo da Fagundes Varela</i>	216
<i>Figura 142 – Envoltórias de resistência do solo da Fagundes Varela</i>	217
<i>Figura 143 – Envoltórias de resistência do solo do Museu 1</i>	218
<i>Figura 144 – Distribuição granulométrica do solo do Museu 1</i>	219
<i>Figura 145 – Curvas do ensaio de cisalhamento direto – Solo do Museu 1</i>	220
<i>Figura 146 – Valores do coeficiente de rugosidade da junta - JRC (Barton e Choubey, 1977)</i>	222
<i>Figura 147 – Curva granulométrica do solo do Museu 2</i>	223
<i>Figura 148 – Cisalhamento direto do solo natural do Museu 2 (Proto Silva, 2005)</i>	224
<i>Figura 149 – Cisalhamento direto do solo submerso do Museu 2 (Proto Silva, 2005)</i>	225
<i>Figura 150 – Envoltórias de resistência do solo do Museu 2 (Proto Silva, 2005)</i>	226
<i>Figura 151 – Fases de mobilização de resistência ao arrancamento em curva Carga x Deslocamento típica</i>	230
<i>Figura 152 – Lei de mobilização da resistência ao arrancamento de grampos</i>	231
<i>Figura 153 – Distribuição típica de carga ao longo do grampo (contato grampo-solo)</i>	232

<i>Figura 154 – Curva típica de Carga x Deslocamento de ensaio de arrancamento no contato barra-nata</i>	233
<i>Figura 155 – Distribuição típica de carga ao longo do grampo (contato barra-nata)</i>	233
<i>Figura 156 - Influência da re-injeção em ensaios de arrancamento de grampos em solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada) – Solo 3</i>	235
<i>Figura 157 - Influência da re-injeção em ensaios de arrancamento de grampos em solo residual jovem (silte areno-argiloso amarelo) – Solo 5</i>	236
<i>Figura 158 – Influência do tipo de re-injeção em ensaios de arrancamento de grampos em solo residual jovem – Solo 2</i>	237
<i>Figura 159 - Influência do tipo de re-injeção em ensaios de arrancamento de grampos em solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada) – Solo 3</i>	237
<i>Figura 160 - Influência do tipo de re-injeção em ensaios de arrancamento de grampos em rocha alterada (argila-arenosa marrom avermelhada) – Solo 6</i>	238
<i>Figura 161 - Influência da lavagem do furo em ensaios de arrancamento de grampos re-injetados em solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada) – Solo 3</i>	240
<i>Figura 162 - Influência da lavagem do furo em ensaios de arrancamento de grampos com bainha em solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada e silte-argiloso branco) - Solo 4</i>	240
<i>Figura 163 - Influência da lavagem do furo em ensaios de arrancamento de grampos com bainha em solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada e silto-argiloso branco) - Solo 4</i>	241
<i>Figura 164 - Influência do tempo de cura da nata de cimento em ensaios de arrancamento de grampos em solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada) – Solo 3</i>	242
<i>Figura 165 - Influência do tempo de cura da nata de cimento em ensaios de arrancamento de grampos em solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada e silto-argiloso branco) - Solo 4</i>	243
<i>Figura 166 – Correlação entre q_s e número de golpes $N(SPT)$</i>	246
<i>Figura 167 – Correlação entre q_s e número de golpes $N(SPT)$ para solo residual de gnaiss</i>	247
<i>Figura 168 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento na FV-01</i>	270
<i>Figura 169 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento na FV-02</i>	270
<i>Figura 170 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento na FV-03</i>	271
<i>Figura 171 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-01</i>	271
<i>Figura 172 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-02A</i>	272
<i>Figura 173 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-02B</i>	272
<i>Figura 174 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-03</i>	273
<i>Figura 175 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-04</i>	273
<i>Figura 176 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-05</i>	273
<i>Figura 177 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-06</i>	274
<i>Figura 178 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-07</i>	274
<i>Figura 179 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-08</i>	274

