



Andréia Borges dos Santos

**Avaliação de ruptura de solos não saturados:
estudo do escorregamento do Morro do Águia,
Salvador, BA**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos

Rio de Janeiro
Novembro de 2017



Andréia Borges dos Santos

**Avaliação de ruptura de solos não saturados:
estudo do escorregamento do Morro do Águia,
Salvador, BA**

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 e Ambiental – PUC-Rio

Prof^a. Raquel Quadros Velloso

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof. George de Paula Bernardes

UNESP/FEG

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 03 de novembro de 2017.

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

Andréia Borges dos Santos

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Bahia. Especialista em Petróleo e Gás pela Universidade Estácio de Sá. Trabalha há 14 anos com Manutenção de Faixa de Dutos na Transpetro, tendo publicado três artigos profissionais e um acadêmico.

Ficha Catalográfica

Santos, Andréia Borges dos

Avaliação de ruptura de solos não saturados: estudo do escorregamento do Morro do Águia, Salvador, BA / Andréia Borges dos Santos ; orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos. – 2017.

160 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2017.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Solo não saturado. 3. Instabilidade de taludes. 4. Modelagem numérica. I. Campos, Tácio Mauro Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Dedico este trabalho a Deus e a minha grande família.

Agradecimentos

Deus, por me permitir finalizar este trabalho.

Ao CNPq e a PUC-Rio pela concessão do auxílio necessário durante a realização da pesquisa.

Ao meu orientador Tácio Mauro Pereira de Campos por fazer tudo ao seu alcance para que fosse possível a conclusão deste trabalho.

Aos professores da Universidade Federal da Bahia: Luís Edmundo Prado de Campos por sua co-orientação cuidadosa e efetiva; Paulo Gustavo Cavalcante Lins pelo apoio técnico nas simulações e incentivo; Sandro Lemos pelo fornecimento do laboratório de Geotecnia Ambiental da UFBA.

Aos técnicos de laboratório José Renato, Júlio e Geová pela disponibilidade.

Às colegas Lorena e Juliana pelo apoio técnico.

Aos amigos que ficaram para sempre: Cristiane, Simone, Bianca, Géremy e Rodrigo.

Resumo

Dos Santos, Andréia Borges; De Campos, Tácio Mauro. **Avaliação de ruptura de solos não saturados: estudo do escorregamento do Morro do Águia, Salvador, BA.** Rio de Janeiro, 2017. 160p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O estudo da ruptura de taludes em solos não saturados tem se tornado possível com o desenvolvimento de modelos que simplificam a elaboração da curva característica e estimam valores da resistência ao cisalhamento não saturada. Este trabalho utiliza dados de ensaios de campo e de laboratório para a realização de três simulações numéricas para o talude de corte localizado no Morro do Águia, em Salvador. O talude é de um perfil residual de solo siltoso oriundo de rocha metamórfica de gnaiss e migmatitos. A ruptura ocorreu aproximadamente dois anos após a execução de trabalhos de terraplenagem no período de construção da avenida Luís Eduardo Magalhães. A metodologia consistiu em levantar os dados disponíveis de ensaios realizados logo após a ruptura do talude, realizar ensaios complementares com o objetivo de obter dados de entrada para as simulações em três diferentes cenários. Foram realizados os seguintes ensaios: caracterização e análise mineralógica; curva de retenção; resistência ao cisalhamento por cisalhamento direto com as amostras inundadas, na umidade natural e com as amostras secas ar. Os cenários escolhidos para as simulações foram: análise de estabilidade considerando solo totalmente saturado em perfil de camada simples; análise de estabilidade acoplada com análise de fluxo com solo parcialmente saturado em camada simples e análise de estabilidade acoplada com análise de fluxo em solo parcialmente saturado em perfil de camada dupla. O estudo também estimou o ângulo Φ^b pela metodologia proposta por Vilar (2006). O resultado das simulações mostrou que o mecanismo de ruptura foi reproduzido quando se considerou o parâmetro não saturado Φ^b . O modelo simplificado, considerando o solo todo saturado, não reproduziu o mecanismo de ruptura. O Φ^b estimado pela metodologia de Vilar (2006) foi de 16° . O resultado das análises utilizando $\Phi^b = 16^\circ$ não diferiu das análises utilizando $\Phi^b = 18^\circ$. O resultado das simulações mostrou que a ruptura ocorreu devido a infiltrações à montante do talude, em período de chuva de distribuição histórica atípica e

período prolongado, que atingindo a profundidade do NA elevou a sua cota a zonas de instabilidade, causando a ruptura.

Palavras-chave

Solo não saturado; instabilidade de taludes; modelagem numérica.

Abstract

Dos Santos, Andréia Borges; De Campos, Tácio Mauro (Advisor). **Failure evaluation of unsaturated soils: study of the Morro do Águia landslide, Salvador, BA.** Rio de Janeiro, 2017. 160p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The study of slope stability in unsaturated soils become possible with the development of models that simplify the construction of the characteristic curve and estimate values of unsaturated shear strength. This work presents the results of two stability analysis of a cut slope in Morro do Águia in Salvador, which had collapsed after construction of Luís Eduardo Magalhães Avenue. The slope is made of silty clay residual soil from metamorphic rocks originated by gneisses and migmatites. The methodology of analysis consists in collecting five undisturbed soil samples scattered in the area of study. Characterization and mineralogical analysis were performed; retention curve was constructed; and strength resistance by direct shear was determinate with samples in three conditions: flooded, in natural moisture and dried in air. The methodology of simplified estimation unsaturated shear strength (Vilar, 2006) was used to determinate Φ^b . Computer simulations obtained from tests results were presented to three situations: first condition the safety factor was obtained considering stability analyses with saturated soil; second condition the soil was unsaturated and the groundwater flow consider rainwater during 86 days before rupture slope and afterwards was made the stability analysis; third condition the groundwater flow was modeled considering rainwater during 20 days afterwards was made the stability analysis. As a result of these analysis, the rupture mechanism that occurred at the time of the collapse is only reproduced by simulation when the parameter unsaturated Φ^b is introduced, which occur at the second simulation. The value of Φ^b obtained by Vilar methodology was 16° .

Keywords

Unsaturated soil; slope stability; numerical modelling.

Sumário

1	Introdução	18
2	Revisão Bibliográfica	22
2.1.	Instabilidade de Taludes	22
2.2.	Instabilidade em Solos Residuais	25
2.3.	Formação dos Solos Não Saturados	28
2.4.	Natureza e Propriedade dos Solos Residuais	30
2.4.1.	Curva Característica	32
2.4.2.	Técnicas de Medição da Sucção em Solos	35
2.4.3.	A Técnica do Papel Filtro	39
2.5.	Resistência ao Cisalhamento em Solos Não Saturados	40
2.5.1.	A Equação de Vilar (2006)	44
2.6.	Análises de Estabilidade	45
2.6.1.	Teoria de Equilíbrio Limite	47
2.6.2.	Método das Fatias	48
2.6.3.	Aspecto Não Saturado	49
2.6.4.	Morgenstern & Price (1965)	50
2.6.5.	Limitações dos Métodos de Equilíbrio Limite	52
2.7.	Infiltração em Solos Não Saturados	52
2.7.1.	Condições de Pluviosidade	55
2.7.2.	Modelagens Numéricas	56
3	Escorregamento do Morro do Águia	59
3.1.	Histórico do Escorregamento	59
3.2.	Geologia	61
3.3.	A Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras	62
3.4.	Vegetação	64
3.5.	Geometria	64
3.6.	Pedogênese	65
3.7.	Programa Experimental	66

3.7.1. Amostragem	67
3.8. Dados de Precipitação	71
4 Apresentação e Análise dos Resultados dos Ensaios	75
4.1. Caracterização Geotécnica	75
4.2. Mineralogia	77
4.3. Curva Característica	79
4.4. Resistência ao Cisalhamento	82
4.4.1. Resultados dos Ensaios das Amostras Inundadas em umidade natural	82
4.4.2. Resultados dos Ensaios das Amostras Secas ao Ar	92
4.4.3. Estimativa de Resistência Não Saturada	95
4.5. Ensaio de Permeabilidade	101
5 Simulações Analítico-Numéricas	105
5.1. Análise de Estabilidade Considerando Solo Totalmente Saturado	107
5.1.1. Perfil de Camada Homogênea	107
5.2. Análise de Estabilidade Acoplada com Análise de Fluxo Considerando Solo Parcialmente Saturado	110
5.2.1. Perfil com Camada Homogênea	110
5.2.2. Perfil com Duas Camadas de Solo	114
6 Conclusões e Sugestões	124
7 Referências bibliográficas	126
Anexos	130

Lista de Figuras

Figura 1 – Escorregamentos rotacionais (Adaptado de Varnes, 1958; apud Ahrendt, 2005; apud Motta, 2011)	24
Figura 2 – Perfil de rocha ígnea e metamórfica Calle (2000) citando Dreere e Patton (1971)	27
Figura 3 – Principais fatores deflagradores de escorregamentos	28
Figura 4 – Perfil de intemperização conforme o bioma (Lu e Nikos, 2004)	29
Figura 5 – Fenômeno da capilaridade. (Fernandes, 2012)	30
Figura 6 – Sucção de poros (Pinto, 2002)	31
Figura 7 – Curva de retenção típica	33
Figura 8 - Influência do Tipo de Solo na Curva Característica. Fredlund e Xing (1994)	34
Figura 9 – Tensiômetro (Gomes, 2007)	37
Figura 10 – Placa de pressão. (Marinho, 2005)	37
Figura 11 – Placa de sucção. (Marinho, 2005)	38
Figura 12 - Papel Filtro. (Marinho, 2005)	40
Figura 13 – Envoltória de resistência para solos não saturados. (Gerscovich, 2009)	42
Figura 14 – Resistência mobilizável e mobilizada na superfície de ruptura. (Costa, 2014)	46
Figura 15 – Classificação dos métodos de estabilidade de taludes	47
Figura 16 – Método das fatias (Gerscovich, 2009)	48
Figura 17 – Variáveis consideradas no método de M&P (Freitas, 2011)	51
Figura 18 – Equações empíricas para determinação da permeabilidade não saturada	54
Figura 19 – Variáveis de influência na análise considerando solo não saturado. Adaptado de Fredlund (2012)	57
Figura 20 – Características de abordagem para modelagem numérica (Hudson, 1993)	58
Figura 21 – Mapa de falhas da cidade de Salvador (Lima e de Campos, 2016).	62
Figura 22 – Bacia hidrográfica do Rio das Pedras. (Mota, 2008)	63

Figura 23.a – Delimitação da área do Morro do Águia (Google, 2016); Figura 23.b – Corte realizado para adequação do greide (Google, 2016).	63
Figura 24 – Foto aérea do talude (Google, 2016)	65
Figura 25 – Foto do talude após o escorregamento (2005)	65
Figura 26 – Evidência de Falhas	66
Figura 27 – a) Bloco Marrom. b) Bloco Amarelo. c) Bloco Vermelho.	68
Figura 28 – Localização das sondagens e blocos (Surcap, 2005)	70
Figura 29 – Precipitação dos meses anteriores ao escorregamento	71
Figura 30 – Precipitação acumulada diária do mês de agosto de 2005.	72
Figura 31 – Distribuição granulométrica Bloco 7	75
Figura 32 – Distribuição granulométrica Bloco 8	76
Figura 33 – Distribuição granulométrica Bloco 9	76
Figura 34 – Bloco de rocha e solo coletados do talude	77
Figura 35 – Amostras para determinação da mineralogia do solo	78
Figura 36 – Análise Mineralógica nas profundidades de 0,5m e 1,0 m	78
Figura 37 – Análise Mineralógica nas profundidades de 3,5m e 5,0m	79
Figura 38 – Amostras para ensaios do papel filtro	79
Figura 39 – Curva característica do Bloco 9	81
Figura 40 – Curva característica do Bloco 8	81
Figura 41 – Curva característica do Bloco 7	82
Figura 42 – Resultados dos Ensaios de Resistência do Bloco 1. a) Condição inundada; b) Condição de umidade natural.	84
Figura 43 – Resultados dos Ensaios de Resistência do Bloco 2. c) Solo na condição inundada; d) Solo na condição de umidade natural.	85
Figura 44 – Resultados dos Ensaios de Resistência do Bloco 3. e) Solo na condição inundada; f) Solo na condição de umidade natural.	86
Figura 45 – Resultados dos Ensaios de Resistência do Bloco 4. h) Solo na condição inundada; h) Solo na condição de umidade natural.	87
Figura 46 – Resultados dos Ensaios de Resistência do Bloco 5. i) Solo na condição inundada; j) Solo na condição de umidade natural.	88
Figura 50 – Envoltórias de resistência para os blocos ensaios na umidade natural e com amostras inundadas. a) Bloco 1; b) Bloco 2; c) Bloco 3; d) Bloco 4; e) Bloco 5.	91

Figura 48 – Resultados dos ensaios de resistência. a) Bloco 7; b) Bloco 8; c) Bloco 9	93
Figura 49 – Envoltórias de ruptura dos ensaios secos ao ar	94
Figura 50 – Curvas τ x $(u_a - u_w)$ para Bloco 1	98
Figura 51 – Curvas τ x $(u_a - u_w)$ para Bloco 2	99
Figura 52 – Curvas τ x $(u_a - u_w)$ para Bloco 3	99
Figura 53 – Curvas τ x $(u_a - u_w)$ para Bloco 4	100
Figura 54 – Curvas τ x $(u_a - u_w)$ para Bloco 5	100
Figura 55 – Curva de permeabilidade Guelph - SP 11 Prof. 0,20m	102
Figura 56 – Curva de permeabilidade Guelph – Bloco 4 Prof. 0,50m	102
Figura 57 – Curva de permeabilidade Guelph – Bloco 5 Prof. 0,50m	103
Figura 58 – Curva de permeabilidade Guelph – Bloco 9 Prof. 0,75m	103
Figura 59 – Perfil do Talude (Adaptado de Lima e de Campos, 2016)	106
Figura 60 – Geometria do talude	107
Figura 61 – Análise de estabilidade do Bloco 1	107
Figura 62 – Análise de estabilidade Bloco 2	108
Figura 63 – Análise de estabilidade Bloco 3	108
Figura 64 – Análise de estabilidade do Bloco 4	108
Figura 65 – Análise de estabilidade do Bloco 5	109
Figura 66 – Função chuva	111
Figura 67 – Função Permeabilidade	111
Figura 68 – Curva característica	112
Figura 69 – Condição Inicial de pressão neutra	112
Figura 70 – Fluxo da água através do talude	113
Figura 71 – Fator de segurança	113
Figura 72 – Geometria do Talude	115
Figura 73 – Curva característica para o silte arenoso	115
Figura 74 – Curva característica do silte argiloso	116
Figura 75 – Permeabilidade não saturada solo argiloso	116
Figura 76 – Permeabilidade não saturada solo arenoso	117
Figura 77 – Análise de fluxo: Condição Inicial	117
Figura 78 – Condição inicial.	117

Figura 79 – Análise de fluxo: tempo = 5 dias; precipitação = 16,2mm.	118
Figura 80 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 18^\circ$; FS = 1,66.	118
Figura 81 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 16^\circ$; FS = 1,64.	118
Figura 82 – Análise de fluxo: tempo = 10 dias; precipitação = 60,8mm.	119
Figura 83 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 18^\circ$; FS = 1,43.	119
Figura 84 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 16^\circ$; FS = 1,43.	119
Figura 85 – Análise de fluxo: tempo = 15 dias; precipitação = 82,9mm.	120
Figura 86 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 18^\circ$; FS = 1,39.	120
Figura 87 – Análise de estabilidade ; $\Phi^b = 16^\circ$; FS = 1,38.	120
Figura 88 – Análise de fluxo: tempo = 20 dias; precipitação = 93,1mm.	121
Figura 89 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 18^\circ$; FS = 1,43.	121
Figura 90 – Análise de estabilidade. t = 20 dias; $\Phi^b = 16^\circ$; FS = 1,39.	121

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Agentes/causas dos escorregamentos segundo Guidicini & Nieble (1983).	23
Tabela 2 – Abrangência dos métodos de medição. Adaptado de Fredlund (1993)	36
Tabela 3 – Determinação da sucção pelo método translação de eixos (Adaptado de Fredlund, 2012)	38
Tabela 4 – Equações de Previsão de Resistência ao Cisalhamento. (Adaptado de Fredlund, 2012.)	43
Tabela 5 – Quadro resumo dos métodos de equilíbrio limite (Adaptado de Freitas, 2011)	52
Tabela 6 – Ensaio realizados e dados obtidos em 2015	60
Tabela 7 – Coleta de Material e Ensaio Complementares em 2016	67
Tabela 8 – Caracterização dos solos das sondagens para a profundidade de 1,0m	68
Tabela 9 – Coordenadas das Sondagens. SAD 69	69
Tabela 10 – Precipitação anual na cidade de Salvador. Fonte: Codesal (2016)	73
Tabela 11 – Precipitação Diária do Ano de 2005	74
Tabela 12 – Porcentagens das frações granulométricas	75
Tabela 13 - Dados de plasticidade	76
Tabela 14 – Pressão de entrada de ar para as curvas	80
Tabela 15 – Parâmetros de resistência na condição seca	94
Tabela 16 – Correlação dos blocos pela proximidade de localização	96
Tabela 17 – Valores de a e b	96
Tabela 18 – Valores de Φ^b obtidos pela metodologia proposta por Vilar (2006)	101
Tabela 19 – Valores de permeabilidade saturada para ensaios complementares	104
Tabela 20 – Valores para permeabilidade saturada e não saturada medida através do ensaio Guelph	104
Tabela 21 – Fator de segurança considerando solo saturado e solo homogêneo	109
Tabela 22 – Precipitação ao longo dos 20 dias anteriores a ruptura	115
Tabela 23 – Resumo dos resultados das simulações	123

Lista de Símbolos

Φ^b - Ângulo de atrito devido à sucção mátrica

Φ' - Ângulo de atrito efetivo

c' - Coesão efetiva

c - Coesão devido a parcela não saturada

c_{ult} - Coesão do solo seco

e - Índice de vazios

K_{sf} - Permeabilidade não saturada

γ_d - Peso específico seco

γ - Peso específico

u_a - Pressão do ar

u_w - Pressão da água

S_r - Saturação

Ψ - Sucção total

Ψ_m - Sucção matricial

Ψ - Sucção osmótica

σ' - Tensão efetiva

σ - Tensão total

w - Umidade gravimétrica

Θ - Umidade volumétrica

"Ninguém acende uma lâmpada e a coloca num lugar onde ficará escondida, ou sob uma tigela. Ao invés disso, coloca-se ela de pé, assim aquele que entrar pode enxergar a luz."

Mateus, V:15

1 Introdução

A instabilização de taludes é um assunto muito estudado na área geotécnica. Ultimamente as pesquisas têm-se concentrado na área de encostas em solo não saturado, cujo comportamento é de grande interesse nas áreas de clima tropical (e.g. Calle, 2000). Diversos autores (Nikos, 2004; de Campos, 1974, Vilar, 2006; Fredlund, 1987) contribuem para o entendimento da influência da sucção matricial na coesão aparente e na resistência destes solos.

O estudo dos mecanismos de ruptura de taludes teve como base a mecânica dos solos clássica, que abriu caminho para um entendimento mais profundo das diversas possibilidades regionais através do domínio das tecnologias de campo e de laboratório. Recentemente a parcela não saturada do solo pôde ser considerada nas análises com a popularização de softwares que permitem considerar simultaneamente a influência de diversas variáveis na solução dos problemas.

Gerscovich (2016) resumiu os fatores deflagradores de movimentos de massa em solos residuais. Segundo ela os fatores se resumem basicamente em:

- a) a redução da massa de solo por ação da erosão ou de cortes no terreno;
- b) pressões laterais no terreno devido a existência de águas ou material expansivo nas trincas;
- c) redução da resistência ao cisalhamento devido a mudanças nas características do material ocasionados pelo intemperismo;
- d) a variação do lençol freático devido a mudanças no padrão natural do fluxo;
- e) a infiltração da água da chuva causando redução na sucção ao longo do perfil ;
- f) a geração de excesso de poropressão, como resultado da implantação de obras;
- g) ou o fluxo preferencial através de trincas ou juntas acelerando os processos de infiltração.

O solo quando não saturado, possui um incremento de resistência. A sucção matricial é a responsável por esse incremento, através do aumento da coesão aparente do solo, que é o resultado do contato ar-água intersticial. Desta forma, a sucção é altamente variável com o teor de umidade.

Sabendo que a infiltração de água de chuva é o fator predisponente principal em ruptura de taludes, pois aumenta a pressão de poros, conseqüentemente, diminuindo a sua resistência e aumentando o teor de umidade, e por outro lado permitindo maior percolação da água; existe uma interação entre sucção e infiltração que deve ser considerada na análise dos problemas.

Sendo a sucção o fenômeno primordial para o estudo em solos não saturados, faz-se necessária sua medição concomitante com a medição da resistência ao cisalhamento do solo para a determinação da envoltória de ruptura. A realização dos ensaios é bastante onerosa, e pode ser também demorada, de forma que há um esforço para a simplificação das análises.

Diante deste panorama, Fredkund (1978, 1996), Vanapalli (1996), Oberg e Salfors (1997), Kalili e Khabbaz (1998), Bao et al. (1998), Rassan e Cook (2005) e Vilar (2006) apresentaram alternativas para estimar a resistência ao cisalhamento através de formulações matemáticas. Vilar (2006) foi o único que apresentou uma formulação capaz de eliminar a necessidade de realização de ensaios com sucção controlada. A grande vantagem do proposto por Vilar (2006) está na possibilidade de tornar viável a realização de análises em solos não saturados por laboratórios que possuam apenas equipamentos para a determinação de resistência pelos métodos tradicionais.

Este trabalho realizou um estudo em um talude de corte em solo residual que rompeu num período de precipitação longo. O talude se localiza no Morro do Águia, nas margens da Avenida Luís Eduardo Magalhães em Salvador e rompeu no ano de 2005.

A presente dissertação tem como objetivo geral: identificar causas prováveis para a ruptura do talude do Morro do Águia por meio de retroanálises de estabilidade associadas a análises de fluxo;

Objetivos específicos:

- a) Levantar dados dos ensaios de campo e laboratório do talude em estudo;
- b) Realizar ensaios complementares para a realização das análises considerando a influência da parcela não saturada do solo;
- c) Estimar do parâmetro Φ^b pelo método de Vilar (2006);
- d) Realizar simulações na condição saturada e não saturada;

A metodologia de trabalho consistiu na realização de três simulações, considerando os dados de resistência obtidos em laboratório e em campo. As simulações atenderam às seguintes condições: análise paramétrica com solo totalmente saturado; análise de estabilidade acoplada a análise de fluxo em solo parcialmente saturado considerando camada homogênea do perfil e estabilidade de talude acoplada a análise de fluxo em solo parcialmente saturado considerando camada dupla no perfil.

A apresentação desta dissertação está estruturada em 7 capítulos, distribuídos na forma a seguir:

O capítulo 1 apresenta uma breve introdução do assunto sobre a importância dos estudos dos solos não saturado para a estabilidade de taludes e sobre os mecanismos de ruptura envolvendo solos residuais.

O capítulo 2 apresenta uma revisão de bibliografia sobre instabilidade e formação de solo não saturado, sobre a natureza e propriedade desses solos, a resistência ao cisalhamento em solo não saturado, análise de estabilidade e condições de infiltração e as análises numéricas.

O capítulo 3 apresenta a localização do talude do Morro do Águia e mostra um resumo do programa experimental desenvolvido no local de estudo.

O capítulo 4 apresenta os resultados dos ensaios de campo e laboratório bem como faz uma descrição e discussão desses resultados.

O capítulo 5 apresenta os resultados das simulações numéricas.

O capítulo 6 expõe a conclusão acerca do trabalho e fornece algumas sugestões para trabalhos futuros.

O capítulo 7 apresenta a relação das referências bibliográficas citadas no trabalho.

2 Revisão bibliográfica

2.1. Instabilidade de Taludes

Taludes se apresentam na natureza como forma de encostas naturais ou artificiais. A ação do homem sobre taludes se caracteriza por três aspectos gerais: os aterros, cortes e técnicas diversas de contenção. A ruptura dessas estruturas ocorre quando num determinado plano do maciço as forças atuantes são maiores que as forças resistentes, podendo esta ruptura ocorrer de forma brusca ou de forma progressiva.

Segundo Abransom (2002), a instabilidade pode ser afetada pelas condições geológicas e meteorológicas, pelas propriedades do material *in situ*, pelas pressões da água e sua condição de percolação, pela geometria do corte, pelo método da construção, e pelo potencial de ocorrência de fenômenos externos. A vegetação também tem grande influência na estabilização do maciço de solo.

Rupturas em taludes são classificados como quedas, escoamentos e escorregamentos. Esses movimentos se diferenciam pela velocidade cujas taxas de variação dos movimentos podem ser de 6 polegadas/ano até 5 pés/s (Abramson, 2002).

Os escorregamentos ocorrem em superfícies de ruptura profundas ou em zonas rasas que sofreram diminuição da tensão efetiva. Os movimentos podem ser progressivos, partindo de um ponto até abranger toda uma superfície, que pode ser aproximada na geometria poligonal, planar, circular ou mista. Os primeiros sinais de sua ocorrência são fissuras que se desenvolvem ao longo da superfície onde a ruptura se dará. Os escorregamentos se classificam como rotacionais ou translacionais ou pela combinação dos dois movimentos. (Abramson, 2002)

Os escorregamentos rotacionais são definidos como movimentos de massa sobre uma superfície de ruptura curva com concavidade voltada para cima, onde o material mobilizado sofre pouca deformação. Neste tipo de escorregamento, é comum observar, antes da efetiva deflagração, alguns indícios de movimentação do maciço, tais como trincas e degraus de abatimento na região da crista, perda de solo e surgência de água na base do escorregamento. (Motta, 2011)

Os escorregamentos translacionais são caracterizados pelo movimento de massa envolvendo camadas superficiais de solo (da ordem de 2,0 metros de profundidade), desenvolvido ao longo de uma superfície plana, paralela à encosta, com inclinações da ordem de 30°. (Guidicini & Nieble, 1983).

O movimento é geralmente de curta duração, velocidade elevada e alto poder de destruição (Guidicini & Nieble, 1983). Devido ao aumento no teor de umidade do solo em questão, o escorregamento translacional pode assumir o aspecto de corrida ou de rastejo. A Tabela 1 apresenta um resumo dos agentes e das causas que deflagram os movimentos em encostas

Tabela 1 – Agentes/causas dos escorregamentos segundo Guidicini & Nieble (1983).

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
AGENTES	PREDISPONENTES	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidroológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original	
	EFETIVOS	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos, marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, ventos, ação do homem
CAUSAS	INTERNAS	Efeito das oscilações térmicas, redução dos parâmetros de resistência por intemperismo	
	EXTERNAS	Mudança na geometria do sistema, efeitos de vibração, mudanças naturais na inclinação das camadas	
	INTERMEDIÁRIAS	Elevação do nível piezométrico em massas "homogêneas", elevação da coluna da água em descontinuidades, rebaixamento rápido do lençol freático, erosão subterrânea retrogressiva ("piping"), diminuição do efeito de coesão aparente	

As corridas são escoamentos ocasionados pela perda de atrito interno, em virtude da destruição estrutural e em presença de água em excesso. O rastejo possui

movimentação bem lenta, com velocidade não uniforme e não apresentam delimitação nítida da porção que se desloca e a parte do maciço que fica fixa.

A Figura 1 apresenta ilustrações de diferentes tipos de escorregamentos rotacionais.

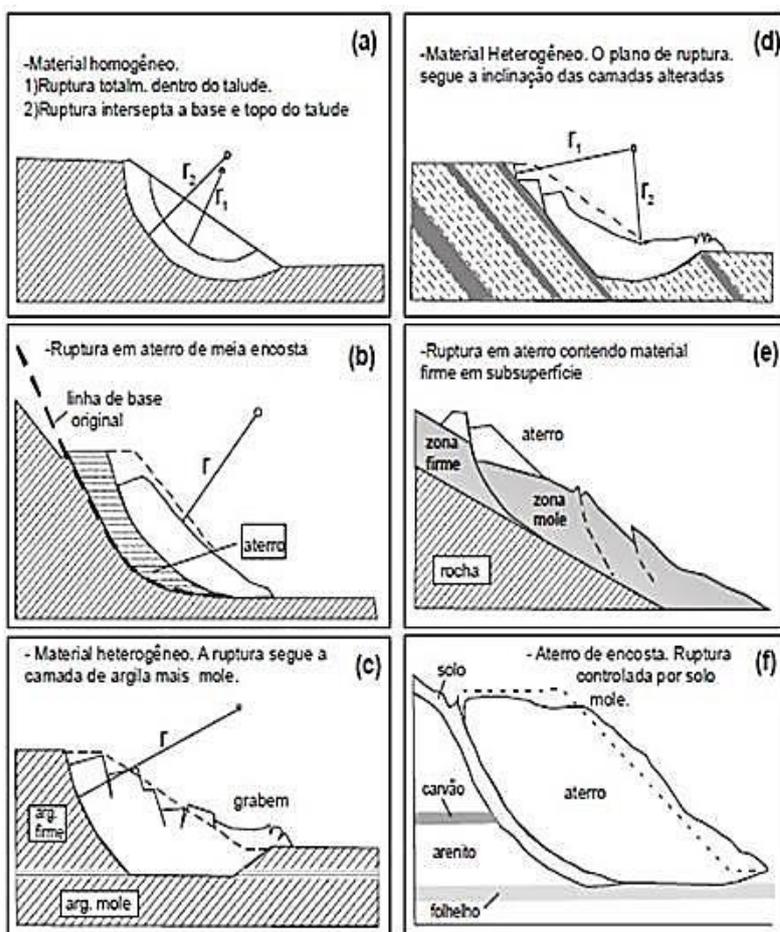


Figura 1 – Escorregamentos rotacionais (Adaptado de Varnes, 1958; apud Ahrendt, 2005; apud Motta, 2011)

Mecanismo de ruptura de taludes é a interação ocorrida entre os fatores que o levaram a ruptura. Dentre os mais conhecidos estão a diminuição da resistência do solo proveniente de infiltração da água da chuva; movimentações de terra sem estudo prévio da sua geometria; e aumento das cargas externas sobre o terreno que não possui suficiente resistência de suporte. Esses eventos podem acontecer de forma associada aumentando a complexidade do fenômeno.

No Brasil, as causas principais dos movimentos de massa são as mudanças na geometria do sistema e a oscilação do nível piezométrico, o agente predisponente principal é o complexo climático-hidrológico; e o agente efetivo principal é a pluviosidade.

2.2. Instabilidade em Solos Residuais

As formações dos solos residuais ocorrem pelos processos geológicos do intemperismo e da sedimentação. Esses processos diferenciam-se nas regiões tropicais pela ação mais pronunciada do intemperismo químico responsável pela grande espessura dos solos residuais. (Moncada, 2008)

A ruptura em solos residuais ocorre na maioria das vezes em época de chuvas; o teor de umidade do solo aumenta devido à infiltração, quando há a redistribuição de água na zona vadosa. A nova configuração de umidade depende das características hidráulicas do solo e do seu grau de saturação e do tempo de duração e intensidade da chuva.

Dessa maneira, inicia-se ruptura através da redução da resistência ao cisalhamento, na zona localizada acima da frente de umedecimento, provocada pela redução parcial da sucção. Essa diminuição de resistência ao cisalhamento pode provocar o deslizamento dessa zona. (De Campos, 1984).

Lumb (1975) revela que a quantidade de água infiltrada nunca é suficiente para saturar um espesso manto de solo, restringindo-se o efeito da precipitação apenas aos seis primeiros metros. Ele revela que a estabilidade das encostas é governada pela capacidade de infiltração da água no solo e que a ação de uma chuva particularmente forte depende da duração e da intensidade da precipitação, bem como da quantidade de precipitação que já tenha ocorrido anteriormente ao evento.

Santos (1992) afirmou que no processo de infiltração do solo ocorre saturação apenas no primeiro centímetro de profundidade, sendo que ao longo perfil ocorrem mudanças bruscas de umidade nas zonas de transição e transmissão que são respectivamente subsequentes à zona de saturação.

Durante a infiltração, a frente de umedecimento atinge uma determinada profundidade causando uma redução da resistência ao cisalhamento na zona localizada acima dela, provocada pela diminuição da tensão efetiva, perdendo parcela de contribuição da sucção.

O mecanismo de deslizamento que ocorre por conta da diminuição da sucção em solos não saturados se dá normalmente no final da época de chuvas. Nas primeiras chuvas, a maior parte da água infiltrada é absorvida pelas camadas superficiais aumentando o teor de umidade nessas zonas; caso a precipitação cesse, há uma redistribuição da umidade do perfil, que aumenta gradativamente com a ocorrência de novas precipitações até o ponto em que a permeabilidade aumenta, aumentando a taxa de infiltração, podendo o perfil apresentar percolação nas regiões mais superficiais que já se encontram saturadas.

A estabilidade é quantificada pelo fator de segurança. Este fator avalia o equilíbrio das forças atuantes com as resistentes. Atualmente softwares estão disponíveis no mercado para facilitar o seu cálculo. Para se considerar na análise a contribuição da infiltração, realiza-se a análise de fluxo e estabilidade conjuntamente.

Através de programas desse tipo se pode verificar a variação do fator de segurança durante a chuva ou avanço da frente de saturação, verificando também a superfície crítica para cada frente de avanço. A limitação desse programa esbarra na heterogeneidade dos solos residuais, na falta de dados de sucção necessários para a utilização da teoria da infiltração e na relação entre a sucção e a resistência ao cisalhamento que é desconhecida para solos brasileiros. (de Campos, 1984)

Um fator muito importante para a ruptura do solo residual é o condicionante geológico. Os solos residuais são originados de rochas que ficaram expostas as intempéries e, portanto, eles herdaram as características de suas estruturas reliquias.

O perfil de intemperismo depende do tipo de rocha. Como se pode observar na Figura 2, nas rochas ígneas o avanço do fraturamento da rocha é contínuo e gradativo com a profundidade, enquanto que para as rochas metamórficas esse avanço é difuso devido à grande heterogeneidade desse tipo de formação. Por esse motivo, solos residuais provenientes de rochas metamórficas são os que possuem comportamento mais difícil de ser previsto.

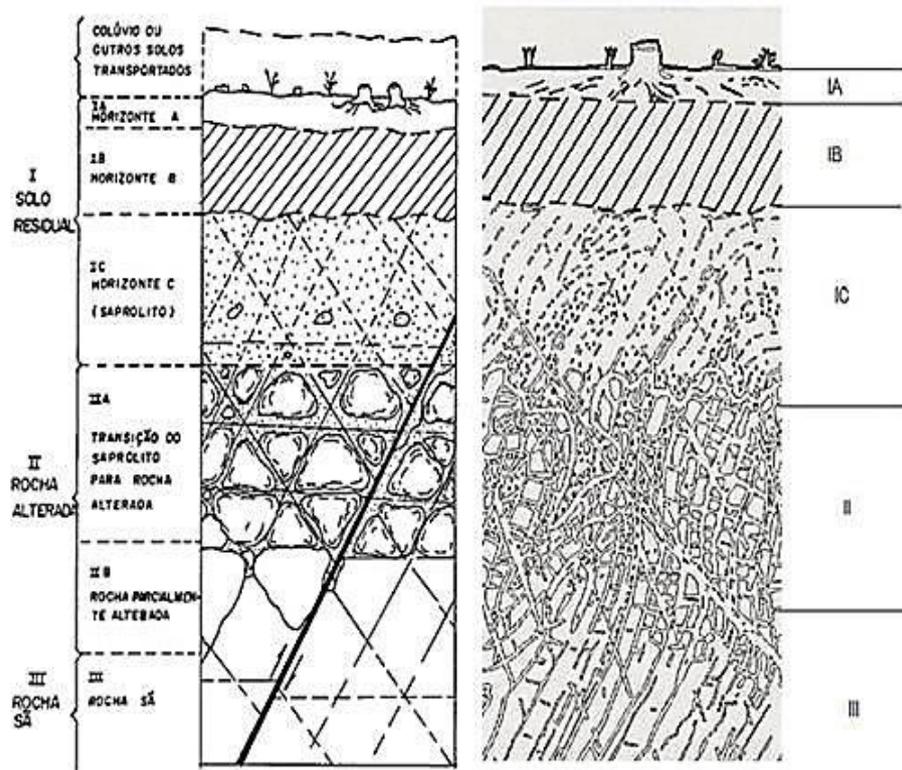


Figura 2 – Perfil de rocha ígnea e metamórfica Calle (2000) citando Dreere e Patton (1971)

Campos (1992) mediu pressões neutras positivas em solos residuais vinculadas com a percolação de água nas fraturas das rochas em épocas chuvosas. Essa pressão neutra positiva instabilizará o talude independente do seu nível de sucção. Isto corrobora o fato de que o solo permanece insaturado quando ocorre a ruptura por infiltração de água de chuva, algumas vezes acontecendo de a sucção não ter alteração significativa.

Segundo Guidicini e Nieble (1983), esse mecanismo ocorre porque a superfície de ruptura, geralmente, surge gradativamente a partir de um ponto de fraqueza localizada no topo, apresentando um formato aproximadamente circular até encontrar outro plano de fraqueza, uma camada fortemente anisotrópica ou de resistência inferior, quando a superfície passa então a seguir este plano preferencial, por onde a água tende a percolar com mais facilidade, promovendo o deslocamento do maciço. Escorregamentos provenientes deste tipo de mecanismo se chamam translacionais. Eles podem chegar de médias a altas profundidades.

A ruptura em taludes ocorre de cima para baixo, ou seja, é a parte superior do maciço que desliza quando a inferior perde a capacidade de suporte. Esta perda

de capacidade desloca a parte inferior que por sua vez permite deformações na parte superior, a qual atinge a zona plástica em graus que levam a ruptura; ou de baixo para cima quando uma força instabilizante atinge a base da estrutura quando está com as tensões alteradas por fatores externos. As deformações ocorrem em todas as direções e como consequência disto, o volume de terra que falta no abatimento é maior que o volume que levanta do abaulamento. A Figura 3 apresenta os principais fatores deflagradores de escorregamentos.

Tabela 2 – Principais fatores deflagradores dos escorregamentos

Mecanismo	Ação	
Variação das Tenções cisalhantes mobilizadas		
Ação antrópica: Ocupação desordenada de encostas	Execução de cortes	
	Construção de estruturas	
	Acúmulo natural de material (depósitos)	
Perda de resistência ao cisalhamento		
Variação na pressão da água nos poros	Infiltração interna por ruptura de tubulação de água ou esgoto (de Campos <i>et al.</i> , 2005; de Campos <i>et al.</i> , 2008; Ferreira e Lima, 2005)	
	Infiltração da água de chuva	Desenvolvimento de pressão positiva por elevação do lençol freático (Vargas, 1999; Andrade <i>et al.</i> , 1992; Futai <i>et al.</i> , 2011)
		Redução dos níveis de sucção (Futai <i>et al.</i> , 2005; de Campos, 1985 e Jesus, 2008); Calle, 2000; Santos <i>et al.</i> , 2007; Wolle, 1988; Coutinho <i>et al.</i> , 1997; Ferreira e Lima, 2005; Mattos, 1974; Salles <i>et al.</i> , 2012)
		Geração de Fluxo preferencial através das fraturas do embasamento rochoso (Gerscovich <i>et al.</i> , 2006; Gerscovich <i>et al.</i> , 2008; Gerscovich <i>et al.</i> , 2011)

Figura 3 – Principais fatores deflagradores de escorregamentos

2.3. Formação dos Solos Não Saturados

No Brasil os solos não saturados respondem por grande parcela dos depósitos existentes, tendo em vista o clima tropical úmido predominante no país. Atualmente, o estudo do comportamento mecânico dos solos está baseado na sua condição mais crítica, que corresponde ao seu grau de saturação máximo.

Essa premissa ainda persiste porque a visão da mecânica dos solos clássica é de que sendo esta situação mais desfavorável, a segurança está garantida e,

portanto, desnecessário se faz considerar a adição de resistência advinda da parcela de sucção.

Desta forma, as teorias pesquisadas e os laboratórios foram equipados para prever os parâmetros de resistência do solo saturado, pois sendo o fenômeno de entendimento mais simples, apresentam aplicabilidade mais direta. Contudo, com essa sintetização alguns tipos de solos foram considerados casos especiais como os solos expansivos, colapsíveis e residuais. Somente nos últimos 20 anos o interesse dos pesquisadores nos depósitos não saturados aumentou.

Marinho (2005) afirma que os solos e sua interação com o clima é o principal aspecto que condiciona a boa aplicação da mecânica dos solos não saturados. É imprescindível hoje considerar essa influência nas obras de engenharia e demais aspectos ambientais da ação humana que interferem no comportamento dos solos; já não se podem ignorar os esforços que vêm sendo empregados para se entender o comportamento dos solos na condição não saturada. Fredlund (1993) afirma que o interesse por esses solos ocorreu com desenvolvimento da engenharia geoambiental. A Figura 4 mostra a profundidade do perfil de intemperização que difere em profundidade conforme o bioma local.

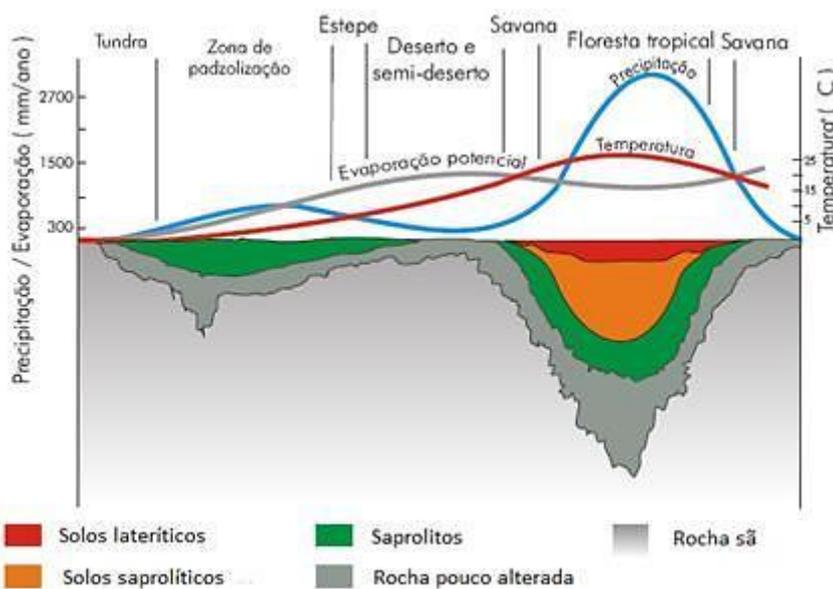


Figura 4 – Perfil de intemperização conforme o bioma (Lu e Nikos, 2004)

Um solo não saturado pode ser um solo residual, um depósito lacustre, uma formação rochosa (Fredlund, 2012). No caso dos solos residuais, o intemperismo é o processo da sua formação. O intemperismo é o conjunto de modificações de

ordem física, química e biológica que as rochas sofrem ao aflorarem na superfície da terra (Decifrando a terra, 2002).

A variação da temperatura causa microfissuras na rocha, por onde percola a água da chuva, alterando e lixiviando os minerais presentes; a cada ciclo as fissuras se abrem ainda mais permitindo um fluxo de água cada vez maior através das fendas; a ação da natureza cria um ambiente propício ao desenvolvimento de biota que contribui para o processo, que é uma associação de fatores físicos, químicos e biológicos.

O clima é o fator mais importante, tendo o relevo, a constituição mineralógica da rocha e o tempo de exposição aos agentes como fatores que contribuem passivamente, sendo igualmente importantes para o perfil de intemperismo.

2.4. Natureza e Propriedade dos Solos Residuais

O solo não saturado apresenta quatro fases em sua composição: gasoso, líquido, sólido e a membrana contrátil. A membrana contrátil pode ser considerada parte da fase líquida quando se estuda comportamento de alteração de volume, mas deve ser considerada uma fase independente quando se descreve o estado de tensões e o comportamento fenomenológico. A membrana contrátil age como uma membrana elástica aproximando as partículas de solo quando a água é removida. (Fredlund, 2012). A representação do fenômeno é mostrada nas Figuras 5 e 6.

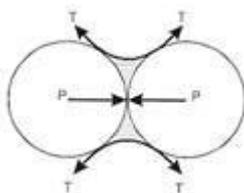


Figura 5 – Fenômeno da capilaridade. (Fernandes, 2012)

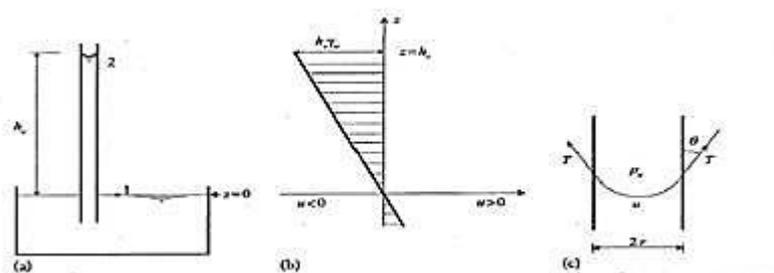


Figura 6 – Sucção de poros (Pinto, 2002)

Dessa aproximação resulta uma tensão que causa desequilíbrio nas paredes da membrana, dando origem a força capilar. A fase gasosa é composta por oxigênio e vapor d'água, a fase líquida é composta normalmente por água, que se apresenta na forma capilar, absorvida, adsorvida e livre e a fase sólida é composta pelos grãos do solo. As águas contêm sais que causam também desequilíbrio químico.

O fenômeno da capilaridade é o que melhor explica o comportamento de um solo não saturado. Os tubos capilares podem ser comparados ao tamanho dos vazios existentes num perfil de solo, e desta forma se pode analisar o que ocorre na zona de ascensão capilar posicionada acima do nível de água. Sendo assim, a altura de ascensão alcançada pela frente de saturação é maior quando o tamanho dos vazios é menor e vice-versa.

No processo de atuação da energia capilar, uma partícula é puxada contra a outra, gerando um aumento das tensões efetivas no contato, portanto, embora se coloque, muitas vezes, na literatura, que a capilaridade gera uma coesão aparente, o fenômeno tem natureza mais física, refletindo no atrito. (Carvalho et al., 2015).

A tensão oriunda do desequilíbrio é responsável por uma parcela maior de resistência, que varia conforme muda o teor de umidade. Segundo Pinto (2000), esta coesão pode ser percebida facilmente nas areias, já que estas podem se saturar ou secar com facilidade. Nas argilas, porém, ela atinge maiores valores, sendo a responsável, em muitos casos, pela estabilidade de taludes.

A pressão neutra negativa no solo é chamada de sucção. Marinho (2005) define sucção como a energia com que um elemento poroso absorve água quando esta se encontra disponível para se mover. Esta avidéz por água é função basicamente da mineralogia, densidade e umidade do solo. Fernandes (2012) define sucção como a força com que o solo retém a água.

A capilaridade implica pressões negativas de água nos poros, isto quer dizer que haverá um aumento nas tensões efetivas, explicando o acentuado crescimento da resistência dos solos, em especial os mais finos, quando o teor de água progressivamente é diminuído. (Fernandes, 2012)

A sucção é o resultado da soma das várias sucções disponíveis no solo. Machado & Vilar (2015) apresentam sete tipos, contudo para nosso estudo interessa apenas dois potenciais que são o potencial matricial e o osmótico. O primeiro decorre da estrutura do solo e se apresenta sob o efeito da capilaridade; e o segundo decorre da presença de sais dissolvidos na água e da troca catiônica do meio.

Sucção total = sucção matricial + sucção osmótica

A sucção osmótica não apresenta grande influência para modestas variações de quantidade de água no ambiente, logo, a medição da sucção total corresponde à medição da sucção matricial do solo. Essa consideração é verdadeira quanto maior for o nível de sucção e quanto menor for a variação de temperatura. (Fredlund, 2012)

Para o fenômeno da sucção, o fluxo nos solos não saturados é bastante importante, uma vez que determina a condição da pressão nos mesmos. O fluxo ocorre de três maneiras: através da infiltração da água chuvas, aumentando o teor de umidade e diminuindo a pressão nos vazios; da evapotranspiração pelas raízes da vegetação presente; e da evaporação pelo aumento da temperatura.

(Fredlund, 1979, 2012) afirma que o comportamento dos solos não saturados depende basicamente da parcela de sucção matricial. A parcela osmótica estaria associada à ocorrência de diferenças de concentração de solutos no solo e se acredita que ela não contribua significativamente para sua resistência ao cisalhamento (Blight, 1983). Segundo Fredlund & Xing (2012), em sucções muito elevadas, maiores que 1500kPa, a sucção mátrica e a total podem, em geral, ser assumidas como equivalentes.

2.4.1. Curva Característica

A dificuldade de determinar as variáveis que influenciam no comportamento de solos não saturados através de ensaios, determinou o desenvolvimento de

técnicas que atrelasse essas variáveis com outras que pudessem facilmente ser medidas. O teor de umidade do solo é facilmente medível, esse valor relacionado com a sucção origina a curva característica ou curva de retenção.

Curva característica de sucção é a expressão gráfica que relaciona a sucção mátrica com teor de umidade, este podendo ser expresso em termos de volume ou em peso. Ela pode ser utilizada para fornecer estimativa de parâmetros importantes para a descrição do comportamento do solo não saturado, tais como a permeabilidade, a resistência ao cisalhamento e a variação de volume (Fredlund et al., 1977).

A curva fornece a pressão de entrada de ar, que corresponde à pressão necessária para drenar a água contida no maior vazio do solo e a umidade residual que corresponde à umidade na qual a água quando retirada do solo passa para a forma de vapor.

Essa curva é obtida variando-se o teor de umidade e obtendo-se os valores de sucção respectivos, por processo de umedecimento ou de secagem. Dependendo do processo pelo qual a curva é obtida, sua trajetória é diferente. A este fenômeno dá-se o nome de histerese (Figura 7).

