



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Luciano Salviano de Sales


**CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS DE CORRELAÇÃO CHUVA VS
ESCORREGAMENTOS – APLICAÇÃO ÀS OCORRÊNCIAS DA COMUNIDADE
DA FORMIGA NO ANO DE 2010**

Rio de Janeiro

2016

Luciano Salviano de Sales

**Contribuição aos Estudos de Correlação Chuva vs Escorregamentos –
Aplicação às Ocorrências da Comunidade da Formiga no Ano de 2010**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotécnica.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Denise Maria Soares Gerscovich

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S163 Sales, Luciano Salviano de.
Contribuição aos estudos de correlação chuva vs
escorregamentos: aplicação às ocorrências da Comunidade da
Formiga no ano de 2010 / Luciano Salviano de Sales. – 2016.
136f.

Orientador: Denise Maria Gerscovich.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Civil. 2. Taludes (Mecânica do solo) -
Dissertações. 3. Escorregamentos (Geologia) - Dissertações. 4.
Águas pluviais – Dissertações. 5. Chuvas - Solos - Erosão –
Dissertações. I. Gerscovish, Denise Maria Soares. II.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 624.15(815.31)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Luciano Salviano de Sales

Contribuição aos Estudos de Correlação Chuva vs Escorregamentos – Aplicação às Ocorrências da Comunidade da Formiga no Ano de 2010

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotécnica.

Aprovado em: 07 de abril de 2016.

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Denise Maria Gerscovich (Orientadora)

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Marcus Peigas Pacheco

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Robson Palhas Saramago

Doutor (DSc)/COPPE/UFRJ – UFF

Rio de Janeiro

2016

DEDICATÓRIA

À Vanda Pereira, pelo auxílio nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A Minha família que me incentivou a continuar e muito me apoiou.

A Prof^a Denise, por toda atenção e disposição dedicadas durante a Graduação e Mestrado.

A Prof^a Bernadete, pelo carinho, incentivo e atenção durante o Mestrado.

A amiga Engenheira Fabiana Chaves, que dividiu grande parte desta jornada comigo.

Ao Engenheiro Juliano Lima da GeoRio por contribuição na obtenção de dados, pela atenção e disponibilidade.

Ao Engenheiro Marcelo Aldaher Magalhães da GeoRio-DIP/GPE pela atenção e disponibilidade.

A associação de Moradores da Comunidade da Formiga que nos recebeu de braços abertos na sua sede.

A Subsecretaria Municipal de Defesa Civil da Cidade do Rio de Janeiro que nos forneceu dados importantes para este trabalho.

Ao Centro Estadual de Monitoramento de Desastres Naturais do Estado do Rio de Janeiro que nos proporcionou o contato com a experiência japonesa nesta área.

A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer
o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento.

Platão

RESUMO

SALES, Luciano Salviano de. *Contribuição aos estudos de correlação chuva vs escorregamentos* – aplicação às ocorrências da Comunidade da Formiga no ano de 2010. 2016. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Em 2010 a cidade do Rio de Janeiro registrou números representativos de ocorrências de movimento de massa. Nesse período foram registradas 627 ocorrências de movimento de massa, particularmente concentradas nos meses de março e abril. Destas, 27 ocorreram em uma das vertentes do Maciço da Tijuca, aonde localiza-se a comunidade Formiga. Para o desenvolvimento da correlação de chuva vs movimentos de massa de solo na comunidade Formiga, foi necessário o tratamento dos dados das ocorrências de escorregamentos registradas no ano de 2010, além dos registros de chuva da estação telepluviométrica da Tijuca. De acordo com os limiares pluviométricos adotados atualmente pela Fundação GeoRio, 4 escorregamentos não se ajustaram ao padrão previsto. Este trabalho se propôs a analisar especificamente as 4 ocorrências, de 2010, cujos detalhamentos foram obtidos nos boletins da própria fundação Geo Rio. Para tal, foi realizado um levantamento de todas as informações disponíveis na área tais como topografia, sondagens, ensaios, etc. A encosta apresenta uma forma côncava, formando um talvegue no centro. São observadas espessuras de solo residual variando de 2,5m a 18m e no topo da encosta há afloramento do maciço rochoso. Ensaios de cisalhamento direto foram disponibilizados. Nas visitas à comunidade da Formiga, em 2015, não foi possível acessar os locais das ocorrências. Como resultado, decidiu-se estudar das condições críticas dos taludes em função da topografia e parâmetros de resistência. Essas análises evidenciaram a importância da coesão aparente estabilidade dos taludes. Análises com enfoque probabilístico mostraram que as incertezas nos parâmetros de resistência são significativas e, portanto, encostas são potencialmente instáveis.

Palavras-chave: Movimentos de massa; Correlação (chuva x deslizamento); Estabilidade de Taludes; Análise Probabilística.

ABSTRACT

SALES, Luciano Salviano de. *Contribution to the rain versus landslides correlation studies* – application to Formiga Community occurrences in 2010. 2016. 136f. Dissertation (Civil Engineering MSc) - Engineering College, Rio de Janeiro State University, Rio de Janeiro, 2016.

In 2010, the city of Rio de Janeiro registered an extensive number of mass movements. In this period 627 mass movements, particularly concentrated in the months of March and April, were recorded by Geo-Rio Foundation. Among these, 27 occurred in a slope of Tijuca Massif, where Formiga Community is located. For the development of the correlation rain versus soil mass movement in Formiga Community, it was necessary to assess landslides and rainfall event recordings in 2010 at Tijuca's pluviometrical station. According to the critical rainfall rates adopted by GeoRio, 4 landslides did not fit its criteria. This study aimed to focus specifically these four events in 2010. Therefore, a survey was conducted in order to examine all available information in the area such as topography, in situ surveys, tests, etc. The slope has a concave shape forming a gulley at its central region. Residual soil thickness ranging from 2.5m to 18m and massif rock outcrops were observed at the top of the slope. Direct shear test results were available. Visits to the community in 2015 showed the impossibility to access the specific sites of the four landslides. As a result, the studies focused on the critical conditions of the slope based on topography and strength parameters. These analyses demonstrated the importance of apparent cohesion on stability of slopes. Probabilistic analyses showed that the uncertainties in the strength parameters are significative. Thus, the slopes are potentially unstable.

Keywords: Mass Movements; Correlation (rain x landslide); Slope Stability Analysis; Probabilistic Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Condição de ruptura por escorregamento (Gerscovich, 2012).....	20
Figura 2. Exemplos de movimentos de massa (Editora Oficina dos Textos 2013)....	25
Figura 3. Localização da encosta do soberdo (Barros et al. 1992).....	26
Figura 4. Deslizamento no Morro da Formiga (SILVA et al., 2000).....	27
Figura 5. Correlação chuva e categorias dos deslizamentos (Lumb, 1975).....	29
Figura 6. Correlação-coeficiente Cc e deslizamentos (Guidicini e Iwasa 1976).....	30
Figura 7. Correlação chuva e ruptura de taludes ocorridos em Serra do Mar, Cubatão – SP (Tatizana et al 1987).....	30
Figura 8. Gráfico de correlação entre “mm/h” e “mm /24h”(D’ Orsi, 2011).....	31
Figura 9. Condições de intensidade-duração (pontos) dos deslizamentos de terra na Itália.....	34
Figura 10. Transmissão e fornecimento de informações de alerta de desastres de deslizamentos de terra. (Departamento de Controle de Erosão e Sedimentação e Departamento de Previsão da Agência de Meteorologia do Japão, 2005)	35
Figura 11. Localização das estações Telepluviométricas.(Sistema Alerta Rio/ Google Earth, 2015).....	37
Figura 12. Níveis de decisão e de alerta 1996-2005 - Sistema Alerta Rio (D’ORSI et al., 1997 e 2000).....	38
Figura 13. Envoltória de resistência de solos não saturados (Gerscovich, 2012)	41
Figura 14. Plano $\tau \times (u_a - u_w)$ (Gerscovich, 2012).....	41
Figura 15. Projeção plano $\tau \times (\sigma - u_a)$ para diferentes valores de sucção (Gerscovich, 2012).....	42
Figura 16. Mapa de localização do Maciço da Tijuca (Fernandes, 1998).....	44
Figura 17. Mapa de localização da Comunidade Formiga no Maciço da Tijuca.....	45
Figura 18. Blocos de Granito transportados.....	46
Figura 19. Gnaisse facoidal (Roza, A. G. 2007).....	47
Figura 20. Gráfico comparativo de precipitação mensal na cidade do Rio de Janeiro.....	49
Figura 21. Aplicação da proposta de D’Orsi (2011) ao banco de dados de 2010 do morro da Formiga, 2011).....	56

Figura 22. Aplicação da proposta de Tatizana et al (1987) ao banco de dados de 2010 do morro da Formiga.....	57
Figura 23. Gráfico de correlação entre mm/h e mm/24h – Faixas de alerta adotadas pela Fundação Geo-Rio, 2005.....	57
Figura 24. Gráfico de correlação entre mm/h e mm/96h – Faixas de alerta adotadas pela Fundação Geo-Rio, 2005.....	58
Figura 25. Gráfico de correlação entre mm/24h e mm/96h – Faixas de alerta adotadas pela Fundação Geo-Rio, 2005.....	58
Figura 26. Mapa de susceptibilidade e intervenções geotécnicas - Fundação Geo-Rio (2011).....	60
Figura 27. Construções irregulares em área de alto risco.....	61
Figura 28. Construções abandonadas em área de alto risco	61
Figura 29. Vegetação inclinada em área de alto risco	62
Figura 30. Construção descalçada sobre talude instável.....	62
Figura 31. Construção descalçada sobre talude instável.....	63
Figura 32. Presença de bananeiras, característica de colúvio.....	65
Figura 33. Drenagem com vegetação reduzindo capacidade do sistema.....	67
Figura 34. Construções irregulares.....	67
Figura 35. Lixo obstruindo sistemas de drenagem.....	68
Figura 36. Construção inadequada.....	69
Figura 37. Infiltração concentrada no talude.....	70
Figura 38. Elevada instabilidade do talude de corte.....	71
Figura 39. Presença de matacões e erosão superficial.....	72
Figura 40. Estruturas de contenção com indícios de ruptura	73
Figura 41. Foto aérea da comunidade com a localização das ocorrências em estudo.....	74
Figura 42. Foto vegetação no alto da encosta.....	75
Figura 43. Foto da encosta.....	75
Figura 44. Vista frontal superior do talvegue com as ocorrências em estudo.....	76
Figura 45. Laudo #1263 - Ruptura estrutura de contenção.....	78
Figura 46. Laudo #1357 – Corrida.....	78
Figura 47. Laudo #1358 - Escorregamento de Solo (corte).....	80
Figura 48. Intervenção estabilizante pontual (concreto projetado).....	81

Figura 49. Laudo #1782 - Escorregamento de Solo (aterro) - Vista do pequeno escorregamento que compromete o acesso da comunidade	81
Figura 50. Laudo #1782 - Escorregamento de Solo (aterro) - Vista da casa atingida na rua Maria França 27.....	82
Figura 51. Ocorrência #1363.....	83
Figura 52. Ocorrência #1365.....	84
Figura 53. Locação das sondagens no terreno.....	86
Figura 54. Perfil geotécnico da seção A.....	86
Figura 55. Perfil geotécnico da seção B.....	87
Figura 56. Situação 1: Análises de Estabilidade.....	89
Figura 57. Situação 2: Análises de Estabilidade.....	90
Figura 58. Situação 3: Nível d água variável.....	91
Figura 59. Situação 3: Caso 1- Nível d água elevado 2,5m em relação ao topo da camada de rocha fraturada em toda a extensão do talude.....	92
Figura 60. Situação 3: Caso 2- Nível d água elevado 4m em toda a extensão do talude, corrigindo para manter NA no Talude.....	92
Figura 61. Situação 3: Caso 3 - Nível d água elevado em cerca de 8m em toda a extensão do talude, corrigindo para manter NA no Talude.....	93
Figura 62. Situação 3: Análises de Estabilidade.....	93
Figura 63. Situação 4: Parâmetros estatísticos.....	95
Figura 64. Situação 4: Resultado da Análise de Monte Carlo.....	96
Figura 65. Situação 4: Histograma do FS - Análise de Monte Carlo.....	97
Figura 66. Situação 4: Coesão – Solo Arenoso - Análise de Monte Carlo	97
Figura 67. Situação 4: Ângulo de atrito – Solo Arenoso - Análise de Monte Carlo...98	
Figura 68. Situação 4: Correlação FS vs c' – Solo Arenoso - Análise de Monte Carlo.....	98
Figura 69. Situação 4: Correlação FS vs ϕ' – Solo Arenoso - Análise de Monte Carlo.....	99
Figura 70. Resultados do ensaio na amostra de Areia siltosa (AI-0029).....	131
Figura 71. Envoltória de resistência efetiva - $\tau = 65,3 + \sigma' tg37,30$	132
Figura 72. Resultados do ensaio na amostra de Areia siltosa (AI-0030).....	133
Figura 73. Envoltória de resistência efetiva - $\tau = 33,8 + \sigma' tg44,30$	134
Figura 74. Resultados do ensaio na amostra de Areia siltosa (AI-0031).....	135
Figura 75. Envoltória de resistência efetiva - $\tau = 33,1 + \sigma' tg40,90$	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das causas de instabilização de taludes (Terzaghi (1928,1950) apud Guidicini e Nieble , 1983).....	21
Tabela 2 – Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa (Adaptada de Varnes 1978).....	22
Tabela 3 – Classificação dos agente deflagradores (Guidicini e Nieble , 1983).....	23
Tabela 4 – Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978).....	24
Tabela 5 - Resumo das propostas de correlação chuva x escorregamento.....	32
Tabela 6 - Condições de risco e emissão de alerta propostos para o Município de Petrópolis, RJ.(ALMEIDA, 1993).....	36
Tabela 7 - Critérios pluviométricos operacionais (Alerta Rio, 2005).....	39
Tabela 8 - Propostas de variação dos parâmetros de resistência com a sucção em solos nacionais (Jesus, A.C 2008).....	43
Tabela 9 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Janeiro de 2010.....	50
Tabela 10 - Valores de β , a, b e c para a cidade do Rio de Janeiro (Pfafstetter 1957).....	51
Tabela 11 - Valores de α (Pfafstetter 1957).....	52
Tabela 12 - Resumo dos laudos de ocorrência.....	53
Tabela 13 - Tipologias para a classificação das ocorrências (Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010).....	54
Tabela 14 - Categorias de Volume Mobilizado (Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010).....	54
Tabela 15 - Classificação das ocorrências em função da tipologia e volume mobilizado.....	55
Tabela 16 - Porcentagem de ocorrências por Tipologia.....	55
Tabela 17 - Classificação das ocorrências em função do Volume Mobilizado.....	55
Tabela 18 - Alguns detalhes sobre as ocorrências em estudo.....	77
Tabela 19 - Coordenadas das sondagens.....	85
Tabela 20 - Parâmetros Geotécnicos (Umidade natural).....	88
Tabela 21 - Parâmetros geotécnicos adotados.....	89
Tabela 22 - Fator de segurança.....	89
Tabela 23 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Fevereiro de 2010....	111

Tabela 24 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Março de 2010.....	111
Tabela 25 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Abril de 2010.....	112
Tabela 26 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Maio de 2010.....	112
Tabela 27 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Junho de 2010.....	112
Tabela 28 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Julho de 2010.....	112
Tabela 29 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Setembro de 2010..	113
Tabela 30 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Outubro de 2010.....	113
Tabela 31 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Novembro de 2010..	113
Tabela 32 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Dezembro de 2010..	114
Tabela 33 - Resultados do ensaio - amostra AI - 0029 (Areia siltosa).....	131
Tabela 34 - Resultados do ensaio - amostra AI - 0030 (Argila silto-arenosa).....	132
Tabela 35 - Resultados do ensaio - amostra AI - 0031 (Argila silto-arenosa).....	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Geo/Slope	Software de análise de estabilidade em solos em declive para o cálculo do fator de segurança
Geo Rio	Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro
Alerta Rio	Sistema de Alerta da Prefeitura do Rio de Janeiro
UPP	Unidade de Polícia Pacificadora
ICOS	Projeto que visa promover os valores de cidadania, fortalecimento comunitário e integração social na comunidade Formiga
Cidadania	
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UTM	Universal Transversa de Mercator
SM	Sondagem
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SANF	sistema nacional de alerta para deslizamentos de terra induzida por efeito de chuva
Cemaden RJ	Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do Rio de Janeiro
NT	Nível do Terreno
NA	Nível d'água
NBR	Norma Brasileira
SPT	Standard Penetration Test

LISTA DE SÍMBOLOS

C_c	Razão de precipitação acumulada até o dia anterior do evento pela a chuva média anual
C_f	Razão de precipitação do evento de chuva pela a chuva média anual
I	Intensidades horárias de chuva
ID	intensidade-duração
D	Duração da chuva
I	Intensidade média de chuvas Intensidade
H	Hora - unidade de medida de tempo adotada para os eventos de chuva
Km	Kilômetro - unidade de medida de espaço
FS	Fator de Segurança
τ_f	Resistência ao Cisalhamento
τ_{mob}	Tensões cisalhantes mobilizadas
P	Precipitação total máxima
A	Parâmetro de ajuste vinculado à precipitação da região
B	Parâmetro de ajuste vinculado à precipitação da região
C	Parâmetro de ajuste vinculado à precipitação da região
α	Parâmetro vinculado à duração da precipitação
β	Parâmetro vinculado à duração da precipitação
T	Período de recorrência ou tempo de retorno
γ	Parâmetro de ajuste da curva
Y	Acumulada em mm/h
X	Acumulada em mm/ 24h
I (Ac)	Limiar Pluviométrico
Ac	Chuva acumulada de 4 dias

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
1.1 Agentes e Causas dos Movimentos de Massa	20
1.2 Tipos de Movimentos de Massa	24
1.2.1 Caso Histórico de Movimento de Massa no Maciço da Tijuca.....	25
1.3 Correlações chuva vs escorregamento	27
1.3.1 Experiência Internacional.....	28
1.3.2 Experiência Brasileira	29
1.3.3 Resumo	31
1.4 Sistemas de Alerta	33
1.4.1 Experiência Internacional.....	33
1.4.1.1 Itália	33
1.4.1.2 Hong Kong.....	34
1.4.1.3 Japão.....	35
1.4.2 Experiência Brasileira	35
1.4.2.1 Município de Petrópolis	35
1.4.2.2 Estado do Rio de Janeiro – CEMADEN-RJ	36
1.4.2.3 Cidade do Rio de Janeiro – Prefeitura do Rio	37
1.5 Resistência de solos de encostas	39
1.5.1 Solos não saturados	39
1.5.2 Comportamento da resistência ao cisalhamento	40
2 ÁREA DE ESTUDO: COMUNIDADE DA FORMIGA – MACIÇO DA TIJUCA	43
2.1 Aspectos Geomorfológicos do Maciço da Tijuca	45
2.1.1 Litologia	45
2.1.2 Tipo de Solo.....	46
2.2 Ação Antrópica	47
3 CHUVAS E MOVIMENTOS DE MASSA – COMUNIDADE DA FORMIGA - ANO 2010	48
3.1 Histórico de Chuvas – Ano 2010	48
3.1.1 Tempo de Recorrência	51

3.2	Histórico de Movimentos de Massa	52
3.2.1	Tipologia e Volume mobilizado	53
3.2.2	Classificação das intensidades de chuva nos eventos com ocorrência.....	56
3.2.3	Mapeamento de Área de Risco	59
4	ESTUDOS REALIZADOS	73
4.1	Descrição das Ocorrências	76
4.1.1	Comentários sobre as ocorrências	82
4.2	Investigações Geotécnicas	85
4.2.1	Sondagens.....	85
4.2.1.1	Definição dos perfis	85
4.2.2	Ensaio de Cisalhamento Direto.....	87
4.3	Estudos de Estabilidade	88
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	99
5.1	Sugestões para pesquisas futuras.....	101
	REFERÊNCIAS	102
	ANEXO 1 - EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS	111
	ANEXO 2 - SONDAgens	115
	ANEXO 3 - ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO	131

INTRODUÇÃO

A ocorrência de movimentos de massa de solo durante ou após períodos de precipitação induziu o desenvolvimento de correlações entre chuvas e escorregamentos. Em 1975, Peter Lumb propôs modelo empírico de correlação a partir de estudo de dados de chuva e escorregamentos em Hong Kong. Desde então tem crescido o número de propostas de correlações aplicáveis a diversas regiões. O foco de aplicação das correlações está voltado para o desenvolvimento e acionamento de sistemas de alerta e evacuação de áreas de risco.

Em março e abril de 2010 a cidade do Rio de Janeiro registrou números representativos de ocorrências de movimento de massa. Ao longo de 2010, segundo relatório de escorregamentos confeccionado pela Fundação GeoRio e disponibilizado no site Alerta Rio, foram registradas 627 ocorrências, das quais 27 ocorrências aconteceram na Comunidade da Formiga, na região da Tijuca, bairro da Cidade do Rio de Janeiro.

O tratamento dos dados das 27 ocorrências registradas no ano de 2010 nesta comunidade e dos eventos de chuva registrados pela estação telepluviométrica da Tijuca permitiu análise gráfica das correlações de chuvas com movimentos de massa de solo, baseada nas faixas atuais de alerta adotadas pela Fundação GeoRio.

A partir dessa análise gráfica buscou-se interpretar, do ponto de vista geotécnico, os 4 eventos de movimento de massa, ocorridos em 2010 na comunidade da Formiga, que não se ajustaram à correlação chuva VS escorregamento, adotada pela GeoRio, na cidade do Rio de Janeiro.

Como esse trabalho é parte de um projeto de pesquisa que visa contribuir para o estudo das correlações chuva VS escorregamento, considerando especificidades locais e aspectos geotécnicos. Utilizou-se os resultados de investigações geotécnicas obtidas através da extração de amostras locais para realização de ensaios de cisalhamento direto e da realização de sondagem para confecção dos perfis.

OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação foi compreender porque quatro ocorrências de movimentos de massa, dentre as 27 registradas nos meses de março e abril de 2010 na Comunidade da Formiga, não atenderam ao critério atual de correlação chuva x escorregamentos do Sistema Alerta Rio. Em outras palavras, as intensidades de chuva registradas nas datas do evento não seriam suficientes para deflagrar a ruptura

DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Após esta introdução, o capítulo 1 é destinado à revisão bibliográfica. Neste capítulo é definida uma região dentro da cidade do Rio de Janeiro que servirá como objeto de estudo, serão revistas propostas relacionados à correlação de chuva com movimentos de massa de solo a partir de modelos empíricos apresentados desde o ano de 1975 por Lumb, em 1984 por Tatizana, em 2011 por D'orsi, dentre outras propostas de modelos empíricos. São abordados sistemas de alerta para áreas de risco na Itália, Hong Kong, Japão e Rio de Janeiro.

O capítulo 2 define geograficamente a área de estudo, apresenta os aspectos geomorfológicos do Maciço da Tijuca e descreve historicamente como se deu a ocupação da comunidade Formiga situada no bairro Tijuca no Rio de Janeiro.

O capítulo 3 contempla o tratamento dos dados de chuva e ocorrência para fins de confecção da correlação entre chuva e escorregamentos baseados em propostas existentes e análise comparativa entre as linhas de tendência de D'orsi, Tatizana e dos critérios de alerta utilizados pela Geo Rio com correlação chuva-escorregamento desenvolvida dentro dos critérios de cada proposta. Apresentamos também uma análise do fenômeno de chuva precipitada em março e abril de 2010, bem como um estudo sobre seu tempo de recorrência.

Ainda no capítulo 3 mostra-se o mapeamento feito pela Fundação GeoRio identificando as áreas de alto, médio e baixo de escorregamento na região da Comunidade da Formiga, com a ilustração de locais em potencial suscetíveis a deslizamento.

O capítulo 4 descreve a metodologia aplicada no desenvolvimento deste trabalho. Aqui se descreve a técnica empregada na análise de estabilidade do talude, utilizando os parâmetros médios de resistência ao cisalhamento nas seguintes condições: talude sem nível d água, talude com infiltração vertical de água da chuva e talude com nível d água variável a partir da superfície da rocha fraturada. Ainda nesta seção mostram-se os resultados referentes a análise em termos efetivos para cada condição mencionada. Por último mostra-se uma análise probabilística, segundo simulação de Monte Carlo, com os parâmetros adotados nos estudos anteriores.

O Capítulo 5 discorre a respeito das conclusões desta pesquisa sobre os movimentos de massa em estudo, apresenta uma crítica das informações contidas nos laudos de campo e descreve os resultados das análises realizadas no talude local. Além disso, descreve as sugestões para pesquisas futuras.

No capítulo 6 são apresentados os anexos (eventos pluviométricos, sondagens e ensaios de cisalhamento direto).

Após a apresentação dos capítulos principais seguem as Referências.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Agentes e Causas dos Movimentos de Massa

Entende-se como movimento de massa qualquer deslocamento de um determinado volume de solo Gerscovich (2012), em geral, a literatura trata os movimentos de massa como processos associados a problemas de instabilidade de taludes.

A instabilidade de um talude pode ser mensurada a partir da comparação entre tensões cisalhantes mobilizadas e a resistência ao cisalhamento do material. Quando em um determinado ponto da massa de solo, essas parcelas se igualam ocorre a ruptura neste ponto. A esta condição dá-se o nome de ruptura localizada e o talude pode permanecer intacto. Somente quando ocorre a formação de uma superfície contínua, tem-se a condição de ruptura global (Figura 1). Em outras palavras, a ruptura de um talude ocorre quando o Fator de Segurança (FS) iguala-se a 1 ao longo de uma determinada superfície.

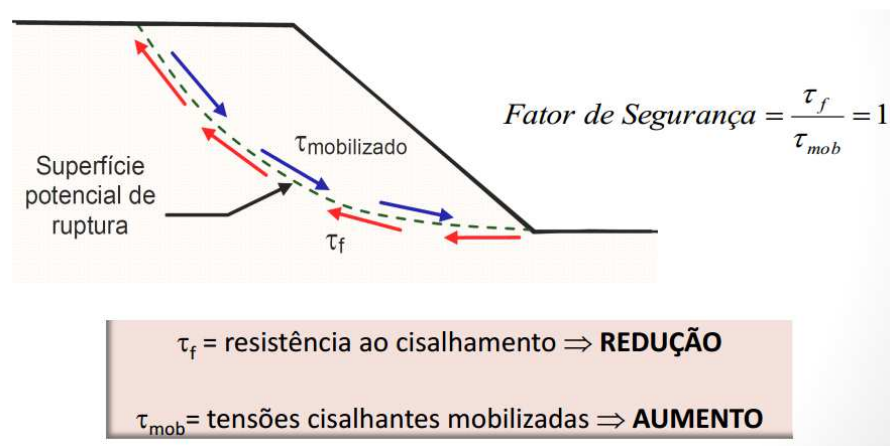


Figura 1. Condição de ruptura por escorregamento (Gerscovich, 2012)

As forças gravitacionais estão sempre atuando no sentido da instabilização dos taludes naturais. Pode-se então afirmar que os movimentos de massa em encostas são também consequência da própria dinâmica de evolução da sua geomorfologia. É muito comum observar encostas que se mantinham estáveis por

muitos anos sofrerem processos de movimentação. Há várias possibilidades de explicar tal fenômeno. Por exemplo, o avanço dos processos físico-químicos intemperizando o material faz com que este se torne menos resistente e, dependendo da topografia, geram-se condições propícias para deflagração da ruptura.

De uma maneira geral, a instabilização de um talude pode ocorrer por aumento das tensões cisalhantes mobilizadas (denominador) ou redução da resistência ao cisalhamento (numerador). Terzaghi (1928,1950), citado por Guidicini e Nieble (1983), subdividiu os mecanismos em causas externas, internas e intermediárias, como mostrado na Tabela 2. Os taludes naturais estão suscetíveis a problemas de instabilidade devido às forças gravitacionais que contribuem para a deflagração do movimento.

Tabela 1 – Classificação das causas de instabilização de taludes (Terzaghi (1928,1950) apud Guidicini e Nieble , 1983)

Agente	Descrição	Fatores
Causas internas	perda de resistência interna do material	<ul style="list-style-type: none"> ✓ aumento da pressão hidrostática ✓ diminuição da resistência
Causas intermediárias	efeitos causados por agentes externos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ liquefação espontânea ✓ rebaixamento rápido ✓ erosão retrogressiva
Causas externas	aumento das tensões de cisalhamento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ aumento da inclinação do talude por processos naturais ou artificiais ✓ decomposição do material na parte superior do talude ✓ abalos sísmicos e vibrações

Posteriormente, Varnes (1978) procurou ser mais específico e propôs uma nova subdivisão para os fenômenos deflagradores dos movimentos de massa, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Tabela 2 – Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa (Adaptada de Varnes 1978)

Ação	Fatores	Fenômenos Geológicos/Antrópicos
Aumento da sollicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Erosão ✓ Escorregamentos ✓ Cortes
	Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peso da água, neve, granizo etc. ✓ Acúmulo natural de material (depósitos) ✓ Peso da vegetação ✓ Construção de estruturas, aterros etc.
	Solicitações dinâmicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Terremotos, ondas, vulcões etc. ✓ Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Águas em trincas ✓ Congelamento ✓ Material expansivo
Redução da resistência ao cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estruturas etc.)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Características geomecânicas do material
	Mudanças ou fatores variáveis	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas nos minerais originais, causando quebra das ligações e gerando novos minerais com menor resistência. ✓ Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência. ✓ Variação das poropressões. ✓ Elevação do lençol freático por mudanças no padrão natural de fluxo (construção de reservatórios, processos de urbanização etc.). ✓ Infiltração da água em meios não saturados, causando redução das pressões de águas negativas (sucção). ✓ Geração de excesso de poropressão, como resultado de implantação de obras. ✓ Fluxo preferencial através de trincas ou juntas, acelerando os processos de infiltração.

No Brasil, Guidicini e Nieble (1983), também apresentaram proposta de classificação, subdividindo os agentes deflagradores em predisponentes e efetivos

(Tabela 3). Os agentes predisponentes referem-se ao conjunto de características intrínsecas, onde o movimento de massa ocorre em função apenas das condições naturais, ou seja, sem a ação do homem. Já os agentes efetivos referem-se aos elementos efetivamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, neles se incluindo a ação humana. Esses podem ainda subdividir-se em razão de sua maneira de atuação:

Tabela 3 – Classificação dos agente deflagradores (Guidicini e Nieble , 1983)

Agente	Fatores	
Predisponentes (pode favorecer a instabilização – elementos da natureza)	Complexo Geológico	✓ tipo e estrutura da rocha, estado de alteração, direção das camadas, grau de fraturamento, etc.
	Complexo Geomorfológico	✓ declividade, forma da encosta, comprimento da encosta, orientação etc.
	Ação da gravidade	✓ naturalmente contribui para a deflagração do movimento de massa
	Ação do calor solar	✓ provoca intemperismo
	Tipo de vegetação	✓ produz efeitos favoráveis ou desfavoráveis na estabilidade das encostas
Efetivos (responsável pelo mecanismo)	Efetivos preparatórios	✓ pluviosidade, erosão pela água ou pelo vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, ação humana e de animais, desflorestamento e etc.
	Efetivos imediatos	✓ chuva intensa, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem e etc.

