MAPEAMENTO GEOTÉCNICO APLICADO A ANÁLISE DE PROCESSOS DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS: COSTA VERDE-RJ – ESCALA 1:10.000

V. I

ALBERTO FERREIRA DO AMARAL JUNIOR

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette

São Carlos/SP
2007

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Dedico este trabalho as pessoas mais importantes de minha vida: a minha família, Alberto, Regina e Daniele, e em especial a minha companheira de caminhada Crisley.

A G R A D E C I M E N T O S

Primeiramente agradeço a Deus por permitir alcançar mais um objetivo de minha vida.

A minha família pela força e apoio incondicionais, e por entenderem minha ausência durante o período de realização desta etapa de qualificação profissional.

A Crisley por ter sido meu ponto de equilíbrio nos períodos de dificuldade e, por todo amor, companheirismo e orientações imprescindíveis no decorrer de todo o trabalho e de minha vida.

Ao professor Dr. Lázaro Valentin Zuquette pela orientação, discussões e amizade durante este período.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, por toda infra-estrutura oferecida pelo programa de pós-graduação, principalmente aos funcionários Maristela Batissaco, Álvaro Nery, Neiva, Herivelto Santos, e aos técnicos Antônio Garcia, José Luiz Guerra, Oscar Santos, Décio Lourenço pela dedicação, amizade e auxilio para desenvolvimento deste mestrado.

Ao Prof. José Miguel Peters Garcia do Laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMAGE) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), pela amizade, apoio e infra-estrutura concedidos durante a etapa de campo.

Aos amigos da pós-graduação do Departamento de Geotecnia, em particular aos moradores da República: *Crisley Guimarães, Fagner França, Lívia Pinto*, *Cleber Decassis, Valeria Rodrigues, Diogo, Simone Furegatte*; meus sinceros agradecimentos pelas ajudas diretas ou indiretas durante o decorrer da pesquisa.

AMARAL JR., A. F. **Mapeamento geotécnico aplicado à análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde-RJ – escala: 1:10.000**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Este trabalho apresenta um conjunto de atividades desenvolvidas e os respectivos resultados obtidos no decorrer dos estudos relacionados ao mapeamento geotécnico e movimentos de massa gravitacionais realizados em uma área que compreende 60 km^2, sendo 41 km^2 de encosta e 19 km^2 de planícies, localizada na região da Costa Verde-RJ, contemplando parte dos municípios de Itaguaí e Mangaratiba. O estudo foi realizado em três etapas distintas: definição dos atributos, levantamento de dados e análise dos resultados. Como resultado do mapeamento geotécnico foram elaborados os mapas de substrato rochoso, materiais inconsolidados, forma da encosta, declividade, direção da inclinação do talude e usos, assim como os dados de chuvas dos últimos 17 anos. Associado foi elaborado o inventário das feições de movimentos de massa gravitacionais de acordo com os critérios definidos pela UNESCO para classificação e descrição dos movimentos de massa gravitacionais. Foram castrados 140 eventos, consistindo em 5 categorias: escorregamentos translacionais, quedas, rolamentos fluxos e rastejos, sendo que 49% destes eventos não sofreram influência antrópica. A partir das informações obtidas foi elaborada uma carta de zoneamento de predisposição a movimentos de massa

gravitacionais com 4 classes de zoneamento, desde uma zona não sujeita a estes eventos e outras com maiores níveis de predisposições aos movimentos de massa gravitacionais.

Palavras chaves: Mapeamento geotécnico, movimentos de massa gravitacionais, Costa Verde, Rio de Janeiro.

AMARAL JR., A. F. **Engineering geological Mapping applied for assessment of the gravitational Mass Movement processes: Costa Verde-RJ – scale: 1:10,000**. 2007. Ms Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

This work presents a group of procedures developed and the results obtained by the studies related to the Engineering Geological Mapping and gravitational mass movement processes carried out in an area with 60 km2, being 41 km2 of hillside and 19 km2 of plains. It is located in the region of the Costa Verde - Rio de Janeiro, considering part of the Itaguaí and Mangaratiba municipalities. The study was developed in three distinct stages: definition of the attributes, obtaining of the data and analysis of the results. As result of the Engineering Geological mapping were elaborated rock substrate, unconsolidated materials, slope shape, slope gradient, direction of the slope gradient and land uses maps, as well as the rainfall data of the last 17 years. It was elaborated the inventory of the features of gravitational mass movements in accordance with the criteria defined by UNESCO for classification and description of the gravitational mass movements. It was registered 140 features, consisting of 5 categories: translational landslides, falls, Boulder rolling, flows and creep, which around 49% of these features had not suffered human influence. Considering the data obtained during the study a gravitational mass movements predisposition zoning chart was elaborated with 4 classes, since a zone it does not subject to these events

and others with higher levels of predispositions to the gravitational mass movements.

Key words – Engineering Geological Mapping, Gravitational mass movements, Costa Verde, Rio de Janeiro.

SUMÁRIO

Lista de Ilustrações..... i-iv
Lista de Tabelas..... v-vi
Lista de Siglas..... vii-ix

VOLUME I

Capitulo 1 - Introdução..... 1

1.1 PANORAMA INTERNACIONAL..... 2
1.2 PANORAMA NACIONAL..... 4
1.3 OBJETIVOS..... 6
1.4 TIPOS DE ESTUDOS SOBRE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS..... 7

Capitulo 2 – Revisão Bibliográfica..... 9

2.1 MOVIMENTO DE MASSA GRAVITACIONAL..... 10
2.1.1 CONCEITOS BASICOS..... 10
2.1.1.1 QUEDAS..... 10
2.1.1.2 TOMBAMENTO..... 11
2.1.1.3 ESCOAMENTO..... 12
2.1.1.4 ESCORREGAMENTO..... 17
2.1.1.5 ESPALHAMENTO OU ESPANSÃO LATERAL..... 20
2.1.1.6 MOVIMENTOS COMPLEXOS..... 21
2.1.2 DEFINIÇÕES DOS SIMBOLOS E GEOMETRIA USADAS PARA TALUDES..... 21
2.2 CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS..... 24
2.3 ATRIBUTOS PREDISPONENTES..... 30
2.3.1 TIPOS DE INFORMAÇÕES..... 35
2.3.2 COMPONENTES E ATRIBUTOS..... 36
2.3.2.1 COMPONENTES GEOMÓRFICO..... 38
2.3.2.2 COMPONENTE ÁGUA..... 41
2.3.2.3 COMPONENTE SUBSTRATO ROCHOSO..... 42
2.3.2.4 COMPONENTE MATERIAL INCONSOLIDADO..... 46
2.3.2.5 COMPONENTE VEGETAÇÃO..... 48
2.3.2.6 COMPONENTE AÇÃO ANTRÓPICA..... 50
2.3.2.7 COMPONENTE CLIMA..... 51
2.4 ZONEAMENTO..... 52
2.4.1 ESCALA..... 52
2.4.2 ÁREA MÍNIMA PARA TOMADA DE DECISÃO..... 55
2.4.3 RECURSOS DE ZONEAMENTO..... 59
2.4.3.1 MÉTODOS MULTICRITERIAIS..... 61
2.4.3.2 MÉTODOS HEURÍSTICOS..... 71
2.4.3.3 MÉTODOS DETERMINÍSTICOS..... 77
2.4.3.4 MÉTODOS ESTATÍSTICOS..... 79
2.5 TRABALHOS REALIZADOS NO ESTADO RIO DE JANEIRO..... 88

Capitulo 3 – Matérias e Métodos..... 93

3.1 ETAPAS DE TRABALHO..... 94
3.1.1 LEVANTAMENTO DE ATRIBUTOS A SEREM MAPEADOS..... 94
3.1.2 OBTENÇÃO E GERAÇÃO DE DADOS..... 98
3.1.2.1 DELIMITAÇÃO DE ÁREA..... 98
3.1.2.3 DIVISÃO DAS FORMAS DE ENCOSTAS..... 98

3.1.2.4 LEVANTAMENTO LITO-ESTRUTURAL..... 100
3.1.2.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL..... 100
3.1.2.6 DELIMITAÇÃO DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS..... 102
3.1.2.7 MDT..... 104
3.1.2.8 DECLIVIDADE..... 104
3.1.2.9 DIREÇÃO DO MERGULHO DO TALUDE..... 105
3.1.2.10 USOS..... 105
3.1.2.11 OBTENÇÃO DADOS DE CHUVA..... 106
3.1.2.12 INVENTÁRIO DE MMG..... 106
3.1.2.13 OBTENÇÃO DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS GEOLÓGICOS ENVOLVIDOS NOS MECANISMOS DE RUPTURA..... 107

Capitulo 4 – Resultados e Discussão..... 112

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA..... 112
4.1.1 LOCALIZAÇÃO..... 112
4.1.2 GEOMORFOLOGIA..... 113
4.1.3 GEOLOGIA..... 113
4.1.4 VEGETAÇÃO..... 114
4.1.5 CLIMA..... 114
4.2 FORMA DA ENCOSTA..... 114
4.3 SUBSTRATO ROCHOSO 117
4.3.1 LITOLOGIAS..... 117
4.3.1.1 GRANITO 118
4.3.1.2 MIGMATITO 119
4.3.1.3 BIOTITA GNAISSE..... 120
4.3.2 ESTRUTURAS 122
4.3.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL..... 123
4.3.4 SUBSTRATO ROCHOSOS X MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS..... 128
4.4 MATERIAIS INCONSOLIDADOS..... 129
4.4.1 MATERIAIS INCONSOLIDADOS RESIDUAIS 136
4.4.1.1 BIOTITA GNAISSE 136
4.4.1.2 MIGMATITO 138
4.4.1.1 GRANITO 141
4.4.2 MATERIAIS INCONSOLIDADOS TRANSPORTADOS..... 142
4.5 DECLIVIDADE..... 147
4.6 DIREÇÃO DO MERGULHO DO TALUDE..... 149
4.7 USOS 151
4.8 DADOS DE CHUVAS..... 153
4.9 FEIÇÕES 156
4.9.1 MECANISMOS DE RUPTURA..... 159
4.10 ZONEAMENTO GEOLÓGICO–GEOTÉCNICO DE ATRIBUTOS PREDISPONENTES A OCORRENCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS 168

Capitulo 5 – Conclusão..... 173

Capitulo 6 – Referências Bibliográficas..... 177

VOLUME II

ANEXO I - MAPA DE FORMA DAS ENCOSTAS

ANEXO II - MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO

ANEXO III - MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS

ANEXO IV - CARTA DE DECLIVIDADE

ANEXO V - CARTA DE DIREÇÃO DO MERGULHO DO TALUDE

ANEXO VI - MAPA DE USOS

ANEXO VII - PLANILHA DOS EVENTOS DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

ANEXO VIII - ZONEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE PREDISPOSIÇÃO A MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

ANEXO IX - MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

ANEXO X - MAPA DE INVENTÁRIO

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1.1. Gráfico de perdas sócio-econômicas provocadas por escorregamentos no Estado do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2000). 2

Figura 1.2. Gráfico das tipologias dos movimentos de massa gravitacionais significativos no Estado do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2000)..... 5

Figura 1.3. Tipos de resultados possíveis de serem obtidos em estudos de movimentos de massa gravitacionais..... 8

Figura 2.1. Fluxograma de abordagem para zoneamento de áreas potencialmente susceptíveis a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais..... 9

Figura 2.2. Esquematização de uma queda, provocada por ondas (Fonte: http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_types5.jsp, acesso em 8 Nov. 2006)..... 11

Figura 2.3. Exemplo de queda (Fonte: http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/T19990907/photos/alb_photos/069.jpg, acesso em 8 Nov. 2006)..... 11

Figura 2.4. Esquematização de um tombamento (Fonte: http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_types4.jsp, acesso em 8 Nov. 2006). 12

Figura 2.5. Exemplo de tombamento (Fonte: http://www.lmgc.univ-montp2.fr/MIDI/gal_alfredo/Al-6-a.jpg, acesso em 8 Nov. 2006)..... 12

Figura 2.6. Esquematização de um rastejo (Fonte:http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_types2.jsp, acesso em 9 Nov. 2006)..... 13

Figura 2.7. Exemplo de rastejo (Fonte: http://earthquake.usgs.gov/images/glossary/CREEP.JPG, acesso em 8 Nov. 2006) 14

Figura 2.8. Esquematização de um fluxo (Fonte: http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_types6.jsp, acesso em 8 Nov. 2006). 14

Figura 2.9. Exemplo de fluxo (Fonte: http://library.thinkquest.org/C003603/images/landslides04.jpg, acesso em 8 Nov. 2006)..... 15

Figura 2.10. Exemplo de uma avalanche (Fonte: http://www.fs.fed.us/gpnf/recreation/mount-adams/images/avalanche-lg.jpg, acesso em 8 Nov. 2006)..... 16

Figura 2.11. Exemplo de avalanche (Fonte: http://www.tardis.ed.ac.uk/~ajcd/images/avalanche.jpg, acesso em 8 Nov. 2006)..... 16

Figura 2.12. Esquema de escorregamento rotacional (Fonte: http://earthsci.org/processes/struct/masswaste/slump.jpg, acesso em 8 Nov. 2006)..... 17

Figura 2.13. Exemplos de escorregamento rotacional (fonte: http://earthquake.usgs.gov/learning/glossary.php?term=landslide, acesso em 9 Nov. 2006)..... 18

Figura 2.14. Exemplo de um escorregamento translacional em rocha (Fonte: http://www.divebsc.com/images/RockSlideClose.jpg, acesso em 8 Nov. 2006)..... 19

Figura 2.15. Exemplo de um escorregamento translacional (Fonte: http://www.neilmoomey.com/trips/pws_dan_neil_2000/, acesso em 8 Nov. 2006)..... 19

Figura 2.16. Esquema de espalhamento lateral (baseado em HUTCHINSON, 1988).... 20

Figura 2.17. Exemplo de espalhamento lateral (Fonte: http://geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/images/lateral20_big.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).. 20

Figura 2.18. Características ou componentes das feições de movimento de massa gravitacionais do tipo Escorregamento Rotacional, segundo UNESCO (1993), modificado..... 23

Figura 2.19. Resistência a compressão uniaxial e classes de alteração (VAZ,1996)..... 45

Figura 2.20. Exemplo de *grid* regular..... 55

Figura 2.21. Exemplo de encosta..... 56

Figura 2.22. Exemplo de bacia hidrográfica..... 57

Figura 2.23. Fluxograma da metodologia AHP..... 65

Figura 2.24. Diagrama de hierarquização de movimentos de massa..... 66

Figura 2.25. Gráfico mostrando os índices finais de Instabilidades da encosta (Rodrigues 2003)..... 69

Figura 2.26. (a)Divisão da área de trabalho e (b)distribuição das classes de favorabilidade aos movimentos de massa gravitacionais, Rodrigues (2003)..... 69

Figura 2.27. Curva acumulativa de freqüências de pixels x M (valores de índices relativos finais) por Esmali & Ahmad (2003)..... 69

Figura 2.28. Mapa de zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa gravitacionais (ESMALI & AHMAD, 2003). 71

Figura 2.29. Mapa de susceptibilidade a Movimentos de Massa. (AUGUSTO FILHO, 2005)..... 74

Figura 2.30. Condições consideradas em talude infinito..... 78

Figura. 2.31. Mapa de fator de segurança da área (WU & ABDEL-LATIF, 2000)..... 79

Figura 2.32. Procedimento usado no programa GRASS para calculo da densidade de movimento de massa (Clerici et. al. 2002)..... 81

Figura 2.33. Mapa de susceptibilidade a movimento de massa gravitacional (Clerici et al., 2002)..... 82

Figura 2.34. Mapa da área de estudo (DRD,1991). 83

Figura 2.35. Zonas de níveis de movimento de massa gravitacional(DRD, 1991)..... 84

Figura 2.36. Função W para definir os quatro níveis de classes de zoneamento..... 85