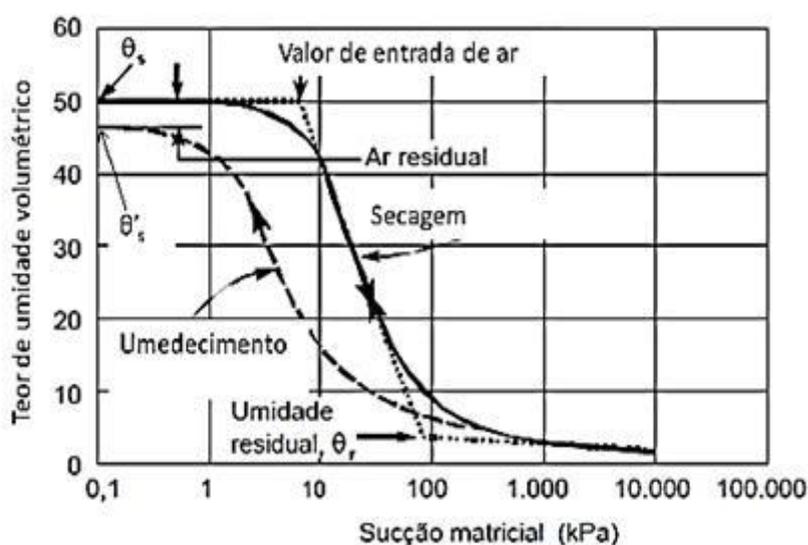


Figura 7 – Curva de retenção típica

A forma da curva característica varia conforme o tipo de solo. As areias possuem grãos maiores, conseqüentemente maiores vazios, o que facilita a entrada ou saída de água, logo, ela apresenta quedas acentuadas nos teores de umidade volumétrica entre a pressão de entrada de ar e a umidade residual, já os solos

argilosos apresentam altos valores de pressão de entrada de ar e de sucção matricial na umidade residual e queda mais suave da curva (Figura 8). Essa condição está intrinsecamente relacionada com a distribuição de poros do solo, o que levou a serem desenvolvidos diversos modelos de predição da curva característica baseadas na distribuição granulométrica.

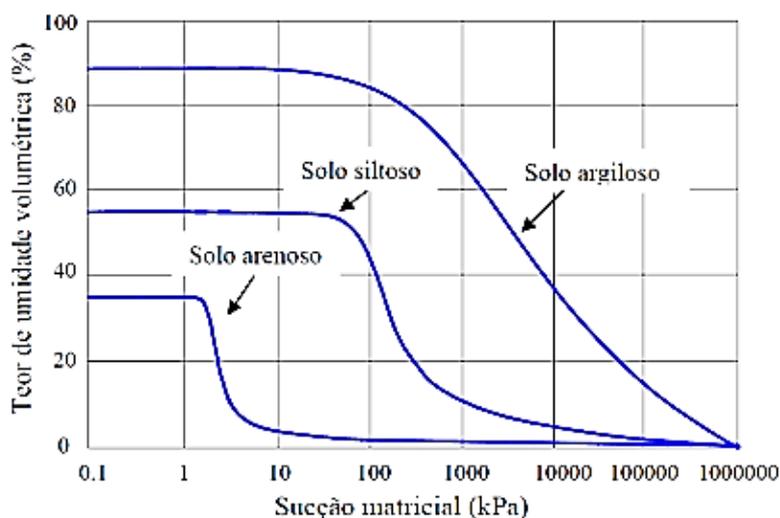


Figura 8 – Influência do Tipo de Solo na Curva Característica. Fredlund e Xing (1994)

Esta curva pode apresentar um comportamento bimodal, ou seja, duas quedas sucessivas separadas por patamares que determinam respectivamente as pressões de entrada de ar correspondentes à energia necessária para drenar a água dos macroporos e dos microporos do solo. Para a determinação da sucção em solos existem diversas técnicas, que são descritas no item 2.4.2 deste trabalho.

A relação sucção versus umidade é complexa, pois envolve muitas variáveis físicas que são interdependentes, e que não são possíveis de medir experimentalmente, sendo assim, para a construção da curva é necessário que se ajustem funções não lineares capazes de relacionar os dados experimentais obtidos com essas variáveis.

Essa relação é feita através dos parâmetros de ajuste das curvas, que variam, dependendo do modelo utilizado. Os modelos apresentados por Garder (1958) apresentando na eq. 1, Brooks e Corey (1964), apresentado na eq. 2 e Van Genuchten (1972), apresentado na eq. 3 são os mais conhecidos para curvas unimodais.

$$\theta = 1 / (1 + q\psi^n) \quad (1)$$

Sendo, $\theta = \text{teor de umidade normalizado} = \theta - \theta_r / \theta_s - \theta_r$: sendo θ teor de umidade volumétrico, θ_r teor de umidade residual, e θ_s teor de umidade saturado; n e q são parâmetros de ajuste da curva.

$$\theta = \left(\frac{\psi_b}{\psi} \right)^\lambda \quad (2)$$

Sendo $\theta = \text{teor de umidade normalizado} = \theta - \theta_r / \theta_s - \theta_r$; $\lambda =$ índice de distribuição de diâmetro de vazios.

$$\theta = \left[\frac{1}{1 + (\alpha \psi)^n} \right]^m \quad (3)$$

Sendo: $\theta =$ teor de umidade normalizado; p, q, m e n = parâmetros de ajuste, nos quais α e n são os definidores do formato da curva sendo que o primeiro representa o inverso do potencial de entrada de ar e o segundo é um índice da distribuição dos tamanhos de poros.

Gerscovich (2001) estudou dois solos residuais brasileiros, ambos arenosos, porém, um com predominância de silte e outro de argila. Ela verificou a adequação de diversos modelos empíricos à realidade desses solos, e constatou que o modelo de Gardner se adequou bem a ambos os solos, Van Genuchten se ajustou bem ao solo com teor maior de argila e Brooks e Corey não apresentou desempenho muito significativo para modelagem com nenhum dos dois solos nas condições por ela estudadas.

2.4.2. Técnicas de Medição da Sucção em Solos

A sucção é a energia com que solo absorve água quando esta está disponível no meio. Seu valor será maior quanto menor for o tamanho dos vazios e o teor de umidade e quanto menor for o índice de plasticidade do solo. Os valores da sucção também estão fortemente ligados à distribuição granulométrica do solo e sua mineralogia.

Existem diversas técnicas de medição de sucção, elas podem ser quantificadas de forma direta ou indireta. O interesse na determinação dessa propriedade iniciou-se na agricultura, onde a variação da umidade baseada na troca de água com o ambiente é primordial. Na área de engenharia, o estudo dos solos não saturados está diretamente vinculado com a habilidade de se determinar o valor da sucção.

Matematicamente a sucção é apresentada como a diferença entre o valor da pressão do ar e da água ($u_a - u_w$), logo, é obtida em unidade de pressão. Quanto maior for essa diferença, maior o seu valor. Desta forma, é possível entender que quanto maior for a quantidade de água existente no meio, menor o valor da sucção, menor a capacidade de armazenamento de água no meio e maior a condutividade hidráulica do solo. A sucção é sempre um valor positivo.

A medida direta da sucção é feita com o auxílio de um disco poroso de alto valor de entrada de ar. Uma vez que esse disco está saturado com água, o ar em estado livre não consegue atravessar a membrana contrátil mesmo sob pressão. A sucção mátrica máxima que a membrana pode suportar sem romper é o que dá o valor da pressão de alto valor de entrada de ar.

A Tabela 2 mostra a abrangência dos métodos de medição, o tipo e o intervalo de sucção que é medido, e o tempo de equilíbrio necessário para se obter os resultados.

A limitação dessa técnica está na confecção de pedras porosas com vazios microscópios capazes de suportar a tensão na membrana contrátil, quanto menor o tamanho dos vazios, mais cara se torna a pedra. Existe ainda a possibilidade de cavitação do instrumento, causado pela expansão de microbolhas de ar.

Tabela 2 – Abrangência dos métodos de medição. Adaptado de Fredlund (1993)

Técnica	Medida de sucção	Intervalo (kPa)	Tempo de Equilíbrio
Psicrômetro	total	100 a 71000	Minutos
Papel filtro com contato	mátrica	30 a 30000	7 dias
Papel filtro sem contato	total	400 a 30000	7-14 dias
Bloco poroso	mátrica	30 a 30000	semanas
Sensor de condutividade térmica	mátrica	0 a 300	semanas
Placa de sucção	mátrica	0 a -90	horas
Placa de pressão	mátrica	0 a 1500	horas
Tensiômetro padrão	mátrica	0 a -100	minutos
Tensiômetro osmótico	mátrica	0 a 1500	horas
Tensiômetro tipo Imperial College	mátrica	0 a -1800	minutos

Os tensiômetros (Figura 9) são instrumentos que utilizam essa pedra para medir sucção em campo de forma direta.

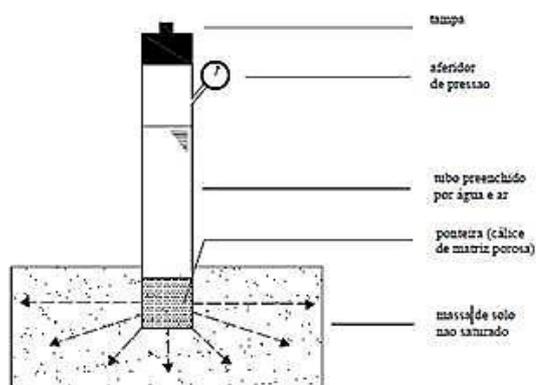


Figura 9 – Tensiômetro (Gomes, 2007)

Para medir sucção em laboratório é necessário associar o uso da pedra porosa com outros métodos. A técnica de translação de eixos é uma das mais utilizadas através do instrumento chamado de placa de pressão. Essa técnica consiste na aplicação de uma pressão de ar no sistema acima da pressão atmosférica, ganhando desta forma, um intervalo maior de pressão de água que se pode aplicar na amostra, portanto aumentando os valores de sucção que se pode medir. O uso desta técnica se justifica quando se queira medir altos valores de sucção, pois evita cavitação do sistema. A Figura 10 apresenta uma placa de pressão com seus componentes.

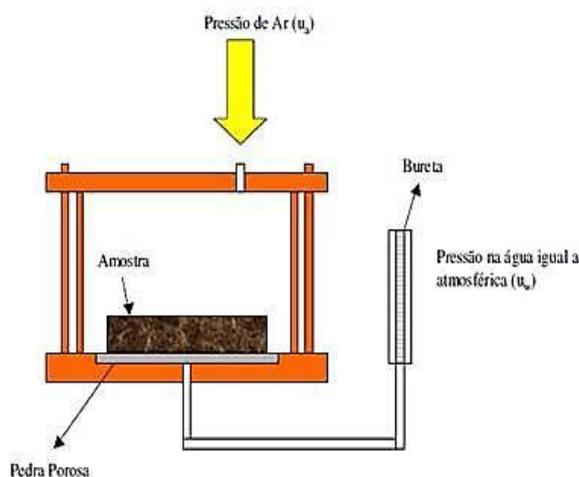


Figura 10 – Placa de pressão. (Marinho, 2005)

A Tabela 3 apresenta a lógica da técnica de translação de eixos (Adaptado de Fredlund, 2012).

Tabela 3 – Determinação da sucção pelo método translação de eixos (Adaptado de Fredlund, 2012)

Tensão Inicial	Tensão de Equilíbrio
$\sigma = 0$	$\sigma = u_a$
$u_a = 0$ (atmosférica)	$u_a = 255 \text{ kPa}$
$u_w = -250 \text{ kPa}$	$u_w = 5 \text{ kPa}$
Estado de tensão	Estado de tensão
$\sigma - u_a = 0$	$\sigma - u_a = 0$
$u_a - u_w = 250 \text{ kPa}$	$u_a - u_w = 250 \text{ kPa}$

Outra técnica associada ao uso da pedra de alta entrada de ar é a placa de sucção, mostrada na Figura 11. É utilizada para medir baixos valores de sucção e consiste na aplicação da pressão de água a partir da imposição de um Δh entre a placa e o reservatório.

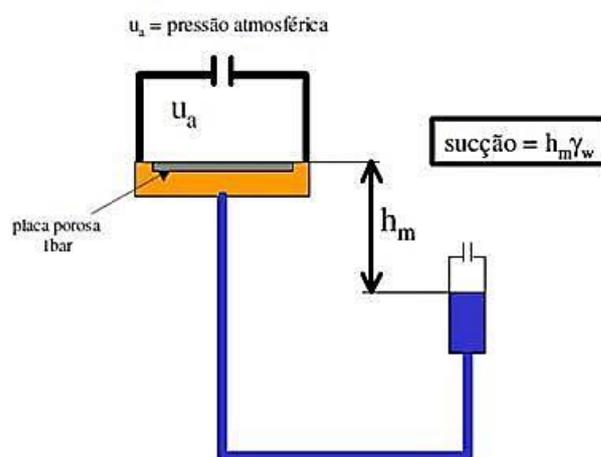


Figura 11 – Placa de sucção. (Marinho, 2005)

As técnicas indiretas de medidas de sucção são mais complexas do que as medidas diretas, sua complexidade reside no fato de requerer mais conhecimento técnico e mais habilidade para manusear os instrumentos, contudo, elas são muito mais utilizadas devido ao seu baixo custo. Essas técnicas consistem em medir uma variável de fácil determinação e comparar com uma curva de calibração desta variável com a sucção. A técnica indireta mais conhecida é a do papel filtro, que foi utilizada nesta dissertação.

2.4.3. A Técnica do Papel Filtro

A técnica do papel filtro mede indiretamente a sucção e é especialmente importante pela sua praticidade, simplicidade e baixo custo. Contudo, algumas considerações devem ser observadas durante a execução para se obter sucesso através dela, pois não há ainda uma padronização da metodologia de aplicação. Marinho (2005) propôs um procedimento eficiente para obtenção de bons resultados deste ensaio e que é amplamente seguido.

A técnica baseia-se no princípio de que quando solo úmido é colocado em contato com um material poroso que possua capacidade de absorver água, esta será transferida do solo para esse material até que o equilíbrio seja alcançado. No estado de equilíbrio, os potenciais matriciais da água no solo e no material poroso igualam-se, apesar de as respectivas umidades serem diferentes (Marinho & Oliveira, 2006).

Por este método se pode medir a sucção total e a sucção mátrica do solo. A sucção total é medida quando o papel e o solo estão separados um do outro e a água passa para o estado de vapor antes de entrar em equilíbrio com o papel, o espaço entre os meios impedem a passagem dos sais contidos no solo para o papel; desta forma a diferença de umidade oriunda da diferença de energia dos sais dissolvidos também é medida.

A sucção matricial é medida quando o papel está em contato direto com o solo, desta forma o potencial se equilibra na fase líquida, então os sais podem passar do solo para o papel, sendo computada apenas a diferença de energia oriunda do fenômeno da capilaridade.

A Figura 12 mostra as medições de sucções com contato e sem contato. A técnica sem contato pode ser realizada mediante a colocação de uma tela entre o papel e o solo.

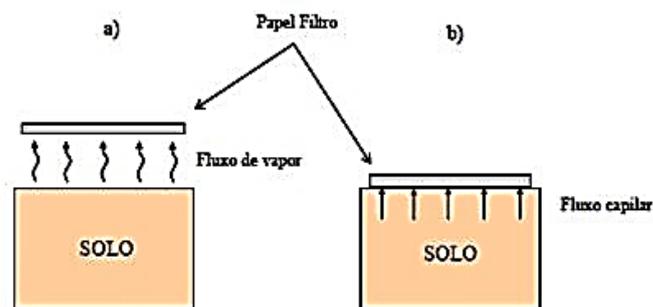


Figura 12 - Papel Filtro. (Marinho, 2005)

Gomes (2007) estudou a influência do tempo de equilíbrio, do contato entre o papel e o solo e a estrutura porosa dos grãos na qualidade dos valores de sucção obtidos. Ele observou que o tempo de equilíbrio e a porcentagem da área do papel em contato com os solos são fatores que podem se compensar mutuamente; quando a área de contato diminui pode-se aumentar o tempo de equilíbrio para fazer a compensação.

Marinho (1994) afirma que numa amostra onde toda área do papel está em contato com o solo, bastam 7 dias para equilibrar os potenciais matriciais, contudo Rahardjo (2002) alerta que esse tempo pode ser pequeno, porém ele não ultrapassa os 14 dias. O tempo de equilíbrio do potencial osmótico vai depender dos níveis de sucção que se queira medir. Gomes (2007) conclui que em relação à estrutura porosa dos grãos, o efeito da deficiência do contato é mais significativo em grãos grossos com índice de vazios maior que a unidade.

2.5. Resistência ao cisalhamento em solos não saturados

Na resistência ao cisalhamento, o valor da sucção é um aspecto importante a ser considerado na estabilidade de taludes não saturado. Atualmente, a resistência vem sendo considerada somente na condição de solo saturado.

Diversas tentativas de determinar a tensão efetiva em solos não saturados foram apresentadas sendo que a de Bishop, 1967 foi a que primeiro se destacou. Essa proposta é mostrada na eq. 4.

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w) \quad (4)$$

Sendo:

u_a - a pressão de ar nos vazios do solo;

u_w - a pressão da água, σ a tensão total;

σ' - tensão efetiva;

χ - parâmetro experimental que depende da estrutura do solo, do grau de saturação, sequência de umedecimento e secagem, nível da água e trajetória de tensões.

A proposta de Bishop et al. (1967) não teve boa aceitação no meio técnico por se mostrar inadequada a certos tipos de solo, a exemplo dos solos colapsíveis, e por não fornecer uma relação adequada entre tensão efetiva e variação de volume, no caso de solos não saturados (Gerscovich, 2016).

Onze anos depois, Fredlund et al. (1987) apresentaram um modelo, mostrado na eq. 5, para determinar a tensão de cisalhamento para solos não saturados. A equação de Fredlund et al. (1987) tomou como base o modelo de Mohr-Coulomb, na qual introduziu a parcela referente ao acréscimo de sucção decorrente dos diferentes graus de umidade do solo, considerando que a sucção mátrica, o intercepto coesivo c' , e a tensão normal líquida são independentes entre si.

$$\tau = c' + (u_a - u_w) \tan \phi^b + (\sigma - u_a) \tan \phi' \quad (5)$$

A equação de Fredlund et al. (1987) considera que a tensão cisalhante varia linearmente com a sucção mátrica e a tensão normal líquida. Fredlund (1993) afirma que para fins de engenharia se pode considerar a variação plana da sucção, sendo que desta forma, a envoltória de ruptura se apresenta como uma superfície. A superfície de ruptura proposta por Fredlund é mostrada na Figura 13.

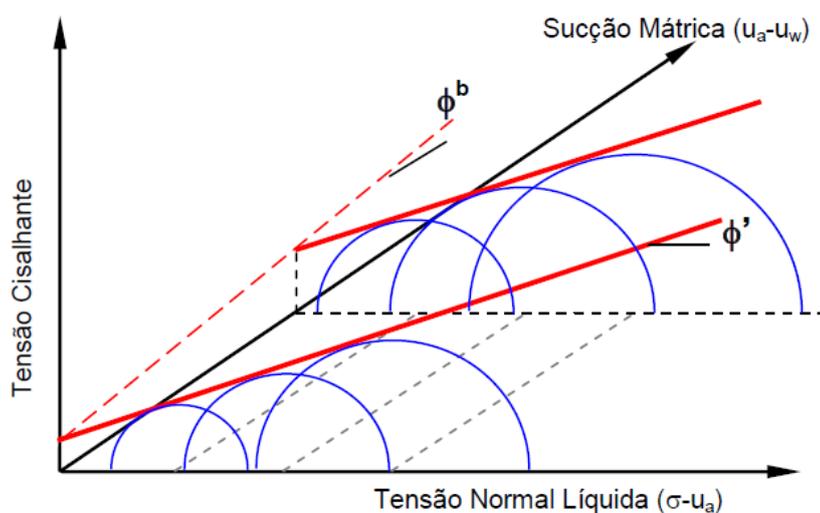


Figura 13 – Envoltória de resistência para solos não saturados. (Gerscovich, 2009)

A equação apresentada por Fredlund exige que para a determinação da tensão de cisalhamento não saturada, se realize ensaios de cisalhamento com medição e da sucção matricial e controle da tensão confinante.

Equipamentos foram desenvolvidos para tal fim, mas ainda são de elaboração cara e o uso é de baixa popularidade, visto que para se obter resultados através deles, pode – se demandar longos períodos de execução do ensaio e mão de obra especializada, ainda não amplamente disponível no meio geotécnico.

O modelo mostra que a sucção mátrica e a tensão de cisalhamento são diretamente proporcionais. Sabe-se, porém, que o aumento da tensão de cisalhamento com a sucção não é linear, o que dificulta a utilização da equação de Fredlund, que poderá ser utilizada apenas nos intervalos de linearidade da relação tensão de cisalhamento x sucção.

Mas a equação de Fredlund possibilitou que diversos autores estudassem outros modelos matemáticos com o objetivo de representar de forma mais real, o resultado da variação da umidade na resistência dos solos.

A Tabela 4 apresenta diversas propostas para modelos simplificados para predição de tensão de ruptura em solos não saturados.

Tabela 4 – Equações de Previsão de Resistência ao Cisalhamento. (Adaptado de Fredlund, 2012.)

Ano/Autores	Proposta	Descrição das variáveis
1978 Fredlund et al.	$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b$	τ - tensão de cisalhamento $(\sigma - u_a)$ - tensão normal líquida $(u_a - u_w)$ - sucção mátrica
1996 Vanapalli et al.	$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right] \tan \phi'$	θ - umidade volumétrica θ_r - umidade volumétrica residual θ_s - umidade volumétrica saturada
1996 Fredlund et al.	$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \left[\frac{\theta}{\theta_s} \right]^k \tan \phi'$ $k = -0,0016 (IP)^2 + 0,0975 (IP) + 1$	IP – Índice de Plasticidade do solo
1997 Oberge e Sallfors	$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) S \tan \phi'$	S – Grau de Saturação
1998 Khalili e Khabbaz	$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \lambda' \tan \phi'$	$\lambda' = \left[\frac{u_a - u_w}{(u_a - u_w)_b} \right]^{0,55}$
1998 Bao et al	$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) [\zeta] \tan \phi'$	$[\zeta] = \frac{(u_a - u_w)_r - (u_a - u_w)}{(u_a - u_w)_r - (u_a - u_w)_b}$
2005 Rassan and Cook	$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + \psi \tan \phi' - \varphi (\psi_r - \psi_{aev})^\beta$ $\varphi = \frac{\psi_r \tan \phi' - \tau_{Sr}}{(\psi_{aev} - \psi_{aev})^\beta} e$ $\beta = \frac{\tan \phi' (\psi_r - \psi_{aev})}{\psi_r \tan \phi' - \tau_{Sr}}$	ψ – sucção ψ_{aev} – sucção valor de entrada de ar ψ_r – sucção na umidade residual
2006 Vilar	$\tau = c + \sigma \tan \phi'$ $c = c' + \frac{\psi}{a + b\psi}$	$a = \frac{1}{\tan \phi'} e b = \frac{1}{c_r - c'}$

Autores afirmam que não se pode ignorar a não linearidade da curva. Fredlund (2012) apresenta os resultados de Futai (2002), Reis (2004), Escario (1988) que mostram que o ângulo de atrito interno varia com a sucção e o intercepto coesivo aumenta com o aumento da sucção.

Vilar (2002) conclui que as envoltórias de ruptura para solos não saturados são basicamente não lineares, considerando o modelo hiperbólico uma representação que pode ser adequada.

A desvantagem de todos esses modelos para estimar a envoltória de ruptura para solos não saturados é que não dispensam os ensaios com medição da sucção. Vilar (2006) foi o primeiro a apresentar uma equação que dispensasse esses ensaios.

2.5.1. A Equação de Vilar (2006)

Vilar (2006) propôs um processo simplificado para estimar a tensão de cisalhamento de solos não saturados. O processo apresenta uma equação empírica que relaciona dados experimentais da amostra na umidade residual e na condição saturada.

A vantagem desta proposta é a de não depender da tensão normal líquida o que elimina a necessidade da medição da resistência com sucção controlada, que é a razão de ser de um modelo que ofereça uma estimativa, já que os ensaios de resistência não saturada ocupam tempo.

A metodologia apresentada parte da ideia inicial de Fredlund (1978), eq 5, oferece uma função hiperbólica para a parcela de coesão referente à sucção e adiciona este valor ao de c' (eq. 6 e eq. 7). Esta equação já foi testada por Miao et al. (2001), Caso (2014), Calle (2000).

$$\tau = c + c' + \sigma \tan \Phi' \quad (6)$$

$$c = c' + \frac{\psi}{a+b\psi} \quad (7)$$

Sendo: c o intercepto coesivo; ψ a sucção; a e b os parâmetros de ajuste da curva determinados experimentalmente.

Quando a sucção ψ tende para zero, o valor de c atinge seu valor mínimo, logo, a equação pode ser descrita como na eq. 8:

$$\frac{dc}{d\psi} = \frac{1}{a} = \tan \Phi' \quad (8)$$

Quando a sucção ψ tende para o infinito, o valor de c tende para o limite último cult, logo, a equação pode ser descrita como na eq. 9:

$$\lim_{\psi \rightarrow \infty} c = c_r = c' + \frac{1}{b} \quad (9)$$

Onde: τ é a tensão de cisalhamento do solo não saturado; c' é o intercepto de coesão efetivo; Φ' é o ângulo de atrito interno do solo saturado e Φ_b é o ângulo da inclinação da sucção mátrica.

2.6. Análises de Estabilidade

Gerscovich (2009) afirma que o objetivo da análise de estabilidade de taludes é avaliar a possibilidade de ocorrência de escorregamento de massa de solos presente em um talude natural ou construído. As metodologias visam determinar iminência da ruptura.

Os métodos de estudo de estabilidade de taludes podem ser classificados em experimentais, observacionais ou analíticos:

Métodos experimentais utilizam modelos físicos que representam o talude em escala reduzida sendo a ele equivalente quanto à condição de resistência e deformabilidade. A partir daí, reproduz-se as condições a que estes taludes estão submetidos e analisa-se seu comportamento.

Métodos observacionais são métodos empíricos que se baseiam na experiência de especialistas que analisam a condição do maciço de acordo com históricos anteriores. É o menos utilizado, pois precisa de muita experiência acumulada para sua satisfatória aplicação.

Os métodos analíticos tentam reproduzir os fenômenos utilizando formulações que se aproximem da condição real. Nessa teoria, se destacam duas abordagens: a primeira baseada na relação tensão x deformação dos materiais e a segunda baseada na teoria do equilíbrio limite.

A primeira bastante complexa na sua estruturação é mais facilmente aplicada em situações em que os parâmetros são controlados como ocorre nos aterros; a segunda abordagem é mais simples na estruturação e permite que a experiência seja utilizada em contraponto a variabilidade dos parâmetros geotécnicos, como nas situações de taludes naturais.

Dentre os métodos citados os mais utilizados são métodos analíticos de equilíbrio limite. Estes podem ser classificados como determinísticos e

probabilísticos. Na abordagem determinística, há a uma simplificação do sistema através da fixação das variáveis de entrada; na abordagem probabilística há a inclusão do desvio padrão de cada variável e ao fim da análise é fornecida também a confiabilidade do resultado.

As abordagens determinísticas ainda são utilizadas porque se bem aplicadas obtém-se bons resultados. A abordagem analítica determinística é realizada através dos métodos de equilíbrio limite geral e dos métodos de equilíbrio limite simplificados. Por estes métodos, o equilíbrio depende das forças solicitantes e resistentes atuantes no maciço, logo, para que o talude esteja estável, as forças resistentes devem sobrepor às forças atuantes.

O equilíbrio de forças no talude é representado pela Figura 14.

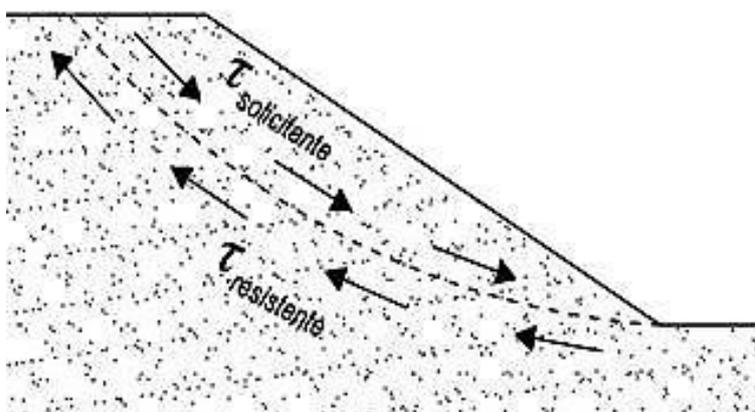


Figura 14 – Resistência mobilizável e mobilizada na superfície de ruptura. (Costa, 2014)

Devido a tal fato concluímos que existe um fator de segurança que estabelece o grau de estabilidade de um talude, cuja ruptura ocorre quando este coeficiente atinge seu valor crítico, representado matematicamente pela unidade, conforme apresenta a eq.10. Embora com suas limitações, esse método é amplamente utilizado porque reproduz bem rupturas reais observadas. (Fernandes, 2014)

$$F = \frac{\text{Forças resistentes}}{\text{Força solicitantes}} \quad (10)$$

No método determinístico a eficácia das análises computacionais está diretamente ligada à confiabilidade da medida dos parâmetros adotados, por isso,

para que tenha sucesso, é importante que os parâmetros de entrada sejam obtidos por profissionais qualificados nas etapas de coleta de dados.

2.6.1. Teoria de Equilíbrio Limite

O método de equilíbrio limite assume as seguintes hipóteses: a superfície de ruptura é bem definida, o critério de ruptura escolhido pode ser aplicado em toda a superfície do talude; a massa de solo ou rocha está em seu limite de equilíbrio e a resistência ao cisalhamento pode ser mobilizada em qualquer ponto da superfície de ruptura.

Por esta teoria existe um fator de segurança crítico correspondente à ruptura da estrutura. Nela, é necessário que se façam diversas aproximações que variam conforme o nível de refinamento da análise e com a variabilidade dos parâmetros adotados.

Devido às aproximações, um fator de segurança maior que a unidade não indica necessariamente que o talude está estável, bem como um fator de segurança menor que a unidade não indica necessariamente que um talude rompeu. O fator de segurança considerado aceitável para projetos é da ordem de 1,5.

Embora o método de equilíbrio limite bidimensional subestime os valores dos fatores de segurança, ainda é satisfatório por sua simplicidade e bons resultados aproximados (Silva, 2009). A Figura 15 mostra os métodos de equilíbrio limite bidimensionais.



Figura 15 – Classificação dos métodos de estabilidade de taludes

As teorias de equilíbrio limite são diferenciadas quanto à superfície de ruptura do talude que se estuda. As metodologias de taludes infinitos e

instabilização por blocos considera a superfície de ruptura plana; métodos propostos por Fellenius (1936), por Bishop (1955) e por Spencer (1967), consideram a superfície de ruptura circular; métodos propostos por Janbu (1954), por Morgenstern & Price (1965) e por Rui Correia (1988), consideram superfícies de ruptura de forma qualquer.

2.6.2. Método das Fatias

O método das fatias considera que o talude sofre ruptura sob uma superfície bem delimitada e, portanto, se pode dividi-la em fatias de modo a se aplicar o mecanismo de equilíbrio de forças e/ou de momentos. As variáveis envolvidas nessa abordagem são mostradas na Figura 16.

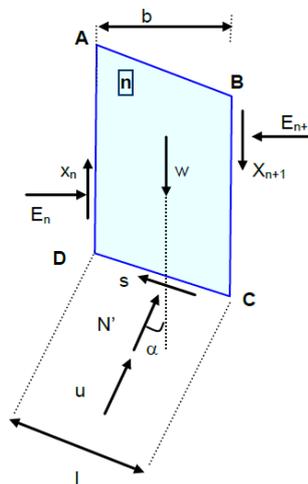


Figura 16 – Método das fatias (Gerscovich, 2009)

Desta forma, para o solo saturado, o equilíbrio de tensões se apresenta como na eq. 11:

$$\tau_{solicitantes} = \frac{c'}{FS} + \sigma' \frac{\tan \phi'}{FS} \quad (11)$$

A partir da eq. 11 se chega na expressão da eq. 12 para solo saturado.

$$FS = \frac{\sum [c' x l (N - ul) \tan \phi']}{\sum W x s \sin \alpha} \quad (12)$$

Percebe-se que quanto menor a largura das fatias, maior precisão terá o resultado.

2.6.3. Aspecto Não Saturado

Para incluir a sucção na análise de estabilidade de taludes, Fredlund (1987) considerou a sucção parte da coesão do solo, conforme a eq. 13:

$$c = c' + (u_a - u_w) \tan \Phi^b \quad (13)$$

Desta forma, utilizando a mesma equação de equilíbrio de forças da eq. 10, tem-se que a força de cisalhamento na base do talude será conforme a eq.14.

$$Sm = \frac{\beta}{F} [c + (\sigma_n - u_w) \tan \Phi'] \quad (14)$$

Sendo: F o fator de segurança e β o comprimento ao longo da base do talude.

As considerações para esta análise é que a porção de solo na região onde a poropressão é negativa também pode ser subdividida em fatias; a coesão total em cada fatia é constante, mas as tensões são variáveis.

Na iminência de ruptura, tem-se então que a tensão de cisalhamento se apresenta conforme a eq.15.

$$Sm = \frac{\beta}{F} [c' + (\sigma_n - u_a) \tan \Phi' + (u_a - u_w) \tan \Phi^b] \quad (15)$$

Sendo: w = peso total da fatia

N = força normal total que age na base da fatia;

EL, ER = forças horizontais normais nos lados direito e esquerdo das fatias;

XL, XR - forças verticais cisalhantes nos lados direito e esquerdo das fatias;

R - raio ou o momento associado com a resistência ao cisalhamento mobilizada;

x - distância horizontal entre o centro de cada fatia e o centro dos momentos;

f - distância entre a força normal e o centro dos momentos;

α - ângulo entre a base da fatia e a horizontal.

O resultado final do equilíbrio de forças é apresentado na eq.16

$$N = \frac{W - (X_R - X_L) - \frac{c' \beta \text{sen} \alpha}{F} + u_a \frac{\beta \text{sen} \alpha}{F} (\tan \Phi' - \tan \Phi^b) + u_w \frac{\beta \text{sen} \alpha}{F} \tan \Phi^b}{\cos \alpha + \frac{\text{sen} \alpha \tan \Phi'}{F}} \quad (16)$$

Considerando a pressão de ar igual a zero, a eq. 16 se reduz à eq. 17:

$$N = \frac{W - (X_R - X_L) - \frac{c' \beta \text{sen} \alpha}{F} + u_w \frac{\beta \text{sen} \alpha}{F} \tan \Phi^b}{\cos \alpha + \frac{\text{sen} \alpha \tan \Phi'}{F}} \quad (17)$$

Observa que para o solo saturado, \emptyset_b se transforma em \emptyset' . Dois fatores de segurança são obtidos, um para o equilíbrio de forças e outro para o equilíbrio de momentos. O equilíbrio de momentos é satisfeito a partir de uma referência arbitrária na parte central acima da superfície de deslizamento. Para uma superfície de ruptura circular, o centro de rotação coincide com o centro do momento.

A eq.18 apresenta F_m , o fator de segurança obtido pela equação de equilíbrio de momentos e a equação 19 apresenta F_f o fator de segurança obtido pela equação de equilíbrio de forças.

$$F_m = \frac{\sum \left\{ c' \beta R + \left[N - u_w \beta \frac{\tan \Phi^b}{\tan \Phi'} - u_a \beta \left(1 - \frac{\tan \Phi^b}{\tan \Phi'} \right) \right] R \tan \Phi' \right\}}{\sum W_x - \sum N_f} \quad (18)$$

$$F_f = \frac{\sum \left\{ c' \beta \cos \alpha + \left[N - u_w \beta \frac{\tan \Phi^b}{\tan \Phi'} - u_a \beta \left(1 - \frac{\tan \Phi^b}{\tan \Phi'} \right) \right] \cos \alpha \tan \Phi' \right\}}{\sum N \text{sen} \alpha} \quad (19)$$

2.6.4. Morgenstern & Price (1965)

Nesta metodologia tanto o equilíbrio de forças e de momentos são satisfeitas, e equações diferenciais são utilizadas para fornecer as expressões de equilíbrio da superfície de ruptura que pode assumir uma forma qualquer. A Figura 17 apresenta as variáveis consideradas neste método.

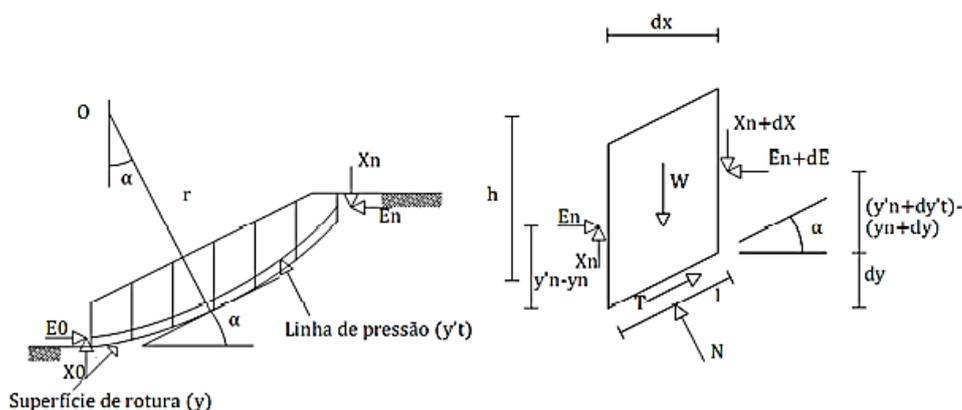


Figura 17 – Variáveis consideradas no método de M&P (Freitas, 2011)

M&P atribuem à superfície de ruptura uma função conhecida, ela atende ao equilíbrio de forças e de momentos. Essa equação assume que existe uma relação entre as forças cisalhantes e as normais. A condição para que não haja rotação da fatia é satisfeita se a soma dos momentos no centro da base da fatia for igual a zero, igualmente neste ponto, estão aplicadas as forças dN' , dN e dW , pelo que os seus momentos serão nulos em relação a este. (Freitas, 2011)

O resultado das expressões que governam o equilíbrio de forças e de momentos é mostrado nas eq. 20 e 21.

$$dT = \frac{1}{FS} [c' dx \sec \alpha + dN \tan \phi'] \quad (20)$$

$$\frac{c'}{FS} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] + \frac{\tan \phi'}{FS} \left\{ \frac{dW}{dx} + \frac{dX}{dx} - \frac{dE}{dx} \frac{dy}{dx} - ux \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] \right\} =$$

$$\frac{dE}{dx} + \frac{dX}{dy} \frac{dy}{dx} - \frac{dW}{dx} \frac{dy}{dx} \quad (21)$$

Este problema é indeterminado, pois, as variáveis E , x e y' são incógnitas. Desta forma é necessário atribuir uma relação entre E e x . A expressão que apresenta esta relação se encontra na Equação 22.

$$x = \lambda f(x) E \quad (22)$$

Onde:

$f(x)$ = é uma relação de dependência arbitrária que descreve a forma na qual a magnitude de x/E varia através da superfície de ruptura. Geralmente se usa para $f(x)$ uma senóide.

λ = é um fator de escala que representa a porcentagem da função $f(x)$ usada para calcular o fator de segurança nas equações.

Se se consegue determinar $f(x)$ então o problema passa a ser determinado.

2.6.5. Limitações dos Métodos de Equilíbrio Limite

Como já foi dito neste trabalho os métodos de equilíbrio limite possuem limitações, pois não leva em consideração a deformação, supõe que as tensões são uniformemente distribuídas na superfície de falha; são determinísticos, não levando em conta a variabilidade dos parâmetros geotécnicos e são muito simplificados, podendo ser inadequados para condições complexas. A Tabela 5 mostra as variáveis consideradas nos de equilíbrio limite.

Tabela 5 – Quadro resumo dos métodos de equilíbrio limite (Adaptado de Freitas, 2011)

Método	Equilíbrio de Momentos	Equilíbrio de Forças Horizontais	Força de Interação Normal (E)	Forças de Interação Tangenciais (X)	Inclinação da Resultante X/E
Fellenius	x				Não Existe
Bishop Simplificado	x		x		Horizontal
Janbu		x	x		Horizontal
Spencer	x	x	x	x	Constante
Morgenstern e Price	x	x	x	x	Variável

Observa-se que de todos os métodos, o de Morgenstern e Price é o que considera as condições mais completas da análise de estabilidade e por isto foi o método utilizado neste trabalho.

2.7. Infiltração em Solos Não Saturados

A infiltração é o processo por meio do qual a água, quando disponível, infiltra no solo. Parte da água da chuva escoar pela superfície parte infiltra de acordo com a capacidade de armazenamento do solo. O particionamento entre a água que infiltra no solo e a água que escoar superficialmente é uma função da

declividade do terreno, da sua cobertura (solo nu ou vegetação), da umidade do solo e da poropressão correspondente. (Borma et al., 2015)

O parâmetro que caracteriza a infiltração é a condutividade hidráulica, que pode ser definida como sendo a facilidade com que a água se movimenta ao longo de um perfil de solo. Na mecânica dos solos clássica essa variável é determinada a partir da Lei de Darcy (eq. 23) para fluxo unidimensional.

$$v_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad \text{eq. 23}$$

Sendo:

v_x a velocidade do fluxo na direção x

k_x a permeabilidade na direção x área transversal ao fluxo

$\frac{\partial h}{\partial x}$ o gradiente hidráulico na direção de x

Para os solos não saturados os parâmetros que influenciam a permeabilidade são os mesmos que influenciam a permeabilidade dos solos saturados. Quando o solo não está saturado, a água livre, quando disponível infiltra e é armazenada nos vazios presentes no seu interior, aumentando seu teor de umidade, com isto aumenta também o valor da condutividade hidráulica, que atinge seu valor máximo quando a saturação atinge cem por cento.

A condutividade hidráulica decresce rapidamente com o decréscimo do teor de umidade ou grau de saturação, porque a secagem do solo ocorre do maior para o menor poro, logo, o ar que ocupa esses vazios impede a transmissão de fluido no interior diminuindo a área útil para a condução da água.

A condutividade hidráulica do solo depende da umidade e esta é dependente da sucção. Então essas três variáveis se relacionam num solo não saturado, assumindo a equação clássica de Darcy dada pela expressão da Equação 24.

$$v_x = -k_x(\psi) \frac{\partial h}{\partial x} \quad (24)$$

Sendo, $K(\psi)$ a condutividade hidráulica não saturada em m/s.

A equação diferencial completa que descreve o fluxo da água através do solo não saturado se apresenta conforme a eq. 25, assumindo a presença de uma

fase de ar que pode existir livremente em qualquer porção do meio poroso ou região de fluxo, cuja pressão é a atmosférica.

$$-\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_{zy} \frac{\partial h}{\partial z} \right] \quad (25)$$

A permeabilidade não saturada sendo dependente do tempo, do grau de saturação inicial, da porosidade, da umidade volumétrica e da sucção matricial do solo e tendo influências da morfologia da estrutura do maciço de fatores químicos da rocha, é um parâmetro muito variável. Entende – se aceitável, métodos experimentais ou modelos matemáticos que ofereçam resultados próximos da ordem de grandeza do material real.

Diversas equações empíricas foram propostas para se obter a função de condutividade hidráulica não saturada a partir de dados experimentais. A Figura 18 mostra as equações propostas.

Modelo	Equação	Definição de variáveis
Gardner (1958)	$k = \frac{k_{sat}}{1 + a \left(\frac{\Psi}{\rho_w g} \right)^n}$	Ψ = Sucção a e n = parâmetros de ajuste ρ_w = densidade da água g = aceleração gravitacional
Brooks e Corey (1968)	$\begin{cases} k(\psi) = k_{sat} \left(\frac{\psi}{\psi_b} \right)^\eta & \rightarrow \psi > \psi_b \\ k(\psi) = k_{sat} & \rightarrow \psi \leq \psi_b \end{cases}$	ψ_b = sucção de entrada de ar Ψ = sucção η = parâmetro de ajuste
Arbhabharama & Kridakorn (1968)	$k = \frac{k_{sat}}{\left(\frac{\Psi}{\psi_b} \right)^n + 1}$	Ψ = Sucção ψ_b = Sucção de entrada de ar n = Parâmetro de ajuste
Davidson et al (1969)	$k = k_{sat} e^{\beta(\psi - \psi_b)}$	θ_s = teor de umidade saturado. β = parâmetro de ajuste
Campbell (1974)	$k = k_{sat} \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^{2n+1}$	θ_s = teor de umidade saturado. β = parâmetro de ajuste
Mualem (1976)	$K_{sat} = \frac{[1 - (\alpha \psi)^m (1 + (\alpha \psi)^n)^{-1}]^2}{[1 + (\alpha \psi)^n]^2} \rightarrow \psi > 0$	$K_{sat} = k/k_{sat}$ m, n e α = parâmetros de ajuste Ψ = sucção
Mualem & Dagan (1978)	$k_{sat} = S_r \left(\frac{\int_{\psi}^{\infty} \frac{d\theta}{\psi^{1-n}}}{\int_{\psi_b}^{\infty} \frac{d\theta}{\psi^{1-n}}} \right)^b$	$K_{sat} = k/k_{sat}$ θ = teor de umidade volumétrico Ψ = Sucção. b = fator de tortuosidade
Van Genuchten (1980)	$k(S_r) = k_{sat} S_r \left[1 - \left(1 - S_r^{\frac{1}{n}} \right)^2 \right]^2$ $S_r = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$	θ_r e θ_s = teor de umidade residual e saturado. S_r = grau de saturação no solo. n = parâmetro de ajuste l = 0,5
Leong & Rahardjo (1998)	$k_{sat} = \Theta^p \Rightarrow \Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$	$K_{sat} = k/k_{sat}$ Θ = teor de umidade normalizado θ_r e θ_s = teor de umidade residual e saturado. p = parâmetro de ajuste.
Vanapalli & Lobbezoo (2002)	$k_{sat} \approx 10^{(1.2 + 0.1 S_r)}$ $\gamma = 14,08 \left(\frac{I_p}{100} \right) + 9,4 \left(\frac{I_p}{100} \right) + 0,75$	$K_{sat} = k/k_{sat}$ S = grau de saturação I_p = índice de Plasticidade

Figura 18 – Equações empíricas para determinação da permeabilidade não saturada

A principal desvantagem do emprego das equações empíricas é que os dados ajustados são válidos somente para condições de contorno em que foram determinados, ou seja, não podem ser adotados para outros tipos de solos (Zuquete, 2009)

A vantagem desse tipo de equação é permitir relacionar parâmetros do modelo a características do solo, sem que estes obrigatoriamente tenham significado físico e englobar na determinação de suas constantes alguns fatores que são difíceis de serem considerados nos modelos físicos. (Brandão et al., 2003, apud Zuquete, 2009).

2.7.1. Condições de Pluviosidade

A pluviosidade é considerada como o principal agente deflagrador imediato dos movimentos de massa. Classificada como condicionante externo, sua correlação com os movimentos de massa nas encostas é evidente e vastamente justificada na literatura (De Campos, 1992; Vargas et al. 1992; Tatizana, 1987; Calle, 2000). Índices pluviométricos elevados provocam a saturação do solo ou rocha, reduzindo a resistência ao cisalhamento, refletindo em perda de estabilidade das encostas.

Embora os movimentos de massa de grandes proporções estejam relacionados aos períodos de chuvas intensas, Bigarella (2003) destaca que esses processos não ocorrem somente diante dos excepcionalismos pluviométricos: é necessário também considerar o tempo de duração das chuvas, a condutividade hidráulica dos solos e a variação do grau de saturação.

Gerscovich (2016) citando Hillel (1971) afirma que quando a intensidade da chuva for maior que a condutividade saturada se observa uma redução da capacidade de infiltração com o tempo, porque à medida que a frente de saturação se movimenta, a condutividade hidráulica na região superficial permanece constante, enquanto os gradientes de sucção decrescem. Como consequência, o fluxo passa a ocorrer apenas por ação da gravidade, e se o solo for homogêneo, e de estrutura estável, a taxa de infiltração tenderá para o valor correspondente à condição saturada k_{sat} .

Nessa perspectiva, Guidicine e Nieble (1984) consideram que se a água percolar em grande quantidade e sem interrupção através da massa de solo, a coesão aparente irá diminuir e o talude romperá. Quando o maciço rochoso é intensamente fraturado, em diversas direções, a pressão da água no interior da massa rochosa pode ser tratada de maneira análoga à utilizada no caso de massas de solo e quando um maciço rochoso é pouco fraturado, a distribuição de pressões da água se fará aleatoriamente ao longo das descontinuidades.

Algumas considerações acerca do processo de infiltração de água de chuva através dos solos são importantes para o entendimento do fluxo subterrâneo durante a ocorrência de precipitações: o fluxo interno continua a ocorrer após as chuvas terem cessado, desta forma, é possível a ocorrência de ruptura tempo após o evento pluviométrico sem ocorrência de chuva; as heterogeneidades em perfis residuais podem gerar fluxos preferenciais; o horizonte de rocha residual atua como camada drenante, mantendo a condição não saturada das camadas superiores, ou também podem funcionar como caminhos preferenciais para a água (Gerscovich, 2016).

2.7.2. Modelagens Numéricas

Gerscovich (2016) resumiu os mecanismos de ruptura de movimentos de massa em solos residuais. A ocorrência de ruptura ocorrer nas seguintes condições:

redução de massa de solo oriunda do fenômeno da erosão ou de cortes no terreno;

sobrecargas na possíveis superfície de ruptura pelo peso da água da chuva, de construções ou da vegetação;

pressões laterais devido à existência de águas ou material expansivo nas trincas;

redução da resistência ao cisalhamento devido à mudanças nas características do material pela ação do intemperismo:

processos de deformação através de ciclos de umedecimento e secagem;

variação do lençol freático devido à mudanças no padrão natural do fluxo;

infiltração da água da chuva causando redução na sucção;
 geração de excesso de poropressão como resultado da implantação e obras;
 fluxo preferencial através das trincas ou juntas acelerando os processos de infiltração.

De Campos et al. (1992) descreve os parâmetros que influenciam a modelagem de fluxo para solos não saturados como: condições de contorno (taxas de precipitação, fronteiras impermeáveis), parâmetros hidráulicos (curva característica, relação entre condutividade hidráulica e grau de saturação), a geometria do maciço e as condições iniciais.

Fredlund (2012) apresenta a árvore contendo as variáveis que influenciam na análise de estabilidade de um talude não saturado (Figura 19).

