



**Iván José Benites Hipólito**

**Avaliação de Condições de Estabilidade do Aterro  
Metropolitano de Jardim Gramacho**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Tacio Mauro Pereira de Campos

Rio de Janeiro  
Setembro de 2010



**Iván José Benites Hipólito**

## **Avaliação de Condições de Estabilidade do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho**

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

**Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos**

Orientador

Departamento de Engenharia civil - PUC-Rio

**Prof. Eurípedes do Amaral Vargas Jr.**

Departamento de Engenharia civil - PUC-Rio

**Prof. Roberto Francisco de Azevedo**

Universidade Federal de Viçosa

**Prof. Eduardo Dell'Avanzi**

Universidade Federal do Paraná

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 17 de Setembro de 2010

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

**Iván José Benites Hipólito**

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidad Nacional de Ingeniería del Perú - UNI em 2000. Principais áreas de interesse: Geotecnia experimental, geomecânica computacional.

Ficha Catalográfica

Benites Hipólito, Iván José

Avaliação de Condições de Estabilidade do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho / Iván José Benites Hipólito ; orientador: Tacio M. P. de Campos. – 2010.

242 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2010.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Argila mole. 2. Ensaio de laboratório. 3. Aterro de resíduos sólidos urbano. 5. Análise de estabilidade. I. Campos, Tacio M. P. de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD 624

*Ao Deus pelo milagre da vida*

## **Agradecimentos**

À minha família por sempre terem apoiado em todas as minhas decisões e por terem me auxiliado da melhor forma possível a evitar os possíveis erros que surgem durante a vida, esta conquista também é de vocês.

Ao Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos pela sua dedicada orientação, amizade, paciência e todo o conhecimento transmitido ao longo desses anos.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, pelos ensinamentos.

Aos funcionários do laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio, William e Amauri, por estarem disponíveis sempre que precisei.

As minhas amigas de todas as horas, com quem pude contar para dividir as muitas alegrias e os momentos angustiantes no estudo e trabalho da pesquisa no laboratório, obrigado Liliana e Liset.

A todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, obrigado Alejandra, Tania, Taíse, Thais, Sandra Liliana, Roxana, Luis Fernando, Gino, Julio, Germán, Victor.

Aos meus amigos e colegas da PUC-Rio, pelo carinho e amizade.

Aos funcionarios do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, em especial a Rita por me ajudar sempre que foi necessário.

A CAPES, PRONEX e a PUC-Rio pelo apoio financeiro.

Aos componentes da banca, pelas sugestões e críticas construtivas feitas a este trabalho.

## Resumo

Iván José Benites Hipólito; de Campos Tácio Mauro Pereira (orientador)  
**Avaliação de Condições de Estabilidade do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho.** Rio de Janeiro, 2010. 242p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (AMG) é o local que recebe desde 1976 os resíduos sólidos gerados pelas atividades domésticas, além das comerciais e industriais da área metropolitana do Rio de Janeiro. Atualmente no AMG vem se desenvolvendo projetos de aterramento até o ano 2012, portanto, a estabilidade dos taludes do maciço cresce em importância e a presente dissertação está dirigida a compreender aspectos da análise de estabilidade do AMG. Nesse sentido, faz-se ênfase no comportamento da resistência dos materiais, fundamentalmente da fundação que é uma argila muito mole. Na área do AMG tem campanhas de ensaios do campo durante vários anos e em quantidade menor os ensaios laboratoriais. Neste trabalho são feitas atividades como a coleta e interpretação das sondagens desde 1992 até a campanha do ano 2009, esta informação é introduzida numa modelagem estratigráfica tridimensional, deles são gerados perfis bidimensionais para as análises de estabilidade, Outra atividade é interpretar informação do campo, ensaios de laboratório da campanha 2009 e realizar ensaios complementares na argila do local (compressão triaxial drenada e não drenada, cisalhamento direto e adensamento com medição do creep). A totalidade da informação é discutida obtendo correlações da resistência não drenada em base da teoria do estado critico. Os parâmetros geotécnicos do lixo são obtidos através das referências na literatura e retro-análises de taludes movimentados no local. Finalmente se avalia a estabilidade do AMG pelos métodos de equilíbrio limite e tensão deformação em termos de tensões totais e efetivas até chegar às geometrias finais projetadas.