Em cidades montanhosas, com elevada concentração populacional, como por exemplo, o Rio de Janeiro, é muito comum a ocupação desordenada das encostas. As ações antrópicas (eliminação da cobertura vegetal, cortes para abertura de novas estradas, construção de muros, taludes mal dimensionados, lançamento de lixo nas encostas etc.) se somam aos fatores do meio físico (pluviosidade, declividade e

formato da encosta, orientação da vertente, características pedológicas e geológicas, etc.) e geram condições extremamente favoráveis aos movimentos de massa, podendo ter consequências muitas vezes catastróficas.

1.2 Tipos de Movimentos de Massa

Assim como a classificação dos agentes deflagradores dos movimentos de massa, existem diversas propostas de sistemas de classificação quanto ao tipo de movimento. Internacionalmente citam-se as propostas de Varnes (1958 e 1978) e Hutchinson (1968). A proposta de Varnes (1978) é a mais utilizada internacionalmente, reproduzida na Tabela 4. A proposta subdivide os movimentos em: queda, tombamento, escorregamento, expansão lateral, escoamento e misto; podendo ser aplicável para solos e rochas. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra alguns exemplos.

Tabela 4 – Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978).

Tipo de movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo (engenharia)	
				Grosseiro	Fino
Quedas			De rocha	De detritos	De terra
Tombamentos			De rocha	De detritos	De terra
Escorregamento	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento e rocha De blocos rochosos De rocha	Abatimento de detritos de Blocos de detritos De detritos	Abatimento de terra De blocos de terra de Terra
	Translacional	Muitas unidades			
Expansões laterais			De rocha	De detritos	De terra
Corridas/escoamentos			De rocha (rastejo profundo)	De detritos (Rastejo de solo)	De terra
Complexos: combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos					

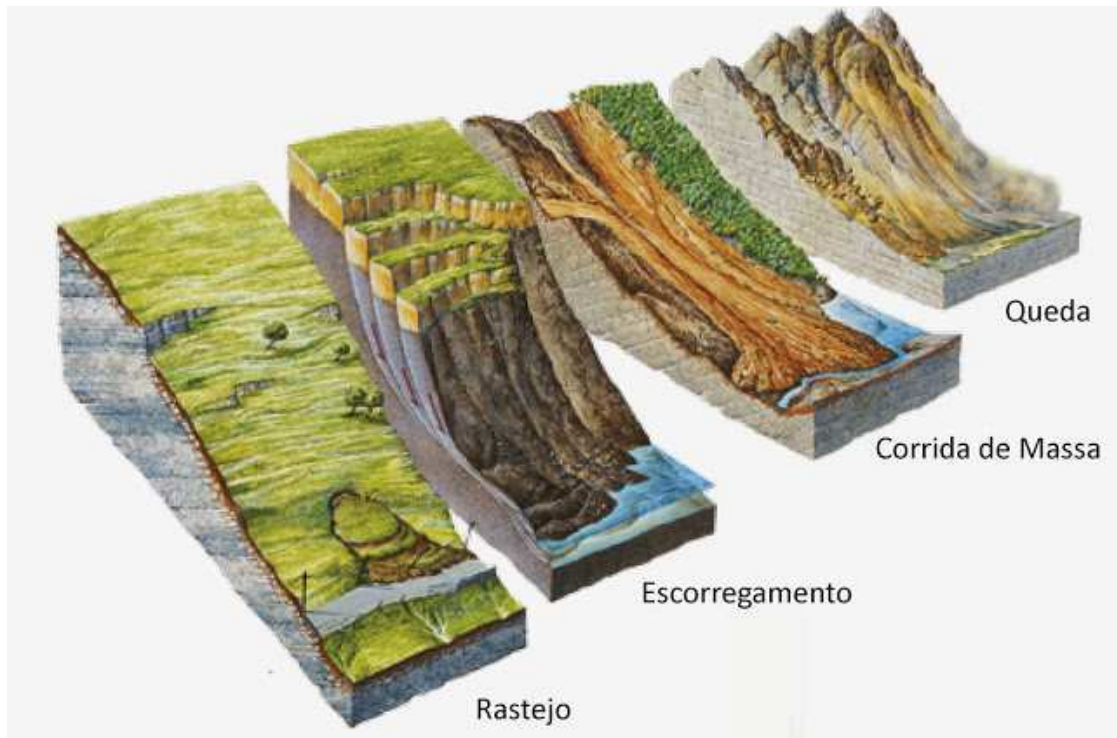


Figura 2. Exemplos de movimentos de massa (Editora Oficina dos Textos 2013)

Há também propostas para adequar a classificação dos movimentos de massa a ambientes tropicais, particularmente no caso do Brasil (Vargas, 1985; Costa Nunes, 1969, Augusto Filho, 1992; Guidicini; Nieble 1983, Santos 2004).

1.2.1 Caso Histórico de Movimento de Massa no Maciço da Tijuca

A encosta do Soberbo fica na bacia do Córrego Santo Antônio, afluente do rio Cachoeira, na vertente sudoeste do Maciço da Tijuca, RJ (Figura 3). Barros et al.(1992), citado por AVELAR,A.S; LACERDA,W.A.; COELHO NETTO,A.L. (2006), relata que a primeira ação do movimento de massa do Soberbo deu-se em 14/JAN/1966 como uma avalanche de grandes proporções que percorreu 800 m, gerada após grandes chuvas, quando um bloco de rocha se deslocou por gravidade da parte alta da encosta, próximo a cota 430 m, a montante da Estrada do Soberbo.

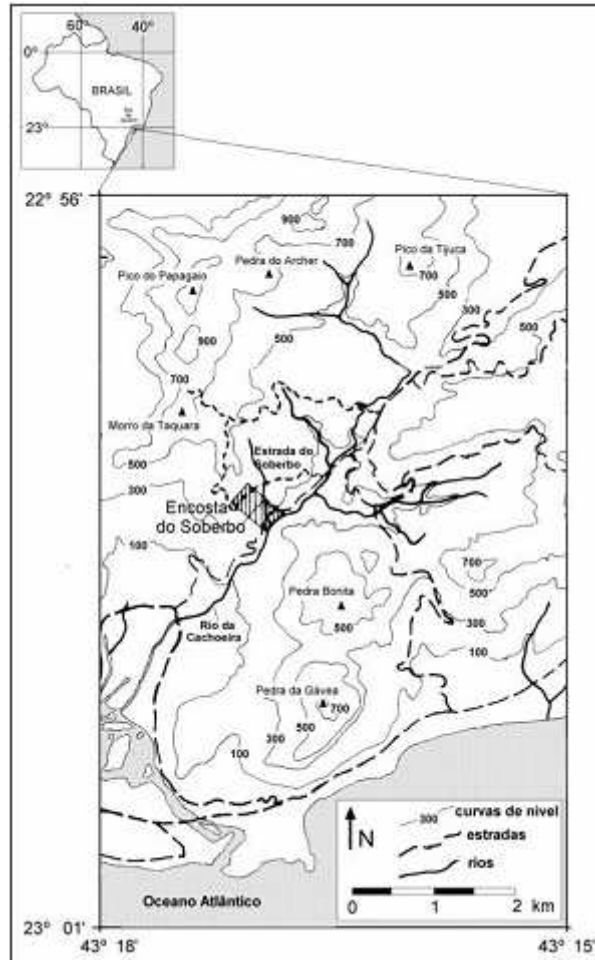


Figura 3. Localização da encosta do soberdo (Barros et al. 1992)

Esses autores estudaram as causas do fluxo detrítico do Soberbo e chegaram à conclusão, a partir dos resultados obtidos e discutidos naquele trabalho, que a queda do bloco gerou a iniciação do fluxo detrítico do Soberbo em 14/01/1966. Entretanto afirmaram que esse mecanismo em tela não excluía a possibilidade de que no evento extremo de chuvas de 1966 outros mecanismos possam ter deflagrado os inúmeros casos de deslizamentos do tipo fluxo detrítico ocorridos no Maciço da Tijuca, assim como no Maciço da Pedra Branca.

No período de 18 a 21 de fevereiro de 1988, eventos pluviométricos de 449 mm em 96h e de 177mm em 24h foram registrados na Cidade do Rio de Janeiro, principalmente nos bairros adjacentes ao Maciço da Tijuca. Segundo Vasconcellos (2015), as consequências dessas chuvas foram centenas de acidentes geológicos que ocorreram nas encostas cariocas com 58 vítimas fatais. Dentre os acidentes mais graves com vítimas fatais, destacaram-se as ocorrências no Morro da Formiga.

Posteriormente, no dia 13 de fevereiro de 1998, ocorreu uma grande chuva de 255mm em 24 horas, cuja intensidade ocasionou um deslizamento de solo residual em talude de corte (Figura 4) sobre uma residência, deixando uma vítima fatal e duas pessoas feridas. Uma das possíveis causas do movimento de massa foi a falta de drenagem na crista do talude associada à elevada inclinação do mesmo. De acordo com SILVA et al. (2000), citado por Vasconcellos (2015), o volume de terra mobilizado foi de 20 m^3 , o que corresponderia a uma ruptura superficial; isto é, para um talude de $10\text{m} \times 12\text{m}$, esse volume corresponderia a uma profundidade de $0,16\text{m}$.



Figura 4. Deslizamento no Morro da Formiga (SILVA et al., 2000)

1.3 Correlações chuva vs escorregamento

A água presente no solo origina-se de muitas fontes e é um dos fatores que mais interferem na estabilidade de taludes.

Quando há precipitação, parte do volume de água que atinge o solo infiltra e parte flui superficialmente (*runoff*) ou fica retido em depressões superficiais. O volume de água infiltrado altera as pressões de água nos poros reduzindo a resistência. Com isso, a chuva tem um papel muito importante na deflagração de movimentos de massa.

Como consequência, há vários estudos que procuram identificar, através de correlações chuva VS escorregamento, limiares pluviométricos críticos, que apresentem elevado potencial de deflagração de ruptura. Tais limiares estariam associados não só às intensidades de chuva, mas também a sua duração.

Serão apresentadas, sucintamente, algumas das correlações consideradas relevantes. Maiores detalhes podem ser encontrados em Chaves (2016)

1.3.1 Experiência Internacional

Hong Kong é uma cidade densamente povoada, montanhosa, semelhante à cidade do Rio de Janeiro. Desde a década de 70, Hong kong vem investindo em pesquisas visando compreender os mecanismos de instabilização de encostas não saturadas e sua correlação com a pluviometria. Lumb (1975), com base em registros no período de 1950 a 1973, concluiu que a melhor forma de definição dos limiares pluviométricos críticos seria correlacionar intensidade de chuva diária (24 horas) VS chuva acumulada nos 15 dias que antecederam a ruptura. Com isso definiu limiares de chuva com potencial de deflagração de rupturas (Figura 5)

Outros autores (Brand et al, 1984; Premchitt et al, 1992; Key & Chen,1995; Pun et al, 2003) revisaram as correlações e os critérios de alerta de deflagração de movimentos de terra, propostos por Lumb (1975), utilizando incluindo dados posteriores a 1973.

Brandt et al (1984) observaram, por exemplo, chuvas localizadas de curta duração e alta intensidade eram extremamente criticas. Por exemplo, intensidades de chuva próximas a 70mm/h apresentavam elevado potencial de ocorrência de escorregamento, com vitima, independente da condição antecedente.

Por outro lado Pun et al (2003) concluíram o oposto; isto é, mostraram que chuvas intensas de uma hora não são necessariamente condições suficientes para

desencadear escorregamentos. O estudo também indicou que intensas chuvas antecedentes de 15 dias ou 30 dias aumentam o número de escorregamentos de grande magnitude, mas não tinham relação com o número de pequenos movimentos de massa.

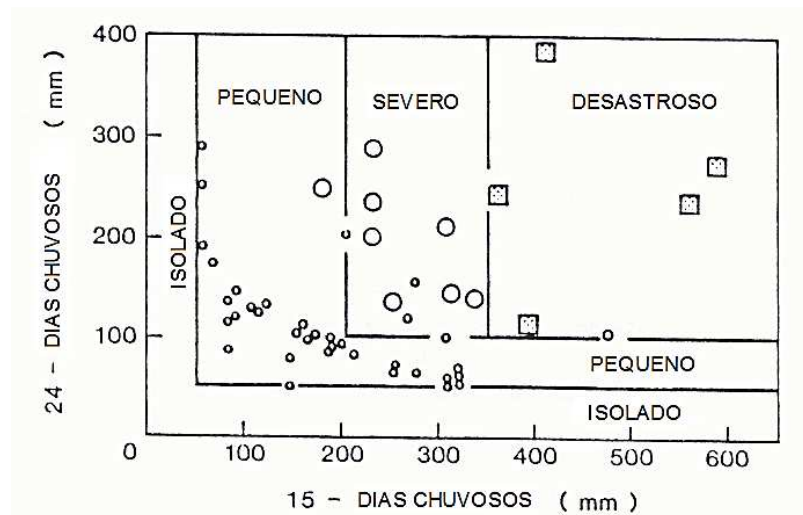


Figura 5. Correlação chuva e categorias dos deslizamentos (Lumb, 1975)

1.3.2 Experiência Brasileira

No Brasil, Guidicini e Iwasa (1976) foram talvez os pioneiros na identificação de correlações chuva VS escorregamento. Com base em registros de precipitação de nove regiões (8 em no Estado de São Paulo e 1 no Rio de Janeiro), aqueles autores propuseram um gráfico subdividindo as zonas de risco (Figura 6), a partir da chuva acumulada. Para tal, foi definido o coeficiente C_c , dado pela equação 1.1.

$$C_c = \frac{\text{precipitação acumuladas até o dia anterior do evento}}{\text{chuva média anual}} \quad (1.1)$$

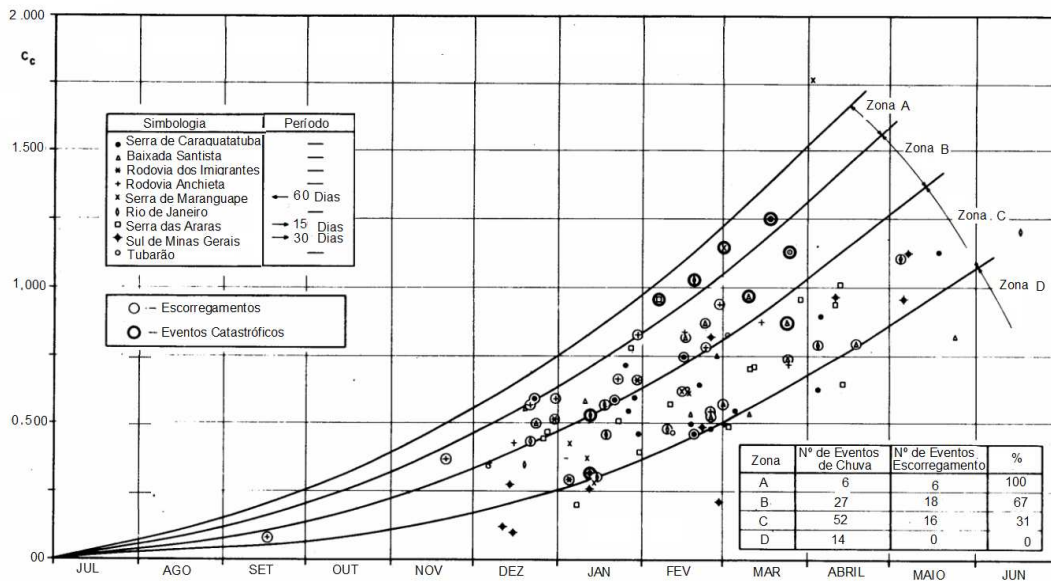


Figura 6. Correlação-coeficiente C_c e deslizamentos (Guidicini e Iwasa 1976)

Tatizana et al. (1987) analisou os eventos de chuva na Serra do Mar, no período de 1956 a 1986 (30 anos), e selecionou aqueles cujos valores eram superiores a 100mm em 1 (um) dia, 150 mm em 2 (dois) dias e 200 mm em 3 (três) dias. A partir desses dados propuseram um limiar de chuva, onde A_c corresponde a chuva acumulada nos últimos 4 dias(mm), indicado na Figura 7.

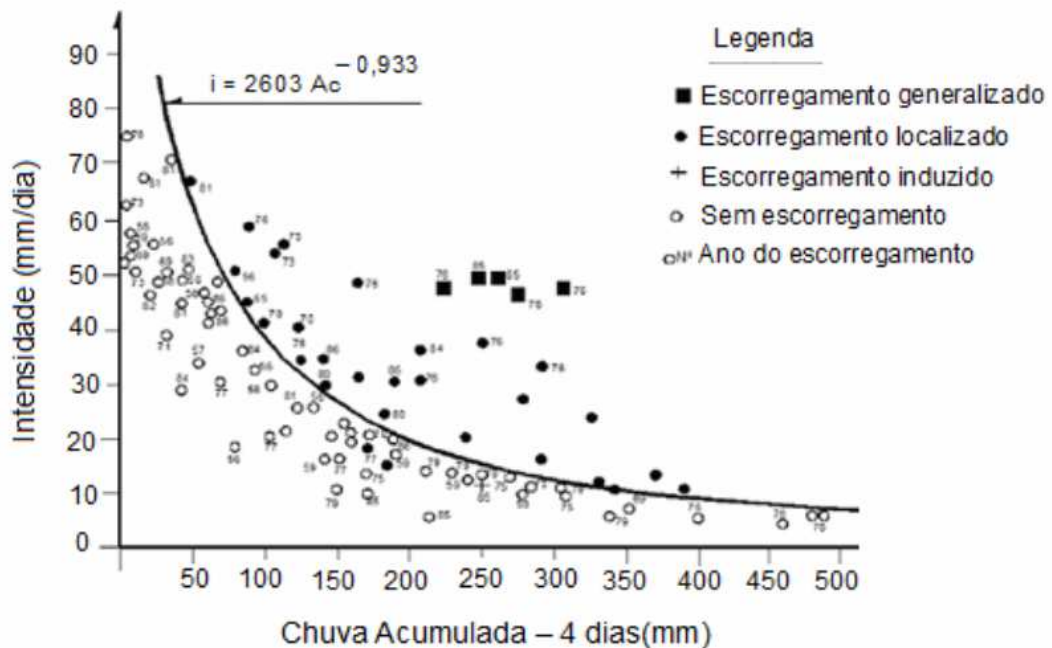


Figura 7. Correlação chuva e ruptura de taludes ocorridos em Serra do Mar, Cubatão – SP (Tatizana et al 1987)

D'Orsi (2011) estudou um trecho Região da Rodovia Federal BR116RJ, localizado na região serrana do Rio de Janeiro. Dentre as diversas combinações de acumuladas pluviométricas (1h, 12h, 24h, 48h, 72h e 96h) o autor conclui que a correlação entre a pluviometria horária (mm/h) e a acumulada diária (mm/24h) era a que melhor definia os limiares pluviométricos de risco, como mostra a Figura 8.

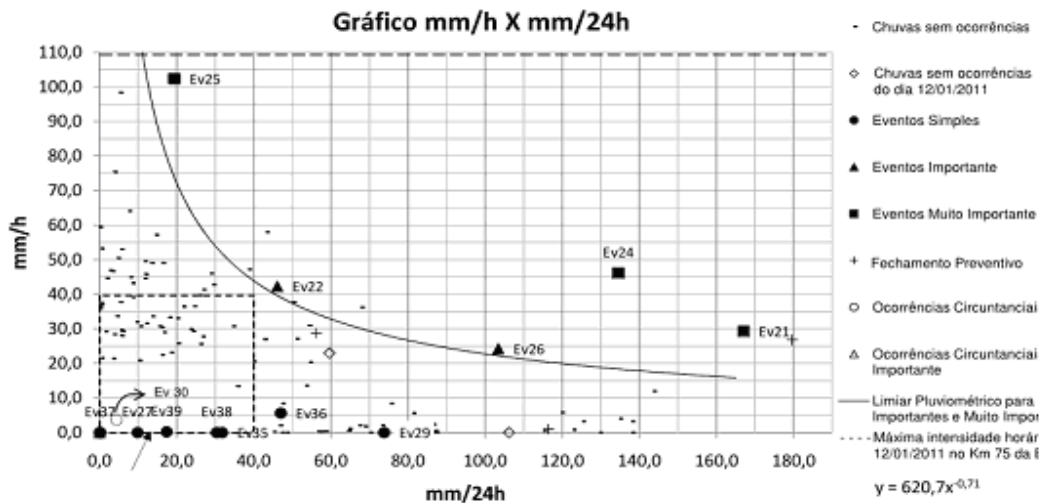


Figura 8. Gráfico de correlação entre “mm/h” e “mm /24h”(D’ Orsi, 2011)

Há, na literatura, outras propostas para o estabelecimento de correlações entre chuvas e escorregamentos de 24 horas. Na sua maioria fazem referência a chuvas de 24 horas que ultrapassem 70 a 100 mm como fatores determinantes na ocorrência de escorregamentos. Resumidamente, são apresentadas, a seguir, algumas destas propostas.

1.3.3 Resumo

A tabela 5 resume as propostas para o estabelecimento de correlações entre chuvas e escorregamentos. Dado as diferentes possibilidades de consideração da chuva acumulada, há uma tendência de utilização de intensidade de chuva horária e de chuvas de 24 horas.

Tabela 5 - Resumo das propostas de correlação chuva x escorregamento

Referência	Local	Período	Critério para definição de evento pluviométrico	Análises / Correlação
Lumb (1975)	Hong Kong	1950 – 1973 (23 anos)		<ul style="list-style-type: none"> ✓ correlação: mm/24h X mm/15dias ✓ Evento severo: mm/24 \geq 100 e mm/15dias \geq 200
Brand et al. (1984)		-	-	<ul style="list-style-type: none"> ✓ fortemente relacionada à precipitação de 24h (mm/24h), ✓ pouca influência da acumulada de 15 dias ✓ Evento severo mm/h \geq 70 mm. ✓ Evento sem escorregamentos: mm/ 24h < 100 mm
Pun et al (2003)		1984 – 1996 (12 anos)	-	<ul style="list-style-type: none"> ✓ correlação: mm/24h X densidade de deslizamento ✓ probabilidade alta de escorregamentos: mm/ 24h > 100 mm ✓ Observada a influencia da acumulada de 15 dias ou 30 dias
Premchitt et al. (1992)		-	-	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Risco elevado para: mm/h \geq 70mm mm/24h \geq 175mm
Au (1993)		-	-	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Risco elevado para mm/24h \geq 70mm ✓ Risco provável para 50mm < mm/24h < 70mm
Guidicini e Iwasa (1976)	São Paulo (9 áreas) e Rio de Janeiro (1 área)	1928 a 1976 (48 anos)	Acumuladas de chuva a partir de 130mm \pm 7%.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Definição de zonas A, B, C e D em função da media de chuva anual e as precipitações até o dia anterior ao evento (Cc) e a precipitação do evento (Cf).
Tatizana et al. (1987)	Serra do Mar Cubatão – SP	1956 a 1986 (30 anos),	1 dia \geq 100mm 2 dias \geq 150 mm 3 dias \geq 200 mm	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Correlação: mm/24h X mm/4 dias ✓ $I(mm/dia) = 2603 A_c^{-0,933}$
D’Orsi (2011)	Serra dos Órgãos, Teresópolis, RJ	1956 a 1986 (30 anos)	Início: 1h \geq 20mm Fim: 4h \leq 5mm	<ul style="list-style-type: none"> ✓ mm/h X mm/24h ✓ $I_{(mm/h)} = 620,7 I_{(mm/dia)}^{-0,71}$

1.4 Sistemas de Alerta

Sistemas de alerta têm como objetivo proteger a população quanto a risco de escorregamentos e potenciais perdas humanas. Uma vez acionado, os moradores da comunidade devem evacuar suas casas e se conduzirem para abrigos preestabelecidos. A qualidade do sistema está associada ao tempo correto para o acionamento dos órgãos de apoio (defesa civil, corpo de bombeiros, etc.) e emissão de sinal de advertência de refúgio para a população.

As correlações entre chuvas de deslizamentos representam a base de dados dos sistemas de alerta. Para tal, faz-se necessário ter confiabilidade dos serviços de meteorologia e estudos constantes para definição dos limiares críticos.

Serão apresentadas sucintamente, algumas dos sistemas de alerta coletados na literatura. Maiores detalhes podem ser encontrados em Chaves (2016).

1.4.1 Experiência Internacional

1.4.1.1 Itália

Na Itália foi desenvolvido e implementado um sistema de aviso de deslizamento de terra, chamado SANF (um sistema nacional de alerta para deslizamentos de terra induzida por efeito de chuva). O sistema é baseado nos seguintes parâmetros:

- (i) limiares de precipitação para possível ocorrência deslizamento de terra,
- (ii) medidas pluviométricas sub-horária obtida por uma rede nacional com 1.950 pluviômetros e
- (iii) previsões de precipitação quantitativa.

Duas vezes por dia, o sistema compara a precipitação prevista com os limiares de intensidade-duração (ID) pré-definidos e atribui a cada chuva uma probabilidade de ocorrência deslizamento de terra. Esta informação é usada para preparar cartas sinóticas em escala mostrando onde ocorrerão os deslizamentos de terra provocados pelo efeito de chuva nas próximas 24 horas.

O sistema de alerta (SANF) está operacional desde outubro de 2009 e, atualmente, o sistema utiliza um único limiar para todo o território italiano, mostrado na Figura 9.

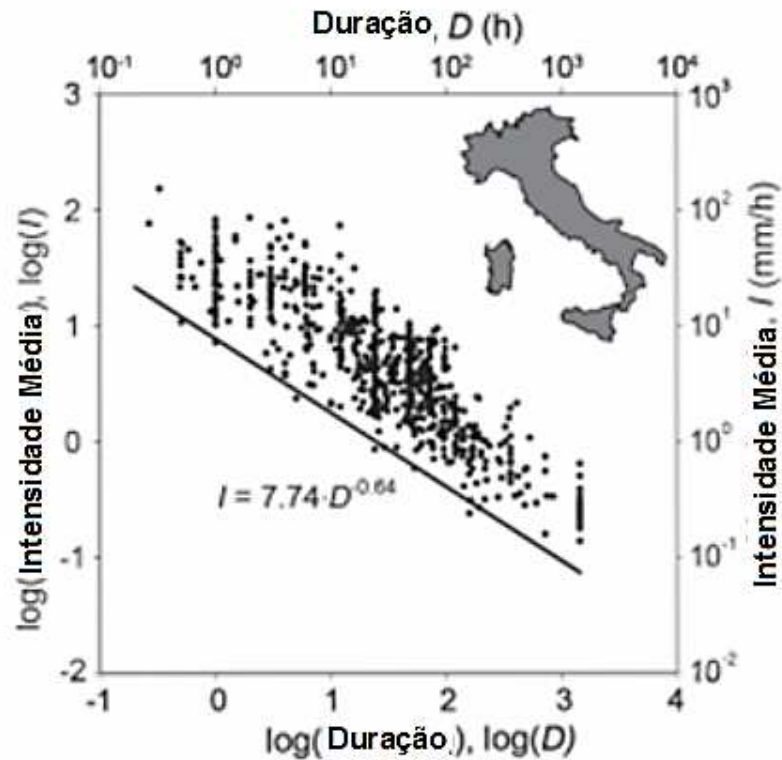


Figura 9. Condições de intensidade-duração (pontos) dos deslizamentos de terra na Itália.

1.4.1.2 Hong Kong

O sistema de alerta de Hong Kong está baseado nos gráficos da evolução da de chuvas com o tempo, coletados em todos os postos pluviográficos instalados na cidade. Tendo em vista que o sistema baseia-se nos registros extraídos dos pluviógrafos, a decisão de se emitir um alerta ocorre quando uma ou outra das seguintes condições ocorrer:

- Dez ou mais pluviógrafos na Ilha de Hong Kong registrarem níveis de chuvas iguais ou superiores a 100mm em 24 horas;
- A intensidade de chuvas em qualquer pluviógrafo exceda 70mm em 1hora;

1.4.1.3 Japão

No Japão, o Ministério dos Transportes e Infraestrutura, a Agência de Meteorologia do Japão e as províncias colaboram na publicidade, divulgação das metas e das informações de alerta de desastres de deslizamentos. A Figura 10 resume a organização do sistema de alerta, que segue os procedimentos abaixo:

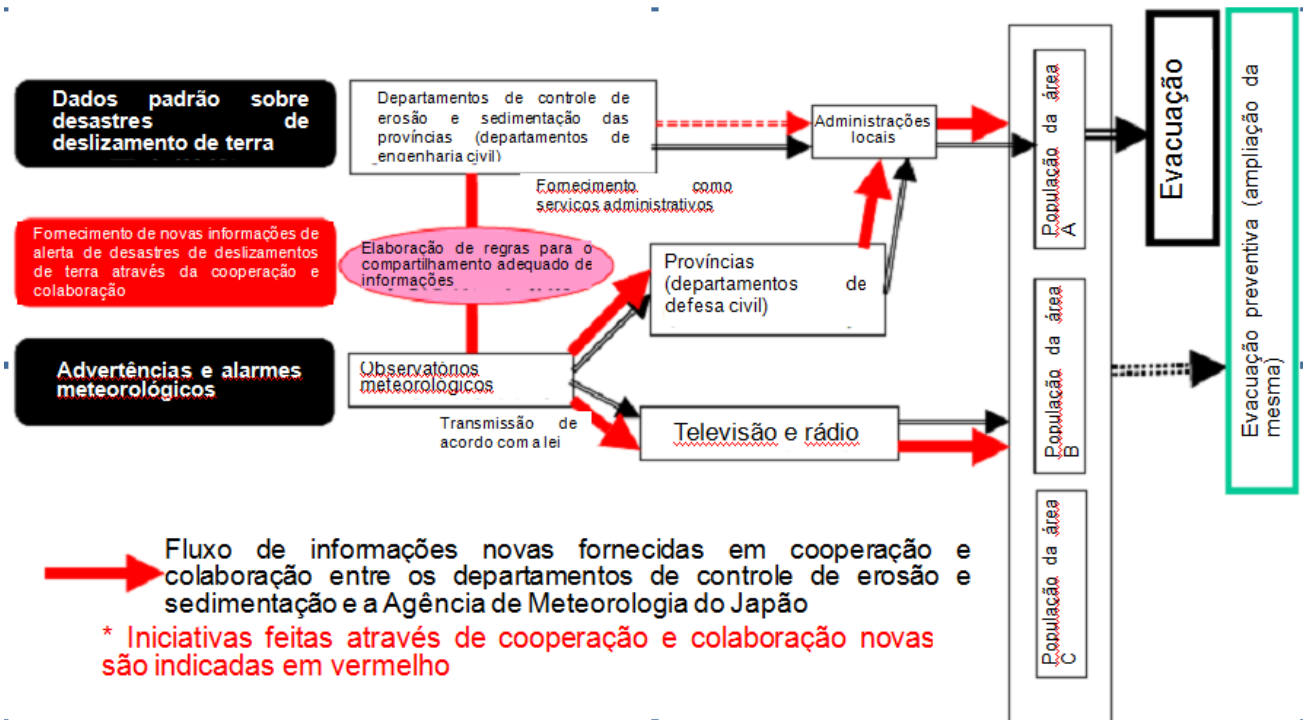


Figura 10. Transmissão e fornecimento de informações de alerta de desastres de deslizamentos de terra. (Departamento de Controle de Erosão e Sedimentação e Departamento de Previsão da Agência de Meteorologia do Japão, 2005)

1.4.2 Experiência Brasileira

1.4.2.1 Município de Petrópolis

Com base nos estudos dos registros pluviométricos do Município de Petrópolis e análise dos 1131 escorregamentos ocorridos no período entre 1940 a 1980, Almeida (1993) estabeleceu limiares pluviométricos para emissão de alertas em 3 condições de estados de riscos. Os estudos tiveram como base os registros dos postos pluviométricos de Petrópolis e de Itamarati. As condições de risco para emissão de alerta, propostas por Almeida, estão resumidas na Tabela 6:

Tabela 6 - Condições de risco e emissão de alerta propostos para o Município de Petrópolis, RJ.(ALMEIDA, 1993)

Condição de Risco	Acumulada pluviométrica em 4 dias (apenas para acumuladas > 30 mm)	Consequências	Número de escorregamentos esperados
Estado 1	≥ 40 mm no posto de Petrópolis	Escorregamentos isolados a esparsos em regiões mais susceptíveis a escorregamentos	1 a 5
	≥ 30 mm no posto de Itamarati		
Estado 2	≥ 90 mm no posto de Petrópolis	Estado preparatório para evento de maior porte	6 a 30
	≥ 60 mm no posto de Itamarati		
Estado 3	≥ 150 mm no posto de Petrópolis	Risco de evento de maior porte, com possibilidade de eventos catastróficos	Acima de 30
	≥ 130 mm no posto de Itamarati		

1.4.2.2 Estado do Rio de Janeiro – CEMADEN-RJ

O Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, mais conhecido por CEMADEN, foi criado em 2011, pela Secretaria de Estado de Defesa Civil, após o mega desastre ocorrido da região serrana do Estado do Rio de Janeiro.