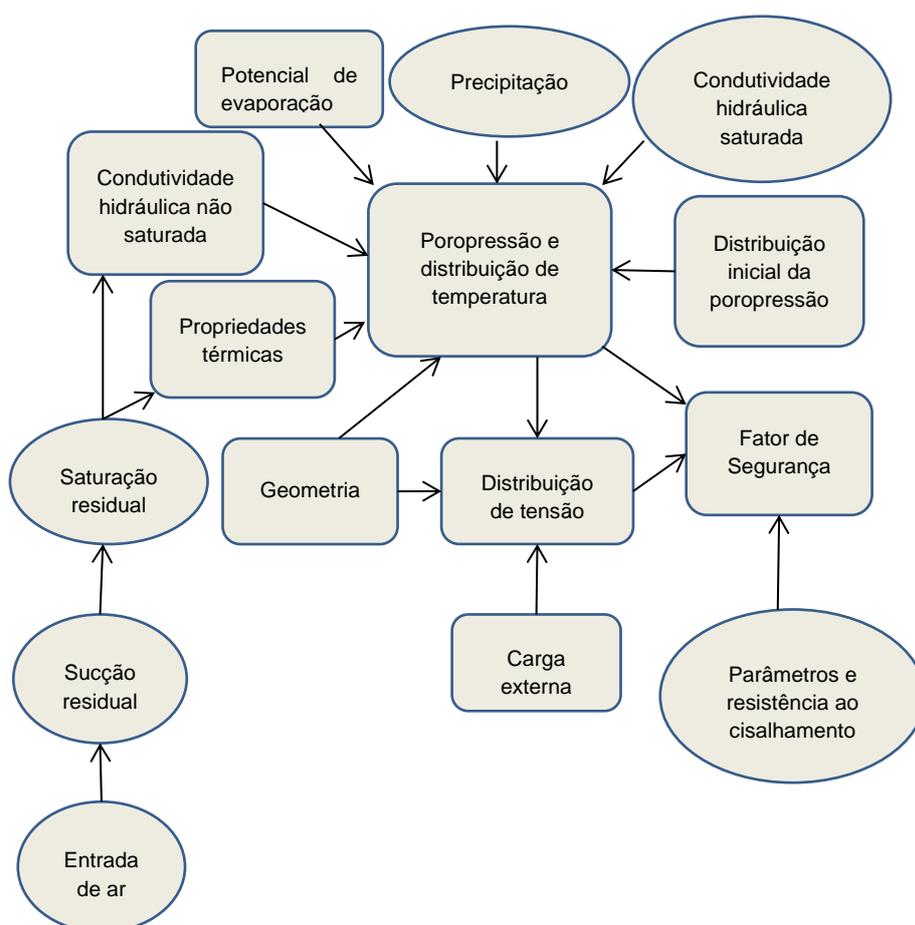


Figura 19 – Variáveis de influência na análise considerando solo não saturado. Adaptado de Fredlund (2012)

Neste trabalho, considera-se a influência da saturação, da sucção, do valor da entrada de ar e da condutividade hidráulica saturada e não saturada; da geometria; da precipitação; dos parâmetros de resistência e da posição inicial do lençol freático.

Fredlund (2012) ainda apresenta as variáveis propriedades térmicas e cargas externas. Os modelos construídos para realização de modelagens numéricas podem apresentar três abordagens fundamentais:

analítica – apresenta a extensão da aplicação, busca convergir para um comportamento correto do modelo, porém pode não oferecer uma representação exata das partes do sistema;

ótima – é fidedigna ao original, procurando enfocar todos os aspectos do problema;

sintética – representação exata das partes do sistema, porém a simulação pode não convergir para o resultado esperado quando este é conhecido.

A Figura 20 ilustra as principais características de cada abordagem.

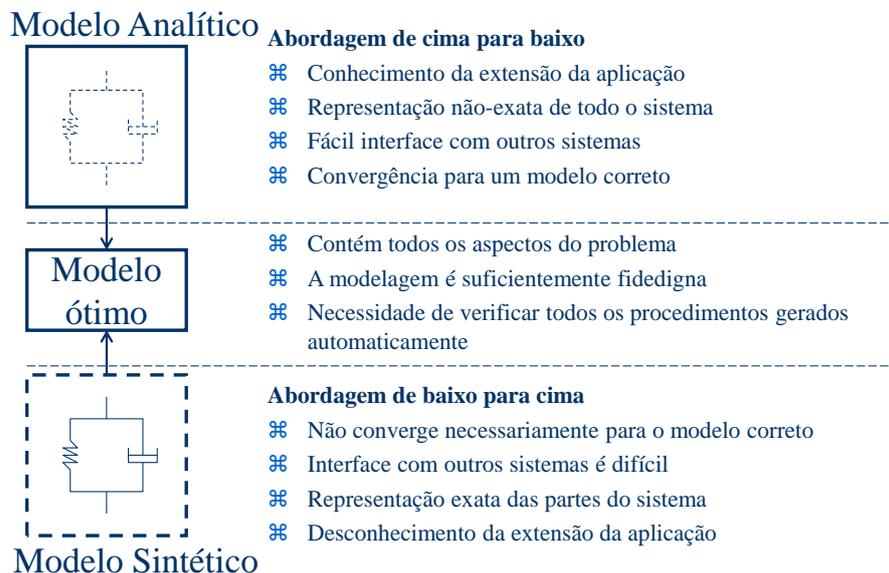


Figura 20 – Características de abordagem para modelagem numérica (Hudson, 1993)

Neste trabalho, utilizamos a abordagem analítica e sintética.

3 Escorregamento do Morro do Águia

3.1. Histórico do Escorregamento

O escorregamento do talude aconteceu no dia 27 de agosto de 2005, aproximadamente dois anos após a execução da obra da avenida. Neste dia, não houve precipitação. O Parecer Técnico 1155, elaborado pelos professores especialistas Luiz Edmundo Prado de Campos e Moacyr Schwab de Souza Menezes, para a Prefeitura Municipal de Salvador, apresenta um histórico detalhado da ocorrência.

- terça-feira, 23 de agosto: morador e proprietário de uma "vendinha" próxima do local do acidente passava montado em sua bicicleta, no local da futura ruptura, quando sentiu "o chão tremer" e abandonou a bicicleta, sentando-se em frente ao talude e no passeio do lado oposto para observar o que ocorria;

- quarta-feira, 24 de agosto: o mesmo morador voltou para inspecionar a área e observou que o passeio havia "subido um centímetro";

- quinta-feira, 25 de agosto: voltando ao local, esse morador (que prestou voluntariamente estas informações, no dia 06 de setembro), constatou a existência de ondulações no pavimento, o que o levou a telefonar para a Bahia Gás, pois supunha que uma tubulação de gás estivesse causando o problema. A Bahia Gás enviou uma equipe nesse mesmo dia e afastou tal possibilidade, pois o gasoduto não está no trecho em corte;

- sexta-feira, 26 de agosto: o mesmo morador volta ao local e percebe que as ondulações no pavimento haviam evoluído para alguns decímetros e ameaçavam a segurança dos veículos que passavam no local. Chamou a SET, que interditou o trecho, mas liberou-o em seguida, por não haver constatado evolução nas deformações;

- sábado, 27 de agosto: ao retornar ao local, o mesmo morador constatou que as ondulações já atingiam altura da ordem de quase um metro e chamou, mais uma vez, a SET que desta vez, não apenas interditou ambas as pistas, mas também requisitou a presença de representantes da CODESAL e da SURCAP, culminando com a visita, à noite, do Subsecretário de Infra-Estrutura do Município, Eng.º

Adriano Peixoto que, por não conhecer a localização exata da adutora da EMBASA, (que passaria no local), determinou seu fechamento imediato e até que ficasse confirmado que a mesma não teria participação no acidente. No decorrer dessa visita e por volta das 22 horas, ouviu-se um "estruído" e o pavimento atingiu sua forma e dimensões ilustradas em fotografias que integram este relatório.

- domingo, 28 de agosto: equipes de técnicos de diversos órgãos da Prefeitura de Salvador participam da tomada de decisões relativas à reabertura do tráfego, sob a coordenação do Subsecretário Eng.º Adriano Peixoto e já com a presença dos Engenheiros Luiz Edmundo Prado de Campos e Moacyr Schwab de Souza Menezes, por ele convocados.

- terça-feira, 30 de agosto: iniciados os serviços de sondagem de simples reconhecimento com SPT, complementados com a determinação do teor de umidade das amostras colhidas no bico do barrilete amostrador, seguindo-se o levantamento topográfico e cadastral da área afetada pela ruptura e de seu contorno.

Observa-se que o escorregamento iniciou no dia 23 de agosto progredindo até a ruptura total no dia 27 de agosto de 2005. Três dias depois, iniciaram se as sondagens de simples reconhecimento sem lavagem, para que fosse possível a determinação da umidade natural das amostras colhidas no bico do barrilete amostrador. Nesta oportunidade, foram retirados os blocos para a execução de ensaios de laboratório. A Tabela 6 mostra os ensaios que foram realizados no ano 2005, logo após a ruptura do talude.

Tabela 6 – Ensaios realizados e dados obtidos em 2015

Campo	SPT sem lavagem
	Determinação da umidade natural
	Permeabilidade por Guelph
	Coleta de blocos cinco indeformados
Laboratório	Resistência ao cisalhamento do solo na umidade natural por cisalhamento direto
	Resistência ao cisalhamento do solo na condição inundada por cisalhamento direto

A conclusão deste relatório apresentou os seguintes resultados:

Considerando-se chuvas intensas as de precipitações acima de 100mm em 24 horas, não ocorreram precipitações relevantes nos dias antecedentes à ruptura;

Considerando-se as escavações, existiam a possibilidade de utilização de explosivos para permitir a conclusão de serviços de escavação em rocha, tais procedimentos contribuem para reativar as descontinuidades na rocha subjacente ao pé do talude, assim como aquelas da estrutura reliquiar dos solos saprolíticos ou jovens, sobrejacentes ao substrato rochoso;

Considerando-se a presença de água, as sondagens realizadas acusaram a presença de água em cotas inferiores às do subleito e revelaram teores erráticos de umidade variando entre 50% e 30%;

Considerando-se o projeto, não houve estudo geológico-geotécnico preliminar, a inclinação dos taludes foi definida a partir das inclinações em taludes construídos na região;

Considerando a análise de estabilidade, foi realizada uma análise preliminar a partir de parâmetros de resistência determinados após embebição e em amostras não deformadas, colhidas na parte estável do corte e vizinha à ruptura, chegou a um coeficiente de segurança da ordem de 0,8.

Neste relatório consta que três rupturas superficiais já haviam acontecido entre os anos de 2003 e 2004. Sendo um relatório preliminar, não ofereceu um parecer conclusivo sobre as possíveis causas da ruptura.

3.2. Geologia

A cidade de Salvador é uma península localizada entre as latitudes de 12°53'55'' e 13°01'00'', e entre as longitudes de 38°12'15'' e 38°21'15''.

A cidade situa-se sobre a placa tectônica do cráton São Francisco. Possui uma falha que separa o substrato em Parte Baixa e Alta, a primeira formada pela Bacia Sedimentar do Recôncavo e a segunda formada pelo substrato cristalino de rocha metamórfica de alto e médio grau oriundas de rochas reliquiares de gnaisses e migmatitos. Os episódios tectônicos sucessivos ocasionaram a ocorrência de falhas com orientação de N30-40E E-W e N30-40W (Lima e De Campos, 2016).

Nesse domínio foram incluídas as manchas dispersas da cobertura sedimentar areno-argilosa da Formação Barreiras e de detritos aluviões quaternários (Rocha, 2013). A Bacia do Rio das Pedras (Figura 22) é formada pelos Rios Cascão, Saboeiro e Cachoeirinha, na margem direita; e pelo Rio Pituáçu na margem esquerda.

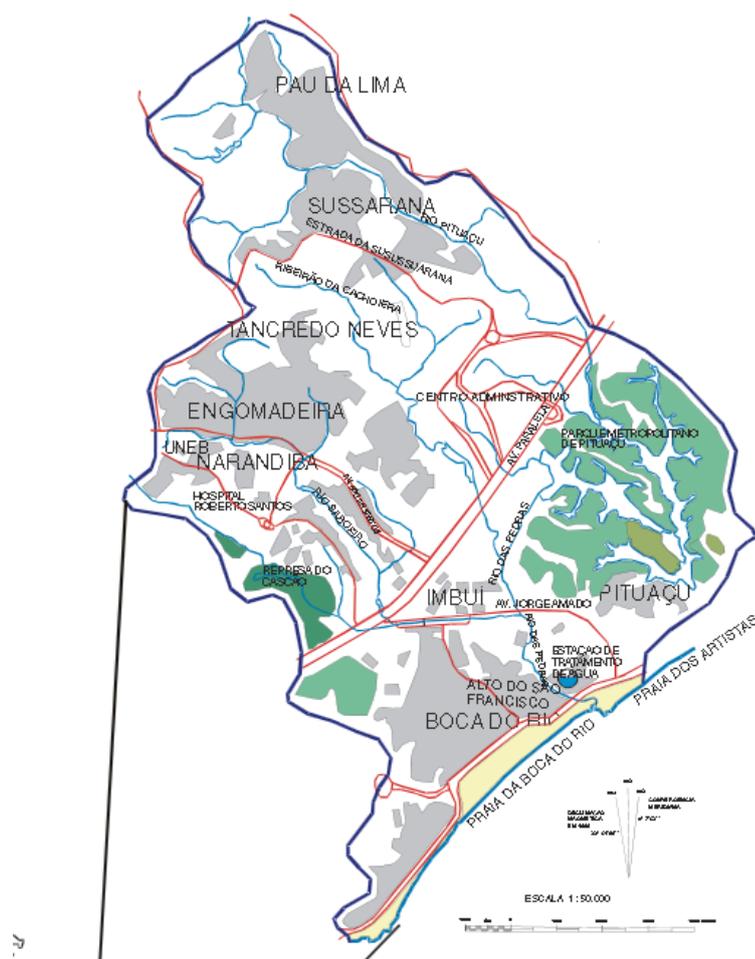


Figura 22 – Bacia hidrográfica do Rio das Pedras. (Mota, 2008)



Figura 23a – Delimitação da área do Morro do Águia (Google, 2016);

Figura 23b – Corte realizado para adequação do greide (Google, 2016).

O clima da bacia hidrográfica do Rio Pituaçu/Rio das Pedras é do tipo tropical chuvoso, também denominado de quente e úmido, possuindo chuvas concentradas entre os meses de março a agosto devido à atuação dos sistemas atmosféricos litorâneos, especialmente, o Tropical Atlântico e o Polar Atlântico, sendo que este último, através dos deslocamentos dos Sistemas frontais que, especialmente, no período de outono/inverno ocasiona episódios de chuvas intensas. A média pluviométrica anual de Salvador está em torno dos 1.902mm, com temperatura média anual de 25,3°C (CEI/CONDER, 1994)

3.4. Vegetação

A área é composta por floresta tropical do tipo ombrófila, heterogênea, latifoliada e densa denominada Mata Atlântica. Além da Mata Atlântica, é possível encontrar em trechos esparsos da costa oceânica, formações litorâneas, dentre elas a vegetação de restinga revestindo os cordões costeiros e a vegetação de manguezal, localizada na desembocadura dos rios (Mota, 2008). O Morro do Águia possui remanescentes desta vegetação, que foi parcialmente extraída quando da implantação da avenida. Pode-se observar essas condições nas Figuras 24 e 25.

3.5. Geometria

O talude antes da ruptura possuía geometria convexa (Figura 25), que segundo Pinto (2002), são menos estáveis que os taludes côncavos, por apresentarem maior peso de material disponível para escorregamento, e conseqüentemente aumento das tensões cisalhantes.



Figura 24 – Foto aérea do talude (Google, 2016)



Figura 25 – Foto do talude após o escorregamento (2005)

A estrutura reliquiar do perfil é formada por rochas metamórficas, de gnaiss, cuja mineralogia predomina o quartzo, feldspato e mica do tipo biotita, de granulometria média a grossa, além dos migmatitos, que são rochas de composição e estruturas heterogêneas, de granulometria média a grossa, geralmente foliadas, Mota (2008).

3.6. Pedogênese

O perfil mostra variação de coloração variegada de marrom, vermelho, amarelo e cinza, com transição gradual entre os horizontes. As medições de umidade ao longo dos perfis (Anexo B) apresentam valores erráticos, correspondendo a linhas de coloração mais escura observadas na Figura 26. A crista do talude atinge cotas de mais de 40m de altura em relação ao nível do mar.

Há distribuição errática da água ao longo do perfil, com concentração nas trincas da rocha. Segundo De Campos e Menezes (2005), existem indícios do uso

de explosivos para atingir a cota de projeto durante a obra, esta condição pode ter reativado algumas descontinuidades.

O horizonte B apresenta espessura de aproximadamente 15m e coloração vermelha e rosa. De Campos (1984) citando Lumb (1962) esclarece que a coloração vermelha é proveniente da oxidação do ferro oriundo da mica biotita e se processa durante a estação seca em locais de grande sazonalidade de chuvas.

Os perfis de sondagem apresentaram mica biotita na profundidade de 5m, já próximo a alteração de rocha. O talude em estudo possui um perfil de silte variando de argiloso a arenoso. O perfil do talude pode ser observado na Figura 26.



Figura 26 – Evidência de Falhas

3.7. Programa Experimental

O deslizamento do talude estudado ocorreu em agosto de 2005. Os ensaios para a determinação dos parâmetros hidráulicos e de resistência e as sondagens de campo foram realizados, logo após a sua ruptura, e estão descritos no item 3.1.

Em 2015, foram realizados ensaios complementares para o estudo do talude: análise mineralógica por difratometria de raio X, ensaios de cisalhamento direto na amostra seca, ensaios de papel filtro e de placa de pressão para determinação da curva característica, coleta de dados de chuva, simulações numéricas, curva

granulométrica e limites de consistência. O resumo desses ensaios está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Coleta de Material e Ensaio Complementares em 2016

Campo	Coleta de três blocos indeformados denominados B7, B8 e B9
Laboratório	Caracterização
	Mineralogia
	Curva Característica
	Resistência ao cisalhamento das amostras secas ao ar
	Permeabilidade de laboratório

3.7.1. Amostragem

A amostragem realizada na investigação das causas da ruptura deste talude em 2005 abrangeu toda a área atingida. Foram coletados cinco blocos indeformados (1, 2, 3, 4 e 5), realizadas 16 sondagens a percussão sem lavagem com medição de umidade em profundidade, ensaio Guelph para medição a permeabilidade saturada e não saturada e determinação da resistência por cisalhamento direto na umidade natural e com amostras inundadas dos Blocos 1, 2, 3, 4, 5. As localizações das sondagens e da retirada dos blocos estão mostradas na Figura 28.

Em 2016 foram coletados os Blocos 7, 8 e 9 (Figura 27). Essa coleta considerou o resultado das sondagens, com o objetivo de posicionar as amostras em locais onde se pudesse coletar o solo silto argiloso e silto arenoso. Foram realizados os seguintes ensaios complementares: curva característica, difração de raio x, permeabilidade saturada em laboratório e resistência ao cisalhamento do solo seco ao ar por cisalhamento direto.

Os perfis de sondagem estão expostos no Anexo A. Os perfis de umidade estão apresentados no Anexo B. A Tabela 8 mostra um resumo das características dos solos superficiais nos respectivos pontos de sondagem a uma profundidade aproximada de 1,00m. A Tabela 9 apresenta as coordenadas dos locais onde os blocos foram coletados.

Tabela 8 – Caracterização dos solos das sondagens para a profundidade de 1,0m

SP	DESCRIÇÃO	COLORAÇÃO	NSPT MÉDIO
01	Silte Argiloso	Marrom	7,5
02	Silte Arenoso	Vermelho	4,0
03	Silte Argiloso	Vermelho	4,0
04	Silte Argiloso	Vermelho	6,0
05	Silte Argiloso	Marrom	9,5
06	Silte Argiloso	Vermelho	7,5
07	Areia Siltosa	Amarelo	8,5
08	Silte Argiloso	Vermelho	4,0
09	Silte Argiloso	Vermelho	6,5
10	Silte Argiloso	Vermelho	6,0
11	Silte Argiloso	Amarelo	5,0
12	Silte Argiloso	Variegado	6,5
13	Silte Argiloso	Vermelho	3,5
14	Silte Argiloso	Vermelho	13,5
15	Silte Argiloso	Vermelho	12,0
16	Silte Arenoso	Marrom	4,0

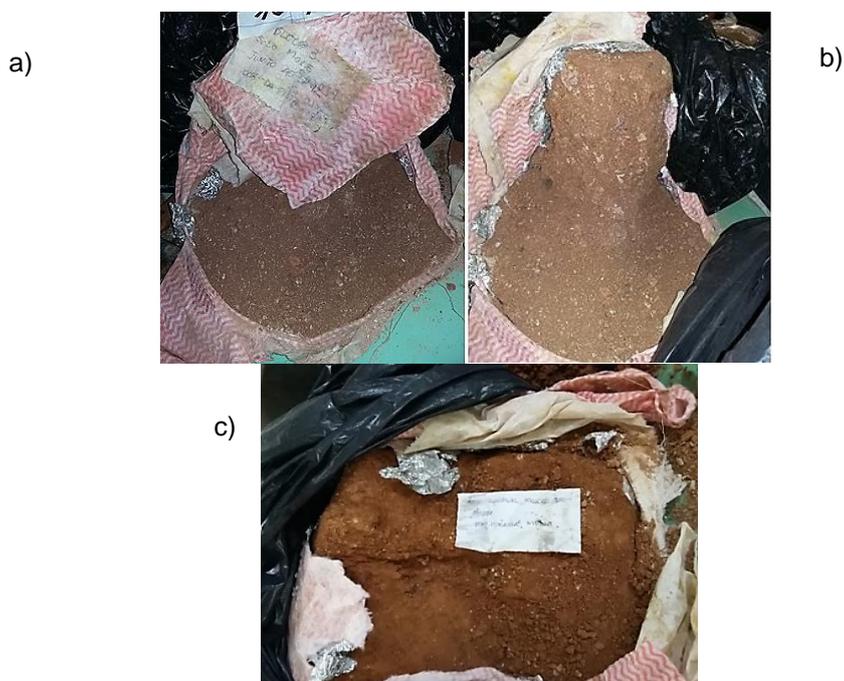


Figura 27 – a) Bloco Marrom. b) Bloco Amarelo. c) Bloco Vermelho.

Tabela 9 – Coordenadas das Sondagens. SAD 69

SP	N	E	Cota (m)
01	8.568.013.509	557.229,174	53,886
02	8.568.001.279	557.186,133	42,140
03	8.567.987.164	557.195,426	36,692
04	8.567.977.726	557.209,907	36,912
05	8.567.959.239	557.248.103	34,210
06	8.567.950.929	557.269.238	34,279
07	8.567.995.548	557.178.660	33,165
08	8.567.981.180	557.190.714	30,493
09	8.567.967.591	557.207.757	31,723
10	8.567.952.567	557.247.886	29,886
11	8.567.945.052	557.267.689	30,531
12	8.567.952.440	557.199.920	25,905
13	8.567.935.452	557.674.936	23,509
14	8.568.010.239	557.254.381	51,863
15	8.567.990.318	557.264,302	45,851
16	8.568.001,279	557.185,133	53,813

Percebe-se a predominância de silte argiloso de coloração vermelha, marrom e amarela. Os NSPT são variáveis de mole a rijo, apresentando os menores valores na faixa de silte arenoso, conseqüente da maior quantidade de água armazenada nesta camada. A Figura 29 apresenta a planta baixa que localiza os blocos e os perfis de sondagem.

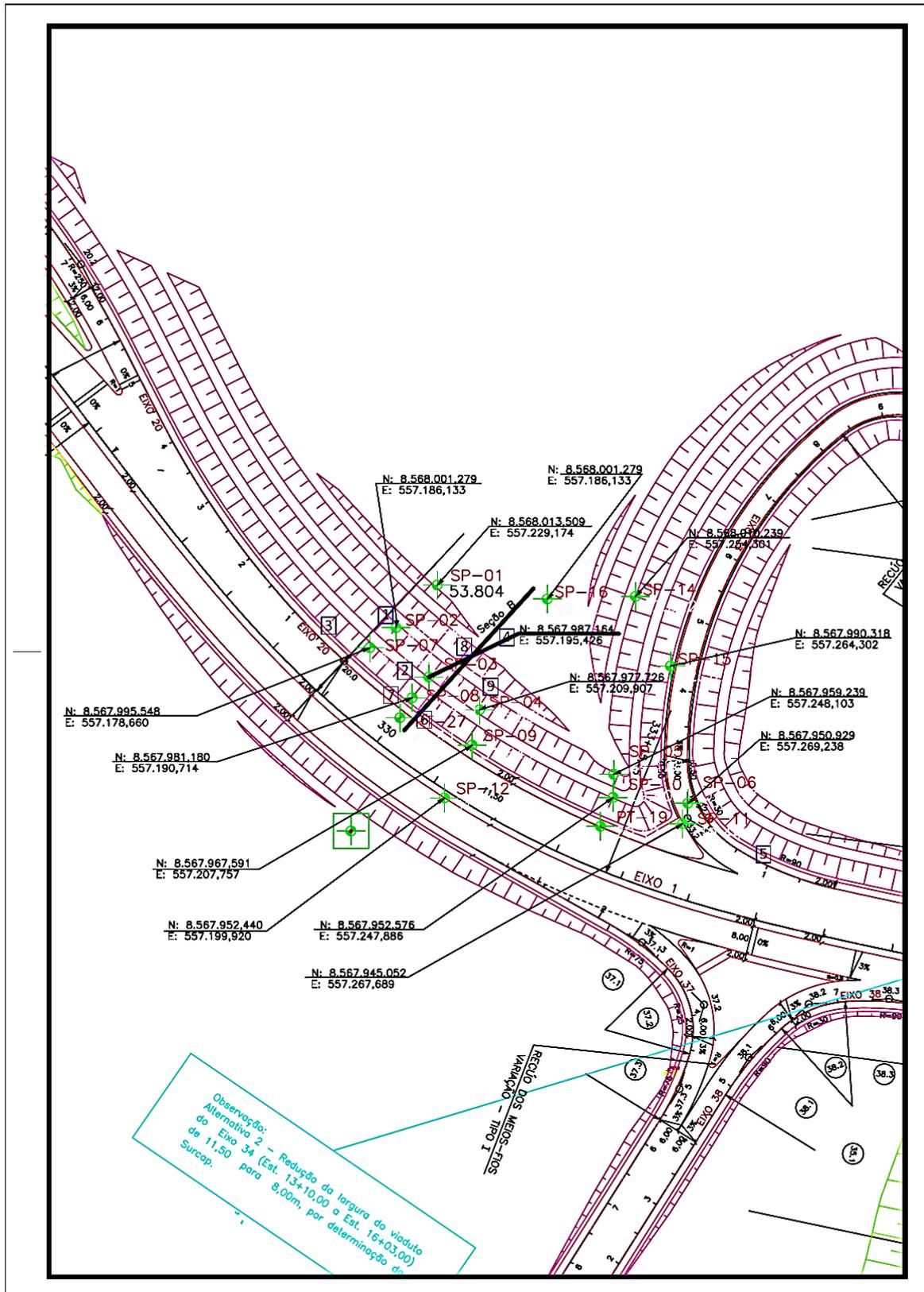


Figura 28 – Localização das sondagens e blocos (Surcap, 2005)

3.8. Dados de Precipitação

Quanto a precipitação, Rocha (2013) apresentando dados da Estação Meteorológica de Ondina - Salvador (Lat. 13°01' e Long. 38°31') do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2008), que indica a precipitação média anual da cidade de 1.900mm, com um total de 220 dias de chuva por ano.

No ano de 2005, quando ocorreu a ruptura do talude do Morro do Águia a precipitação atingiu valores de 2.329mm, 22% da média pluviométrica anual e acima do valor médio anual registrado para a cidade nos últimos 16 anos, considerando-se os anos de 2000 a 2015 (Codesal, 2016).

Entre os meses de janeiro a agosto do ano de 2005 a precipitação total de 1.890mm, correspondeu a oitenta e cinco por cento (85) do total de chuva precipitada naquele ano. Até a data do deslizamento, ocorrido no dia 25 de agosto de 2005, a precipitação foi de 2147,5mm.

A Figura 29 apresenta a precipitação nos meses anteriores ao escorregamento e a Tabela 10 mostra o histórico dos registros das precipitações na cidade de Salvador entre os anos de 2000 a 2015.

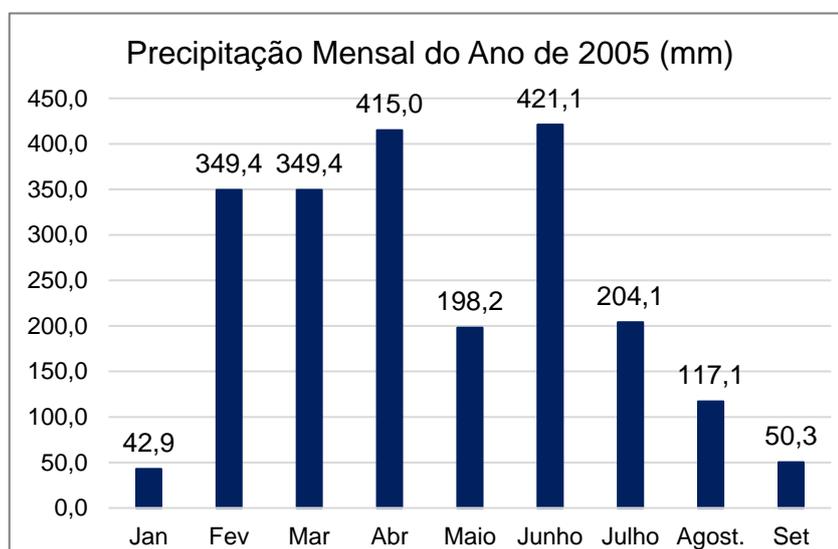


Figura 29 – Precipitação dos meses anteriores ao escorregamento

A Figura 30 apresenta a precipitação acumulada diária do mês de agosto de 2005 e a Tabela 11 apresenta a distribuição de chuva ao longo do mês de agosto de 2005.

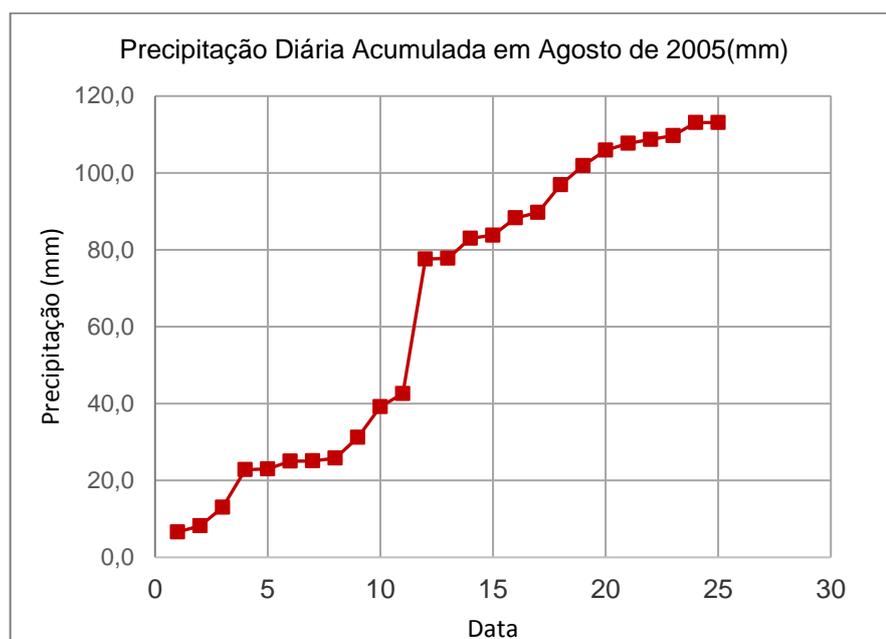


Figura 30 – Precipitação acumulada diária do mês de agosto de 2005

Com relação às precipitações mensais, De campos e Meneses (2015) afirmam que no mês de fevereiro, a precipitação mensal em 2005, (349,4 mm), foi superada apenas uma vez entre os anos de 1958 e o ano de 1986. No mês de março, o valor registrado em 2005 (também 349,4 mm) foi superado apenas duas vezes entre os anos de 1960 e 1964. Em abril, no ano de 2005, os valores registrados de 415 mm foram superados sete vezes. No entanto, em vinte e sete anos a conjunção de valores com a mesma ordem de grandeza no decorrer dos meses de fevereiro, março e abril de 2005, não foi registrada uma única vez.

Tatizana et al (1987) estudando a correlação entre chuvas e escorregamentos considerou além da intensidade, o tempo de chuva como fator deflagrador de escorregamentos. Ele afirma que o avanço da frente de saturação depende da tipologia das chuvas, sendo que chuvas de maior duração e baixa intensidade apresentam maior infiltração enquanto que chuvas de alta intensidade e curta duração favorecem o escoamento superficial. Afirma ainda que escorregamento de grande porte são anomalias na distribuição de chuvas, com picos mais forte localizados na porção média ou final do evento chuvoso. No caso em questão as chuvas começaram em janeiro e se estenderam até junho com concentração nos meses de fevereiro a agosto.

Tabela 10 – Precipitação anual na cidade de Salvador. Fonte: Codesal (2016)

Mes	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
JAN	51,3	50,7	36,2	35,7	170,3	78,3	30,3	17,8	20	40,1	42,9	319,4	26,7	252,4	94,6	29,5
FEV	89,6	142,7	28,8	70,9	46,2	19,2	122,1	182,6	282,6	7,1	349,4	165,3	97,3	95,1	28,3	85,5
MAR	31,3	128,8	38,4	74,7	200,7	122,8	25,6	132,8	86,8	35	349,4	122,3	206,3	102,1	264	191,9
ABR	394,2	107,1	230,8	48,9	331	448,8	506,6	154,3	139,8	587,4	415	278,4	187,1	69,2	103,5	365,4
MAIO	639	247,2	231,1	411,5	304,2	243,8	549,3	203,6	211,2	397,1	198,2	158,3	550,5	351,6	199,2	241,3
JUN	352,4	241,6	313,8	168,3	277,7	96,7	155,1	178,2	134	401,4	421,1	327	237,5	208,5	195,8	310,4
JUL	184	198,9	197,2	162,5	57,3	492,5	158,9	148,8	130,4	91,7	204,1	218,4	186,5	253,7	220,3	201,1
AGO	87,6	60,8	211,2	137,4	91,3	176,3	93,8	58,7	109	117,7	117,1	129,5	136,7	162,8	149,7	136,3
SET	21,9	92,1	109,4	30,7	62	56,8	56,1	37,8	86,7	126,9	50,6	40	168,7	258,8	190,8	154,6
OUT	16,6	27,7	208,6	73,6	208,5	56,7	162,4	31,7	78,9	258,9	32,9	82	71,5	15,4	202,3	15,8
NOV	3,2	59	208,2	35,5	319,2	22,6	48,1	78,4	19,1	220	72,8	167,6	132,8	25,2	30,3	74,3
DEZ	15,7	194,2	155,2	10,7	86,4	102,2	5,8	103,5	18,8	30,3	75,5	10,8	14,9	24,1	112,1	88
TOTAL ANUAL (mm)	1.887,10	1.550,80	1.968,90	1.260,40	2.154,80	1.916,70	1.914,10	1.328,20	1.317,30	2.313,60	2.329,00	2.019,00	2.016,50	1.818,90	1.790,90	1.894,10

Tabela 11 – Precipitação Diária do Ano de 2005

Fonte: Codesal (2016)

Dias	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
1	0,0	0,2	0,0	13,4	3,4	2,9	0,8	6,6
2	0,3	0,0	0,0	53,0	48,2	29,5	3,1	1,6
3	0,0	0,0	0,0	89,3	4,6	16,5	1,5	4,8
4	4,0	0,0	0,0	22,4	17,7	25,9	0,6	9,8
5	0,0	0,0	20,0	0,0	7,2	37,4	0,8	0,2
6	2,4	0,0	0,0	4,2	21,0	4,4	2,9	2,0
7	1,3	10,5	0,0	13,4	2,7	46,4	0,0	0,1
8	0,5	82,0	0,0	0,0	0,0	11,8	22,5	0,7
9	0,0	39,5	1,2	3,1	2,9	6,5	28,3	5,4
10	0,0	66,4	0,0	3,2	24,3	4,1	14,7	8,0
11	0,1	17,4	1,0	8,4	0,0	3,0	22,2	3,4
12	0,0	0,0	0,0	2,0	8,4	4,4	11,9	35,0
13	0,0	0,1	0,0	4,2	11,6	3,2	5,2	0,2
14	0,0	17,8	0,0	5,3	0,0	10,6	1,1	5,2
15	11,2	2,0	0,0	6,0	1,2	1,6	8,5	0,8
16	0,1	0,6	0,2	13,1	0,3	11,2	4,0	4,5
17	0,0	82,9	0,0	58,0	3,6	0,0	0,0	1,4
18	0,0	6,4	0,0	0,4	9,8	0,0	0,0	7,2
19	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	5,0
20	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	40,6	4,0
21	0,0	0,0	1,6	16,0	0,0	0,0	15,6	1,8
22	0,0	0,0	0,6	8,4	0,0	11,3	0,0	1,0
23	0,0	13,4	0,2	0,4	0,0	29,4	1,6	1,0
24	0,0	0,3	10,5	0,2	0,0	26,2	0,7	3,4
25	0,0	3,5	0,0	2,8	2,7	31,7	9,3	0,0
26	0,0	6,4	0,0	0,0	1,3	41,5	6,8	
27	0,0	0,0	16,6	0,0	0,5	49,1	1,4	
28	0,0	0,0	78,5	45,3	11,6	6,8	0,0	
29	8,4		70,8	6,8	11,0	3,3	0,0	
30	14,2		144,8	35,3	4,2	2,4	0,0	
31	0,3		3,4	0,0	0,0		0,0	
Total	42,9	349,4	349,4	415,0	198,2	421,1	204,1	117,1
Acum	42,9	392,3	741,7	1156,7	1354,9	1776,0	1980,1	2097,2

No mês do evento houve precipitação de apenas 117,1mm e no dia do escorregamento a precipitação foi nula. Gerscovich (2016) em suas considerações sobre a relação entre chuva e escorregamentos afirma que processos de fluxo interno continuam a ocorrer após as chuvas terem cessado. Com isto, é possível que a ruptura ocorra algum tempo após o evento pluviométrico, em período sem chuva.

4

Apresentação e análise dos resultados dos ensaios

4.1.

Caracterização Geotécnica

Os ensaios de granulometria apresentados neste trabalho se referem aos blocos 7, 8 e 9, coletados em 2015. A Tabela 12 apresenta as porcentagens das frações granulométricas dos blocos coletados. O resultado dos ensaios de granulometria é mostrado nas Figuras 31, 32 e 33.

Tabela 12 – Porcentagens das frações granulométricas

Amostras	Bloco 7	Bloco 9	Bloco 8
Pedregulho	2	2	1
Areia Grossa	8	9	6
Areia Média	6	12	8
Areia Fina	10	15	11
Silte	49	48	39
Argila	25	14	35
WL	62	49	69
WP	43	41	46
IP	19	18	23
AC	0,76	1,28	0,66
γ_s	26,9	27,9	26,9
Classificação			
AASHTO	A-7-5	A-7-5 (12)	A-7-5 (17)
USCS	MH	MH	MH

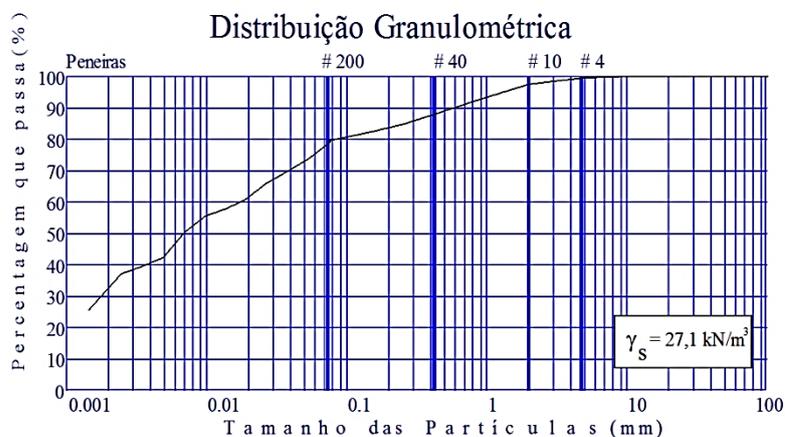


Figura 31 – Distribuição granulométrica Bloco 7

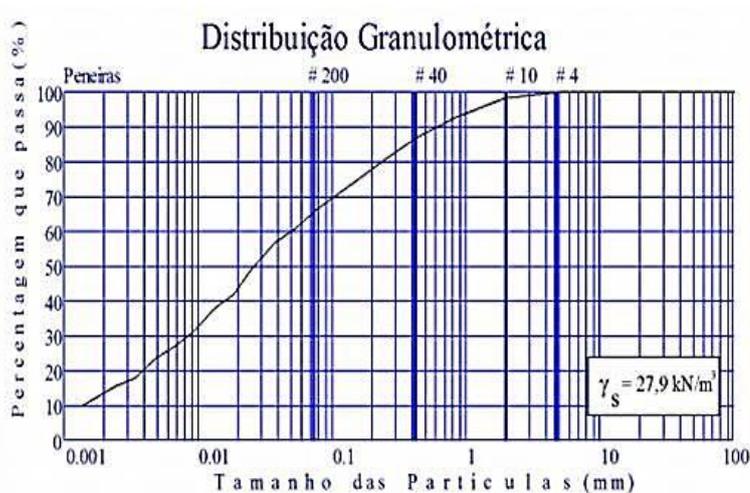


Figura 32 – Distribuição granulométrica Bloco 8

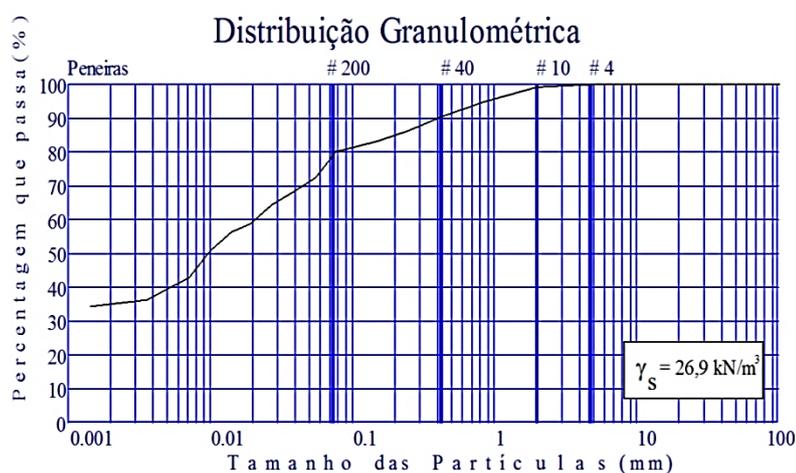


Figura 33 – Distribuição granulométrica Bloco 9

O resultado dos ensaios mostrou predominância da fração silte para todos os blocos sendo que o bloco 7 apresentou fração equilibrada entre areia (26%) e argila (25%) nas frações secundárias; o bloco 8 apresentou a fração secundária maior de argila (35%) e o bloco 9 apresentou maior porcentagem de areia (36%) na fração secundária sendo, portanto, um solo silte arenoso. A Tabela 13 apresenta os limites obtidos para cada bloco.

Tabela 13 - Dados de plasticidade

Amostra	W_L	W_P	IP
Bloco 7	67	44	23
Bloco 8	69	46	23
Bloco 9	62	43	19

A classificação dos solos é pouco relevante para pressupor o comportamento de solos tropicais (De Carvalho et al, 2016). Para este grupo, a identificação da rocha de origem e suas características, bem como a constituição mineralógica são aspectos mais relevantes a serem considerados.

4.2. Mineralogia

Para a análise mineralógica foi realizado o ensaio de difração de raios X. Na oportunidade, foram coletadas pequenas amostras em diferentes pontos da superfície do talude nas cotas aproximadas de 0,5m, 1,0m, 3,5m, e 5m. A rocha matriz desse talude é uma rocha metamórfica de gnaiss e migmatitos, e é mostrada da Figura 34.



Figura 34 – Bloco de rocha e solo coletados do talude

A retirada das amostras foi feita observando os tipos diferentes de coloração e textura dos materiais encontrados no primeiro, segundo e terceiro patamares das bermas, visando alcançar os diferentes horizontes de solo que estavam expostos na superfície na ocasião da coleta.

As frações das amostras de cada horizonte foram secas e separadas em passantes e retidas na peneira 40 (Figura 35). As frações retidas foram observadas na lupa e as frações passantes foram submetidas ao ensaio de difratometria de raio X.



Figura 35 – Amostras para determinação da mineralogia do solo

A preparação das amostras foi feita de acordo com o Manual de Métodos de Análise do Solo do EMBRAPA de 1997. Os ensaios foram realizados no laboratório de Mineralogia da PUC - Rio, no ano de 2015. O resultado dos ensaios é mostrado nas Figuras 36 e 37.

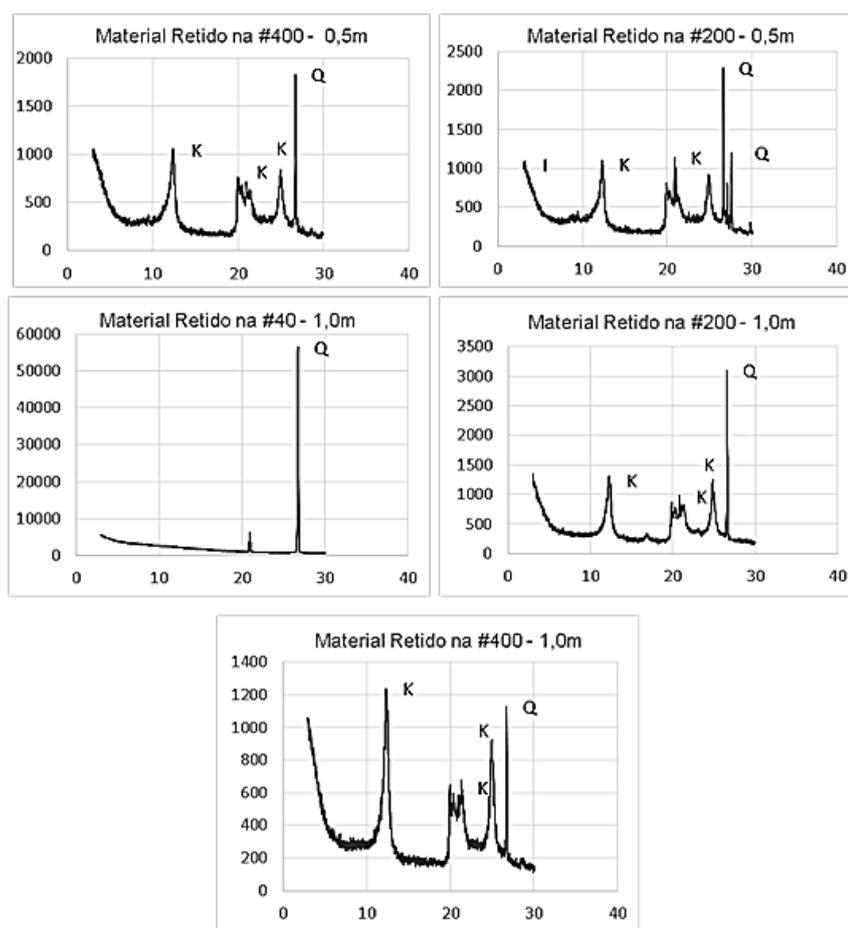


Figura 36 – Análise Mineralógica nas profundidades de 0,5m e 1,0 m

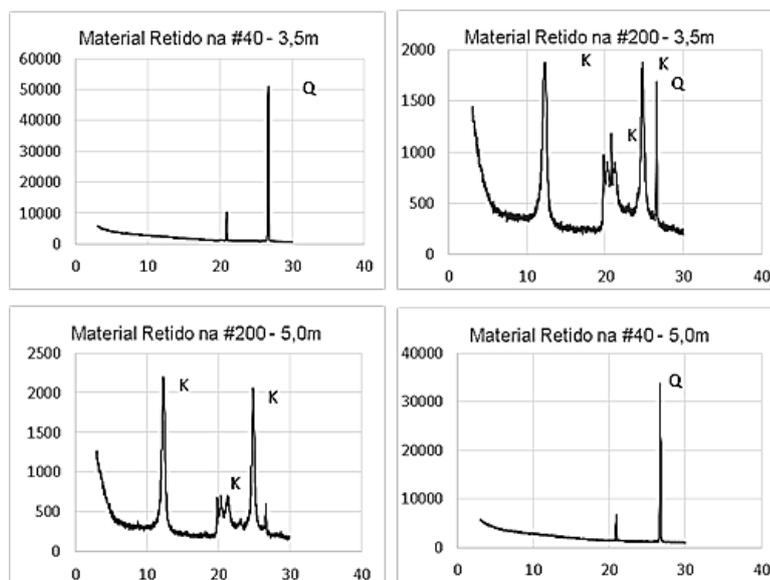


Figura 37 – Análise Mineralógica nas profundidades de 3,5m e 5,0m

4.3. Curva Característica

A curva característica foi determinada pelo método do papel filtro. A curva de calibração utilizada para correlacionar a umidade com a sucção foi a proposta por Chandler et al. (1992) mostradas nas equações 26 e 27.

Umidade >47%:

$$\text{sucção(kPa)}=10^{(6.05-2.48\log w)} \quad \text{eq. 26}$$

Umidade <47%:

$$\text{sucção(kPa)}=10^{(4.84 - 0.062 \log w)} \quad \text{eq. 27}$$

A Figura 38 mostra algumas amostras utilizadas para realizar os ensaios.



Figura 38 – Amostras para ensaios do papel filtro

A curva foi determinada pela metodologia proposta por Marinho (1994), as principais recomendações observadas deste trabalho na construção das curvas foram: não haver sobreposição dos papéis filtro, sendo que os dois papéis utilizados foram posicionados em contato direto com o solo, um no topo e outro na base do anel, garantindo que 100% da área permaneceram em contato com mesmo; o tempo de estabilização mínimo de sete dias; os corpos de prova foram envolvidos em papel filme e inseridos dentro de uma caixa de isopor que foi lacrada.