## Palavras – chave

Argila mole; ensaios de laboratório; aterro de resíduo sólido urbano; análise de estabilidade.

## **Abstract**

Iván José Benites Hipólito; de Campos Tácio Mauro Pereira (advisor).  
**Evaluation of Stability Conditions of the Jardim Gramacho Landfill.**  
Rio de Janeiro, 2010. 242 p. M.Sc. Dissertation – Departamento de  
Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Metropolitan Landfill Jardim Gramacho (AMG) is the site since 1976 that receives solid waste generated by domestic activities, also of commercial and industrial metropolitan area of Rio de Janeiro. Currently in AMG is developing projects ground to the year 2012, so the stability of slopes of the massive gains in importance and this dissertation is aimed at understanding aspects of the stability analysis of the AMG. Thus, it is an emphasis on the behavior of resistance of materials, primarily from a foundation that is very soft clay. In the area of AMG has field test in explorations for several years and fewer laboratory tests. This work made activities such as collection and interpretation of surveys from 1992 to the exploration of 2009, this information is entered into a three-dimensional stratigraphic modeling, their profiles are generated for the two-dimensional stability analysis, Another activity is to interpret information from field trials Campaign 2009 laboratory and perform additional tests on the clay site (triaxial drained and undrained, direct shear and consolidation with measurement of creep). The totality of the information obtained is discussed correlations of resistance undrained in the base of critical state theory. The geotechnical parameters of garbage are obtained through the references in the literature and analysis of retro-crowded slopes at the site. Finally it assesses the stability of the AMG methods of limit equilibrium and stress-strain curves in terms of total stresses and effective to reach the final designed geometry.

## **Keywords**

Soft clay; soil laboratory test; urban solid waste landfill; stability analysis.

## Sumário

1	Introdução	24
2	Aspectos teórico-experimentais gerais	27
2.1.	Material de Fundação (argila)	27
2.1.1.	Teoria do Estado Crítico e Cam-Clay Modificado (CCM)	27
2.1.2.	Ensaio de Campo e Laboratório na Argila	30
2.1.2.1.	Ensaio de campo	30
2.1.2.2.	Ensaio de laboratório	34
2.2.	Resíduo sólido urbano (RSU)	39
2.3.	Análise de estabilidade	42
2.3.1.	Tipo de análise de estabilidade	42
2.3.2.	Método determinístico do análise de estabilidade	43
2.3.2.1.	Métodos de equilíbrio limite	43
2.3.2.2.	Tensão Deformação	48
3	Investigações desenvolvidas no AMG	51
3.1	Ensaio de campo	51
3.1.1.	Ensaio de SPT, Palheta, CPTU e Amostras Shelby	51
3.1.2.	Ensaio de Resistividade elétrica	54
3.2.	Ensaio de laboratório	55
3.3.	Modelagem estratigráfica	60
3.3.1.	Metodologia	60
3.3.2.	Informação gerada	62
3.4.	Aspectos Geológicos	66
4	Discussão dos Resultados	72
4.1.	Ensaio de campo	72
4.1.1.	SPT com medida de umidade	72
4.1.2.	CPTU	74
4.1.3.	Palheta	79
4.1.4.	Eletroresistividade	84
4.2.	Ensaio de laboratório	87
4.2.1.	Caracterização dos materiais da fundação	87



4.2.2. Efeitos de Amolgamento	95
4.2.3. Medida da sucção mátrica ( $\psi$ )	98
4.2.4. Compressibilidade, Adensamento e Permeabilidade	102
4.2.5. Resistência	116
4.3. Fator de correção de Su do campo	137
4.3.1. Retro-análise	137
4.3.2. Ensaio de laboratório e estado crítico	140
5 Análise de Estabilidade	145
5.1. Modelo geomecânico	145
5.1.1. Geometria e estratigrafia	145
5.1.2. Poro-pressão	147
5.1.3. Parâmetros geotécnicos	148
5.2. Cálculo do fator de segurança	158
5.2.1. Metodologia	158
5.2.2. Resultados das análises e discussão	162
6 Conclusões e sugestões para futuros trabalhos	173
6.1. Conclusões	173
6.2. Sugestões para futuros trabalhos	176
Referências Bibliográficas	178
Anexos	185