Figura 2.37. Mapa de susceptibilidade de M.M.G. obtido por regressão lógica Van

Den Eeckhaut et. al. (2006). 87

Figura 2.38. Ortofotografia com classes de susceptibilidade (VAN DEN EECKHAUT et. al.,2006)..... 88

Figura 2.39. Distribuição das ocorrências de movimento de massa no estado do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2000). 89

Figura 2.40. Distribuição dos escorregamentos significativos ao longo do ano no Estado do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2000)..... 89

Figura 2.41. Volume de material mobilizado pelos escorregamentos significativos no Estado do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2000)..... 91

Figura 3.1. Fluxograma das etapas de trabalho..... 93

Figura 3.2. Formas das vertentes (S Retilíneo, V convexo, C côncavo), RUHE apud MITCHELL (1991)..... 99

Figura 3.3. Ficha de levantamento de lito-estrutural, utilizado em campo 101

Figura 3.4. Diagrama para determinação da resistência à compressão uniaxial a partir da dureza do martelo de Schmitd e do peso específico (modificado de Zuquette e Gandolfi, 2004)..... 102

Figura 4.1. localização da área de estudo..... 112

Figura 4.2. Freqüência de eventos em cada forma de encosta, em relação ao total de eventos..... 116

Figura 4.3. Freqüência de eventos por km^2 de Forma de encosta..... 117

Figura 4.4. Exemplo de ficha de levantamento lito-estrutural..... 118

Figura 4.5. exemplo de bloco de granito na média encosta..... 119

Figura 4.6. Afloramento de migmatito com neossoma..... 119

Figura 4.7. Pórfiros de microclina em Biotita Gnaisse..... 120

Figura 4.8. Transição entre migmatito e biotita gnaisse..... 121

Figura 4.9. Perfil da encosta sustentada pelo biotita gnaisse..... 121

Figura 4.10. Estruturas em degraus características de afloramentos de biotita gnaisse em na média encosta..... 122

Figura 4.11. Família de fraturas combinadas com foliação isolando blocos (branco)..... 123

Figura. 4.12. Ilustração de um perfil típico..... 129

Figura 4.13. Perfil geotécnico A-B..... 132

Figura 4.14. Perfil geotécnico C-D..... 133

Figura 4.15. Perfil geotécnico E-F..... 134

Figura 4.16. Perfil geotécnico G-H. 135

Figura 4.17. Exemplo de horizonte saprolítico de migmatito..... 140

Figura 4.18. Exemplo de horizonte residual jovem de granito..... 142

Figura 4.19. Freqüência de eventos em cada material inconsolidado em relação ao total de eventos. 146

Figura 4.20. Freqüência de eventos por km^2 de material inconsolidado..... 146

Figura 4.21. Freqüência de eventos em cada classe de declividade, em relação ao total de eventos. 148

Figura 4.22. Relação tipo de evento versus classe de declividade..... 148

Figura 4.23. Freqüência de eventos em cada direção de face de talude, em relação ao total de eventos..... 150

Figura 4.24. Relação tipo de evento versus classe direção de face do talude..... 150

Figura 4.25. Relação de tipos de movimentos de massa gravitacionais com as classes de Uso do Solo..... 152

Figura 4.26. Relação de movimentos de massa gravitacionais com Influencia Antrópica..... 152

Figura 4.27. Registro de chuvas mensais estação Coroa Grande (Fonte ANA)..... 153

Figura 4.28. Registro de chuvas da estação Coroa Grande que ultrapassaram o limite de chuvas críticas proposto por D'orsi et. al. (1997)..... 154

Figura 4.29. Freqüência de áreas de movimentos de massa gravitacionais..... 158

Figura 4.30. Freqüência de volume material mobilizado em movimentos de massa gravitacional..... 158

Figura 4.31. Freqüência elevação dos diferentes tipos de MMG presentes na área de estudo..... 159

Figura 4.32. Exemplo de fluxo..... 160

Figura 4.33. Exemplo de rolamento..... 161

Figura 4.34. Exemplos de indícios de rastejo na área de estudo..... 161

Figura 4.35. Ilustração do sistema de quedas associados às esfoliações esferoidais.... 163

Figura 4.36. Afloramento com estruturas de *Sheet Joints*..... 164

Figura 4.37. Ilustração do mecanismo de escorregamento translacional em solo e rocha ocorrido na área de estudo..... 165

Figura 4.38. Exemplo de escorregamento translacional de solo e rocha..... 166

Figura 4.39. Ilustração do mecanismo de escorregamento translacional em solo..... 167

Figura 4.40. Exemplo de escorregamento translacional em solo..... 168

Lista de Tabelas

Pág.

Tabela 1.1. Exemplos de trabalhos e países onde estudos de movimentos de massa gravitacionais foram realizados..... 4

Tabela 2.1. Classificações de algumas propostas brasileiras de movimento de massa gravitacionais (modificado de FERNANDES & AMARAL, 2001)..... 25

Tabela 2.2. Características das principais classificações de movimento de massa gravitacionais (modificado de RODRIGUES, 1998)..... 28

Tabela 2.3. Vantagens e desvantagens das principais classificações dos movimentos de massa gravitacionais..... 29

Tabela 2.4. Fatores básicos considerados na avaliação do terreno (RIB & LIANG, 1978)..... 31

Tabela 2.5. Listagem de atributos que influenciam movimento de massa e processos correlatos proposto por Zuquette, 1998 - modificado por Bonuccelli, 1999..... 32

Tabela 2.6. Atributos do terreno associado a movimento de massa gravitacional (RIC-BC, 1996), modificado. 37

Tabela 2.7. Referências de autores que estudaram os atributos do terreno para análise de movimento de massa gravitacionais (RIC-BC, 1996)..... 38

Tabela 2.8. Classes de declividades relacionadas aos diferentes tipos de movimentos gravitacionais de massa (Sidle et al.1985 – modificado por Bonucelli, 1999)..... 39

Tabela 2.9. Características do perfil das encostas relacionadas a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais (Bonuccelli, 1999 — modificado)..... 40

Tabela 2.10. Grau de alteração e resistência da rocha propostos pela ISRM (1983) e URCS (1988), modificado de Bonuccelli (1999)..... 43

Tabela 2.11. Grau de resistência das rochas de acordo com ISRM (1983) e URCS (1988), modificado de Bonuccelli (1999)..... 44

Tabela 2.12. Grau de resistência das rochas de acordo com classificação URCS, WILLIAMSON e KUHN (1988)..... 44

Tabela 2.13. Relação dos atributos necessários á avaliação da susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais (BONUCCELLI, 1999)..... 51

Tabela 2.14. Escalas utilizadas para zoneamento em estudos de escorregamento (Soeters & Van Westen, 1996) 52

Tabela 2.15. Técnicas de análise dos dados em função da escala dos mapas (modificado de SOETERS e VAN WESTEN, 1996)..... 54

Tabela 2.16. Levantamento de dados para análise no zoneamento de Hazard para estudos de escorregamentos (modificado de SOETERS & VAN WESTEN,1996)..... 54

Tabela 2.17. Comparação de vantagens e desvantagens de unidades do terreno para zoneamento de Hazard (CARRARA, 1991), modificada. 59

Tabela 2.18. Vantagens de desvantagens dos tipos de enfoques utilizados para zoneamento..... 61

Tabela 2.19. Classificação dos métodos relacionados ã tomada de decisão multicriterial do tipo multiatributos (SEN & YANG, 1998)..... 63

Tabela 2.20. Escalas de importâncias (SATTY, 1977)..... 65

Tabela 2.21. Matriz de pesos relativos para classe curvatura da encosta (RODRIGUES 2003)..... 69

Tabela 2.22. Matriz de comparação dos fatores (ESMALI & AHMAD, 2003)..... 71

Tabela 2.23. Classes de susceptibilidades(ESMALI & AHMAD, 2003)..... 72

Tabela 2.24. Pesos e classes. (AUGUSTO FILHO, 2005)..... 74

Tabela 2.25. Pontuação dos atributos do meio físico utilizados para elaboração da carta de potencial de escoamento superficial (modificado de Pejon, 1992)…… 77

Tabela 2.26. limites de classes (Clerici et. al. 2002)..... 82

Tabela 2.27. Fatores permanentes Combinados(DRD, 1991)..... 84

Tabela. 2.28. Classes de susceptibilidade Van Den Eeckhaut et. al. (2006)..... 89

Tabela 3.1. Componentes e atributos analisados (adaptado ZUQUETTE, 1998)..... 95

Tabela 3.2. Classes de perfil de alteração e nomenclatura adotada para diferentes protólitos..... 102

Tabela 3.3. Classes adotadas para caracterizar os materiais transportados e suas nomenclaturas, para caracterização de materiais residuais..... 102

Tabela 3.5. Resumo das formas de obtenção de dados..... 110

Tabela 4.1. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 1..... 124

Tabela 4.2. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 2..... 125

Tabela 4.3. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 3..... 126

Tabela 4.4. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 4, 5 e 6..... 127

Tabela 4.5. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 7..... 128

Tabela 4.6. Comparação entre níveis de alterações e características geotécnicas..... 128

Tabela 4.7. Resultados dos ensaios de laboratório realizados com materiais inconsolidados residuais de biotita gnaisse..... 138

Tabela 4.8. Resultados dos ensaios de laboratório realizados com materiais inconsolidados residuais de migmatito. 140

Tabela 4.9. Resultados dos ensaios de laboratório realizados com solos transportados.. 145

Tabela 4.10. Valores de eventos acima dos limites propostos por D'orsi et. al. (1997)..... 155

Tabela 4.11. Classes de atributos de alta freqüência de eventos..... 169

Lista de Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analise Hierárquica de Processos
ANA	Agência Nacional de Águas
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
CENPES	Centro de Pesquisas da Petrobras
CNC-CNC	Côncava-côncava
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DRD	*Department of Regional Development / Environment Executive Secretaries*
DRM	Departamento de Recursos Minerais
E	Leste
EMOP	Empresa de Obras Publicas do Estado do Rio de Janeiro
GRASS	*Geografic Research Analysis Support System*
IFIE	Índices Finais de Instabilidade das Encostas
IPT	Instituto de Pesquisa e Tecnologia de São Paulo
ISRM	International Society of Rock Mechanic
MDT	Modelo Digital do Terreno
MMG	Movimento de Massa Gravitacional
N	Norte
N.A	Nível de Água
NE	Nordeste
NW	Noroeste
PUC	Pontifícia Universidade Católica
PVC	Poli Cloreto de Vinila
RAgp	Rocha Alterada de Biotita Gnaisse
RAgr	Rocha Alterada de Granito
RAm	Rocha Alterada de Migmatito
RC	Razão de Consistência
RCU	Resistência a Compressão uniaxial

RET-CNC	Retilínea-côncava
RET-CNV	Retilínea-convexa
RET-RET	Retilínea-retilínea
RIC	*Resources Inventory Committee / British Columbia*
RSgp	Rocha Sã de Biotita Gnaisse
RSgr	Rocha Sã de Granito
RSm	Rocha Sã de Migmatito
S	Sul
SE	Sudeste
Sgp	Saprolito de Biotita Gnaisse
Sgr	Saprolito de Granito
Sm	Saprolito de Migmatito
SRJgp	Solo Residual Jovem de Biotita Gnaisse
SRJgr	Solo Residual Jovem de Granito
SRJm	Solo Residual Jovem de Migmatito
SRMgp	Solo Residual Maduro de Biotita Gnaisse
SRMgr	Solo Residual Maduro de Granito
SRMm	Solo Residual Maduro de Migmatito
STCarg	Solos Transportados Coluvionares
STT/Carg	Solos Transportados Talús/Colúvio
STTgg	Solos Transportados Talús com matacões angulosos (migmatito)
STTgp	Solos Transportados Talús com matacões angulosos (biotita gnaisse)
STTgr	Solos Transportados Talús com matacões arredondados (granito)
STTm	Solos Transportados Talús com matacões angulosos e arredondados (mistura)
SW	Sudoeste
TIN	*Triangular Integrated Network*
UCU	Unidade Condicional Única
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
URCS	Unified Classification Rock System
USGS	*United States Geology Service*

UTM	*Universal Transversal Mercator*
W	Oeste
WP/WLI	*Working Party on World Landslide Inventory*

INTRODUÇÃO CAPITULO 1

A natureza cada vez mais tem sido explorada pelo Homem, e esta exploração normalmente de maneira desordenada tem acarretado muitos problemas para o próprio Homem, devido a um planejamento inadequado da ocupação do meio físico. Assim, torna-se indispensável a utilização de uma ferramenta para conciliar esta relação, no âmbito de promover a utilização do espaço físico subordinado à suas limitações e potencialidades locais. O mapeamento geotécnico é esta ferramenta que tem como objetivo indicar o melhor uso e ocupação do território, proteger os recursos naturais, prever e alertar quanto aos riscos naturais e induzidos. Este planejamento deve considerar as potencialidades e as limitações não só do meio físico, como também o meio biótico e sócio-econômico. As investigações geotécnicas, na atualidade, têm um caráter emergencial ou corretivo, para mitigar problemas existentes. Assim, o mapeamento geotécnico tem um papel importante não só no diagnóstico, mas também na prevenção de situações de risco, com isso, propiciando uma economia de recursos com obras corretivas ou desnecessárias. Este tipo de análise permite que a escala de trabalho seja adequada ao nível de abordagem, que é vinculado à demanda do usuário. O mapeamento geotécnico é básico para um planejamento que respeite as limitações do terreno e otimize as potencialidades do meio físico, para uma melhor ocupação da área.

Processos de movimentos de massa em regiões montanhosas são processos naturais de evolução do relevo, do meio físico, que alteram a configuração da paisagem. Evoluções estas, que podem ser aceleradas ou diminuídas por atividades do Homem, potencializando as conseqüências

sociais e/ou econômicas adversas, além daquelas naturalmente provocada por estes processos. Conseqüências estas que podem ser demonstradas pela figura 1.1, que mostra o valor absoluto de perdas sócio-econômicas causados por escorregamentos no estado do Rio de Janeiro.

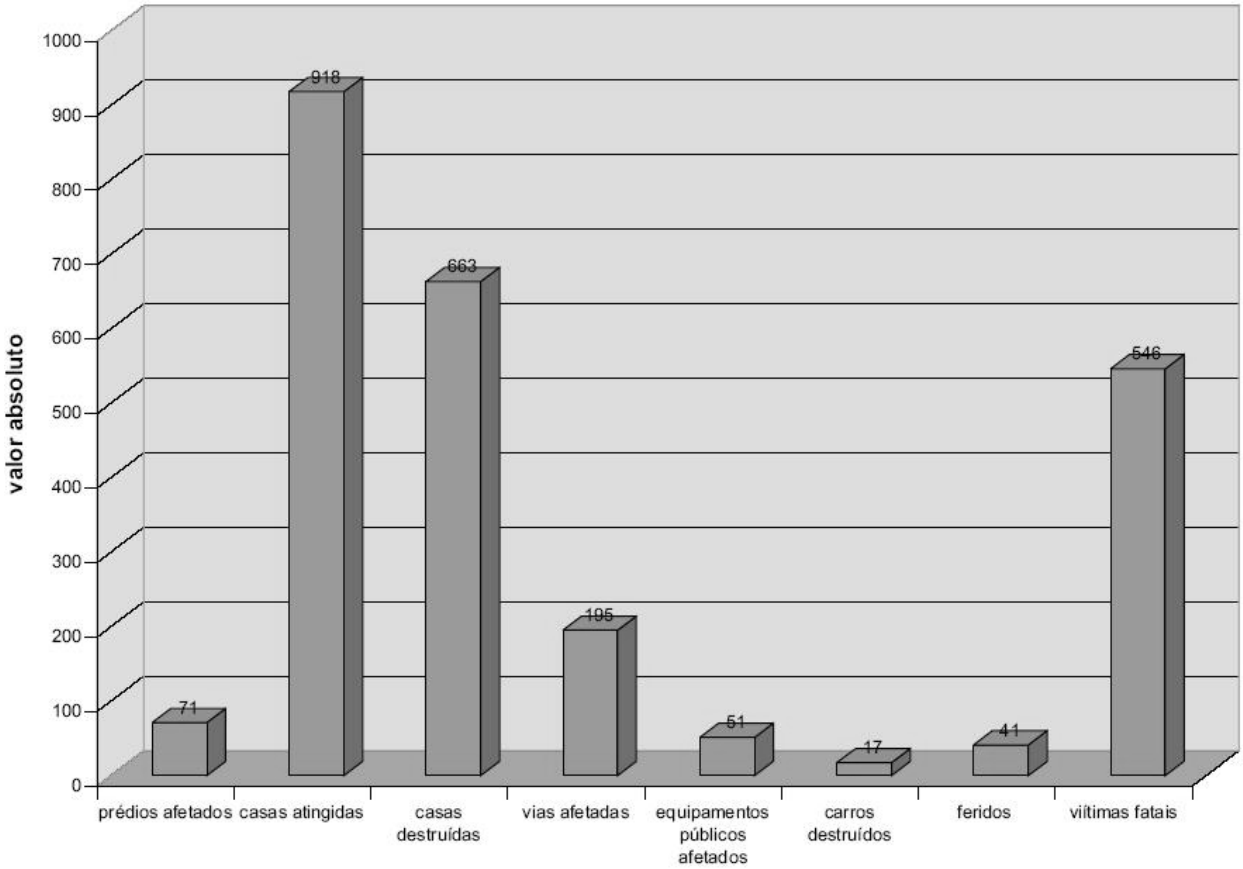


Figura 1.1. Gráfico de perdas sócio-econômicas provocadas por escorregamentos no Estado do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2000).