O sistema de alerta é feito a partir do monitoramento de 85 (oitenta e cinco) estações telepluviométricas, distribuídas no estado da seguinte forma: 8 (oito) em Bom Jardim ,18 (dezoito) em Petrópolis, 24 (vinte e quatro) em Teresópolis e 35 (trinta e cinco) em Nova Friburgo.

A decisão para acionar as sirenes é tomada com base nos estágios de alerta dos boletins estaduais de defesa civil e nos índices pluviométricos críticos, obtidos a partir de dados históricos de deslizamentos, ocorridos em cada uma das macrobacias hidrográficas que comportam os municípios supracitados.

1.4.2.3 Cidade do Rio de Janeiro – Prefeitura do Rio

O Sistema Alerta-Rio, da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, foi criado em 1996 e, atualmente, baseia-se no monitoramento automático dos índices pluviométricos de 32 estações telepluviométricas, distribuídas no município como mostra a Figura 11.

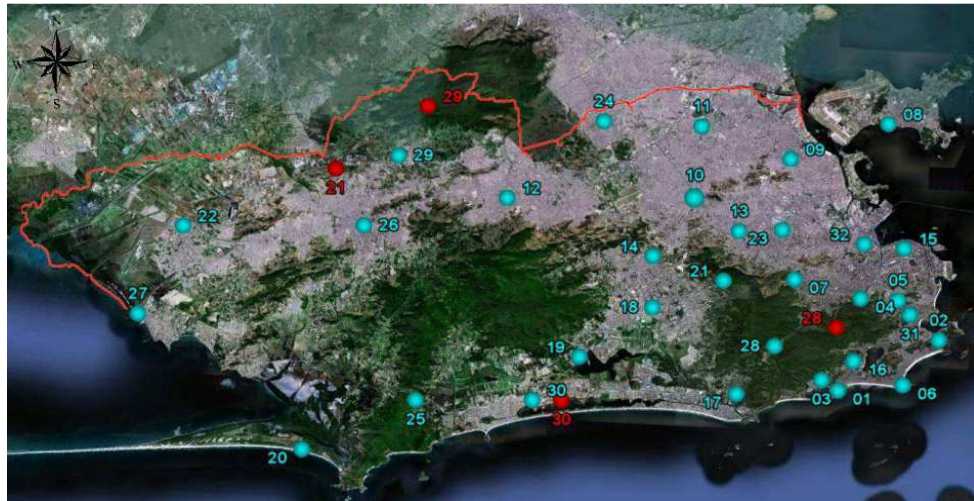


Figura 11. Localização das estações Telepluviométricas.(Sistema Alerta Rio/ Google Earth, 2015)

Os critérios para definição dos limiares pluviométricos críticos foram sendo aprimorados ao longo do tempo. No período 1996 a 2000 adotava-se a correlação mostrada na Figura 12(a). Para o período 2001 a 2005 a correlação foi ligeiramente alterada, como mostra a na Figura 12(b). A diferença básica entre as curvas consiste nos patamares utilizados para a definição dos Níveis de Alerta e de Decisão que de um período para o outro se tornaram mais realistas em razão de uma nova análise feita pelo Corpo Técnico da Fundação Geo-RIO, com base no crescimento do banco de dados de chuvas associados aos deslizamentos no Município. Nessas figuras, as curvas tracejadas indicam que a equipe responsável pelo sistema deveria se reunir para uma eventual necessidade de acionamento do Sistema de Alerta. Este seria

então acionado caso, em uma mesma macrobacia hidrográfica, duas envoltórias fossem atingida em pelo menos 3 estações pluviográficas.

A partir de 2005, a rede foi ampliada e foi estabelecido um novo sistema, doravante denominado Alerta Rio. Com o detalhamento dos laudos de ocorrência de escorregamentos e o mais fácil acesso aos registros pluviométricos, foi proposto um novo critérios pluviométrico, apresentado na Tabela 7.



(a) Período 1996 - 2000



(b) Período 2001 - 2005

Figura 12. Níveis de decisão e de alerta 1996-2005 - Sistema Alerta Rio (D'ORSI et al., 1997 e 2000)

Tabela 7 - Critérios pluviométricos operacionais (Alerta Rio, 2005).

Intensidade/acumuladas pluviométricas	Probabilidade de ocorrência de escorregamento		
	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
mm/h	10 a 30 mm	30 a 50 mm	> 50 mm
mm/24h	50 a 100 mm	100 a 175 mm	> 175 mm
mm/96h	100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h	> 250mm e > 100 mm/24h

1.5 Resistência de solos de encostas

Nas encostas naturais as espessuras de solo são extremamente variáveis. Escorregamentos rasos são em geral decorrentes de heterogeneidades que se desenvolvem paralelamente à superfície do talude, como resultado da evolução de processos de intemperismo. Os escorregamentos rasos podem ser ocasionados pelo avanço da frente saturação devido à infiltração da água de chuva ou até pelo desenvolvimento de poro-pressão (positiva), caso frente encontre algum tipo de obstáculo, como por exemplo, o topo da rocha sã.

Em taludes com espessuras de solo elevadas, o nível freático é normalmente profundo. Conseqüentemente, nestas condições, dificilmente há a elevação do nível d'água, mesmo com chuvas intensas. Entretanto, parece não haver dúvida de que movimentos de massa são provocados por processos de infiltração de águas das chuvas (Fiori e Carmignani, 1950).

1.5.1 Solos não saturados

De acordo com Fredlund (1978), Campos (1984), De Campos (1997), Marinho e Pereira (1998) e Vilar (2006), os solos não saturados diferem dos solos saturados em razão do efeito da sucção causado de características peculiares como capilaridade, absorção e a presença de solutos.

1.5.2 Comportamento da resistência ao cisalhamento

Terzaghi (1943) propôs o princípio das tensões efetivas, onde através da dissipação da pressão de água, tornava-se possível analisar o comportamento do arcabouço sólido. Tal princípio se aplicava para solos saturados.

Para solos não saturados, pesquisas foram desenvolvidas entre o final da década de 50 e início da década de 60, seguindo a mesma abordagem de Terzaghi, (Campos, 1997; Villar, 2006). Neste contexto, Bishop et al. (1960) definiram uma equação (1.2) para tensão efetiva aplicada a solos não saturados:

$$\sigma' = \sigma - u_a + \chi * (u_a - u_w) \quad (1.2)$$

Sendo σ a tensão normal, u_a a pressão no ar, u_w a pressão na água e χ um parâmetro que depende do grau de saturação: para solos saturados $\chi = 1$ e para solos secos $\chi = 0$.

Essa proposta não foi bem aceita pelo meio científico em razão de não fornecer uma relação adequada entre a tensão efetiva e a variação de volume e ser inadequada para determinados tipos de solos.

Fredlund e Moroggenstern (1977) mudaram o tipo de abordagem e sugeriram a extensão do critério de Mohr-Coulomb para a condição de solos não saturados. Assim sendo, os autores propuseram a equação (1.3):

$$\tau = c' + (u_a - u_w).tg\phi^b + (\sigma - u_a).tg\phi' \quad (1.3)$$

Onde σ é a tensão normal, u_a a pressão no ar, u_w a pressão na água, c' e ϕ' parâmetros efetivos de resistência do solo saturado e ϕ^b parâmetro que denota o ganho de resistência em decorrência do aumento da sucção. A Figura 13 mostra representação gráfica, tridimensional, da resistência ao cisalhamento do solo não saturado.

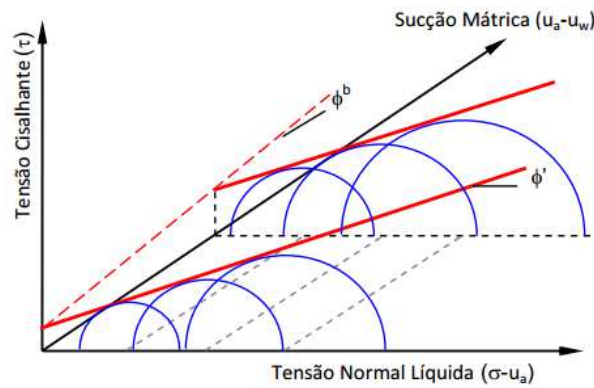


Figura 13. Envoltória de resistência de solos não saturados (Gerscovich, 2012)

Para Fredlund (1978) o ângulo de atrito interno não varia com a sucção, entretanto o aumento linear da coesão é reflexo da influência da sucção no ganho de resistência ϕ^b . Logo a variação da coesão com a sucção pode ser definida pela equação 1.4

$$c = c' + (u_a - u_w) \cdot \text{tg}\phi^b \quad (1.4)$$

Na Figura 14, analogamente à envoltória dos solos saturados, o intercepto coesivo no plano $\tau \times (u_a - u_w)$ pode ser representado pelo parâmetro c .

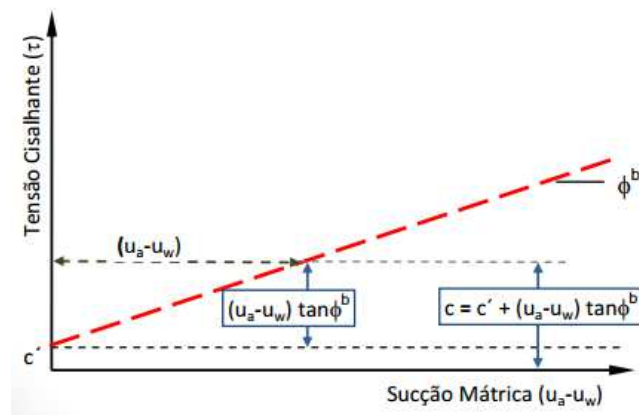


Figura 14. Plano $\tau \times (u_a - u_w)$ (Gerscovich, 2012)

No plano $\tau \times (\sigma - u_a)$ a envoltória pode ser representada por um conjunto de retas paralelas, de inclinação ϕ' , com interceptos variando em função da sucção (Figura 15).

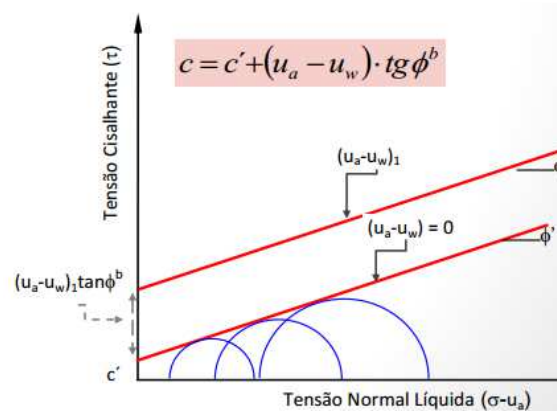


Figura 15. Projeção plano $\tau \times (\sigma - u_a)$ para diferentes valores de sucção (Gerscovich, 2012)

Ao contrário do preconizado por Fredlund (1978), Wood (1979), assim como Escario e Saez (1986) concluíram que o parâmetro ϕ^b deveria variar com a sucção. Para valores baixos de sucção, ϕ^b seria aproximadamente igual a ϕ e, para valores elevados de sucção, ϕ^b tenderia a zero.

Fredlund et al (1987), a partir de resultados de ensaios de cisalhamento direto com sucção controlada, também concluíram que o parâmetro ϕ^b decresce com a sucção e admitiram a não linearidade da resistência ao cisalhamento com a sucção matricial.

No Brasil, alguns pesquisadores propuseram modelos para variação da coesão, mostrados na tabela 8. Abramento e Sousa Pinto (1988) propuseram, a partir dos resultados de ensaios realizados num colúvio não saturado da Serra do Mar, que a coesão deveria variar com a sucção através de uma função exponencial. Rohm (1992) e Machado e Vilar (1998) estudaram solos da região de São Carlos.

Já Futai et al (2004) avaliaram e estabeleceram proposta a partir de ensaios em solos de São Paulo. Resultados experimentais desses autores citados por Ferreira (2010) mostraram que a envoltória de ruptura dos solos não saturados é não linear, ou seja, os parâmetros ϕ' e ϕ^b não são constantes. Ainda segundo Ferreira (2010) resultados apresentados por Franch e Futai (2009) indicaram valores de ϕ^b maiores que o valor de ϕ' , contrariando a proposta de Fredlund et al (1978).

Tabela 8 - Propostas de variação dos parâmetros de resistência com a sucção em solos nacionais (Jesus, A.C 2008)

Autor	Modelos	Solo
Abramento e Souza Pinto (1988)	$c' = 2,5 + (u_a - u_w)^{0,5}$	Colúvio da Serra do Mar
Röhm (1992)	$c = 5,6 + \left[\left(\frac{u_a - u_w}{0,85 + \left(\frac{u_a - u_w}{66,9} \right)} \right) \right] \times \frac{\text{Tan}\phi}{\frac{\sigma - u_a}{P_{atm}}}$	Solo Arenoso da região de São Carlos
Machado e Vilar (1998)	$c = c' + \frac{\psi}{a + b\psi}$	Solo Residual de São Carlos
Futai et al (2004)	$c(s) = c' + [c_{(u_a - u_w = \infty)} - c'] \times (1 - 10^{a(u_a - u_w)})$ $\phi(s) = \phi' + [\phi_{(u_a - u_w = \infty)} - \phi'] \times (1 - 10^{b(u_a - u_w)})$	São Paulo

2 ÁREA DE ESTUDO: COMUNIDADE DA FORMIGA – MACIÇO DA TIJUCA

No Município do Rio de Janeiro, inúmeros bairros e comunidades se desenvolveram no entorno do Maciço da Tijuca. Como mostra a Figura 16, o maciço localiza-se numa região central da cidade e é circundado pelos bairros da Barra da Tijuca, Jacarepaguá, Madureira, Engenho novo, Grajaú, Tijuca, Catumbi, Laranjeiras, Jardim Botânico e São Conrado. O Maciço da Tijuca possui uma área de 118,7 km², marcada por um relevo montanhoso, que pode ser subdividido em cinco grandes subsistemas hidrográfico, como indica a Figura 16. Mapa de localização do Maciço da Tijuca (Fernandes, 1998). De uma maneira geral estes setores encontram-se ambientalmente degradados, face às condições de remoção florestal proveniente de desmatamentos, queimadas e ocupações desordenadas.

O maciço da Tijuca é caracterizado por um clima definido como tropical de altitude. Até 500 metros de altura o clima é tropical e, acima desta altitude, a temperatura é do tipo climático temperado. O período de maior precipitação é do

mês de outubro ao mês de abril, com precipitação média anual em torno de 2.200mm, a temperatura média anual é 22°C.

Sua cobertura vegetal compreende formações florestais de grande porte, densas, de áreas de clima mesotérmico, onde, dependendo da duração do período seco, algumas espécies perdem as folhas.



Figura 16. Mapa de localização do Maciço da Tijuca (Fernandes, 1998)

O presente estudo foi concentrado na vertente norte, particularmente na encosta ocupada pela Comunidade da Formiga. A escolha desta área teve como motivações o fato de ter sofrido inúmeros eventos movimento de massa em 2010 e de pertencer a um grupo de comunidades pacificadas, apresentando baixa periculosidade.

A Comunidade da Formiga, localizada no bairro Tijuca (Figura 17), ocupa uma área de 199.255 m² (Fonte: Página UPP – Formiga), na encosta norte do Maciço da Tijuca. A comunidade possui população estimada de 4.132 pessoas, com base no Censo 2010 do IBGE (Fonte: Instituto Pereira Passos).

Dentre os últimos anos, o ano 2010 foi marcado por uma série de escorregamentos em diversas localidades no Município do Rio de Janeiro, em

decorrência de períodos de precipitação intensa. Na Comunidade da Formiga, os movimentos de massa se concentraram, principalmente, no fim do mês de março e início do mês de abril.

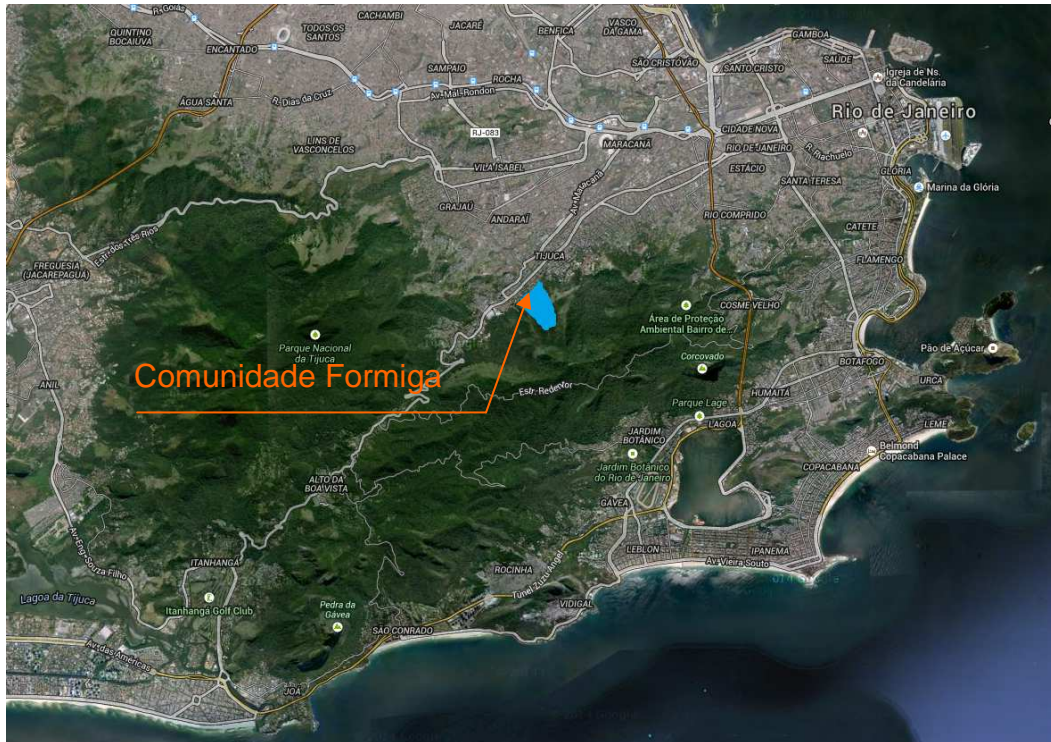


Figura 17. Mapa de localização da Comunidade Formiga no Maciço da Tijuca.

2.1 Aspectos Geomorfológicos do Maciço da Tijuca

2.1.1 Litologia

A litologia aflorante encontrada no maciço, em sua maioria, foi gerada na colagem de placas no período Neoproterozoico/Cambriano, estando associados aos granitos, gnaisses e pegmatitos.

A massa granítica presente na área de estudo é constituída basicamente por quartzo, k-feldespato e biotita e pode ser encontrada na forma de afloramento (in situ) ou em blocos e matacões, quando transportados (Figura 18). O granito, denominado de Granito Favela, apresenta granulação fina e encontra-se sobre forma de diques.



Figura 18. Blocos de Granito transportados

O gnaissé presente na área de estudo foi formado por metamorfismo regional de alto grau. Dependendo da rocha de origem, pode ser chamada de paragnaisse se originário de rocha sedimentar ou ortognaisse se for produto de rocha ígnea. O gnaissé facoidal (Figura 19) encontrado na Floresta da Tijuca é assim descrito devido aos feldspatos estirados que se assemelham a facas. O biotita gnaissé é classificado como paragnaisse com uma quantidade grande de biotita e apenas pode ser encontrado no circuito das grutas.

Já os pegmatitos são rochas constituídas de feldspatos, quartzos e micas. Possuem granulometria mais grossa sob a forma de veios ou outras formas mais complexas.

2.1.2 Tipo de Solo

Os solos derivados de granitos e gnaisses apresentam-se como argilosos ou argilo-arenosos, geralmente de cor vermelha, constituído de grãos de quartzo, feldspatos, partículas micáceas, argilas caoliniticas atacadas por substancias ferricas. Os solos derivados de diabásio e basaltos dão origem praticamente a terras roxas. Estes situam-se nos vales entre as montanhas. Solos originados de dioritos, são de alto grau de teor de cálcio e fósforo.

Na região do maciço da Tijuca, em algumas áreas de encostas, observa-se o afloramento de rocha, exposto pela erosão. Nas áreas onde a vegetação começa a se recompor encontram-se concentrações arenosas de granulação grosseira.



Figura 19. Gnaiss facoidal (Roza, A. G. 2007)

2.2 Ação Antrópica

Segundo CAES- PUCRS, a partir da reforma urbana promovida pelo prefeito Pereira Passos, entre 1902 e 1906, a disposição das habitações na cidade do Rio de Janeiro sofreu transformações profundas. Um grande contingente de pessoas pertencentes a extratos sociais desprivilegiados (em boa parte ex-escravos e seus descendentes) foi removido das regiões mais nobres, que seriam totalmente reconstruídas. Como isso, essa população passou a ocupar os até então desabitados morros da cidade, erguendo moradias precárias e irregulares. O processo de modernização urbanística empreendido pelo prefeito Pereira Passos foi acompanhado pelo crescimento das favelas. A demolição de habitações empobrecidas da área central da cidade e a construção de moradias populares, sobretudo na periferia da cidade, não foi suficiente para absorver toda a população que antes residia na área central. Parte dos antigos moradores do centro permanece na região, ocupando encostas de morros, provocando o crescimento acelerado das favelas, que passaram a fazer parte da paisagem carioca.

Não há consenso sobre as raízes da comunidade que formou o Morro da Formiga. De acordo com levantamento realizado pelo ICOS, imigrantes alemães e portugueses teriam iniciado construções na região no ano de 1911. Anos depois, em 1934, o surgimento de um loteamento nas imediações teria suscitado um número considerável de novas edificações no morro. Por fim, a ocupação teria se expandido com base na presença de um grande número de operários que chegaram à região motivados pelo eventual emprego de sua mão de obra na construção das novas moradias. Ademais, visualizando no morro vastas porções de terra ainda despovoadas, tais operários teriam optado pela instalação de suas próprias famílias no local.

3 CHUVAS E MOVIMENTOS DE MASSA – COMUNIDADE DA FORMIGA - ANO 2010

A definição do ano de 2010 como ano objeto de estudo deu-se em função da atividade intensa e prolongada de evento chuvoso nos meses de março e abril, período este em que foram observados inúmeros movimentos de massa de solo tanto no município do Rio de Janeiro, como no Estado do Rio de Janeiro.

3.1 Histórico de Chuvas – Ano 2010

O Sistema Alerta-Rio disponibiliza os dados de chuva desde o ano de 1997, além dos Relatórios Anuais, compreendendo o período de 2001 até 2014. Para esse estudo compreendeu-se que, dentre as estações telepluviométricas distribuídas pelo município do Rio de Janeiro, mostradas na Figura 11, a estação 04 – Tijuca estaria mais próxima e representaria de forma mais coerente às precipitações na comunidade da Formiga.

De fato, o ano de 2010 foi atípico em termos de chuva mensal. A Figura 20 compara os valores de chuva média mensal, calculados segundo dados do INMET, no período de 1966 a 1990, e segundo os registros do Sistema Alerta-Rio, no período de 1997 a 2009, com os registros do mesmo Sistema Alerta Rio, na Estação 04, em 2010. Observa-se claramente que as precipitações em março e abril de 2010

atingiram cerca de 350mm e superaram em mais de 100 % as medias históricas da cidade do Rio de Janeiro.

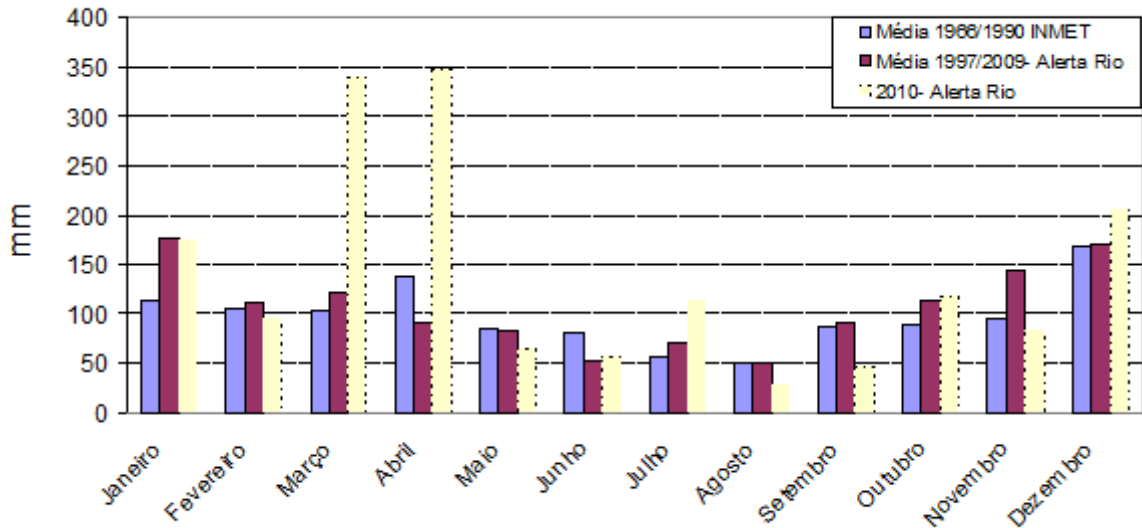


Figura 20. Gráfico comparativo de precipitação mensal na cidade do Rio de Janeiro

Os dados pluviométricos oriundos da Estação 4 foram analisados e as informações foram separadas em eventos de chuva com ou sem ocorrências de deslizamentos. Os eventos com ocorrência são simples de serem definidos, desde que se conheça a data e hora do movimento de massa. Já eventos sem ocorrências não possuem um instante para ser referenciado; conseqüentemente, seu estabelecimento depende do critério adotado para definição desta referência.

Os eventos pluviométricos sem ocorrências são representados por horários de início e horários de fim. Tomando-se como referência as premissas de D'orsi, dentro do período de duração de cada evento foram consideradas importantes duas situações.

- Situação 1: Maior chuva horária inserida dentro do período de duração do evento;
- Situação 2: Maior chuva acumulada inserida dentro do período de duração do evento;

Cada situação indicada acima irá representar um ponto no gráfico de correlação de chuva com escorregamentos.

Os eventos pluviométricos com ocorrência são representados pelo horário em que se deu a ocorrência. Para cada ocorrência foram definidos seus respectivos horários e pode-se observar que das 27 ocorrências reportadas, há ocorrências para as quais foram atribuídos o mesmo horário, ou seja, há duas ou mais ocorrências superpostas de forma que nas tabelas resumo dos eventos pluviométricos são representadas 19 ocorrências.

Adicionalmente, independentemente de ter ou não havido ocorrência, é preciso estabelecer a partir de qual intensidade de chuva inicia-se ou finaliza-se um evento pluviométrico. Para a pesquisa em curso, seguiu-se a proposta adotada pelo sistema Alerta-Rio:

1. O início do Evento Pluviométrico é determinado quando o acumulado pluviométrico em uma hora for maior ou igual a 1mm/h, para cada estação.
2. O fim do Evento Pluviométrico é determinado quando o acumulado pluviométrico em uma hora for inferior ou igual a 1mm/h e houver a permanência dessa condição por no mínimo 6h (seis horas), para cada estação.

Com base nas definições acima, foram geradas planilhas contendo todos os períodos de chuva definidos como eventos, e calculadas a precipitação acumuladas em 15min, 1h, 4h, 24h e 96h. A Tabela 9 mostra os resultados de mês de janeiro, sendo os dados relativos aos demais meses apresentados no Anexo 1.

Tabela 9 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Janeiro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Janeiro	Horária	15/01/2010	02:00:20	10,8	35,8	38,4	58,4	58,4
	Acumulada	15/01/2010	06:45:20	0	0,6	15,2	75,4	75,4
	ocorrência	15/01/2010	20:00:20	0,2	3,8	9,4	68	85,4
	Horária	15/01/2010	23:00:20	3,2	21	27,4	88,6	109
	Acumulada	16/01/2010	00:45:20	0	0,6	31	94,2	116,4
	Horária	19/01/2010	19:30:20	0,4	4,6	4,6	4,6	36
	Acumulada	19/01/2010	20:15:20	0	0,6	4,8	4,8	36
	Horária	22/01/2010	00:45:20	0,2	6,2	6,2	6,8	11,8
	Acumulada	22/01/2010	01:30:20	0	0,4	6,4	7	12
	Horária	22/01/2010	18:15:20	21,4	57	57	63,6	69,2
	Acumulada	22/01/2010	21:30:20	0	0,8	62,4	75	80,6
	Horária	25/01/2010	17:45:20	1	10,6	10,6	14	89,2
	Acumulada	25/01/2010	21:15:20	0	0,8	12	20,8	96,4

3.1.1 Tempo de Recorrência

Em função das elevadas medidas (mm) de precipitação de chuva em março e abril e de sua concentração em determinados dias do mês, foi desenvolvido estudo de tempo de retorno de um evento de chuva com precipitação igual a 150 mm e com oito (8) horas de duração ocorrido no dia 06 de abril de 2010, data próxima ao registro da maioria das ocorrências.