<i>Figura 180 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-09</i>	275
<i>Figura 181 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-10</i>	275
<i>Figura 182 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-11</i>	276
<i>Figura 183 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-12</i>	276
<i>Figura 184 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-13</i>	277
<i>Figura 185 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-14</i>	278
<i>Figura 186 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-15</i>	279
<i>Figura 187 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-16</i>	279
<i>Figura 188 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-17</i>	280
<i>Figura 189 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-18</i>	280
<i>Figura 190 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-19A</i>	281
<i>Figura 191 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-19B</i>	281
<i>Figura 192 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M1-20</i>	281
<i>Figura 193 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M2-01</i>	282
<i>Figura 194 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento no M2-02</i>	282
<i>Figura 195 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-02A</i>	284
<i>Figura 196 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-02B</i>	285
<i>Figura 197 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-05</i>	286
<i>Figura 198 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-06</i>	287
<i>Figura 199 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-07</i>	288
<i>Figura 200 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-08</i>	289
<i>Figura 201 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-09</i>	290
<i>Figura 202 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-10</i>	291
<i>Figura 203 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-12</i>	292
<i>Figura 204 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-16</i>	293
<i>Figura 205 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-18</i>	294
<i>Figura 206 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-19A</i>	295
<i>Figura 207 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-19B</i>	296
<i>Figura 208 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-20</i>	297
<i>Figura 209 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M2-01</i>	298
<i>Figura 210 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M2-02</i>	299
<i>Figura 211 – Curva de Deslocamento x Carga – M2-01</i>	302
<i>Figura 212 – Curva Deformação x Carga do Ajuste (carregamento preliminar) – M2-01</i>	303
<i>Figura 213 – Curva Deformação x Carga do Descarregamento – M2-01</i>	304
<i>Figura 214 – Curva Deformação x Carga do Carregamento – M2-01</i>	305
<i>Figura 215 – Curva de Deslocamento x Carga – M2-02</i>	307
<i>Figura 216 – Curva Deformação x Carga do Ajuste (carregamento preliminar) – M2-02</i>	308
<i>Figura 217 – Curva Deformação x Carga do Descarregamento – M2-02</i>	309
<i>Figura 218 – Curva Deformação x Carga do Carregamento – M2-02</i>	310