Uma maneira de mitigar os efeitos dos movimentos de massa gravitacionais, que prejudicam ao homem, seria pelo estudo e caracterização dos problemas de forma a encontrar vias alternativas.

1.1 PANORAMA INTERNACIONAL

Algumas regiões no mundo, em especial de elevadas altitudes, são atingidas por processos naturais principalmente em épocas de chuvas intensas

e durante eventos sísmicos, causando mortes e destruições. Na América do sul as principais regiões afetadas são aquelas próximas às Cordilheiras Andinas, e regiões que preteritamente foram tectonicamente ativas.

Atualmente a pesquisa sobre movimentos de massa gravitacionais é bastante difundida em vários países. Pode-se destacar alguns autores que deram e continuam dando contribuições para o assunto mundialmente (tab. 1.1). Em termos regionais podemos destacar os estudos de Brand (1989) sobre os movimentos de massa ocorridos no sudeste Asiático; o DRD (Department of Regional Development / Environment Executive Secretaria) nos Estados Unidos; O USGS principalmente na Califórnia (EUA); o RIC (Resources Inventory Committee / British Columbia) no Canadá; a Universidade de Wollongong na Austrália; Carrara na Itália; a Universidade de Hong Kong em seus inúmeros trabalhos na China.

Tabela 1.1. Exemplos de trabalhos e países onde estudos de movimentos de massa gravitacionais foram realizados.

AUTOR	LOCALIDADE
AMARAL	Rio de Janeiro
AUGUSTO FILHO	São Paulo
BRAND	Ásia
CARRARA	Itália
CERRI	São Paulo
CHACÓN	Espanha
CHANG	Taiwan
CHEN	Hong Kong (China)
CHOWDHURY	Austrália
CLERICI	Itália
COROMINAS	Espanha
CRUDEN	Canadá
EVANS	British Columbia (Canadá)
FERNANDES	Rio de Janeiro
FREIRE	Brasil
GUIDICINI & NIEBLE	Brasil
GUINAU	Nicarágua
HUNG	Taiwan
HUNGR	Canadá
HUTCHINSON	Mundial
LANSHENG	China
MEJÍA-NAVARRO	Colorado (Canadá)
MUTALAYA	Tailândia
NIELSEN	Califórnia (EUA)
RODRIGUES	Ouro Preto (MG)
ROLLERSON	Charlotte Islands (Canadá)
SIVAKUMAR & MUKESH	Índia
TAN	Malásia
TERZAGHI	Mundial
VARNES	Mundial
YAGI	Japão
ZUQUETTE	Brasil

1.2 PANORAMA NACIONAL

No Brasil as principais regiões afetadas são aquelas próximas à borda de Bacias sedimentares (Paraná, Parnaíba, etc.), a Província Mantiqueira (Serra do Mar, Costa Verde), o Craton São Francisco (Minas Gerais, Bahia), entre outras de altas altitudes.

Podemos destacar nacionalmente o IPT (Instituto de Pesquisa e Tecnologia de São Paulo) em São Paulo, o CPRM (Serviço Geológico do Brasil), a UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), a COPPE (Instituto

Alberto Luiz Coimbra), PUC (Pontifícia Universidade Católica) e a GEORIO (órgão do Governo do Estado do Rio de Janeiro) no Rio de Janeiro, a Escola de Engenharia de São Carlos/USP em seus estudos em território nacional.

Em termos de estado do Rio de Janeiro, que é o estado em que a área de estudo esta inserida, o gráfico da figura 1.2 mostra os principais tipos de movimento de massa significativos ocorridos no Estado do Rio de Janeiro (SILVA *et al.*, 2000).

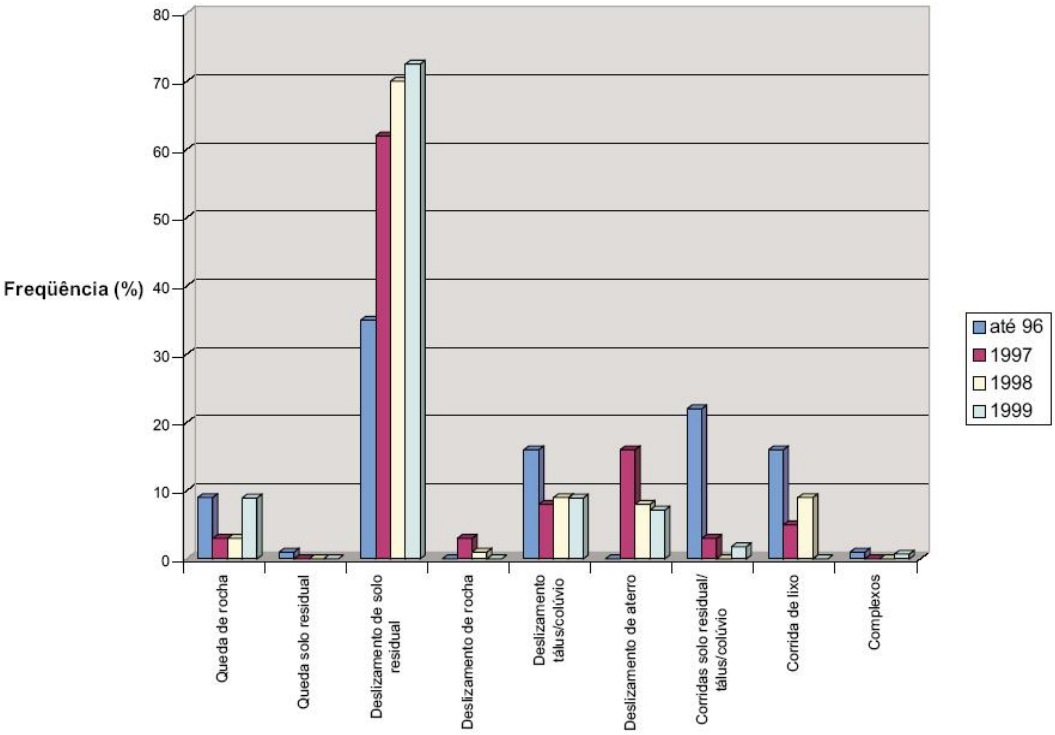


Figura 1.2. Gráfico das Tipologias dos movimentos de massa gravitacionais significativos no Estado do Rio de Janeiro (SILVA et al., 2000).

A região litorânea compreendida entre os municípios de Paratí e Itaguaí, no estado do Rio de Janeiro, que é conhecida como Costa Verde, possui grandes atrativos turísticos, o que acarretou um crescimento urbano intenso de uma região geotecnicamente problemática por estar situada entre o mar e a Serra do Mar, em uma estreita faixa. Região esta que esta sujeita a movimentos de massa gravitacionais, que podem provocar prejuízos sociais e/ou econômicos.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é contribuir para um melhor conhecimento das características geológico-geotécnicas no que diz respeito a movimentos de massa gravitacionais, e uma melhor gestão do uso e ocupação do meio-físico, da área de estudo. Bem como trazer mais informações para uma região pouco estudada sobre este tema, que é a região da Costa Verde.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar o mapeamento geotécnico empregando uma abordagem de estudos de movimentos de massa gravitacionais específico do tipo zoneamento, em uma escala de 1:10.000;
- Geração de cartas e elaboração de mapas geotécnicos, que servirão de ferramenta importante para caracterizar áreas instáveis quanto aos movimentos de massa gravitacionais, assim como para gestão territorial e ambiental;
- Identificação e classificação dos movimentos de massa gravitacionais típicos da área de estudo;
- Identificação e entendimento dos mecanismos de ruptura predominantes na área de estudo;
- Diagnosticar aspectos predisponentes potenciais de movimentos de massa gravitacionais.

1.4 TIPOS DE ESTUDOS SOBRE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

Os estudos de movimentos de massa gravitacionais podem ser hierarquizados, quanto aos resultados obtidos, segundo a figura 1.3. Estudos cujo objetivo final é um inventário de movimentos de massa gravitacionais são aqueles onde a preocupação é levantar, identificar e classificar cada feição encontrada em campo. Estudos de zoneamento estão voltados para identificação de características (atributos) que vão condicionar a predisposição a movimentos de massa gravitacionais e a individualização de áreas com mesmo nível de predisposição, devido à interação dos atributos entre si. Já a carta de *Hazard* (Perigo) tem uma característica de previsão de evento tanto espacial quanto temporalmente. A carta de risco é uma carta mais complexa, pois além de fornecer características probabilísticas de ocorrência de evento também tem que relacionar os possíveis danos aos elementos do meio ambiente associados a esta ocorrência. E por fim, a carta de procedimentos que é uma carta voltada à orientação, para se evitar danos maiores causados por estes eventos naturais.

Figura 1.3. Tipos de resultados possíveis de serem obtidos em estudos de movimentos de massa gravitacionais.

Este trabalho foi desenvolvido até a etapa de zoneamento de predisponentes que é uma etapa intermediária para obtenção da carta de *Hazard* (evento perigoso).

Dentre as referencias bibliográficas de zoneamento de movimentos de massa gravitacionais pode-se citar, os trabalhos de Anbalagan (1992), Baeza & Corominas (2001), Bonuccelli (1999), Carrara (1983, 1988, 1990), Chung et. al. (1995), Clerici et. al. (2002), Fall et. al. (2006), Gritzner et. al. (2001), Irigaray (1996a,b), Lee et. al.(2003), Pachauri & Pant (1992), Soeters & Van Westen (1996), Terlien et. al. (1995).

Para resolver a problemática estudada deve-se: caracterizar os tipos de movimentos de massa visando sua classificação e entendimento dos mecanismos associados; definir e levantar os condicionantes após a caracterização de seus atributos; e levantados estes condicionantes, deve-se aplicar tratamentos aos dados para realização de um zoneamento, que pode ser enfocado para uma análise multicriterial, heurística, estatística ou determinística, obtendo como objetivo final o zoneamento geológico-geotécnico de predisposição a movimentos de massa gravitacionais (fig. 2.1).

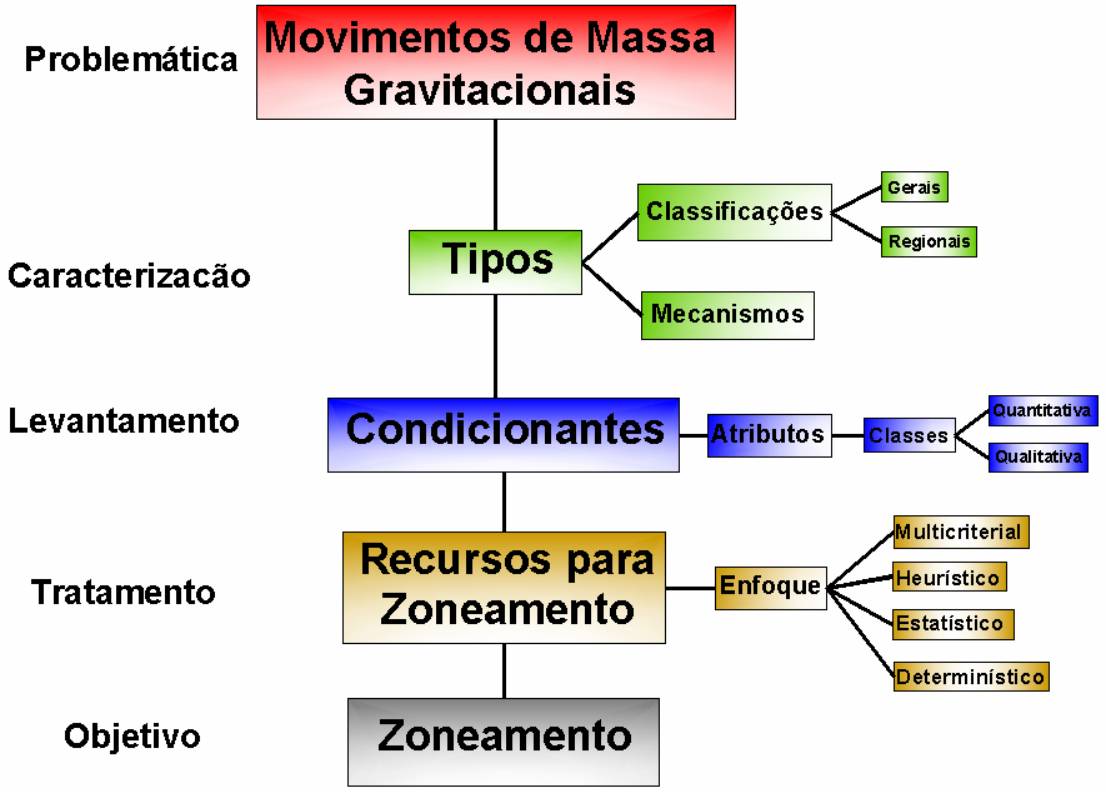


Figura 2.1. Fluxograma de abordagem para zoneamento de áreas potencialmente susceptíveis a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais.

2.1 MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

2.1.1 CONCEITOS BÁSICOS

Cruden, em 1991, em seu trabalho realizado com a UNESCO, propõe uma definição para escorregamento, que foi utilizada por autores que estavam envolvidos na missão de realizar um "guia mundial" para estudos de movimentos de massa gravitacionais: "um escorregamento é um movimento de rocha, solo e detritos encosta abaixo".

Devido a grande diversidade de trabalhos e classificações sobre movimentos de massas gravitacionais faz-se necessário adotar alguns conceitos básicos e expor algumas classificações. Em 1994, a Associação Internacional de Geologia de Engenharia, junto com a UNESCO elaborou para garantir a homogeneidade de conceitos por pesquisadores, o glossário multilíngüe (WP/WLI, 1994). São considerados como Movimento de Massa Gravitacional: Quedas, escorregamentos, tombamentos, espalhamentos laterais, escoamentos (fluxos).

2.1.1.1 QUEDAS

São movimentos por queda livre de materiais sem ocorrer cisalhamento, sendo este descalçado do talude geralmente íngreme (figs. 2.2 e 2.3). São processos de alta velocidade, e condicionados a litologia e estruturas presentes no maciço.

Quanto ao material envolvido pode ser de blocos rochosos (*rock fall*), queda de detritos e solos grosseiros (*debris fall*, 80% dos diâmetros são maiores que 2 mm), de solos finos (*earth fall*, 80% dos diâmetros são menores que 2 mm).