## Lista de figuras

Figura 1.1 - Localização geral do Aterro Metropolitano de Gramacho (AMG).	24
Figura 2.1 - Ensaio CTC para solos denso e fofo: a) curva $q$ - $\varepsilon_1$ ; b) curva $\varepsilon_v$ - $\varepsilon_1$ . Ibañez (2003).	28
Figura 2.2 - a) Resultado de ensaios CTC não drenados no plano $e - \ln(p)$ b) Ensaio CTC drenados no plano $p - q$ , Ibañez (2003).	29
Figura 2.3 - Superfície de escoamento (SE) e direção do fluxo plástico no modelo Cam Clay Modificado, Ibañez (2003).	29
Figura 2.4 - (a) ensaio SPT durante a cravação do amostrador padrão, e (b) avanço da perfuração por meio do trépano de lavagem (Ruver, 2005).	30
Figura 2.5 - Resumo das dimensões e procedimentos mais usados no ensaio de palheta, Januzzi (2009).	31
Figura 2.6 - Fator de correção para a resistência ao cisalhamento não drenada do ensaio da palheta (Bjerrum 1972).	32
Figura 2.7 - Piezocone com inclinômetro, sensor de temperatura e acelerômetro, Mondelli, (2004).	34
Figura 2.8 - Tensiômetro Tipo Imperial College (Ridley e Burland 1993).	35
Figura 2.9 - Plotagem conceitual para o efeito do amolgamento de amostras sobre a curva de compressão. (Hong & Onitsuka, 1998).	38
Figura 2.10 - Perfis do peso específico para aterros sanitários de resíduos sólidos convencionais, modificado de Zekkos et. Al. (2006).	41
Figura 2.11 - Esforços na fatia n.	43
Figura 2.12 - Distribuições de força entre fatias usadas por Morgenstern-Price.	44
Figura 2.13 - Distribuições de Influência do fator de escala no valor do Fator de Segurança.	47
Figura 2.14 - Superfície de ruptura completamente especificada (esquerda) e após otimização (direita).	48
Figura 3.1 - Investigações geotécnicas 1992-2009	52
Figura 3.2 - Cota do topo da argila (contato entre a argila e o RSU).	63
Figura 3.3 - Cota do topo da areia ou solo residual.	64

Figura 3.4 - Espessura total da camada de argila (argila A, B e solo de transição).	65
Figura 3.5 - Geologia regional no local do AMG (parcela do mapa a Escala 1/400000).	66
Figura 3.6 - Coluna estratigráfica do local do AMG.	67
Figura 3.7 - Planta geral e localização das seções N-S e E-W.	68
Figura 3.8 - Seção geológica N-S.	69
Figura 3.9 - Seção geológica W-E.	70
Figura 4.1 - Distribuição da umidade (%) e do peso específico saturado, na argila e no material de transição, com relação à profundidade.	73
Figura 4.2 - CPTU EC-03, EC-07, comparado com o ensaio da Palheta no mesmo local (corrigido com $\mu=0,62$ médio).	75
Figura 4.3 - CPTU EC-14, EC-23, comparado com o ensaio da Palheta no mesmo local (corrigido com $\mu=0,62$ médio).	76
Figura 4.4 - CPTU EC-03, EC-07, Distribuição na profundidade da tensão de pré-adensamento.	78
Figura 4.5 - CPTU EC-14, EC-23, Distribuição na profundidade da tensão de pré-adensamento.	79
Figura 4.6 - Distribuição na profundidade dos ensaios da palheta (dados totais sem correção na argila).	81
Figura 4.7 - Correlação $\sigma'_{\nu}-Su$ , dos ensaios de Palheta	82
Figura 4.8 - Distribuição da Sensitividade ( $S_t$ ) com a profundidade na argila.	84
Figura 4.9 - Linhas de eletroresistividade L-02 aba oeste, L-06 aba sul este.	85
Figura 4.10 - Distribuição na profundidade do teor de matéria orgânica e gravidade específica ( $G_s$ ).	88
Figura 4.11 - Distribuição na profundidade do teor de argila e do teor de finos (argila+silte)	89
Figura 4.12 - Carta de Plasticidade (modificado do Casagrande 1948, 1952)	90
Figura 4.13 - Distribuição na profundidade do IP (%)	91
Figura 4.14 - Correlações entre Sensitividade e IL (a), fração argila e IP (b)	92
Figura 4.15 - Estratigrafia do local de AMG.	93
Figura 4.16 - Sucção mátrica (papel filtro) da argila com a profundidade	96
Figura 4.17 - Envoltórias da linha virgem de campo e após as amostragens.	97
Figura 4.18 - Poro-pressão calculada (Skempton) e poro-pressão monitorada no	