Lista de tabelas

<i>Tabela 1 - Tipos de solos e alturas de escavação</i>	32
<i>Tabela 2 - Deslocamentos horizontais em muros de solo grampeado</i>	33
<i>Tabela 3 - Tipos de barras de aço (GeoRio, 1999)</i>	36
<i>Tabela 4 - Especificações de projeto com grampos injetados (adaptada de Ortigão, 1997)</i>	38
<i>Tabela 5 - Estruturas com face vertical e topo horizontal (adaptado de Clouterre, 1991)</i>	41
<i>Tabela 6 - Métodos de análise e modelos de ruptura (adaptado de Ortigão e outros, 1993)</i>	54
<i>Tabela 7 – Características das barras de aço (adaptado de Littlejohn e Bruce, 1975)</i>	69
<i>Tabela 8 - Recomendações para tirantes (adaptado de Littlejohn e Bruce, 1975)</i>	70
<i>Tabela 9 - Aderência nata-maciço (adaptado de Littlejohn e Bruce, 1975)</i>	76
<i>Tabela 10 – Número mínimo de ensaios de arrancamento (Clouterre, 1991)</i>	94
<i>Tabela 11 – Características do solo grampeado - Morro da Formiga (Ortigão e outros, 1992)</i>	104
<i>Tabela 12 – Características do solo grampeado da Rua Atí (Feijó e Ehrlich, 2001)</i>	105
<i>Tabela 13 – Características do solo grampeado da Cardoso Júnior (Feijó e Ehrlich, 2001)</i>	106
<i>Tabela 14 – Características do solo grampeado da obra 130 (Pitta e outros, 2003)</i>	107
<i>Tabela 15 – Características do solo grampeado da obra 268 (Pitta e outros, 2003)</i>	108
<i>Tabela 16 – Características do solo grampeado da obra 479 (Pitta e outros, 2003)</i>	109
<i>Tabela 17 – Características do solo grampeado da obra 479 (Pitta e outros, 2003)</i>	110
<i>Tabela 18 – Características do solo grampeado da obra 490 (Pitta e outros, 2003)</i>	111
<i>Tabela 19 – Características do solo grampeado da obra 355/500 (Pitta e outros, 2003)</i>	112
<i>Tabela 20 – Características do solo grampeado (Azambuja e outros, 2003)</i>	113
<i>Tabela 21 – Características do solo grampeado (Soares e Gomes, 2003)</i>	114
<i>Tabela 22 – Características do solo grampeado (Moraes e Arduíno, 2003)</i>	115
<i>Tabela 23 – Características do solo grampeado (Alonso e Falcone, 2003)</i>	116
<i>Tabela 24 – Características do solo grampeado (Souza e outros, 2005)</i>	117
<i>Tabela 25 – Características do solo grampeado do Morro do Palácio (Proto Silva, 2005)</i>	118
<i>Tabela 26 – Características do solo grampeado do Morro do Palácio (Proto Silva, 2005)</i>	119
<i>Tabela 27 - Descontinuidades do maciço do Morro do Palácio (Gomes Silva, 2006)</i>	124
<i>Tabela 28 – Ensaios de laboratório realizados em cada tipo de solo</i>	127
<i>Tabela 29 – Características dos ensaios de arrancamento dos grampos</i>	129
<i>Tabela 30 – Ensaios para estudo da influência do número de injeções</i>	131
<i>Tabela 31 – Tipos de re-injeção</i>	131
<i>Tabela 32 – Ensaios para estudo da influência do tempo de cura da injeção</i>	132
<i>Tabela 33 – Ensaios para estudo da influência da lavagem do furo</i>	132
<i>Tabela 34 – Características do extensômetro elétrico</i>	139
<i>Tabela 35 – Características dos terminais coláveis de ligação</i>	139
<i>Tabela 36 - Deformação dos strain gages x carga nos grampos</i>	151

<i>Tabela 37 – Características dos grampos FV-02 e FV-03</i>	186
<i>Tabela 38 – Resultados dos ensaios de arrancamento dos grampos FV-02 e FV-03</i>	186
<i>Tabela 39 – Resultados dos ensaios de laboratório dos solos do grampo FV-02</i>	187
<i>Tabela 40 – Resultados dos ensaios de laboratório dos solos do grampo FV-03</i>	187
<i>Tabela 41 – Características dos grampos M1-19 e M1-20</i>	193
<i>Tabela 42 – Resultados dos ensaios de arrancamento dos grampos M1-19 e M1-20</i>	193
<i>Tabela 43 – Resultados dos ensaios de laboratório do grampo M1-19</i>	195
<i>Tabela 44 – Resultados dos ensaios de laboratório do grampo M1-20</i>	195
<i>Tabela 45 – Resistência à compressão uniaxial da nata de cimento (Magalhães, 2005)</i>	205
<i>Tabela 46 – Resultados das calibrações das barras 1 e 2</i>	210
<i>Tabela 47 – Resumo das características do solo do bloco proveniente da FV</i>	214
<i>Tabela 48 – Resumo das características do solo do bloco proveniente do Museu 1</i>	218
<i>Tabela 49 – Ensaio de Rampa (adaptado de Gomes Silva, 2006)</i>	221
<i>Tabela 50 – Resumo das características do solo do Museu 2 (Proto Silva, 2005)</i>	223
<i>Tabela 51 – Características dos ensaios de arrancamento dos grampos</i>	227
<i>Tabela 52 – Resultados dos ensaios de arrancamento dos grampos com 1 injeção</i>	228
<i>Tabela 53 – Resultados dos ensaios de arrancamento dos grampos com 2 injeções</i>	228
<i>Tabela 54 – Resultados médios de eficiência de 2 injeções com relação a grampos que receberam apenas 1 injeção</i>	228
<i>Tabela 55 – Etapas dos ensaios de arrancamento dos grampos</i>	230
<i>Tabela 56 – Influência da re-injeção (bainha + 1 injeção) na resistência ao arrancamento</i>	235
<i>Tabela 57 – Influência do tipo de re-injeção (Bainha + 1 injeção)</i>	238
<i>Tabela 58 – Influência da lavagem do furo na resistência ao arrancamento</i>	239
<i>Tabela 59 – Influência do tempo de cura da nata na resistência ao arrancamento</i>	242
<i>Tabela 60 – Valores de N(SPT) referentes aos ensaios de arrancamento no Museu 1</i>	245
<i>Tabela 61 – Comparações entre os resultados experimentais e os obtidos pela relação de Proto Silva (2005)</i>	249