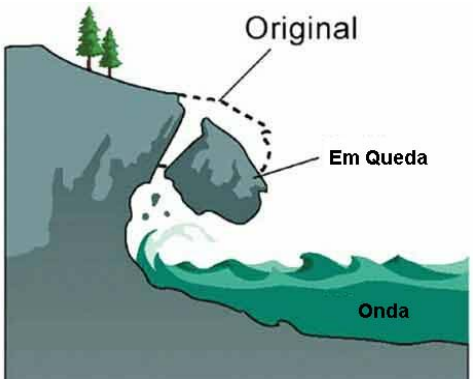


Figura 2.2.. Esquematização de uma queda, provocada por ondas (Fonte: http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_types5.jsp, acesso em 8 Nov. 2006).

Figura 2.3. Exemplo de Queda (Fonte: http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/T19990907/photos/alb_photos/069.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).

2.1.1.2 TOMBAMENTO

Rotação (p/ dentro ou p/ fora da encosta) de uma unidade ou unidades em torno de um ponto situado abaixo do centro de gravidade das mesmas, por meio da ação da gravidade ou forças adjacentes (fig. 2.4, 2.5). Este processo está combinado à existência de planos de fraqueza subvertical no maciço, com velocidade relativamente alta. Pode ocorrer nos vários tipos de rochas e solos, podendo movimentar centenas até milhares de metros cúbicos de material geológico.

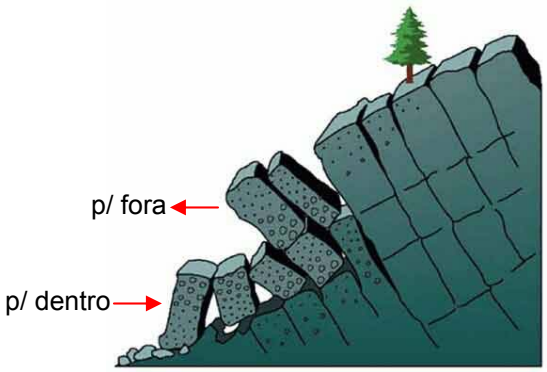


Figura 2.4. Esquematização de um tombamento (Fonte: http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_types4.jsp, acesso em 8 Nov. 2006).

Figura 2.5. Exemplo de tombamento (Fonte: http://www.lmgc.univ-montp2.fr/MIDI/gal_alfredo/Al-6-a.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).

2.1.1.3 ESCOAMENTO

Esses processos podem apresentar diferentes níveis de velocidade: lentos, rápidos, extremamente rápidos; ocorrem preferencialmente em materiais inconsolidados com diferentes teores de umidade. Pode se enquadrar nesta definição o "*creep*" ou rastejo (fig. 2.6, 2.7); as corridas; os fluxos (fig. 2.8, 2.9); as avalanches (fig. 2.10, 2.11).

Rastejo: são movimentos de escoamento muito lentos, distinguível por elementos lineares (em geral) particulares (como cercas, postes, trilhos e etc).

Corridas: são movimentos de escoamento rápidos que envolve moderado a alto conteúdo de água e material geológico (geralmente detritos) no processo.

Fluxos: são movimentos de escoamento rápidos que envolvem presença de água (mecanismos relativos à viscosidade e a reologia) e que tem a forma de lóbulos.

Avalanche: são movimentos de escoamento muito rápidos, com enorme quantidade de material de várias granulometrias, e mais comumente relacionados à presença de gelo, em regiões de clima frio.

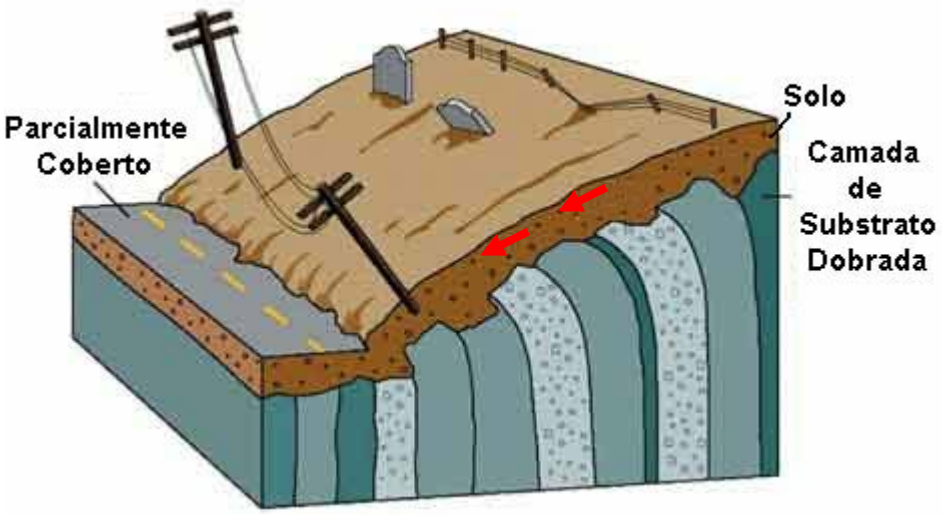


Figura 2.6. Esquematização de um rastejo (Fonte:http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_types2.jsp, acesso em 9 Nov. 2006).

Figura 2.7. Exemplo de rastejo (Fonte: http://earthquake.usgs.gov/images/glossary/CREEP.JPG, acesso em 8 Nov. 2006) .

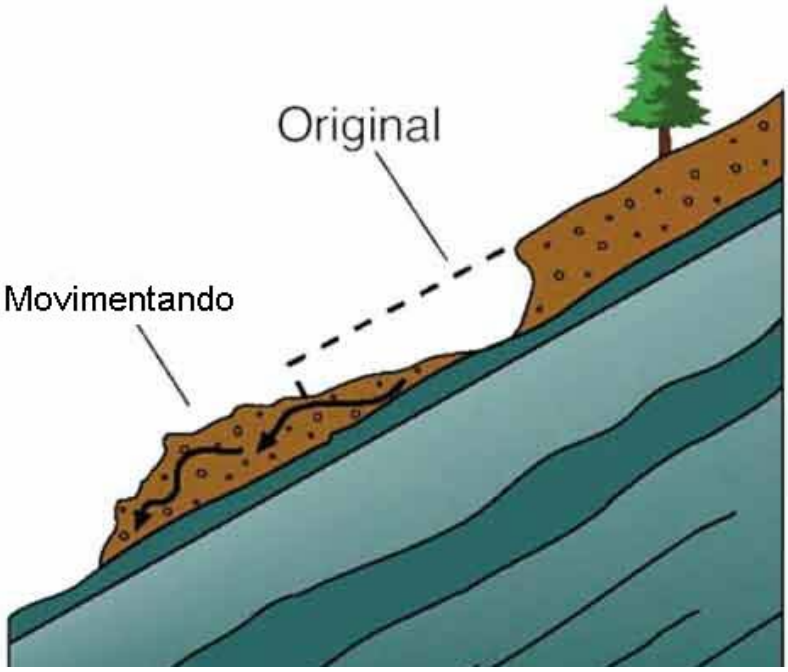


Figura 2.8. Esquematização de um fluxo (Fonte: http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_types6.jsp, acesso em 8 Nov. 2006).

Figura 2.9. Exemplo de fluxo (Fonte: http://library.thinkquest.org/C003603/images/landslides04.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).

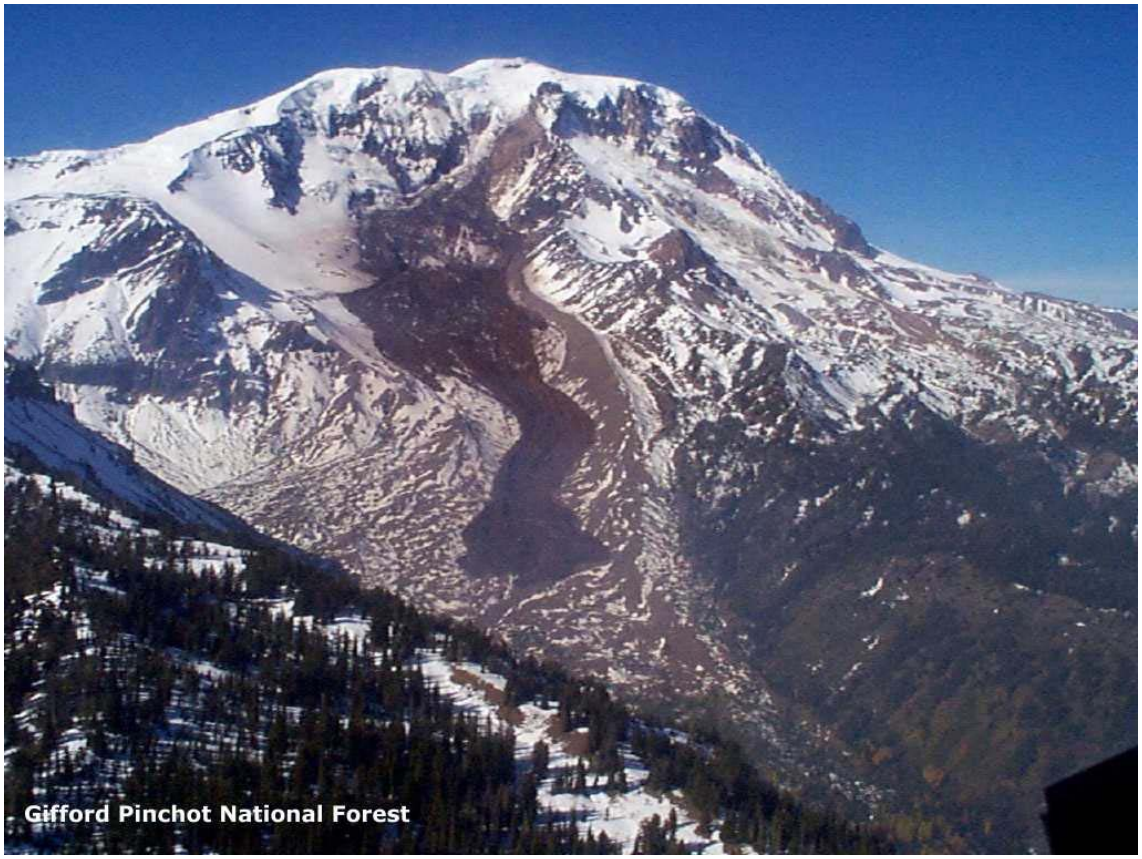


Figura 2.10. Exemplo de uma avalanche (Fonte: http://www.fs.fed.us/gpnf/recreation/mount-adams/images/avalanche-lg.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).

Figura 2.11. Exemplo de avalanche (Fonte: http://www.tardis.ed.ac.uk/~ajcd/images/avalanche.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).

2.1.1.4 ESCORREGAMENTOS

A movimentação nos escorregamentos propriamente dita ocorre através de deformação e deslocamento cisalhantes, ao longo de uma ou várias superfícies facilmente observáveis, ou ainda dentro de uma zona estreita que pode ser bem definida. Os escorregamentos dividem-se em dois tipos: rotacionais e translacionais.

- **ROTACIONAIS**

O material movimentado não é muito deformado e composto de uma ou mais unidades (fig. 2.12, 2.13). Os exemplos mais comuns deste tipo de movimento são pequenos deslizamentos ao longo de uma superfície de ruptura circular com concavidade voltada para cima, em muitos casos, a superfície de ruptura exposta (escarpas) e a superfície de ruptura não exposta, formam uma espécie de concha. Em taludes muitos extensos a geometria é cilíndrica, sendo o eixo paralelo à direção do talude. Os escorregamentos rotacionais puros ocorrem em materiais homogêneos.

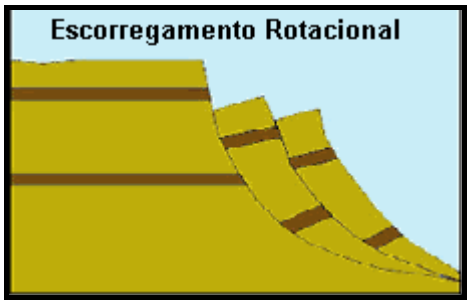


Figura 2.12. Esquema de escorregamento rotacional (Fonte: http://earthsci.org/processes/struct/masswaste/slump.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).

Figura 2.13. Exemplos de escorregamento rotacional (fonte: http://earthquake.usgs.gov/learning/glossary.php?term=landslide, acesso em 9 Nov. 2006).

- **TRANSLACIONAIS**

O material movimentado é muito deformado e composto de materiais heterogêneos. Neste processo ocorre uma pequena movimentação de rotação e culmina em uma movimentação sobre superfícies mais ou menos planas, (fig. 2.14, 2.15). Este tipo de movimento comumente está associado a algum tipo de fraqueza originada por descontinuidade, no contato entre o substrato e o material subjacente, em casos de movimento em solo.

A geometria do escorregamento rotacional tende a reequilibrar a massa instável na altura do pé do talude, porque a superfície de deslizamento mergulha para o interior do mesmo; no escorregamento translacional o

reequilíbrio só ocorre quando as forças atuantes diminuem relativamente às resistentes. Nessa classe se enquadram os escorregamentos planares (placas, blocos) e os escorregamentos em cunha (deslizamento ao longo da interseção de duas descontinuidades) que ocorrem em rocha.

Figura 2.14. Exemplo de um escorregamento translacional em rocha (Fonte: http://www.divebsc.com/images/RockSlideClose.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).

Figura 2.15. Exemplo de um escorregamento translacional (Fonte: http://www.neilmoomey.com/trips/pws_dan_neil_2000/, acesso em 8 Nov. 2006).

2.1.1.5 ESPALHAMENTO OU EXPANSÃO LATERAL

A forma predominante de movimento é o espalhamento lateral do material, resultante de fraturas de cisalhamento ou tração (fig. 2.18 e 2.19). Esse movimento se caracteriza pela ruptura e espalhamento lateral de materiais coerentes (solos e rochas) que se encontram sobrejacentes a materiais que sofreram perda de resistência e ruptura repentina (colapso); o resultado é baixíssima resistência, ainda que temporária, da superfície de contato dos materiais. O material subjacente pode sofrer rotação, translação, escoamento, desintegração e subsidência. Argilas e siltes, submetidas às vibrações por terremotos e liquefação de camadas arenosas, podem provocar o fraturamento e espalhamento do material suprajacente.

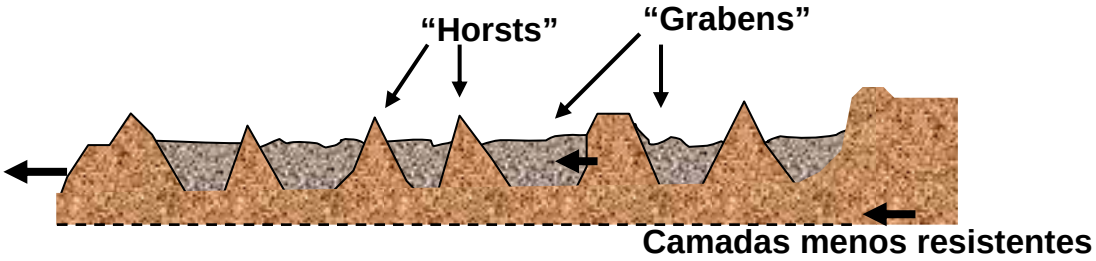


Figura 2.16. Esquema de espalhamento lateral (baseado em HUTCHINSON, 1988).

Figura 2.17. Exemplo de espalhamento lateral (Fonte: http://geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/images/lateral20_big.jpg, acesso em 8 Nov. 2006).

2.1.1.6 MOVIMENTOS COMPLEXOS

Nesta classe se enquadram as combinações de mais de um tipo de movimento de massa gravitacional. Segundo a WP/WLI (1990), as combinações mais encontradas são as queda de blocos com o fluxo de detritos.