Tucci (2009) cita a expressão proposta por Otto Pfafstetter (1957) para a definição do tempo de retorno:

$$P = \left\{ T^{\left(\alpha + \frac{\beta}{r^{0,25}} \right)} \right\} \times \{ \alpha \times t + b \times \log(1 + c \times t) \} \quad (3.1)$$

Onde P é a precipitação total máxima (mm); a, b e com são parâmetros do local; α e β são parâmetros que dependem da duração da precipitação; t é a duração da precipitação; T é o período de recorrência (anos); γ pouco influencia no ajuste da curva ($\gamma = 0,25$ para todos os postos);

Os parâmetros β , a, b e c são retirados da Tabela 10 desenvolvida por Pfafstetter(1957) e são função do local, no caso desta pesquisa forma adotados os parâmetros relativos ao Rio de Janeiro. O parâmetro α , de valor também originado da

Tabela 11 de Pfafstetter(1957), é definido de acordo com a duração da chuva.

Tabela 10 - Valores de β , a, b e c para a cidade do Rio de Janeiro (Pfafstetter 1957)

Posto	Valores de β - Duração				A	B	C
	5 minutos	15 minutos	30 minutos	1h- 6 dias			
Rio de Janeiro	-0,04	0,12	0,12	0,20	0,0	35	10

Tabela 11 - Valores de α (Pfafstetter 1957)

Duração	α	Duração	α	Duração	α
5 minutos	0,108	15 minutos	0,122	30 minutos	0,138
1h	0,156	2h	0,166	4h	0,174
8h	0,176	14h	0,174	24h	0,170
48h	0,166	3dias	0,160	4 dias	0,156
6 dias	0,152				

A equação de Pfafstetter(1957) conduziu a um tempo de retorno de 27 anos para o evento de chuva ocorrido no Rio de Janeiro com oito (8) horas de duração.

Cabe ainda ressaltar que os movimentos de massa marcantes ocorridos na cidade do Rio de Janeiro têm um tempo de recorrência de cerca de 30 anos.

3.2 Histórico de Movimentos de Massa

A Fundação Geo-Rio, no âmbito do Sistema Alerta Rio, produz boletins de ocorrências que descrevem a situação ocorrida e suas consequências. O boletim é bastante detalhado, entretanto, em alguns casos observou-se lacunas nas informações relativas à hora e data exatos dos movimentos. Sem dúvida a análise da situação ocorrida também é subjetiva, ficando a cargo de cada técnico responsável pelo preenchimento do boletim.

Desta forma, para a obtenção de todas as informações relativas às ocorrências, foi necessário o apoio do Corpo de Bombeiros Militar do Rio de Janeiro-CBMERJ, o qual cedeu seus registros de chamadas de socorro, feitas por telefone (número 193). Adicionalmente, foram feitos contatos com a associação de moradores da comunidade, com a finalidade de obtenção, mais precisa, dos horários dos eventos de escorregamento.

No ano de 2010, apenas na Comunidade Formiga, a Geo-Rio atendeu a vinte e sete (27) ocorrências. É apresentado, na Tabela 12, um resumo das ocorrências no qual são indicados os meses dias e horários de cada ocorrência.

Tabela 12 - Resumo dos laudos de ocorrência.

Laudo	Data	Horário	Laudo	Data	Horário
1	15/01/2010	20 h	14	06/04/201	21:30h
2	07/03/2010	2 h	15	06/04/201	22:30h
3	06/04/2010	8 h	16	06/04/201	22:30h
4	06/04/2010	8:30 h	17	06/04/201	22:30h
5	06/04/2010	8:30h	18	06/04/201	22:30h
6	06/04/2010	10:30h	19	06/04/201	22h
7	06/04/2010	11:30h	20	06/04/201	23:00h
8	06/04/2010	14h	21	06/04/201	23:30h
9	06/04/2010	15 h	22	07/04/201	0 h
10	06/04/2010	15 h	23	07/04/201	1 h
11	06/04/2010	15h	24	09/05/201	8:00h
12	06/04/2010	20h	25	09/05/201	22 h
13	06/04/2010	21 h	26	09/05/201	8:00h
			27	09/05/201	9:30h

3.2.1 Tipologia e Volume mobilizado

Nos boletins de ocorrência, o técnico da Fundação GeoRio informa o tipo de ocorrência e faz uma previsão do volume de massa envolvida. Quanto à tipologia, a classificação adotada pela Geo-Rio está apresentada na Tabela 13. Quando uma mesma ocorrência envolve diferentes tipologias, esta é classificada como composta. Quanto ao volume mobilizado, o técnico responsável pela vistoria indica a categoria mais adequada, conforme a subdivisão mostrada na Tabela 13.

Com base nessas classificações, as 27 ocorrências do ano de 2010 foram classificadas como mostra a Tabela 15. Observa-se que (Tabela 16) a grande maioria (74%) foi classificada como escorregamento em solo, sendo parte decorrente talude em corte (categoria 1) e parte em talude em encosta (categoria 5).

Tabela 13 - Tipologias para a classificação das ocorrências (Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010)

Tipologia das ocorrências		
Não se trata de ocorrências pertencentes à Geo Rio		0
Talude de corte	Escorregamento de solo	1
	Escorregamento de solo/rocha	2
	Escorregamento de rocha	3
Ruptura de aterro		4
Encosta natural	Escorregamento de solo	5
	Escorregamento de solo/rocha	6
	Escorregamento de rocha	7
Queda/Rolamento de blocos ou lascas rochosos		8
Escorregamento de tálus		9
Ruptura de estrutura de contenção		10
Escorregamento de lixo/entulho		11
Corrida		12
Processos erosivos/ assoreamento		13
Ameaça	-	

Tabela 14 - Categorias de Volume Mobilizado (Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010)

Volume Mobilizado (m ³) (solo, rocha, vegetação, etc.)	Categoria
1 a 10	A
11 a 100	B
101 a 1000	C
> 1000	D
Não Disponível	ND

Tabela 15 - Classificação das ocorrências em função da tipologia e volume mobilizado

Laudo	Classificação da Tipologia	Volume mobilizado [m³]	Classificação	Laudo	Classificação da Tipologia	Volume mobilizado [m³]	Classificação
1	1	4	A	15	10	1	A
2	10	15	B	16	1	30	B
3	1	50	B	17	1	10	A
4	5	300	C	18	12	30	B
5	5	50	B	19	1	20	B
6	1	3	A	20	5	4	A
7	5	20	B	21	5	12	B
8	1	5	A	22	1	3	A
9	4	40	B	23	5	15	B
10	1	3	A	24	1	1	A
11	1	6	A	25	10	10	A
12	5	500	C	26	5	10	A
13	10	3	A	27	13	10	A
14	5	4	A				

Tabela 16 - Porcentagem de ocorrências por Tipologia

Tipologia	Quantidade	%
1	11	40,7
4	1	3,7
5	9	33,4
10	4	14,8
12	1	3,7
13	1	3,7

Quanto aos volumes mobilizados, a maioria envolveu volumes pequenos, inferiores a 10m³, como mostra a

Tabela 17.

Tabela 17 - Classificação das ocorrências em função do Volume Mobilizado

Categoria	Quantidade	%
A	15	55,5
B	10	37,0
C	2	7,5

3.2.2 Classificação das intensidades de chuva nos eventos com ocorrência

Os eventos pluviométricos ocorridos nos anos de 2010 foram analisados segundo as propostas de D'orsi (2011), Tatizana (1987) e o critério atual do Sistema Alerta Rio. A Figura 21 e a Figura 22 mostram os resultados dos eventos com ocorrências para as duas primeiras propostas. Observa-se que, de acordo com o critério de D'Orsi, a linha de tendência encontra-se acima da grande maioria dos eventos. Por outro lado, a proposta de Tatizana mostrou-se completamente inadequada; praticamente todos os eventos ficaram abaixo da curva que representa o limiar pluviométrico crítico.

Quanto aos critérios do Sistema Alerta Rio feitos com base na análise dos escorregamentos que compõem a base de dados da Fundação Geo-Rio, aquele Órgão estabeleceu um quadro de Nível de alerta (Tabela 7) sobre expectativa de acidentes geotécnicos e/ou geológicos para a cidade do Rio de Janeiro. Graficamente, esse quadro fica representado por 3 gráficos, mostrados na Figura 23 a Figura 25. Mais uma vez, assim como os demais modelos, a presença dos 4 eventos atípicos de escorregamento com chuvas de baixa (mm/h).

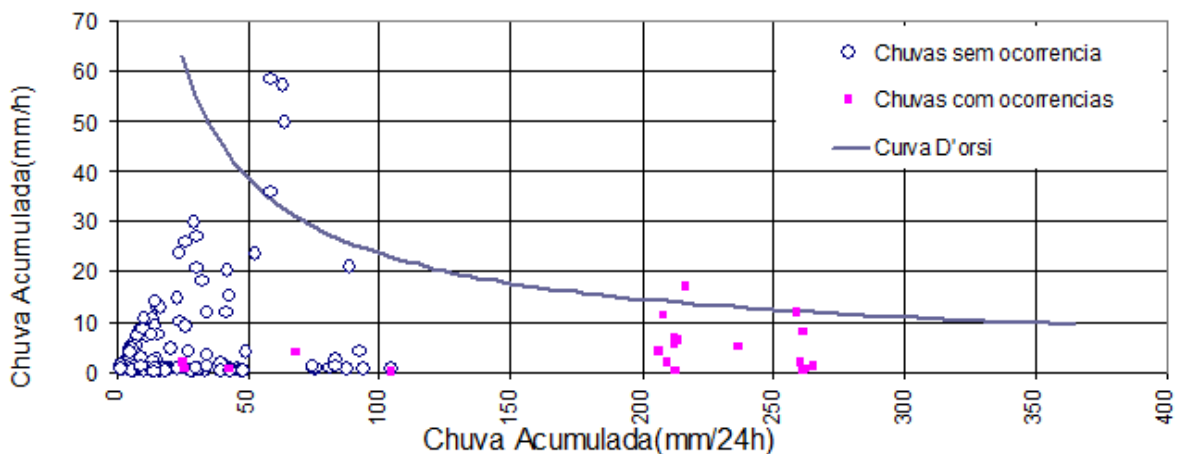


Figura 21. Aplicação da proposta de D'Orsi (2011) ao banco de dados de 2010 do morro da Formiga, 2011)

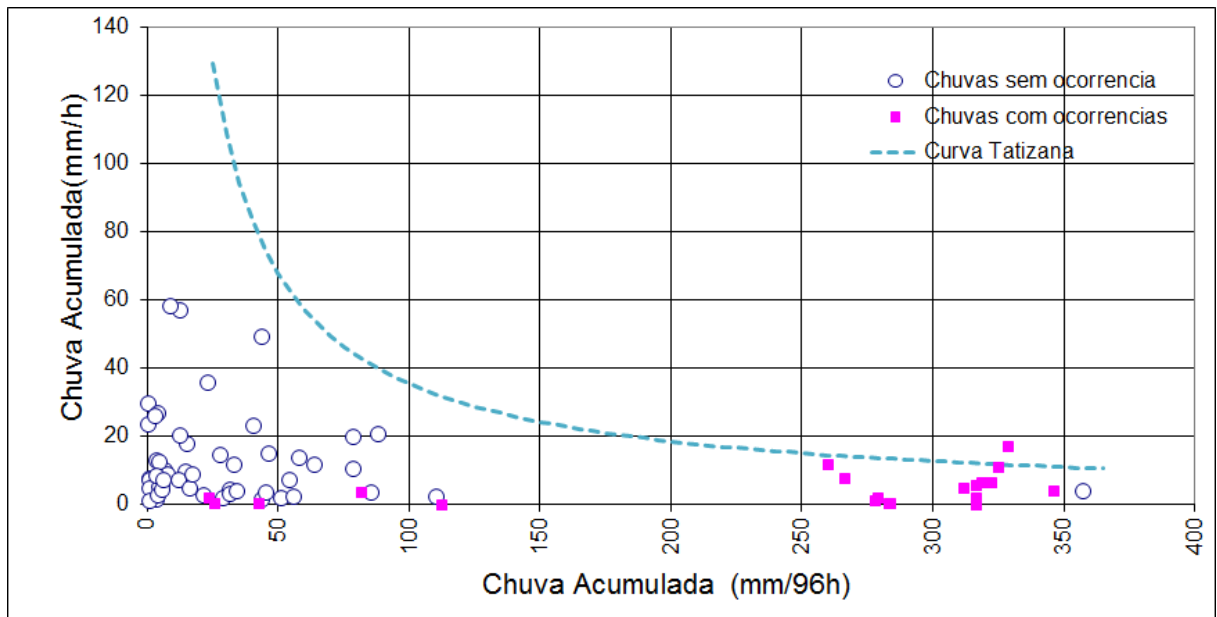


Figura 22. Aplicação da proposta de Tatizana et al (1987) ao banco de dados de 2010 do morro da Formiga.

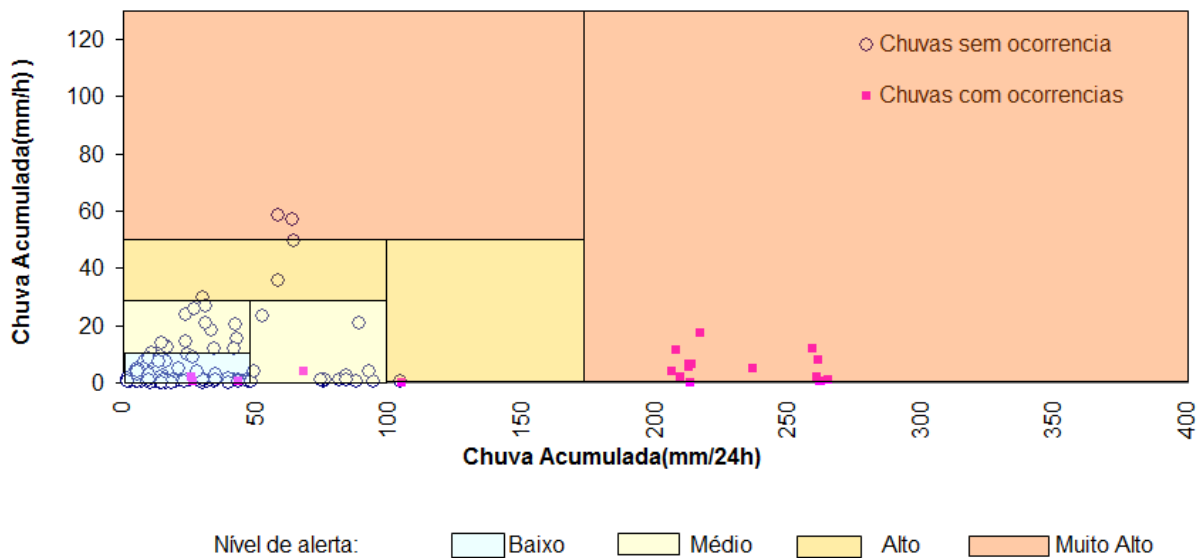


Figura 23. Gráfico de correlação entre mm/h e mm/24h – Faixas de alerta adotadas pela Fundação Geo-Rio, 2005.

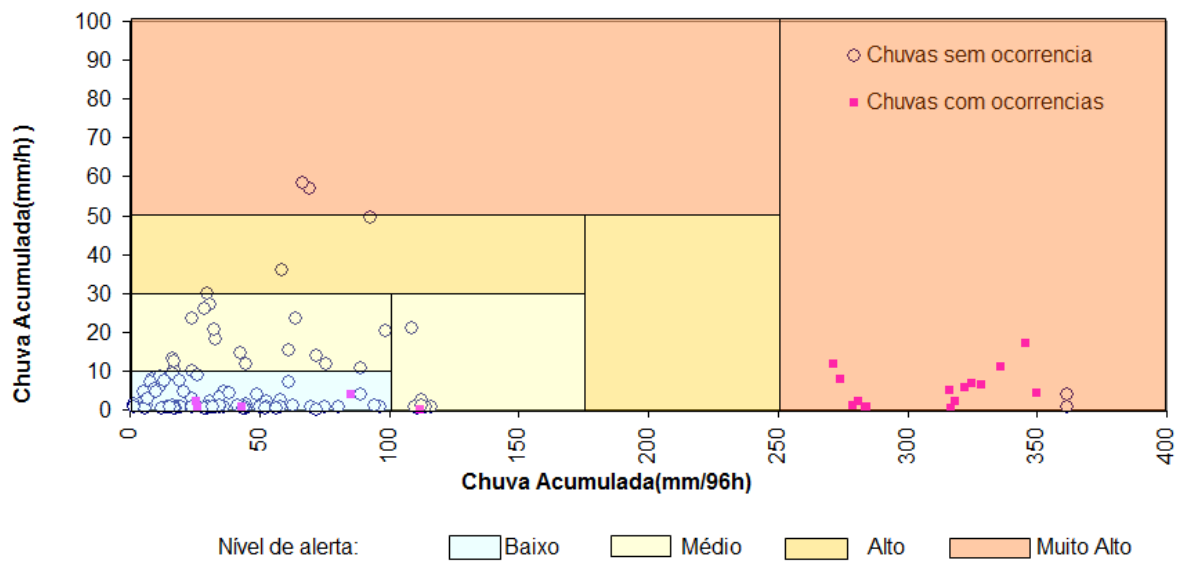


Figura 24. Gráfico de correlação entre mm/h e mm/96h – Faixas de alerta adotadas pela Fundação Geo-Rio, 2005.

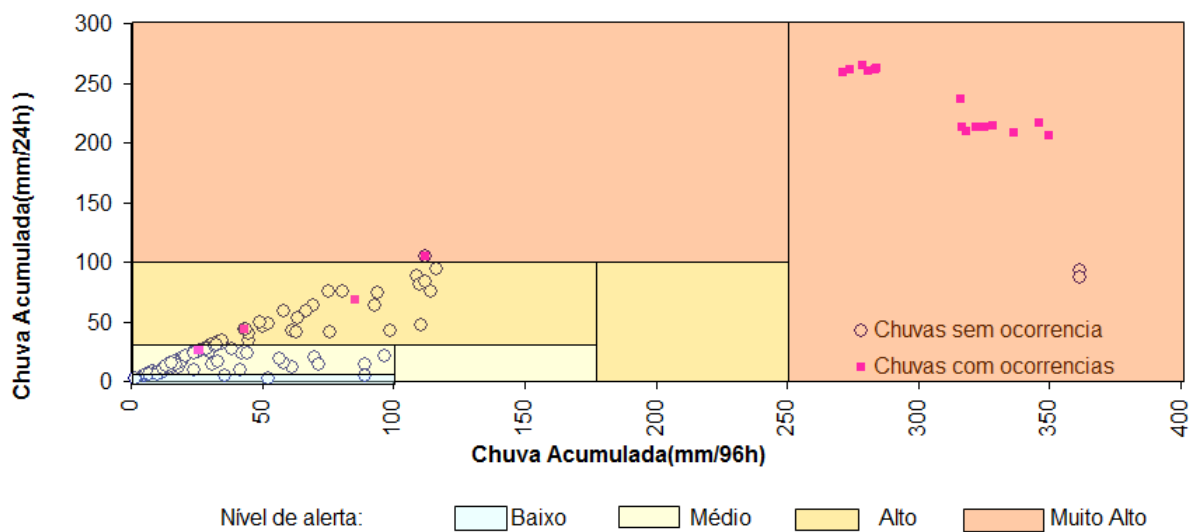


Figura 25. Gráfico de correlação entre mm/24h e mm/96h – Faixas de alerta adotadas pela Fundação Geo-Rio, 2005.

A análise comparativa entre o quadro de Nível de Alertas utilizado pela Geo-Rio e a correlação entre chuva e escorregamento do Morro da Formiga, no que concerne aos pontos destacados da nuvem de não ocorrência, indicou que todos os pontos de ocorrência se desenvolveram para acumulados de 1h inferiores aos parâmetros adotados pela Geo-Rio. Entretanto, nem todos os pontos estão enquadrados dentro dos parâmetros que compõem os intervalos de nível alto e nível muito alto.

Sendo assim compreende-se que, no comportamento de escorregamentos da Comunidade Formiga, os casos estudados enquadram-se melhor na linha de acumulados de mm/24h do que na linha de acumulados de mm/h ou de mm/96h. Com relação aos acumulados de mm/96h observou-se que nenhum dos casos de escorregamento se encaixou nos parâmetros adotados como níveis de alerta.

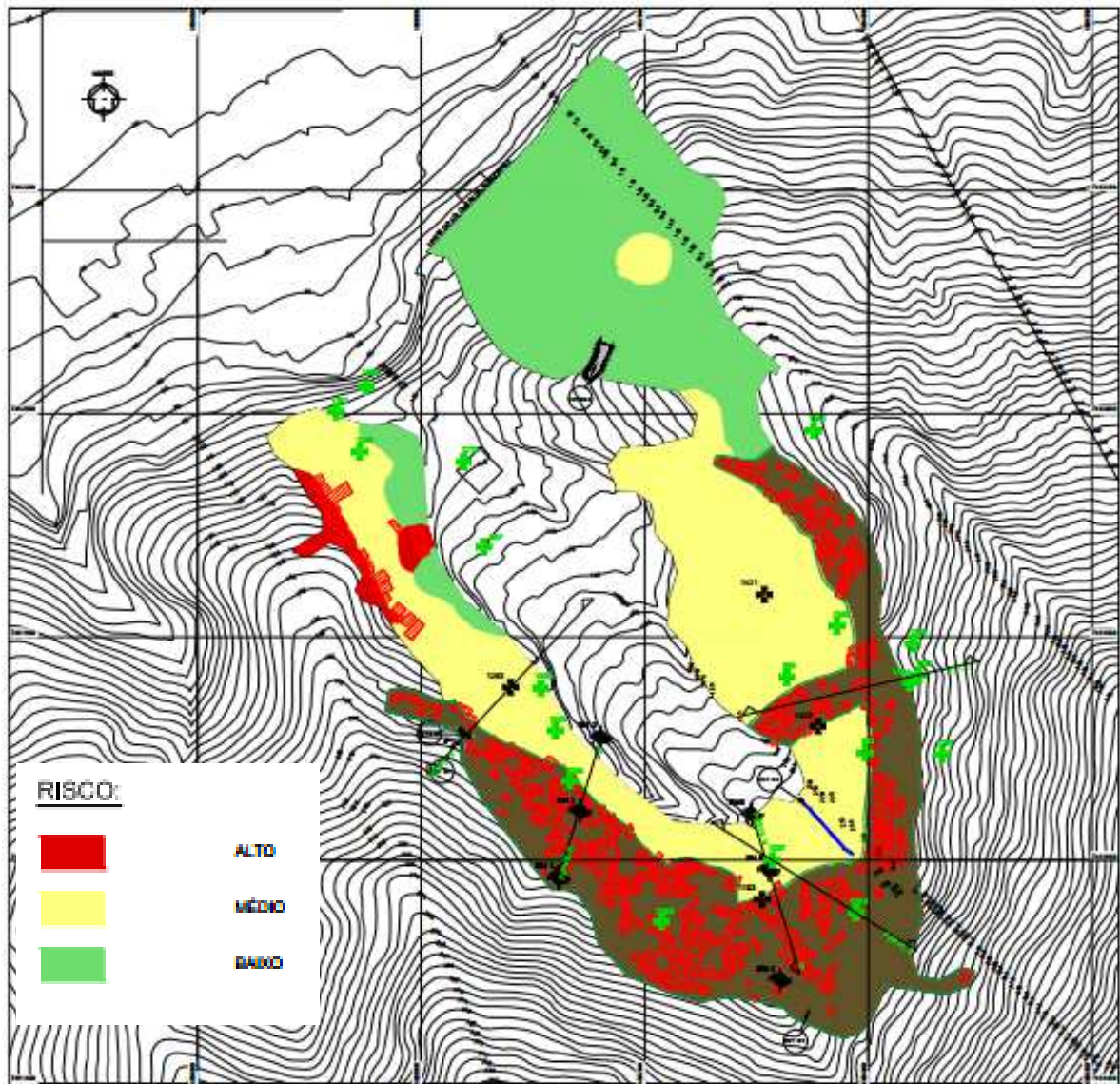
A inadequação dos quatro eventos supracitados à proposta da GeoRio motivou uma análise dessas ocorrências que serão objeto de estudo apresentado neste trabalho, tendo em vista que as mesmas se localizam na zona em que as expectativas de movimentos de terra seriam muito pequenas e por se mostrarem inseridas em características distintas de acumuladas de chuva.

3.2.3 Mapeamento de Área de Risco

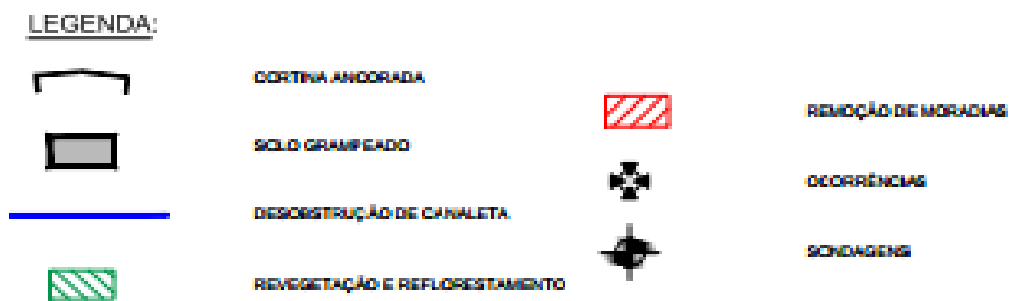
A Figura 26 mostra o mapeamento feito pela Fundação GeoRio identificando as áreas de alto, médio e baixo de escorregamento na região da Comunidade da Formiga. A região de alto risco localiza-se na parte alta da encosta próximo ao paredão rochoso que circunda o talvegue.

Ainda nesta figura estão mostradas as medidas corretivas e mitigantes tomadas pelo poder público após os eventos pluviométricos em 2010. Observa-se claramente que as maiores ações foram de remoção da população na área classificada como alto risco.

Apesar dessas ações, a situação da comunidade da Formiga ainda é muito precária. Em maio de 2015, em visita aos locais que sofreram as consequências das chuvas de 2010, foi possível observar graves problemas que poderão futuramente contribuir em movimentos de massa quando ocorrerem novos eventos de chuva de alta intensidade. Esses problemas estão ilustrados nas Figura 27 a Figura 40.



(a) Mapa de susceptibilidade



(b) Legenda das intervenções geotécnicas

Figura 26. Mapa de susceptibilidade e intervenções geotécnicas - Fundação Geo-Rio (2011)



Figura 27. Construções irregulares em área de alto risco



Figura 28. Construções abandonadas em área de alto risco



Figura 29. Vegetação inclinada em área de alto risco



Figura 30. Construção descalçada sobre talude instável



Figura 31. Construção descalçada sobre talude instável



(a)



(b)



(c)

Figura 32. Presença de bananeiras, característica de colúvio



(a) Vista geral



(b) detalhe

Figura 33. Drenagem com vegetação reduzindo capacidade do sistema



Figura 34. Construções irregulares



Figura 35. Lixo obstruindo sistemas de drenagem



Figura 36. Construção inadequada



Figura 37. Infiltração concentrada no talude



Figura 38. Elevada instabilidade do talude de corte



Figura 39. Presença de matacões e erosão superficial



(a)



(b)

Figura 40. Estruturas de contenção com indícios de ruptura

4 ESTUDOS REALIZADOS

Um dos objetivos desta pesquisa foi procurar interpretar, do ponto de vista geotécnico, os 4 eventos de movimento de massa, ocorridos em 2010 na comunidade da Formiga, que não se ajustaram à correlação chuva VS escorregamento, adotada pela GeoRio, na cidade do Rio de Janeiro.

A Figura 41 mostra uma foto aérea recente da comunidade da Formiga. Nesta foto também estão indicadas as 4 ocorrências estudadas nesta pesquisa, designadas como Ocorrência-i, seguindo a numeração adotada pela GeoRio (1263, 1357, 1358 e 1782). São também mostradas as localizações das sondagens (SM-i) realizadas após os escorregamentos de 2010, para fins de realização de obras de recuperação da área.