Lista de símbolos

- α : Coeficiente de interface
 a : Constante (entre 36 e 48)
 A : Área da seção transversal da barra de aço na região de colagem do *strain gage*
 C : Fator de conversão da célula de carga igual a 1668,658 [kgf/V]
 c' : Coesão do solo
 C_o' : Resistência à compressão uniaxial da nata
 c_a' : Adesão da interface solo/nata de cimento
 cc_{final} : Leitura final da célula de carga [V]
 $cc_{inicial}$: Leitura inicial da célula de carga [V]
 c_{nat} : Coesão da amostra natural
 c_{sub} : Coesão da amostra submersa
 δ : Deslocamento horizontal
 d : Diâmetro da barra de aço
 D : Diâmetro do furo de sondagem / Diâmetro da perfuração
 $\delta \sigma_h$: Acréscimo de tensão horizontal
 $\delta \sigma_v$: Acréscimo de tensão vertical
 δ' : Ângulo de atrito da interface solo/nata de cimento
 ΔL : Deslocamento axial do grampo durante o ensaio de arrancamento
 $\Delta L_{arrancamento}$: É o deslocamento correspondente à máxima força de ensaio
 $\Delta L_{cisalhamento}$: Na hipótese de ocorrer fase de cisalhamento, corresponde ao maior deslocamento de ensaio
 ΔL_{Ponte} : Variação de voltagem dos terminais da Ponte de Wheatstone
 ΔR : Variação de resistência do extensômetro elétrico
 ϵ : Deformação medida por *strain gage*
 E : Módulo de elasticidade (Young) do aço
 E_p : Eficiência da re-injeção no parâmetro P
 F : Força axial aplicada à barra de aço durante o ensaio de arrancamento
 F : Carga de tração aplicada ao grampo
 ϕ' : Ângulo de atrito do solo
 F_{max} : Máxima carga axial de tração cortante no grampo
 F_{max} : Carga máxima axial desenvolvida durante o ensaio de arrancamento
 ϕ_{nat} : Ângulo de atrito da amostra natural
 FS : Fator de sensibilidade ou GF (Gage Factor)
 FS_{medido} : Fator de segurança medido

- ϕ_{sub} : Ângulo de atrito da amostra submersa
- $FS_{\text{últ}}$: Fator de segurança último
- γ_{nat} : Peso específico da amostra natural
- G_S : Densidade real dos grãos
- H : Profundidade (altura) total de escavação
- h : Profundidade da aspereza
- l : Espaçamento da aspereza
- IP : Índice de Plasticidade
- k : Relação entre Carga de tração no grampo e deformação do *strain gage*
- k : Constante de correlação (F / ϵ)
- k : Constante de correlação (E . A)
- k_{β} : Coeficiente correspondente à inclinação inicial da curva de deslocamento x força
- L : Comprimento do grampo
- λ_1 : Fator de carga para solo residual jovem (areia-argilosa)
- λ_1^* : Fator de carga para solo residual maduro (argila-arenosa)
- L_A : Comprimento de ancoragem ou do bulbo ancorado
- L_{ancorado} : Comprimento ancorado ou injetado do grampo
- L_b : Comprimento do bulbo (zona passiva do grampo)
- LL : Limite de Liquidez
- LP : Limite de Plasticidade
- N-SPT : Índice de resistência à penetração. Número de golpes do ensaio SPT
- P : Carga de tração a ser suportada pelo tirante
- P : Carga de arrancamento
- p_1 : Pressão limite do pressiômetro Ménard
- $P_{1 \text{ injeção}}$: Valor do parâmetro com uma única injeção
- $P_{2 \text{ injeções}}$: Valor do parâmetro com duas injeções
- q_s : Resistência ao arrancamento
- $q_s (1)$: Resistência ao arrancamento obtida por ensaios de arrancamento
- $q_s (2)$: Resistência ao arrancamento calculada pela relação de Proto Silva (2005)
- $q_s (1 \text{ injeção})$: Resistência ao arrancamento de grampo com 1 injeção (Bainha)
- $q_s (2 \text{ injeções})$: Resistência ao arrancamento de grampo com 2 injeções (Bainha + 1 injeção)
- $q_s (\text{com pré-lavagem})$: Resistência ao arrancamento com pré-lavagem do furo
- $q_s (\text{cura 10 dias})$: Resistência ao arrancamento de grampo com 10 dias de cura da nata de cimento
- $q_s (\text{cura 3 dias})$: Resistência ao arrancamento de grampo com 3 dias de cura da nata de cimento
- $q_s (\text{re-injeção na boca})$: Resistência ao arrancamento de grampo re-injetado pela boca do furo
- $q_s (\text{re-injeção no comprimento})$: Resistência ao arrancamento de grampo re-injetado ao longo do comprimento