2.1.2 DEFINIÇÃO DOS SÍMBOLOS E GEOMETRIAS USADAS PARA TALUDES

Segue abaixo a descrição dos símbolos e geometria do movimento no talude (figura 2.18), segundo recomendações da Unesco (WP-WLI, 1993):

- **Topo** (*crown*): material ainda não movimentado, próximo a parte mais alta da escarpa principal;
- **Escarpa principal** (*main scarp*): superfície íngreme de material não deslocado na extremidade superior do movimento. É a parte visível da ruptura;
- **Topo** (*top*): ponto de contato (o mais alto) entre o material deslocado e a escarpa principal;
- **Cabeça** (*head*): parte mais alta do material deslocado, em contato com a escarpa principal;
- **Escarpa secundária** (*minor scarp*): superfície íngreme de material deslocado, produzida por movimentos diferenciais da massa deslocada;
- **Corpo principal** (*main body*): parte do material deslocado que esta sobrejacente a superfície de ruptura, entre a escarpa principal e o pé da superfície de ruptura;

- **Pé** (*foot*): parte da massa deslocada que esta abaixo da superfície de ruptura;
- **Pé** (*tip*): ponto mais distante do topo do movimento;
- **Pé** (*toe*): margem da massa de material deslocado mais distante da escarpa principal;
- **Superfície de ruptura** (*surface of separation*): superfície inferior que limita a massa deslocada;
- **Ponta da superfície de ruptura** (*toe of surface of rupture*): interseção entre a parte mais baixa da superfície de ruptura e a superfície original do terreno.
- **Superfície de separação** (*surface of separation*): parte da superfície original do terreno que esta coberta pelo material deslocado (pé, foot);
- **Material deslocado** (*displaced material*): material que se movimentou (deslocou) de sua posição original na encosta;
- **Zona de afundamento** (recalque, *zone of depletion*): área onde o material deslocado esta abaixo da superfície original do terreno;
- **Zona de acumulação** (*zone of accumulation*): área onde o material deslocado esta acima da superfície original do terreno;
- **Afundamento** (*depletion*): volume entre a massa afundada e a escarpa principal;
- **Massa abatida, afundada** (*depleted mass*): volume de material deslocado que esta abaixo da superfície original do terreno;
- **Flanco** (*flank*); porção de material não deslocado, ao lado da superfície de ruptura. Flanco direito ou esquerdo, se refere a um observador sobre o topo do movimento;

- **Superfície original do terreno** (*original ground surface*): superfície do talude existente antes da ocorrência de movimento que está sendo considerado. Se a superfície original se refere a um antigo escorregamento, esse fato deve ser explicitado.

Bonuccelli (1999) ressalta que nem todos os tipos de movimentos de massa gravitacionais podem ser caracterizados por estes elementos, porque nem todos possuem estas características, que são utilizadas na sua totalidade para descrição de escorregamentos rotacionais. Entretanto, estes componentes devem servir de base para a execução dos levantamentos ou inventários dos processos.

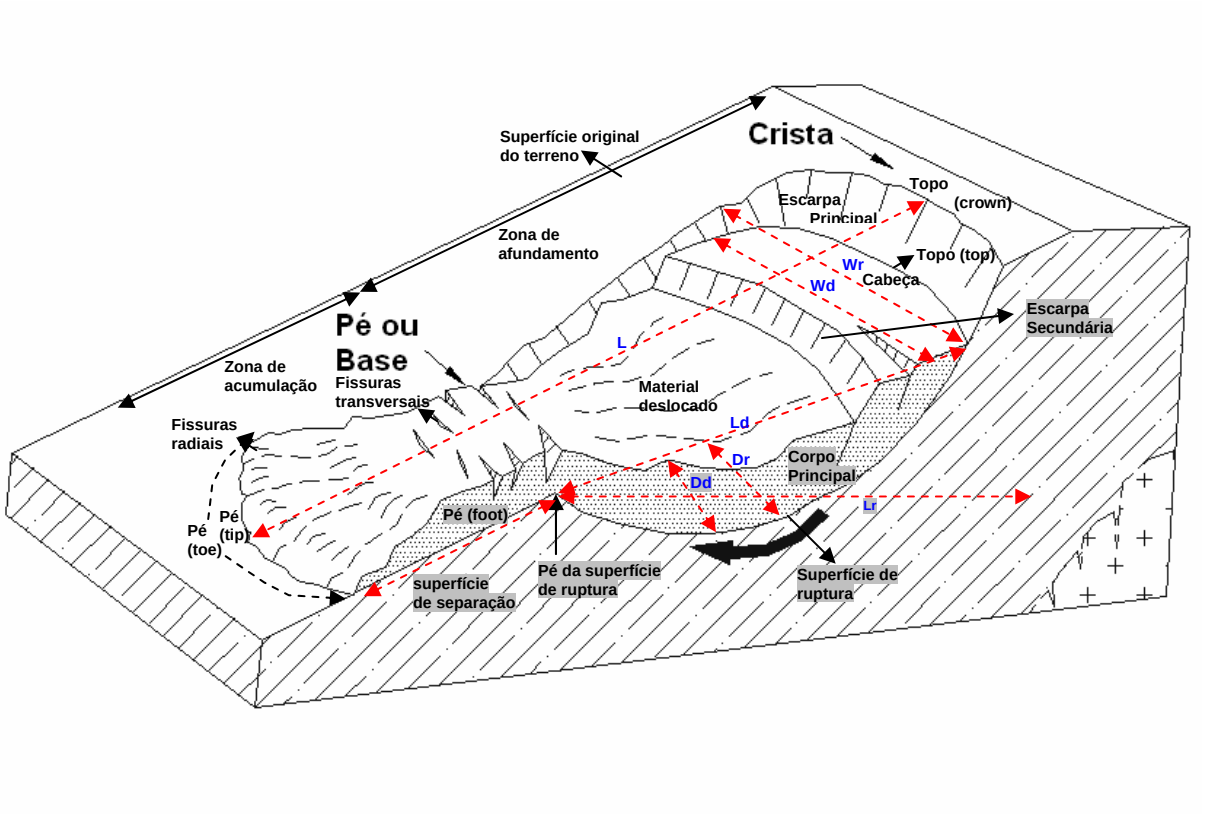


Figura 2.18. Características ou componentes das feições de movimentos de massa gravitacionais do tipo Escorregamento Rotacional, segundo UNESCO (1993), modificado. Onde: Wd é largura de massa deslocada; Wr é a largura da superfície de ruptura; L é o comprimento total; Ld é o comprimento da massa deslocada; Lr é o comprimento da superfície de ruptura; Dd é a profundidade da massa deslocada; Dr é a profundidade da superfície de ruptura.

2.2 CLASSIFICAÇÕES DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

As classificações de movimentos de massa gravitacionais são baseadas em alguns fatores a saber:

- **Material Geológico:** rocha, solo, litologia, estruturas, propriedades geotécnicas;
- **Atributos Geomórficos:** *landforms*, declividade;
- **Geometria dos deslizamentos:** profundidade, longitude, altura;
- **Tipo de movimento:** queda, escoamento, escorregamento, tombamento, etc.
- **Clima:** tropical, periglacial, etc.
- **Umidade:** seco, molhado, saturado
- **Velocidade do movimento:** muito lento, lento, moderado, rápido, muito rápido.
- **Tipo de deflagrador:** terremotos, chuvas, fluviais.

Uma das primeiras classificações foi a desenvolvida por Sharpe (1938), que serviu de base para vários trabalhos posteriores. Sendo que entre as mais conhecidas destaca-se Varnes (1958 e 1978) e Hutchinson (1988). Em termos de classificações nacionais podemos citar Magalhães Freire (1965), que foi baseada em Sharpe (op cit); Guidiccini e Nieble em 1984, classificação baseada em Magalhães Freire (op. cit); e a do IPT em 1991, desenvolvida a partir de características dos movimentos de massa gravitacionais de São Paulo (AUGUSTO FILHO, 1994).

A tabela 2.1, mostra resumidamente as principais classificações brasileiras.

Tabela 2.1. Classificações de algumas propostas brasileiras de movimentos de massa gravitacionais (modificado de FERNANDES & AMARAL, 2001).

Freire *(1965) – baseada em Sharpe (1938)*	***Guidicini*** *&* ***Nieble*** *(1984)- baseada em Freire (1965)*	***IPT*** *(1991)*
Escoamentos: rastejos e corridas.	**Escoamentos:** rastejos e corridas.	**Rastejos**
		Corridas de Massa
Escorregamentos: rotacionais e translacionais.	**Escorregamentos:** rotacionais, translacionais, quedas de blocos e quedas de detritos.	**Escorregamentos:** Circulares, planares
Subsidência e desabamentos.		
	Subsidência: Subsidências, recalques e desabamentos.	**Quedas / Tombamentos**
	Forma de transição movimentos complexos	

Existe uma enorme variedade de classificações que refletem as adaptações que cada autor faz quando descreve e caracteriza os movimentos de massa gravitacionais que encontra em suas áreas de estudo. Dentre estes podemos citar Guidiccini e Nieble (1984), Barata e Costa Nunes (1969, *apud* DIAS, 2003), Augusto Filho (1994), Zaruba e Mencl (1969).

Com objetivo de hierarquizar em termos de eficiência algumas classificações, Rodrigues (1998) selecionou um grupo de condições para serem analisadas em cada classificação por ela levantada.

E com objetivo de dar uma contribuição para orientação de outros pesquisadores interessados no tema foram acrescidas a esta análise de Rodrigues algumas classificações, por este autor.

Rodrigues (1998) selecionou 10 condições a serem analisadas:

1. Época da proposição inicial, buscando, na medida do possível, traçar

uma cronologia e, consequentemente, avaliar as influências que cada metodologia sofreu das anteriores;

2. Tipo de materiais considerados, destacando-se os tipos de materiais (rocha, solos finos e grosseiros, mistos, etc.) envolvidos na classificação dos movimentos de massa gravitacionais;
3. Grupos de atributos considerados, visto que os movimentos de massa podem ser classificados em função das diferentes características, como:
    - Geometria;
    - Velocidade;
    - Geomórficos;
    - Zona de transferência;
    - "*Landform*"
    - Zona de acúmulo;
    - Superfície de rompimento;
    - Estruturas;
    - Material.

    Neste caso, considerou-se a classificação "Global" (Todos os atributos são considerados) ou "Parcial" (apenas alguns atributos são considerados);
4. Tipos de movimentos de massa gravitacionais, destacando-se os seis tipos principais considerados (escorregamento, queda, fluxo, tombamento, espalhamento, complexos) e/ou se avaliam outros e quais tipos de movimentos;
5. Origem dos movimentos de massa gravitacionais, que podem ser por processos naturais ou induzidos. Neste item busca-se analisar se as

metodologias consideram estes aspectos;

6. Detalhamento dos tipos de movimentos de massa gravitacionais. É de fundamental importância para avaliação dos problemas associados aos movimentos de massa, alguns aspectos que estão associados e que permitem subdividi-los. Como exemplo, pode ser citada a subdivisão dos escorregamentos em planares, rotacionais ou mistos;
7. Versões recentes com adaptações. A evolução e a eficiência de uma classificação pode ser avaliada quando são consideradas as diferentes versões de uma mesma metodologia, desde que mantidas suas premissas básicas;
8. Principais modificações em versões mais recentes. Algumas modificações apresentadas em termos dos mecanismos considerados podem permitir uma classificação mais detalhada dos tipos ou de um tipo especificamente, o que pode tornar a classificação muito importante para uma área especifica;
9. Órgãos/Instituições envolvidas com a classificação. O objetivo desse item é verificar se a classificação foi proposta/adotada somente com fins científicos ou se tem demonstrado eficiência junto a órgãos executores de trabalhos específicos;
10. Processos correlatos. Os processos naturais normalmente ocorrem associados e classificações múltiplas ou isoladas são baseadas em premissas bem diferentes e também podem ser adotadas para áreas ou regiões específicas.

Com base nestes dez parâmetros foi gerada uma tabela (tab. 2.2) por Rodrigues (1998), modificada por este autor, com as principais características

de cada classificação, e com a qual foi possível avaliar as vantagens e desvantagens de cada classificação (tab. 2.3):

Tabela 2.2. Características das principais classificações de movimentos de massa gravitacionais (modificado de RODRIGUES, 1998).

ITENS / AUTORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SHARPE	1938	Solo, Rocha, gelo, mistura	Geomórficos; Material; Velocidade.	6 básicos	Natural	Sim	Não	-	-	Sim
TERZAGHI	1928/ 1950	Solo, rocha	Geometria; Estrutura; Superf. de rompimento.	Escorregam.	Natural	Não	1950	Causas: interna, externa, Intermed.	-	Não
MAGALHAES FREIRE	1965	Solos, rocha, mistura	Geometria; Geomórficos; Velocidade.	6 básicos	Natural	Sim	Não	-	IPT	Sim
NEMCOK	1972	Solo, rocha	Geometria; Estrutura.	Queda; Fluxo; Rastejo; Escorregam.	Natural	Sim	Não	-	-	Não
ZARUBA & MENCL	1976	Solo, rocha	Geometria; Material.	Escoamento; Fluxo; Rastejo; Escorregam.; Quedas; Solifluxão; Argilas sensíveis.	Natural	Sim	Não	-	-	Sim
VARNES	1958/ 1978	Solo, rocha	Geometria; Material.	6 básicos	Natural	Sim	1985	Velocid.; Sub-tipos	WP/WLI; RIC (Britishi Columbia)	Não
HASEGAWA	1985	Solo, rocha	Geometria; *Landform*; Zona de transf.; Superf. De Ruptura.	Escorregam.; Queda; Fluxo; Rastejo.	Natural	Sim	Não	-	-	Não
SASSA	1985	Solo, rocha	Geometria; Velocidade; Estrutura.	Queda; Tombamento; Solifluxão; Fluxo.	Natural	Sim	-	-	-	Não
HUTCHINSON	1988	Solo, rocha, mistura	Geomórficos; Geometria; Estruturas; Velocidade.	6 básicos; Recuo; Ruptura.	Natural Induzido	Sim	-	-	-	Sim
YAGI	1993	Solo, rocha, mistura	*Landform*	Deslizamento; Abatimento	Natural	Sim	Não	-	-	Sim
AUGUSTO FILHO	1994	Solo, Rocha, Mistura	Geometria; Material; Velocidade; Estruturas.	Rastejo; Escorregam.; Quedas; Corridas.	Naturais	Sim	Não	-	IPT	Não
LANSHENG	1995	Solo, rocha	Estruturas	Escorregam.; Acamam.; fraturado; Fluxo; Plástico-fraturamento.	Natural	Sim	Não	-	-	Sim
ANTOINE & GIRAUD	1995	Solo, rocha	Estruturas; Superf. de Ruptura; Geometria; Material.	Esfoliação; Tombamento; Rolamento; Escorregam.; Escoamento; Subsidência.	Natural	Sim	Não	-	Nainville-les-Roches	Não

Tabela 2.3. Vantagens e desvantagens das principais classificações dos movimentos de massa gravitacionais.

AUTORES	VANTAGENS	DESVANTAGENS
SHARPE	• Número de processos • Associação Velocidade/ Geologia	• Não empregável em meios tropicais
TERZAGHI	• Detalhe das causas mecânicas de escorregamentos	• Enfoca fenômenos geológicos em termos meramente mecânicos.
MAGALHAES FREIRE	• Detalhada • Baseada em SHARPE e VARNES	• Algumas classes de movimentos não são empregáveis em regiões tropicais
NEMCOK	• Modelos dos tipos	• Não relaciona tipos e mecanismos
ZARUBA & MENCL	• Detalhada	• Considera os tipos de movimentos basicamente em função do tipo de material, tornando-se restrita às condições locais semelhantes.
VARNES	• Clareza • Subdivisões • Básica • Mais adotado mundialmente • Associação Velocidade/ Geologia	• Não considera processos induzidos • Não apresenta correlações
HASEGAWA	• Atributos considerados	• Não considera eventos complexos
SASSA	• Baseada em VARNES • Modelos dos mecanismos	• Condições tectônicas e sísmicas diferentes do Brasil.
HUTCHINSON	• Considera Natural/induzido e processos correlatos • Mais completa	• Classificação Complexa
YAGI	• Voltada para identificação em fotografia aérea	• Baseada somente em *landforms*
AUGUSTO FILHO	• Fácil entendimento • Fácil classificação em campo	• Baseada em eventos ocorridos em uma região específica.
LANSHENG	• Relações estruturais do maciço	• Meio predominantemente rochoso
ANTOINE & GIRAUD	• Detalhamento do terreno • Detalhamento litoestrutural	• Não considera eventos complexos • Não considera escorregamento em cunha

Com base nas tabelas 2.2 e 2.3, pode-se agrupar as classificações em:

1. **Classificações globais (gerais):** apresentam um conjunto de características que permitem aplicação em todas as situações, como as de Varnes (1958, 1978) e Hutchinson (1988).