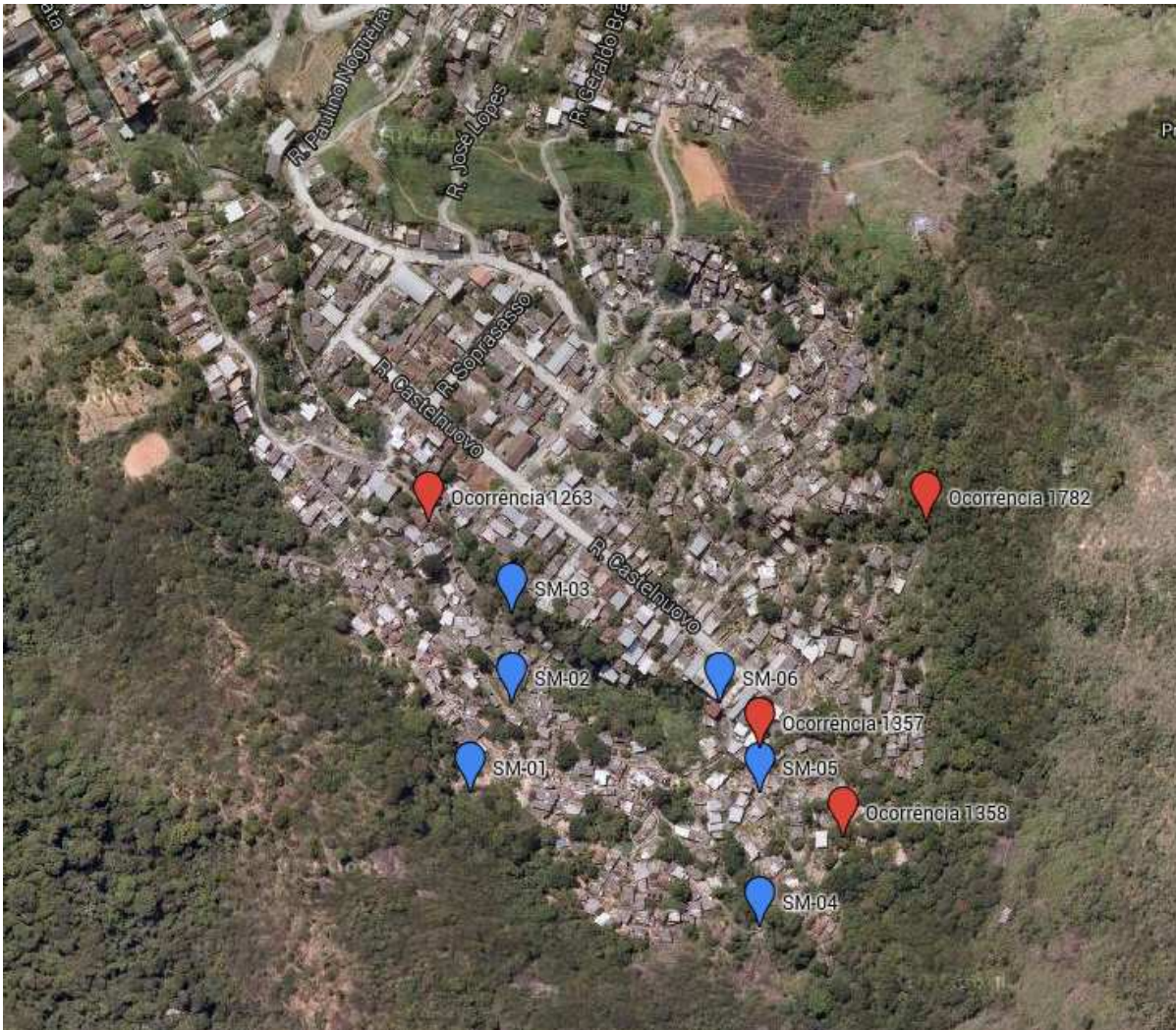


Figura 41. Foto aérea da comunidade com a localização das ocorrências em estudo

Observa-se, na Figura 41, que a ocupação antrópica se concentra ao longo do talvegue. Nos limites da comunidade há uma região razoavelmente arborizada (Figura 42) seguida de uma encosta rochosa bastante íngreme. A diferença de cota entre as partes mais baixa e mais alta da comunidade atinge 270m, tornando também as vias de acesso bastante íngremes. A Figura 43 mostra vistas da comunidade em 2 sentidos e permite ao leitor ter uma idéia da topografia da encosta.



(a) mata

(b) acessos pela mata

Figura 42. Foto vegetação no alto da encosta



(a) Vista para o topo da encosta



(c) Vista do alto da encosta

Figura 43. Foto da encosta

4.1 Descrição das Ocorrências

A Figura 44 mostra com mais detalhe o talvegue e a posição das ocorrências (#1263, #1357, #1358 e #1782), sendo possível observar uma maior concentração na encosta à esquerda do talvegue

A Tabela 18 mostra a posição geográfica das 4 ocorrências em estudo e alguns detalhes sobre a avaliação in loco e a inclinação média da encosta nesses locais. Observa-se que os registros evidenciam que cada ocorrência está associada a uma diferente classificação de movimento de massa.

Cabe comentar que a numeração das ocorrências difere da apresentada Tabela 12, onde os eventos foram numerados de acordo com a ordem cronológica dos horários e das datas eventos de 2010.

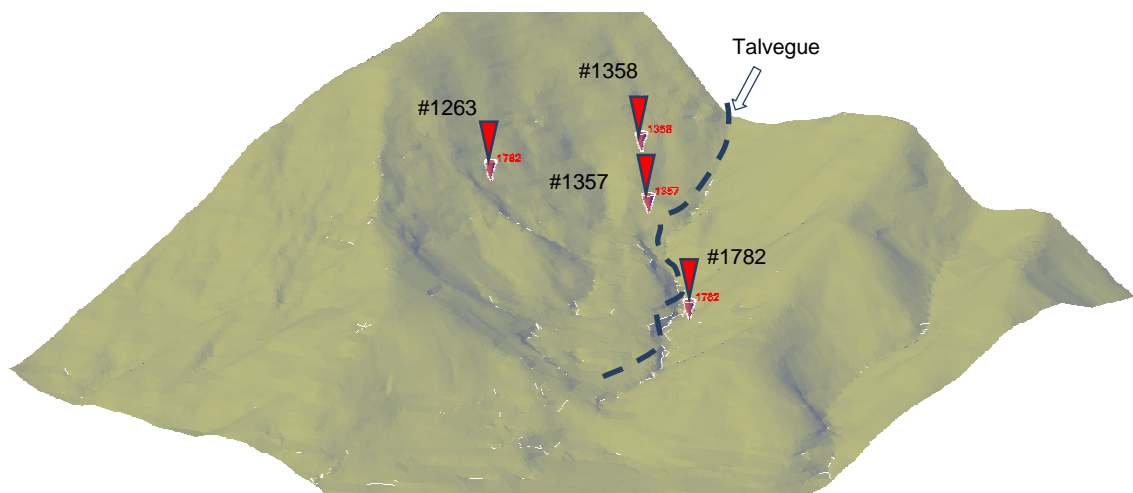


Figura 44. Vista frontal superior do talvegue com as ocorrências em estudo

Uma vez identificada a posição correta dos acidentes, foram efetuadas visitas in loco, na tentativa de se identificar alguma característica geológico-geotécnica que explicasse os movimentos de terra. Apesar de ser uma comunidade ocupada pelo poder público, através de unidades de pacificação (UPP), não foi possível ter um acesso livre à comunidade. Após contato com a Associação de Moradores, foi possível agendar a visita técnica, a qual ficou restrita a alguns locais.

Tabela 18 - Alguns detalhes sobre as ocorrências em estudo

Talude #	Laudo Geo-Rio (numeração cronológica)	Coordenadas UTM		Avaliação in loco (técnico GeoRio)		Inclinação média do talude
		E	S	Tipologia	Volume mobilizado [m ³]	
1	1782 (14)	680445	7461766	Escorregamento de Solo (aterro)	50	32 ⁰
2	1357 (18)	680314	7461600	Corrida	30	26 ⁰
	1358 (17)	680389	7461553	Escorregamento de Solo (corte)	10	25 ⁰
3	1263 (2)	680080	7461755	Ruptura de estrutura de contenção	15	34 ⁰

Apresenta-se, a seguir, um resumo mais detalhado sobre as observações técnicas contidas nos laudos das ocorrências, em conjunto com registros feitos nas visitas in loco:

i) Laudo #1263 - Ruptura estrutura de contenção

Descrição: trata-se da ruptura de obra de contenção executada sem a técnica adequada, que arrimava talude de corte e aterro com altura total de 3,0m sobre a qual estava implantada a moradia da solicitante. Não suportando o aumento do empuxo, função das águas de montante, o muro rompeu deixando toda a parte frontal da moradia (compreendendo a sua parte térrea) instabilizada. A Figura 45 mostra detalhes da ocorrência.



(a) Vista lateral



(b) vista frontal



c) Detalhe do fissuramento da parede

Figura 45. Laudo #1263 - Ruptura estrutura de contenção

ii) Laudo #1357 – Corrida

Descrição: Trata-se de dois imóveis construídos na faixa marginal de proteção e que obstruem perigosamente a passagem do rio da Cascata, uma vez que a montante do local há uma bacia de captação com desnível superior a 250 metros e com potencial de convergir uma massa com altíssimo poder de destruição, em face da alta declividade da encosta. Os moradores não foram identificados, mas não há possibilidade de erro na localização dos imóveis, uma vez que estão no ponto de travessia do rio, em ambas as margens, como ilustrado nas fotos onde há uma pequena ponte. A Figura 46 mostra imagem do local.



Figura 46. Laudo #1357 – Corrida

ii) Laudo #1358 - Escorregamento de Solo (corte)

Descrição: Trata-se de um conjunto de três imóveis, dois deles construídos muito próximos de taludes corte. Na casa da Sra. Wilma Camargo Rita, ao lado de um talvegue, o rompimento do talude de corte (Figura 47a) trouxe também um bloco de rocha muito alterada, de menos de 0,5 m³ que já foi desmontado na ocasião da vistoria. Segundo informações de seu filho, em 1988, um grande bloco passou por esse talvegue e foi atingir casas a jusante, fazendo vítimas fatais. Na casa ao lado, da Sra. Ivone da Silva Pereira, houve também uma ruptura de talude de corte com blocos de rocha, mas não chegou a causar maiores danos (Figura 47b). Na frente dessa casa, no número 27 da Rua José Olice, a precária moradia de estuque da Sra. Elaine Gonçalves Rita, construída em local impróprio, também ruiu por conta da chuva (Figura 47c).



(a) Cicatriz do escorregamento e casa construída muito próxima à encosta.



(b) Cicatriz do segundo escorregamento e a casa construída muito próxima à encosta.



(c) Foto da casa que ruiu espontaneamente em face de sua precariedade estrutural.

Figura 47. Laudo #1358 - Escorregamento de Solo (corte)

iv) Laudo #1782 - Escorregamento de Solo (aterro)

Descrição: O trecho de encosta íngreme está localizada na parte alta do Morro da Formiga, caracterizado por cortes e aterros para obtenção de áreas planas onde estão implantadas precárias moradias da comunidade. Há intervenção estabilizante pontual (concreto projetado) mostrada a Figura 48.

Trata-se de dois escorregamentos distintos nesse local. O primeiro, a montante da casa do solicitante, teve um pequeno volume deslocado (4 m^3), atingindo, sem causar danos, a casa do solicitante. Contudo, o acesso da comunidade foi afetado (Figura 49). O segundo, de maior volume (50 m^3) atingiu e derrubou quase que completamente uma casa a jusante, com acesso pela rua Maria França, 27, sem causar vítimas (Figura 50). A referida moradia encontra-se sem condições de continuar habitada.



Figura 48. Intervenção estabilizante pontual (concreto projetado)



Figura 49. Laudo #1782 - Escorregamento de Solo (aterro) - Vista do pequeno escorregamento que compromete o acesso da comunidade



Figura 50. Laudo #1782 - Escorregamento de Solo (aterro) - Vista da casa atingida na rua Maria França 27

4.1.1 Comentários sobre as ocorrências

Em 2015, foi realizada uma visita in loco com objetivo de identificar a condição atual das ocorrências e eventualmente coletar mais informações sobre os escorregamentos de massa. Infelizmente, não foi possível ir aos locais selecionados devido a problemas de segurança pessoal.

A título de curiosidade, foram visitadas outras ocorrências, como por exemplo as numeradas como #1363 e #1365. A Figura 51 e Figura 52 mostram imagens dos dois locais após o escorregamento e como estes se encontravam em 2015. Aparentemente só ocorreu uma revegetação do talude e nenhuma medida de estabilização foi executada.

De fato, as ocorrências #1263, #1358 e #1782 mostraram ser produto da ocupação desordenada e construção irregular. No caso da ocorrência classificada como corrida (#1357), deve ter havido movimento de massa à montante, que se movimentou ao longo da via de acesso em concreto.



(a) Ocorrência em 2010



(b) Situação em 2015

Figura 51. Ocorrência #1363



(a) Ocorrência em 2010



(b) Situação em 2015

Figura 52. Ocorrência #1365

4.2 Investigações Geotécnicas

Por ocasião das ações de recuperação da encosta foram realizadas 06 sondagens, cuja localização está indicada na Figura 53. Foram também coletadas amostras para realização de ensaios de cisalhamento direto.

As topografias dos taludes foram definidas a partir da planta de situação do Morro da Formiga, obtida do levantamento topográfico realizado pela Fundação Geo-Rio, na escala 1:2000, datado de Outubro de 2011. Foi necessário fazer um ajuste de coordenadas para que todas as informações fossem georeferenciadas no mesmo sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator)

4.2.1 Sondagens

A Tabela 19 mostra detalhes sobre o posicionamento e as características das sondagens. A capa de solo foi relativamente pequena (< 5m) e em alguns casos a sondagem foi feita exclusivamente na rocha. Os testemunhos rochosos mostraram indícios de alteração, com grau de fraturamento classificado como medianamente alterado e fragmentado (SM 01 e SM 03), muito alterado e muito fraturado (SM 02), sã e pouco fraturado (SM 04), sã e muito fraturado (SM 05) e extremamente alterado (SM 06) . Não foi observada a presença do nível d'água em nenhuma sondagem. Os boletins de sondagem estão apresentados no Anexo 2.

Tabela 19 - Coordenadas das sondagens

Sondagem	Coordenadas (UTM)		Perfuração (m)		
	N	E	SPT	Rotativa	Total
SM-01	7.461.584	680.123	4,79	9,00	13,79
SM-02	7.461.644	680.142	0,00	14,50	14,50
SM-03	7.461.710	680.161	0,00	18,30	18,30
SM-04	7.461.493	680.321	0,00	3,89	3,89
SM-05	7.461.591	680.311	0,00	4,03	4,03
SM-06	7.461.641	680.296	3,15	16,70	19,85

4.2.1.1 Definição dos perfis

A partir da localização das sondagens e do alinhamento em planta (Figura 53) foi possível gerar 2 perfis geotécnicos, denominados A e B. A seção A (Figura 54) mostra uma espessura de capa de solo variando de 2,5m a 18m aproximadamente.

Já a seção B (Figura 55) apresenta-se como um perfil rochoso sendo encontrada uma camada de colúvio no pé da encosta.

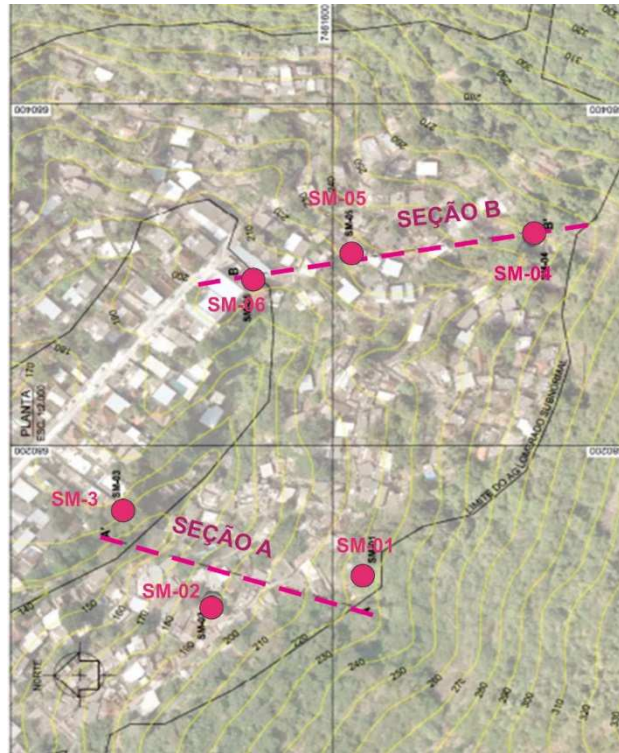


Figura 53. Localização das sondagens no terreno

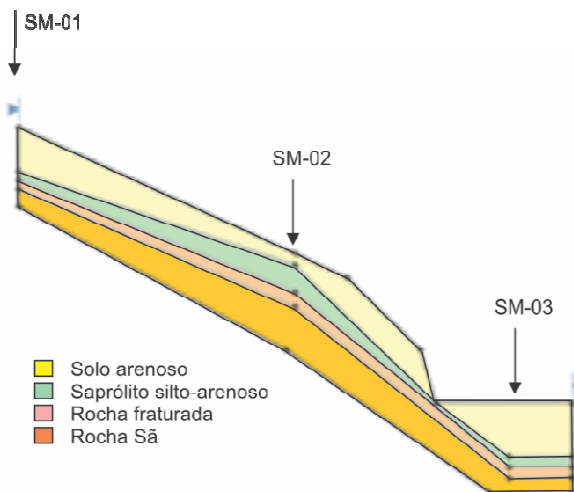


Figura 54. Perfil geotécnico da seção A

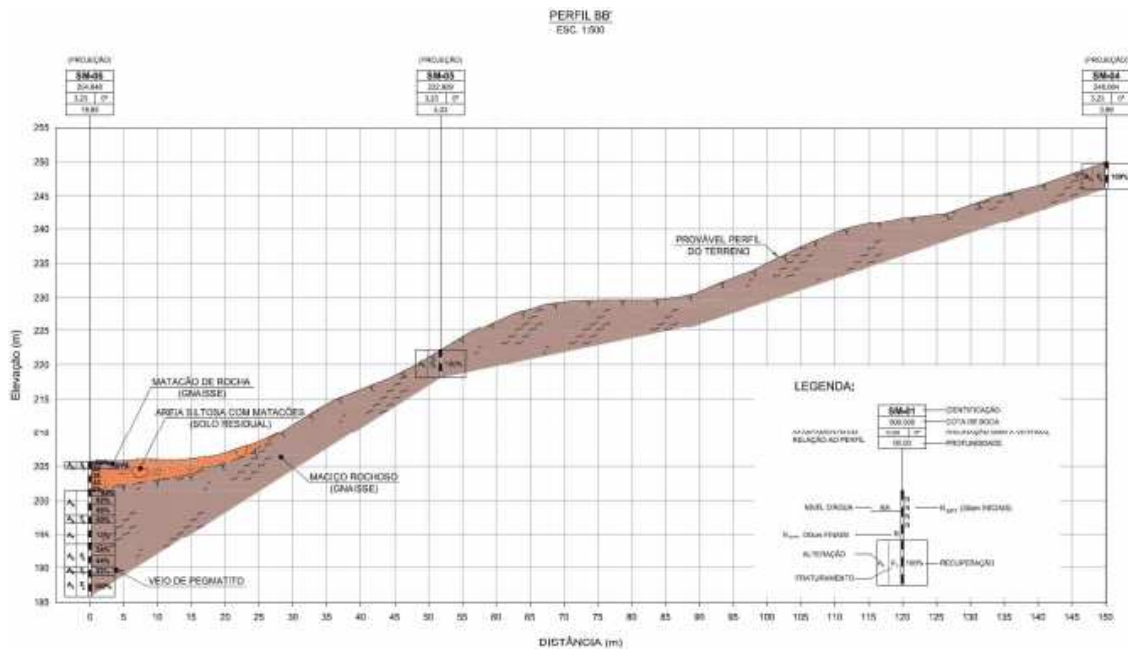


Figura 55. Perfil geotécnico da seção B

4.2.2 Ensaios de Cisalhamento Direto

Ensaios de cisalhamento direto foram realizados em 3 amostras, extraídas das áreas adjacentes ao perfil geotécnico da seção A, especificamente próximo as sondagens (SM 01, SM 02 e SM 03), em profundidades de coleta não fornecidas pelo relatório nº RL-FOR-BAS-10 da empresa Concremat. Os ensaios foram realizados pelo laboratório terceirizado pela mesma empresa, conforme Relatório LAB 57-11, e os resultados estão reproduzidos no ANEXO 3.

A Tabela 20 mostra os valores médios dos parâmetros geotécnicos nos 3 solos ensaiados. Os solos encontram-se na condição não saturada. As amostras foram extraídas em Novembro de 2011. De acordo com o relatório anual de chuvas da Fundação Geo-Rio para aquele ano, no período anterior à extração, ou seja, em Outubro de 2011, o acumulado de precipitação foi 138,2 mm. Neste mesmo mês a chuva horária máxima em 24 horas foi 41,2 mm e a chuva máxima em 1 hora foi 20,2 mm. Os solos (2 e 3) classificados como argila silto-arenosa possuem características semelhantes aos solos residuais.

É interessante observar o elevado valor de coesão efetiva obtido nos ensaios, os quais podem ser atribuídos ao baixo grau de saturação das amostras ensaiadas.

Tabela 20 - Parâmetros Geotécnicos (Umidade natural)

Solo	Descrição	Teor de umidade (%)	Peso específico total (kN/m ³)	Índice de Vazios	Grau de Saturação (%)	Parâmetros de resistência	
						c' (kPa)	φ'
1	Areia siltosa (AI-0029)	7,6	15,4	0,86	23,5	65,3	37,3°
2	Argila silto-arenosa (AI-0030)	13,4	17,0	0,6	46,6	33,8	44,3°
3	Argila silto-arenosa (AI-0031)	28,0	15,1	1,3	44,4	33,1	40,9°
	Faixa de variação	-	15 a 17	-	-	33 a 65	37° a 44°

4.3 Estudos de Estabilidade

O estudo das condições críticas dos taludes, em destaque nesse trabalho, foi realizado em função dos parâmetros de resistência obtidos dos ensaios de cisalhamento direto. Como não se teve informações sobre a localização das sondagens e profundidade de extração das amostras, optou-se por realizar um estudo paramétrico com base na faixa de variação dos parâmetros (Tabela 20) e condições de nível d água.

➤ Situação 1: Parâmetros médios – sem NA

Para esta condição, foram considerados as 4 camadas independentemente e assumido a inexistência de água no talude. Os parâmetros da rocha fraturada e rocha sã foram arbitrados e estão mostrados na Tabela 21.

Tabela 21 - Parâmetros geotécnicos adotados

Descrição	Peso específico total (kN/m ³)	Parâmetros de resistência	
		c' (kPa)	ϕ'
Solo arenoso	17	65	37 ^o
Saprolito silto arenoso	17	33	42 ^o
Rocha fraturada	20	200	55 ^o
Rocha sã	25	200	60 ^o

Os resultados mostraram que o talude seria estável, como mostra a Tabela 22 e a análise de estabilidade da figura 56.

Tabela 22 - Fator de segurança

Método	FS
Bishop Simplificado	1,44
Spencer	1,51
Morgentern & Price	1,50

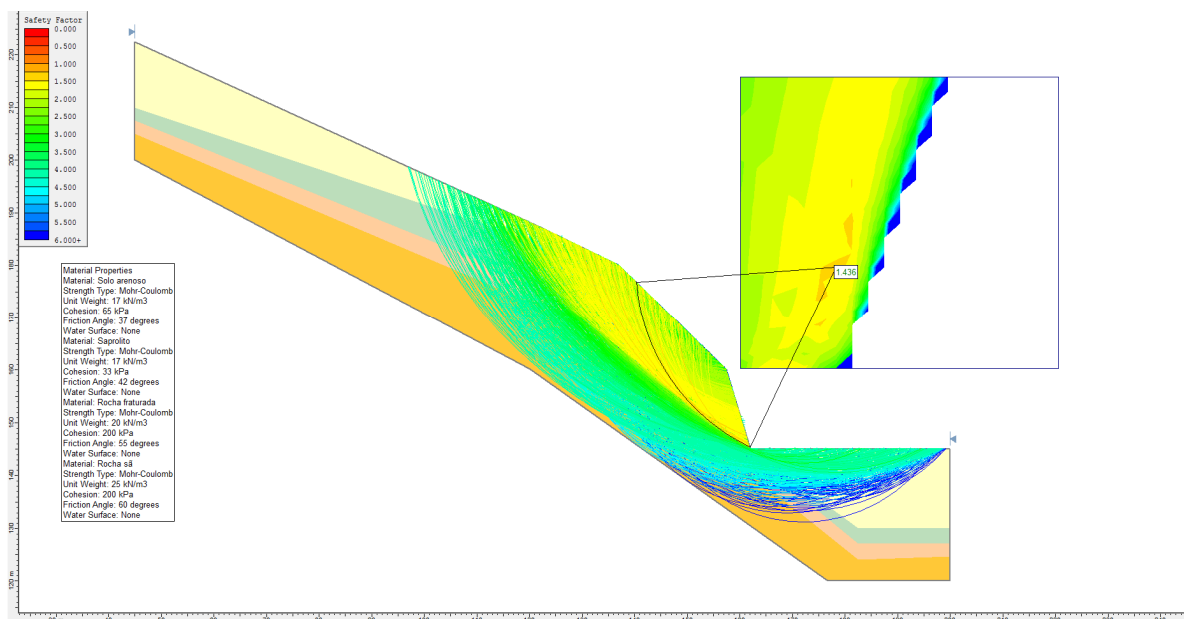


Figura 56. Situação 1: Análises de Estabilidade

➤ Situação 2: Parâmetros médios – infiltração vertical de água da chuva

Nesta análise assumiu-se que o fluxo vertical, na sua condição limite, gera saturação, entretanto a poropressão é nula. Para incorporar esta condição as análises foram realizadas reduzindo-se intercepto coesivo da camada mais superficial (solo arenoso).

Os resultados mostraram que o talude tenderia a se instabilizar admitindo a redução da coesão efetiva para valores inferiores a 25kPa, como mostra a Figura 57.

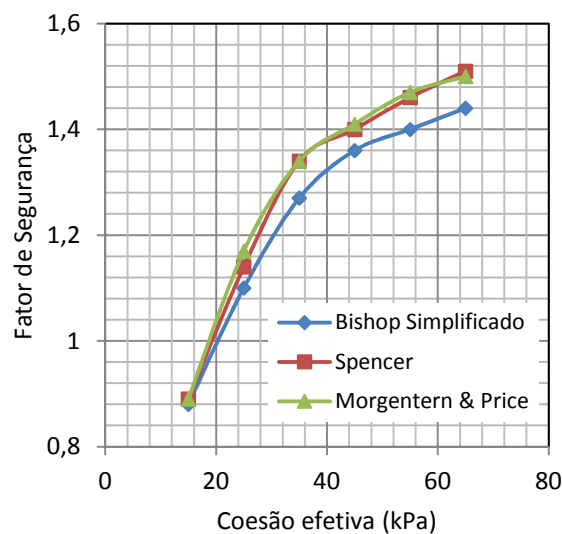


Figura 57. Situação 2: Análises de Estabilidade

➤ Situação 3: Parâmetros médios – Nível d água na rocha fraturada

Nesta análise assumiu-se a formação de um fluxo ao longo da rocha fraturada e, com as chuvas, uma eventual infiltração a partir do topo do talude, promoveu a ascensão deste nível d'água (Figura 58). Os parâmetros dos materiais foram mantidos conforme resultados de dos ensaios.

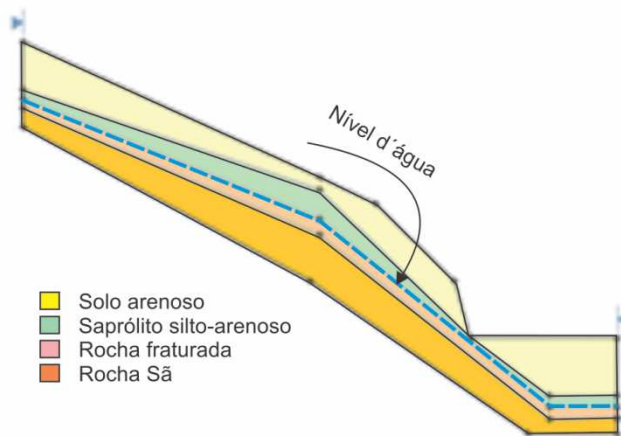


Figura 58. Situação 3: Nível d'água variável

Foram analisadas diferentes possibilidades de ascensão do nível d'água (Figura 59, Figura 60 e Figura 61) e o talude manteve-se estável para as 3 situações. Com a presença do NA, a parte inferior da superfície de ruptura é afetada, mas, como os parâmetros não foram alterados, os efeitos da poropressão se mostraram pouco significativos. Somente a saturação completa da encosta justificaria uma condição de instabilidade.

Na figura 62 apresenta-se um gráfico que mostra as correlações entre os níveis d'água dentro do talude com os fatores de segurança a ruptura do mesmo, considerando diferentes métodos de análise.

Cabe ressaltar que, na presença de uma camada fraturada, é possível haver fluxo preferencial ao longo desta camada, gerando uma carga de pressão no interior da massa. Este efeito é extremamente impactante na estabilidade e alguns casos históricos de escorregamentos de grandes volumes de solo foram justificados a partir deste mecanismo (Gerscovich, 2010, 2012; Wilson, 1988). Neste trabalho, esta alternativa não foi analisada, pois teria de ser realizada a partir de hipóteses aleatórias.