- Q_s (sem lavagem) : Resistência ao arrancamento sem lavagem do furo
 $Q_{s[\text{calculado}]}$: Resistência ao arrancamento calculada a partir da hipótese de Brown (1970)
 R : Resistência nominal do extensômetro elétrico
 σ : Tensão aplicada na barra de aço
 σ_{ensaio} : Tensão de ensaio
 σ_h : Tensão horizontal
 S_{min} : Seção mínima do tirante
 σ_n : Tensão normal aplicada ao grampo
 σ_r : Tensão de ruptura da barra do tirante
 σ_t : Tensão de trabalho ou admissível
 $\sigma_{\text{últ}}$: Tensão última
 σ_v : Tensão vertical
 t : Tempo
 τ : Tensão cisalhante
 t_0 : Tempo inicial de cada etapa de carregamento
 τ_{adm} : Tensão de aderência admissível rocha-nata
 $\tau_{\text{barra-nata}}$: Tensão de aderência ou de cisalhamento barra-nata
 T_{LE} : Carga limite estimada
 τ_m : Tensão de aderência média
 T_n : Carga axial de tração cortante no grampo
 $\tau_{\text{nata-maciço}}$: Tensão de aderência no contato nata-maciço
 τ_{ult} : Tensão de aderência última no contato barra-nata para barras lisas
 V : Voltagem de excitação da Ponte de Wheatstone

Lista de abreviaturas

- 3D : Tridimensional
- ABEF : Associação brasileira de estruturas de fundações
- ABNT : Associação brasileira de normas técnicas
- CLOUTERRE : French National Project CLOUTERRE
- COBRAE : Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas
- Coppe/UFRJ : Coordenação de programas de pós-graduação em engenharia civil da UFRJ
- CP-II-E-32RS : Cimento Portland do tipo (cimento composto com escória e resistente aos sulfatos)
- DIN : Norma alemã
- F1 : Família 1, ocasionalmente fraturado (<1 fratura por metro)
- F2 : Família 2, pouco fraturado (de 1 a 5 fraturas por metro)
- F3 : Família 3, medianamente fraturado (de 6 a 10 fraturas por metro)
- F4 : Família 4, muito fraturado (de 11 a 20 fraturas por metro)
- FLAC : Fast Lagrangian Analysis of Continua
- FRP : Fiber reinforced plastics
- FV : Obra da Rua Fagundes Varela
- FV-01 : Ensaio de arrancamento 01 na obra Fagundes Varela
- FV-02 : Ensaio de arrancamento 02 na obra Fagundes Varela
- FV-03 : Ensaio de arrancamento 03 na obra Fagundes Varela
- GeoRio : Fundação instituto de geotécnica do município do Rio de Janeiro
- IPT : Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
- JRC : Coeficiente de rugosidade da rocha
- LVDT's : Medidores elétricos de deslocamento
- M1 : Obra do Museu 1
- M1-01 : Ensaio de arrancamento 01 na obra Museu 1
- M1-02 : Ensaio de arrancamento 02 na obra Museu 1
- M1-03 : Ensaio de arrancamento 03 na obra Museu 1
- M1-04 : Ensaio de arrancamento 04 na obra Museu 1
- M1-05 : Ensaio de arrancamento 05 na obra Museu 1
- M1-06 : Ensaio de arrancamento 06 na obra Museu 1
- M1-07 : Ensaio de arrancamento 07 na obra Museu 1
- M1-08 : Ensaio de arrancamento 08 na obra Museu 1
- M1-09 : Ensaio de arrancamento 09 na obra Museu 1
- M1-10 : Ensaio de arrancamento 10 na obra Museu 1
- M1-11 : Ensaio de arrancamento 11 na obra Museu 1
- M1-12 : Ensaio de arrancamento 12 na obra Museu 1
- M1-13 : Ensaio de arrancamento 13 na obra Museu 1
- M1-14 : Ensaio de arrancamento 14 na obra Museu 1
- M1-15 : Ensaio de arrancamento 15 na obra Museu 1
- M1-16 : Ensaio de arrancamento 16 na obra Museu 1
- M1-17 : Ensaio de arrancamento 17 na obra Museu 1
- M1-18 : Ensaio de arrancamento 18 na obra Museu 1