2. **Classificações adaptadas:** são aquelas que mantiveram características básicas de outras e adaptaram para situações locais, como as de Magalhães Freire (1965), Guidiccini & Nieble (1976) e Sassa (1985).
3. **Classificações básicas**: foram desenvolvidas com bases em condições próprias de cada área e serviram de fonte para outras modificações, como a de Sharpe (1938), Zaruba & Mencl (1976), Augusto Filho (1994).
4. **Classificações específicas:** apresentam características para aplicação em condições especiais do meio físico e/ou critérios específicos, como as de Nemcok (1972), Hasegawa (1985), Lansheng (1995), Yagi (1995) e Terzaghi (1928 e 1950), Antoine e Giraud (1995).

2.3 ATRIBUTOS PREDISPONENTES

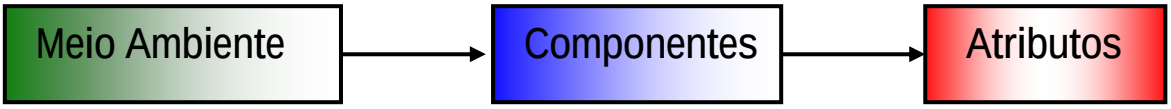
Para iniciar a tratar sobre condicionantes é preciso definir alguns conceitos básicos como predisposição, componentes e atributos.

Predisposição: É a susceptibilidade natural a um determinado evento, devido a características intrínsecas (do meio físico), que neste trabalho é abordado a predisposição aos movimentos de massa gravitacionais.

Componentes: São características (fatores) do meio físico que o compõem, e são definidos conforme as suas importâncias para uma determinada análise. Como exemplo substrato rochoso, material inconsolidado, águas, geomórficos e etc.

Atributos: São características dos componentes que os quantificam e/ou qualificam quanto a uma determinada análise. Como exemplo espessura do material inconsolidado, umidade, forma da encosta e etc.

A partir destes conceitos pode ser hierarquizado da seguinte forma os condicionantes:



Os principais atributos geológico-geotécnicos predisponentes aos movimentos de massa gravitacionais vêm sendo muito estudados por vários autores. E há um consenso geral entre eles que os atributos são relativos a geomorfologia, a geologia, a hidrogeologia, o uso e ocupação do solo, a vegetação, a declividade e a atividade antrópica.

Rib & Liang (1978) mencionam que os fatores que envolvem movimentos de massa gravitacionais são: geológicos, ambientais, humanos e temporais (Tab. 2.4).

Tabela 2.4. Fatores básicos considerados na avaliação do terreno (RIB & LIANG, 1978).

FATOR	ELEMENTO	EXEMPLO
Geológico	*Landforms*	Histórico geomorfológico; estagio de evolução
	Composição	Litologia; Estratigrafia; produtos do intemperismo
	Estrutura	Espaçamento e atitude de falhas, juntas, foliações e outras descontinuidades.
Ambiental	Clima e Hidrologia	Tempestades, ação das ondas; fluxo de água subterrânea.
	Catástrofe	Terremoto; erupção Vulcânica; furacões; tsunames; subsidência.
Humano	Atividade humana	Construções; minerações.
Temporal	Comum a todas as categorias e fatores	

Augusto Filho *et. al.* (2005) no estudo de três tipos principais de movimento de massa (escorregamento, escoamento de detritos e fluxo de detritos) que ocorrem em rodovias (com aplicação na rodovia Anchieta-Imigrantes, em São Paulo) estudaram condicionantes/ atributos, como declividade, direção das estruturas, perfil de intemperismo das encostas,

curvatura das encostas, litologia, o uso e ocupação, feições pré-existentes e drenagens.

Cada componente possui uma gama de características (atributos) que são importantes quando se deseja realizar um zoneamento. Com objetivo de auxiliar no estudo de movimentos de massa vários autores, nacionalmente e internacionalmente, definiram alguns atributos importantes. Em termos nacionais podemos citar Zuquette (1993); e as atualizações feitas a partir deste como Souza (1996); Zuquette (1998); Bonuccelli (1999); Zenóbio (2000); Dias (2003); Rodrigues (2003). Em termos Internacionais podemos citar Carrara (1983), Brand (1988), Carrara *et. al*. (1991), Anbalagan (1992), Hammond *et. al*. (1992), Pachauri & Pant (1992), Rollerson (1992), Howes and Swanston (1994), Irigaray *et. al*. (1996a), RIC-*British Columbia* (1996), Gritzner *et. al*. (2001), Lee *et. al*. (2003), Sivakumar Babu & Mukesh (2003). Em termos nacionais uma das listas de atributos mais completa é a de Zuquette proposta em 1998 (tabela 2.5), e modificada por Bonuccelli em 1999, que relaciona os principais atributos às formas possíveis de obtenção.

Devido a grande diversidade de componentes possíveis de serem analisados com esta premissa, mais adiante será descritos os principais componentes e atributos que serão adotados para este trabalho.

Tabela 2.5(continua). Listagem de atributos que influenciam movimento de massa e processos correlatos proposto por Zuquette, 1998 - modificado por Bonuccelli, 1999.

Componente	Atributo	Formas de obtenção			
		Fotointerpretação	Trab. campo	Registr. prévios	Laborat./ Escritório
Relevo	declividade				X
	direção/sentido do vetor de maior declividade				X
	perfil vertical e longitudinal da encosta	X	X		X
	presença de escarpas	X	X		
	características dos vales	X	X		

Tabela 2.5(continuação). Listagem de atributos que influenciam movimento de massa e processos correlatos proposto por Zuquette, 1998 - modificado por Bonuccelli, 1999.

Componente	Atributo	Formas de obtenção			
		Fotointerpretação	Trab. campo	Registr. prévios	Laborat./ Escritório
Águas Superficiais e Subterrâneas	variação do gradiente canais de drenagem	X			X
	Densidade de canais de drenagem	X			X
	zonas concentração fluxo superficial	X			X
	presença lagoas e/ou depressões no terreno	X	X		
	alterações canais drenagem	X	X		
	presença de surgências e suas características		X	X	
	NA: profundidade e sazonabilidade		X	X	
	fluxo do N.A direcionado		X		
	zonas mais favoráveis a variações de poro-pressão		X		
	presença de zonas com nível de água suspenso		X	X	
	Alterações no fluxo de água subterrânea	X	X		
	relações do NA e materiais retrabalhados		X		
Substrato Rochoso	litologia, grau alteração, resistência		X		X
	áreas com rochas aflorantes	X	X		
	caracterização das descontinuidades presentes	X	X		X
	zonas de falhas ou áreas intensamente fraturadas perfil de litologias e perfil de alteração	X	X X		
	alternância de materiais com diferentes níveis de resistência		X		X
	alternância de materiais com diferentes níveis de permeabilidade		X		X
	alternância de materiais com diferentes níveis de competência		X		
	camadas litológicas com comportamento de descontinuidades		X		
	presença de materiais expansivos		X		X
	Grau e paralelismo entre superfície do terreno e topo rochoso		X	X	
Material Inconsolidado	características do perfil de alteração		X		X
	intercalação de materiais com diferentes níveis de resistência		X		X
	intercalação de materiais com diferentes níveis de permeabilidade		X		X
	intercalação de materiais com diferentes níveis de erodibilidade		X		X
	tipo de contato entre materiais residuais e transportados		X		
	posicionamento dos materiais transportados na encosta	X	X		
	presença de materiais expansivos e intercalação com materiais não expansivos		X		X
	presença de matacões próximos a	X	X		

Tabela 2.5(conclusão). Listagem de atributos que influenciam movimento de massa e processos correlatos proposto por Zuquette, 1998 - modificado por Bonuccelli, 1999.

Componente	Atributo	Formas de obtenção			
		Fotointerpretação	Trab. campo	Registr. prévios	Laborat./ Escritório
	superfície				
	posicionamento dos matacões em relação à geomorfologia da encosta	X	X		
Cobertura Vegetal	tipo de vegetação	X	X		
	sistema de raízes		X	X	
	presença de diferentes estratos		X		
	espaçamento ou densidade	X	X		
Ação Antrópica	presença de escavações	X	X		
	locais de disposição de resíduos e rejeitos	X	X		
	ocupações que promovem alterações no sistema hidrogeológico da encosta	X	X		
	características da ocupação urbana	X	X		
	características das áreas de mineração	X	X		
Clima	precipitação pluviométrica		X	X	X
	distribuição temporal das chuvas		X	X	X
	distribuição espacial das chuvas		X	X	X
	insolação das encostas		X	X	
	direção preferencial dos ventos em relação à encosta		X	X	
	temperatura e umidade relativa do ar		X	X	

Aproveitando o ensejo da tabela anterior, vale ressaltar o trabalho de Rib & Liang (1978), que definiram algumas formas de identificação de áreas suceptiveis a movimentos de massa gravitacionais, por intermédio de interpretação de fotografias aéreas:

- Massa terrosa sujeita a solapamento por drenagens;
- Encostas íngremes com extensas áreas de solo e rocha;
- Linhas de quebra nítidas nas escarpas, ou presença de trincas ou ambas;
- Superfícies onduladas formadas por massas escorregadas da escarpa;
- Forma topográfica não natural, como as semelhantes a concha de uma colher;

- Zonas de surgência;
- Depressão alongada e não drenada na área;
- Canais de drenagem pouco espaçados;
- Acumulação de detritos nos canais de drenagem e vales;
- Presença de tons claros onde a vegetação e a drenagem não foram restabelecidas
- Mudanças bruscas de tons claros para tons escuros (os tons escuros indicam zonas mais úmidas);
- Mudanças bruscas na vegetação, indicativas de variação de umidade do terreno;
- Árvores, cercas, muito inclinadas, indicativos de rastejo.

2.3.1 TIPOS DE INFORMAÇÕES

Zuquette (1987) caracteriza as informações obtidas no campo ou em laboratório da seguinte maneira:

1. Qualitativas: são as descrições baseadas em observações de campo e medidas simples, previstas para fases iniciais de mapeamento, as interpretações de fotografias aéreas e as análises de mapas de pequeno escala;

2. Quantitativas: incluem as características físicas (peso especifico, porosidade, grau de saturação, plasticidade), propriedades de resistência (cisalhamento, compressão, tração), propriedades de deformação (módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson) e a permeabilidade.

Portanto, propriedades qualitativas são representadas por descrições e as quantitativas por valores. As informações podem ser caracterizadas, também, quanto a forma de obtenção, ou seja:

1. Diretas: obtidas através da descrição direta ou como resultado direto de um ensaio (descrição do tipo de rocha, coeficiente de permeabilidade através do ensaio de permeabilidade);

2. Indiretas: obtidas sem o contato direto, através de manipulação de equações ou via propriedades-índice.

Observa-se que apesar dos autores apresentarem terminologias diferentes, os conceitos utilizados para a classificação possuem significados similares.

2.3.2 COMPONETES E ATRIBUTOS

Dentre os condicionantes podemos separar os componentes e estes serem analisados por seus atributos predisponentes aos movimentos de massa gravitacionais.

O Comitê de inventário de recursos do estado de British Columbia (Canadá), em seus estudos de previsão de eventos perigosos, considera 59 atributos em 12 categorias/componentes (tab. 2.6), que foram baseados em Hutchinson (1992). Este comitê, em seu trabalho em 1996, diz que a seleção de tais atributos pode ser julgada de maneira subjetiva ou estatística, e levanta uma lista de 13 trabalhos em diferentes lugares do mundo, onde 8 destes

foram selecionados atributos de maneira subjetiva e 4 por análises estatísticas (tab. 2.7).

Tabela 2.6(continua). Atributos do terreno associado a movimento de massa gravitacional (RIC-BC, 1996), modificado.

FATOR/COMPONENTE	ATRIBUTO
Substrato Rochoso	Litologia e sedimentologia Estrutura: Dobra, Cisalhamento flexural, Falhas e juntas Fabric e acamamento Forças in situ
Geologia do Quaternário	Glacial e proglacial Glaciotectônicos Precipitação (pluvial) Periglacial Glacio-eustasia e glacio-isostasia
Geomorfologia	Morfologia da encosta e gradientes Aspectos de declividade Formas de movimentos de massa Energia e estado de desenvolvimento da paisagem
Intemperismo	Físico, químico e biológico Endógeno e exógeno, passado e presente Espessura do Rególito, taxa de formação
Erosão e Deposição	Erosões em geral, frentes de agressão Erosão de base e face de talude Deposição na parte superior da encosta Superfície erosional, *gullying* Percolação (interna) erosão
Clima	Precipitação Evapotranspiração Degelo Expansão de calor e rachadura
Vegetação e Pedologia	Tipos de vegetações , força das raízes, etc. Paleosolos, Indicadores para datação de anterior estabilidade
Hidrogeologia	Escoamento e infiltração Depósito de neve Pressão em fissuras de aqüíferos Artesianismo e elevação do aqüífero Poropressão Positiva e negativa Variação da pressão do aqüífero com a profundidade Química do aqüífero
Geotécnico	Propriedades índices, mineralogia, conteúdo de argila e cimentação Geoquímica Resistência ao cisalhamento: pico e residual, anisotropia, histórico de forças, falhamento progressivo Presença ou ausência de falhas pré-existentes Fragilidade, taxa efetiva da resistência ao cisalhamento Porosidade Expansão e contração Permeabilidade: perfil e anisotropia Peso específico, variação com a infiltração de chuva
Atividade Vulcânica	Fluxo de Lava Acumulação de cinza vulcânica Emissões de vapor, Chuva ácida Alteração Hidrotermal
Neotectônica e	Balanço, subpressão e erosão acelerada Terremoto

Tabela 2.6(conclusão). Atributos do terreno associado a movimento de massa gravitacional (RIC-BC, 1996), modificado.

FATOR/COMPONENTE	ATRIBUTO
Sísmica	
Barreiras Naturais	Movimentos de Massas Fluxo de Lava Geleiras e laminas de gelo Rio de Gelo
Atividade Humana e Uso do Solo	Cortes e Aterros Mineração Desflorestamento Irrigação e Vazamentos Outras modificações Hidrogeológicas Represamento, abaixamento do nível freático crítico

Tabela 2.7. Referências de autores que estudaram os atributos do terreno para análise de movimentos de massa gravitacionais (RIC-BC, 1996).

ANÁLISE	REFERÊNCIA	ÁREA GEOGRÁFICA
Subjetiva	Anbalagan (1992)	Índia
	Bourgeois (1978)	Vancouver Island, British Columbia
	Brand (1988)	Hong Kong
	Chang (1992)	Taiwan
	Hammond *et. al* (1992)	Noroeste Pacífico, Estados Unidos
	Howes and Swanston (1994)	British Columbia
	Nielsen and Brabb (1977)	San Francisco Area, California
	Rollerson and Sondheim (1985)	British Columbia
Estatística	Carrara (1983)	Itália
	Carrara *et. al* (1991)	Itália
	Pack (1985)	Utah, Estados Unidos
	Rollerson (1992)	Queen Charlotte Islands, British Columbia

A seguir tem-se uma descrição dos principais componentes, atributos e classes adotados por Souza (1996), que podem ser de caráter quantitativo ou qualitativo, e que foram analisados neste trabalho.