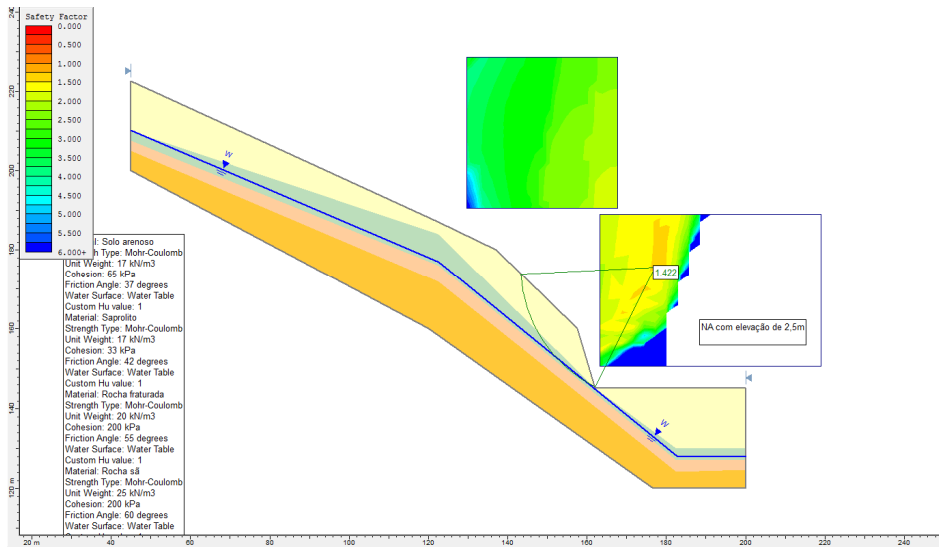


Figura 59. Situação 3: Caso 1- Nível d água elevado 2,5m em relação ao topo da camada de rocha fraturada em toda a extensão do talude

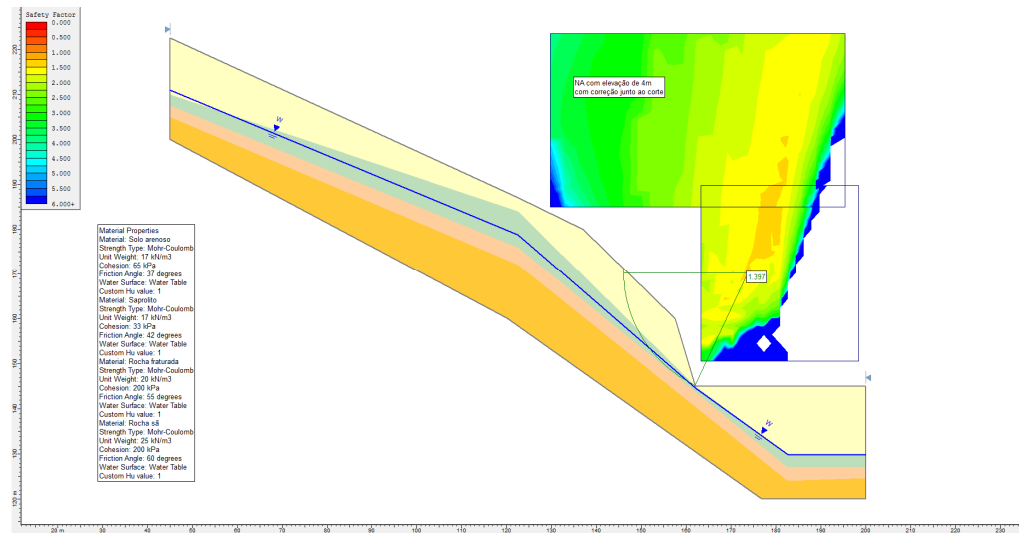


Figura 60. Situação 3: Caso 2- Nível d água elevado 4m em toda a extensão do talude, corrigindo para manter NA no Talude

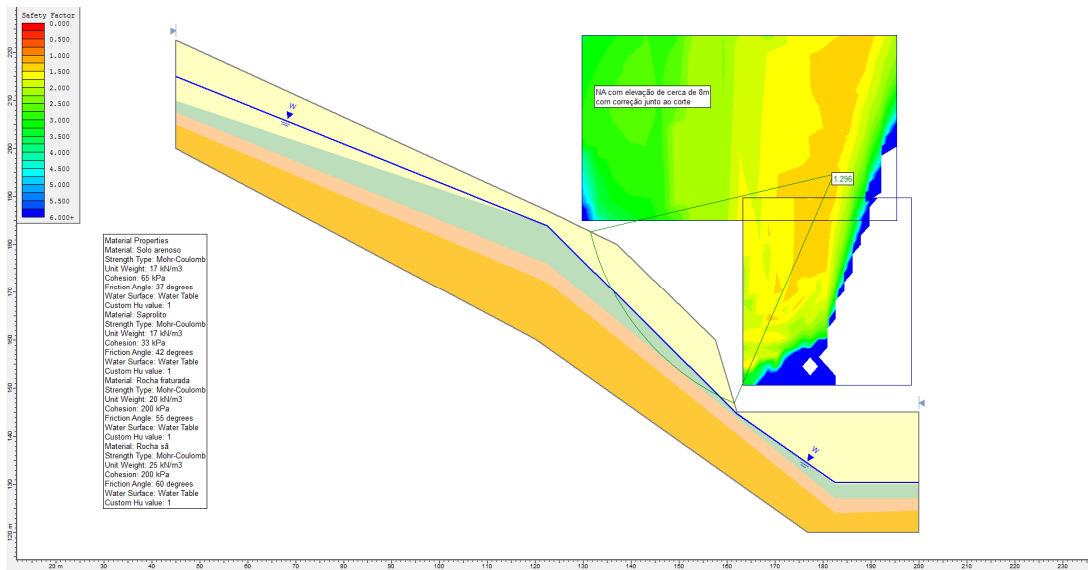


Figura 61. Situação 3: Caso 3 - Nível d água elevado em cerca de 8m em toda a extensão do talude, corrigindo para manter NA no Talude

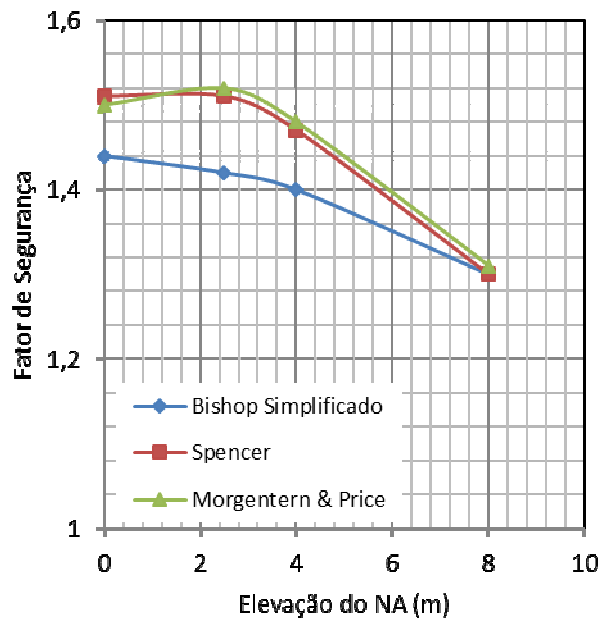


Figura 62. Situação 3: Análises de Estabilidade

➤ Situação 4: Análise probabilística – Simulação de Monte Carlo

Os parâmetros adotados nos estudos anteriores foram definidos a partir de ensaios de cisalhamento direto, em amostras extraídas em locais incertos na encosta. Há dúvidas quanto à representatividade desses valores, assim como o impacto na saturação no valor da coesão aparente. Assim sendo, realizou-se uma

análise simples com enfoque probabilístico, objetivando identificar o grau de influência da variação dos parâmetros de resistência na probabilidade de ruptura.

Foi adotado o método de Monte Carlo, com 100000 superfícies. São necessários como dados de entrada a média (μ - Mean), Desvio padrão (σ - Std.Dev), valores relativos máximo (Rel Max) e mínimo (Rel Min). Os valores relativos (Rel Max Rel Min) são definidos como as distâncias em relação à media; isto é, por exemplo, o valor máximo de um determinado parâmetro é dado pela soma da média (μ) com o valor relativo máximo (Rel Max)

Como parâmetros de entrada, foram adotados os valores apresentados na Figura 63, tendo como base nas seguintes premissas:

- i) Distribuição normal
- ii) Foram adotados coeficientes de variação (V) relativos ao ângulo de atrito foi de 0,15 e à coesão de 0,30 (Harr, 1977) Com isso, o desvio padrão (σ) foi calculado a partir da equação (4.1)

$$\mu = \frac{\sigma}{V} \quad (4.1)$$

- iii) Para o solo arenoso:
 - a. admitiu-se que c' obtido em ensaio representaria o valor máximo e que o valor mínimo seria zero.
 - b. Quanto à ϕ' , admitiu-se uma variação entre 33° e 37°
- iv) Para o solo saprolítico:
 - a. admitiu-se, mais uma vez, que c' obtido em ensaio representaria o valor máximo e que o valor mínimo seria 7kPa.
 - b. Quanto à ϕ' , admitiu-se uma variação entre 34° e 42°

Sem duvida nenhuma, tais premissas são sujeitas a interpretações de cunho pessoal. No entanto, o objetivo desta análise foi de ganhar sensibilidade quanto à influência dos parâmetros geotécnicos obtidos em ensaios.

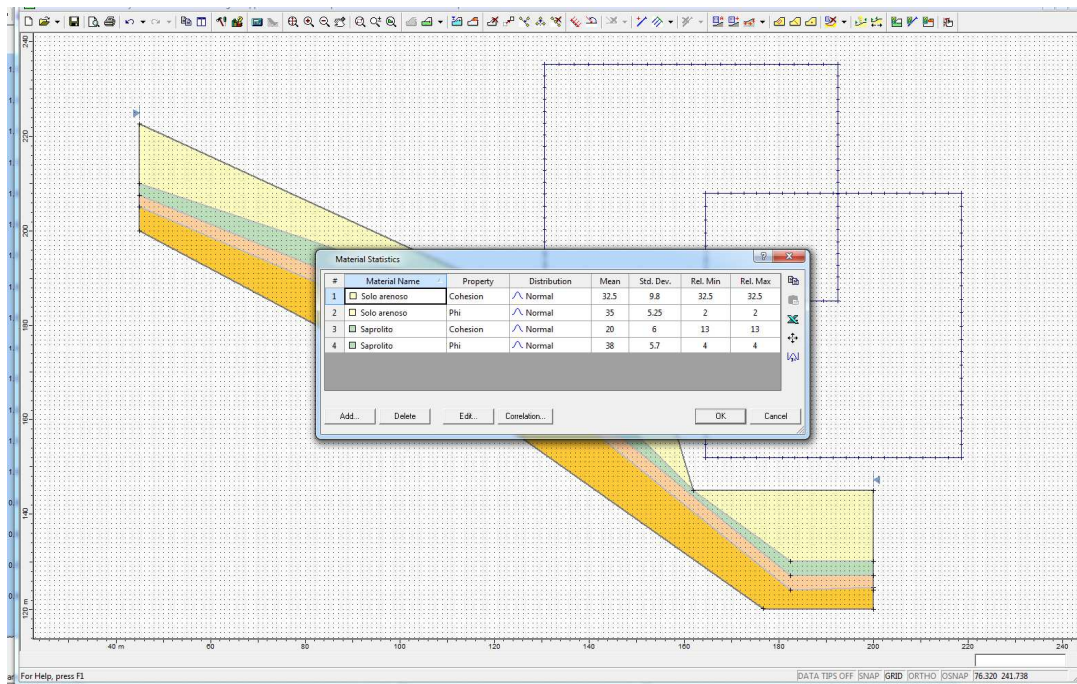


Figura 63. Situação 4: Parâmetros estatísticos

A Figura 64 mostra os resultados da análise. O FS determinístico foi semelhante ao obtido considerando-se os valores médios dos parâmetros c' e ϕ' e mostrou iminência de ruptura. A probabilidade de ruptura (PF), definida segundo a equação (4.2), mostra um valor elevado igual a 28,9%. Isto representa que mais do que $\frac{1}{4}$ das superfícies analisadas forneceram $FS < 1$.

$$PF(\%) = \frac{\text{numero de superfícies com } FS < 1}{\text{numero total de superfícies}} \times 100 \quad (4.2)$$

As análises também fornecem os índices de confiabilidade (β) (RI=reliability index) admitindo que a distribuição probabilística do FS siga uma função normal ou lognormal. Para a distribuição normal, o índice de confiabilidade com relação ao FS, é definido segundo a equação (4.3). Já para a função lognormal, β é calculado pela equação (4.3).

$$\beta = \frac{\mu_{FS} - 1}{\sigma_{FS}} \quad (4.3)$$

$$\beta = \frac{\ln \frac{\mu_{FS}}{\sqrt{1+V^2}}}{\sqrt{1+V^2}} \quad (4.4)$$

Onde μ_{FS} = média do FS, σ_{FS} = variância e V =coeficiente de variação ($=\sigma_{FS} / \mu_{FS}$)

Para ambas as funções o valor calculado foi da ordem de 0,5, enquanto que para garantir que o talude esteja efetivamente seguro o programa recomenda um valor mínimo de 3.

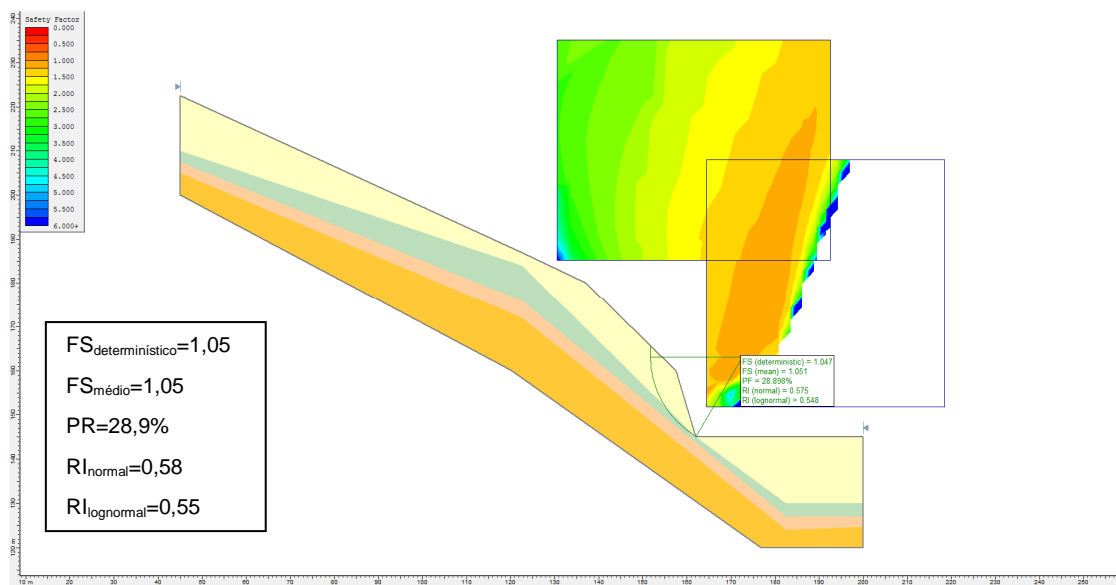


Figura 64. Situação 4: Resultado da Análise de Monte Carlo

A Figura 65 mostra o histograma para o FS. A região em vermelho mostra as análises que resultaram em $FS < 1$. Dado que a probabilidade de ruptura é dada pela relação entre a área vermelha e a área total, esta figura ilustra graficamente a condição de instabilidade deste talude. A função de distribuição que melhor se ajustou foi a função gama, com índice de confiabilidade 0,57.

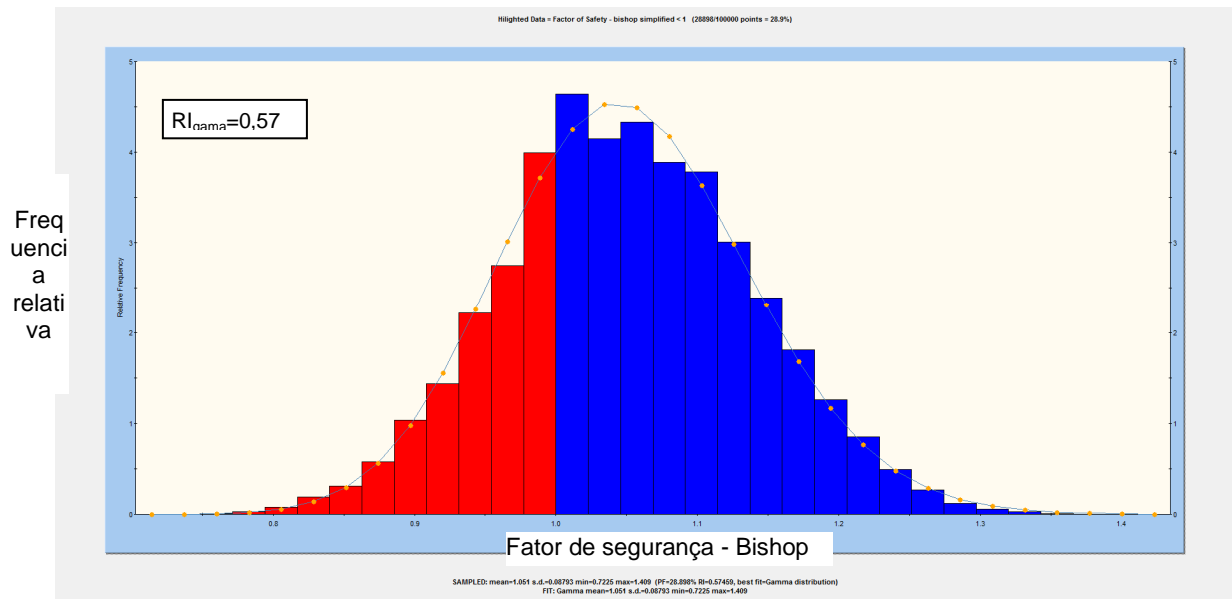


Figura 65. Situação 4: Histograma do FS - Análise de Monte Carlo

A Figura 66 e Figura 67 mostram os histogramas associados à coesão e ângulo de atrito. Estão indicadas, em vermelho, as análises associadas ao $FS < 1$. Observa-se que a probabilidade de ruptura é muito baixa sempre que $c' > 40^\circ$. Quanto ao ângulo de atrito, não se observa influencia significativa, já que a probabilidade de ruptura é constante, independente do valor de ϕ' . Tal fato é corroborado nas Figura 68 e Figura 69 que correlacionam FS com os parâmetros de resistência c' e ϕ' .

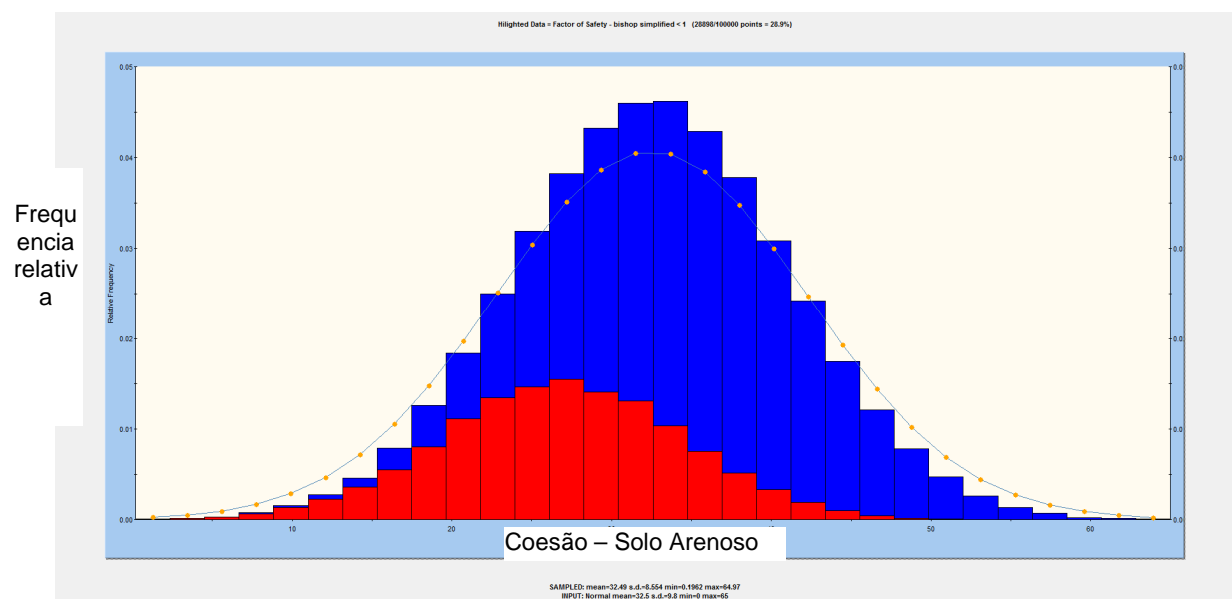


Figura 66. Situação 4: Coesão – Solo Arenoso - Análise de Monte Carlo

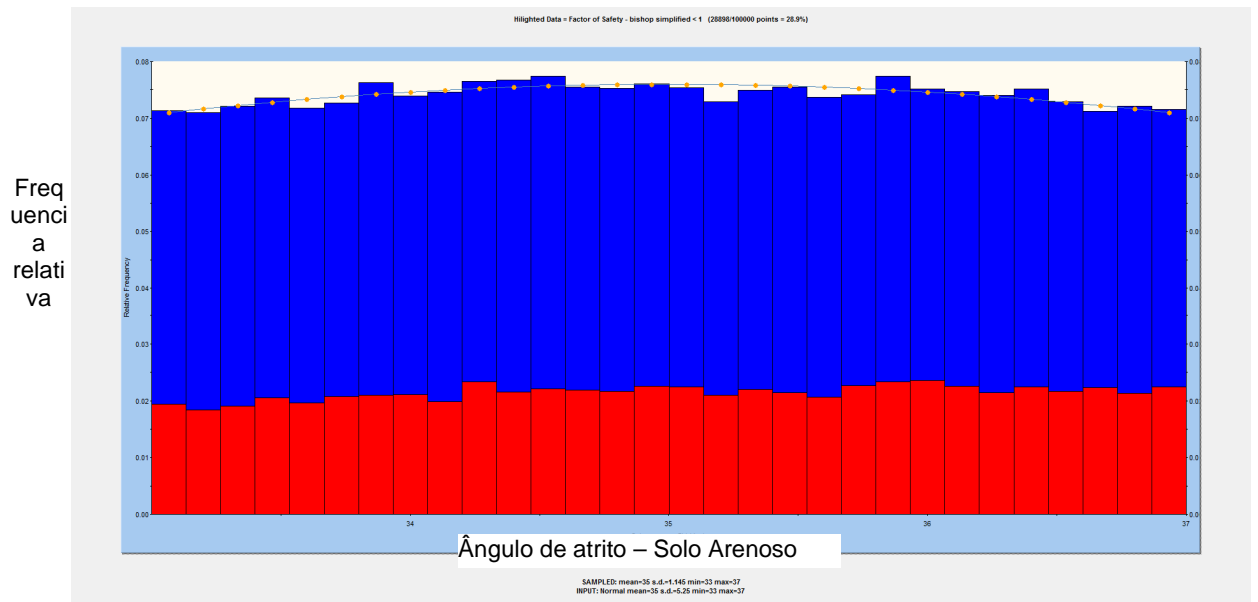


Figura 67. Situação 4: Ângulo de atrito – Solo Arenoso - Análise de Monte Carlo

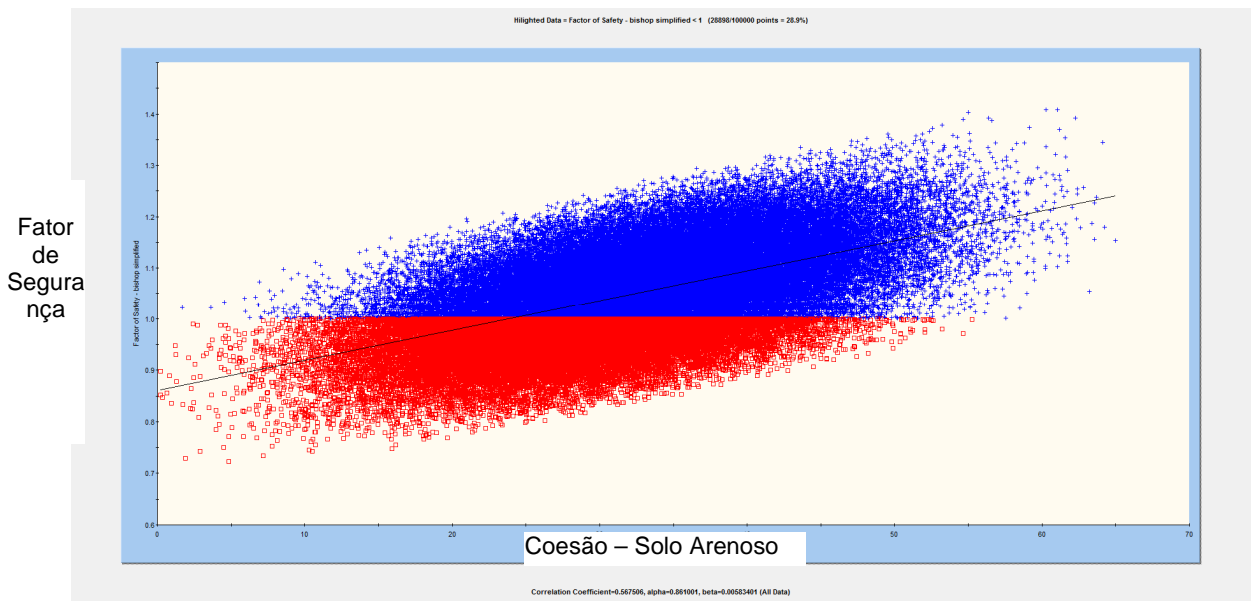


Figura 68. Situação 4: Correlação FS vs c' – Solo Arenoso - Análise de Monte Carlo

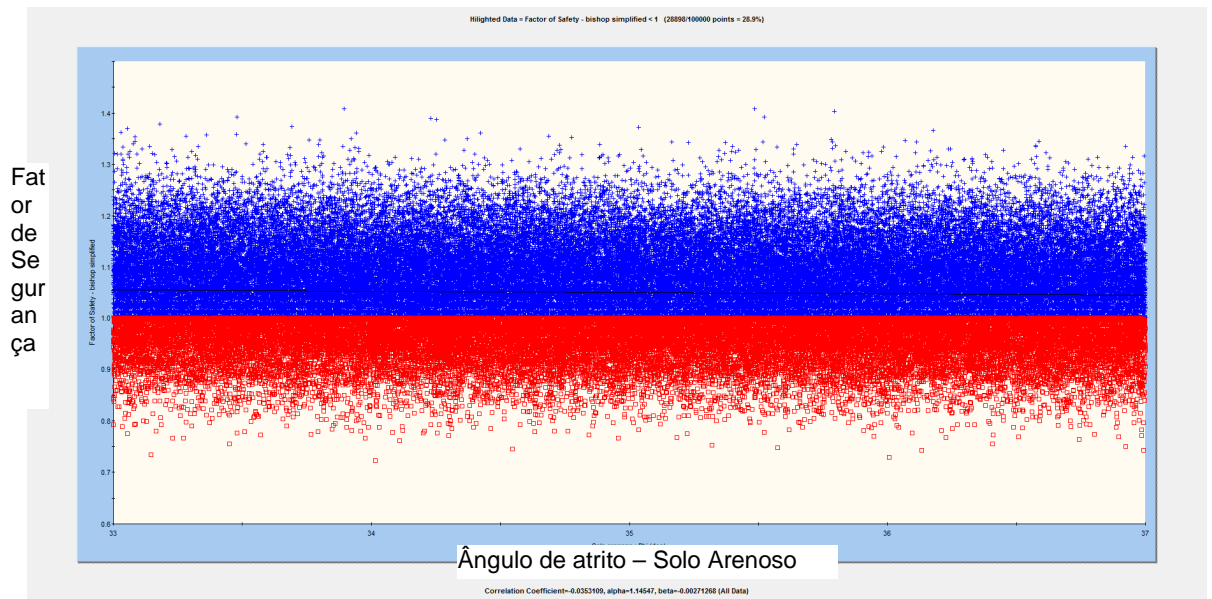


Figura 69. Situação 4: Correlação FS vs ϕ' – Solo Arenoso - Análise de Monte Carlo

Assim sendo, as incertezas relativas aos parâmetros geotécnicos mostram que a região apresenta um alto grau de instabilidade. Este resultado representa uma informação muito mais confiável do que as análises determinísticas.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Os estudos nesta pesquisa possibilitaram identificar os seguintes pontos:

I) A importância de obtenção dos horários das ocorrências dá-se ao fato de se buscar a correlação das chuvas com o momento exato de deflagração dos movimentos de massa de solo. De posse do horário exato ou ao menos aproximado do evento, foi possível contabilizar as chuvas horárias e acumuladas que estão ligadas diretamente à deflagração dos eventos de escorregamento.

II) O objetivo desta pesquisa foi a análise das quatro ocorrências (1263, 1357, 1358 e 1782) que se mostraram inadequadas à proposta ao critério atual de correlação chuva x escorregamentos do Sistema Alerta Rio, tendo em vista que as mesmas se localizam na zona em que as expectativas de movimentos

de terra seriam muito pequenas e por se mostrarem inseridas em características distintas de acumuladas de chuva, permite concluir que:

- i. De acordo com a tabela 14 os volumes mobilizadas por essas ocorrências foram classificados nas categorias A e B o que reforça a hipótese dos pequenos movimentos de massa de solo.
- ii. Em relação ao fato de estarem inseridas em acumulados de chuva distintos pode-se inferir que este fenômeno pluviométrico foi o deflagrador dos movimentos de massa, entretanto não foi o agente efetivo desses escorregamentos, tendo em vista que as ocorrências (1263, 1358 e 1782) mostraram ser produto de ações antrópicas. e a ocorrência (1357) classificada como corrida provavelmente foi fruto de outro movimento de massa à montante.

III) Esta pesquisa possibilitou observar que os laudos produzidos por técnicos da GeoRio mostravam-se basicamente adequados para ações sócio ambientais. De fato este estudo mostrou que os laudos foram insuficientes para a realização de um estudo geotécnico. As informações neles contidas mostram apenas as consequências e muitas vezes não abordavam as informações relevantes quanto aos mecanismo de ruptura. Assim sendo, a proposta de realização de estudos geotécnicos nas áreas selecionadas tornou-se inexecutável.

IV) O estudo das quatro ocorrências de deslizamentos ocorridas na Comunidade da Formiga em 2010, baseados em dados já existentes, em parâmetros de resistência obtidos dos ensaios de cisalhamentos diretos nas amostras de solos locais e nas análises feitas parametricamente para o talude realizada no programa de estabilidade mostraram que:

- iii. Encosta estável para os parâmetros do ensaio e condições hidrológicas locais;
- iv. Redução da coesão efetiva (c') levou a ruptura;
- v. Elevação do nível d água (NA) provocou pouco impacto na redução do fator de segurança (FS).
- vi. Incertezas relativas aos parâmetros geotécnicos, quantificadas através de análise probabilística, mostram que a região apresenta um alto grau de instabilidade.

V) Apesar das incertezas do ponto de vista determinístico, a análise probabilística foi capaz de revelar um potencial elevado de instabilidade, que seria mais difícil intuir unicamente através de análises determinísticas.

5.1 Sugestões para pesquisas futuras

- I) Proceder a retroanálise dos escorregamentos a partir da reconstituição geométrica dos perfis onde ocorreram os deslizamentos através das investigações geotécnicas nos locais desses eventos;
- II) Proceder a análise de estabilidade dos taludes, composto por solos não saturados, através do acoplamento das condições de pressões devido ao fluxo de água;
- III) Proceder investigações de campo para avaliação da variações de sucção devido as precipitações pluviométricas.

REFERÊNCIAS

- ABRAMENTO, M. (1988). Resistência ao Cisalhamento dos Solos não Saturados: Considerações teóricas e estudo experimental sobre o solo coluvionar das encostas da Serra do Mar. 2.11-2.22 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. (1988)
- ALMEIDA, M.C.J, NAKAZAWA, A E TATIZANA, C. “Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos no Município de Petrópolis, RJ”. In: Anais do 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, pp. 129-137, Poços de Caldas (MG), ABGE, 1993.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Anais... Rio de Janeiro, v. 2. p. 721-733, 1992.
- AVELAR, A.S; LACERDA, W.A.; COELHO NETTO,A.L. (2006) MECANISMOS DE INICIAÇÃO DE FLUXOS DETRÍTICOS NO MACIÇO DA TIJUCA, RIO DE JANEIRO (RJ): O CASO DA ENCOSTA DO SOBERBO. Revista Brasileira de Geomorfologia. p. 73 - 83.
- AZEVEDO, GEORGE FERNANDES (2011), Análise da Relação Chuva-Escorregamento em Regiões Tropicais Montanhosas Urbanas, Caso de Estudo Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília - UnB.
- BARROS,W.T.; BOGOSSIAN, F. & LOPES, P.C.C., (1992) “O escorregamento do Soberbo”, Publ. Esp. I Conf. Bras. Estab. de Encostas COBRAE, Rio de Janeiro, 14 p.
- BISHOP, A.W., ALPAN, I., BLIGHT, G.E., DONALD, I.B, Factors Controlling the Shear Strength or Partly Saturated Cohesive Solis. ASCE Research Conference on Shear Strebght of Cohesive Soils, University of Colorado, Boulder, CO, p. 500-532, 1960.