campo (estático)	98
Figura 4.19 - Sucção do papel filtro, tensiômetro x umidade	100
Figura 4.20 - Tempo da resposta no tensiômetro.	101
Figura 4.21 - Tensão de pré-adensamento, $C_c$ , $C_e$ x umidade inicial no local do AMG.	104
Figura 4.22 - Variação do $C_v$ , $m_v$ , $k$ , com $\sigma'_v$ , no solo de argila, camada A.	107
Figura 4.23 - Variação do $C_v$ , $m_v$ , $k$ , vs $\sigma'_v$ , no solo da camada B, e o solo de transição ou solo residual (transição/residual).	108
Figura 4.24 - Linhas de compressão virgem da argila, transição e transição/residual.	110
Figura 4.25 - Avaliação de $R_p$ nas argilas A e B (a), e avaliação da nota $N$ , $SD\%$ na qualidade das amostras considerando dados totais (b).	113
Figura 4.26 - Coeficiente de compressão secundária ( $C_{\alpha e}$ ).	114
Figura 4.27 - Velocidade $\Delta e/\Delta t$ , E04/S23 7.0-7.60, na argila B, no ensaio de adensamento.	115
Figura 4.28 - Velocidade de deformação axial $\dot{\epsilon}$ e a resistência não drenada normalizada.	118
Figura 4.29 - Curva tensão-deformação E02/S07 a -6,8m, tensão efetiva de 60kPa. Curva de referência, sem correções da área e da membrana.	119
Figura 4.30 - Variação da poro-pressão e da tensão desviadora no tempo. Ensaio E02/S07 a -6,8m, tensão efetiva de 60kPa, na etapa de adensamento isotrópico. Curva de referência, sem correções da área e da membrana.	120
Figura 4.31 - Variação da carga estática na célula de carga durante sua calibração (a), Variação da carga na célula de carga e no anel de carga (b). Prensa 3.	122
Figura 4.32 - Adensamento isotrópico com e sem drenos (papel filtro) com o tempo. E02/S07 9,0-9,60 (-6,80m) tensão efetiva de 30kPa	123
Figura 4.33 - Adensamento Isotrópico CIU e linhas de compressão virgem.	124
Figura 4.34 - Correlações do $\Delta u_f$ (ruptura) e $p'_o$ dos ensaios CIU.	125
Figura 4.35 - Envoltória $p'_q$ da argila A, do AMG.	126
Figura 4.36 - Correlações $S_u$ (último) e o teor de umidade do solo A.	127
Figura 4.37 - Correlações entre $S_u$ máximo e teor de umidade no solo A	128
Figura 4.38 - Correlações $S_u$ (última) e o teor de umidade do solo A, corrigida pelo amolgamento	129