2.3.2.1 COMPONENTE GEOMÓRFICO

Declividade

Sidle *et. al.* (1985) apresentaram uma associação de classes de declividades relacionadas a alguns tipos de movimentos de massa gravitacionais (Tab. 2.8).

Tabela 2.8. Classes de declividades relacionadas aos diferentes tipos de movimentos gravitacionais de massa (Sidle *et. al.*1985 – modificado por Bonucelli, 1999).

Tipos de Movimento de Massa Gravitacional	Classes de declividade	
Rastejo em solo	1,3 a 25 graus	2,8 a 55,5%
Escoamentos rápidos em solos	4 a 20 graus	8,8 a 44,4 %
Escorregamentos rotacionais	7 a 18 graus	15,5 a 40 %
Escoamentos rápidos em solos e detritos sobrejacentes a rocha	> 25 graus	> 55,5 %

Rumo do maior valor de declividade da encosta

A direção e sentido do vetor da maior declividade da encosta é um atributo de importância fundamental quando se necessita analisar a associação entre ocorrência de movimentos de massa gravitacionais em encostas que apresentam algum tipo de descontinuidade: xistosidades, acamamentos, falhas, fraturas, preenchimentos, transições abruptas entre os materiais, presença de camada de material com características muito diferentes dos demais, para verificar a trajetória de maior energia das massas deslocadas (SOUZA, 1996).

Formas de encosta

Bonuccelli (1999) apresenta um estudo baseado na elaboração de uma matriz com variações nas feições verticais e longitudinal das encostas a fim de avaliar, para cada encosta em estudo, quais seriam as situações mais ou menos favoráveis a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais e erosões (Tab. 2.9).

A concavidade e/ou convexidade das encostas é um fator variável que está relacionado ao raio de curvatura (quando retilínea, o raio tende ao infinito) e sua variação pode influenciar mais ou menos a ocorrência dos movimentos de massa gravitacionais.

Este fator não deve ser analisado somente de forma individual, e sim em conjunto com outras características, como contribuição do entorno quanto ao escoamento superficial, amplitude de relevo, posição do talude na encosta bem como a declividade.

Tabela 2.9. Características do perfil das encostas relacionadas a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais (Bonuccelli, 1999 — modificado).

Perfil da Encosta	Característica do evento
encostas côncavas	são geralmente mais evoluídos em termos geomorfológicos e estariam menos sujeitas a ocorreria desses processos.
encostas convexas	menos evoluídas e portanto mais sujeitos a ocorrência dos processos
encostas retilíneas	estariam no situação intermediário, entre os dois casos anteriores
encostas convexo-côncavas	nessa ordem do topo paro a base, seriam mais propensas
encostas convexo-retilíneas	do topo para base, também seriam mais propensas

Presença de escarpas

Segundo Bonuccelli (1999), a presença de escarpas em uma encosta pode significar: indício de movimentos recentes ou possibilidade de reativação, principalmente quando solicitadas por ações antrópicas. A declividade acima

da qual pode-se considerar a área do terreno como sendo uma escarpa é aquela que apresenta valores entre 40 e 65°.

2.3.2.2 COMPONENTE ÁGUA

Um dos fatores que mais contribui para a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais é a água. Segundo Rib & Liang (1978), algumas das situações relativas aos movimentos de massa gravitacionais podem parecer que não estão ligadas ao evento devido à distância da cicatriz à fonte de água, o que pode ser constatado (relação entre a presença d'água e a ocorrência do evento) através de fotointerpretação:

- Freqüente alinhamento entre as cicatrizes dos movimentos de massa gravitacionais e os canais de drenagem nas porções mais altas do terreno, a montante da cicatriz, o mesmo ocorrendo para locais com reservatórios, canais de irrigação, canais superficiais desviados, depressões do terreno que formam tanques;
- Muitos aterros de estradas são rompidos porque bloqueiam a drenagem natural;

Solapamento da base de taludes pelo fluxo de água ou ondas, é outra maneira com que a água pode influenciar a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais.

Zona de concentração de fluxo superficial

A análise deste atributo está relacionada a concentração do fluxo superficial que por sua vez pode causar o acúmulo de material em determinados locais, que pode vir a sofrer movimentação posterior. Neste caso

devem ser avaliadas as dimensões e a localização da zona de concentração de fluxo dos canais.

Presença de surgências (fontes ou nascentes)

Segundo Bonuccelli (1999), é importante observar além da presença de surgências nas encostas, outros parâmetros a elas relacionados:

a- localização;

b- alinhamento de surgências: pode auxiliar na avaliação do nível de água subterrâneo;

c- diferentes níveis de surgência em uma mesma encosta: pode significar que o fluxo subterrâneo é diferente em cada parte da encosta; pode estar relacionada a presença de camada impermeável;

d- sazonabilidade: se temporárias ou permanentes;

e- idade das surgências: se apareceram recentemente ou se já são observadas há muito tempo no local;

f- se estão associadas a "*piping*" ou a ocorrência de movimentos de massa.

Fluxo do nível de água direcionado

A presença de camadas mais permeáveis ou muito fraturadas pode condicionar a infiltração. E assim favorecer a ruptura em determinada posições.

2.3.2.3 COMPONENTE SUBSTRATO ROCHOSO

Litologia

Segundo Bonuccelli (1999), é de fundamental importância conhecer o tipo litológico, grau de alteração e sua resistência mecânica. Quanto ao grau de alteração pode-se dizer que de modo geral quanto mais alterado o material rochoso maior a potencialidade de ocorrência movimentos de massa gravitacionais. Existem várias propostas para avaliação desse parâmetro em campo, sendo as principais aquelas sugeridas pela ISRM (1983), e por Williamson & Kuhn (1988), conhecida como classificação URCS (Unified Classification Rock System), e são apresentadas nas Tabelas 2.10, 2.11 e 2.12. E nacionalmente, Vaz (1996) faz correlações dos horizontes de alteração com a resistência à compressão uniaxial, em regiões tropicais (fig. 2.19).

Quanto a resistência mecânica da rocha, esse atributo está diretamente relacionado com o tipo litológico e com o grau de alteração. A sua avaliação em trabalhos de campo pode ser executada também de acordo com as sugestões da ISRM (1983), de Williamson & Kuhn (1988), Vaz (1996), ou em laboratório, através de ensaio de cisalhamento direto em rochas brandas, dos ensaios de compressão simples ou do índice de resistência a compressão pontual.

Tabela 2.10 (continua). Grau de alteração e resistência da rocha propostos pela ISRM (1983) e URCS (1988), modificado de Bonuccelli (1999).

ISRM TERMO	ISRM GRAU	DESCRIÇÃO	CORRESPONDÊNCIA COM URCS
Fresca ou sã	I ou A1	não há sinais visíveis de material rochoso alterado, é possível descoloração nas descontinuidades	Rocha sã, tipo A ou B
Levemente alterada	II ou A2	descoloração do material rochoso e das descontinuidades; mais fraco que material original	Rocha alterada tipo C
Moderadamente alterada	III ou A3	menos do metade do material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo; rocha fresco	Rocha alterada tipo C

Tabela 2.10 (conclusão). Grau de alteração e resistência da rocha propostos pela ISRM (1983) e URCS (1988), modificado de Bonuccelli (1999).

ISRM TERMO	ISRM GRAU	DESCRIÇÃO	CORRESPONDÊNCIA COM URCS
		ou descolorida presentes em estrutura contínua	
Intensamente alterada	IV ou A4	mais da metade material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo; rocha fresca ou descolorida presente em porções descontínuas	Rocha decomposta tipo D
Completamente alterada	V ou A5	todo material rochoso está decomposto e/ou desintegrado em solo; estrutura original do maciço intacta	Rocha completamente decomposta tipo E
Solo residual	VI ou A6	todo material rochoso foi convertido em solo; estrutura original destruído; mudança no volume, solo não foi significativamente transportado	solo

Tabela 2.11. Grau de Resistência das rochas de acordo com ISRM (1983) e URCS (1988), modificado de Bonuccelli (1999).

CLASSE ISRM 1983	OBSERVAÇÕES EM CAMPO	RESIST.COMP. UNIAXIAL (MPA)	CLASSE CORRESP. URCS
Rocha muito resistente	Pode ser facilmente marcada pela unha, esmigalha quando sofre impacto da ponta do martelo de geólogo, pode ser raspada pelo canivete	< 5,0	Moldable Quality (MQ)/E
Rocha resistente	pode ser raspada por canivete com dificuldade, pode ser marcada por firme pancada com a ponta do martelo de geólogo	5,0 - 25	Crater Quality (CQ)/D
Rocha medianamente resistente	não pode ser raspada por canivete, podem ser fraturadas com um único golpe do martelo de geólogo	25 - 50	Dent Quality (DQ)/C
Rocha Resistente	Amostras requerem mais de um golpe de martelo paro fraturar -se	50 - 100	Pit Quality (PQ)/B
Rocha Muito Resistente	Amostras requerem muitos golpes de martelo de geólogo para fraturar-se; amostras podem ser somente lascadas pelo martela	> 250	Rebound Quality (RQ)/A

Tabela 2.12(continua). Grau de Resistência das rochas de acordo com classificação URCS, WILLIAMSON e KUHN (1988).

CLASSE URCS	OBSEVAÇÕES EM CAMPO	RESIST. COMPRESS. Uniaxial(MPA)
Moldable Quality (MQ)/E	Pode ser moldado com as mãos, mas retém a estrutura do rocha matriz; pode ser classificado como solo também, em projetos; não há recuperação desse material em sondagens rotativas, escavação por máquinas	< 7,0 (friável)
Crater Quality (CQ)/D	Ao redor do ponto de impacto ocorre um cisalhamento e um levantamento dos grãos minerais, formando uma depressão semelhante às crateras lunares; alta absorção, pode ser recuperada em sondagens rotativos, baixo energia de transferência, pode ser escavada com máquinas	7 a 21 (cisalhado)

Tabela 2.12 (conclusão). Grau de Resistência das rochas de acordo com classificação URCS, WILLIAMSON e KUHN (1988).

CLASSE URCS	OBSEVAÇÕES EM CAMPO	RESIST. COMPRESS. Uniaxial(MPA)
Dent Quality (DQ)/C	Depressão na superfície; depressão superficial no ponto de impacto indicando a presença de espaço vazio entre os grãos minerais; resistência semelhante ao concreto; geralmente não passa no teste de adsorção para agregados; baixa energia na resposta à detonação	21 o 55 (compressão)
Pit Quality (PQ)/B	Cava rasa e rugoso no ponto impacto, devido a saída explosiva de grãos minerais; considerada rocha dura na indústria da construção, bom para uso como agregados de estrados, boa fragmentação para material de construção, taludes, energia na detonação é alto, mas não preciso de projetos especiais de detonação	55 o 103 (tensional)
Rebound Quality (RQ)/A	Nenhuma reação no ponto de impacto do martelo; alta energia de transferência em resposta à detonação; difícil de quebrar na ausência de descontinuidades; produz material bom para rodovias, agregados de aterros, devido a sua dureza produzem na britagem materiais angulares	> 103 (elástico)

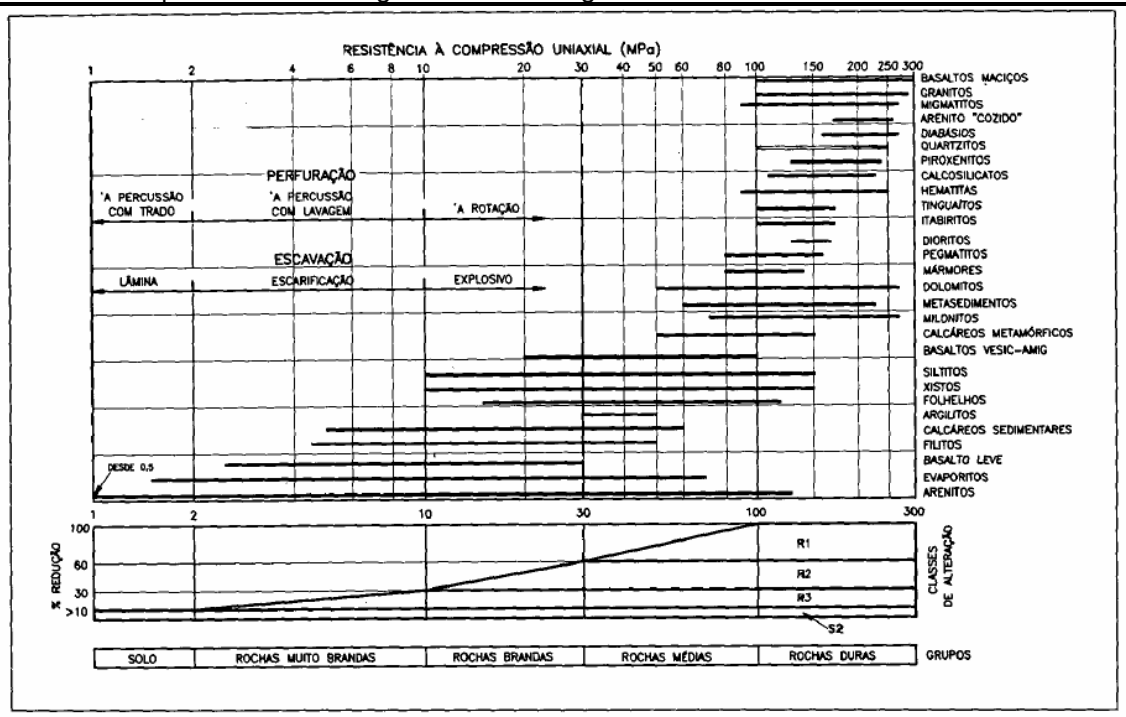


Figura 2.19. Resistência a compressão uniaxial e classes de alteração (VAZ,1996).

Presenças com áreas de rocha aflorante

A presença de rocha aflorante em uma encosta, pode explicar a origem de blocos de rocha rolados encosta abaixo. Pode gerar quedas e rolamento de blocos, tombamentos, deslizamentos em cunha ou planar, dependendo do sistema de descontinuidades presente (BONUCCELLI, 1999).

Presença de zonas de falhas ou áreas intensamente fraturadas

A facilidade de infiltração da água nas fraturas em zonas intensamente fraturadas pode significar maior predisposição da área a movimentos de massa gravitacionais, devido aos baixos valores de resistência associado ao aumento da pressão neutra.

Seqüência vertical ou perfil de litologias e perfil de alteração

Nesse caso é importante verificar os seguintes parâmetros:

a- continuidade lateral (área) e vertical: áreas que apresentam descontinuidades podem ser mais susceptíveis a movimentações entre as camadas;

b- caracterização de cada camada;

c- espessura de cada camada ;

d- tipo de contato entre as diferentes camadas: atenção especial para solos sobre rochas com contato abrupto: podem ocorrer escorregamentos em áreas que apresentam este tipo de contato uma vez que a superfície da rocha pode atuar como um meio impermeável e criar um local de acúmulo de água, o que pode vir a diminuir o atrito e facilitar a movimentação da camada superior.

Presença de materiais expansivos

A intercalação de litologias expansivas entre não expansivas pode gerar planos fraqueza onde ocorrerá o rompimento.

2.3.2.4 COMPONENTE MATERIAL INCONSOLIDADO

Segundo Bonuccelli (1999), todos os atributos de uma encosta constituída de materiais inconsolidados influenciam na sua resistência ao cisalhamento. Assim sendo, pode-se dizer que quanto menor a resistência ao

cisalhamento, maior a “predisposição” aos processos em estudo. Além disso, alguns atributos relacionados ao substrato rochoso são semelhantes aos materiais inconsolidados.

Perfil de alteração

A caracterização dos materiais inconsolidados quanto a sua variabilidade vertical e lateral, é de fundamental importância. As principais características a serem levantadas são (BONUCCELLI, 1999):

a- gênese: residual (rocha de origem); transportado: talus, colúvio, aluvião.

b- textura e plasticidade; composição mineralógica.

c- índices físicos: umidade, peso específico natural e peso específico dos sólidos.

d- espessura e extensão areal (continuidade lateral).