- BOWLES, L.E. Physical and geotechnical properties of soils. 2. ed. New York: MacGraw-Hill Book Company, 578 p. 1984.
- BRAND, E.W., PREMCHITT, J., PHILLIPSON H. B. "Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong". In: Proceedings of 4th International Symposium on Landslides, v.1, pp. 377–384, Toronto, Canada, 1984.
- BUENO, B.S.; VILAR, O.M. Mecânica dos solos. São Carlos: EESC-USP, 1998. 131p.
- CAES - PUCRS (2013), Relatório de Pesquisa Infância e Violência: Cotidiano de crianças pequenas em favelas do Rio de Janeiro - Morro da Formiga. Centro de Análises Econômicas e Sociais Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- CAMPOS, L.E.P (1984) Influência da Sucção na Estabilidade de Taludes Naturais em Solos Residuais, p. 133-135. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. (1984).
- CASTRO, COIMBRA. (1999). Manual sobre planejamento em defesa civil, volume I, Ministério da Integração Nacional, Brasília, DF
- CASTRO, COIMBRA. (2008). Glossário de defesa civil, Ministério da Integração Nacional, Brasília, DF
- CEMADEN-RJ (2015). Boletins Estaduais de Defesa Civil, disponível em: <http://cemadenrj.defesacivil.rj.gov.br>, acesso em 17/03/15 às 14:00
- CEMADEN-RJ (2015). Estrutura Organizacional, Equipe e Monitoramento, disponível em: <http://cemadenrj.defesacivil.rj.gov.br>, acesso em 17/03/15 às 14:00
- CHAVES, F. L (2016) Correlação chuva vs escorregamento para o Morro da Formiga e nova metodologia de chuva vs escorregamento para previsão de movimentos de massa de solo na cidade do Rio de Janeiro e acionamento das sirenes de área de risco, 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- CONCREMAT (2011) Relatório de intervenções geotécnicas propostas para o Morro da Formiga, São Paulo, SP, p. 164-185 e p. 190-223.
- COSTA NUNES, A.J. de Landslides in Soil of decomposed rock due intense rainstorms. In: International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Proceedings... México, n.2, p. 547-554, 1969.
- CHEUNG, P.Y., WONG, M.C., YEUNG, & H.Y.(2003) Application of Rainstorm Nowcast to Real-time Warning of Landslide Hazards in Hong Kong. WMO PWS Workshop on Warnings of Real-Time Hazards by Using Nowcasting Technology, Sydney, Australia 9-13 October 2006. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, China.
- DE CAMPOS, T.M.P Resistência ao Cisalhamento de Solos Não Saturados. Anais do 3^o Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, v.2, p. 399-417, Rio de Janeiro, 1997.
- D'ORSI, R., D'ÁVILA, C., ORTIGÃO, J.A.R., et a.l, "Rio-Watch: The Rio de Janeiro Landslide Watch System". In: Anais da 2^a Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (2^a COBRAE) v.1, pp. 21-30, Rio de Janeiro, Brasil, 1997.
- D'ORSI, R.N., FEIJÓ, R.L., PAES, N.M., "Rainfall and Mass Movements in Rio de Janeiro". In: Proceedings of 31st International Geological Congress, (CD), Rio de Janeiro, Brasil. 2000.
- D'ORSI, R.N. (2011) Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da serra dos órgãos da rodovia federal BR-116RJ(Rio-Teresópolis). Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 287 p.
- D'ORSI, R.N.,PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A.,COELHO, R. S.(2012) Relatório Anual de Chuvas 2010. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – N^o 01/2012, Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.

- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S. (2012) Relatório de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos para a Cidade do Rio de Janeiro no ano de 2010. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 10/2012. Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S., COSTA, I. C. (2013) Relatório Anual de Chuvas 2011. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 01/2012, Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S., COSTA, I. C. (2013) Relatório de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos para a Cidade do Rio de Janeiro no ano de 2011. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 02/2013. Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S., COSTA, I. C. (2013) Relatório Anual de Chuvas 2012. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 05/2013, Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S., COSTA, I. C. (2013) Relatório de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos para a Cidade do Rio de Janeiro no ano de 2012. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 05/2013. Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- DAI, F.C., LEE, C.F. (2001), Frequency-volume relation and prediction of rainfall-induced landslides. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101. Department of Civil and Structural Engineering, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong, People's Republic of China. Engineering Geology 59 (2001) 253-266.

- EDITORA OFICINA DOS TEXTOS (2013). Exemplos dos Movimentos de Massa, disponível em: <http://www.comunitexto.com.br/movimento-de-massa-conceitos/#.VWpu989Viko>, acesso em 21/04/2015 às 13:00
- ESCARIO, V. E SAEZ, J. The Shear Strength of Partly Saturated Soils. *Geotechnique*, v. 36 (3), pp. 453-456, Dublin, 1986.
- FERNANDES L. A. 1998. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 216p. (3 mapas).
- FERNANDES, M. C., AVELAR, A. S., NETTO, A. L. C. (2006). Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ: Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* ISSN 0101-9759 Vol. 29 - 2 / 2006 p. 122-148.
- FERREIRA, A. M. (2010) Avaliação de Proposições Matemáticas para a Interpretação do Comportamento dos Solos Residuais não Saturados, 243f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FIORI A.P., CARMIGNANI L. (1950) Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas: Aplicações na estabilidade de taludes, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. p. 339-342.
- FUTAI, M.M.; ALMEIDA, M.S.S; LACERDA, W.A. Resistência ao Cisalhamento de Solos Tropicais Não Saturados. In: 50 Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, São Carlos, SP, 2004.
- FREDLUND, D.G. MORGENSTERN, N.R. Stress State Variables for Unsaturated Soils. *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division*, GT5, v. 103, p. 447-466, 1977.
- FREDLUND, D.G. MORGENSTERN, N.R. e WIDGER, R.A. The Shear Strength of Unsaturated Soils. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 15 (3), p. 313-321, 1978.

- FREDLUND, D.G.; RAHARDJO, H. e GAN, J.K.M Non-Linearity of Strength Envelope of Unsaturated Soils. Proc. Int. Conf. On Exp. Soils. New Delhi, v.1, pp. 49-54, 1987.
- GERSCOVICH, DENISE (2012), Estabilidade de Taludes. Oficina de Textos, São Paulo, 166 p.
- GERSCOVICH, Denise Maria Soares; CAMPOS, Eurípedes A Tácio Mauro P; VARGAS JR.,(2011) Back Analysis of a Landslide in a Residual Soil Slope in Rio de Janeiro, Brazil Soils and Rocks ,vol. 14, n. 2, maio-agosto 2011 PP 139-149, ISSN: 1980-9743
- GERSCOVICH, Denise Maria Soares; CAMPOS, Tacio Mauro P; VARGAS JR, Eurípedes A (2010). On the evaluation of unsaturated flow in a residual soil slope in Rio de Janeiro, Brazil. Engineering Geology, Vol.88, Issues 1-2, pp. 23-40, ISSN/ISBN: 0013-7952.2006
- GUIDICINI E IWASA (1976) Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. Bulletin of the internacional associations of Engineering Geology. Nº 16 . 13-20, krefeld 1977.
- GUIDICINI GUIDO, CERRI. L. E. S.(1987), Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos, Serra do mar, Município de Cubatão. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo - IPT
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C.M. (1983), Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Edgard Blücher, São Paulo, 1 vol. p. 2-51
- HARR, R.D. (1977), Water Flux in Soil and Subsoil on a Step Foersted Slope, Journal of Hidrology, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p 37-58.
- HUTCHINSON. J.N. Mass movement. In: Encyclopedia of Geomorphology. Nova York: Fairbridge Reinhold Book, 1968.
- JESUS, A.C. (2008), Retroanálise de escorregamentos em solos residuais não saturados, São Carlos - SP, Dissertação (mestrado em geotécnica) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

- KAY, J. N., CHEN, T. "Rainfall-landslide relationship for Hong Kong". In: Proceedings of ICE - Geotechnical Engineering, v.113, Issue 2, pp. 117-118, 1995.
- KIM, J., JEONG, S., PARK, S., SHARMA, J.(2004), Influence of rainfall-induced wetting on the stability of slopes in weathered soils. Engineering Geology. Scienc Direct 2004.
- LACERDA, W.A., PALMEIRA, E.M., EHRLICH, M., NETTO, A.L.C.(2012) Extreme rainfall induced landslides: an international perspective.
- LUCIANI, S., FIORUCCI, F., MONDINI, A.C. & SANTANGELO, M. (2012). National warning system for rainfall-induced landslides in Italy, Università degli Studi di Perugia, Perugia, Italy.
- LUMB, P.(1975) Slope failures in Hong Kong. Department of civil engineering, University of Hong Kong. Engineering Geology 1975 vol. 8 pp. 38-65.
- MACHADO, S.L e VILAR, O.M. Resistência ao Cisalhamento de Solos Não Saturados: Ensaio de Laboratório e Determinação Expedida. Solos e Rochas, AMBS - ABGE, v. 21 (2), pp. 65-78, 1998.
- MARINHO F.A.M, PEREIRA J.H.F (1998) Mini-Curso de Solos Não Saturados In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 11, (1998). Apostila. Brasília. ABMS p 1-67.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA E AGÊNCIA DE METEOROLOGIA DO JAPÃO (2005). Orientações para Colaboração entre Províncias e Agência de Meteorologia do Japão na Elaboração e Anúncio de Informações de Alerta de Desastres de Deslizamentos de Terra, Japão.
- PFAFSTETTER, O. Chuvas Intensas no Brasil. Rio de Janeiro, DNOS, 419 p. 1957.
- PEDROSA, M.G.A. (1994). Análise de Correlações entre Pluviometria e Escorregamentos de Taludes. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 343 p.

- PUN, K. F., HUI, I.K., LEWIS, W., AND LAU, H.C.W. (2003). "A mutiple-criteria environmental impact assessment for the plastic injection molding process: A methodology", *Journal of Cleaner Production* 11 (1), p. 41-49.
- PREMCHITT J., LAM, T.S.K., SHEN, J.M. & LAM, H.F. (1992). Rainstorm runoff on slopes. GEO Report No. 12, Geotechnical Engineering Office. Hong Kong, 218p.
- RÖHM, S.A. (1992) Resistência ao Cisalhamento de um Solo Arenoso Laterizado Saturado da Região de São Carlos - SP. 57-98 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos (1992).
- ROZA, A. G. (2007), Geocoturismo Aplicado a Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro. Projeto Final de Graduação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- SANTOS, A.R. (2004), A grande barreira da Serra do Mar: Trilha dos imigrantes. *O Nome da Rosa*, São Paulo, 39-45.
- SILVA, F. L. M., AMARAL, C. & NASCIMENTO, A. C. (2000). CPRM - Serviço Geológico do Brasil , PUC-RIO, Rio de Janeiro, RJ.
- SOARES, E. P., MARTON, E. (2008) Relação entre precipitação e deslizamentos de encostas na região de Angra dos Reis. Congresso Nacional de Meteorologia.
- TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI. L. E. S.(1987), Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos, Serra do mar, Município de Cubatão. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT.
- TERZAGHI, K. Theoretical soil mechanics. Nova York: John Wiley & Sons, 1943.
- TUCCI, E.M. (2009) "Hidrologia Ciência e Aplicação". P.A. UFRGS, ABRH, 944p.
- VARNES, D.J. Landslides types and processes. In: EKEL, E. B. (Org.) Landslides and engineering pratice. Washington: Nacional Academy of Sciences, 1958. Cap. 2.
- VARNES, D.J. Landslides, analysis and control. Special Report 176, National Academy of Sciences, cap. III, 1978.

- VARGAS, M. The concept of tropical soils. In: International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1. Proceedings... ABMS, 1985. v. 3.
- VASCONCELLOS D. B. (2015) Percepção de Risco Associado a Deslizamentos de Terra da Comunidade da Formiga, Rio de Janeiro, 141 f (Projeto de Graduação em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- VAZ, MARTINS (2014). Mapa de Ameaça Naturais do Estado do Rio de Janeiro, Secretaria de Estado de Defesa Civil, Rio de Janeiro, RJ.
- VILAR, O.M. (2006). A Simplified Procedure to Estimate the Shear Strength Envelope of Unsaturated Soils, Canadian Geotechnical Journal. V. 43, N(4), p. 1008-1095.
- WILSON, C.J. 1988. Runoff and pore pressures in hollows. PhD Thesis, California University, Berkeley.
- WOOD, D.M (1979). The Behaviour of partly saturated soils: a review. Cambridge University Engineering Department Technical report. CUED/D - Soils/TR69. 71p.

ANEXO 1 - EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS

Apresenta-se a seguir os eventos pluviométricos dos meses de Fevereiro a Dezembro. Cabe informar que não houve precipitação no mês de agosto.

Tabela 23 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Fevereiro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Fevereiro	Horária	09/02/2010	22:45:20	0,2	29,8	29,8	29,8	29,8
	Acumulada	09/02/2010	23:30:20	0	0,2	29,8	29,8	29,8
	Horária	18/02/2010	05:30:20	1,6	8	8,4	8,4	8,4
	Acumulada	18/02/2010	07:45:20	0,2	0,8	14,4	14,8	14,8

Tabela 24 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Março de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Março	Horária	06/03/2010	19:15:20	4,20	58,40	58,40	58,40	66,80
	Acumulada	06/03/2010	23:15:20	0,00	0,60	46,00	104,40	112,00
	ocorrência	07/03/2010	02:00:20	0,00	0,00	1,60	104,60	112,20
	Horária	14/03/2010	19:00:20	6,60	27,00	27,00	30,80	30,80
	Acumulada	15/03/2010	02:30:20	0,00	0,80	12,00	46,20	50,00
	Horária	16/03/2010	06:00:20	0,40	2,00	2,60	2,60	52,60
	Acumulada	16/03/2010	06:30:20	0,00	0,60	2,60	2,60	52,60
	Horária	16/03/2010	19:30:20	1,00	7,20	8,60	11,40	61,40
	Acumulada	17/03/2010	00:30:20	0,00	0,60	5,20	19,80	69,80
	Horária	17/03/2010	18:45:20	3,60	20,20	27,00	42,40	98,80
	Acumulada	17/03/2010	22:00:20	0,00	0,40	27,80	47,00	110,80
	Horária	29/03/2010	23:15:20	0,80	7,20	7,80	7,80	7,80
	Acumulada	30/03/2010	06:15:20	0,00	0,80	8,40	18,60	18,60
	Horária	31/03/2010	02:15:20	1,20	11,80	15,20	34,40	44,60
	Acumulada	31/03/2010	03:15:20	0,20	0,40	14,40	34,00	45,00
	Horária	31/03/2010	16:00:20	8,20	15,20	15,80	42,60	61,40
Acumulada	31/03/2010	17:15:20	0	1	17,4	41,6	63	

Tabela 25 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Abril de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Abril	Horária	04/04/2010	20:00:20	0,60	10,40	10,80	10,80	17,00
	Acumulada	04/04/2010	21:15:20	0,00	0,80	12,00	12,20	18,40
	ocorrência	06/04/2010	08:00:20	2,60	11,80	56,20	258,80	271,40
	ocorrência	06/04/2010	08:30:20	1,00	8,00	53,80	261,40	274,00
	ocorrência	06/04/2010	10:30:20	0,20	1,20	28,40	265,00	279,00
	ocorrência	06/04/2010	11:30:20	0,60	2,00	15,00	260,40	281,00
	ocorrência	06/04/2010	14:00:20	0,00	0,40	5,00	261,60	283,60
	ocorrência	06/04/2010	15:00:20	0,20	0,60	4,40	262,20	284,20
	ocorrência	06/04/2010	20:00:20	0,20	5,00	22,60	236,60	316,40
	ocorrência	06/04/2010	21:00:20	0,20	0,20	17,80	213,00	316,60
	ocorrência	06/04/2010	21:30:20	1,40	2,00	15,60	209,60	318,40
	ocorrência	06/04/2010	22:00:20	1,00	5,60	15,20	212,60	322,20
	ocorrência	06/04/2010	22:30:20	1,40	6,60	16,80	212,40	325,00
	ocorrência	06/04/2010	23:00:20	0,80	6,40	17,20	213,80	328,60
	ocorrência	06/04/2010	23:30:20	5,80	11,20	20,00	208,00	336,20
	ocorrência	07/04/2010	00:00:20	4,20	17,20	29,40	216,80	345,80
	ocorrência	07/04/2010	01:00:20	0,00	4,20	33,40	206,40	350,00
	Horária	07/04/2010	07:45:20	0,40	4,00	7,40	92,60	361,40
	Acumulada	07/04/2010	08:30:20	0,00	0,60	7,40	87,60	361,60
	Horária	28/04/2010	21:45:20	5,20	18,20	28,60	33,00	33,00
Acumulada	29/04/2010	08:45:20	0,00	0,40	3,40	48,00	52,40	
Horária	30/04/2010	00:00:20	0,20	2,40	2,80	15,20	58,00	
Acumulada	30/04/2010	00:30:20	0,00	0,60	2,60	14,80	58,00	

Tabela 26 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Maio de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Maio	ocorrência	09/05/2010	08:00:20	0,20	2,00	7,60	25,40	25,40
	ocorrência	09/05/2010	09:30:20	0,20	0,60	4,00	26,00	26,00
	ocorrência	09/05/2010	22:00:20	0,00	0,60	7,60	43,00	43,00
	Horária	31/05/2010	23:30:00	1,20	9,20	14,40	14,60	16,40
	Acumulada	01/06/2010	13:15:00	0	0,8	10,6	43	43,2

Tabela 27 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Junho de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Junho	Horária	01/06/2010	21:45:00	0	1,6	1,6	39,6	44,8
	Acumulada	01/06/2010	22:15:00	0	0,2	1,8	39,6	45
	Horária	12/06/2010	00:00:00	0,2	9,8	21,2	24,2	24,2
	Acumulada	12/06/2010	01:30:00	0	1	11,6	25	25,4
	Horária	22/06/2010	23:00:00	0,6	1,8	3	5	5
	Acumulada	23/06/2010	00:15:00	0	1	4,2	6,2	6,2

Tabela 28 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Julho de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Julho	Horária	14/07/2010	02:15:00	0,8	13	14,2	15,8	16,4
	Acumulada	14/07/2010	03:00:00	0	1	13,6	16	16,6
	Horária	15/07/2010	07:30:00	0,4	2,2	5,4	14	30,8
	Acumulada	15/07/2010	10:00:00	0	0,8	4,8	16,2	33
	Horária	17/07/2010	03:15:00	2,4	11,8	22,8	41,6	75,6
	Acumulada	17/07/2010	18:15:00	0,2	0,8	3	75,8	114,2
	Horária	28/07/2010	04:45:00	1	4,8	5	5,2	5,4
	Acumulada	28/07/2010	05:45:00	0,2	0,4	5,4	5,6	5,8

Tabela 29 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Setembro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Setembro	Horária	06/09/2010	11:45:00	0,20	1,40	1,40	1,80	1,80
	Acumulada	06/09/2010	12:15:00	0,00	0,60	1,40	1,80	1,80
	Horária	08/09/2010	05:30:00	0,00	5,20	6,40	7,60	9,40
	Acumulada	08/09/2010	16:45:00	0,00	0,60	4,80	17,80	19,60
	Horária	26/09/2010	19:15:00	0,80	3,00	5,40	5,40	7,00
	Acumulada	27/09/2010	10:00:00	0,00	0,20	3,40	16,20	17,80
	Horária	28/09/2010	07:30:00	0,20	2,80	5,80	9,60	24,20
	Acumulada	28/09/2010	08:00:00	0,00	0,60	5,40	9,00	24,20

Tabela 30 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Outubro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Outubro	Horária	03/10/2010	07:30:00	2.0	7.4	15.8	16.0	19.2
	Acumulada	03/10/2010	12:45:00	0.0	0.6	10.8	31.4	34.6
	Horária	18/10/2010	22:30:00	1.4	4.8	10.8	20.6	20.6
	Acumulada	19/10/2010	03:30:00	0.0	0.8	7.6	25.2	29.8
	Horária	27/10/2010	02:00:00	7.8	23.4	26.2	52.6	63.8
	Acumulada	27/10/2010	07:45:00	0.0	1.0	14.0	74.4	94.2

Tabela 31 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Novembro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Novembro	Horária	06/11/2010	17:15:00	1.8	12.6	15.4	16.8	16.8
	Acumulada	06/11/2010	23:15:00	0.2	0.8	5.0	23.8	23.8
	Horária	11/11/2010	05:30:00	2.0	9.0	18.2	26.2	26.2
	Acumulada	11/11/2010	07:30:00	0.2	0.8	18.6	30.2	30.2
	Horária	11/11/2010	16:15:00	1.0	3.2	3.2	34.6	34.6
	Acumulada	11/11/2010	17:00:00	0.0	1.0	3.2	34.6	34.6
	Horária	21/11/2010	00:45:00	1.8	8.6	9.8	9.8	11.8
	Acumulada	21/11/2010	02:15:00	0.0	0.6	12.2	12.2	14.2
	Horária	25/11/2010	00:45:00	0.6	4.6	5.2	6.0	10.0
	Acumulada	25/11/2010	02:45:00	0.0	0.2	9.4	10.4	12.2

Tabela 32 - Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Dezembro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Dezembro	Horária	02/12/2010	20:15:00	1,8	23,6	23,6	23,6	23,8
	Acumulada	03/12/2010	01:15:00	0	0,4	5	28,6	28,8
	Horária	05/12/2010	22:15:00	9,2	49,6	64	64	92,8
	Acumulada	06/12/2010	01:15:00	0,2	0,8	66,8	81,2	110
	Horária	06/12/2010	17:30:00	1	2,4	2,4	83,6	112,4
	Acumulada	06/12/2010	18:15:00	0	1	2,4	83,6	112,4
	Horária	09/12/2010	19:45:00	1,4	3,8	5,2	5,2	89
	Acumulada	10/12/2010	09:45:00	0	0,2	1,8	14	17
	Horária	14/12/2010	17:30:00	1,4	7,4	7,4	13,2	13,2
	Acumulada	14/12/2010	19:00:00	0	0,8	9,8	14,8	15,6
	Horária	16/12/2010	00:30:00	4	14,6	18	23,4	42,4
	Acumulada	16/12/2010	03:15:00	0	0,6	17,6	23,2	44,2
	Horária	22/12/2010	21:00:00	2,8	26	26,6	26,6	28,6
	Acumulada	22/12/2010	22:45:00	0,2	0,8	30	30	32
	Horária	23/12/2010	20:15:00	1	4,2	5,2	27,6	38,2
	Acumulada	24/12/2010	01:15:00	0,2	1	2,6	9,4	41,4
	Horária	27/12/2010	22:15:00	6,4	20,6	30,8	30,8	32,6
	Acumulada	28/12/2010	03:30:00	0	0,4	5,6	43,4	43,6
	Horária	28/12/2010	19:45:00	1	3,8	5,6	49	49
	Acumulada	29/12/2010	00:00:00	0	0,2	6,4	18,4	56,6
Horária	30/12/2010	02:00:00	2	14	14	14,6	71,8	
Acumulada	30/12/2010	03:00:00	0	0	14	14,4	71,8	

ANEXO 2 - SONDAGENS

BOLETIM DE SONDAGEM ROTATIVA OU MISTA


Localidade:		Preço do serviço		Sondagem		DATA		REVESTIMENTO		ANOSTRADOR		DRE	
FORMIGA		SM 01		N°		INICIO		(mm)		DIAM.		COTA DO FURC.	
Bomba:		Sonda:		Pecas de Corte		TERMINO				SPT		LÁMINA D'ÁGUA	
gachota		920		Diâmetro								Letra:	
Prof.		Prof.		L-Lava		Golpes do Anostrador		Penetração		Comprimento da		N°	
2-1/2		-		Sopista		N° Am		De Para		Manobra		De	
						7/15		De		(m)		De	
						8/15		1000		-		-	
						9/15		700		0,45		-	
						10/15		200		0,45		-	
						11/15		300		0,45		-	
						13/15		400		0,45		-	
								445/479				479	
								479/629		1,50		0	
								629/779		1,50		0	
								779/929		1,50		0	
								929/1079		1,50		0	
								1079/1229		1,50		0	
								1229/1379		1,50		0	
												479	
												Rocha fragmentada	
												Rocha - Sa	
												1079	
												0,90	
												0,90	
Material Altravés de OBS: (Natureza, cor, etc)													
Altera de Silt argila PE													
coromero de cor vermelha saiboa													
Silt vermelho pouco espalho													
de cor vermelha saiboa													

Nota: Em caso de uso de peças diamantadas, sempre anotar o número de ordem (D). Ao usar peças de vidro, amolar (W) e ao usar trepano, usar (T)

Sondador: _____ Cliente: _____
 Fical: _____
 Eng: _____

Cliente GEORIO																
Local MORRO DA FORMIGA, RIO DE JANEIRO / RJ																
Escala: 1:100		Data: 01/11/2011		Des. : TRP		Geól.º		Des.º -								
SONDAGEM SM-01				COTA: 225,50m		Início: 08/09/2011		Término: 19/09/2011								
Cotas em relação ao RLN	Anotações	Profundidade da cotação (m)	Penetração : (golpes/30cm) - - - - 1ª e 2ª penetrações ———— 2ª e 3ª penetrações				Revestimento Ø NW { Ø Interno: 78,5 mm Ø externo: 88,9 mm									
			Nº de golpes		Cálculo		Diâmetro { Ø Interno: 57,15 mm Ø externo: 74,70 mm									
Nível d'água			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL							
		4,79	16	18					Areia silteosa medianamente compacta e compacta de coloração cinza-amarelada. (solo residual)							
		10,79							Amostras não recuperadas. (solo residual) De 4,79m a 10,79m - A5							
		13,79			0%				Rocha gnáissica de coloração cinza com veios de pegmatito, textura porfiroblástica e estrutura bandada. Encontra-se medianamente alterada e fragmentada. Trecho em rocha de baixa resistência geomecânica devido à fragmentação. De 10,79m a 13,79m - A2,F5							
									LIMITE DA SONDAGEM							
					<table border="1"> <tr> <th colspan="2">REVESTIMENTOS (m)</th> </tr> <tr> <td>Ø NW</td> <td>0,00 a 0,08</td> </tr> <tr> <td>Ø DW</td> <td>0,08 a 16,00</td> </tr> </table>		REVESTIMENTOS (m)		Ø NW	0,00 a 0,08	Ø DW	0,08 a 16,00				
REVESTIMENTOS (m)																
Ø NW	0,00 a 0,08															
Ø DW	0,08 a 16,00															
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		INÍCIO/CRUA	ACERTS	50	30	40	20	NFE	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO							
INICIAL	FINAL			RECUPERAÇÃO (S)		NFE	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO									
NFE	NFE			Fragmentação <input checked="" type="checkbox"/>		*	TESTEMUNHOS FRAGMENTADOS									
20/10/2011	20/10/2011			recuperação BOLA <input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	AMOSTRA NÃO RECUPERADA									
				ROTATIVA												

LOCAL DE EXECUÇÃO:		Morro da Formiga				COTA:		188,124						
IDENTIFICAÇÃO DA SONDAAGEM:		SM-02				MÉTODO DE PERFURAÇÃO:		Rotativa						
DATA DA PERFURAÇÃO		INÍCIO: 31/10/2011				COORDENADAS:		N: 650109 / 7461664						
SONDADOR:		Manciel				TÉRMINO:		8/11/2011						
		Normas e regulamentos aplicáveis: ABNT NBR 6464/ ADNT NBR 3603/ ADNT NBR 6502				Motivo do encerramento:		alcançado o critério de paralisação estabelecido pela fiscalização						
						Nível de água:		Mínimo (m): - Data/Hora: - Máximo (m): - Data/Hora: -						
N.º da amostra	Avanço da sondagem	Profund. m	Comp. da manobra	Soma do número de golpes		Gráfico de índice de resistência à penetração	Recuperação				Gráfico de % de amostras recuperadas VS profundidade	Prof. (m)	Perfil litológico	
				1+2	2+3		Total de metros recuperados	Núm. de fragmentos > 10 cm	Núm. de fraturas	% Recuperação				
	Rotativa	0,00 - 1,50	1,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0		Solo arenoso, cinza escuro, granulometria média a grossa, Rocha Gnaíssica de coloração cinza textura Porfiroblástica e estrutura Bandada. Encontra-se muito alterada e muito fraturada.		
	Rotativa	1,50 - 3,00	1,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0				
	Rotativa	3,00 - 3,50	0,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0				
	Rotativa	3,50 - 5,00	1,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0				
	Rotativa	5,00 - 6,50	1,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0				
	Rotativa	6,50 - 8,00	1,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0				
	Rotativa	8,00 - 9,50	1,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0				
	Rotativa	9,50 - 11,00	1,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0				
	Rotativa	11,00 - 11,50	0,5	NC	NC	NC	0	0	NC	0				
	Rotativa	11,50 - 13,00	1,5	NC	NC	NC	1,4	15	0	93%				
	Rotativa	13,00 - 14,50	1,5	NC	NC	NC	1,45	14	0	96%				
NC - Não calculado Rotativa - Revestimento NW - Ø 3" TC: traco concha - Ø 4" SP: sondagem à percussão - Revestimento Ø 2½"						RESPONSABILIDADE TÉCNICA: Geol. Valdeir Sedano CREA-RJ: 2008101527								
RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO: Gráfico do número de golpes.						% DE AMOSTRAS RECUPERADAS Relação entre metros perfurados e metros de amostras recuperadas								


MCI SONDAGENS E CONSTRUÇÕES LTDA
 www.mci.com.br

SONDAGEM ROTATIVA

ORDEM: TÍSULCA

LOCAL: Moxo da Formiga

SONDAGEM Nº: SM 3 INCLINAÇÃO: V

GOTA:

DATA MÊS E ANO	SISTEMA D'ABRANTE M-ARVIA M-ARVIA	TRECHO (m)		MELTIOM PROFI- RADOS	HORAS		Nº DE PEÇAS	COMPR. (m)	% DE RECUP.	TERMINO POR MACHUCA	TERMINO ATRAVESSADO E OBSERVAÇÕES (NATUREZA, COR E GRAU DE ALTERAÇÃO DA ROCHA, PEDRA D'ÁGUA, FENDAS, ETC) ANTES DOS LÍMITES CONTESP. à MANEIRA
		DE	ATÉ		DE	ATÉ					
		0,00	6,30				150				<u>Rocha Fragmentada</u>
		6,30	7,80				150				<u>1 Pm</u>
		7,80	9,30				150				<u>1 Dm</u>
		9,30	10,80				150				<u>1 Dm</u>
		10,80	12,30				150				<u>1 Dm</u>
		12,30	13,80				150				<u>Rocha Saca</u>
		13,80	15,30				150				
		15,30	16,80				150	90			<u>1 Dm</u>
		16,80	18,30				150	90			<u>1 Dm</u>

AVOTAR O NÍVEL D'ÁGUA NO INÍCIO DE CADA DIA DE TRABALHO E QUANDO ENCONTRADO	DATA	HORA	PROFUND. FURO	NÍVEL D'ÁGUA	DATA	HORA	PROFUND. FURO	NÍVEL D'ÁGUA	TOTAL PERFUR.	TOTALS HORAS	BIESTRE	VISTO DO FISCAL	VISTO DO ENGº
	<u>n10</u>	<u>n10</u>	<u>n10</u>	<u>n10</u>				<u>n10</u>	<u>18,30</u>				
				<u>n10</u>				<u>n10</u>					