A Tabela 14 apresenta o resumo dos valores para pressão de entrada de ar e umidade residual para cada curva obtida.

Tabela 14 – Pressão de entrada de ar para as curvas

Amostra	$P_{ar\ 1}$ (kPa)	$P_{ar\ 2}$ (kPa)	θ_r (%)
Bloco 9	30	700	11
Bloco 8	40	800	6
Bloco 7	-	900	8

A determinação da umidade foi feita pelos processos de umedecimento e secagem, a partir da umidade natural do solo, conforme a quantidade de água necessária para que eles atingissem as umidades desejadas.

Mascarenhas (2008) estudou a influência da microestrutura no comportamento hidro-mecânico de uma argila siltosa não saturada. Ela realizou ensaios para determinação a curva característica por diferentes métodos e mostrou que sua trajetória da curva não foi afetada pelos efeitos da secagem e umedecimento.

Neste solo, a maior dificuldade em construir a curva característica foi devido à grande variação no índice de vazios, que variou de 1,10 a 1,40. Esta variação dificulta a determinação da umidade volumétrica na saturação de 100%, que muda sensivelmente a forma da curva. Este fato exigiu grande quantidade de pontos a serem ensaiados, com o objetivo de obter melhor convergência de resultados.

As Figuras 39, 40 e 41 apresentam as curvas de retenção obtidas para cada amostra.

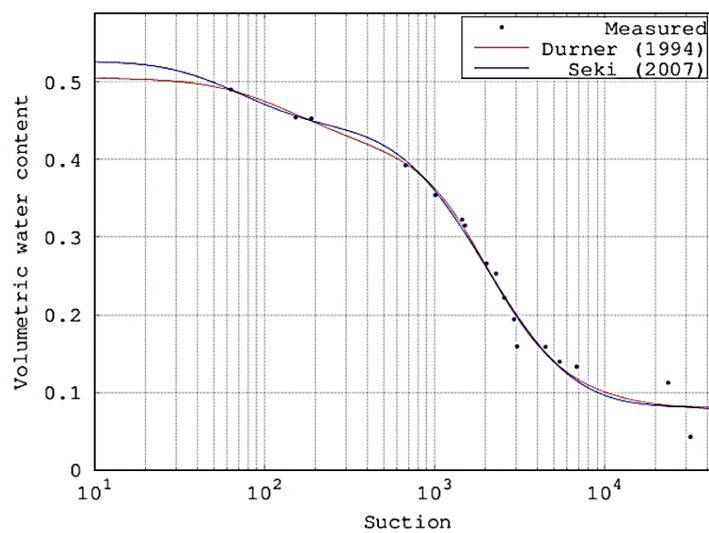


Figura 39 – Curva característica do Bloco 9

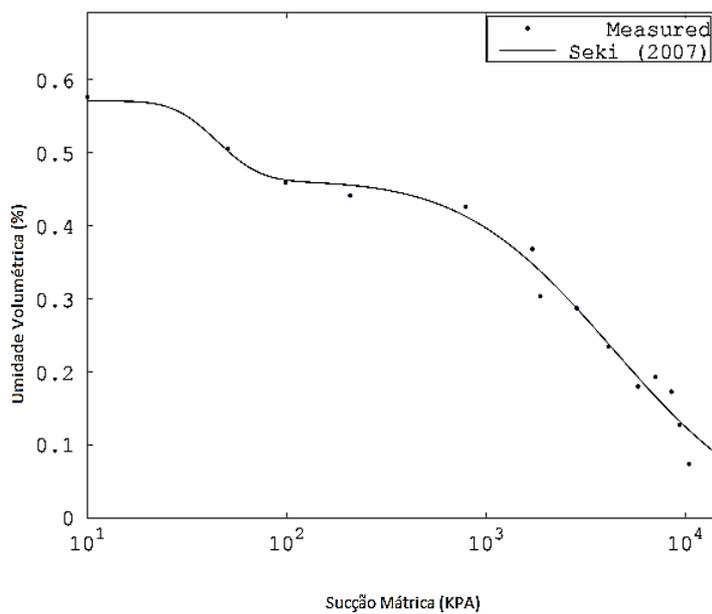


Figura 40 – Curva característica do Bloco 8

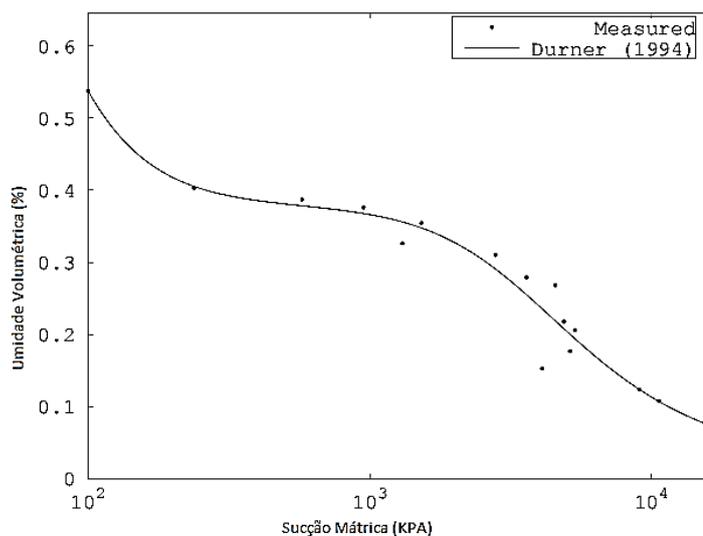


Figura 41 – Curva característica do Bloco 7

O ajuste das curvas foi feito através do site SWRC Fit (2016). O site oferece possibilidade de ajuste por Van Genuchten, Durner (1994) e Seki (2007) para curvas bimodais. Os melhores ajustes apresentados foram os obtidos a partir de Durner e Seki. As curvas obtidas apresentam tendência à estrutura bimodal.

4.4. Resistência ao Cisalhamento

4.4.1. Resultados dos Ensaios das Amostras Inundadas em umidade natural

O Bloco 1 se localiza próximo ao SP 02, esta sondagem apresenta silte arenoso, com coloração variando de amarelo e vermelho, até a profundidade de 6,50m. Os NSPTs variaram de 4 a 12, o NA não foi identificado. A sondagem apresentou o saprólito na profundidade de 13,00m e a alteração de rocha na profundidade de 14,50m

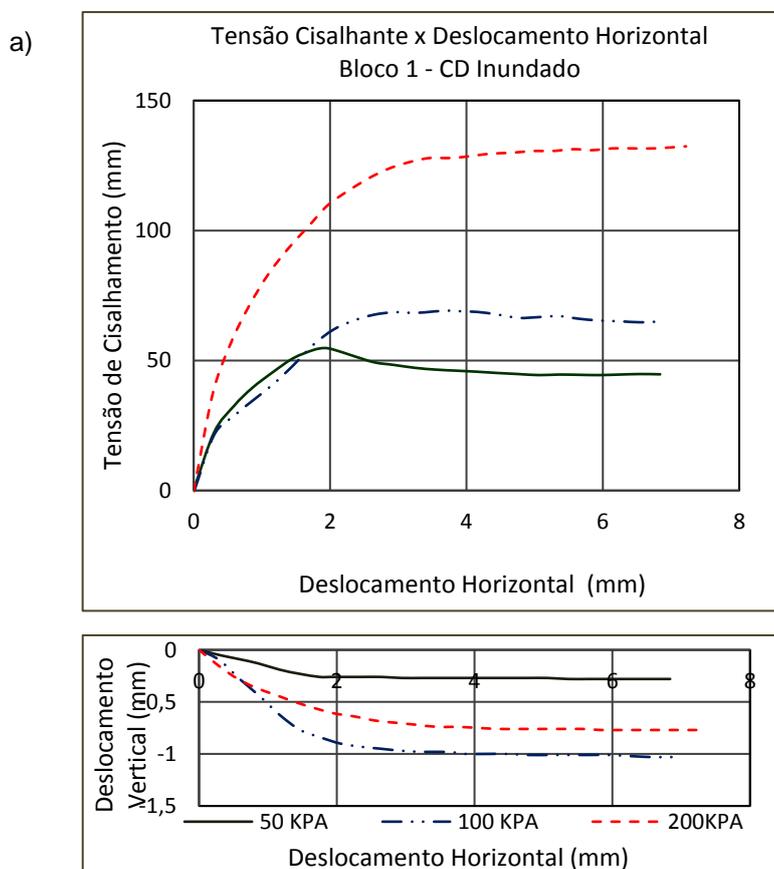
O Bloco 2 foi coletado próximo ao SP 04, na cota de 36,91m. Nesta posição, o solo é silte argiloso de coloração variando entre amarelo, vermelho e marrom. Os NSPTs variam de 8 a 15, a média da umidade natural é de 16,3%. O NA foi encontrado na cota de 19,71m, o saprólito começou a aparecer na cota de 26,21m e o impenetrável na cota de 16,35m.

O Bloco 3 se localiza no mesmo patamar do SP 08, na cota de 30,49m. Neste ponto o solo é silto argiloso vermelho com presença de areia fofa até uma

profundidade de 2,0m. Em seguida, aparece o saprólito de silte argiloso com coloração marrom, até a profundidade de 9,0m seguida de camada de silte arenoso marrom até o impenetrável a percussão na profundidade de 14,42m. O NSPT varia de 1 a 24. A resistência do solo aumenta com a profundidade acompanhando o perfil de intemperismo. O NA foi encontrado na cota de 23,51m.

O Bloco 4 se encontra na mesma direção que o SP 01, este perfil possui predominância de solo silto argiloso de coloração vermelha, amarela e marrom. Na camada superficial, o solo tem $NSPT_{max} = 5$. No restante do perfil, o solo apresenta consistência média e rija atingindo valores máximos de NSPT igual a 23. O impenetrável à percussão está na cota de 23,85m e o NA não foi encontrado.

O Bloco 5 se encontra na mesma direção que o SP 11, este perfil apresenta solo silto argiloso de coloração amarela e vermelha, NSPT entre 5 e 10 nos primeiros 5,50m de profundidade e NSPT entre 10 e 21 na camada de 5,50 a 15,84m profundidade onde se localiza o impenetrável a percussão. O NA se posiciona na cota de 19m e a cota do terreno está na posição 30,53m. A Figuras 42, 43, 44, 45 e 46 apresentam os resultados das tensões cisalhantes na ruptura.



b)

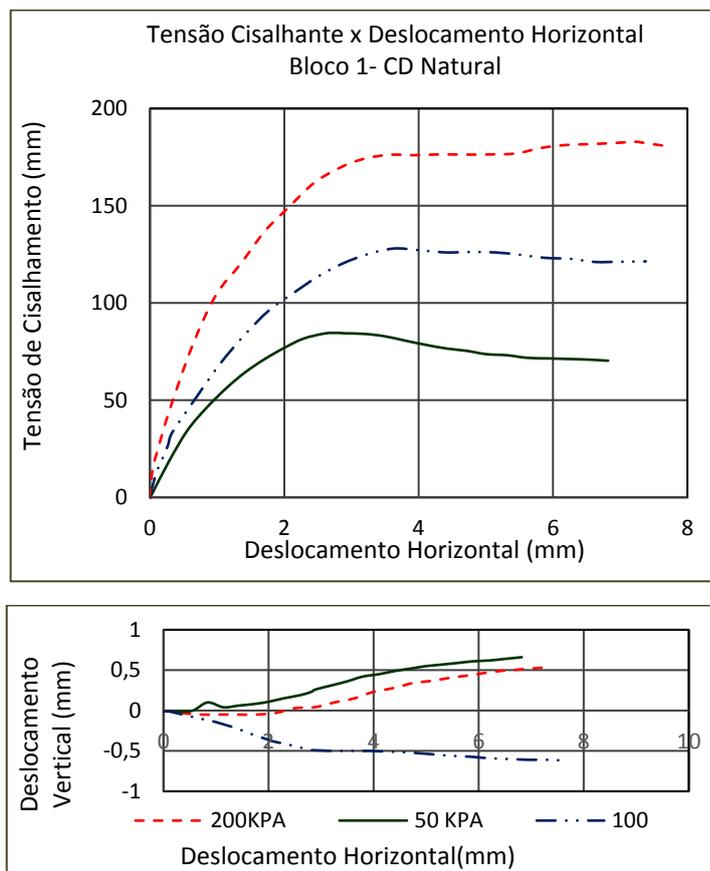


Figura 42 – Resultados dos Ensaio de Resistência do Bloco 1. a) Condição inundada; b) Condição de umidade natural.

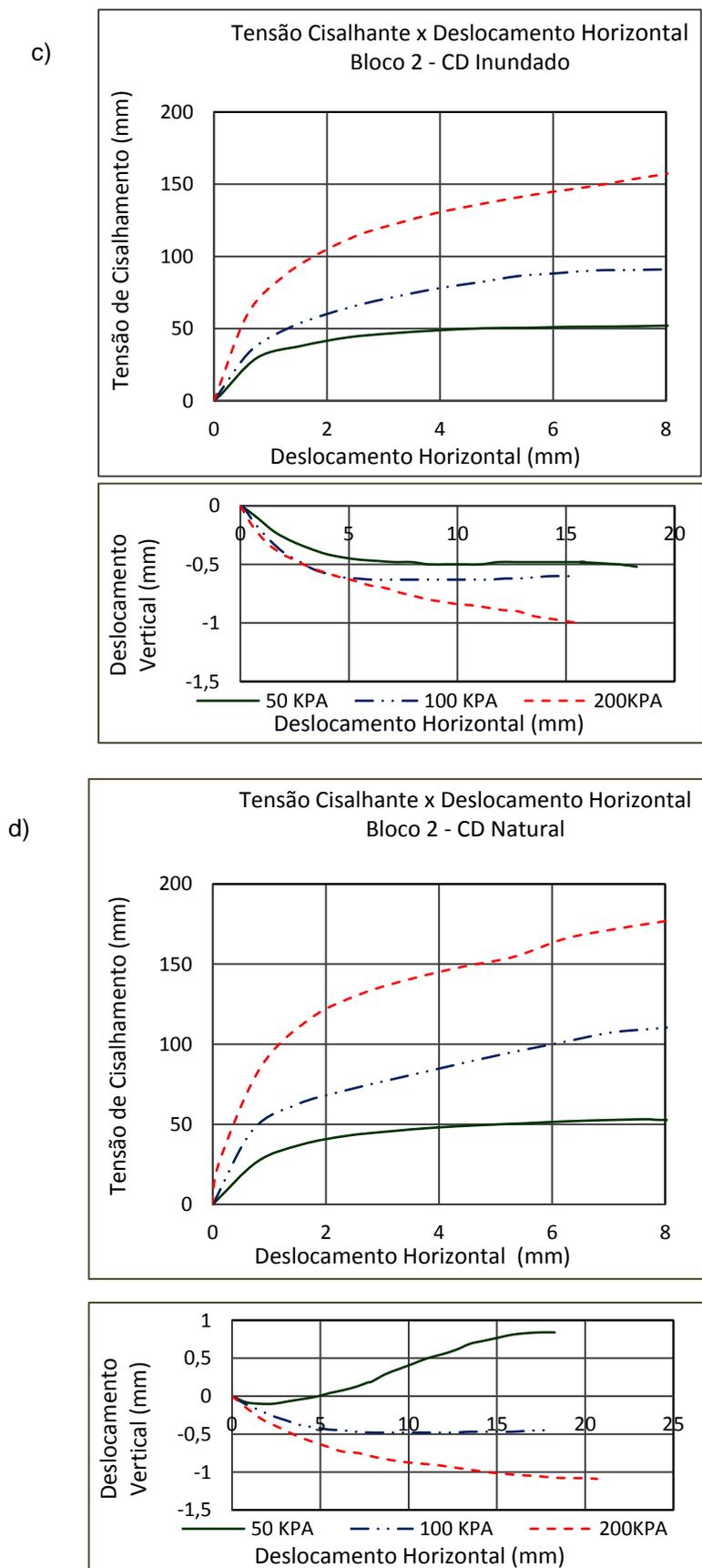


Figura 43 – Resultados dos Ensaio de Resistência do Bloco 2. c) Solo na condição inundada; d) Solo na condição de umidade natural.

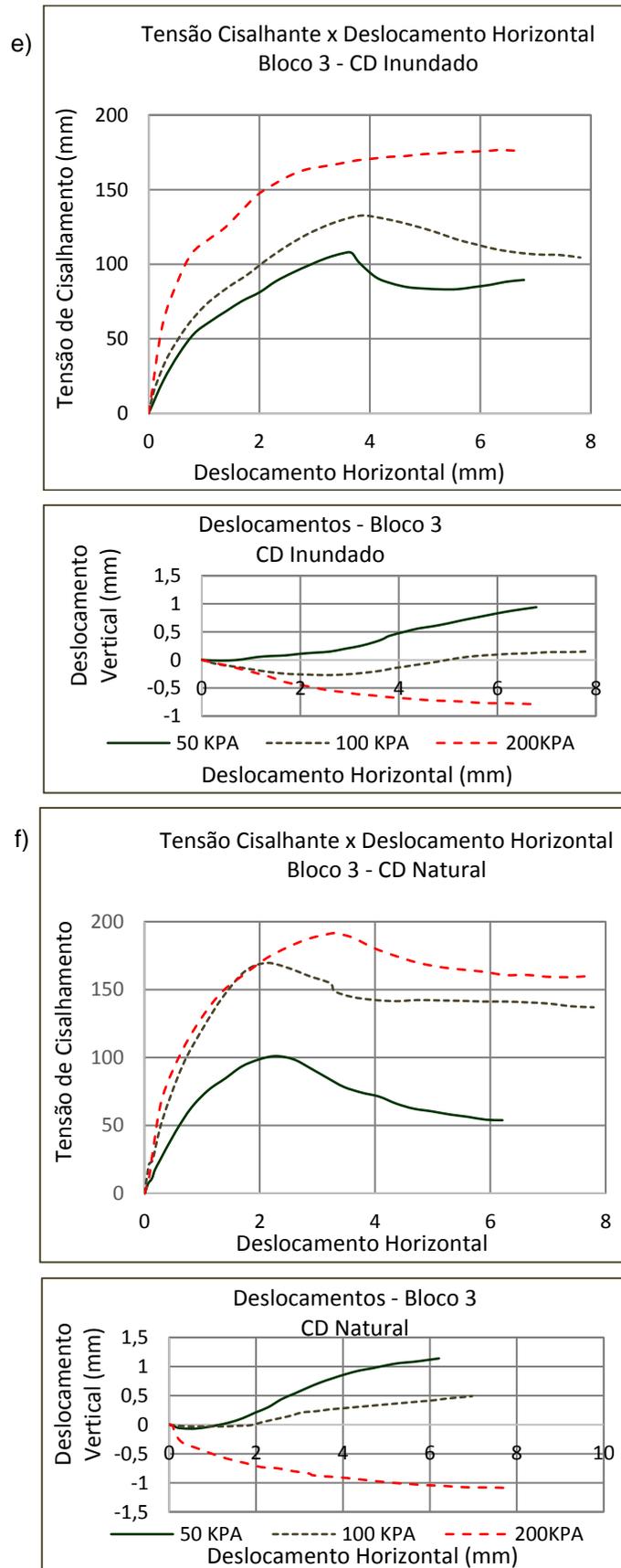


Figura 44 – Resultados dos Ensaios de Resistência do Bloco 3. e) Solo na condição inundada; f) Solo na condição de umidade natural.

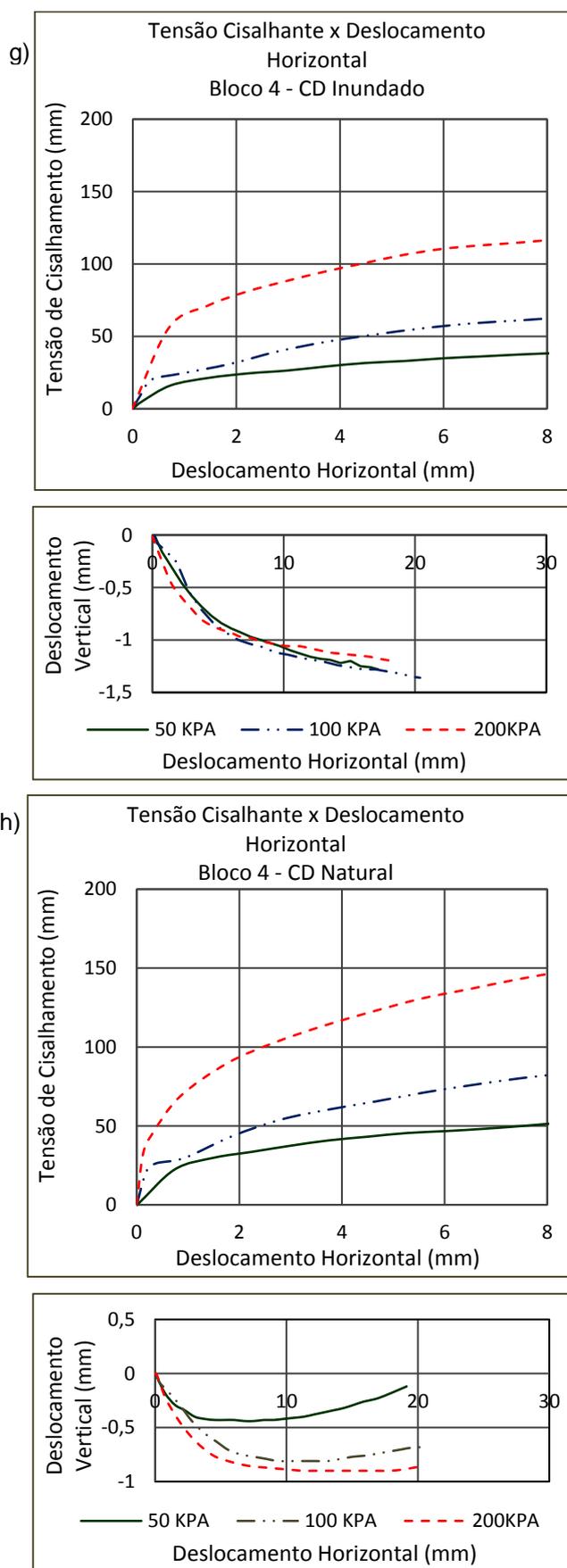


Figura 45 – Resultados dos Ensaios de Resistência do Bloco 4. h) Solo na condição inundada; h) Solo na condição de umidade natural.

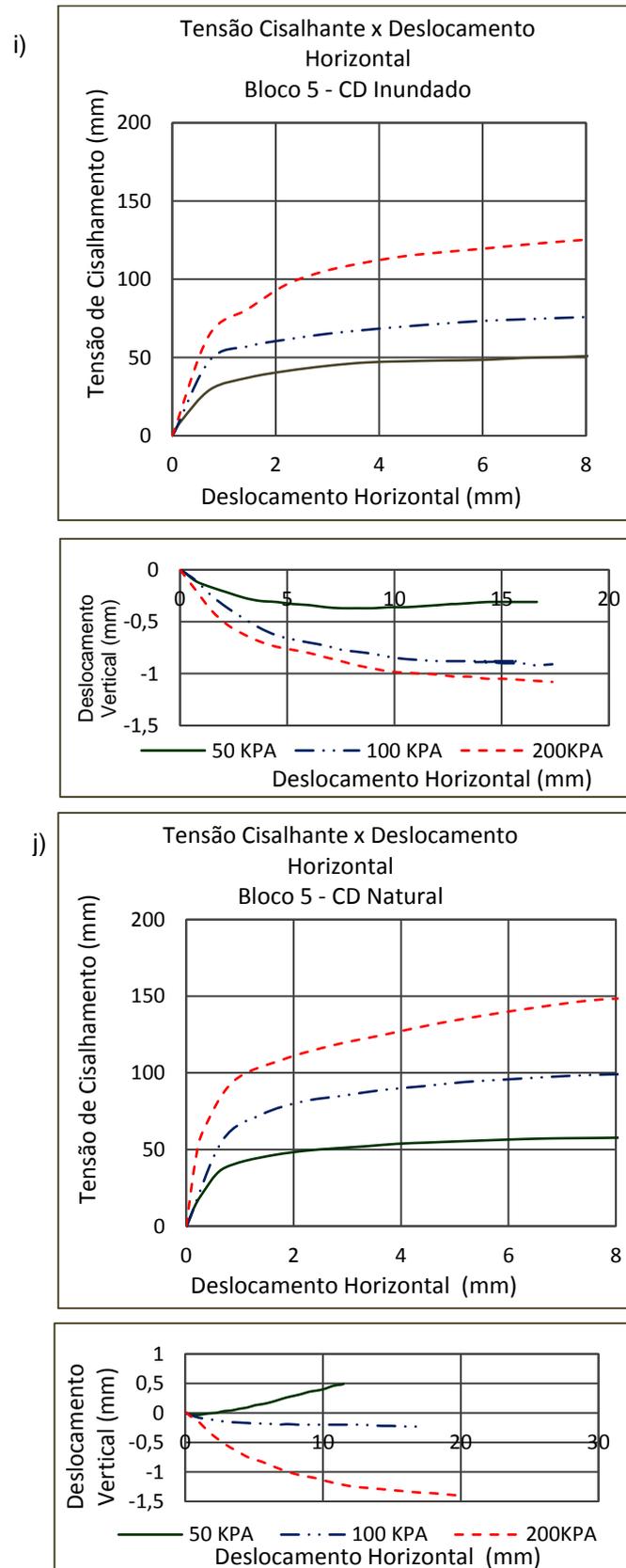


Figura 46 – Resultados dos Ensaios de Resistência do Bloco 5. i) Solo na condição inundada; j) Solo na condição de umidade natural.

Os resultados de resistência do Bloco 1 estão mostrados na Figura 42. O bloco está plastificando para tensões de confinamento de 50kPa e 100kPa, quando a τ permanece constante ao atingir o seu valor máximo e este comportamento se mantém até chegar o fim do ensaio. O índice de vazios inicial foi de $e_0 = 1,3$ e $S_r = 78,2\%$ no momento da ruptura.

As amostras apresentaram redução de volume para o ensaio inundado e aumento para o ensaio na umidade natural. Esse comportamento é esperado, pois quando as amostras estão mais úmidas o deslizamento entre grãos é favorecido, contribuindo no rearranjo dos mesmos durante o cisalhamento e quando a umidade é menor, a sucção favorece a dilatância.

Os resultados de resistência do Bloco 2 mostram um comportamento de endurecimento, onde a tensão cisalhante é sempre crescente até o final do ensaio. Quanto às deformações, as amostras inundadas reduziram de volume (2V e 2VI) para os ensaios na umidade natural enquanto a amostra 2I os dilatou.

Os resultados de resistência do bloco 3 apresentaram pico bem definido com amolecimento após a ruptura e dilatação na variação de volume. A dilatância é consequência de uma interação entre as partículas de solo, decorrente da posição relativa entre eles. Esse comportamento não condiz com as características do solo especificado na parte superficial do perfil cujo NSPT ficou entre 1 e 5.

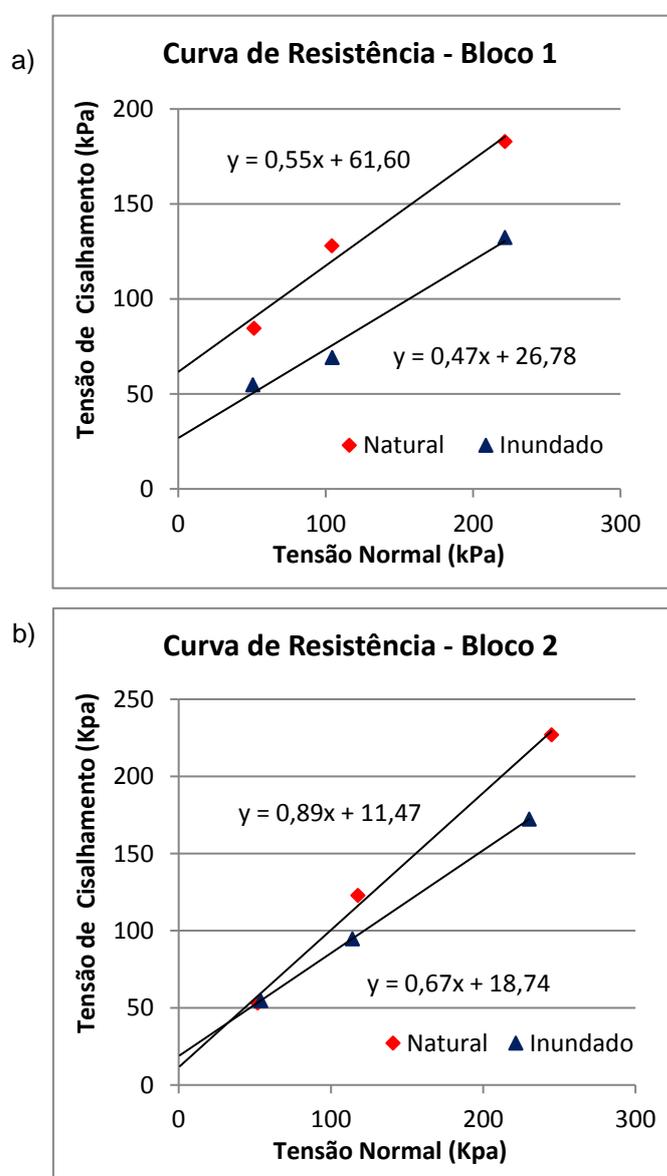
Quanto à variação de volume, em geral, os ensaios apresentaram pequenas deformações no estágio inicial (3I, 3II, 3V e 3VI), sendo estes valores crescentes mesmo após atingirem o estado crítico, como no caso das amostras 3V e 3VI.

Os valores de resistência do bloco 4 foram baixos, o teor de umidade média das amostras foi de 17,9% na umidade natural. Contrariando a tendência dos solos de apresentar resistência maior quanto menor os teores de umidade.

Os resultados de resistência do bloco 5 apresentaram similaridade com os dados de resistência apresentado pelo Bloco 2, quando inundados. O grau de saturação médio das amostras, $S_r = 90\%$, foi o mais alto de todas as séries de ensaios, desta forma, os parâmetros de resistência no cisalhamento obtidos a partir dele foram os mais baixos. A amostra permaneceu plastificando todo o ensaio, e apresentaram redução em seu volume.

A Figura 47 apresenta as envoltórias de resistência obtidas para ensaios na umidade natural e para os ensaios inundados. As envoltórias dos ensaios realizados na umidade natural foram acima das envoltórias obtidas para os ensaios inundados. A maior diferença é observada para o bloco 1.

No ensaio inundado a caixa de cisalhamento é preenchida com água para simular a condição de saturação da amostra, desta forma, é uma aproximação considerar que o parâmetro de resistência por este ensaio é o da amostra saturada. Percebe-se também que os paralelismos não se mantem em todas as amostras evidenciando que o incremento de resistência com a sucção não é linear.



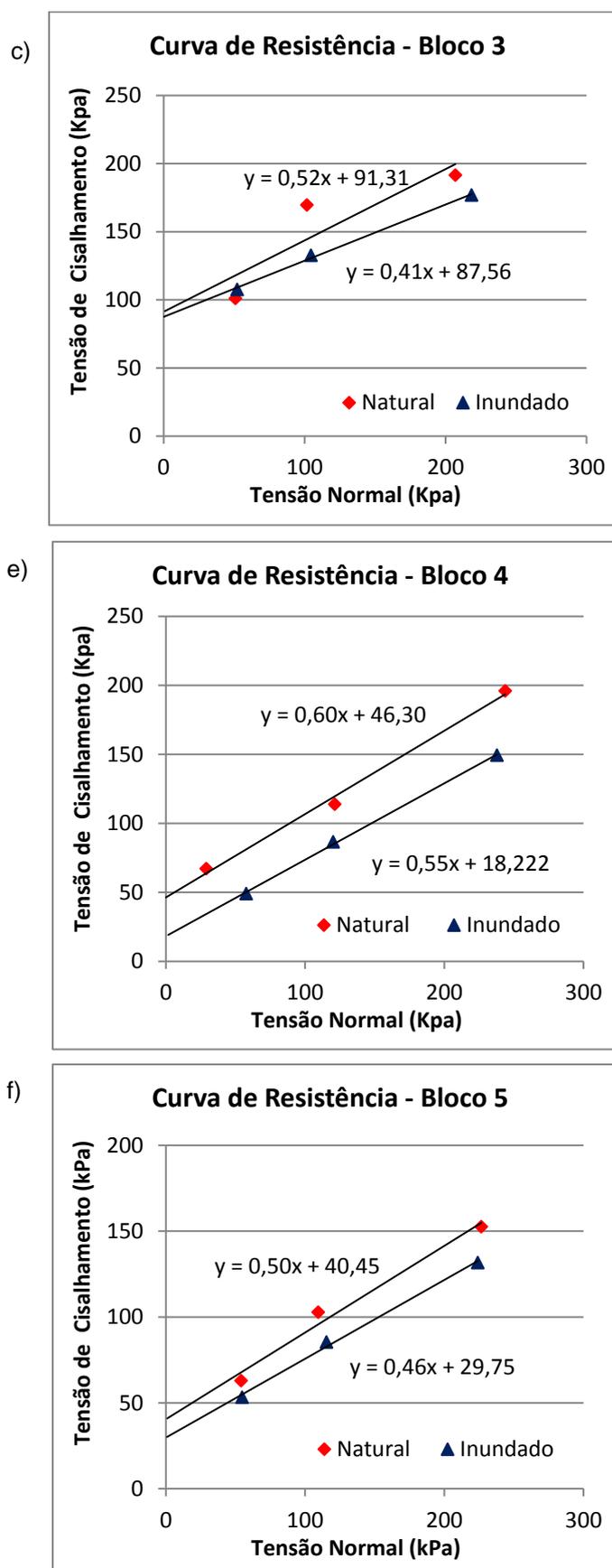


Figura 47 – Envoltórias de resistência para os blocos ensaios na umidade natural e com amostras inundadas. a) Bloco 1; b) Bloco 2; c) Bloco 3; d) Bloco 4; e) Bloco 5.

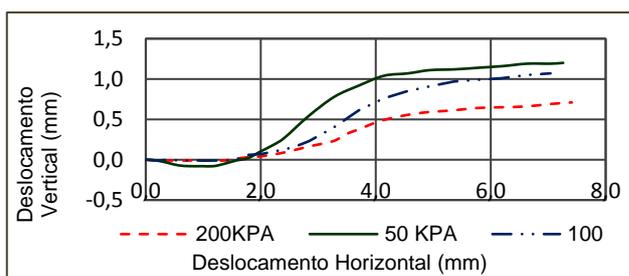
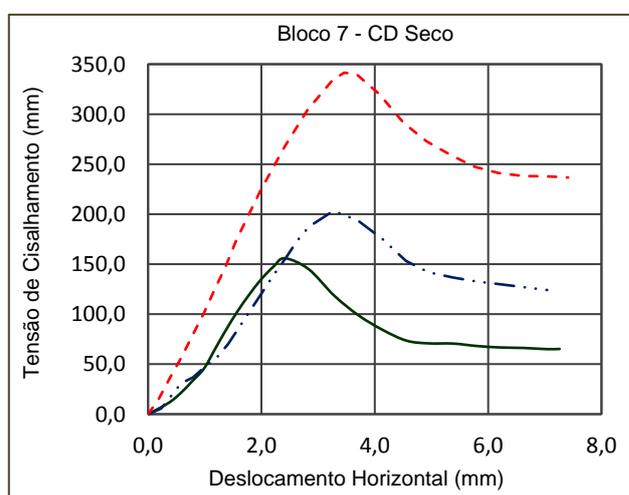
Tabela 15 – Resumo dos resultados de resistência inundada e natural

	Inundado		Natural	
	ϕ' (°)	c' (kPa)	ϕ	c' (kPa)
Bloco 1	24,66	29,745	29,24	61,601
Bloco 2	33,7	18,736	41,65	11,468
Bloco 3	22,4	87,556	27,63	91,314
Bloco 4	28,98	18,222	31,12	46,306
Bloco 5	25,06	16,78	26,79	40,455

4.4.2.

Resultados dos Ensaios das Amostras Secas ao Ar

Como já foi mencionado, o talude do Morro do Águia teve um programa de investigação logo após a sua ruptura no ano de 2005. No ano de 2016, foram realizados ensaios complementares com o objetivo de considerar a parcela não saturada do solo. Esses ensaios foram realizados nos blocos 7, 8 e 9, e seus resultados são mostrados nas Figuras 48 e 49.



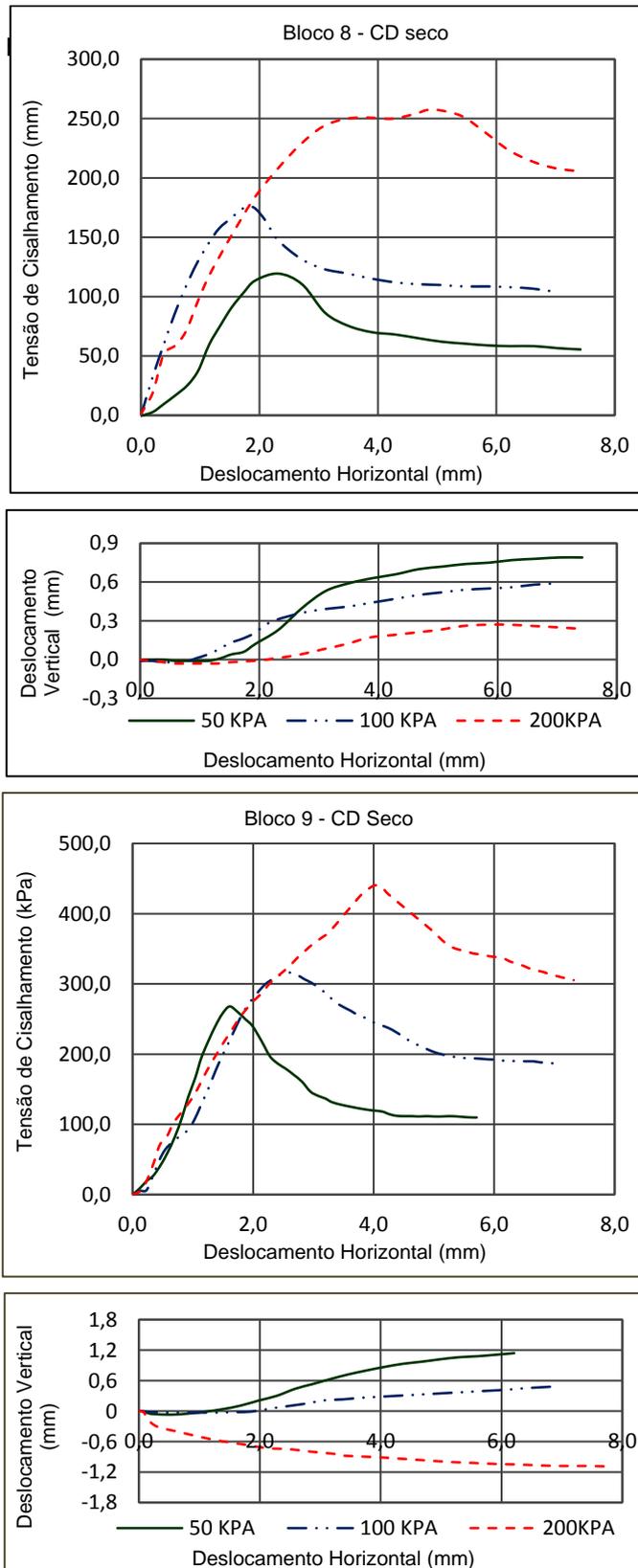


Figura 48 – Resultados dos ensaios de resistência. a) Bloco 7; b) Bloco 8; c) Bloco 9

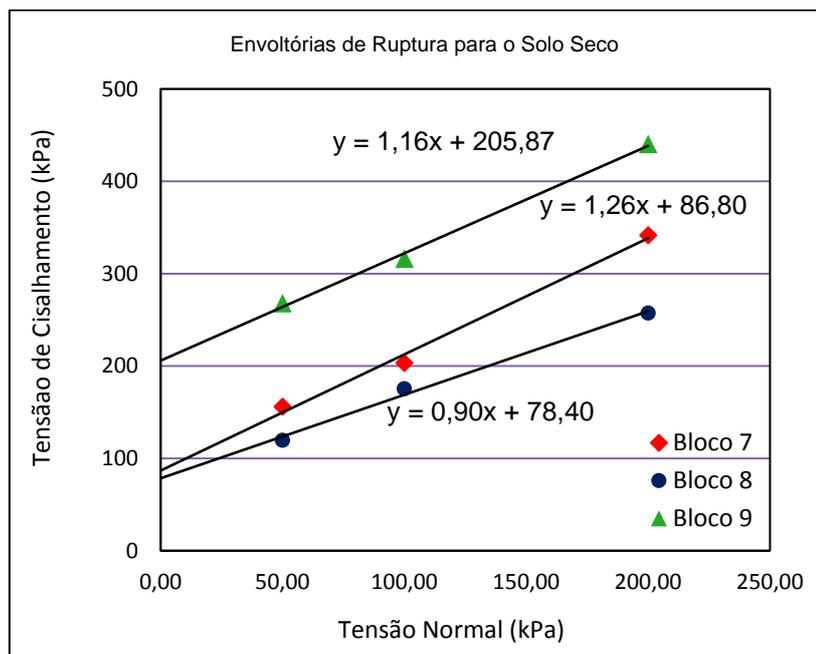


Figura 49 – Envoltórias de ruptura dos ensaios secos ao ar

O bloco 9 que apresentou maiores parâmetros de resistência, sobretudo no valor da coesão efetiva. Este resultado não condiz com o fato desta amostra ser um silte arenoso, ao contrário dos blocos 7 e 8, que apresentaram maiores teores de argila. A Tabela 15 apresenta os parâmetros de resistência na condição seca.

Tabela 16 – Parâmetros de resistência na condição seca

	Secos ao ar	
	ϕ (°)	c'
Bloco 7	51,51	86,8
Bloco 8	42,13	78,4
Bloco 9	49,3	205,87

Os ensaios de resistência dos blocos secos apresentaram picos bem definidos, tal fato pode ser decorrente das variações na estrutura do solo impostas pela sucção, que tenderiam a aumentar o grau de “interlocking” dos grãos, independentemente da ação da tensão normal líquida aplicada (De Campos e Motta, 2005). Esse comportamento explica a maior probabilidade que este solo tem de dilatar em detrimento de se contrair, o que pode ser observado nos gráficos de deslocamentos.

É importante considerar que no ensaio de cisalhamento direto, é imposto o plano de ruptura horizontal, que nem sempre irá corresponder ao plano real de ruptura no maciço. Matos (2012) citando Folque (1987) explica que essa condição pode sobrestimar o valor de τ , pois tendo as partículas do solo com espessura finita, a ruptura exige que os grãos que forem interceptados pelo plano de ruptura saiam das suas posições iniciais, o que em geral em solos grossos exigirá a mobilização de forças significativas.

Esta influência será significativa quanto mais grosseira for a granulometria do solo, uma vez que quanto maior o grão, tanto maior a resistência que este oferecerá para vencer a inércia de sair da sua posição inicial. Este comportamento pode ter contribuído para que a amostra do bloco 9, possuindo quantidade de areia superior às demais, apresentou uma envoltória de ruptura acima das envoltórias obtidas para os blocos 7 e 8.

4.4.3. Estimativa de Resistência Não Saturada

Vilar (2006) apresentou uma metodologia simplificada para estimar a resistência ao cisalhamento do solo não saturado. Para a aplicação da metodologia de Vilar (2006) é necessário se obter a envoltória de ruptura do solo seco ou numa umidade conhecida, desde que esta seja menor que a umidade que se deseja estimar a resistência. O solo estudado apresenta umidade residual de 3,06%, resultado obtido após 90 dias de secagem da amostra ao ar.

As resistências nas amostras inundadas e na umidade natural foram determinadas nos blocos 1, 2, 3, 4 e 5 e a resistências nas amostras seca ao ar foram determinadas para os blocos 7, 8, 9. Desta forma, realizou-se uma correlação entre as amostras ensaiadas inundadas e ensaiadas na umidade natural.

Não foi possível resgatar a classificação granulométrica dos blocos 1, 2, 3, 4 e 5, por isso a correlação foi realizada comparando-se a classificação da camada superficial das sondagens mais próximas dos locais onde os Blocos foram coletados com a caracterização granulométrica dos blocos 7, 8 e 9.

A classificação das camadas nos perfis alternou-se entre silte argiloso e silte arenoso. O bloco 7 (49% de silte, 25% de argila e 24% de areia,) foi descartado, sendo a correlação realizada apenas com os blocos 8 (39% de silte, 35% de argila

e 25% de areia) para silte argiloso e o bloco 9 (48% de silte, 36% de areia e 14% de argila) para silte arenoso. O resultado da correlação é mostrado na Tabela 16.

Tabela 17 – Correlação dos blocos pela proximidade de localização

Amostra	Sondagem mais próxima	Descrição da camada conforme perfil de sondagem	Bloco de correlação
Bloco 1	SP02	Silte arenoso com pedregulhos, vermelho, pouco compactado	Bloco 9
Bloco 2	SP 07	Silte arenoso com pedregulhos vermelho pouco compactado	Bloco 9
Bloco 3	SP 07	Silte arenoso com pedregulhos vermelho pouco compactado	Bloco 9
Bloco 4	SP14	Silte argiloso com a areia de textura variegada com pedregulhos, vermelho. rijo	Bloco 8
Bloco 5	SP11	Silte argiloso com areia de textura variegada amarelo, médio	Bloco 8

A estimativa de resistência por Vilar (2006) é determinada conforme a equação exposta no item 2.5.1, no Capítulo 2 deste trabalho.

Nesta proposta é necessária a determinação dos parâmetros experimentais a e b. O parâmetro experimental a está relacionado com a saturação máxima do solo (pressão de entrada de ar), quando a sucção adquire valores mínimos. O parâmetro b está relacionado com a condição de mínima saturação do solo expressa na curva característica pela umidade residual. A Tabela 17 apresenta os resultados medidos.

Tabela 18 – Valores de a e b

Amostra	$a = \cotang \Phi'$	$c' \text{ (kPa)}$	Amostra de correlação	C_{ult}	$b = 1/(C_{ult} - c')$
Bloco 1	2,12	29,75	Bloco 9	205,87	0,0058
Bloco 2	1,50	18,74	Bloco 9	205,87	0,0053
Bloco3	2,44	87,56	Bloco 9	205,87	0,0085
Bloco 4	1,81	18,22	Bloco 8	78,40	0,0167
Bloco 5	2,17	26,78	Bloco 8	78,40	0,0193

O parâmetro de resistência Φ' na metodologia de Vilar (2006) é o mesmo obtido para o ensaio com as amostras saturadas. Sendo assim, é de se esperar que este valor esteja sempre abaixo dos valores observados para as amostras na umidade natural. Essa simplificação sugere que a sucção só tem influência sobre c' , sendo indiferente a Φ' . Porém, De Campos e Motta (2015) afirmam que existe um aumento de Φ' com o nível de sucção que pode ser oriunda de variações na

estrutura do solo impostas pela mesma. A sucção tenderia a aumentar o “interlocking” entre os grãos, independente da tensão normal líquida.

Na tentativa de suprir deficiências na análise de estabilidade em solo residual, não sendo possível realizar ensaios de resistência com sucção controlada, realiza-se ensaios com amostras na umidade natural. A umidade então é medida antes e após o ensaio de cisalhamento, e considera-se que não houve variação na sucção dentro da amostra durante o ensaio. Neste trabalho, optou-se por determinar o parâmetro σ_b em detrimento da determinação dos parâmetros de Vilar c e σ' .

Esta alternativa excluiu a necessidade do cálculo de c , que depende da sucção e conseqüentemente da umidade. É importante frisar que as amostras dos blocos 2 ($w=16,21\%$), 3 ($w=10\%$) e 4 ($w=14,5\%$), colhidas superficialmente apresentaram valores de umidade muito baixo, bem diferentes dos valores de campo em profundidade por onde passou a superfície de ruptura. O valor de umidade em profundidade registrou valores acima dos 30%, em todos os perfis de umidade apresentados.

Essa diferença pode ter ocorrido devido ao fato da coleta das amostras ter se dado dias após a ruptura do talude, quando já não havia precipitação, tendo por isso iniciado o processo de secagem na superfície. Contudo se sabe que em profundidade a infiltração permanece pelo tempo necessário a estabilização do perfil de umidade. Este é um processo dinâmico complexo de ser reproduzido.

No ensaio de cisalhamento direto não é possível medir o grau de saturação real da amostra ensaiada e nem de controlar a condição de drenagem, tampouco é possível fazer com que as amostras atinjam a saturação total. Devido a tal fato, o parâmetro a é uma simplificação que pode afetar os resultados.

Vilar (2006) em seu método considera que a resistência ao cisalhamento aumenta com o aumento da sucção, desta forma, na sucção máxima a resistência tende ao infinito. Contudo, sabe-se que existe um limite para o incremento de coesão com o grau de saturação, que segundo De Campos e Motta (2015), está relacionado ao teor de umidade correspondente ao limite de contração do solo.

Conforme já dito, no ensaio de cisalhamento direto convencional não é possível controlar e nem medir a pressão de ar e de água. Normalmente a sucção

mátrix é determinada apenas no início do ensaio, como resultado, tem-se apenas a indicação da presença de tensão cisalhante no plano, já que o estado de tensões real a que a maciço está submetido é desconhecido. Desta forma, a interpretação destes ensaios se torna ambígua (Fredlund, 2012).

O parâmetro de resistência c de Vilar (2006) é variável com a sucção. A elaboração da curva tensão de cisalhamento versus sucção matricial foi feita atribuindo – se valores para a sucção e determinando-se os valores de τ_{max} correspondentes através da equação $\tau = c' + \psi / (a + b \psi) + \sigma \tan \Phi'$. O plano τ versus $(u_a - u_w)$ determina uma curva, cuja inclinação é o valor do ângulo Φ_b .