Figura 4.39 - Correlações $Su$ máximo (pico) e o teor de umidade do solo A, com correção pelo amolgamento	130
Figura 4.40 - Correlações $Su$ (última) e o teor de umidade do solo B, corrigida pelo amolgamento	130
Figura 4.41 - Comparação de $Su$ da Palheta e a obtida pelas correlações umidade e $Su$ corrigida pelo amolgamento.	132
Figura 4.42 - Estágio de adensamento isotrópico no CIU seção 07 $v=0,0013\text{mm/min}$ , -7,80m (98 kPa).	133
Figura 4.43 - CIU seção 07 $v=0,0013\text{mm/min}$ , -6,80m (60 kPa) e -7,80m (98 kPa), argila normalmente adensada, OCR=1, resistência não drenada e deformação axial.	135
Figura 4.44 - CIU seção 07 $v=0,0013\text{mm/min}$ , -6,80m (60 kPa) e -7,80m (98 kPa), argila normalmente adensada, OCR=1, variação da poro-pressão e deformação axial.	135
Figura 4.45 - CID seção 07 $v=0,0013\text{mm/min}$ , -9,80m (60 kPa) e -7,80m (100 kPa), argila normalmente adensada.	136
Figura 4.46 - Retro-análise para a obtenção do fator de correção dos ensaios de palheta em campo, modificado de Pinto et al. (1992).	139
Figura 4.47 - Retro-análise para a obtenção do fator de correção dos ensaios de palheta em campo, modificado de Sandroni (1993).	140
Figura 4.48 - Retro-análise do Aterro da CEDAE em tensões totais com $Su$ encontrado do perfil de umidade (estado crítico), e pelo método Shansep com $B=1$ e $Su=0,227\sigma'v$ .	142
Figura 4.49 - Comparação das análises de estabilidade em termos de tensões totais (Shansep, $Su=0,227\sigma'v$ ) pelos métodos de equilíbrio limite e tensão deformação (MEF).	143
Figuras 5.1 Geometria projetada na Seção 04 e Seção 16, ano 2012.	146
Figuras 5.2 Aterramento suposto do RSU na Seção 04 e Seção 16, ano 2010 até 2012.	146
Figuras 5.3 Variação da carga hidráulica total na profundidade, pé do aterro seção 14.	148
Figuras 5.4 Seção de análise 03 A-A 12/10/2008, topografia de 30/09/2008.	151
Figuras 5.5 Seção de análise 06-A-A 17/08/2009, topografia de 17/08/2009.	151

Figuras 5.6 Seções de análises, A-A Aba Norte, B-B Aba sul, Dezembro 2009, topografia de 30/11/2009.	152
Figuras 5.7 Seção de análise, A-A Aba sul Janeiro 2010, topografia de 30/11/2009.	152
Figuras 5.8 Provável escorregamento entre as seções 12 e 15 (retro-análise 4), 2010.	153
Figuras 5.9 Parâmetros de resistência da literatura, de Singh <i>et al.</i> (2009).	154
Figuras 5.10 Variação dos parâmetros de resistência com F.S=1.	156
Figuras 5.11 Retro-análise 2 (Seção 06 A-A).	157
Figuras 5.12 F.S, ET-ND-1 seção 04 e 16 na condição de poro-pressão A.	163
Figuras 5.13 F.S, AE-ND-2 e AE-ND-3, seção 04 e 16 na condição de poro-pressão A.	163
Figuras 5.14 F.S. ano 2012 seção 16 aba sul, na condição de poro-pressão A.	164
Figuras 5.15 Poro-pressão e tensão efetiva no tempo, seção 16 aba sul, na condição de poro-pressão A.	164
Figuras 5.16 F.S. na condição de poro-pressão A e B, seção 16.	165
Figuras 5.17 F.S. no método de E.L, tipo de análise não drenado em tensões efetivas, condição de poro-pressão A, seção 16 ano 2012.	166
Figuras 5.18 Perfis da análise de poro-pressão usada nas análises de estabilidade não drenados em termos de tensões efetivas, seção 16, anos 2010 e 2012.	168
Figuras 5.19 Poro-pressão inicial e na ruptura em análise não drenada em tensões efetivas, seção 16, anos 2010 e 2012, condição de poro-pressão A.	168
Figuras 5.20 F.S. da análise drenada, condição de poro-pressão inicial A.	169
Figuras 5.21 Influência da permeabilidade no F.S. da análise AE-ND-2, condição de poro-pressão inicial A.	170
Figuras 5.22 Comparação do excesso da poro-pressão 1D e 2D.	171
Figuras 5.23 Excesso da poro-pressão sob a estrada da cota 2, Seção 16.	172

## Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação proposta por Oliveira (2002), da qualidade de amostras brasileiras (adaptado de Lunne e Cutinho)	38
Tabela 2.2 – Classificação proposto por Oliveira (2002), baseado na nota de um corpo de prova (a partir de Hong e Onitsuka)	38
Tabela 2.3 – Valores típicos da condutividade hidráulica dos RSU, Barros (2004)	41
Tabela 2.4 – Condutividade hidráulica dos RSU, Rocha (2008).	42
Tabela 3.1 – SPT-2009.	51
Tabela 3.2 – Ensaio da Palheta-2009.	53
Tabela 3.3 – Ensaio de Piezocone (CPTU)-2009.	53
Tabela 3.4 – Amostragens Shelby-2009.	54
Tabela 3.5 – Perfis e metragem.	54
Tabela 3.6 – Programa de ensaios de laboratório.	56
Tabela 3.7 – Adensamento com estágio de carregamento de um dia.	57
Tabela 3.8 – Adensamento com estágio de carregamento mínimo de três dias (medição do creep).	57
Tabela 3.9 – Ensaio CIU.	58
Tabela 3.10 – Ensaio CID.	59
Tabela 3.11 – Ensaio de Cisalhamento Direto.	59
Tabela 4.1 – Nkt do local de AMG.	74
Tabela 4.2 – Classificação SUCS no local de AMG.	94
Tabela 4.3 – Comparação dos parâmetros de compressibilidade da argila, (modificado de Campos, 2006).	105
Tabela 4.4 – Qualidade das amostras no ensaio de adensamento.	111
Tabela 5.1 – Calibração da Permeabilidade.	148
Tabela 5.2 – Parâmetros geotécnicos do AMG.	149
Tabela 5.3 – Parâmetros geotécnicos do RSU nos projetos de estabilidade do AMG, modificado de Campos (2009).	155
Tabela 5.4 – Retro-análise e parâmetros geotécnico.	157

Tabela 5.5 – Parâmetros geotécnicos finais do RSU no AMG.	158
Tabela 5.6 – Análises de Estabilidade não drenadas.	161
Tabela 5.7 – Análises de Estabilidade drenadas.	161



## Lista de Símbolos

### Romanos

$A$	Parâmetro de Skempton
$A_f$	Parâmetro de Skempton na ruptura
$C$	Coesão
$C_{\alpha\epsilon}$	Coeficiente de compressão secundária, expressado em função da deformação axial
$C_{\alpha e}$	Coeficiente de compressão secundária, expressado em função do índice de vazios
$C_{CLA}$	Índice de compressão
$C_{CLB}$	Índice de compressão no estado pré-adensado
$C_{CLR}$	Índice de compressão no estado remoldado
$C_{CLF}$	Índice de compressão corrigido
$C_v$	Coeficiente de adensamento do solo
$C_c$	Coeficiente de compressibilidade
$C_e$	Coeficiente de descarregamento
$dW$	Peso da fatia
$D$	Diâmetro
$dPo$	Resultante da poro-pressão na base da fatia
$de/dt$	Velocidade do índice de vazios
$e$	Índice de vazios
$e_o$	Índice de vazios inicial
$E$	Modulo de elasticidade
$E$	Esforço entre fatias horizontal
$f_s$	Atrito lateral no ensaio CPTU
$FS$	Fator de seguridade
$g$	Aceleração gravitacional ou gravidade
$G_s$	Gravidade específica
$IL$	Índice de liquidez
$IP$	Índice de plasticidade