Cliente GEORIO																
Local MORRO DA FORMIGA, RIO DE JANEIRO / RJ																
Escala: 1:100		Data: 01/11/2011		Des. = AJ		Geól.º		Des.nº -								
SONDAGEM SM-03				COTA: 160,19m		Início: 06/10/2011		Término: 11/10/2011								
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm)				Revestimento Ø NW									
			Nº de golpes		Gráfico		{ Ø interno: 76.5 mm { Ø externo: 88.9 mm		{ Ø interno: 57.15 mm { Ø externo: 74.70 mm							
Nível d'água			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL							
		18.30		12%					Rocha gnáissica de coloração cinza com veios de pegmatito, textura porfiroblástica e estrutura bandada. Encontram-se medianamente alterada e fragmentada. Trecho em rocha de baixa resistência geomecânica devido à fragmentação.							
				10%					De 15,30m a 18,30m - A2,F2							
									LIMITE DA SONDAGEM							
									<table border="1"> <tr> <th colspan="2">REVESTIMENTOS (m)</th> </tr> <tr> <td>Ø NW</td> <td>0,00 a 5,00</td> </tr> <tr> <td>Ø BW</td> <td>0,00 a 16,00</td> </tr> </table>		REVESTIMENTOS (m)		Ø NW	0,00 a 5,00	Ø BW	0,00 a 16,00
REVESTIMENTOS (m)																
Ø NW	0,00 a 5,00															
Ø BW	0,00 a 16,00															
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		SIMBIOLOGIA	RQD%	80	60	40	20	NFE	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO							
INICIAL	FINAL			RECUPERAÇÃO (%)		NFO	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO									
NFE	NFE			Fragmentos/m		*	TESTEMUNHOS FRAGMENTADOS									
20/10/2011	20/10/2011			RECUPERAÇÃO NULA		⊗	AMOSTRA NÃO RECUPERADA									
				ROTATIVA												

BOLETIM DE SONDAGEM ROTATIVA / MISTA

PBS Sondagens e Perfurações de Solos Ltda Tel: (11) 4426-3381		Sondagem Nº SM04 10/11		Data Início: 10/11 Término: 11/11		Revestimento 1/1/1/1		Arrotrador Diâmetro Interno: Ø Diâmetro Externo: Ø		Cota do RN Cota do Furo: 000		Profundidade Nivel D'água (m) Leitura 1: 000 Leitura 2: 000 Leitura 3: 000 Final (24h): 000					
Local Serviço: MAIRO FORM GA OUBRA CONCREMAT		Prefixo da Cota		Comprim. da Manobra		Recuperação (m) %		Nº de Fragmentos		Nº de Fragmentos / m		Medida de Cimentada (m³)		Material			
Sondador: Regimont		Ensaio de Penetração Nº Golpes		Penetração ou manobra cm para		Comprim. da Manobra		Recuperação (m) %		Nº de Fragmentos		Nº de Fragmentos / m		Medida de Cimentada (m³)		Material	
Profundidade Reveal		15 cm / 15 cm / 15 cm		000 033		069		100		4		81		000		ativo de am tubos	
033		102 157 055		157 2,57 1,00		055		100		1		100		033		ROCHA SAN	
		2,57 3,89 1,32		1,32 1,32 1,00		1,32		100		2		100					

Cliente GEORIO																		
Local MORRO DA FORMIGA, RIO DE JANEIRO / RJ																		
Escala: 1:100		Data: 09/11/2011		Des. * AJ		Geól.º		Des.nº -										
SONDAGEM SM-05				COTA: 222.93m		Início: 08/11/2011		Término: 08/11/2011										
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm)				Revestimento Ø NW											
			--- 1ª e 2ª penetrações ——— 2ª e 3ª penetrações				{ Ø interno: 76,5 mm { Ø externo: 86,9 mm											
Nível d'água			Nº de golpes		Gráfico				CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL									
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40										
		4.03		54%					CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL Rocha gnáissica de coloração cinza com velos de pegmatito, textura porfiroblástica e estrutura bandada. Encontra-se sã e muito fraturada com passagens fragmentadas e alteradas nas fraturas verticalizadas. Trecho em rocha de alta resistência geomecânica. De 0,00m a 4,03m - A1,F4									
-5													LIMITE DA SONDAGEM <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">REVESTIMENTOS (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ø NW</td> <td>0.00 a 5.00</td> </tr> <tr> <td>Ø BW</td> <td>0.00 a 16.00</td> </tr> </tbody> </table>				REVESTIMENTOS (m)	
REVESTIMENTOS (m)																		
Ø NW	0.00 a 5.00																	
Ø BW	0.00 a 16.00																	
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		SIMBOLOGIA	RQD%	80	60	40	20	NFE	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO									
INICIAL	FINAL			RECUPERAÇÃO (%)		NFO	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO											
NFE	NFE			Fragmentos/m		*	TESTEMUNHOS FRAGMENTADOS											
08/11/2011	08/11/2011			RECUPERAÇÃO NULA		⊗	AMOSTRA NÃO RECUPERADA											
				ROTATIVA														

BOLETIM DE SONDAGEM ROTATIVA / MISTA

PBS
Sondagens e Perfurações de Solos Ltda
Tel: (11) 4426-3581

Foco Sondo: Muro Perigo	Profundidade Nivel D'água (m)	Cota do RN	Amostrador		Revestimento	Data		Sondagem Nº	Penetração ou marcação		Componente da Naúbia		Recuperação		Nº de Fragmentos / m	Medicina de Consola (m)	Material
			Diâmetro Interno	Diâmetro Externo		Início	Término		do	para	Naúbia	%	(m)	%			
					MM			519.06	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10				concreto
					MM				0.70	1.00	0.20	0.41					Ch de Rocha
									1.00	1.45							silte grosso, f. fino de are suavel
									1.45	2.00							lbeigs do
									2.15	3.00							
									3.15	3.15							ROCHA ALTERADA
									3.15	4.00							ROCHA SAN
									4.15	4.15	0.80	0.75					
									4.95	6.20	1.25	1.15					
									6.20	7.80	1.60	1.57					
									7.80	9.00	1.20	0.60					
									9.00	10.60	1.60	0.30					
									10.60	12.20	1.60	0.20					
									12.20	13.80	1.60	0.55					
									13.80	15.40	1.60	0.70					
									15.40	16.80	1.40	1.30					
									16.80	18.40	1.60	1.60					

Sondador: JACKSON

15.80

Cliente		GEORIO					
Local		MORRO DA FORMIGA, RIO DE JANEIRO / RJ					
Escala: 1:100	Data: 09/11/2011	Des. : AJ	Gedl.º				
SONDAGEM		SM-06	COTA: 204.65m				
		Início: 01/11/2011	Término: 08/11/2011				
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm)		Revestimento Ø NW	{ Ø interno: 76,5 mm { Ø externo: 88,9 mm	
			--- 1ª e 2ª penetrações — 2ª e 3ª penetrações				Barrilete
Nível d'água			Nº de golpes	Gráfico	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL		
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10 20 30 40		
		1.00	17	28		Fragmentos alterados de coloração cinza-amarelados de rocha gnáissica. Provável matacão de rocha.	
			20	36		De 0.00m a 1.00m - A3,F5	
			24	45		Areia siltosa compacta a muito compacta de coloração cinza-amarelada. (Solo residual)	
		4.15	32	53			
-5				-%		Rocha gnáissica extremamente alterada para solo areno-siltoso (saprolito duro) de coloração cinza-amarelado. Solo de muito baixa resistência geomecânica, pode ser escalável ou removível com ferramentas manuais.	
				-%		De 4.15m a 7.80m - A5	
		7.80		-%			
				-%		Rocha gnáissica muito alterada de coloração cinza-amarelada. A rocha possui baixa resistência geomecânica.	
		9.00		-%		De 7.80m a 9.00m - A4,F4	
-10				-%			
				-%		Rocha gnáissica extremamente alterada para solo areno-siltoso (saprolito duro) de coloração cinza-amarelado. Solo de muito baixa resistência geomecânica, pode ser escalável ou removível com ferramentas manuais.	
		12.20		-%		De 9.00m a 12.20m - A5	
				-%		Rocha gnáissica muito alterada e fragmentada de coloração cinza-esbranquiçada. A rocha possui baixa resistência geomecânica.	
		15.60		-%		De 12.20m a 15.60m - A4,F5	
						CONTINUA NA PRÓXIMA FOLHA	
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		SIMBOLOGIA	ROD%	80 60 40 20	NFE	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO	
INICIAL	FINAL		RECUPERAÇÃO (%)		NFO	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO	
NFE	NFE		Fragmentos/m		*	TESTEMUNHOS FRAGMENTADOS	
01/11/2011	08/11/2011		RECUPERAÇÃO NULA		⊗	AMOSTRA NÃO RECUPERADA	
			ROTATIVA				

Cliente		GEORIO													
Local		MORRO DA FORMIGA, RIO DE JANEIRO / RJ													
Escala: 1:100	Data: 09/11/2011	Des. = AJ		Geól.º	Des.nº -										
SONDAGEM SM-06		COTA: 204,65m		Início: 01/11/2011	Término: 08/11/2011										
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm)				Revestimento Ø NW { Ø interno: 76.5 mm { Ø externo: 88.9 mm Barriete { Ø interno: 57.15 mm { Ø externo: 74.70 mm								
			Nº de golpes		Gráfico			CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL							
Nível d'água			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30		40						
		16.40		55%					<p>Veio de rocha pegmatítica de coloração esbranquiçada, textura fanerítica e estrutura compacta. Encontra-se medianamente alterada e medianamente fraturada. Trecho em rocha de alta resistência geomecânica.</p> <p>De 15.60m a 16.40m - A2,F3</p>						
		19.85		79%					<p>Rocha gnáissica de coloração cinza-clara com veios de pegmatito, textura porfiroblástica e estrutura bandada. Encontra-se sã e pouco fraturada. Passagem fragmentada em: 17,10m a 17,20m. Trecho em rocha de extremama resistência geomecânica.</p> <p>De 16.40m a 19.85m - A1,F2</p>						
				94%					LIMITE DA SONDAGEM						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">REVESTIMENTOS (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ø NW</td> <td>0.00 a 17.50</td> </tr> <tr> <td>Ø BV</td> <td>0.00 a 20.60</td> </tr> </tbody> </table>										REVESTIMENTOS (m)		Ø NW	0.00 a 17.50	Ø BV	0.00 a 20.60
REVESTIMENTOS (m)															
Ø NW	0.00 a 17.50														
Ø BV	0.00 a 20.60														
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		SIMBOLOGIA	RQD%	80	60	40	20	NFE	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO						
INICIAL	FINAL			RECUPERAÇÃO (%)		NFO	NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO								
NFE	NFE			Fragmentos/m		*	TESTEMUNHOS FRAGMENTADOS								
01/11/2011	08/11/2011			RECUPERAÇÃO NULA		⊗	AMOSTRA NÃO RECUPERADA								
				ROTATIVA											

ANEXO 3 - ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO

Foram realizados ensaios de cisalhamento direto nas Amostra 0029, 0030 e 0031 que foram adensados sobre tensões normais de 50, 100, 150 e 200 Kpa e rompidos a uma deformação controlada a uma velocidade de 0,9144mm por minuto.

Os ensaios foram realizados em laboratório, terceirizado pela Concremat, conforme relatório de ensaio número LAB 57-11, cujos resultados são apresentados a seguir:

- i) Amostra AI - 0029 (Areia siltosa)

Tabela 33 - Resultados do ensaio - amostra AI - 0029 (Areia siltosa)

AMOSTRA	CP	UMIDADE (%)	Massa Específica Seca (Kg/m ³)		ÍNDICE DE VAZIOS		GRAU DE SATURAÇÃO (%)	DEFORMAÇÃO NA RUPTURA (mm)	TENSÃO NA RUPTURA (kPa)	
		Inicial	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial		σ	τ_{max}
AI-0029	1	7,9	1,387	1,496	0,925	0,784	22,7	15,5	51	100
	2	7,8	1,414	1,525	0,888	0,751	23,5	15,1	103	146
	3	6,6	1,444	1,538	0,849	0,736	20,6	15,0	155	191
	4	8,0	1,496	1,616	0,785	0,652	27,3	14,7	207	217

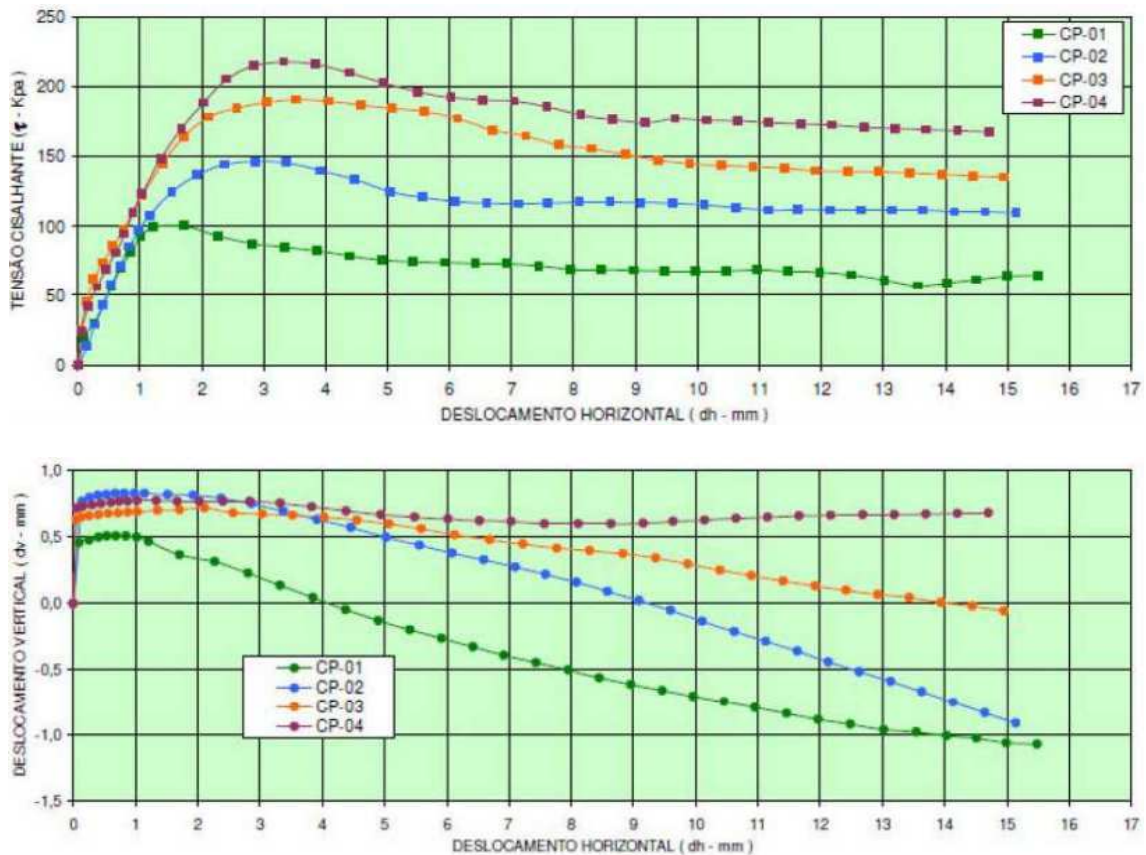


Figura 70. Resultados do ensaio na amostra de Areia siltosa (AI-0029)

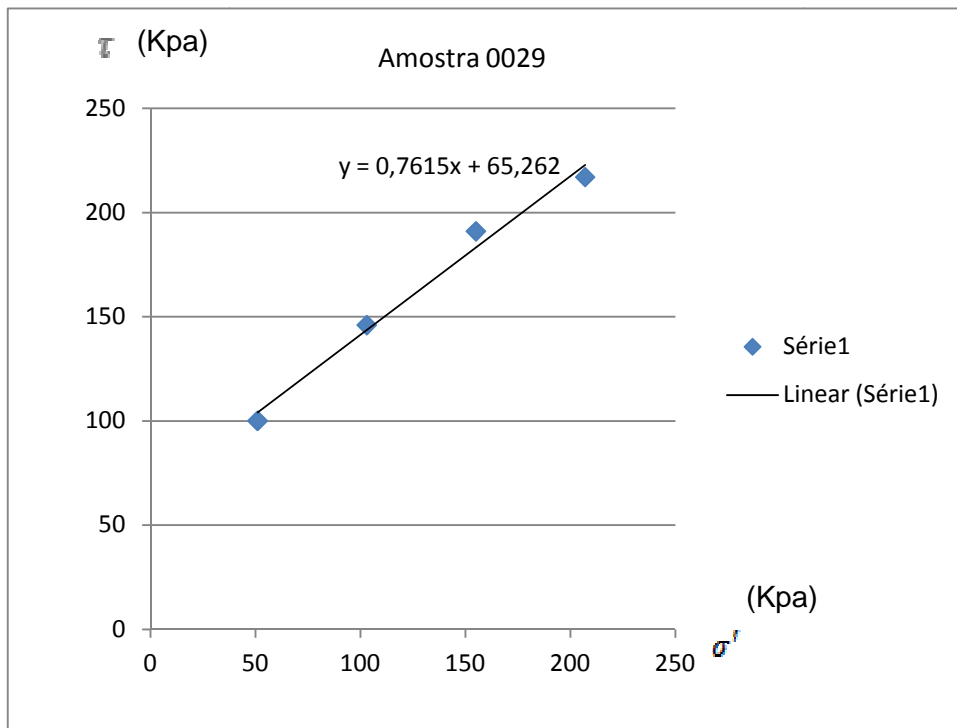


Figura 71. Envoltória de resistência efetiva - $\tau = 65,3 + \sigma' \operatorname{tg}(37,3^\circ)$

ii) Amostra AI - 0030 (Argila silto-arenosa)

Tabela 34 - Resultados do ensaio - amostra AI - 0030 (Argila silto-arenosa)

AMOSTRA	CP	UMIDADE (%)	Massa Específica Seca (Kg/m ³)		ÍNDICE DE VAZIOS		GRAU DE SATURAÇÃO (%)	DEFORMAÇÃO NA RUPTURA (mm)	TENSÃO NA RUPTURA (kPa)	
			Inicial	Final	Inicial	Final			σ	τ_{max}
AI-0030	1	13,5	1,694	1,922	0,576	0,389	62,4	15,7	51	79
	2	13,4	1,695	1,922	0,575	0,389	62,2	15,4	102	134
	3	13,4	1,696	1,922	0,575	0,389	62,1	15,1	155	197
	4	13,4	1,695	1,922	0,576	0,576	62,2	14,7	212	233

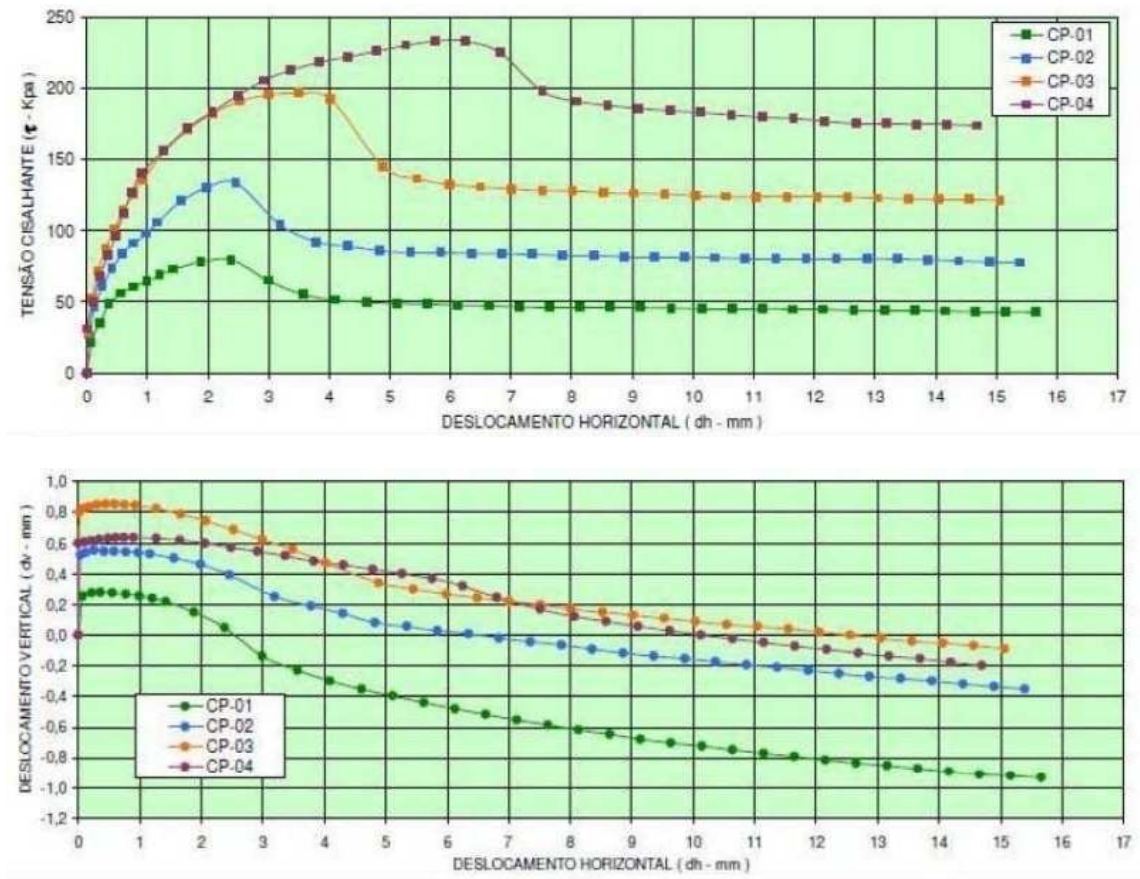


Figura 72. Resultados do ensaio na amostra de Areia siltosa (AI-0030)

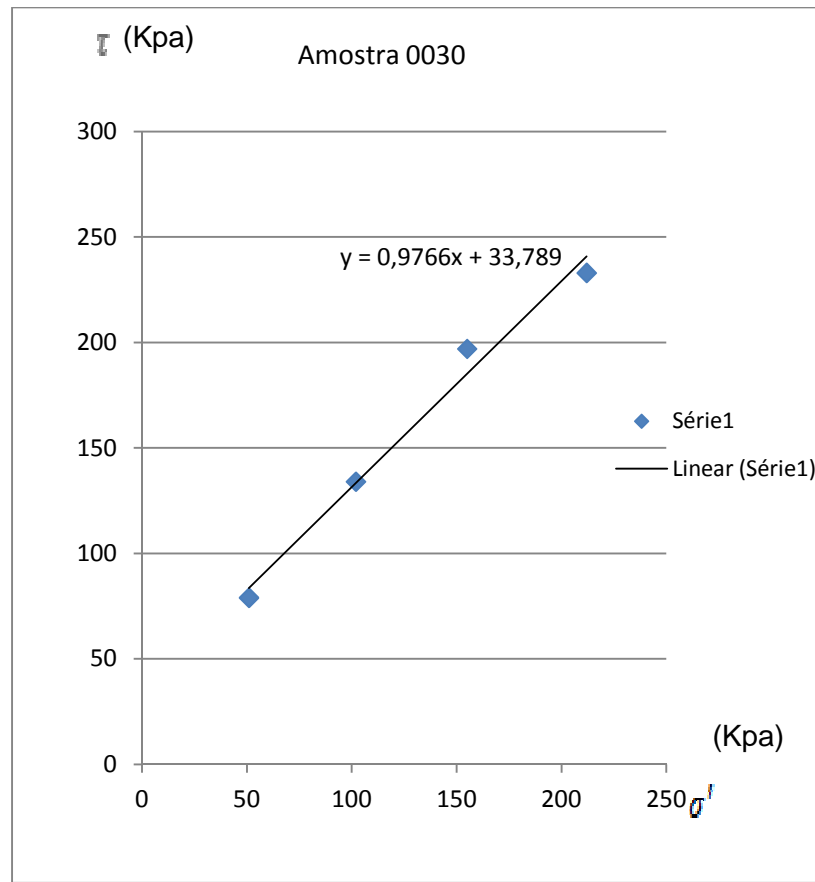


Figura 73. Envoltória de resistência efetiva - $\tau = 33,8 + \sigma' \text{tg}(44,3^\circ)$

iii) Amostra AI - 0031 (Argila silto-arenosa)

Tabela 35 - Resultados do ensaio - amostra AI - 0031 (Argila silto-arenosa)

AMOSTRA	CP	UMIDADE (%)	Massa Específica Seca (Kg/m ³)		ÍNDICE DE VAZIOS		GRAU DE SATURAÇÃO (%)	DEFORMAÇÃO NA RUPTURA (mm)	TENSÃO NA RUPTURA (kPa)	
			Inicial	Final	Inicial	Final			Inicial	σ
AI-0031	1	27,6	1,163	1,484	1,295	0,799	56,8	15,6	54	78
	2	28,1	1,159	1,485	1,304	0,798	57,6	15,2	109	130
	3	28,6	1,155	1,486	1,311	0,797	58,2	14,8	164	130
	4	27,5	1,222	1,558	1,184	0,713	61,9	14,5	223	225

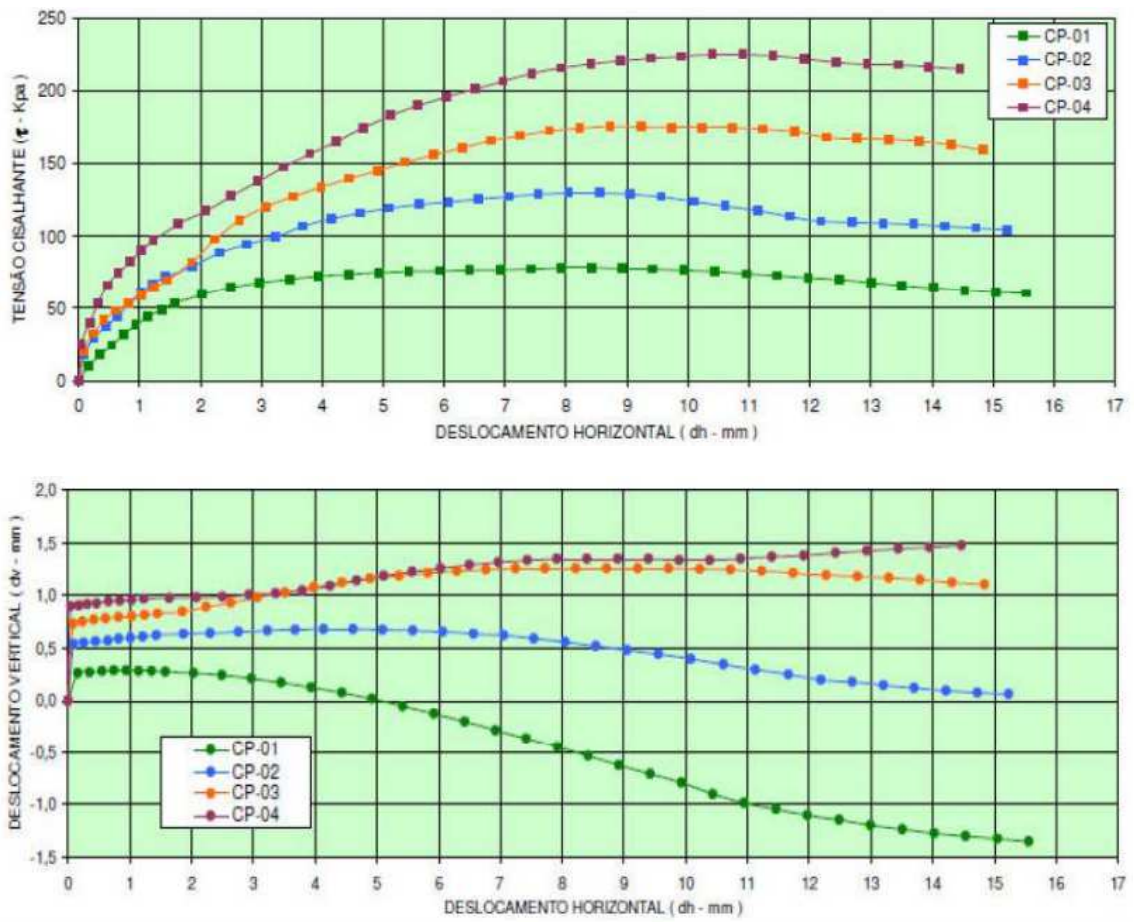


Figura 74. Resultados do ensaio na amostra de Areia siltosa (AI-0031)

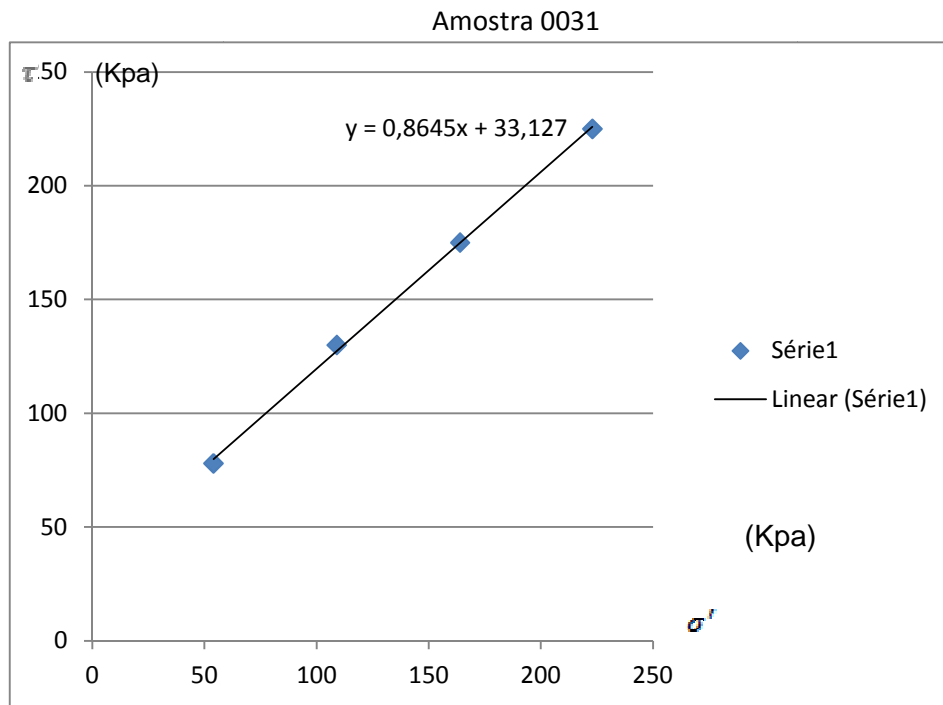


Figura 75. Envoltória de resistência efetiva - $\tau = 33,1 + \sigma' \operatorname{tg}(40,9^\circ)$