Os resultados estão expostos na Figura 50, 51, 52, 53, 54, correspondentes aos valores de Φ_b para os Blocos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

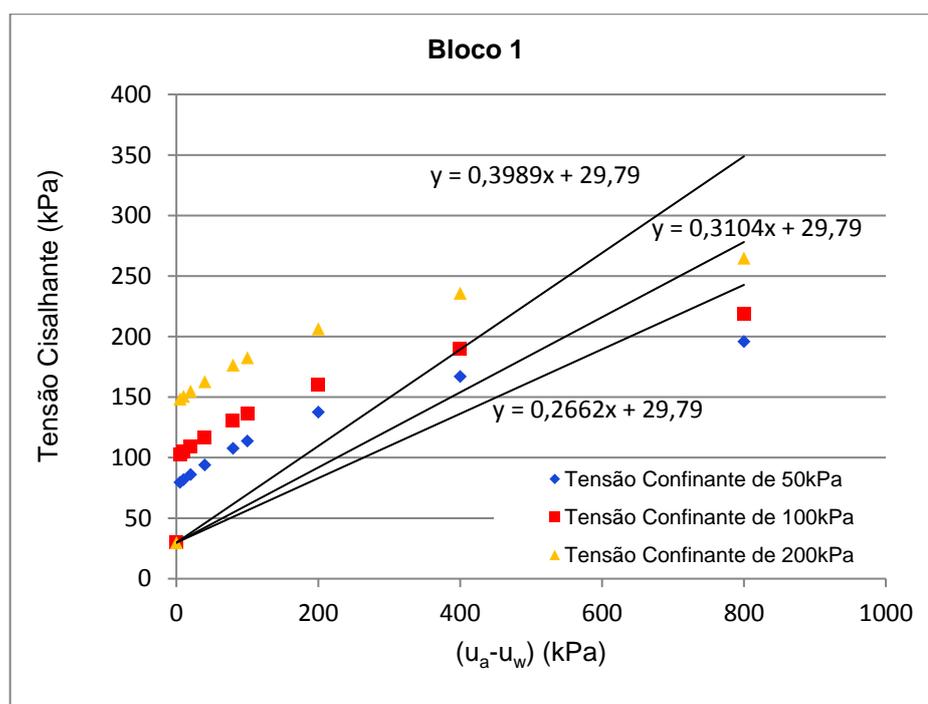


Figura 50 – Curvas $\tau \times (u_a - u_w)$ para Bloco 1

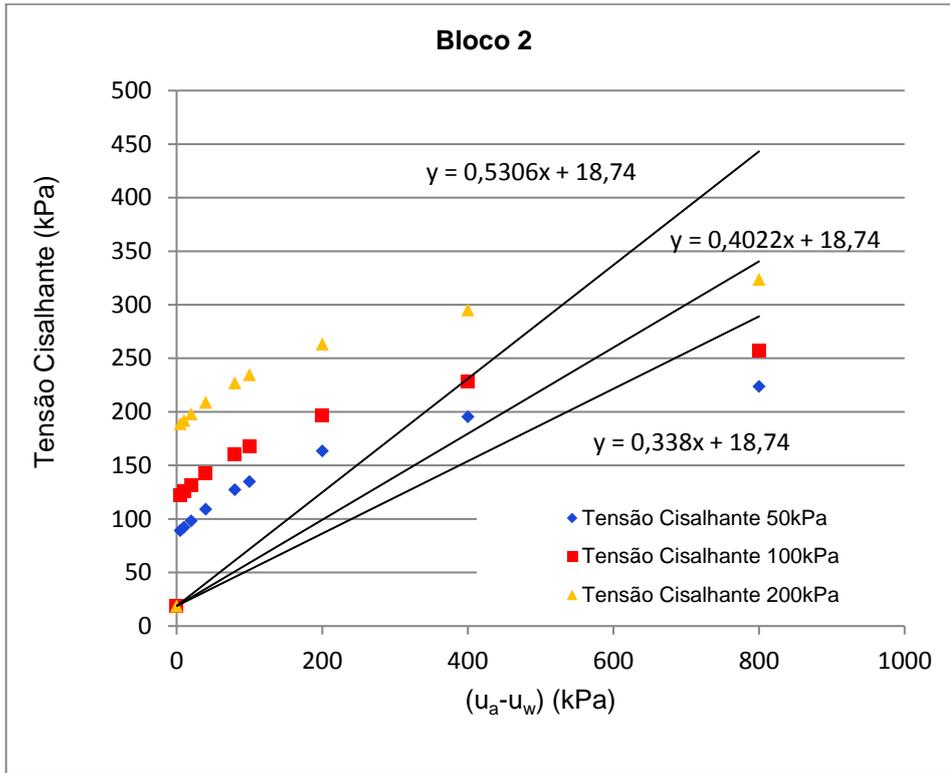


Figura 51 – Curvas $\tau \times (u_a - u_w)$ para Bloco 2

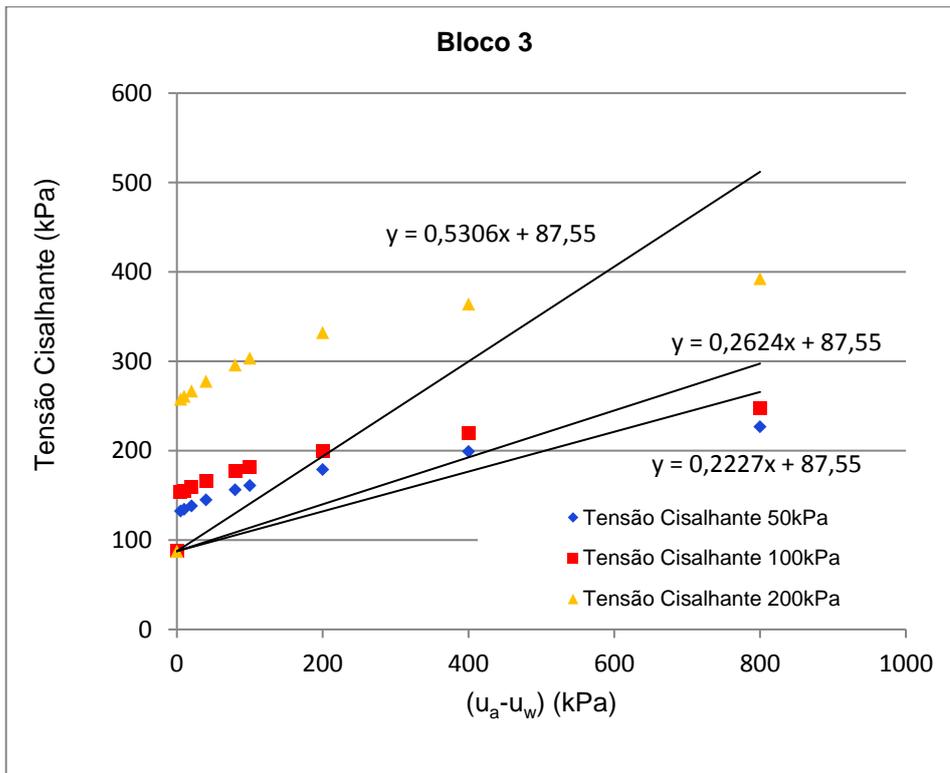
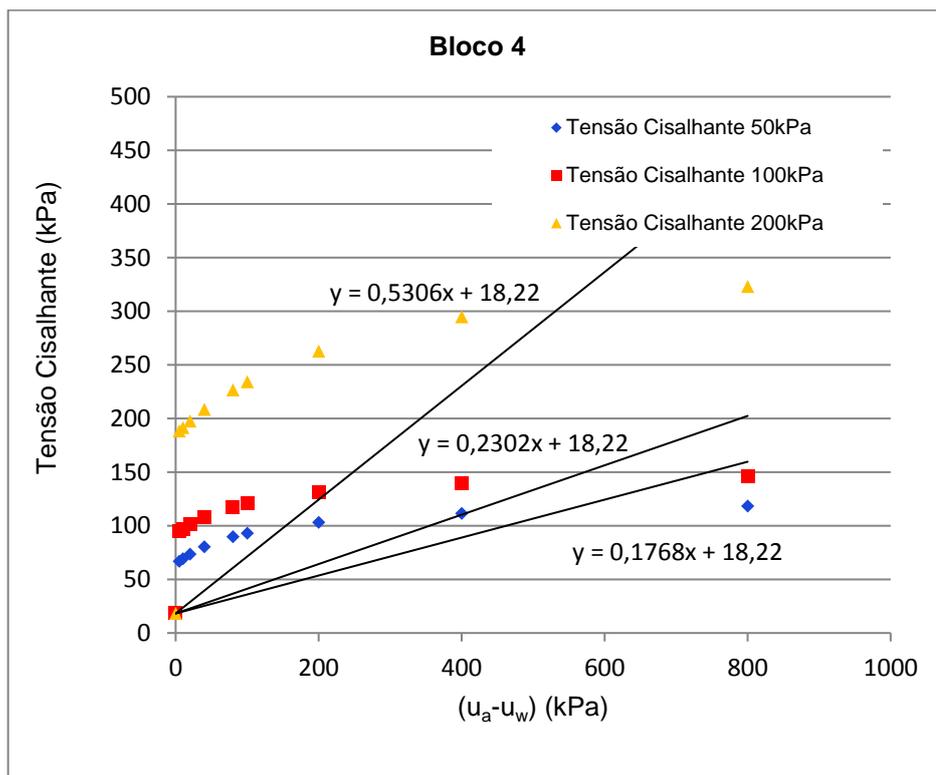
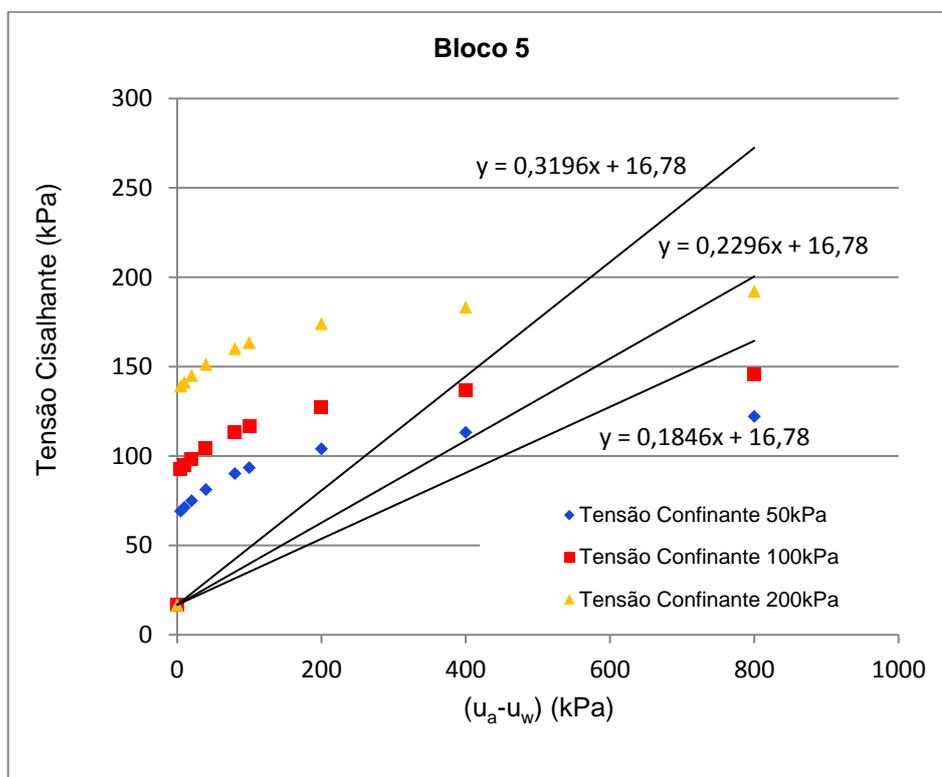


Figura 52 – Curvas $\tau \times (u_a - u_w)$ para Bloco 3

Figura 53 – Curvas $\tau \times (u_a - u_w)$ para Bloco 4Figura 54 – Curvas $\tau \times (u_a - u_w)$ para Bloco 5

Os resultados mostram que a tensão cisalhante não varia linearmente com a sucção e que o valor de Φ_b aumenta com o aumento da tensão confinante. A tabela 19 apresenta os valores de Φ_b obtidos para diferentes σ_c . Desta forma, obteve-se

os seguintes valores de $\Phi_{\text{médio}}$: para $\sigma_c = 50\text{kPa}$, $\Phi_{\text{médio}} = 13,31^\circ$; para $\sigma_c = 100\text{kPa}$, $\Phi_{\text{médio}} = 15,94^\circ$; para $\sigma_c = 200\text{kPa}$, $\Phi_{\text{médio}} = 25,67^\circ$.

Tabela 19 – Valores de Φ^b obtidos pela metodologia proposta por Vilar (2006)

Amostras	$\sigma = 50\text{kPa}$	$\sigma = 100\text{kPa}$	$\sigma = 200\text{kPa}$
	Φ^b	Φ^b	Φ^b
Bloco 1	18,67	21,91	27,95
Bloco 2	14,90	17,24	21,90
Bloco 3	12,55	14,70	27,95
Bloco 4	10,03	12,95	27,95
Bloco 5	10,43	12,89	17,58

Calle (2000) mediu o perfil de sucção matricial in situ num talude de solo residual de areia argilo-siltosa e obteve valores que não ultrapassaram 60kPa para a sucção de campo. Fernandes (2016) realizou ensaios de medição de sucção em campo num talude de solo arenoso e obteve valores máximos de leitura de 74 kPa. Silva Jr. (2011) mediu sucções em campo para solo silto-arenoso e obteve valores máximos de sucção de 80kPa. Logo, considerou-se que para o talude silte argiloso estudado, os valores de sucção de campo não ultrapassaram 100kPa, sendo considerado para a realização das simulações $\Phi_{\text{médio}} = 15,94^\circ$ o parâmetro não saturado de Vilar (2006).

4.5. Ensaio de Permeabilidade

A permeabilidade saturada e não saturada foi medida em campo em diferentes pontos do talude estudado pelo ensaio de Guelph e em laboratório pelo ensaio de permeâmetro de carga constante.

As Figuras 55, 56, 57 e 58 mostram os resultados dos ensaios de permeabilidade de campo após a rutptura do talude no ano de 2005.

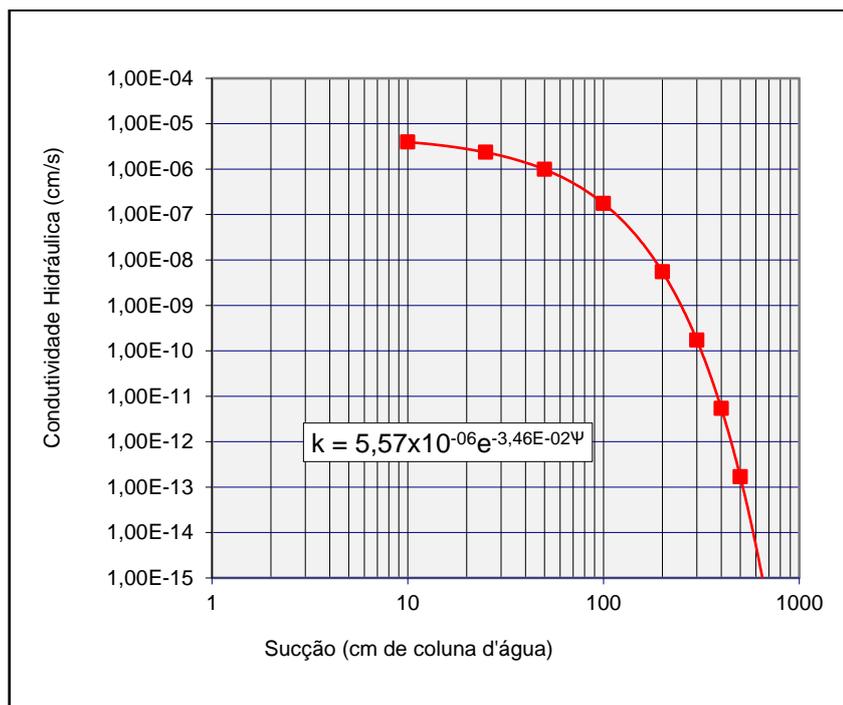


Figura 55 – Curva de permeabilidade Guelph - SP 11 Prof. 0,20m

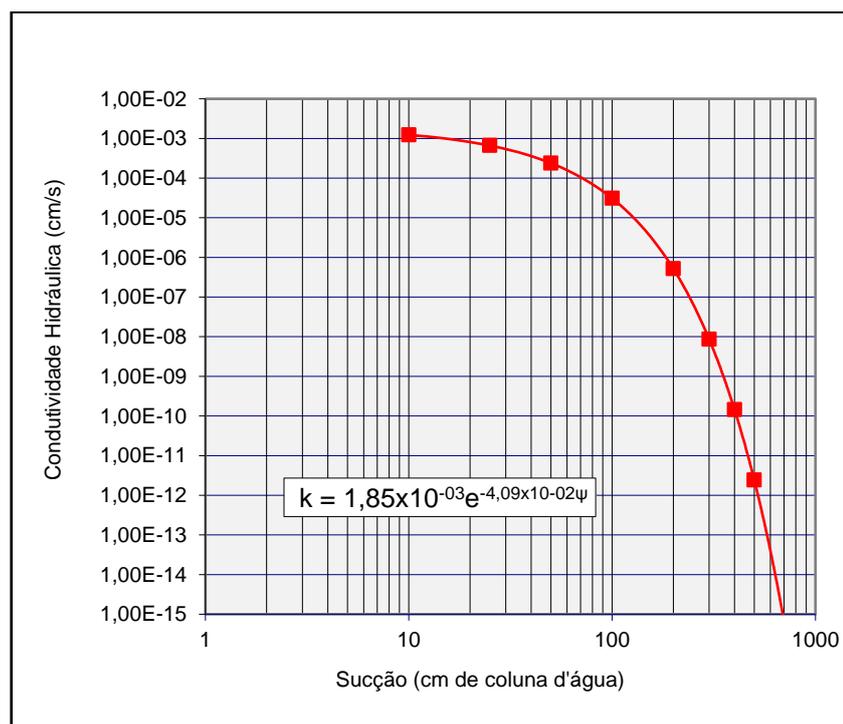


Figura 56 – Curva de permeabilidade Guelph – Bloco 4 Prof. 0,50m

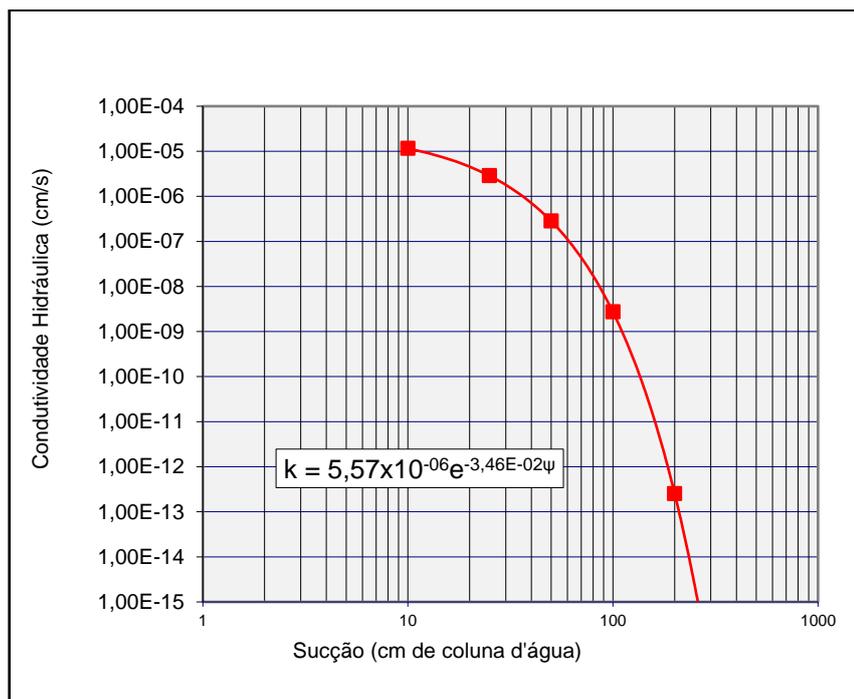


Figura 57 – Curva de permeabilidade Guelph – Bloco 5 Prof. 0,50m

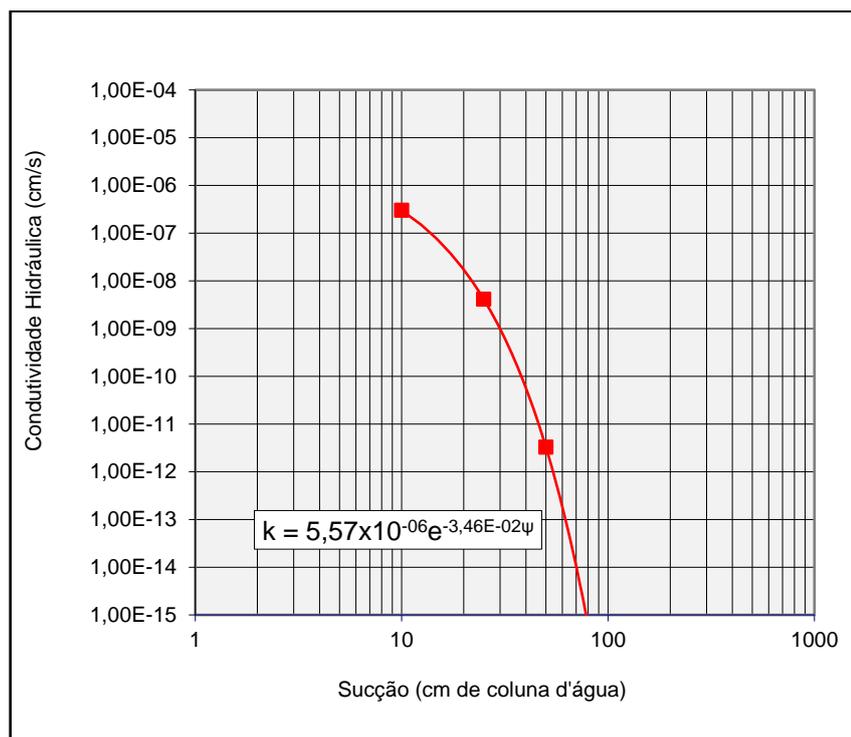


Figura 58 – Curva de permeabilidade Guelph – Bloco 9 Prof. 0,75m

A Tabela 12 mostra os resultados dos ensaios de permeabilidade em laboratório para os solos coletados dez anos após a ruptura do talude. A Tabela 13 mostra os resultados dos ensaios Guelph de campo dias após a ruptura.

A Tabela 19 mostra os resultados dos ensaios de permeabilidade em laboratório para os solos coletados dez anos após a ruptura do talude. A Tabela 20 mostra os resultados dos ensaios Guelph de campo dias após a ruptura.

Tabela 20 – Valores de permeabilidade saturada para ensaios complementares

Solo	Bloco 9 Vermelho (cm/s)	Bloco 8 Amarelo (cm/s)	Bloco 7 Marrom (cm/s)
Permeâmetro de carga constante	$1,33 \times 10^{-4}$	$2,12 \times 10^{-5}$	$7,83 \times 10^{-5}$

Tabela 21 – Valores para permeabilidade saturada e não saturada medida através do ensaio Guelph

Local	Profundidade	K_{sat} (cm/seg)	K_{nsat} (cm/seg)
SP 09	0,20m	$5,57 \times 10^{-06}$	$5,57 \times 10^{-06} e^{-3,46E-02\psi}$
	0,40m	$3,00 \times 10^{-06}$	$3,00 \times 10^{-06} e^{-0,0243\psi}$
	0,75m	$8,25 \times 10^{-05}$	$8,25 \times 10^{-05} e^{-0,2857\psi}$
SP 11	0,20m	$5,57 \times 10^{-06}$	$5,57 \times 10^{-06} e^{-3,46E-02\psi}$
	0,40m	$4,92 \times 10^{-06}$	$4,92 \times 10^{-06} e^{-0,0121\psi}$
	0,80m	$2,82 \times 10^{-05}$	$2,82 \times 10^{-05} e^{-0,0298\psi}$
BL 04	0,20m	$2,58 \times 10^{-03}$	$2,58 \times 10^{-03} e^{-6,90E-02\psi}$
	0,50m	$1,85 \times 10^{-03}$	$1,85 \times 10^{-03} e^{-0,0409\psi}$
	0,75m	$1,32 \times 10^{-03}$	Não medido
BL 05	0,20m	$5,57 \times 10^{-06}$	$5,57 \times 10^{-06} e^{-3,46E-02\psi}$
	0,40m	$3,88 \times 10^{-05}$	$3,88 \times 10^{-05} e^{-0,5954\psi}$
	0,75m	$2,92 \times 10^{-05}$	$2,92 \times 10^{-05} e^{-0,0928\psi}$

Os resultados dos ensaios de permeabilidade saturada mostram valores de k_{sat} de laboratório e de campo na mesma ordem de grandeza de aproximadamente 10^{-5} cm/s.

5 Simulações Analítico-numéricas

A análise de estabilidade foi realizada com o programa Slope/W que permite a solução por equilíbrio limite, utilizando como critério de ruptura de Mohr Coulomb para solo saturado e o critério de Fredlund: $\tau = \sigma \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi_b$ para solo não saturado.

Dos diversos critérios disponíveis, utilizou-se o de Morgensten e Price, que proporciona a simulação de superfície de ruptura qualquer e equilíbrio de forças e de momentos. A pressão do ar é a pressão atmosférica, portanto, o valor da sucção corresponde ao valor da pressão de água.

A análise de fluxo foi realizada com o programa SEEP/W, que permite a simulação de fluxo transiente através da solução da equação de Richards. Para o estudo criaram-se três cenários:

CENÁRIO 1

Análises de estabilidade considerando solo homogêneo, completamente saturado para os parâmetros de resistência de cada um dos blocos 1, 2, 3, 4 e 5.

CENÁRIO 2

Análise de fluxo com chuva de 86 dias, correspondente à precipitação de 742,3mm, acoplada a análise de estabilidade para determinação da superfície crítica de ruptura considerando perfil de solo homogêneo parcialmente saturado. Neste cenário, a permeabilidade não saturada foi determinada a partir dos ensaios de campo Guelph inseridas diretamente no programa.

CENÁRIO 3

Análise de fluxo com chuva dos últimos 20 dias anteriores à ruptura, que corresponde à precipitação total de 93,1 mm, acoplada com análise de estabilidade considerando perfil com dois solos (Figura 59), parcialmente saturados. Neste cenário, a permeabilidade não saturada foi estimada pela equação de Van Genuchten a partir de k_{sat} determinada pelo ensaio de laboratório.

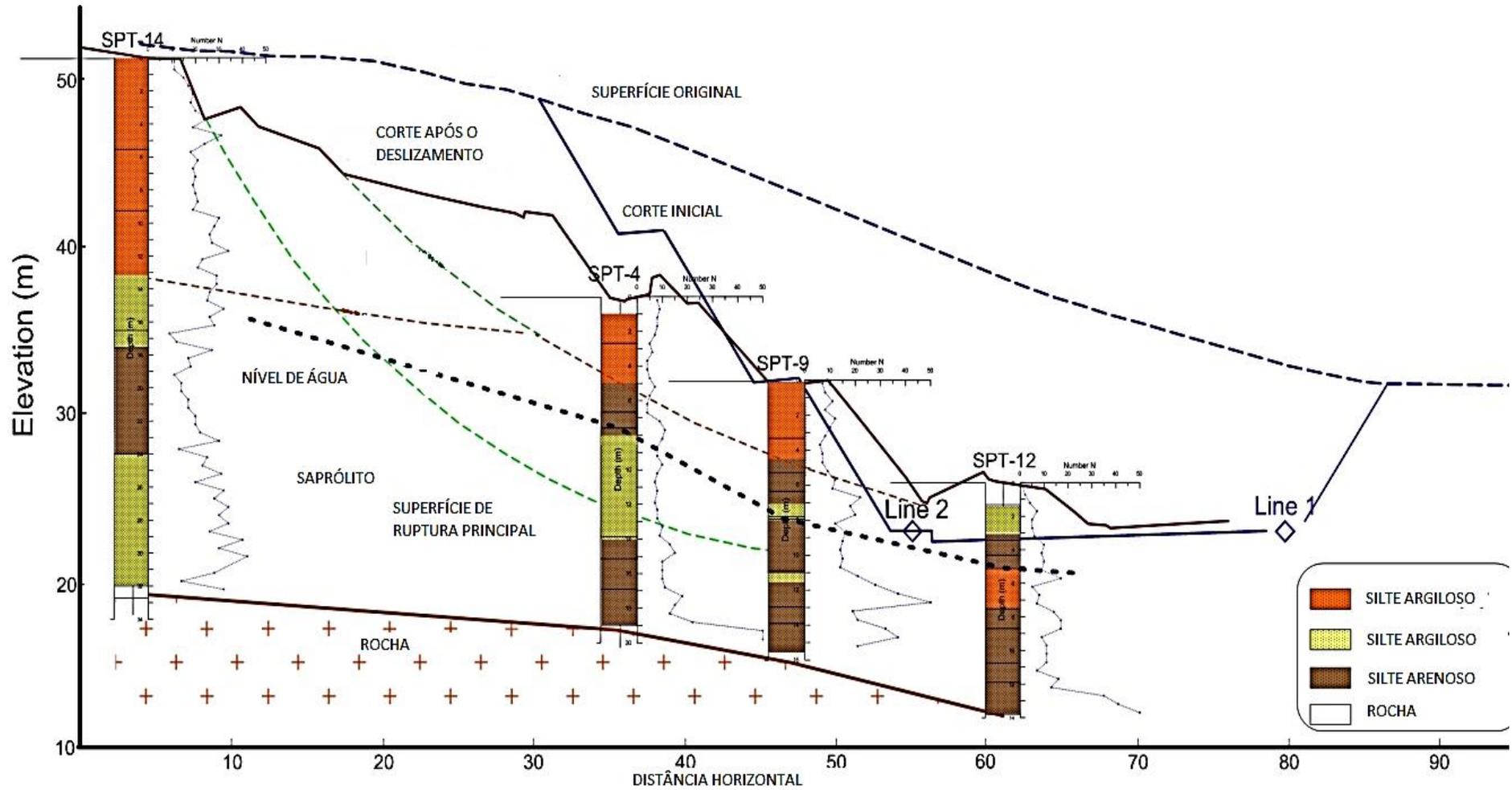


Figura 59 – Perfil do Talude (Adaptado de Lima e de Campos, 2016).

5.1. Análise de Estabilidade Considerando Solo Totalmente Saturado

5.1.1 Perfil de Camada Homogênea

O cenário 1 considerou o perfil completamente saturado e nesta condição a análise de estabilidade foi realizada com os parâmetros de resistência encontrados para os blocos 1, 2, 3, 4 e 5. O perfil foi construído com o corte que passa pelas sondagens SP14, SP04, SP09 e SP12.

Na determinação da superfície de ruptura utilizou-se método das fatias por equilíbrio limite, com a solução da equação de Morgenstern e Price, e utilizando o critério de ruptura de Mohr-Coulomb. A geometria do talude é mostrada na Figura 60. A malha de elementos finitos é quadrada com 2m de largura. Os resultados das análises são apresentados nas Figuras 61 a 65.

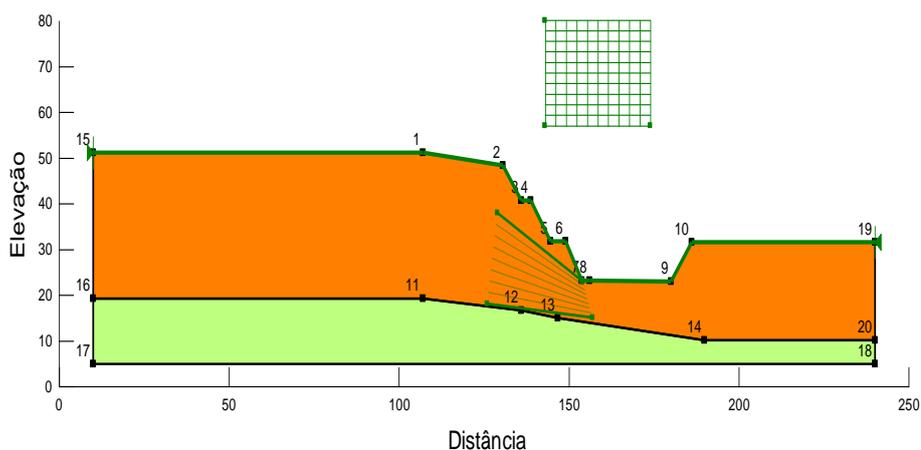


Figura 60 – Geometria do talude

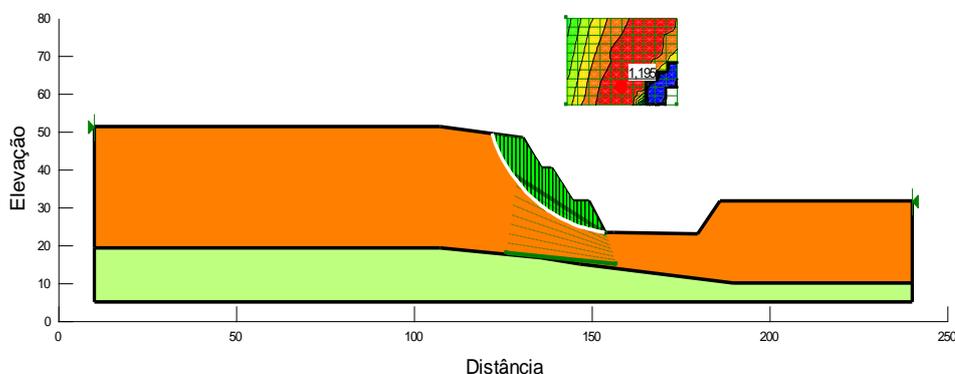


Figura 61 – Análise de estabilidade do Bloco 1

$$\gamma = 16,33 \text{ kN/m}^3, c' = 29,74 \text{ kPa}, \phi' = 24,66^\circ \text{ FS} = 1,26$$

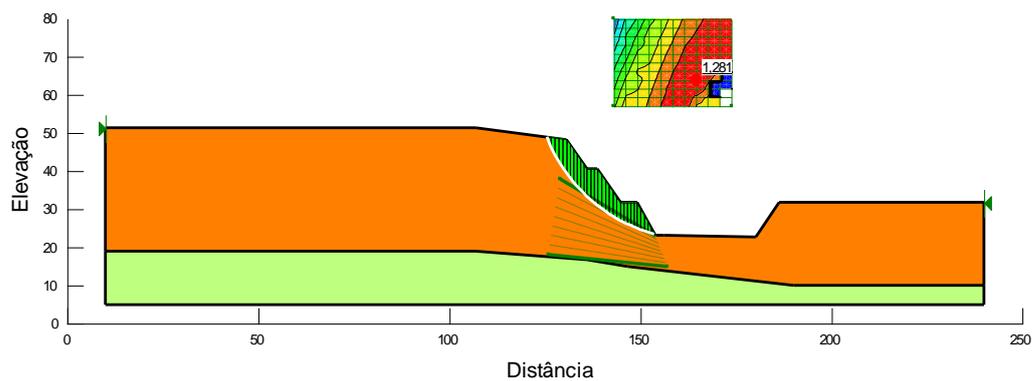


Figura 62 – Análise de estabilidade Bloco 2

$$\gamma = 15,77 \text{ kN/m}^3, c' = 18,74 \text{ kPa}, \phi' = 33,7^\circ, FS = 1,23$$

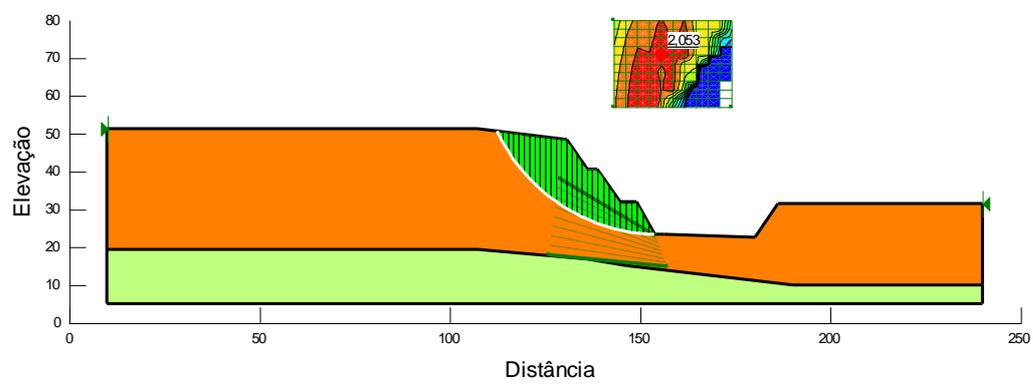


Figura 63 – Análise de estabilidade Bloco 3

$$\gamma = 11,83 \text{ kN/m}^3, c' = 22,4 \text{ kPa}, \phi' = 87,55^\circ, FS = 2,06$$

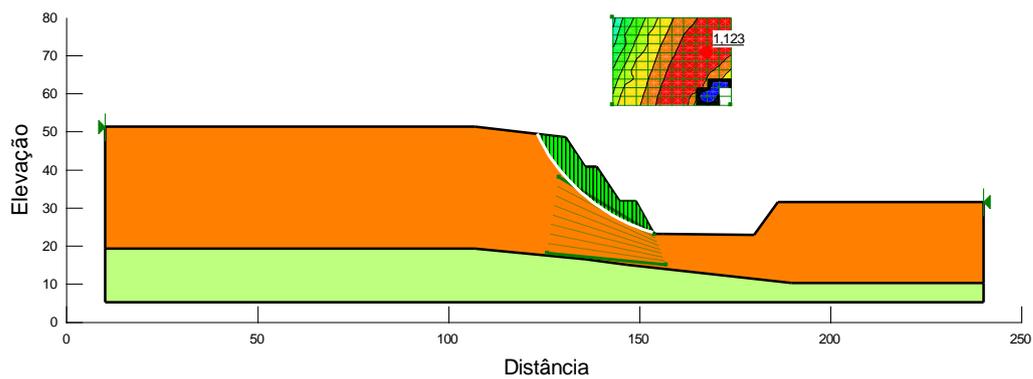


Figura 64 – Análise de estabilidade do Bloco 4

$$\gamma = 16,17 \text{ kN/m}^3, c' = 18,22 \text{ kPa}, \phi' = 28,98^\circ, FS = 1,12$$

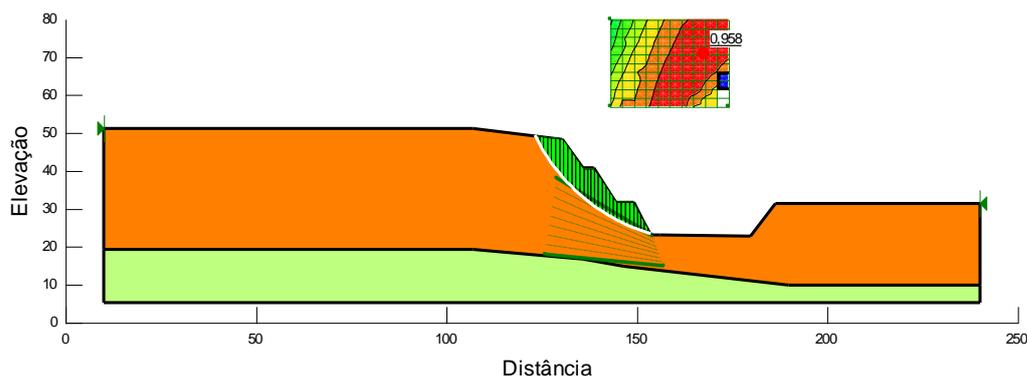


Figura 65 – Análise de estabilidade do Bloco 5

$$\gamma = 16,6 \text{ kN/m}^3, c' = 16,78 \text{ kPa}, \phi' = 25,06^\circ, FS = 0,95$$

A Tabela 21 apresenta os fatores de segurança considerando solo saturado e homogêneo.

Tabela 22 – Fator de segurança considerando solo saturado e solo homogêneo

Amostra	FS	ϕ'	c'
Bloco 1	1,26	24,66	29,74
Bloco 2	1,10	33,7	18,74
Bloco 3	2,06	22,4	87,56
Bloco 4	1,12	28,98	18,22
Bloco 5	0,95	25,06	16,78

Das análises considerando solo homogêneo e saturado, os blocos 1, 2 e 4 apresentaram fatores de segurança de 1,26, 1,10 e 1,12 respectivamente, abaixo dos valores aceitáveis para projeto.

Nesta análise, o talude rompe com os parâmetros apresentados pelo bloco 5. Desta forma, para se prever a ruptura seria necessário considerar todo o talude com os parâmetros deste bloco, esta condição não coaduna com a heterogeneidade do talude.

5.2. Análise de Estabilidade Acoplada com Análise de Fluxo Considerando Solo Parcialmente Saturado

5.2.1 Perfil com Camada Homogênea

O cenário 2 foi construído de forma a determinar o fator de segurança crítico ao mesmo tempo em que se reproduz o mecanismo de ruptura profunda. O perfil foi construído com a secção B da Figura 30, passando SPs 08, 03 e 16.

A modelagem partiu do nível de água coincidente com o impenetrável à percussão. A cota foi aumentada em intervalos de 1m até se chegar ao nível de água inicial que levasse a um fator de segurança unitário ao fim da simulação. Na modelagem foi considerada a infiltração na superfície do talude representada pela função chuva apresentada na Figura 66.

As simulações foram realizadas considerando análise de fluxo acoplada com análise de estabilidade, utilizando os parâmetros de resistência da envoltória de Mohr-Coulomb do bloco 5 e utilizando valores $\phi = 18^\circ$.

Sabe-se que em uma situação normal, a sucção não obedece a valores crescentes a partir do nível de água à medida que a cota da superfície aumenta; ela reproduz um padrão aleatório dependente da umidade e da distribuição de grãos no solo. O mais indicado para estabelecer valores de sucção próximas da realidade do terreno é a medição desta grandeza em campo.

Neste trabalho, adotou-se a simplificação: $\psi = \gamma h$ (kPa) para determinar a sucção do perfil. A sucção variou de 0 no nível de água para 200kPa na crista do talude (Figura 69), na condição inicial. O escoamento superficial e a evapotranspiração devido à troca de umidade com o ambiente não foram considerados. A curva de retenção utilizada foi introduzida diretamente dentro do programa e está mostrada na Figura 68.

A permeabilidade não saturada de entrada desta análise correspondeu ao resultado obtido para o SP 11 na profundidade de 0,20m. $K_{nsat}(\psi=10) = 1 \times 10^{-7}$ m/s. A Figura 67 mostra a curva utilizada para a simulação.

A função chuva corresponde ao tempo de 86 dias, que equivale à precipitação de 743,2mm. A consideração do tempo longo de duração possibilita

a abrangência da captação das chuvas mais intensas durante o período que ocorreram no período medial do evento.

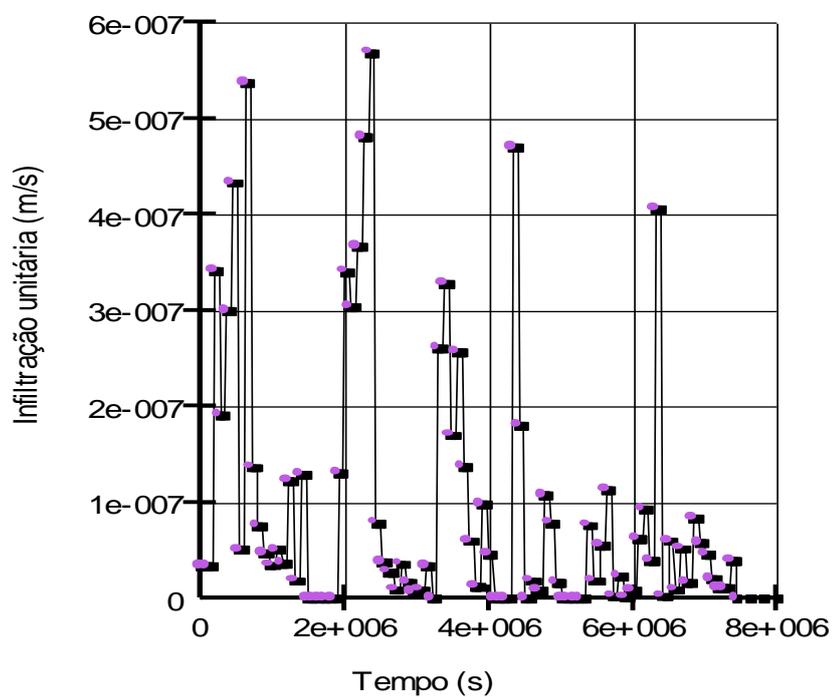


Figura 66 – Função chuva

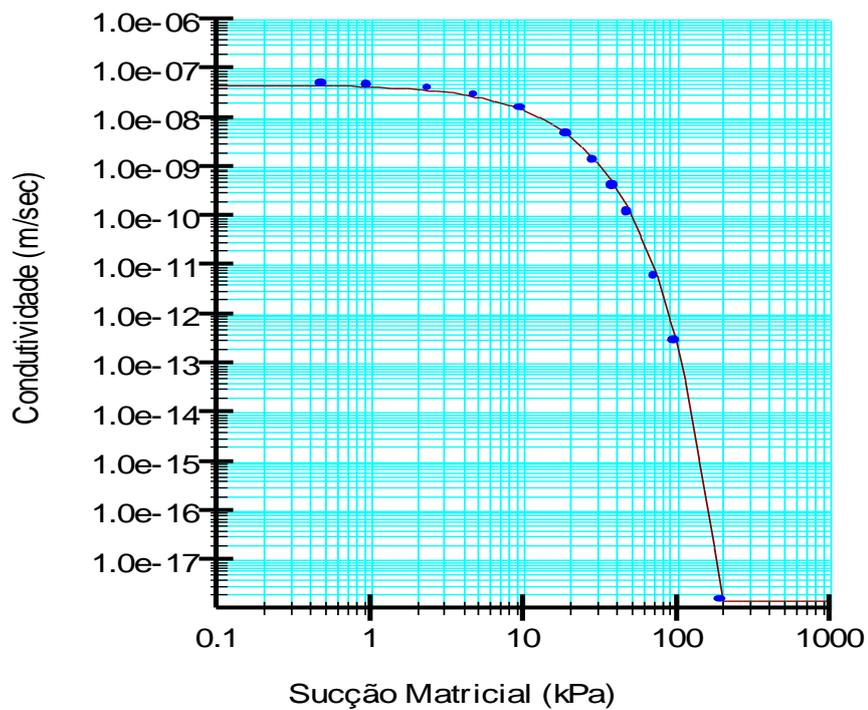


Figura 67 – Função Permeabilidade

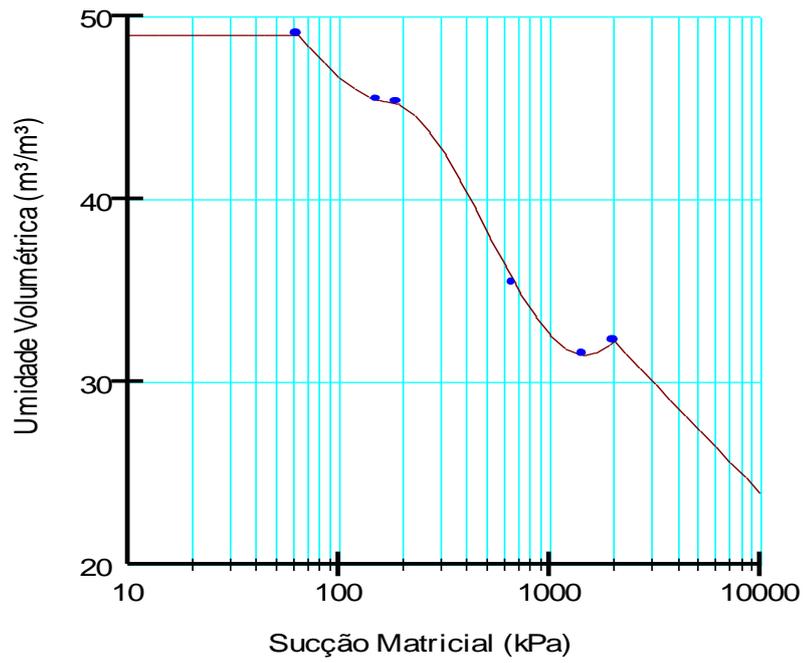


Figura 68 – Curva característica

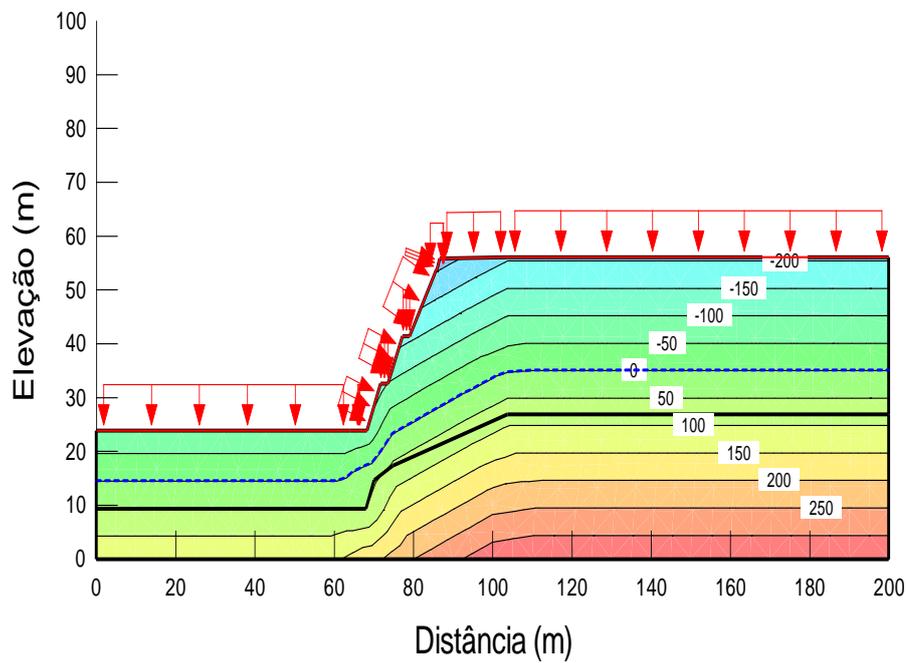


Figura 69 – Condição Inicial de pressão neutra

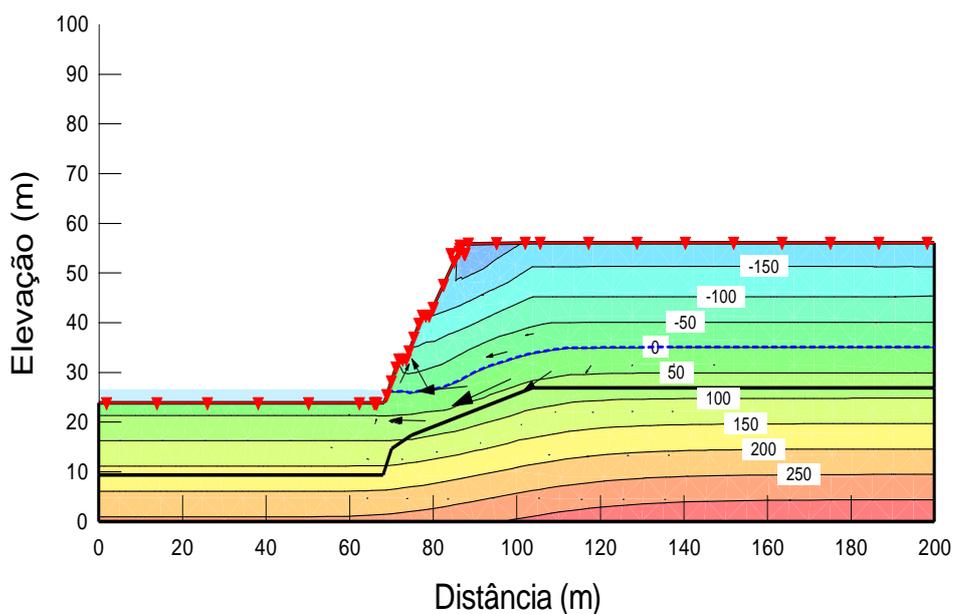


Figura 70 – Fluxo da água através do talude

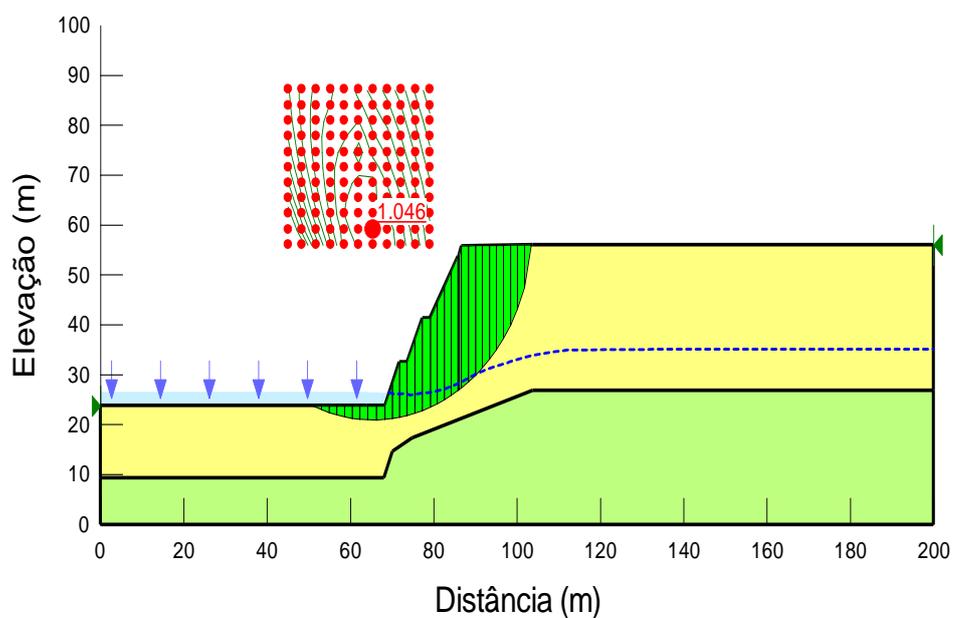


Figura 71 – Fator de segurança

Nesta análise, o fluxo acontece através da infiltração da água da chuva que eleva a posição do NA e percola em direção ao ponto mais baixo do talude, que se encontra na cota do SP 12, onde foi construída a avenida. O talude rompe em profundidade com levantamento de fundo conforme ocorreu no evento de campo (Figura 71). A poropressão após a infiltração passou de -200 kPa para -150kPa na crista do talude e de -100 para 0 na base (Figura 70).