- M1-19 : Ensaio de arrancamento 19 na obra Museu 1
- M1-20 : Ensaio de arrancamento 20 na obra Museu 1
- M2 : Obra do Museu 2
- M2-01 : Ensaio de arrancamento 01 na obra Museu 2
- M2-02 : Ensaio de arrancamento 02 na obra Museu 2
- MAC : Museu de Arte Contemporânea de Niterói
- MIT : Diagrama Trilinear de Solos
- NA : Nível d'água estabelecido
- Nat : Amostra de solo na umidade natural
- NATM : New Austrian tunnelling method
- NBR : Norma brasileira
- NE : Direção nordeste
- PUC-Rio : Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
- R1 : Rugosidade de fuste 1
- R2 : Rugosidade de fuste 2
- R3 : Rugosidade de fuste 3
- R4 : Rugosidade de fuste 4
- SE : Direção sudeste
- SEEL : Serviços especiais de engenharia Ltda
- SEFE : Seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia
- SG 0 : *Strain gage* inicial ou zero, localizado a 0,5m a partir do início do trecho injetado
- SG1 : *Strain gage* 1, localizado a 1,0m do início do trecho injetado
- SG2 : *Strain gage* 2, localizado a 1,5m do início do trecho injetado
- SG3 : *Strain gage* 3, localizado a 2,0m do início do trecho injetado
- SG4 : *Strain gage* 4, localizado a 2,5m do início do trecho injetado
- SINDUSCON : Sindicato da indústria da construção civil do estado de São Paulo
- Solo 1 : Solo residual maduro vermelho
- Solo 2 : Solo residual jovem
- Solo 3 : Solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada)
- Solo 4 : Solo residual maduro (Argila-arenosa marrom avermelhada e silte-argiloso branco)
- Solo 5 : Solo residual jovem (silte areno-argiloso amarelo)
- Solo 6 : Rocha alterada (argila-arenosa marrom avermelhada)
- Solo 7 : Solo residual maduro (silte areno-argiloso amarelo)
- SPT : Standard penetration test
- Strain gage* 0 : *Strain gage* inicial ou zero, localizado a 0,5m a partir do início do trecho injetado
- Strain gage* 1 : *Strain gage* localizado a 1,0m a partir do início do trecho injetado
- Strain gage* 2 : *Strain gage* localizado a 1,5m a partir do início do trecho injetado
- Strain gage* 3 : *Strain gage* localizado a 2,0m a partir do início do trecho injetado
- Strain gage* 4 : *Strain gage* localizado a 2,5m a partir do início do trecho injetado
- Sub : Amostra de solo submerso
- SUCS : Sistema unificado de classificação de solos
- SW : Direção sudoeste
- UnB : Universidade de Brasília
- USP : Universidade de São Paulo