$K$	Permeabilidade
$LL$	Limite de liquidez
$M$	Inclinação da linha estado critico
$m$	Constante no modelo de Shansep
$M.O$	Teor de matéria orgânica
$mv$	O coeficiente de variação volumétrica
$n$	Porosidade
$N$	Nota, Oliveira/Hong e Onitsuka
$N_k$	Parâmetro do fator do piezocone
$N_{kt}$	Parâmetro do fator corrigido do piezocone
$p$	Tensão total média
$po$	Tensão média de adensamento isotropico
$p'$	Tensão efetiva média
$P$	Tensão efetiva média
$P_w$	Poro-pressão no contorno da fatia
$p_{CL}$	Tensão de pré-adensamento
$p_{yf}$	Tensão de pré-adensamento corrigida
$q$	Tensão de desvio
$q_c$	Resistência à penetração da ponta do ensaio CPTU
$q_t$	Resistência à penetração da ponta corrigida do ensaio CPTU
$Q$	Tensão de desvio
$R_f$	Parâmetro do modelo hiperbólico
$R_p$	Coeficiente de correlação
$S$	Constante
$SD$	Índice do amolgamento
$Su$	Resistência não drenada
$Su$	Resistência não drenada indeformada
$Sur$	Resistência não drenada amolgada
$Sr$	Resistencia cortante disponível
$Sm$	Resistencia cortante mobilizada
$(Su)_{mob}$	Resistência não drenada mobilizada
$St$	Sensibilidade
$t$	Tempo

$T$	Torque medido no ensaio as palheta
$T$	Esforços entre fatias vertical
$u$	Poropressão
$u_f$	Poropressão após da extração do Shelby calculado com o ensaio do papel filtro
$U$	Poropressão
$U_1$	Poropressão na ponteira do cone
$U_2$	Poropressão atrás da ponteira do cone
$u_2$	Poropressão atrás da ponteira do cone
$U_3$	Poropressão atrás da luva do atrito
$w$	Teor de umidade
$w_L$	Limite de Liquidez
$w_o$	Teor de umidade inicial
$w_f$	Teor de umidade final
$z$	Profundidade (cota)

## Gregos

$\Delta e$	Incremento do índice de vazios
$\Delta t$	Incremento de tempo
$\Delta u$	Incremento de poropressão
$\Delta V$	Incremento do volume
$\Delta w$	Incremento do teor de umidade
$\Delta z$	Incremento da profundidade
$\varepsilon_v$	Deformação volumétrica
$\varepsilon_I$	Deformação na direção principal
$\kappa$	Inclinação da linha de inchamento no plano $((1+e) - \ln p')$ .
$\dot{\varepsilon}$	Velocidade da deformação axial
$\phi$	Ângulo de atrito
$\phi_{ult}$	Ângulo de atrito última
$\gamma$	Peso unitário
$\gamma_{sat}$	Peso unitário saturado
$\mu$	Correção da palheta por Bjerrum
$\lambda$	Inclinação da linha virgem de adensamento no plano $((1+e) - \ln p')$ .
$\lambda$	Fator de escala
$\rho_w$	Massa específica da água
$\sigma$	Tensão média total
$\sigma'$	Tensão efetiva
$\sigma'_d$	Tensão efetiva desviadora
$\sigma'_{vo}$	Tensão efetiva vertical inicial
$\sigma'_{vc}$	Tensão efetiva vertical de adensamento
$\sigma'_{vm}$	Tensão efetiva vertical de pré-adensamento
$\sigma'_v$	Tensão efetiva vertical
$\sigma'_h$	Tensão efetiva horizontal
$\sigma_y$	Tensão na direção y
$\sigma_x$	Tensão na direção x
$\tau$	Tensão de cisalhamento
$\tau_{xy}$	Tensão de cisalhamento na direção x-y

$\nu$	Coeficiente de Poisson
$\pi$	Constante Pi
$\psi$	Sucção mátrica
$\square$	Parâmetro da poro-pressão do Geostudio
$\partial$	Operador derivava parcial

## Lista de Abreviaturas

AMG	Aterro metropolitano de Jardim Gramacho
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CIU	Ensaio triaxial de compressão isotrópica não drenada
CID	Ensaio triaxial de compressão isotrópica drenada
CKU	Ensaio triaxial de compressão anisotrópica não drenada
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia
CPTU	Ensaio de penetração do cone in situ com medição de poro-pressão
FC	Fator de correção da palheta
FUNDREM	Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
LEC	Linha de estado critico
LCI	Linha de consolidação isotropica
MEF	Método de elementos finitos
OCR	Razão de sobre adensamento
RSU	Resíduo solido urbano
SPT	Ensaio de penetração padrão
UU	Ensaio triaxial não adensado e não drenado