5.2.2. Perfil com Duas Camadas de Solo

O cenário 3 considerou duas camadas de solo, sendo a primeira de solo argiloso e representando a maior parte do perfil, e a segunda o solo arenoso, considerando predominante nas cotas mais próximas do impenetrável a percussão.

As análises foram realizadas considerando análise de fluxo com análise de estabilidade, utilizando os parâmetros de resistência do bloco 5 e valores de ϕ de 18° e de 16° . O talude possui três bermas com inclinações de aproximadamente 60° .

A geometria do talude é a mesma utilizada para o cenário 1 (Figura 59 e 72), passando pelos SPs 04, 09, 12 e 14. Nas condições contorno, os horizontes da face direita, esquerda e abaixo da rocha foram considerados impermeáveis.

A chuva foi disponibilizada na superfície do talude, retirando o trecho de localização da avenida. A função chuva considerou dados de precipitação dos últimos 20 dias, totalizando 93,1mm. Apresentou-se as análises de fluxo nos tempos de 5,10,15 e 20 dias, correspondendo a precipitações acumuladas de 16,2mm, 60,8mm, 82,9mm e 93,1mm (Tabela 22).

A curva de retenção foi introduzida no programa, a partir dos pontos de umidade volumétrica e sucção obtida pelo método do papel filtro. A curva utilizada foi a correspondente ao solo silte argiloso determinadas para os blocos 8 e 7; e silte arenoso determinada para o bloco 9. As curvas são mostradas nas Figuras 73 e 74.

A permeabilidade não saturada foi obtida pela equação de Van Genuchten, oferecido pelo próprio programa. Para o silte argiloso a permeabilidade saturada $k_{sat} = 7,8 \times 10^{-5}$ cm/s e para o silte arenoso $K_{sat} = 1,33 \times 10^{-4}$ cm/s. A permeabilidade da rocha foi a mesma utilizada para o cenário 2. As Figuras 75 e 76 apresentam a permeabilidade não saturada determinada pelo programa.

Na condição inicial o perfil apresenta sucção no topo do talude de 300kPa e sucção na base do talude de 100kPa. O nível de água foi posicionado na cota correspondente ao contato solo-rocha. Toda a face do talude foi considerada permeável.

Na análise de estabilidade foi utilizado os valores médios dos parâmetros de resistência dos blocos 4 e 5 ($\gamma = 15,99\text{kN/m}^3$, $c = 27,06\text{kPa}$, $\phi = 17,78^\circ$) para o solo argiloso e o valor de resistência do bloco 1 para solo arenoso. bloco 1: $\gamma = 15,33\text{kN/m}^3$, $c = 16,72\text{kPa}$, $\phi = 25,06^\circ$.

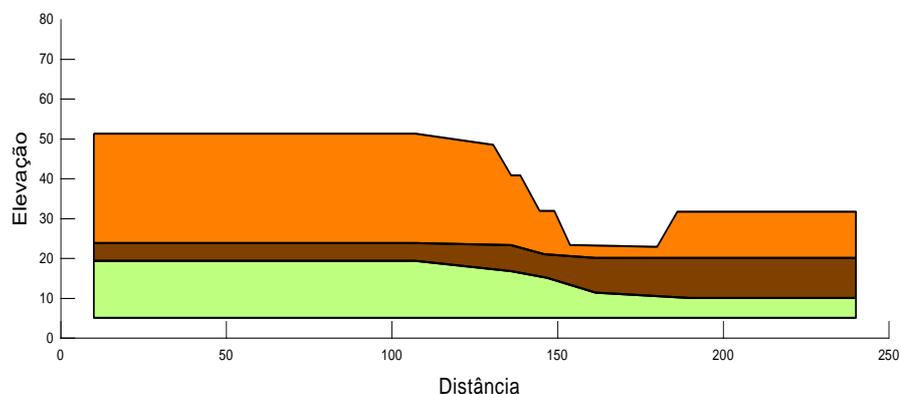


Figura 72 – Geometria do Talude

Tabela 23 – Precipitação ao longo dos 20 dias anteriores a ruptura

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precip.(mm)	2,0	0,1	0,7	5,4	8,0	3,4	35	0,2	5,2	0,8
Dia	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Precip. (mm)	4,5	1,4	7,2	5,0	4,0	4,8	1,0	1,0	3,4	0,0

CC silte arenoso

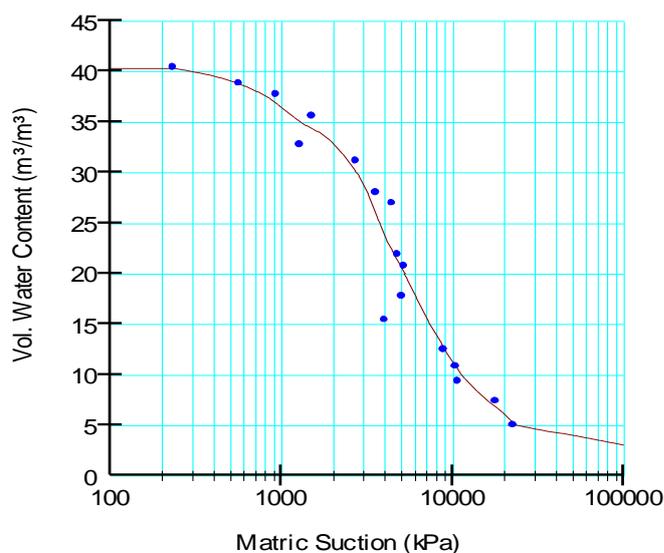


Figura 73 – Curva característica para o silte arenoso

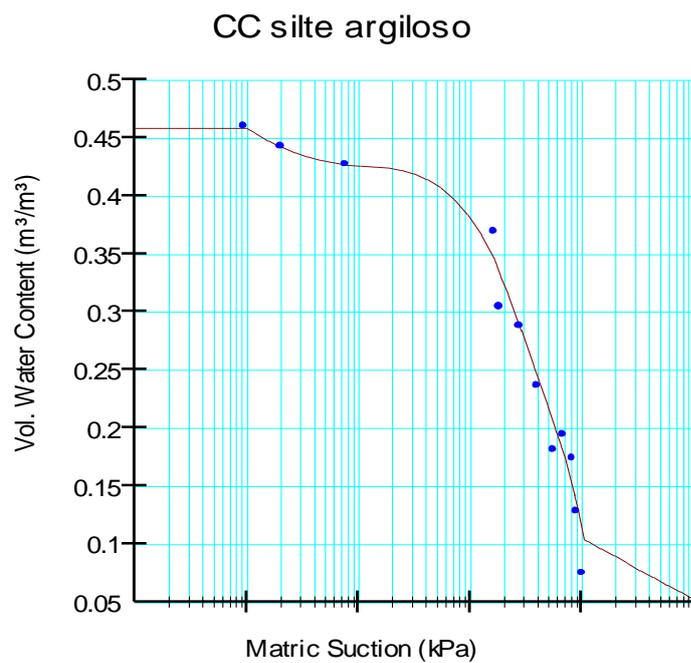


Figura 74 – Curva característica do silte argiloso

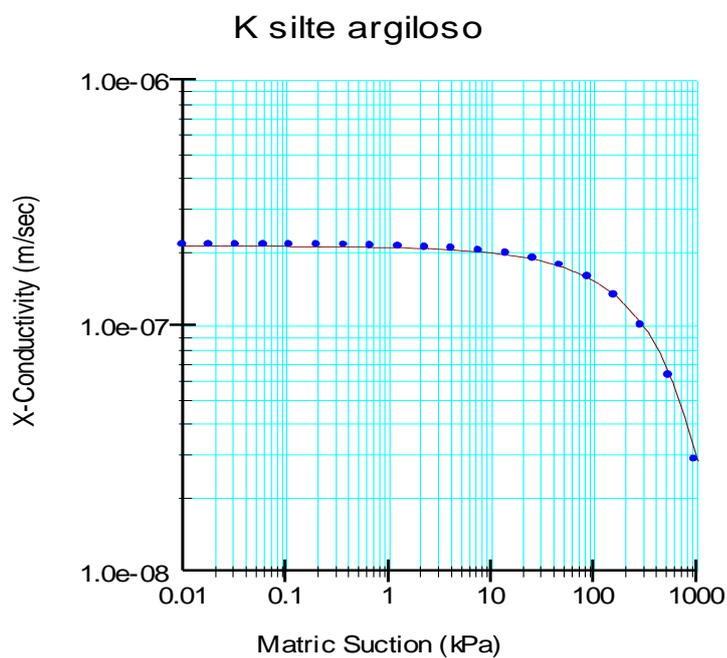


Figura 75 – Permeabilidade não saturada solo argiloso

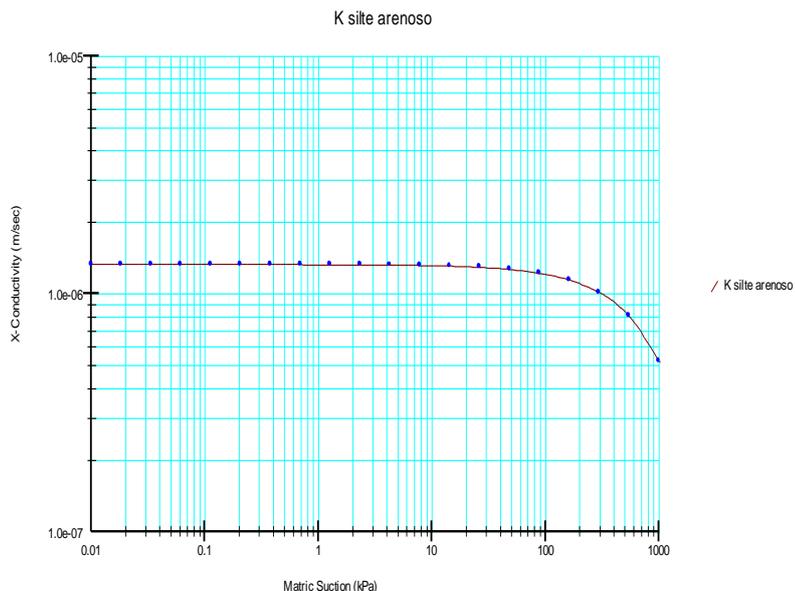


Figura 76 – Permeabilidade não saturada solo arenoso

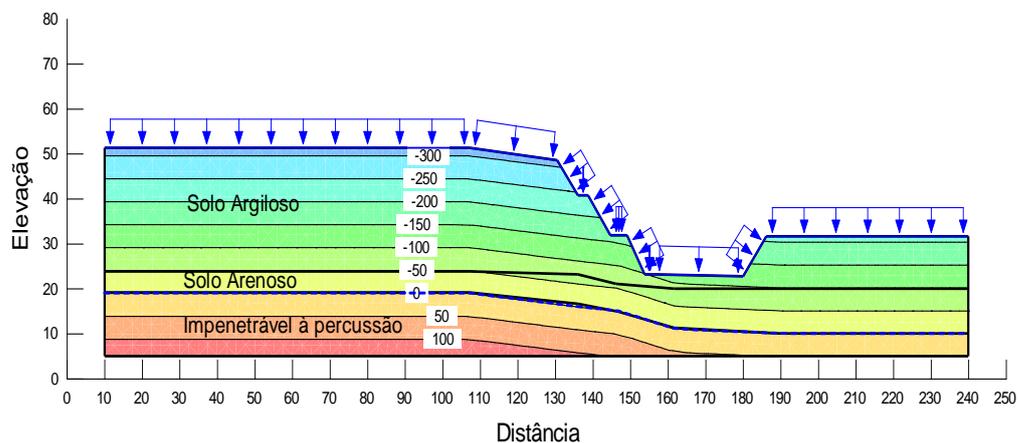


Figura 77 – Análise de fluxo: Condição Inicial

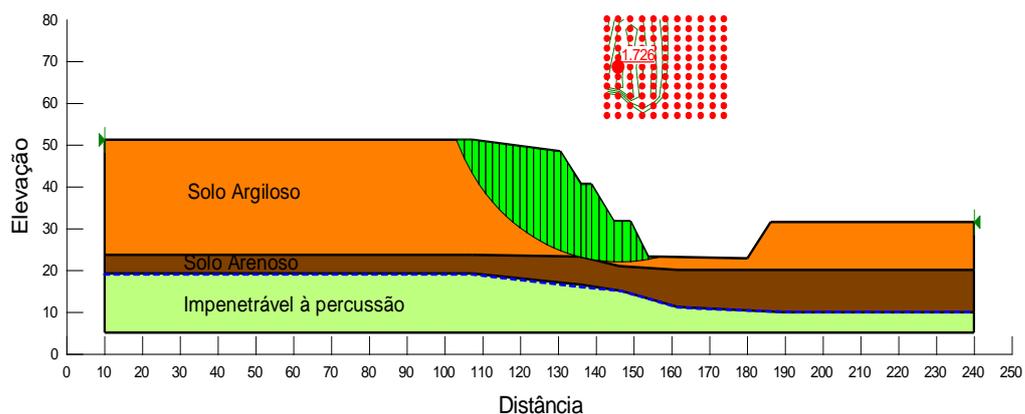


Figura 78 – Condição inicial.

No tempo de cinco dias o perfil apresenta sucção no topo do talude de 250kPa e sucção na base do talude de 50kPa (Figura 79). A quantidade de água da chuva infiltra pela camada de silte argiloso e percola pela camanda de silte

arenoso. O nível de água se estabiliza na cota aproximada de 18m. Nessas condições, $FS = 1,66$ para $\Phi^b = 18^\circ$ e $FS = 1,64$ para $\Phi^b = 16^\circ$ (Figura 80).

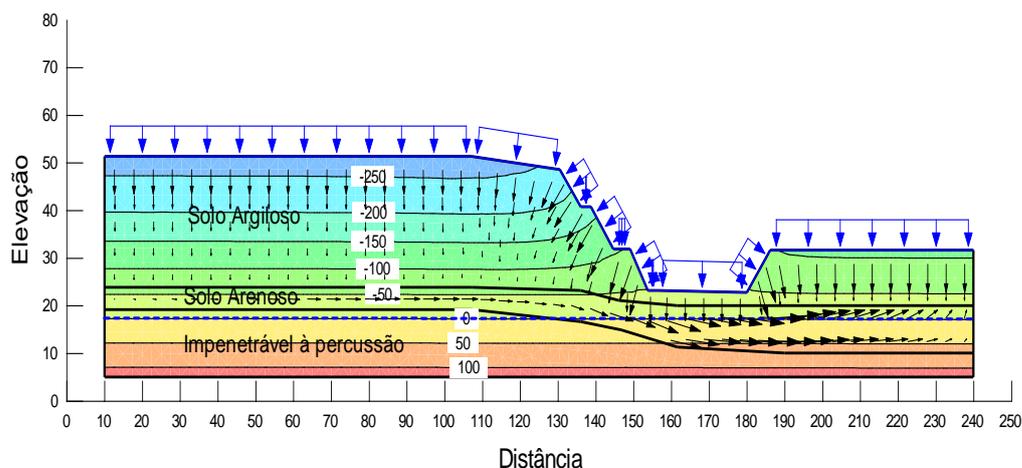


Figura 79 – Análise de fluxo: tempo = 5 dias; precipitação = 16,2mm.

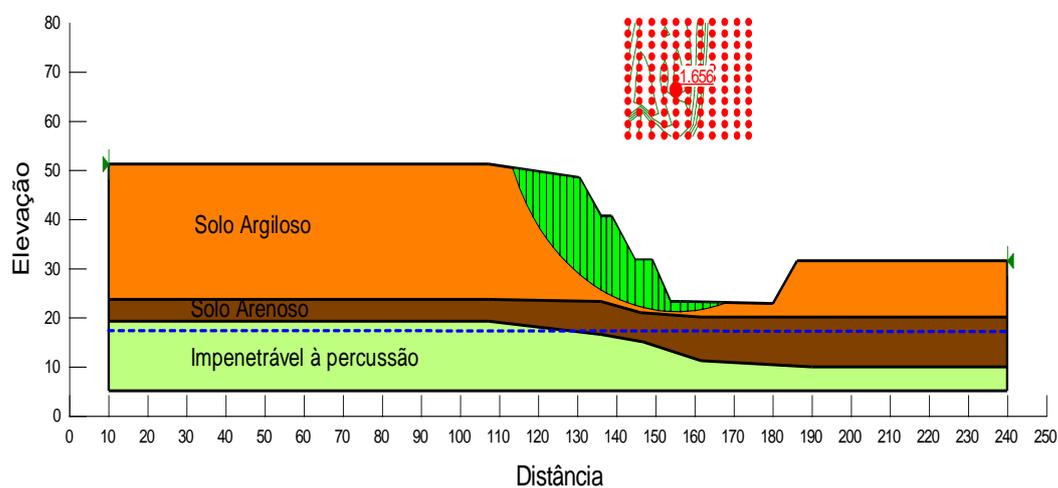


Figura 80 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 18^\circ$; $FS = 1,66$.

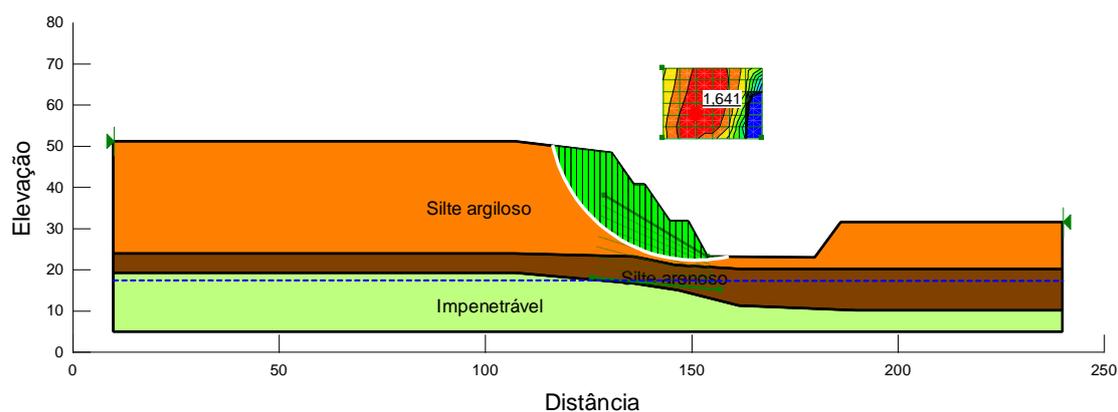


Figura 81 – Análise de estabilidade. a) $\Phi^b = 16^\circ$; $FS = 1,64$. b) $\Phi^b = 18^\circ$; $FS = 1,66$.

No tempo de 10 dias o perfil apresenta sucção no topo do talude de 250kPa e sucção na base do talude de 50kPa. O padrão de fluxo se mantém constante em

relação ao padrão observado para o tempo de 5 dias bem como a cota do nível de água. Nessas condições o fator de segurança apresentou valores de 1,43 tanto para $\Phi_b = 18^\circ$ quanto para $\Phi_b = 16^\circ$.

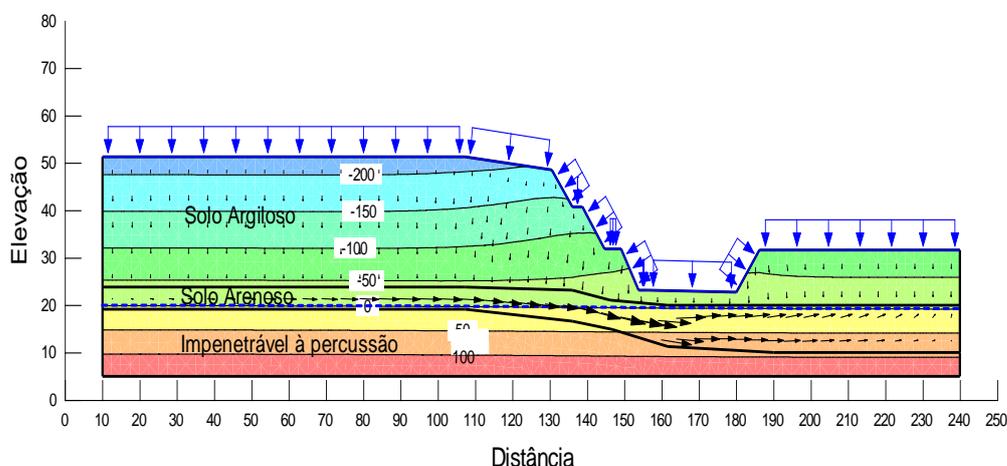


Figura 82 – Análise de fluxo: tempo = 10 dias; precipitação = 60,8mm.

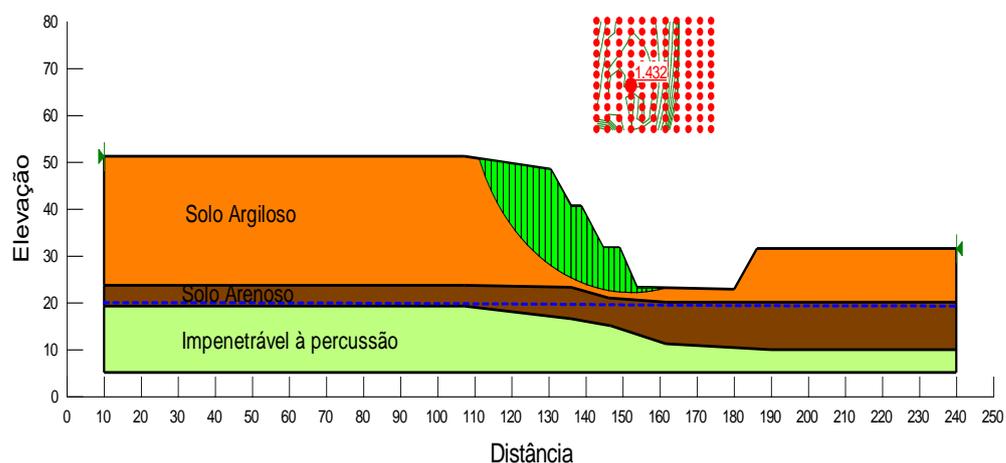


Figura 83 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 18^\circ$; FS = 1,43.

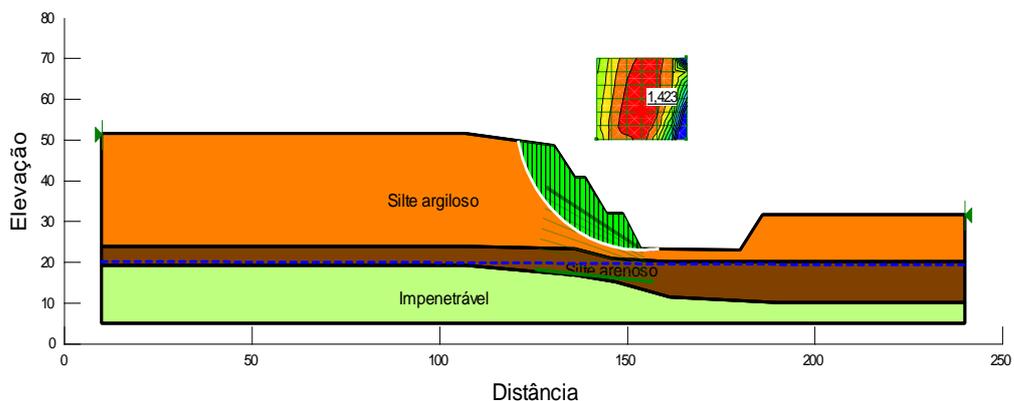


Figura 84 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 16^\circ$; FS = 1,43.

No tempo de quinze dias o perfil apresentou sucção no topo do talude de 200kPa e sucção na base do talude de 40kPa. Padrão do fluxo de água situado a

justante do talude se inverte e se estabelece da esquerda para a direita, convergindo toda a quantidade da água percolada para o base da primeira berm. Nessas condições o fator de segurança apresentou valores de 1,34 para $\Phi^b = 18^\circ$ e FS = 1,38 para $\Phi^b = 16^\circ$.

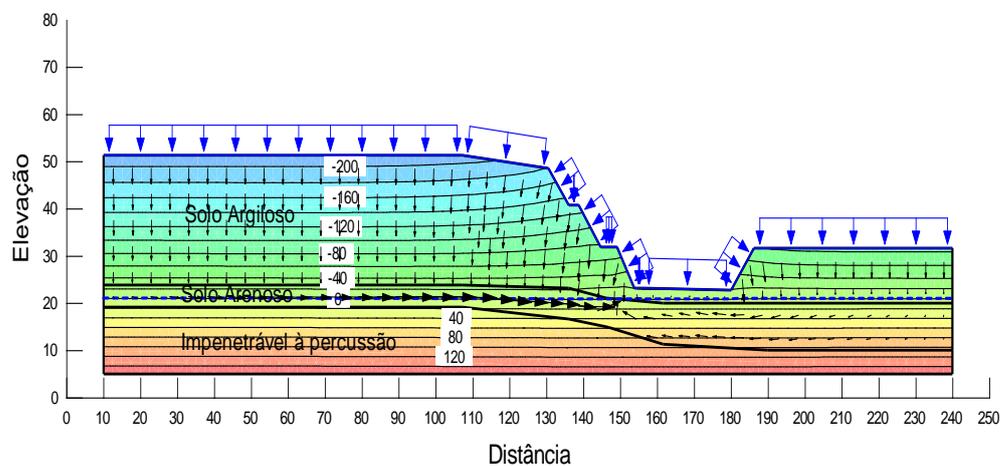


Figura 85 – Análise de fluxo: tempo = 15 dias; precipitação = 82,9mm.

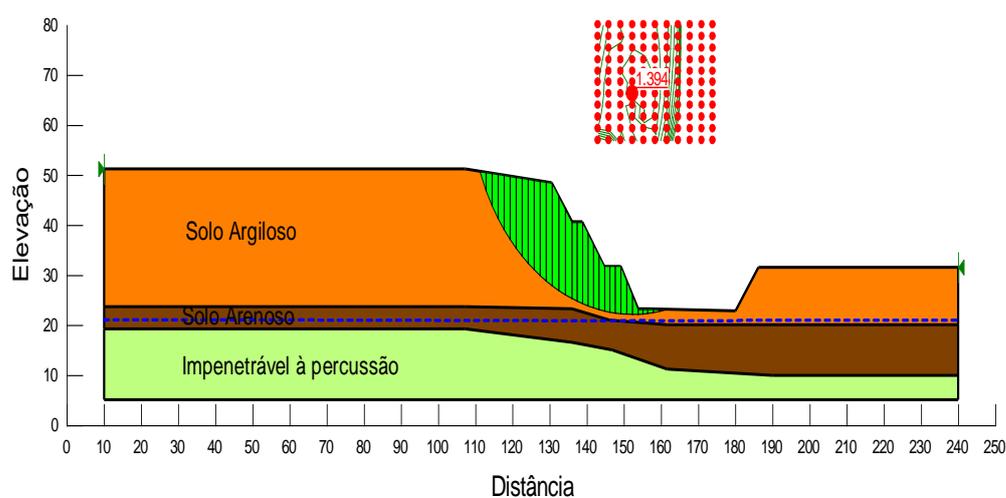


Figura 86 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 18^\circ$; FS = 1,39.

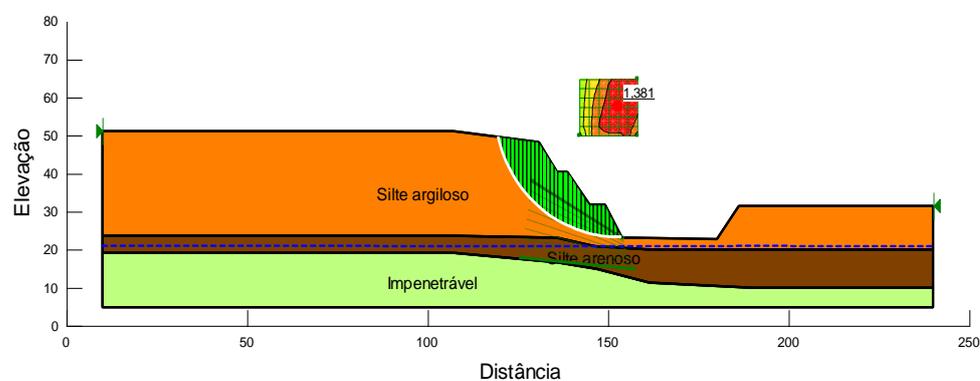


Figura 87 – Análise de estabilidade ; $\Phi^b = 16^\circ$; FS = 1,38.

No tempo de vinte dias o perfil apresenta sucção no topo do talude de 200kPa e sucção na base do talude de 0kPa. O padrão de fluxo se estabelece da direita para a esquerda. Nessas condições o fator de segurança apresentou valores de 1,43 para $\Phi^b = 18^\circ$ e FS = 1,39 para $\Phi^b = 16^\circ$.

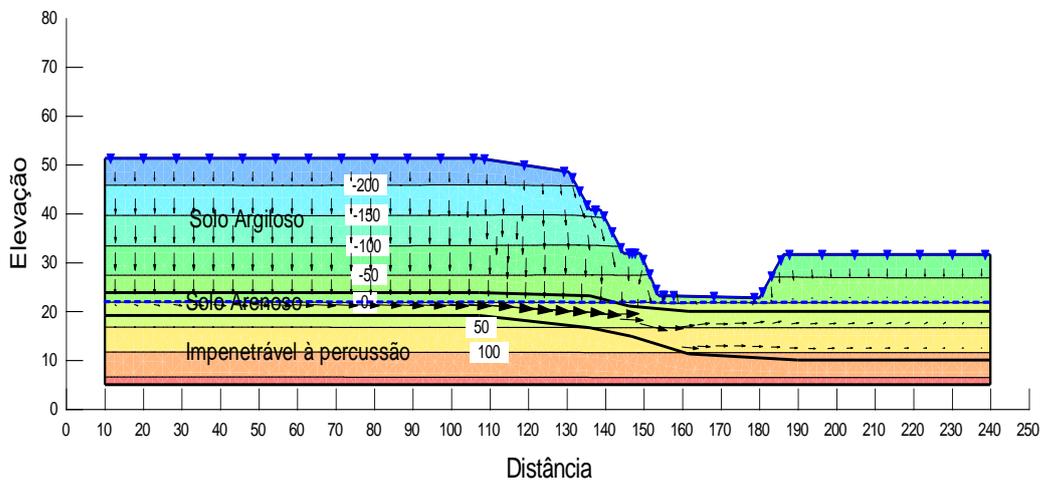


Figura 88 – Análise de fluxo: tempo = 20 dias; precipitação = 93,1mm.

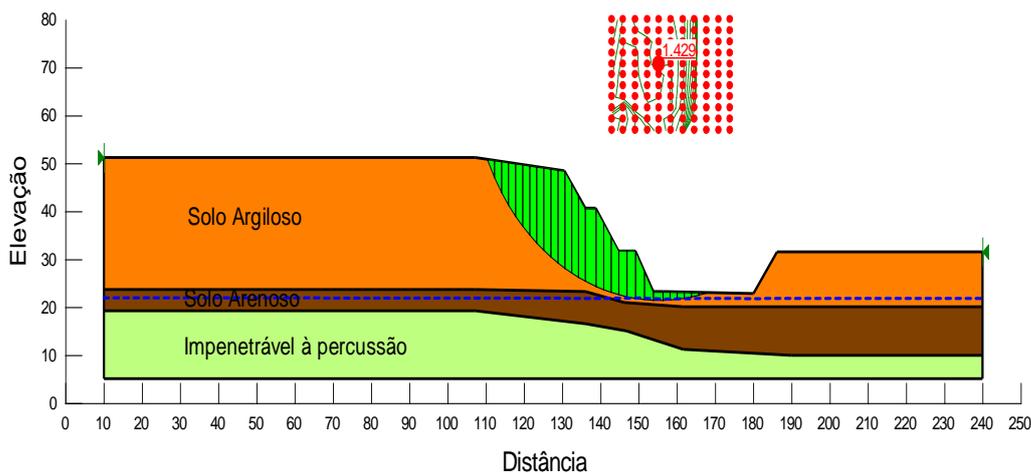


Figura 89 – Análise de estabilidade: $\Phi^b = 18^\circ$; FS = 1,43.

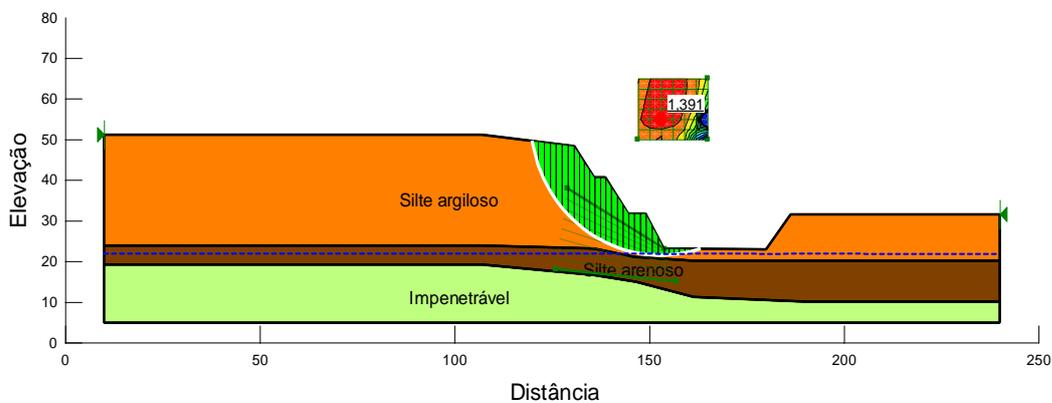


Figura 90 – Análise de estabilidade. t = 20 dias; $\Phi^b = 16^\circ$; FS = 1,39.

Nesta simulação não houve ruptura do talude. Porém se observa a tendência de diminuição do fator de segurança, a medida que aumenta o volume de água precipitado. Desta forma, pode-se afirmar que haveria um tempo de chuva superior a 20 dias em que houvesse o escorregamento do talude.

Observa-se que não há variação no resultado das análises resultantes da diferença da utilização do $\Phi_b = 18^\circ$ e do 16° .

A primeira análise utilizou tempo de duração de chuva de 3 meses, tal fato proporcionou alcançar precipitações mais intensas, que ocorrem entre os meses de fevereiro a julho.

Na segunda modelagem utilizou dados de chuvas de 20 dias, desta forma não se conseguiu atingir a quantidade de chuva que permitisse atingir FS=1. A Tabela 23 apresenta um resumo dos resultados obtidos nas simulações.

Tabela 24 – Resumo dos resultados das simulações

Tipo de análise	Considerações da análise	Mecanismo de ruptura
Análise de estabilidade	Camada homogênea Resultado de resistência para os blocos 1, 2, 3, 4, e 5	Menor FS = 0,95 Ruptura superficial passado pela crista e pela base
Análise de fluxo acomplada com análise de estabilidade em camada simples	Solo não saturado Camada homogênea k_{sat} entre 10^{-7} m/s Precipitação de 742,3mm NA inicial abaixo do registrado na sondagem NA final próximo ao resultado das sondagens Dados de resistência do bloco 1	FS = 1,046 para $\phi^b = 18^\circ$ Ruptura profunda, passando pela crista e pista de rolamento da avenida
Análise de fluxo acomplada com análise de estabilidade em camada dupla de solo	Solo não saturado Camada com dois tipos de solo Precipitação 93,1mm NA inicial coincidente com o registrado na sondagem NA final próximo ao resultado das sondagens Utilização dos parâmetros de resistência dos blocos 1, 4 e 5 k_{nsat} entre 10^{-5} e 10^{-6} (m/s)	FS = 1,43 para $\phi^b = 18^\circ$ e t = 20 dias FS = 1,39 para $\phi^b = 16^\circ$ e t=20 dias Não houve ruptura Boa convergência dos resultados

6 Conclusões e sugestões

Dentre os fatores que tiveram influência na ruptura do talude destacaram-se: a precipitação, que embora não tenha sido a mais crítica em termos de intensidade, foi atípica em termos de distribuição histórica; a geologia, devido à existência de famílias de falhas, evidenciadas onde se registrou a maior concentração de umidade ao longo do perfil e que se comporta como planos de fraqueza preferenciais para ocorrência de deslizamentos e a ação antrópica devido a eliminação da vegetação superficial.

A precipitação total do ano de 2005 foi de 2329mm, acima da média anual para a cidade nos últimos dezesseis anos, de 1842,5mm. Sendo que oitenta e cinco por cento (85%) da pluviosidade ocorreu nos meses antecedentes à ruptura (de janeiro a julho).

Na análise numérica do cenário 1, onde se considerou o solo totalmente saturado, os fatores de segurança variaram de 2,2 a 0,95. O talude rompe para os dados experimentais do bloco 5 e é mais seguro com os parâmetros do bloco 3. Para se considerar o talude instável seria necessário extrapolar os resultados de resistência do bloco 5 para todo o maciço, desconsiderando sua heterogeneidade.

Na análise de estabilidade do cenário 2, utilizando precipitação de 742,4mm e tempo de duração de chuva de 86 dias, obteve-se fator de segurança crítico. A ruptura ocorreu em profundidade e a superfície de ruptura atravessou a crista do talude e a pista de rolamento da avenida.

Na análise de estabilidade do cenário 3, utilizando precipitação de 93,1mm no tempo de 20 dias, o talude não rompeu. Tal fato confirma necessidade de aumentar o tempo de precipitação com o objetivo de atingir o período medial do evento, quando se deu as maiores precipitações.

A realização de simulações considerando os planos de fraqueza da rocha reliquiar, evidentes ao longo do perfil, poderá justificar fatores de segurança crítico para precipitações menores de 86 dias do cenário 2 ou acima de 20 dias no cenário 3.

Considerando-se as análises de estabilidade deste trabalho, a ruptura ocorreu devido a infiltrações à montante do talude, em período de chuva de distribuição

histórica atípica, que atingindo a profundidade do NA elevou a sua cota a zonas de instabilidade, causando a ruptura.

Na estimativa de Vilar (2006) o $\Phi_b = 16^\circ$, substituindo o fator $\Phi_b = 18^\circ$, não interfere no valor do FS, que se apresenta mais conservativo a uma variação de apenas 0,7% acima do valor obtido para $\Phi_b = 18^\circ$.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

a realização de simulação aumentando o refinamento da malha sobretudo no ponto de singularidade situado na base do talude;

a realização de simulações considerando os planos de fraqueza da rocha reliquiar;

a realização de ensaios de resistência ao cisalhamento com sucção controlada, com o objetivo de comparar esses resultados com os obtidos pela estimativa de Vilar (2006),

A utilização dos parâmetros de resistência determinados pelos ensaios triaxial, para estimar os parâmetros de resistência não saturada.

Desta forma, conclui-se que a análise da ruptura do talude do Morro do Águia não foi esgotada. As considerações feitas neste trabalho não foram suficientes para assegurar que os mecanismos de ruptura apresentados pelas modelagens foram os que de fato contribuíram para a ruptura do talude.

7

Referências bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6484: solo – SONDADE DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT**. 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR 8039: PROGRAMAÇÃO DE SONDADE DE SIMPLES RECONHECIMENTO PARA FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS**. 1983.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, v. 3 (p.877-1436), 2003.

BORMA, L. de S.; GITIRANA JR, G. F. N.; LUIZ J. C. **Solos não saturados no contexto geotécnico. Capítulo 13 – Interação solo-planta-atmosfera e o papel o dos solos não saturados**. São Paulo. 2015.

CADERNOS DA CIDADE. **Uso e ocupação do solo em Salvador**. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, Habitação e Meio ambiente – SEDHAM. Salvador. Volume 1. 2009.

CALLE, J. A. C. **Análise de ruptura de um talude de solo não saturado**. Dissertação de Mestrado. São Carlos. 2000.

CARVALHO, J. C. et al. **Solos não saturados no contexto geotécnico. Capítulo 3 – Propriedades químicas, mineralógicas e estruturais de solos naturais compactados**. São Paulo. 2015.

CASO, J. E. M. **Características de resistência não saturada de um solo coluvionar e um solo saprolítico de Tinguá**, Rio de Janeiro: PUC, 2014.

CODESAL (2016). **Índice Pluviométrico**. Disponível em: <www.codesal.salvador.ba.gov.br>. Acesso em: 12 de março de 2016.

CRUZ, S. A. S. **Caracterização petrográfica, petroquímica e estrutural do embasamento cristalino da cidade de Salvador-Bahia/Porção oeste**. Salvador. Monografia de final de curso. Universidade Federal da Bahia. 2005.

DE CAMPOS, L. E. P.; MENEZES, M. S. de S. **Relatório para a Prefeitura Municipal de Salvador**. Salvador. 2005. Acervo da Universidade Federal da Bahia.

DE CAMPOS. L. E. P., **INFLUÊNCIA DA SUCCÃO NA ESTABILIDADE E TALUDES NATURAIS EM SOLOS RESIDUAIS**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. PUC-RIO. 1984.

DE CAMPOS, T.M.P.; VARGAS Junior, E.A.; EISENSTEIN, Z. (1992) **Considerações sobre processos de instabilização de encostas em solos não saturados na cidade do Rio de Janeiro**. 1º Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, 1º COBRAE. Rio de Janeiro. p. 741-757. 1992.

DE CAMPOS, T. M. P. **Resistência ao cisalhamento de solos residuais micáceos**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1974.

DE CAMPOS, T. M. P.; MOTTA M. F.B. **Solos não saturados no contexto geotécnico. Capítulo 17 - Resistência ao cisalhamento de solos não saturados**. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS. São Paulo. 2015.

DE SOUZA, J. S.; BARBOSA J. F.; GOMES, L. C. C. **Litogeoquímica dos granulitos ortoderivados da cidade de Salvador, Bahia**. Revista brasileira de geociências. Volume 40. Nº 3. São paulo. 2010.

Decifrando a Terra. OFICINA DE TEXTOS. SÃO PAULO. 2002.

FERNANDES, M. A., **Estudo dos mecanismos de instabilização em talude de solo arenoso não saturado localizado na região centro – oeste paulista**. Tese de doutorado. São Carlos. 2016

FERNANDES, M. M., **Mecânica dos Solos – Conceitos e Princípios Fundamentais**. Volume 1. 3ª edição. FEUP Edições. 2012.

_____, **Mecânica dos Solos – Conceitos e Princípios Fundamentais**. Volume 2. 1ª edição. Oficina de Textos. 2014.

FREDLUND, D.G., H. RAHARDJO. **Slope stability**. Eleventh Southeast Asian Geotechnical Conference. Singapore. 1987.

FREDLUND, D.G. et al. **Soils mechanics for unsaturated soils**. John Wiley & Sons. New Jersey. USA. 1993.

_____. **Unsaturated soil mechanics in engineering practice**. John Wiley & Sons. New Jersey. USA. 2012.

FREDLUND, D.G., H. RAHARDJO. **The role of unsaturated soil behavior in geotechnical engineer practice**. Eleventh Southeast Asian Geotechnical Conference. Singapore. 1993.

GERSCOVICH, D.M.S. **Equações para modelagem da curva característica aplicadas a solos brasileiros**. 4º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. Porto Alegre. 2001.

GERSCOVICH, D.M.S. et al. **Estabilidade de Taludes**. Oficina de Textos. São Paulo. 2ª edição. 2016.

GOMES, J. E. S., **Estudo sobre fatores que influenciam a acurácia do método do papel filtro**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2007.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M., **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo. Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 194p.

HUDSON, J.A.& HUDSON, J.L. (1993) **Establishing potential behavioural modes of rock engineering systems by computer simulation of interaction matrix energy flux**. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts. Vol. 30, No. 4, p.457-468.

LIMA, O.A.L. e DE CAMPOS, L.E.P. (2016) **Two-dimensional electric imaging: a non-invasive tool for solving hydrological and geotechnical problems in urban areas**. (Não publicado). 29 p.

LU, N.; LIKOS, W. J. **Unsaturated Soil Mechanics**. John Wiley & Sons, 2004.

MARINHO, F.A.M. **Os solos não saturados: aspectos teóricos, experimentais e aplicados**. Tese de Livre docência. Universidade de São Paulo. 2005.

_____, **Medição de sucção com o método do papel filtro**. In: X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Foz do Iguaçu. PR. 1994. v.2,p. 515-522.

MASCARENHAS, M. M. dos A. **Influência da microestrutura no comportamento hidro-mecânico de uma argila siltosa não saturada incluindo pequenas deformações**. Tese de doutorado. Universidade de Brasília. Brasília. 2008.

MONCADA, M. P. H., **Avaliação de propriedades hidráulicas de solos tropicais não saturados**. Tese Doutorado. PUC-Rio. 2008.

MOTA R. B., **Crescimento urbano na bacia hidrográfica de Pituáçu e suas repercussões nas condições de balneabilidade das praias oceânicas da boca do Rio e dos Artistas em Salvador - BA**. Dissertação de Mestrado. Salvador. 2008

PINTO. C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3a edição. Editora Oficina de textos. São Paulo. 2002.

RAHARDJO, H. et al. **Factors affecting the filter paper method for total and matric suction measurements**. Journal Geotechnical Testing, nº 24, volume 3. 2002.

SILVA, A. F. **Estudo de previsão de escorregamento, a partir do fator de segurança 3D: Campos do Jordão – SP**. Dissertação de Mestrado. São Carlos-SP. 2009.

VARGAS JUNIOR, E.A.; COSTA FILHO, L.M.; DE CAMPOS, T.M.P. **Análise de infiltração em solos de encostas na cidade do Rio de Janeiro e sua consequência na estabilidade.** Rio de Janeiro: COBRAE.p. 759-770, 1992.

VILAR, O. M. **A simplified procedure to estimate the shear strength envelope of unsaturated soils.** Canadian Geotechnical Journal 1088-1095. 2006.

SANTOS, L. A. de O.; GUIMARÃES, R. B. **Infiltração vertical de água em solos não saturado: frente de saturação ou umedecimento?** Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE. Rio de Janeiro. 1992.

SILVA. M. T. de M. G. **Metodologia para determinação de parâmetros para solos não saturados utilizando ensaios com umidade conhecida.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília. 2009.

SILVA JR., A. C. **Avaliação das flutuações sazonais de umidade e sucção em um perfil de solo tropical.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2011.

SILVA, A. M. **Aplicação de lógica nebulosa para previsão do risco de escorregamentos de taludes em solo residual.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2008.

SWRC Fit (2016) – Modelagem para curva característica <<http://seki.webmasters.gr.jp/swrc/>> Acesso em 18 de março de 2016

Surcap – Superintendência de Urbanização da Capital. **Projeto para a Secretaria de Transportes e Infra-Estrutura da Prefeitura Municipal de Salvador.** Levantamento Planialtimétrico. 2005.

REGINA, M. E. R.; FERNADES, R. B. **O acelerado crescimento dos bairros populares na cidade de Salvador-Bahia e alguns dos seus principais impactos ambientais: o caso do Cabula, geograficamente estratégico para a cidade.** Geosul, v.20, n.39, 2005.

Anexo A

Tabela de índices físicos dos blocos

Bloco 1						
DADOS	Ensaio Inundado			Ensaio Natural		
	1I	1II	1III	1IV	1V	1VI
	50 kPa	100 kPa	200 kPa	50 kPa	100 kPa	200 kPa
Teor de umidade inicial (%)	38,02	37,39	37,3	37,29	36,08	35,24
Índice de vazios inicial	1,34	1,35	1,33	1,35	1,31	1,33
Peso específico natural (KN/m ³)	16,4	16,2	16,4	16,2	16,3	16,1
Peso específico seco (KN/m ³)	11,9	11,8	11,9	11,8	12	11,9
Grau de Saturação Inicial (%)	80,15	78,39	79,46	78,26	77,9	75,01
Altura Inicial da amostra (cm)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Seção Transversal Inicial (cm ²)	39,69	39,69	36,69	39,69	39,69	39,69
Altura da amostra após adensamento (cm)	2,37	2,26	2,14	2,37	2,34	2,31
Teor de umidade final (%)	45,43	44,97	42,76	36,16	34,86	36,41
Velocidade de Deformação (mm/min)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Bloco 2						
DADOS	Ensaio Inundado			Ensaio Natural		
	2I	2II	2III	2IV	2V	2VI
	50 kPa	100 kPa	200 kPa	50 kPa	100 kPa	200 kPa
Teor de umidade inicial (%)	26,19	20,59	18,14	15,35	16,63	16,87
Índice de vazios inicial	1,19	1,08	1,08	1,03	1,14	1,13
Peso específico natural (KN/m ³)	15,8	15,9	15,6	15,6	14,9	15
Peso específico seco (KN/m ³)	12,5	13,2	13,2	13,5	12,8	12,9
Grau de Saturação Inicial (%)	61,52	53,27	47,04	41,68	40,74	41,67
Altura Inicial da amostra (cm)	2	2	2	2	2	2
Seção Transversal Inicial (cm ²)	103,23	103,23	103,23	103,23	103,23	103,23
Altura da amostra após adensamento (cm)	1,94	1,86	2,14	1,94	1,92	1,86
Teor de umidade final (%)	38,48	36,34	28,51	15,31	19,85	13,47
Velocidade de Deformação (mm/min)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Bloco 3						
DADOS	Ensaio Inundado			Ensaio Natural		
	3I	3II	3III	3IV	3V	3VI
	50 kPa	100 kPa	200 kPa	50 kPa	100 kPa	200 kPa
Teor de umidade inicial (%)	33,79,	37,54	38,85	36,9	0,1	35,22
Índice de vazios inicial	1,24	1,28	1,45	1,25	0,7	1,34
Peso específico natural (KN/m ³)	16,4	16,5	15,6	16,7	16,2	15,8
Peso específico seco (KN/m ³)	12,3	12	11,2	12,2	16,2	11,7
Grau de Saturação Inicial(%)	76,52	81,84	75,1	82,53	0,4	73,33
Altura Inicial da amostra (cm)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Seção Transversal Inicial (cm ²)	39,69	39,69	39,69	36,69	39,69	39,69
Altura da amostra após adensamento (cm)	2,38	2,36	2,25	2,36	2,36	2,31
Teor de umidade final (%)	37,65	39,34	47,94	10	10	0,1
Velocidade de Deformação (mm/min)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Bloco 4						
DADOS	Ensaio Inundado			Ensaio Natural		
	4I	4II	4III	4IV	4V	4VI
	50 kPa	100 kPa	200 kPa	50 kPa	100 kPa	200 kPa
Teor de umidade inicial (%)	15,91	14,74	15,58	15,35	15,44	15,38
Índice de vazios inicial	0,97	1,04	1,11	0,99	0,98	0,9
Peso específico natural (KN/m ³)	16,2	15,4	15	15,9	16	16,7
Peso específico seco (KN/m ³)	14	13,4	13	13,8	13,9	14,5
Grau de Saturação Inicial (%)	46,01	39,58	39,29	43,26	44,09	47,8
Altura Inicial da amostra (cm)	2	2	2	2	2	2
Seção Transversal Inicial (cm ²)	103,23	103,23	103,23	103,23	103,23	103,23
Altura da amostra após adensamento (cm)	1,82	1,72	1,61	1,87	1,79	1,64
Teor de umidade final (%)	23,18	20,61	20,39	14,98	14,02	0,1
Velocidade de Deformação (mm/min)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Bloco 5						
DADOS	Ensaio Inundado			Ensaio Natural		
	5I	5II	5III	5IV	5V	5VI
	50 kPa	100 kPa	200 kPa	50 kPa	100 kPa	200 kPa
Teor de umidade inicial (%)	47,63	48,02	43,04	48,37	37,63	45,11
Índice de vazios inicial	1,36	1,46	1,24	1,43	1,21	1,34
Peso específico natural (KN/m ³)	16,6	15,9	16,9	16,2	16,5	16,4
Peso específico seco (KN/m ³)	11,2	10,8	11,8	10,9	12	11,3
Grau de Saturação Inicial (%)	94,85	88,6	94,03	91,22	83,9	90,82
Altura Inicial da amostra (cm)	2	2	2	2	2	2
Seção Transversal Inicial (cm ²)	103,23	103,23	103,23	103,23	103,23	103,23
Altura da amostra após adensamento (cm)	1,93	1,88	1,82	1,94	1,9	1,86
Teor de umidade final (%)	54,32	55,65	45,68	45,26	37,64	44,5
Velocidade de Deformação (mm/min)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Anexo B

Relatório de Sondagem

 CONCRETA CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA. Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador /BA tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br																									
Cliente:																									
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA																									
Sondagem: SP-01	Cota: 53.886 m Ref.n°																								
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$	Escala: 1:100 Data: SET/05 Pag.n° 1 Resp.																								
Amostrador $\varnothing = 50.8\text{mm}$ $\varnothing = 35\text{mm}$	Massa do martelo= 65 Kg Altura de queda= 75cm																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PENETRAÇÃO</th> <th rowspan="3">Cota em relação ao R.N.</th> <th rowspan="3">Profundidade da camada (m)</th> <th rowspan="3">Perfil</th> <th rowspan="3">DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS</th> </tr> <tr> <th colspan="4">ÍNDICE DE RESISTÊNCIA</th> </tr> <tr> <th>I</th> <th>F</th> <th colspan="2">Gráfico (Copes x Prof.)</th> </tr> <tr> <th>1a.e2a.</th> <th>2a.e3a.</th> <th>10</th> <th>20 30 40</th> <th>Nível d'água</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> </table>		PENETRAÇÃO				Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA				I	F	Gráfico (Copes x Prof.)		1a.e2a.	2a.e3a.	10	20 30 40	Nível d'água			
PENETRAÇÃO				Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)					Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS														
ÍNDICE DE RESISTÊNCIA																									
I	F	Gráfico (Copes x Prof.)																							
1a.e2a.	2a.e3a.	10	20 30 40	Nível d'água																					
2	3					1	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos marrom, mole																		
4	5					1.50																			
4/34	4					2.00	Idem, amarelo médio																		
7	8					2.50	Silte argiloso c/areia fina e media e pedregulhos vermelho, rijo																		
8	13					4.00	Silte argiloso c/areia fina e media vermelho, rijo																		
10	15					5.00	Silte argiloso c/areia fina e media vermelho, rijo																		
9	14					6.00	Silte argiloso c/areia fina e media																		
	16					6.30	Idem, médio																		
	15					6.50	Areia de textura variada siltosa c/pedr vermelha, pouco compacta																		
	15					7.50	Idem, medianamente compacta																		
10	16					8.50	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), rijo a duro																		
9	13					8.50	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), rijo																		
6	7					10.50																			
7	9					11.00	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (vermelho), duro																		
7	9					11.50	Silte arenoso c/pedregulhos vermelho, medianamente compacto																		
9	14					13.50	Idem, marrom pouco compacto																		
14	23					14.00	Areia de textura variada siltosa c/pedr marrom, medianamente compacta																		
12	14					15.00	Idem, pouco compacta																		
10	15					16.00	Idem, amarela medianamente compacta a pouco compacta																		
7	12					16.50	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), rijo																		
14	19					17.00	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (marrom), rijo																		
14	21					18.00	Silte arenoso c/pedregulhos variegado (amarelo), medianamente compacto (Solo residual)																		
11	13					19.00	Idem, compacto a medianamente compacto																		
7	6						Continua....																		
5	6																								
7	8																								
7	8																								
8	9																								
8	7																								
7	8																								
9	10																								
5	6																								
10	13																								
10	13																								
9	10																								
9	10																								
17	22																								
9	10																								

PREVENCÃO DE NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL	SIMBOLÓGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA	ENSAIO DE LAVAGEM (cm)	
		⊕	AMOSTRA INDEFORMADA	1o. 10min	23.79 a 23.81	
		⊖	AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA	2o. 10min	23.81 a 23.83	
		⊙	AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE	3o. 10min	23.83 a 23.85	

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA

PENETRAÇÃO		ÍNDICE DE RESISTÊNCIA				Profundidade, Revestimento	Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
I	F	Gráfico (Golpes x Prof.)									Nível d'água
1a.e2a.	2a.e3a.	10	20	30	40						
9	11						35	39	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (amarelo), rijo (Solo residual)		
11	13						20.00	40			
12	16						21.00	41	Silte arenoso c/pedregulhos variegado (marrom), medianamente compacto (Solo residual)		
11	11						21.50	42			
11	13						21.50	43			
9	14						22.00	44	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (marrom), rijo (Solo residual)		
10	15						22.49	45			
22	25						23.00	46	Areia de textura variada pouco silteosa c/pedregulhos variegada (marrom), compacta (Alteração de rocha)		
25	30						23.50	47			
48/25						L	30	48	Idem, muito compacta		
IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM *□los: H.N = Umidade Natural INÍCIO : 13/09/05 TERMINO : 17/09/05											
INICIAL		FINAL				SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM (cm)		
							AMOSTRA INDEFORMADA		1o. 10min	23.79 a 23.81	2
							AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA		2o. 10min	23.81 a 23.83	2
							AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE		3o. 10min	23.83 a 23.85	2

CONCRETA		CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA.	
Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA		tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br	
Ciente:			
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA			
Sondagem		Cota: m	
Revestimento $\phi = 76.2\text{mm}$		Escala: 1:100	Data: SET/05
Amostrador $\phi = 50.8\text{mm}$ $\phi = 35\text{mm}$		Massa do martelo= 65 Kg	Altura de queda=
PENETRAÇÃO		Cota em relacao ao R.N.	Profundidade da camada (m)
INDICE DE RESISTENCIA INICIAL - FINAL		Nivel d'água	Perfil
Gráfico (Gópsis x Prof.)			DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
H.N %	I F		
	1a.e2a. 2a.e3a.	10 20 30 40	
9.8	8	8/33	1 0.50 (1) = Silte arenoso c/pedregulhos vermelho, pouco compacto
40.0	5	7	1.00 (2) = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
17.1	10	12	(3) = Silte arenoso c/pedregulhos marrom, medianamente compacto a pouco compacto
27.2	6	8	(4) = Idem, fofo
42.5	4	4	(5) = Idem, amarelo, fofo
28.6	4	4	(6) = Silte arenoso, amarelo, fofo
19.0	4	4	(7) = Idem, com pedregulhos, marrom fofo a pouco compacto
22.1	4/33	4	(8) = Idem, vermelho, fofo
31.7	4/33	4/35	(9) = Idem, pouco compacto
24.4	4/32	4/32	(10) = Idem, pouco compacto
26.6	6	6/32	(11) = Idem, pouco compacto
24.5	4/33	4	(12) = Idem, pouco compacto
25.5	5/32	4	(13) = Idem, pouco compacto
29.2	5	5	(14) = Silte argiloso c/areia fina e media e micaço variegado (marrom), mole (Solo residual)
52.7	4/35	5	(15) = Silte argiloso c/areia fina e media, micaço e pedregulhos variegado (amarelo), médio (Solo residual)
24.4	5	7	(16) = Silte argiloso c/areia fina e media e mat.orgânica variegado (amarelo), médio (Solo residual)
35.3	6	9	(17) = Silte argiloso c/areia fina e media e micaço variegado (amarelo), médio (Solo residual)
25.1	6/32	7	(18) = Idem, rijo
37.0	8	12	(19) = Silte arenoso c/pedregulhos amarelo, medianamente compacto (Solo residual)
22.0	7	9	(20) = Silte argiloso c/areia fina e media, micaço variegado (marrom), médio (Solo residual)
46.9	7	9	(21) = Idem, rijo
46.5	4	7	(22) = Silte arenoso c/pedregulhos amarelo, medianamente compacto (Solo residual)
29.9	11	17	(23) = Silte argiloso c/areia fina e media, micaço variegado (marrom), médio (Solo residual)
23.5	11	16	(24) = Idem, rijo
23.6	3	8	(25) = Silte arenoso c/pedregulhos variegado (marrom), medianamente compacto (Solo residual)
24.5	11	18	(26) = Idem, micaço, pouco compacto
26.8	15	31	(27) = Idem, medianamente compacto
14.3	17	29	(28) = Silte argiloso c/ areia de textura variada, micaço, variegado (marrom), duro (Solo residual)
14.5	27	27	(29) = Areia de textura variada pouco siltosa, c/ pedregulhos micaça, variegado (marrom), compacta (Alteração de rocha)
33.4	12	11/32	(30) = Areia de textura variada siltosa, micaça, c/ pedregulhos, variegado (marrom), medianamente compacta a compacta (Alteração de rocha)
32.5	25	31	(31) = Idem, muito compacta
31/05			
<p>IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM</p> <p>*Os: H.N = Unidade Natural</p> <p>INICIO : 08/09/05</p> <p>TERMINO : 13/09/05</p>			
PROFUNDIDADE DO NIVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
			AMOSTRA INDEFORMADA
			AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA
			AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES+BATEDENTE
			ENSAIO DE LAVAGEM (cm)
			1o. 10min
			2o. 10min
			3o. 10min

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA

CONCRETA		CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA						
Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador /BA								
tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br								
Cliente:								
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA								
Sondagem: SP-03		Cota: 36.692 m						
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$		Escala: 1:100	Data: SET/05					
Amostrador $\varnothing = 50.8\text{mm}$ $\varnothing = 35\text{mm}$		Massa do martelo= 65 Kg	Altura de queda= 75cm					
Ref.nº GE-3220/05		Pag.nº 1						
Resp.								
H.N %	PENETRAÇÃO				Cota em relação ao R.N	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA		Gráfico (Golpes x Prof.)					
	I	F						
	1a.e2a	2a.e3a	10	20 30 40				
33.2	2	2			35	0.50	①	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), muito mole
38.4	3	4				1.00	②	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), mole
38.4	2	2				2.00	③	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), muito mole a mole
41.7	3	5			30	2.50	④	Silte arenoso, marrom, fofo
30.6	4/35	4				3.00	⑤	Idem, com pedregulhos, variegado (amarelo) fofo
29.4	4	4/35			R	3.50	⑥	Idem, variegado (vermelho) fofo a pouco compacto
28.2	3/35	4/40				4.50	⑦	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (vermelho), rijo a médio
25.7	2	3/35			5	5.50	⑧	Silte argiloso c/areia fina variegado (marrom claro), médio
22.0	3	7				6.00	⑨	Idem, variegado (marrom claro) rijo a médio
31.7	7	11			7	7.00	⑩	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom claro), rijo
36.1	9	8				7.50	⑪	Silte arenoso variegado (marrom), pouco compacto
43.4	4	6			8	8.00	⑫	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (marrom), médio (Solo residual)
43.8	9	11				8.50	⑬	Idem, variegado (amarelo) rijo, (Solo residual)
40.0	5	7			9	9.00	⑭	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro) rijo, (Solo residual)
39.3	8	12				9.50	⑮	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (marrom), rijo (Solo residual)
38.6	7	8			10	10.00	⑯	Silte arenoso variegado (amarelo), pouco compacto (Solo residual)
37.0	6	8				10.50	⑰	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (amarelo), médio (Solo residual)
34.0	8	11			11	11.00	⑱	Idem, variegado (marrom) médio (Solo residual)
35.9	8	11				11.50	⑲	Silte arenoso, micaeo variegado (marrom), pouco compacto (Solo residual)
42.4	12	13			12	12.00	⑳	Silte argiloso c/areia fina, micaeo variegado (marrom) médio (Solo residual)
37.6	10	12				12.50	㉑	Silte arenoso, micaeo (Solo residual) variegado (marrom), medianamente compacto
40.7	9	13			13	13.00	㉒	Silte argiloso c/areia fina e media, micaeo variegado (marrom), rijo (Solo residual)
42.8	7	8				13.50	㉓	Silte arenoso, micaeo variegado (marrom), compacto (Solo residual)
39.6	7	9			14	14.00	㉔	Areia de textura variada silteosa, micaeo, c/ pedregulhos variegada (marrom), medianamente compacta (Alteração de rocha)
34.5	6/33	9				14.50	㉕	Idem, compacta (Alteração de rocha)
24.6	6/33	8/32			15	15.00	㉖	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
34.7	6/33	8/32				15.50	㉗	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
35.2	7	9			16	16.00	㉘	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
31.3	11	16				16.00	㉙	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
30.1	12	20			17	16.00	㉚	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
31.2	7	14				16.00	㉛	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
28.0	16	24			18	16.00	㉜	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
36.1	14	21				16.00	㉝	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
26.1	32	41/20			19	16.00	㉞	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
20.8	50/28					16.00	㉟	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
16.3	23	41			18.38	16.00	㊱	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
13.6	31/12					16.00	㊲	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)
IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM								
INÍCIO : 30/08/05								
TÉRMINO : 03/09/05								
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL		SIMBOLOGIA			AMOSTRA NÃO RECUPERADA
	15.60m		13.58m		⊕			AMOSTRA INDEFORMADA
	10:00 h		11:00 h		⊖			AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA
	01/09/05		04/09/05		⊗			AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE
						ENSAIO DE LAVAGEM(m)		
						1o. 10min 18.35 A 18.38		
						2o. 10min 18.38 A 18.38		
						3o. 10min 18.38 A 18.38		

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1313454/CA

 CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br										
Cliente:										
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA										
Sondagem: SP-04				Cota: 36.912 m			Ref.n° GE-3220/05			
Revestimento $\phi = 76.2\text{mm}$				Escala: 1:100		Data: SET/05	Pag.n° 1	Resp.		
Amostrador $\phi = 50.8\text{mm}$ $\phi = 35\text{mm}$				Massa do martelo= 65 Kg			Altura de queda= 75cm			
H.N %	PENETRAÇÃO				Profundidade de camada (m)	Perfil	DESCRİÇÃO DAS AMOSTRAS	Cota em relação ao R.N.		
	INDICE DE RESISTENCIA		Gráfico (Gápes x Prof)					Nível d'água		
	I	F								
	1a.e2a	2a.e3a	10	20	30	40				
35.9	5/33	8					1	35	0.50	① = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
32.9	6	9					2		1.00	② = Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), médio
37.7	5	8					3			③ = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
37.4	5	8					4			④ = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
34.7	5	7					5			⑤ = Idem, mole
20.2	3	5					6		2.50	⑥ = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), médio
28.0	6	6					7		3.00	⑦ = Silte arenoso c/pedregulhos, vermelho claro, fofo
24.3	4/46						8		3.50	⑧ = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), mole
30.5	3/32	4/34					9		4.50	⑨ = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho claro), médio (Solo residual)
33.0	3	5/33					10		5.00	⑩ = Idem, micáceo, variegado (marrom) mole
32.3	4	7					11		5.48	⑪ = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom), mole (Solo residual)
29.2	3/34	5/34					R		6.00	⑫ = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (marrom), médio a rijo (Solo residual)
24.1	3	4						30	6.00	⑬ = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (amarelo), médio (Solo residual)
25.7	3	4							7.15	⑭ = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), médio (Solo residual)
31.1	5	9							8.00	⑮ = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio (Solo residual)
40.0	7	11							8.50	⑯ = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), médio (Solo residual)
34.7	6	10							9.50	⑰ = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio (Solo residual)
34.2	5/32	8								⑱ = Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (marrom), rijo (Solo residual)
41.4	6	8								⑲ = Silte arenoso variegado (marrom), medianamente compacto (Solo residual)
38.2	6	10							11.50	⑳ = Idem, micáceo, medianamente compacto
37.6	5	8						25		㉑ = Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio (Solo residual)
12.7	4	7								㉒ = Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (marrom), rijo (Solo residual)
45.3	5	8								㉓ = Silte arenoso variegado (marrom), medianamente compacto (Solo residual)
36.9	5	7/32							14.00	㉔ = Idem, micáceo, medianamente compacto
36.8	5	8							14.50	㉕ = Silte argiloso c/areia fina e media, micáceo variegado (marrom), médio (Solo residual)
42.6	5	8							15.00	㉖ = Silte argiloso c/areia fina e media, micáceo variegado (marrom), médio (Solo residual)
43.8	6	10							15.50	㉗ = Silte argiloso c/areia fina, micáceo variegado (marrom), médio (Solo residual)
43.6	6	9						20	16.00	㉘ = Idem, rijo
31.3	7	13							16.50	㉙ = Idem, rijo
48.4	12	15							17.50	㉚ = Idem, variegado (marrom claro) rijo
39.6	6	10							18.00	㉛ = Idem, variegado (marrom claro) rijo
39.9	7	10								㉜ = Idem, variegado (marrom claro) rijo
38.3	6	10								㉝ = Idem, variegado (marrom claro) rijo
35.8	7	11								㉞ = Idem, variegado (marrom claro) rijo
29.0	12	18								㉟ = Idem, variegado (marrom claro) rijo
38.0	10	15								㊱ = Idem, variegado (marrom claro) rijo
39.0	8	13								㊲ = Idem, variegado (marrom claro) rijo
19.9	12	22								㊳ = Idem, variegado (marrom claro) rijo

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA

Continua...

PRESENCIA DE NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL		SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM (cm)		
		14.90m		11.23m		⊕			1o. 10min	
		11:40 h		7:45 h		⊖			2o. 10min	
		04/09/05		06/09/05		⊗			3o. 10min	

 CONCRETA Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador /BA tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br											
Cliente:											
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA											
Sondagem:				Cota: m				Ref.n°			
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$				Escala: 1:100		Data:		Pag.n°		Resp.	
Amostrador $\varnothing = 50.8\text{mm}$ $\varnothing = 35\text{mm}$				Massa do martelo=				Altura de queda=			
H.N %	PENETRAÇÃO		Gráfico				Profundidade, Av. e Nível d'água	Cota em relação ao R.N.	Profundidade camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
	I	F	10	20	30	40					
1a.e2a.	2a.e3a.	(Gipes x Prof.)									
21.6											
25.4	5/33	6/33					1	1.00	①	Silte argiloso c/areia fina e media marrom, rijo	
	5	8						1.50	②	Idem , mole a médio	
31.0	8	11					2	2.00	③	Idem , rijo	
28.0	8	12							④		
21.3	7	12					3	3.00	⑤	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (vermelho), rijo	
20.9	13	15							⑥		
24.8	7/33	8/33					4	3.50	⑦	Silte arenoso c/pedregulhos vermelho claro, medianamente compacto	
26.1	8	10							⑧		
27.0	6	9					5	4.50	⑨	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos marrom, médio	
34.7	10	14							⑩		
9.0	8	8					R	5.00	⑪	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), médio	
16.7	9	11							⑫		
22.9	9	12					7	6.00	⑬	Silte arenoso amarelo, medianamente compacto a pouco compacto	
40.0	9	10							⑭		
41.0	4	6					8	6.50	⑮	Idem , medianamente compacto	
37.8	7	9							⑯		
37.3	14	18					9	7.00	⑰	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho claro), rijo	
17.3	10	14							⑱		
34.1	11	16					10	8.00	⑲	Idem , médio	
39.4	8	10							⑳		
39.1	8	11					11	8.50	㉑	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (vermelho), médio (Solo residual)	
40.6	8	13							㉒		
42.6	15	15					12	10.00	㉓	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (vermelho), médio (Solo residual)	
34.8	5/35	8							㉔		
33.8	8	12					13	11.50	㉕	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), rijo (Solo residual)	
35.7	8	11							㉖		
38.0	13	16					14	12.00	㉗	Silte argiloso c/areia fina e media, micaeo variegado (vermelho claro), rijo (Solo residual)	
31.3	11	13							㉘		
40.5	16	19					15	12.50	㉙	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (marrom), médio (Solo residual)	
33.4	13	15							㉚		
35.7	10	11					16	16.00	㉛	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (cor de cinza), rijo (Solo residual)	
16.9	23	24					TH	16.50	㉜	Idem , duro	
16.2	9	11							㉝		
26.9	37/29						17	17.50	㉞	Silte arenoso, micaeo, c/pedregulhos variegado (cor de cinza) medianamente compacto a compacto (Alteração de rocha)	
26.0	39/38						18	17.86	㉟	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (cor de cinza), duro (Alteração de rocha)	
IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM *Os: H.N = Umidade Natural INÍCIO : 04/09/05 TERMINO : 07/09/05											
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL				SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM(cm)	
	14.50							AMOSTRA INDEFORMADA	10, 10min	17.83 A 17.85	2
	10:50 h							AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA	20, 10min	17.85 A 17.86	1
								AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE	30, 10min	17.86 A 17.86	0

H.N. %		I 1a.e2a.	F 2a.e3a.	Gráfico (Golpes x Prof.)	Profundidade, Retorno do Martelo	Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
16.3	7	10						①	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos marrom, médio a mole (Aterro)
25.9	6	8						②	
32.4	4	7						③	
30.2	6	9						④	Silte argiloso c/areia fina e media vermelho, médio
28.3	7	9						⑤	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos vermelho, médio
31.4	6	9						⑥	
26.2	6	9						⑦	Silte argiloso c/areia fina e media vermelho, médio
29.4	5	9						⑧	
25.9	5	8						⑨	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos vermelho, médio
30.2	4	6						⑩	
27.9	5	7						⑪	Silte arenoso c/pedregulhos vermelho claro, pouco compacto
38.4	6	9						⑫	
28.4	6	8						⑬	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho claro), médio
33.9	5	7						⑭	
21.4	5	8						⑮	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos variegado (vermelho), médio
37.3	5	8						⑯	
37.6	6	9						⑰	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
46.7	6	9						⑱	
43.9	6	10						⑲	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho claro), médio (Solo residual)
39.9	6/32	9						⑳	
37.6	7	11						㉑	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho claro), médio a rijo (Solo residual)
44.2	5	9						㉒	
45.4	8	11						㉓	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio (Solo residual)
37.9	6	11						㉔	
38.0	11	17						㉕	Idem, rijo (Solo residual)
38.1	10	16						㉖	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), rijo (Solo residual)
35.2	10	16						㉗	
33.5	11	19						㉘	Silte argiloso c/areia fina e media e micaceo variegado (marrom), rijo (Solo residual)
27.5	11	18						㉙	Silte argiloso c/ areia de textura variada e micaceo, variegado (marrom), médio (Solo residual)
36.5	8	14						㉚	
31.2	6	9						㉛	Silte argiloso c/areia fina e micaceo variegado (marrom), médio (Solo residual)
36.2	6	9						㉜	
34.9	6	10/32						㉝	Silte argiloso c/areia fina e media e micaceo variegado (marrom), rijo (Solo residual)
39.9	6	11						㉞	
19.4	10/32	17						㉟	Silte argiloso c/ areia de textura variada e micaceo, variegado (marrom), rijo, (Solo residual)
41.5	9	16						㊱	
18.9	21	44/24						㊲	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (cor de cinza), duro (Alteração de rocha)
25.7	31/12							㊳	
								㊴	IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM *Obs: H.N = Unidade Natural INICIO : 06/09/05 TERMINO : 08/09/05

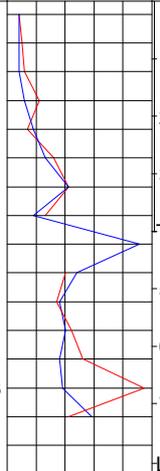
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL	SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA	ENSAIO DE LAVAGEM(m)
	14.54m	13.42m	⊕	AMOSTRA INDEFORMADA	1a. 10min 18.96 A 18.97
	15:00 h	8:00 h	⊖	AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA	2a. 10min 18.97 A 18.98
	07/09/05	08/09/05	⊙	AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB OPESODAS HSTES-BATENTE	3a. 10min 18.98 A 18.98

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA



CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA.
Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA
tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br

Ciente: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA
Sondagem: SP-06 Cota: 34.279 m Ref.n° GE-3220/05
Revestimento $\phi = 76.2\text{mm}$ Escala: 1:100 Data: SET/05 Pag.n° 1 Resp.
Amostrador $\phi = 50.8\text{mm}$ $\phi_i = 35\text{mm}$ Massa do martelo= 65 Kg Altura de queda= 75cm

		 CONCRETA			CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA. Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br					
Cliente:										
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA										
Sondagem: SP-07			Cota: 33.165 m			Ref.nº GE-3220/05				
Revestimento $\phi = 76.2\text{mm}$			Escala: 1:100		Data: SET/05	Pag.nº 1	Resp.			
Amostrador $\phi_1 = 50.8\text{mm}$ $\phi_2 = 35\text{mm}$			Massa do martelo= 65 Kg			Altura de queda= 75cm				
H.N %	PENETRAÇÃO		Gráfico (Calpes x Prof.)	Profundidade Anelador desce (cm)	Cota em relação ao R.N	Profundidade da câmara (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS		
	I 1a.e2a.	F 2a.e3a.								
29.3	4	4		30	30	30	①	Silte arenoso c/pedregulhos vermelho, fofo a pouco compacto		
29.0	4	5					②			
21.8	4	6					③		Areia de textura variada siltosa c/pedregulhos variegada (amarela), pouco compacta a medianamente compacta (Alteração de rocha)	
21.0	6	11					④			
26.4	9	7					⑤		Idem, pouco compacta a medianamente compacta (Alteração de rocha)	
25.8	13	16					⑥			
24.6	21	21					⑦		Idem, medianamente compacta (Alteração de rocha)	
19.3	9	13					⑧			
12.3	44/29						⑨		Idem, compacta a medianamente compacta (Alteração de rocha)	
27.1	24	20					⑩			
30.3	18	17					⑪		Idem, muito compacta a compacta (Alteração de rocha)	
27.3	20	22					⑫			
38.7	18	26					⑬		Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos c/ micáceo variegado (marrom), duro (Alteração de rocha)	
30.0	19	44/28					⑭			
25.0	29	21					⑮		Areia de textura variada siltosa c/pedregulhos variegado (marrom), compacta (Alteração de rocha)	
16.8	49/29						⑯			
	31/04			25		8.04	Ⓐ	Idem, muito compacta		
IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM										
*Obs: H.N = Unidade Natural INÍCIO : 08/09/05 TÉRMINO : 09/09/05										
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL		SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM (cm)		
						⊕			1o. 10min	8.04 A 8.04
						⊖	AMOSTRA INDEFORMADA		2o. 10min	8.04 A 8.04
						⊙	AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA		3o. 10min	8.04 A 8.04
				⊚	O AMOSTRADOR PENETROU NA SOB O PESO DAS MISTES-BATENTE					

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA

 CONCRETA Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador /BA tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br												
Cliente:												
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA												
Sondagem SP-08			Cota: 30.493 m			Ref.nº GE-3220/05						
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$			Escala: 1:100			Data: SET/05		Pag.nº 1		Resp.		
Amostrador $\varnothing = 50.8\text{mm}$ $\varnothing = 35\text{mm}$			Massa do martelo= 65 Kg			Altura de queda= 75cm						
H.N %	PENETRAÇÃO				Gráfico (Cilpas xPtd)	Cota em relação ao RN	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS			
	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA		INICIAL									
	I 1a.e2a	F 2a.e3a				Nível d'água						
43.8	P/25	1/25						①	Silte argiloso c/areia fina			
39.8	1/27	1/25						②	variegado (vermelho), muito mole			
39.1	2	3/33						③	Silte argiloso c/areia de textura variada			
40.9	3	5						④	variegado (vermelho claro), mole			
45.6	5	7						⑤	Silte argiloso c/areia fina e media			
39.2	5/35	8						⑥	variegado (vermelho claro), mole			
40.2	5	7						⑦	Silte argiloso c/areia de textura variada			
39.1	5/33	9/33						⑧	variegado (vermelho claro), médio			
46.3	6	8						⑨	Silte argiloso c/areia fina e media			
37.6	6	10						⑩	variegado (marrom), médio (Solo residual)			
35.0	8	9						⑪	Idem muito mole (Solo residual)			
36.8	5	8						⑫	Silte argiloso c/areia de textura variada			
38.2	5	7						⑬	e pedregulhos, variegado (vermelho), médio			
35.2	5	7						⑭	Silte argiloso c/areia fina			
32.2	6/33	9						⑮	variegado (roxo), médio			
35.7	5	7						⑯	Silte argiloso c/areia fina e media			
30.7	6	9						⑰	variegado (vermelho claro), médio			
38.5	7	10						⑱	Área de textura variada silteosa, marrom escura,			
33.2	7	14						⑲	medianamente compacta (Solo residual)			
39.2	10	16						⑳	Silte argiloso c/areia fina e media, micaço			
38.5	8	14						㉑	variegado (marrom), médio (Solo residual)			
30.9	6	13						㉒	Idem, marrom, médio (Solo residual)			
34.2	8	15						㉓	Silte argiloso c/areia de textura variada c/ micaço			
38.2	16	24						㉔	variegado (marrom), médio (Solo residual)			
30.1	10	16						㉕	Silte arenoso, micaço			
26.8	13	21						㉖	marrom, medianamente compacto (Solo residual)			
32.4	11	17						㉗	Silte argiloso c/areia fina e media, micaço			
29.2	11	21						㉘	variegado (marrom), rijo a duro (Solo residual)			
21.1	18	44/21						㉙	Idem, rijo (Solo residual)			
									IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM INÍCIO : 30/08/05 TÉRMINO : 01/09/05 *Obs: H.N = Umidade Natural			
PROF. UNIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL		SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM (cm)				
	9.90 m		6.98 m			AMOSTRA INDEFORMADA	1a, 10min	14.40 A 14.41			1	
	10:15 h		09:25 h			AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA	2a, 10min	14.41 A 14.42			1	
	31/08/05		04/09/05			AMOSTRADOR PENETROU SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE	3a, 10min	14.42 A 14.42			0	

 CONCRETA														
CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA. Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador /BA tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br														
Cliente:														
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA														
Sondagem: SP-09				Cota: 31.723 m				Ref.n° GE-3220/05						
Revestimento Ø = 76.2mm				Escala: 1:100		Data: SET/05		Pag.n° 1		Resp.				
Amostrador Ø = 50.8mm Ø = 35mm				Massa do martelo= 65 Kg				Altura de queda= 75cm						
PENETRAÇÃO														
INDICE DE RESISTENCIA INICIAL FINAL														
H.N %	I		F		Gráfico (Golpes x Prof)				Profundidade Resistência	Cota em relação ao R.N.	da Profundidade camada (m)	Perfil	DESCRİÇÃO DAS AMOSTRAS	
	1a.e2a.	2a.e3a.	10	20	30	40	Nível d'água							
41.8	4	7							1	30	1.00	①	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), médio	
40.7	4	8							1	30	1.50	②	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho claro), rijo	
38.9	4	11							2	30	2.00	③	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho claro), médio a rijo	
37.2	5	8							2	30	2.50	④	Idem , médio	
41.5	7	12							3	30	3.00	⑤	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), médio	
36.8	6	10							3	30	3.50	⑥	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), médio	
40.5	4	8							4	30	4.00	⑦	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom), rijo (Solo residual)	
37.6	3	6							4	30	4.50	⑧	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom), rijo (Solo residual)	
35.6	4	7							5	30	5.00	⑨	Silte arenoso, variegado (marrom) medianamente compacto (Solo residual)	
42.3	5	7							5	30	5.50	⑩	Silte arenoso, variegado (marrom) medianamente compacto (Solo residual)	
40.0	6	9							6	30	6.00	⑪	Silte arenoso, variegado (marrom) medianamente compacto (Solo residual)	
38.2	9	12							6	30	6.50	⑫	Silte arenoso, variegado (marrom) medianamente compacto (Solo residual)	
44.0	8	11							7	25	7.00	⑬	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho claro), duro (Solo residual)	
36.5	17	22							7	25	7.50	⑭	Silte argiloso c/areia de textura variada, micáceo variegado (amarelo), rijo (Solo residual)	
40.0	12	18							8	25	8.00	⑮	Silte argiloso c/areia de textura variada, micáceo variegado (amarelo), rijo (Solo residual)	
36.2	11	20							8	25	8.50	⑯	Silte argiloso c/areia fina e media, micáceo variegado (amarelo), duro (Solo residual)	
9.9	8	12							9	25	9.00	⑰	Silte argiloso c/areia fina e media, micáceo variegado (amarelo), duro (Solo residual)	
10.2	8	16							9	25	9.50	⑱	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), rijo a médio (Solo residual)	
10.8	11	15							10	25	10.00	⑲	Silte argiloso c/areia fina e media, micáceo variegado (marrom), duro a rijo (Solo residual)	
7.8	9	14							10	25	10.50	⑳	Silte argiloso c/areia fina e media, micáceo variegado (marrom), duro a rijo (Solo residual)	
8.5	9	15							11	25	11.00	㉑	Silte arenoso, micáceo variegado (marrom), medianamente compacto (Solo residual)	
7.8	9	14							11	25	11.50	㉒	Silte arenoso, micáceo variegado (marrom), medianamente compacto (Solo residual)	
9.9	12	21							12	20	12.00	㉓	Silte arenoso, micáceo variegado (marrom), medianamente compacto (Solo residual)	
7.2	16	28							12	20	12.15	㉔	Areia de textura variada siltosa c/pedregulhos variegado (marrom), medianamente compacta (Solo residual)	
18.3	37/28								12	20	12.50	㉕	Silte arenoso c/ micáceo variegado (amarelo), compacto (Solo residual)	
24.3	50/25								13	TH	13.00	㉖	Silte argiloso c/areia fina, micáceo marrom, duro (Solo residual)	
27.5	14	19							14	TH	13.50	㉗	Silte argiloso c/areia fina, micáceo marrom, duro (Solo residual)	
26.1	15	21							14	TH	14.00	㉘	Areia fina siltosa, c/ micáceo variegada (marrom), muito compacta (Solo residual)	
26.7	19	32							14	TH	14.50	㉙	Areia fina siltosa, c/ micáceo variegada (marrom), muito compacta (Solo residual)	
23.5	22	37							15	TH	15.00	㉚	Silte argiloso c/areia fina e media, micáceo variegado (marrom), rijo (Solo residual)	
21.2	37	29/21							15	TH	15.36	㉛	Silte arenoso, micáceo variegado (marrom), compacto (Solo residual)	
									16	TH		㉜	Silte argiloso c/areia fina e media, micáceo variegado (marrom), duro (Solo residual)	
									16	TH		㉝	Areia de textura variada pouca siltosa, micacea, c/ pedregulhos variegada (marrom), compacta a muito compacta (Alteração de rocha)	
SONDAGEM INTERROMPIDA CONFORME INSTRUÇÕES DO CLIENTE INÍCIO : 30/08/05 TÉRMINO : 01/09/05 *□los: H.N = Unidade Natural														
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL		SÍMBOLOGIA				AMOSTRA NÃO RECUPERADA				ENSAIO DE LAVAGEM (cm)	
	9.93 m		7.88 m		⊕				AMOSTRA INDEFORMADA				1o. 10min	
	11:01 h		09:35 h		⊖				AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA				2o. 10min	
	31/08/05		04/09/05		⊗				O AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES/BATEMTE				3o. 10min	

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA

 CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA. Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br									
Cliente:									
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA									
Sondagem: SP-10			Cota: 29.886 m			Ref.nº GE-3220/05			
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$			Escala: 1:100		Data: SET/05	Pag.nº 1	Resp.		
Amostrador $\varnothing_s = 50.8\text{mm}$ $\varnothing = 35\text{mm}$			Massa do martelo= 65 Kg			Altura de queda= 75cm			
PENETRAÇÃO					Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
ÍNDICE DE RESISTÊNCIA		Gráfico (Golpes x Ref.)							
I	F				Nível d'água				
1a.e2a.	2a.e3a.	10	20	30	40				
6	10						1	0.80	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
6	7						2	1.30	Silte argiloso c/areia de textura variada
4	6						3	1.50	variegado (amarelo), médio a mole
5	7						4		Idem , variegado (vermelho) médio
5	8						5		
3	6						6		Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
4	7						7	3.50	
3	6						8		Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
6	10						9	4.50	
14	15					25	10	5.00	Idem , médio
4	6						R		Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio (Solo residual)
7	10						6		
7	10						7	7.00	Idem , rijo
6	10						8	7.50	
8	11						9	8.00	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), médio (Solo residual)
5	9						10	8.50	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio (Solo residual)
6	9						11	9.97	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), médio (Solo residual)
6	9						12		Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (marrom), rijo (Solo residual)
7	10					19.91	13	12.50	Silte arenoso, micaceo variegado (amarelo), medianamente compacto (Solo residual)
8	12						14	13.00	Silte arenoso, micaceo variegado (marrom), muito compacto (Alteração de rocha)
8	11						15	14.05	
8	12						L		
8	11								
8	12								
9	15								
44/24									
31/02									
31/02									

IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM										
*Os: H.N = Umidade Natural										
INÍCIO : 03/09/05										
TERMINO : 06/09/05										
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL	SIMBOLOGIA				ENSAIO DE LAVAGEM (cm)			
	10.81m	9.98m	⊕	AMOSTRA NÃO RECUPERADA			1a, 10min	14.04 A 14.05	1	
	15:12 h	10:42 h	⊖	AMOSTRA INDEFORMADA			2a, 10min	14.05 A 14.05	0	
	03/09/05	04/09/05	⊖	AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA			3a, 10min	14.05 A 14.05	0	
			⊖	O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES+BATENTE						

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1313454/CA

PENETRAÇÃO		ÍNDICE DE RESISTÊNCIA				Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS		
I	F	Gráfico	(Golpes x Prof.)		Nível d'água						
1a.e2a.	2a.e3a.	10	20	30	40						
6	7							① = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (amarelo), médio			
5	7							② =			
4	6							③ =			
4	6					1.50		④ = Idem, mole			
5	7					1.80		⑤ = Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), médio			
6	8					2.50		⑥ = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), médio			
6	9					3.00		⑦ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho), médio			
6	8					3.50		⑧ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho), médio			
6	9					4.50		⑨ = Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), médio			
6	9					5.50		⑩ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho), médio			
6	10					25		⑪ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho), médio			
8	11					6		⑫ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho claro), rijo (Solo residual)			
10	12					7		⑬ =			
10	12					7.50		⑭ =			
10	15					8		⑮ = Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho claro), rijo (Solo residual)			
11	16					9		⑯ =			
16	21					10		⑰ =			
10	13					10.50		⑱ =			
10	13					20		⑲ = Silte argiloso c/areia fina e média, micáceo variegado (marrom), rijo (Solo residual)			
11	14					11		⑳ =			
11	13					11		㉑ =			
14	17					12		㉒ =			
12	16					12		㉓ =			
9	13					13		㉔ =			
11	14					13		㉕ =			
12	14					14		㉖ =			
11	12					14		㉗ =			
10	13					14.50		㉘ =			
11	15					15		㉙ = Silte argiloso c/ areia de textura variada, micáceo, variegado (cor de cinza), rijo (Alteração de rocha)			
18	39					15		㉚ =			
50/21						15.84		㉛ = Silte arenoso, micáceo variegado (cor de cinza), compacto a muito compacto, (Alteração de rocha)			
IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM *Os: H.N = Umidade Natural INÍCIO : 01/09/05 TÉRMINO : 09/09/05											
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL			SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM (cm)		
			11.53m				⊕			1o. 10min	15.80 A 15.82
			16:02 h				⊖			2o. 10min	15.82 A 15.84
			07/09/05				⊗			3o. 10min	15.84 A 15.84
						⊙	O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE				



Ciente:

Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA

Sondagem: SP-11

Cota: 30.531 m

Ref.n° GE-3220/05

Revestimento Ø = 76.2mm

Escala: 1:100

Data: SET/05

Pag.n° 1

Resp.

Amostrador Ø_e = 50.8mm
Ø = 35mm

Massa do martelo = 65 Kg

Altura de queda = 75cm

PENETRAÇÃO		ÍNDICE DE RESISTÊNCIA				Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS		
I	F	Gráfico	(Golpes x Prof.)		Nível d'água						
1a.e2a.	2a.e3a.	10	20	30	40						
6	7							① = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (amarelo), médio			
5	7							② =			
4	6							③ =			
4	6					1.50		④ = Idem, mole			
5	7					1.80		⑤ = Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), médio			
6	8					2.50		⑥ = Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), médio			
6	9					3.00		⑦ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho), médio			
6	8					3.50		⑧ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho), médio			
6	9					4.50		⑨ = Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), médio			
6	9					5.50		⑩ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho), médio			
6	10					25		⑪ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho), médio			
8	11					6		⑫ = Silte argiloso c/areia fina e média variegado (vermelho claro), rijo (Solo residual)			
10	12					7		⑬ =			
10	12					7.50		⑭ =			
10	15					8		⑮ = Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho claro), rijo (Solo residual)			
11	16					9		⑯ =			
16	21					10		⑰ =			
10	13					10.50		⑱ =			
10	13					20		⑲ = Silte argiloso c/areia fina e média, micáceo variegado (marrom), rijo (Solo residual)			
11	14					11		⑳ =			
11	13					11		㉑ =			
14	17					12		㉒ =			
12	16					12		㉓ =			
9	13					13		㉔ =			
11	14					13		㉕ =			
12	14					14		㉖ =			
11	12					14		㉗ =			
10	13					14.50		㉘ =			
11	15					15		㉙ = Silte argiloso c/ areia de textura variada, micáceo, variegado (cor de cinza), rijo (Alteração de rocha)			
18	39					15		㉚ =			
50/21						15.84		㉛ = Silte arenoso, micáceo variegado (cor de cinza), compacto a muito compacto, (Alteração de rocha)			
IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM *Os: H.N = Umidade Natural INÍCIO : 01/09/05 TÉRMINO : 09/09/05											
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL			SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM (cm)		
			11.53m				⊕			1o. 10min	15.80 A 15.82
			16:02 h				⊖			2o. 10min	15.82 A 15.84
			07/09/05				⊗			3o. 10min	15.84 A 15.84
						⊙	O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE				

 CONCRETA Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador /BA tel: (071) 362-3000 fax:(071) 362-4000 e-mail: concreta@e-net.com.br											
Cliente:											
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA											
Sondagem: SP-12				Cota: m				Ref.n°			
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$				Escala: 1:100		Data: OUT/05		Pag.n°		Resp.	
Amostrador $\varnothing = 50.8\text{mm}$ $\varnothing = 35\text{mm}$				Massa do martelo= 65 Kg				Altura de queda= 75cm			
H.N %	PENETRAÇÃO			Gráfico (Golpes x Prof.)	Profundidade, Revestimento	Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS		
	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA										
	I	F									
	1a.e2a.	2a.e3a.		10 20 30 40							
5.0	1/30	1/15						①	Areia de textura variada pouco siltsosa c/pedregulhos marrom, fofa (Aterro)		
5.9	2/35	2/30						②	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo, variegado (cor de cinza), mole, (Solo residual)		
32.6	3/35	4/35				1	1.15	③	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos micáceo, variegado (amarelo), médio a mole (Solo residual)		
41.4	6	7				2	1.50	④	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (amarelo) variegado (amarelo), mole, (Solo residual)		
37.1	4/35	5				3	3.00	⑤	Silte argiloso c/areia de textura variada, micáceo, variegado (cor de cinza), médio (Solo residual)		
35.3	4	5				4	4.00	⑥	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (cor de cinza), médio (Solo residual)		
34.7	5/33	6				5	5.00	⑦	Idem, variegado (vermelho claro) médio a rijo (Solo residual)		
34.1	6	10				6	6.00	⑧	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), mole (Solo residual)		
33.6	6	9				7	6.50	⑨	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (vermelho), médio, (Solo residual)		
42.2	6	10				8	7.50	⑩	Idem, variegado (vermelho) rijo (Solo residual)		
43.9	5	9				9	8.50	⑪	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (cor de cinza), rijo (Solo residual)		
40.4	12	17				10	9.00	⑫	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (cor de cinza), médio (Solo residual)		
47.6	4	5				11	9.50	⑬	Idem, rijo (Solo residual)		
30.7	5	8				12	11.00	⑭	Idem, médio (Solo residual)		
32.8	5	7				13	11.50	⑮	Silte argiloso c/areia de textura variada, micáceo variegado (cor de cinza), rijo (Solo residual)		
31.3	12	14				14	12.00	⑯	Areia de textura variada siltsosa, micacea variegada (cor de cinza), medianamente compacta a compacta (Alteração de rocha)		
34.6	13	17				15	13.00	⑰	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
32.3	13	17				16	13.80	⑱	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
-	6/33	9				17		⑲	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
-	9	11				18		⑳	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
38.6	9	11				19		㉑	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
34.8	9	11				20		㉒	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
37.6	5	7				21		㉓	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
35.4	14	16				22		㉔	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
26.0	9	13				23		㉕	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
26.1	23	35				24		㉖	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
14.2	41/27					25		㉗	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
25.5	50/25					26		㉘	Idem, muito compacta (Alteração de rocha)		
IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM *Os: H.N = Umidade Natural INÍCIO : 27/09/05 TÉRMINO : 28/09/05											
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL		FINAL		SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM(cm)			
	5.00 m		4.27 m			AMOSTRA INDEFORMADA		1o. 10min	13.77 A 13.80	3	
	13:10 h		17:00 h			AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA		2o. 10min	13.80 A 13.80	0	
	27/09/05		29/09/05			O AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE		3o. 10min	13.80 A 13.80	0	

 CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA. Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA tel: (071) 362-3000 fax:(071) 362-4000 e-mail: concreta@e-net.com.br											
Cliente:											
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA											
Sondagem: SP-13			Cota: 23.509 m			Ref.n° GE-3220/05					
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$			Escala: 1:100		Data: SET/05	Pag.n° 1	Resp.				
Amostrador $\varnothing_e = 50.8\text{mm}$ $\varnothing = 35\text{mm}$			Massa do martelo= 65 Kg			Altura de queda= 75cm					
H.N %	PENETRAÇÃO		Gráfico (Golpes x Prof.)				Profundidade do Revestimento	Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
	I 1a.e2a.	F 2a.e3a.	10	20	30	40					
40.4	2	3/41							0.50	① =	Silte argiloso c/areia fina e media e micaceo variegado (vermelho), muito mole
47.4	3	5							1.00	② =	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom), mole, (Solo residual)
31.3	3	5							1.00	③ =	
40.7	3	4							2.00	④ =	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), mole, (Solo residual)
40.1	3	5							2.00	⑤ =	
34.2	4	6							2.65	⑥ =	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), mole muito mole (Solo residual)
42.9	6	10							3.00	⑦ =	
33.2	6	14							3.50	⑧ =	Silte argiloso c/areia fina e media e micaceo variegado (marrom), médio, (Solo residual)
30.0	14	22							3.50	⑨ =	
30.6	10	16							4.50	⑩ =	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), médio, (Solo residual)
31.6	7	11							5.00	⑪ =	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (marrom), rijo a duro, (Solo residual)
30.2	7	10							5.00	⑫ =	Idem , rijo, (Solo residual)
32.4	10	14							6.00	⑬ =	Silte argiloso c/areia de textura variada e micaceo variegado (marrom), rijo, (Solo residual)
44.1	9	13							6.00	⑭ =	
37.1	10	16							7.00	⑮ =	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (marrom), médio, (Solo residual)
31.4	12	17							7.00	⑯ =	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (cor de cinza), rijo (Solo residual)
23.8	31	42							8.00	⑰ =	
14.2	31/12								8.50	⑱ =	Silte arenoso c/ micaceo variegado (cor de cinza), medianamente compacto, (Solo residual)
									8.92	⑲ =	Silte argiloso c/areia de textura variada e micaceo variegado (cor de cinza), rijo, (Solo residual)
									8.92	⑲ =	Silte argiloso c/areia fina e media e micaceo variegado (cor de cinza), duro (Alteração de rocha)
									8.92	⑲ =	Silte arenoso, micaceo, variegado (cor de cinza), muito compacto (Alteração de rocha)

IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM									
*Obs: H.N = Umidade Natural									
INÍCIO : 19/09/05									
TÉRMINO : 20/09/05									

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL	SÍMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA	ENSAIO DE LAVAGEM(cm)		
		4.60 m		AMOSTRA INDEFORMADA	1o, 10min	8.91 A 8.92	1
		10:00 h		AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA	2o, 10min	8.92 A 8.92	0
				AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES+BATENTE	3o, 10min	8.92 A 8.92	0

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA

CONCRETA		CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA.							
Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA tel: (071) 362-3000 fax:(071) 362-4000 e-mail: concreta@e-net.com.br									
Cliente:									
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA									
Sondagem: SP-14		Cota: 51.863 m							
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$		Escala: 1:100	Data: SET/05						
Amostrador $\varnothing_1 = 50.8\text{mm}$ $\varnothing_2 = 35\text{mm}$		Massa do martelo= 65 Kg	Pag.nº 1 Resp.						
Altura de queda= 75cm		Ref.nº GE-3220/05							
H.N %	PENETRAÇÃO		Gráfico (Cabeças x Prof.)	Profundidade, Avanço e Retorno	Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS	
	INDICE DE RESISTENCIA	INICIAL							FINAL
I 1a.e2a.	F 2a.e3a.								
17.3	7	11				0.50	(1)	Site argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos vermelho, rijo	
28.7	9	11					(2)		
29.8	12	15			50		(3)	Site argiloso c/areia de textura variada	
24.6	10	17					(4)	vermelho, rijo	
20.0	12	18				2.50	(5)		
32.8	16	20				3.00	(6)	Site argiloso c/areia fina e media	
32.0	18	25					(7)	vermelho, rijo	
31.9	12	19				4.00	(8)	Idem, duro	
32.7	25	31				4.50	(9)	Idem, variegado (vermelho)	
30.3	17	24					(10)	rijo	
30.8	13	18				5.50	(11)	Idem, duro	
32.0	15	21				6.50	(12)	Idem, rijo a duro	
34.6	15	19			45		(13)		
36.9	15	20				7.50	(14)	Site argiloso c/areia de textura variada	
32.2	15	19				8.00	(15)	variegado (vermelho), rijo a duro	
30.7	16	20					(16)	(Solo residual)	
39.0	16	21				9.00	(17)	Idem, rijo	
29.3	15	19				9.50	(18)	(Solo residual)	
21.0	23	30					(19)	Idem, rijo	
30.7	22	28					(20)	(Solo residual)	
34.8	21	26					(21)	Idem, duro	
35.0	20	27					(22)	(Solo residual)	
33.7	31	34			40		(23)		
23.4	18	23				12.00	(24)		
26.8	20	21				12.50	(25)	Site argiloso c/areia fina e media	
28.8	22	29				13.00	(26)	variegado (vermelho), duro	
30.6	26	29					(27)	(Solo residual)	
32.6	19	26					(28)	Site arenoso	
34.4	18	25					(29)	variegado (marrom), compacto	
33.6	27	32					(30)	(Solo residual)	
34.4	19	26				15.00	(31)	Site argiloso c/areia de textura variada	
34.2	28	28				15.50	(32)	variegado (amarelo), duro	
32.4	7	9			35		(33)	(Solo residual)	
36.5	8	12				16.50	(34)	Site argiloso c/areia de textura variada	
38.1	23	27				17.50	(35)	variegado (amarelo), duro	
35.0	11	17					(36)	(Solo residual)	
						18.50	(37)	Idem, com pedregulhos, médio a rijo	
							(38)	(Solo residual)	
								Site argiloso c/areia fina e media	
								variegado (vermelho claro), duro a rijo	
								(Solo residual)	
								Continua...	
INICIAL		FINAL		SÍMBOLOGIA		AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM (cm)	
				⊕		AMOSTRA INDEFORMADA		1a, 10min	32.65 A 32.68
				⊖		AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA		2a, 10min	32.68 A 32.70
				⊙		AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE		3a, 10min	32.70 A 32.70
				⊗					0

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1313454/CA

 CONCRETA Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador /BA tel: (071) 362-3000 fax:(071) 362-4000 e-mail: concreta@e-net.com.br											
Cliente:											
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA											
Sondagem: SP-14				Cota: 51.863 m				Ref.n° GE-3220/05			
Revestimento Ø = 76.2mm				Escala: 1:100		Data: SET/05		Pag.n° 2		Resp.	
Amostrador Ø = 50.8mm Ø = 35mm				Massa do martelo= 65 Kg				Altura de queda= 75cm			
H.N %	INDICE DE RESISTENCIA		PENETRAÇÃO				Profundidade do Revestimento	Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
	I	F	Gráfico (Cilindros x Prof.)								
	1a.e2a.	2a.e3a.	10	20	30	40					
29.3	12	18							38	Idem, micaceo, rijo (Solo residual)	
17.5	7	11							39		
35.3	9	14							40		
31.9	9	14							41		
26.0	11	17							42		
29.0	12	17						21.00	43		
29.1	14	20					30	21.50	44	Idem, variegado (marrom) rijo (Solo residual)	
31.0	14	20						22.00	45		
17.7	15	22							46	Silte argiloso c/ areia de textura variada, micaceo, variegado (marrom), duro (Solo residual)	
31.4	20	30						23.00	47		
20.1	11	13							48	Silte argiloso c/ areia fina e média, micaceo, variegado (marrom), duro (Solo residual)	
29.5	15	25						24.00	49		
29.0	17	23							50	Silte arenoso c/pedregulhos variegado (marrom), pouco compacto a medianamente compacto (Solo residual)	
29.1	20	31						25.00	51		
27.1	15	20							52	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (amarelo), duro (Solo residual)	
23.1	18	32						26.50	53		
26.3	18	28					25		54	Silte argiloso c/ areia de textura variada, micaceo, variegado (amarelo), duro (Solo residual)	
29.1	23	34						27.00	55		
27.4	20	30							56	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (amarelo), duro (Solo residual)	
25.2	20	34						28.50	57		
26.1	17	26							58	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (amarelo), duro (Solo residual)	
26.3	27	40/26						30.00	59		
20.8	23	30							60	Idem, variegado (cor de cinza) duro (Solo residual)	
24.5	25	42/25						31.00	61		
20.7	50/26								62	Silte argiloso c/ areia de textura variada, micaceo variegado (amarelo), duro (Solo residual)	
30.6	18	28					20	32.00	63		
30.8	11	14							64	Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (cor de cinza), duro (Solo residual)	
16.2	34	32/21						32.70	65		
32.0	50/25						L		66	Silte arenoso, micaceo, c/pedregulhos variegado (marrom), compacto (Alteração de rocha) IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM INÍCIO : 15/09/05 TERMINO : 17/09/05 *Obs: H.N = Umidade Natural *Obs: N.A. não fornecido devido a estalação	

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA

PROFUNDIDADE DO NÍVEL (cm)	INICIAL	FINAL	SIMBOLOGIA	AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM (cm)	
			⊕	AMOSTRA NÃO RECUPERADA			
			○	AMOSTRA INDEFORMADA	1o. 10min	32.65 A 32.68	3
			⊖	AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA	2o. 10min	32.68 A 32.70	2
			N	AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE	3o. 10min	32.70 A 32.70	0

PENETRAÇÃO		Gráfico (Golpes x Prof.)		Profundidade, Nível d'água	Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
I	F	10	20					
7	10					0.50	①	Silte argiloso c/areia fina e media vermelho, médio
10	13					1.00	②	Silte argiloso c/areia de textura variada vermelho, rijo
9	13						③	Silte argiloso c/areia fina e media vermelho, rijo
10	14						④	Silte arenoso c/pedregulhos vermelho, medianamente compacto
9	15					2.50	⑤	Silte argiloso c/areia de textura, variada e pedregulhos variegado (marrom), rijo
7	9						⑥	Areia de textura variada siltosa Amarela clara, compacta
12	16					3.50	⑦	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), duro a rijo
11	14					4.00	⑧	Idem, variegado (marrom), rijo
18	21					4.50	⑨	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (marrom), rijo, (Solo residual)
17	21					5.50	⑩	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom), duro, (Solo residual)
20	19					6.00	⑪	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom), duro, (Solo residual)
12	15					6.50	⑫	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (marrom), rijo, (Solo residual)
12	16					7.00	⑬	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom), rijo, (Solo residual)
20	21					7.50	⑭	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), rijo, (Solo residual)
11	14					8.50	⑮	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
12	16					9.00	⑯	Idem, rijo, (Solo residual)
13	17					9.50	⑰	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (marrom), rijo, (Solo residual)
25	31					10.00	⑱	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), rijo, (Solo residual)
14	18					10.50	⑲	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho), rijo, (Solo residual)
10	14					11.50	⑳	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
10	14					12.50	㉑	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
19	32					13.00	㉒	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
13	18					13.50	㉓	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (amarelo), duro, (Solo residual)
14	20					14.00	㉔	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
14	21					14.50	㉕	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
28	29					15.00	㉖	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
16	26					15.50	㉗	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
30	33					16.00	㉘	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
15	21					17.00	㉙	Idem, rijo, (Solo residual)
26	30					17.50	㉚	Idem, duro, (Solo residual)
18	24					18.00	㉛	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho claro), duro, (Solo residual)
34	34					18.50	㉜	Idem, rijo, (Solo residual)
16	16					19.00	㉝	Idem, rijo, (Solo residual)
11	15						㉞	
22	30						㉟	
18	23						㊱	
11	19						㊲	
11	16						㊳	
12	18						㊴	
Continua....								
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL	SIMBOLOGIA		AMOSTRA NÃO RECUPERADA		ENSAIO DE LAVAGEM(cm)	
	20.35m	19.20m	⊕	⊖	AMOSTRA INDEFORMADA		10.10min	28.11 A 28.13
	10:00 h	11:10 h	⊕	⊖	AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA		20.10min	28.13 A 28.13
	19/09/05	20/09/05	⊕	⊖	O AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES+BATENTE		30.10min	28.13 A 28.13

CONCRETA		CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA.	
		Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador /BA	
		tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br	
Cliente:			
Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA			
Sondagem: SP-15		Cota: 46.966 m	
Revestimento $\varnothing = 76.2\text{mm}$		Escala: 1:100	
Amostrador $\varnothing_b = 50.8\text{mm}$ $\varnothing = 35\text{mm}$		Data: SET/05	
		Pag.º 2	
		Resp.	
		Massa do martelo= 65 Kg	
		Altura de queda= 75cm	
PENETRAÇÃO ÍNDICE DE RESISTÊNCIA INICIAL FINAL Gráfico (Golpes x Prof.) 10 20 30 40		Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)
I	F	Nível d'água	Perfil
1a.e2a.	2a.e3a.		DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
12	16	20	20.00
12	17	21	20.50
6	10	21	21.00
10	14	21	21.50
19	26	22	22.00
16	20	22	22.50
12	16	23	23.00
12	18	23	23.50
14	20	24	24.00
16	23	24	24.50
17	23	25	25.00
19	27	25	25.50
18	24	26	26.00
28	40/28	26	26.50
26	40/25	27	27.00
50/21		27	27.50
50/23		28	28.00
31/11		28	28.13
		29	
		IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM *Obs: H.N = Umidade Natural INÍCIO : 15/09/05 TÉRMINO : 17/09/05	
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL	SIMBOLOGIA
	20.35m	19.20m	⊕ AMOSTRA NÃO RECUPERADA
	10:00 h	11:10 h	⊖ AMOSTRA INDEFORMADA
	19/09/05	20/09/05	⊖ AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA
			⊖ O AMOSTRADOR PENETROU N2m SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE
			ENSAIO DE LAVAGEM (cm)
			1c, 10min 28.11 A 28.13 2
			2c, 10min 28.13 A 28.13 0
			3c, 10min 28.13 A 28.13 0

PENETRAÇÃO		INDICE DE RESISTENCIA		Gráfico (Golpes x Prof)	Nível d'água	Profundidade da camada (m)	Perfil	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS
I	F	1a.e2a.	2a.e3a.					
3	4					0.50	①	Silte arenoso c/pedregulhos e mat.orgânica marrom, fofo
4	4/35						②	
2	2					1.50	③	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos marrom, mole a muito mole
3/35	4/35						④	
4	4					2.50	⑤	Idem , mole a muito mole
4	5					3.15	⑥	Silte arenoso c/pedregulhos marrom, pouco compacto
9	10						⑦	
8	10					4.00	⑧	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos vermelho, médio
10	12					4.50	⑨	Silte argiloso c/areia fina e media vermelho, rijo
9	11						⑩	
10	11					5.50	⑪	Silte argiloso c/areia de textura variada e pedregulhos vermelho, rijo
8	10					6.00	⑫	Idem , variegado (vermelho) médio
7	9						⑬	
8	11					6.50	⑭	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
8	13						⑮	
8	11						⑯	Idem , rijo
8	12					9.00	⑰	Silte arenoso c/pedregulhos variegado (marrom), medianamente compacto
9	12						⑱	
9	12					9.50	⑲	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), rijo
12	15					10.00	⑳	Areia de textura variada siltosa c/pedregulhos marrom, medianamente compacta
10	11					10.50	㉑	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho), médio
5	7						㉒	
8	8					11.00	㉓	Silte arenoso marrom, pouco compacto
8	8					11.50	㉔	Idem , com pedregulhos, pouco compacto
8	10					12.00	㉕	Silte arenoso marrom, medianamente compacto
10	10					12.50	㉖	Idem , pouco compacto
10	11					13.00	㉗	Silte arenoso marrom, medianamente compacto
13	15					13.50	㉘	Areia de textura variada siltosa c/pedregulhos marrom, medianamente compacta
11	12					14.00	㉙	Silte argiloso c/areia fina variegado (vermelho claro), rijo
7	11					14.50	㉚	Silte arenoso c/pedregulhos marrom, medianamente compacto
15	16						㉛	
9	12					16.00	㉜	Silte argiloso c/areia de textura variada, vermelho, rijo
8	9					16.50	㉝	Silte arenoso c/pedregulhos marrom, medianamente compacto
9	12					17.00	㉞	Idem , pouco compacto
8	10						㉟	
8	10					17.00	㊱	Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), médio
8	10					18.00	㊲	Silte arenoso c/pedregulhos marrom, medianamente compacto
8	13						㊳	
16	19						㊴	Silte argiloso c/areia de textura variada variegado (marrom), médio, (Solo residual)
10	17						㊵	

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)	INICIAL	FINAL	AMOSTRA NÃO RECUPERADA	ENSAIO DE LAVAGEM(cm)	
	22.26m		AMOSTRA INDEFORMADA	1o, 10min	26.67 A 26.69
	08:00 h		AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA	2o, 10min	26.69 A 26.70
	22/09/05		AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES-BATENTE	3o, 10min	26.70 A 26.70

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1313454/CA



CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA.
 Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA
 tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br

Ciente:
 Local: AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA
 Sondagem: SP-16 Cota: 53.813 m Ref.n° GE-3220/05
 Revestimento Ø = 76.2mm Escala: 1:100 Data: SET/05 Pag.n° 1 Resp.
 Amostrador Ø₁ = 50.8mm Massa do martelo= 65 Kg Altura de queda= 75cm
 Ø₂ = 35mm

Continua....

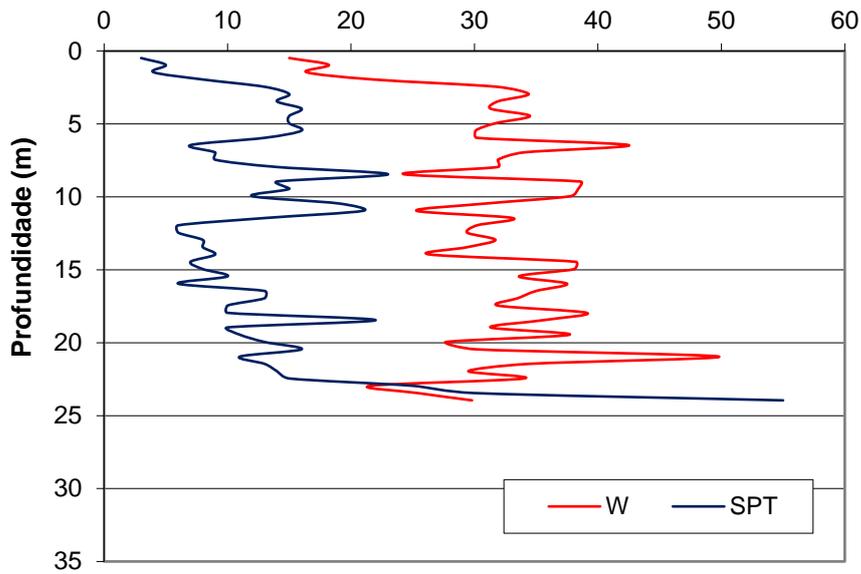
CONCRETA		CONTROLE DE CONCRETO E TECNOLOGIA LTDA.	
		Lot. Centro Executivo, Rua "C", 291, Paralela - Salvador/BA	
		tel: (071) 372-3000 fax:(071) 372-3001 e-mail: concreta@concreta.com.br	
AV. LUIS EDUARDO MAGALHÃES, SSA/BA			
SP-16		53.813	
		GE-3220/05	
76.2mm		SET/05	
50.8mm		2	
35mm		65 Kg	
		75cm	
		Cota em relação ao R.N.	Profundidade da camada (m)
10	17	35	37
11	14	20	38
10	14	20	39
9	11	21	40
13	16	21	41
10	17	22	42
14	15	22	43
10	19	23	44
14	15	23	45
10	22	30	46
11	28	TH	47
19	31	25	48
10	22	25	49
15	28	26	50
38/25		L	51
32/12		27	52
			53
			54
<p>Silte argiloso c/areia fina e media variegado (vermelho), rijo (Solo residual)</p> <p>Idem , variegado (marrom) rijo, (Solo residual)</p> <p>Idem, micáceo, variegado (marrom) rijo, (Solo residual)</p> <p>Silte argiloso c/ areia de textura variada, micacéo, c/ pedregulhos, variegado (amarelo), rijo (Solo residual)</p> <p>Idem , médio (Solo residual)</p> <p>Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (cor de cinza escuro), compacto (Alteração de rocha)</p> <p>Areia de textura variada silteosa, micaceo, c/ pedregulhos variegado (marrom), compacta (Alteração de rocha)</p> <p>Silte argiloso c/areia fina e media, micaceo variegado (marrom), duro (Alteração de rocha)</p>			
<p>IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO NA FERRAMENTA DE LAVAGEM</p> <p>*Os: H.N = Umidade Natural</p> <p>INÍCIO : 17/09/05</p> <p>TERMINO : 21/09/05</p>			
INÍCIO DE ENFERMEIRO INÍCIO DE ENFERMEIRO	INICIAL	FINAL	AMOSTRA NÃO RECUPERADA
	22.26m		AMOSTRA INDEFORMADA
	08:00 h		AMOSTRA INDEFORMADA NÃO RECUPERADA
	22/09/05		AMOSTRADOR PENETROU NEM SOB O PESO DAS HASTES+BATENTE
			ENSAIO DE LAVAGEM(cm)
			1o, 10min 26.67 A26.69
			2o, 10min 26.69 A 26.70
			3o, 10min 26.70 A 26.70

Anexo C

Perfis de Umidade

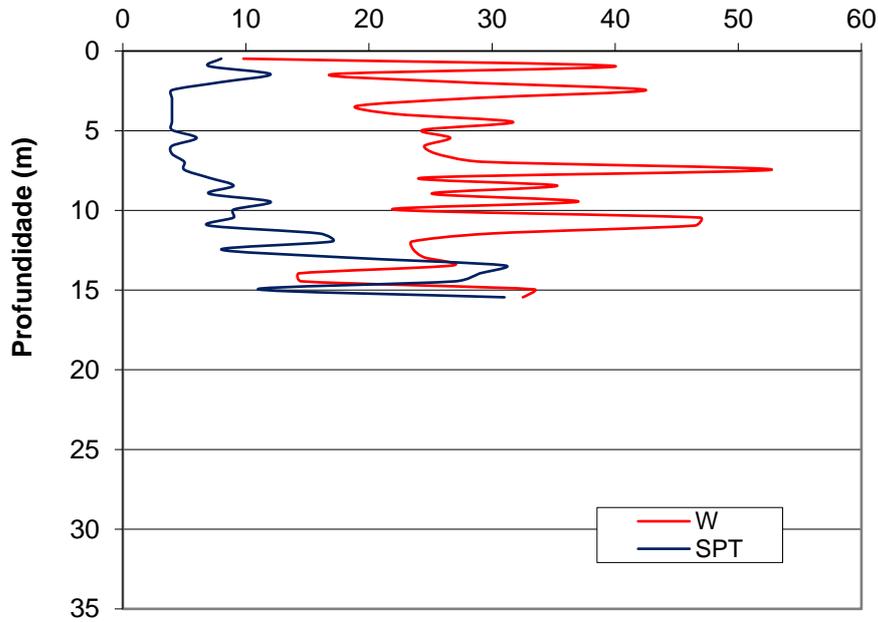
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP01
Cota 53,886

Teor de umidade (%), SPT (N/30)

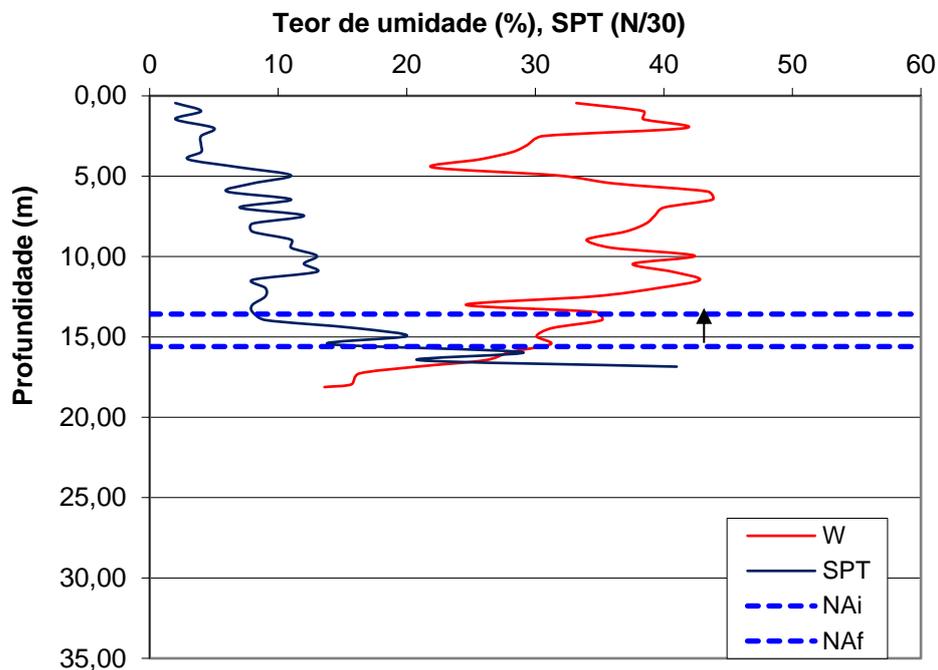


Av Luiz Eduardo Magalhães - SP02
Cota 42,140

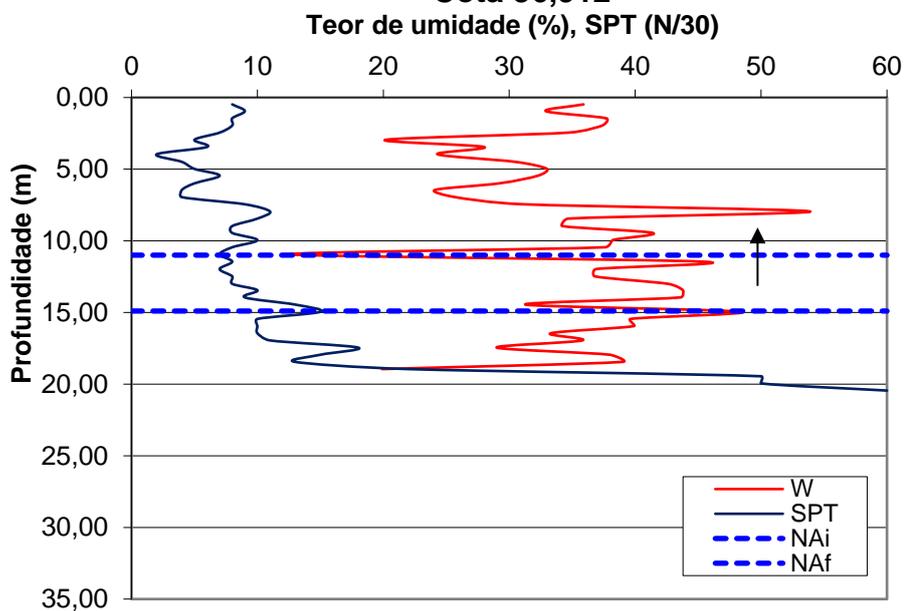
Teor de umidade (%), SPT (N/30)



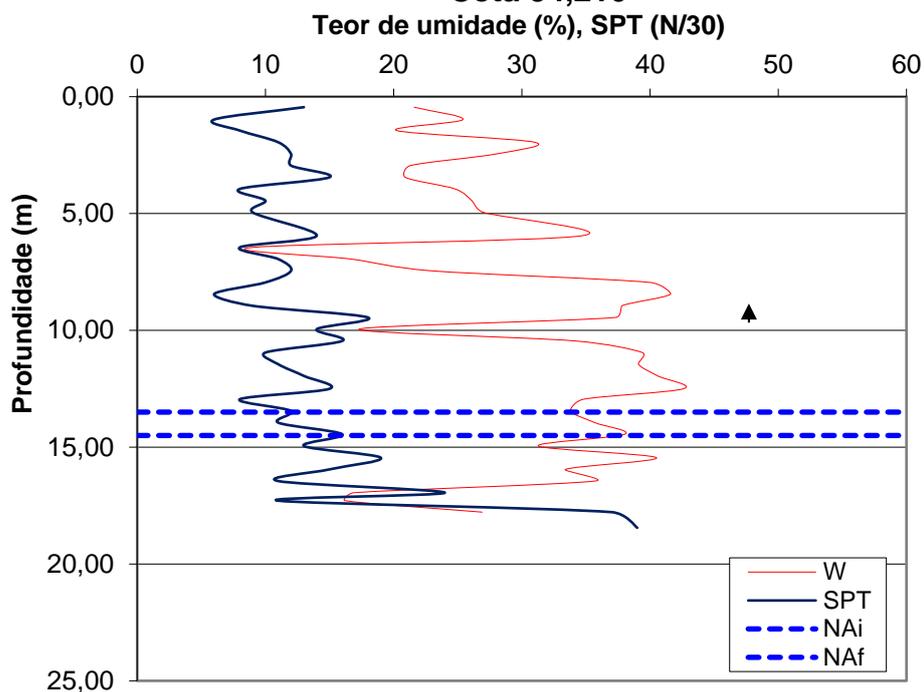
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP03
Cota 36,692



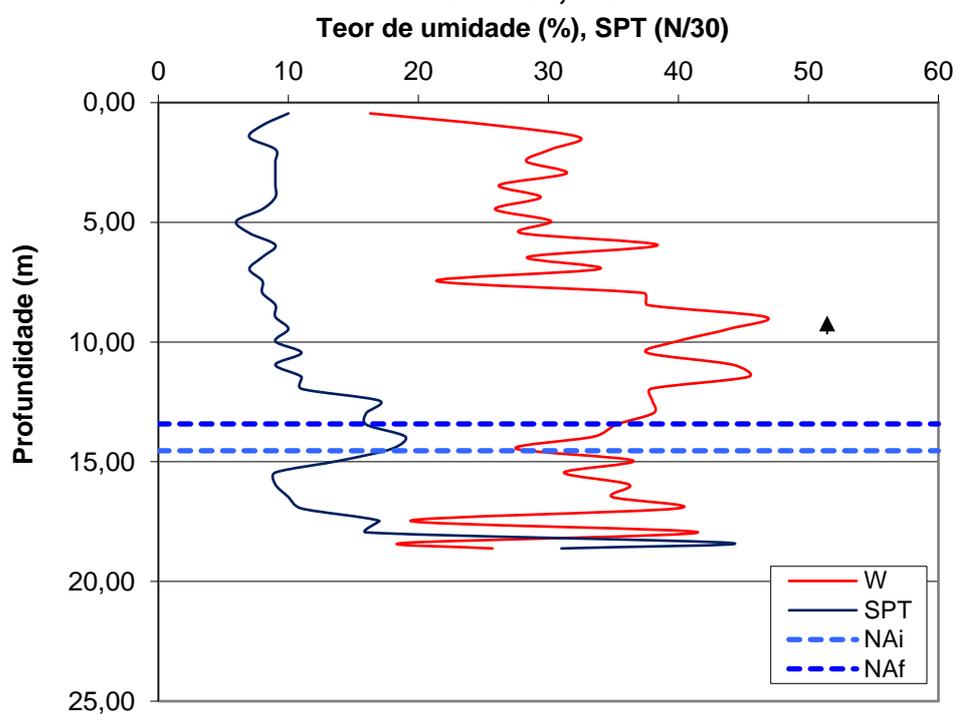
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP04
Cota 36,912



Av Luiz Eduardo Magalhães - SP05
Cota 34,210



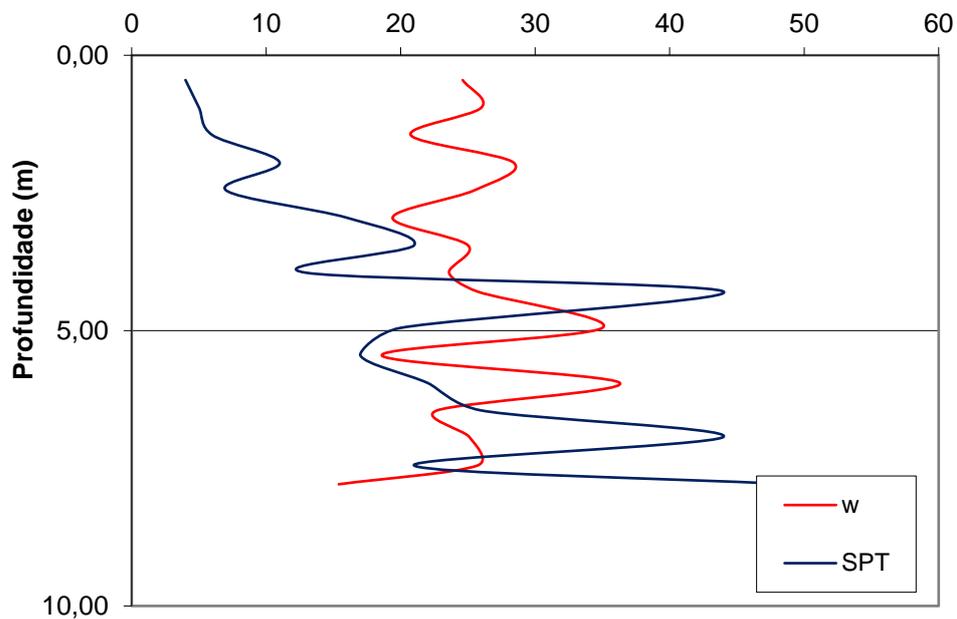
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP06
Cota 34,279



Av Luiz Eduardo Magalhães - SP07

Cota 33,165

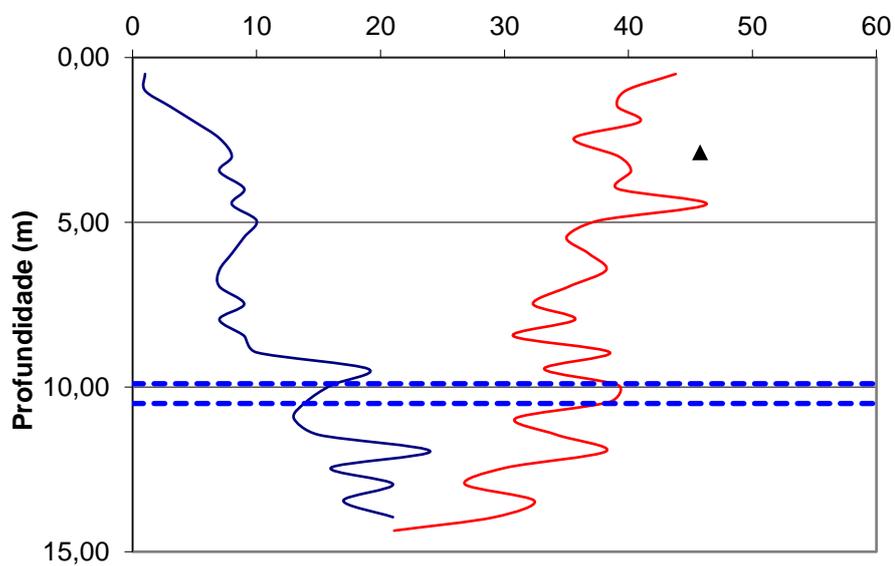
Teor de umidade (%), SPT (N/30)



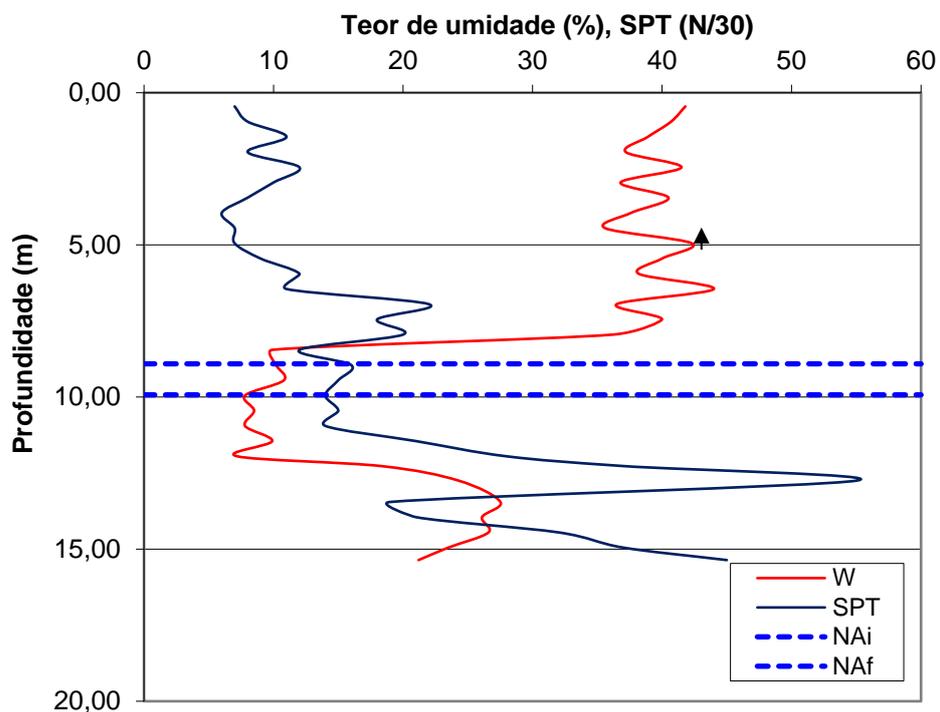
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP08

Cota 30,493

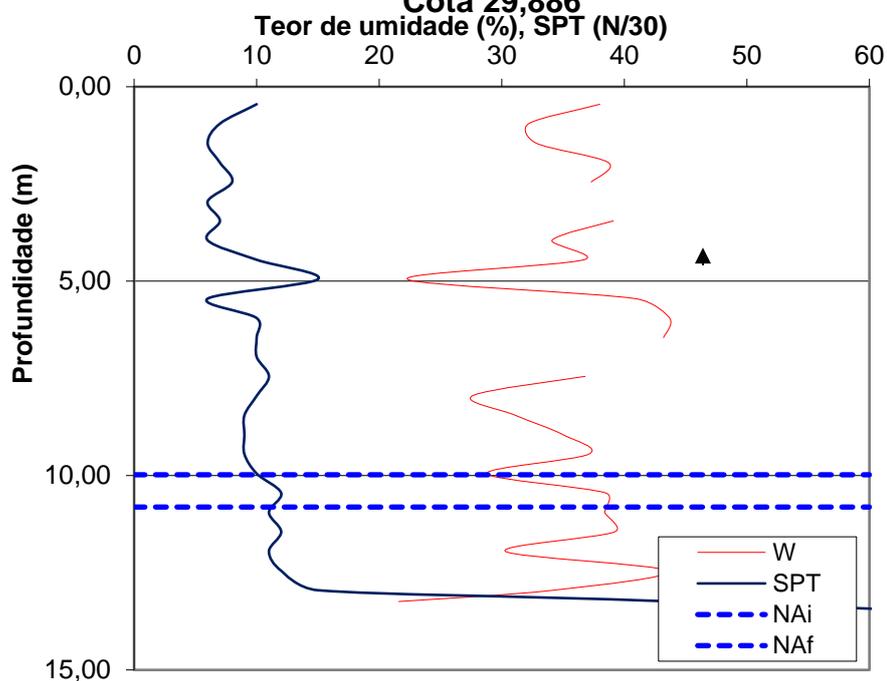
Teor de umidade (%), SPT (N/30)



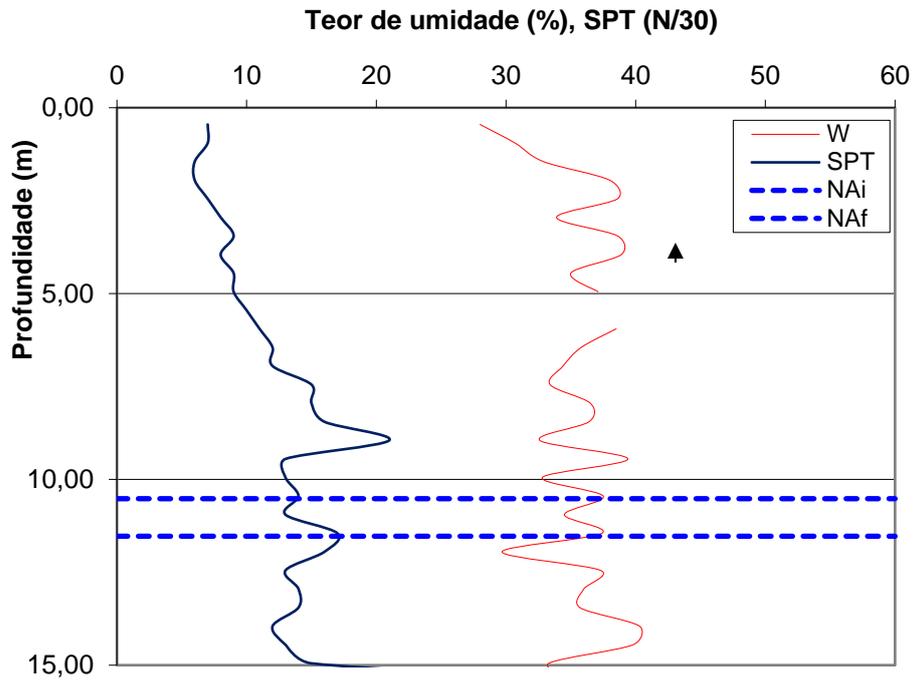
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP09
Cota 31,723



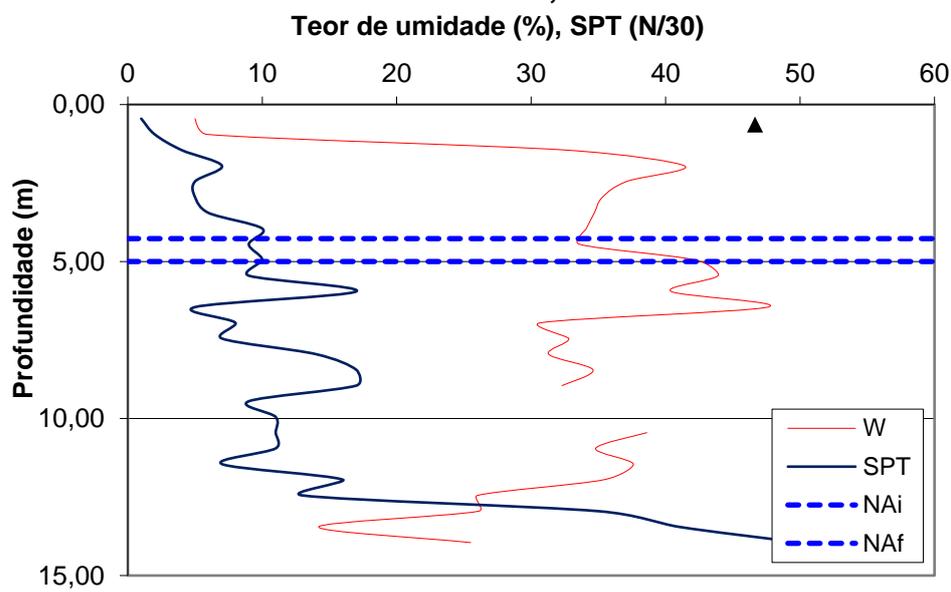
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP10
Cota 29,886



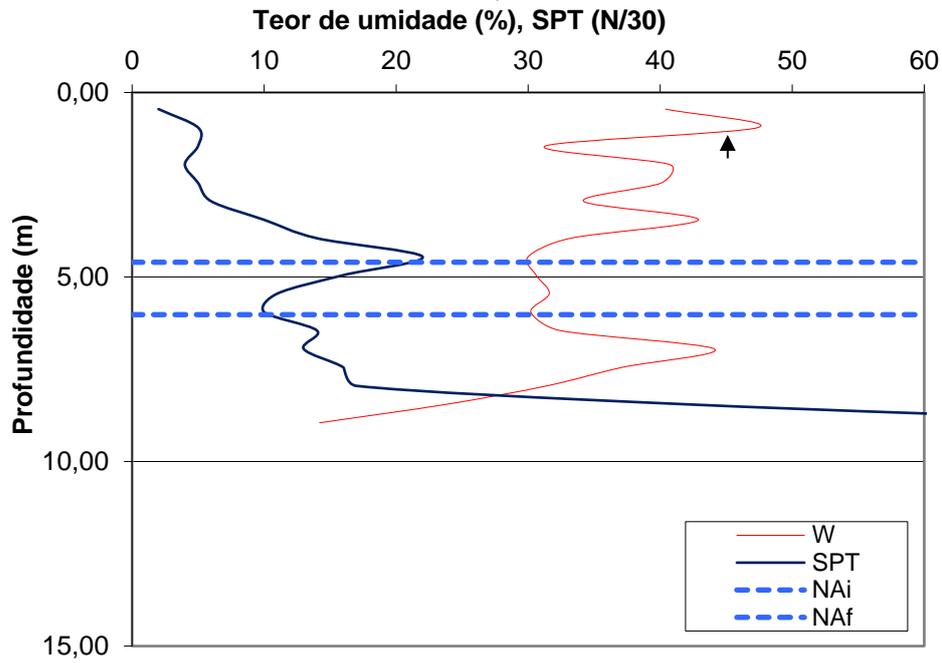
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP11
Cota 30,531



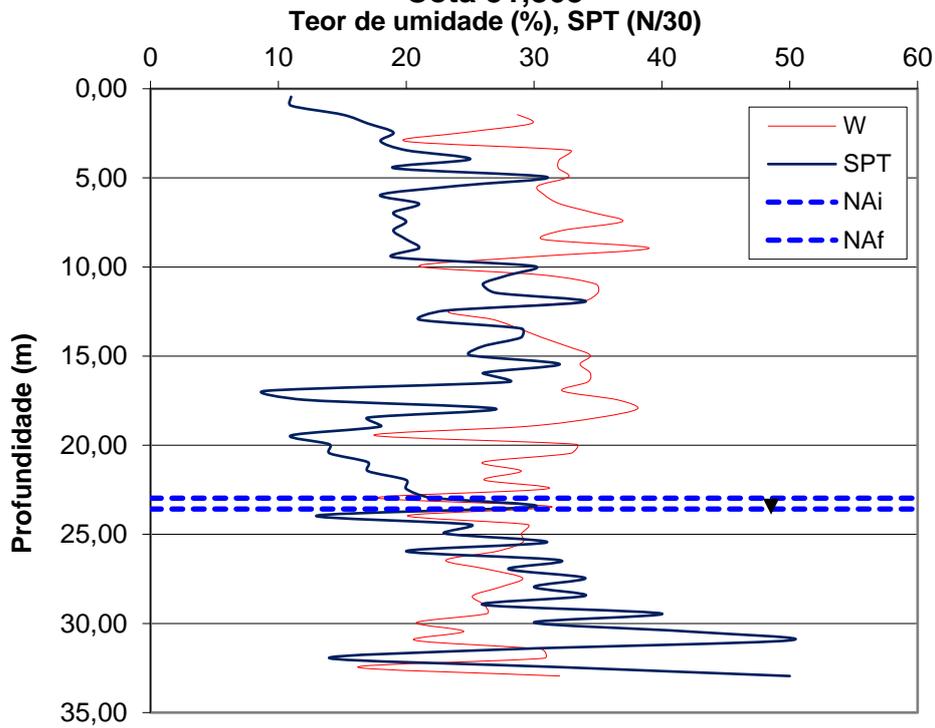
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP12
Cota 25,950



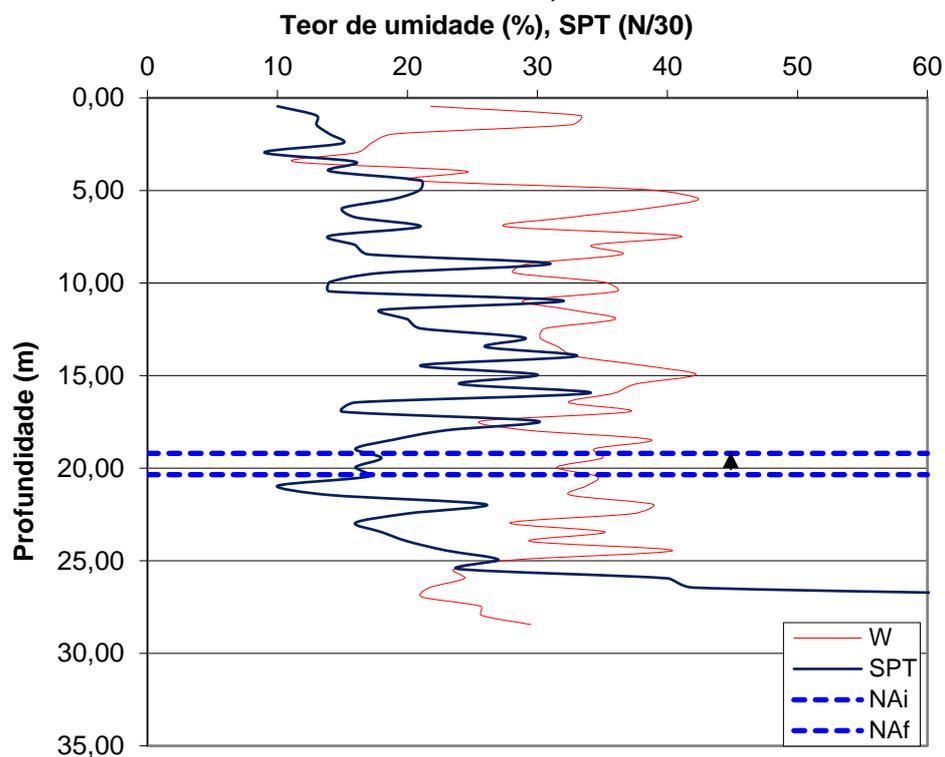
Av Luiz Eduardo Magalhães - SP13
Cota 23,509



Av Luiz Eduardo Magalhães - SP14
Cota 51,863



Av Luiz Eduardo Magalhães - SP15
Cota 45,851



Av Luiz Eduardo Magalhães - SP16
Cota 53,813