A influência dos fatores que interferem na resistência ao cisalhamento dos materiais inconsolidados é descrita pela mecânica dos solos clássica. Bonuccelli (op. cit.) afirma que:

- solos saturados apresentam valores de poro-pressão positivas, e portanto menor resistência ao cisalhamento;
- solos parcialmente saturados apresentam-se com poro-pressões negativas (devido a sucção), aumentando, ainda que temporariamente, sua resistência ao cisalhamento;
- para solos arenosos, quanto mais bem graduados os minerais, maior a ligação entre as partículas, maior a resistência ao cisalhamento; quanto mais esféricos e arredondados os grãos, menor a resistência ao cisalhamento;

Para maiores entendimentos sobre as relações entre as principais características de solos residuais e seus perfis de alteração, e ainda o efeito da poro-pressão no solo relativo a estabilidade de encostas, recomenda-se o trabalho de Brand (1995).

2.3.2.5 COMPONENTE VEGETAÇÃO

As florestas podem desempenhar um papel de proteção das encostas e também causar efeitos prejudiciais quanto à resistência, para o caso de vegetações de raízes curtas.

Atuação sobre fatores hidrológicos e climáticos nos maciços naturais

- intercepta e retém, ainda que temporariamente, parcela da água precipitada nas partes aéreas (folhas, flores, galhos), evitando que atinja rapidamente a superfície do terreno, ou seja promove a diminuição do escoamento superficial;
- elimina a água retida na forma de vapor, através da absorção e da evapotranspiração, evitando que esse volume de água se infiltre no terreno;

Atuação sobre a mecânica dos movimentos de massa gravitacionais e erosões

- raízes e troncos aumentam a rugosidade do terreno, diminuindo a velocidade do escoamento superficial;
- o sistema radicular produz a estruturação ou reforço do solo, aumentando sua resistência ao cisalhamento; além disso, retém as partículas do solo no terreno, diminuindo a susceptibilidade à erosão;

- para raízes mais profundas, que atingem substratos mais resistentes,. aparece o efeito de ancoragem das camadas superficiais das encostas;
- A extração (ou absorção) de parcela da água disponível pela raizes diminui o teor de umidade dos solos podendo reduzir a poro pressão.

Há alguns efeitos negativos da cobertura vegetal que desfavorecem a estabilidade das encostas:

- efeito alavanca: quando atingidas por ventos, as árvores transmitem ao solo uma força cisalhante;
- efeito cunha: as raízes que penetram nas fendas e fissuras dos solos e rochas podem causar pressão de abertura dessas fendas;
- sobrecarga vertical: causada pelo peso da vegetação pode ter um efeito benéfico ou não na estabilidade, dependendo da inclinação e das características do material do terreno;
- as raízes e troncos aumentam a rugosidade superficial do terreno, e assim elevando sua capacidade de infiltração;
- a retirada prolongada da água do solo pelas plantas pode gerar um ressecamento excessivo da encosta, com a formação de fendas e fissuras de tração, que podem permanecer no solo e desse modo elevar a sua capacidade de infiltração;

Apesar de alguns efeitos positivos que a vegetação pode causar às encostas, eles não são, na maioria dos casos, suficientemente significativos, para eliminar efeitos negativos, relacionados ao controle dos movimentos de massa gravitacionais, principalmente quando as demais características (como

litologia, inclinação, material inconsolidado, etc) são favoráveis à ocorrência dos eventos.

Portanto, as principais características da cobertura vegetal, que devem ser levantadas, para avaliar a sua capacidade de imprimir à encosta um efeito contrário aos movimentos de massa gravitacionais, são:

- tipo de vegetação e sua distribuição espacial;
- tipo e profundidade do sistema de raízes;
- resistência a tração do sistema de raízes, sua densidade e distribuição lateral;
- capacidade de armazenar água na superfície: presença de diferentes estratos de cobertura vegetal (incluindo queda de folhas) espaçamento ou densidade total da vegetação.

2.3.2.6 COMPONENTE AÇÃO ANTRÓPICA

A evolução natural das encostas e dos movimentos de massa gravitacionais ocorrem em função de fatores naturais (como geologia, clima, geomorfologia, dentre outros). A atuação do Homem interfere no ritmo dessa evolução, acelerando-a ou diminuindo-a, conforme a interação ocorrida:

Na Tabela 2.13 encontram-se resumidamente as características do local que devem ser observadas (de acordo com os tipos de interação com o meio ambiente), para a avaliação da influência da ação antrópica na ocorrência dos movimentos de massa gravitacionais.

Tabela 2.13. Relação dos atributos necessários á avaliação da susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais (BONUCCELLI, 1999).

TIPOS	CARACTERÍSTICAS
Presença de escavações	Verificar as dimensões e quantidade, posição em relação a encosta (localização) e relação com anomalias geológicos
Presença de locais de disposição de resíduos e rejeitos	Verificar as dimensões, tipo (lixão, cemitério, bota-foro, resíduos de mineração,rejeitos), localização e umidade associada
Ocupações que promovem alterações no sistema hidrogeológico da encosta	Verificar as alterações nos canais de drenagem; acúmulos artificiais de água superficial; alterações que afetem fluxo de água subterrânea; utilização de fossas e outros recursos com mesma finalidade (já consideradas no Componente Água).
Ocupação Urbana	Verificar o tipo (residencial, comercial, industrial), padrão construtivo (alta, média, baixo), densidade de ocupação (alta, baixo, média), peculiaridades do sistema construtivo; presença de contenções; ocupação com muitos cortes e aterros; ocupação sobre pilotis ou sobre alicerces de canga
Presença de áreas de mineração	Verificar o tipo de mineração (a cada tipo de mineral extraído, está associado uma forma diferente de intervenção no meio físico, apresentando características bem peculiares e que podem influenciar na ocorrência de movimentos de massa gravitacionais) grau de atividade, que pode ser ativo ou inativo; estado de entropia, que pode ser degradada, recuperada, em recuperação, uso regular de detonações; localização das áreas (ou feições) de exploração; número e dimensões das áreas de mineração

2.3.2.7 COMPONENTE CLIMA

Precipitação

Segundo Bonuccelli (1999) as precipitações afetam as seguintes características do meio físico, que favorecem os movimentos massa gravitacionais.

- alterações dos parâmetros de resistência mecânica dos materiais: diminuição da coesão aparente, eliminação das tensões capilares (ou poro-pressões negativas), dissolução da cimentação;

- aumento da solicitação externa: aumento do peso específico dos materiais constituintes da encosta;
- com o avanço da frente de saturação no maciço, ocorre o desenvolvimento de poro-pressões positivas nos solos, sub-pressões nas descontinuidades rochosas e forças de percolação.

2.4 ZONEAMENTO

2.4.1 ESCALA

Para zoneamentos frente aos movimentos de massa gravitacionais, Soeters & Van Westen (1996) sugerem as escalas e a resolução das áreas mínimas de análise (tabela 2.14).

Tabela 2.14. Escalas utilizadas para zoneamento em estudos de escorregamento (Soeters & Van Westen, 1996).

Caracterização	Escalas	Áreas mínimas de estudo
Nacional	1:1.000.000	250.000 km^2
Regional	1:100.000 a 1:500.000	2500 a 62500 km^2
Média	1:25.000 a 1:50.000	156,25 a 625 km^2
Grande	1:5.000 a 1:15.000	6,25 a 56,25 km^2
Local	1:5.000 e maiores	

O zoneamento em áreas de escala nacional é feito com objetivo de fazer um inventário geral de áreas problemáticas para o país inteiro. Em escala regional serve para planejamento regional de áreas urbanas e rurais. A escala média pode ser utilizada para áreas com poucas centenas de quilômetros quadrados, que possuem construções de grandes estruturas, como rodovias. A

escala grande pode ser usada para uma área de investigação de algumas dezenas de quilômetros quadrados, e exigem um numero grande de informações. A escala local é aplicada quando se necessita de um detalhamento maior que o empregado na escala grande, para resolução de problemas locais/pontuais.

No que diz respeito ao tratamento das informações (tab. 2.15), Soeters & Van Westen (1996), classificam nos seguintes enfoques:

1. Inventário: identificação dos eventos existentes em termos de distribuição, atividade e densidade;
2. Enfoque heurístico: análise geomórfica / combinação de mapas qualitativos;
3. Enfoque estatístico: análise bivariada / multivariada;
4. Enfoque determinístico: aplicação de modelos.
5. Enfoque multicriterial:, análise hierárquica de processos (informações qualitativas e quantitativas).

Tabela 2.15. Técnicas de análise dos dados em função da escala dos mapas (modificado de SOETERS e VAN WESTEN, 1996).

Tipos de análises	Técnica	Características	Dados necessários [a]	Escalas recomendadas		
				Regional	Média	Grande
Inventário	Distribuição dos escorreg.	Análise da distribuição e classificação	3	sim [b]	sim	sim
	Atividade dos escorregam.	Análise das mudanças do padrão temporal	4, 5, 14, 15, 16, 17	não	sim	sim
	Densidade dos escorregam.	Cálculo da densidade nas unidades de terreno ou no mapa de isopletas	1, 2, 3	sim [b]	não	não
Heurísticas	Geomorfológica	Usa observações de campo do perito no zoneamento	2, 3, 4	sim	sim [c]	sim [c]
	Combinação qualitativa	Perito fornece ponderação de valores dos mapas	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18	sim [d]	sim [c]	não
Estatísticas	Bivariada	Calcula a importância da combinação de fatores	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18	não	sim	não
	Multivariada	Calcula a fórmula de previsão a partir de uma matriz de dados	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18	não	sim	não
Determinísticas	Fator de segurança	Aplicada a modelos de hidrologia e estabilidade de taludes	6, 11, 12, 13, 16, 20, 21, 22, 23	não	não	sim [e]

Onde: a: os números desta coluna referem-se a tabela 2.16; B: somente com dados confiáveis para distribuição de eventos porque o mapeamento pode não atender a razão custo benefício; C: mais fortemente suportado por outras técnicas quantitativas para obtenção de um nível aceitável de objetividade; D: somente se existirem dados confiáveis suficientes para distribuição espacial dos fatores que controlam os eventos; E: somente onde houver características de terrenos homogêneos, considerando a variabilidade dos parâmetros geotécnicos.

Tabela 2.16. Levantamento de dados para análise no zoneamento de Hazard para estudos de escorregamentos (modificado de SOETERS & VAN WESTEN,1996).

GEOMORFOLOGIA	GEOTECNIA	HIDROLOGIA
1 – Mapeamento de unidades de terreno 2 – Unidades e subunidades geomorfológicas 3 – Escorregamentos recentes 4 – Escorregamentos antigos	10 – Litologia 11 – Pedologia 12 – Mapa geológico estrutural 13 – Acelerações sísmicas	18 – Drenagem 19 – Bacia hidrológica 20 – Regime de chuvas 21 – Temperatura 22 – Evapotranspiração 23 – Mapa do Nível de água
TOPOGRAFIA	**USO DO SOLO**	
5 – Modelo digital de terreno 6 – Mapa de declividades 7 – Mapa de direção dos taludes 8 – Comprimento do talude 9 – Concavidade / convexidade	14 – Infra-estrutura recente 15 – Infra-estrutura antiga 16 – Mapa de uso do solo recente 17 – Mapa de uso do solo antigo	

2.4.2 Área mínima para tomada de decisão

Rodrigues (2003) relaciona três tipos de áreas mínimas que podem se adequar a estudos de movimentos de massa gravitacionais, que são: grid regular, encosta e bacia.

***Grid* regular:** trata da seleção de uma área, regular (geralmente quadrada) com dimensões variam com objetivo, escala, dimensões e área de estudo (fig. 2.20).

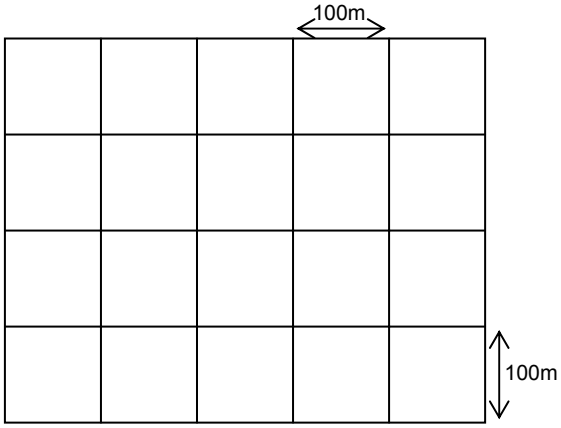


Figura 2.20. Exemplo de *grid* regular.

Uma das vantagens relacionadas à seleção deste tipo de área mínima é a possibilidade de trabalhar com pequenas extensões (ou extensões definidas) o que permite uma Tomada de decisão adequada á realidade do local, sem a preocupação de estar superestimando ou subestimando a extensão a ser contemplada.

Apesar disto, uma vez que os fenômenos ou características naturais dos terrenos não estão condicionadas a este tipo de padrão, alguns dos parâmetros selecionados para a caracterização dos eventos poderão apresentar incompatibilidade (ou problemas quanto a análise, definição de sua influência) com este tipo de área mínima como por exemplo, na análise do comprimento

da encosta, a amplitude de relevo, dentre outras, o deverá ser levado em consideração quando da análise dos dados.

Encosta: é caracterizada por meio da subdivisão de uma bacia em áreas menores (fig. 2.21), considerando somente um lado de um vale. As dimensões de uma encosta podem variar de métricas a dezenas de metros (conforme a escala ou a ordem dos canais selecionada para representação da bacia em que a encosta está inserida).

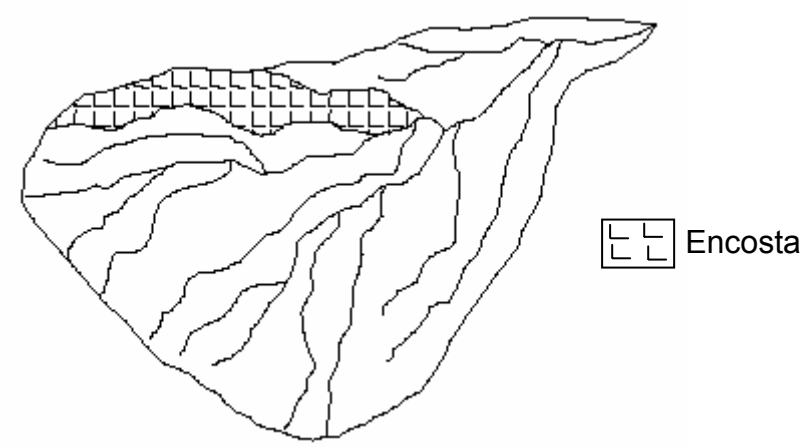


Figura 2.21. Exemplo de encosta

Considerando que a encosta é uma característica natural do relevo. pode-se perceber que uma das vantagens de se optar por este tipo de área mínima é que algumas das outras características naturais também são controladas por esta geometria. Deve-se considerar, entretanto que ocorrerão dificuldades quando da necessidade de definição da área a ser contemplada por uma determinada tomada de decisão, uma vez que, por ser natural, as dimensões das encostas são variadas e não controlam (limitam) a ocorrência dos eventos. O que poderá ocorrer nestes casos, por exemplo, é a tomada de

decisão para uma área bem mais extensa do que aquela sujeita ao evento eminente, elevando o custo, por conseguinte.

Bacia Hidrográfica: é a unidade hidrológica principal de uma região delimitada pelos divisores de água (fig. 2.22) que definem a Área de drenagem de um sistema pluvial.

A seleção deste tipo de área mínima está mais ligada a estudos referentes a problemas de inundação do que aqueles ligados a movimentos de massa gravitacionais. O princípio em que se baseia a seção deste tipo de área é similar aquele utilizado para a seleção da área mínima do tipo encosta, contudo, não se pode deixar de perceber que a área de uma bacia hidrográfica é, geralmente, superior a de uma encosta (uma vez que esta é formada por um conjunto de encostas, o que está diretamente ligado a ordem dos canais de drenagem que a definem).

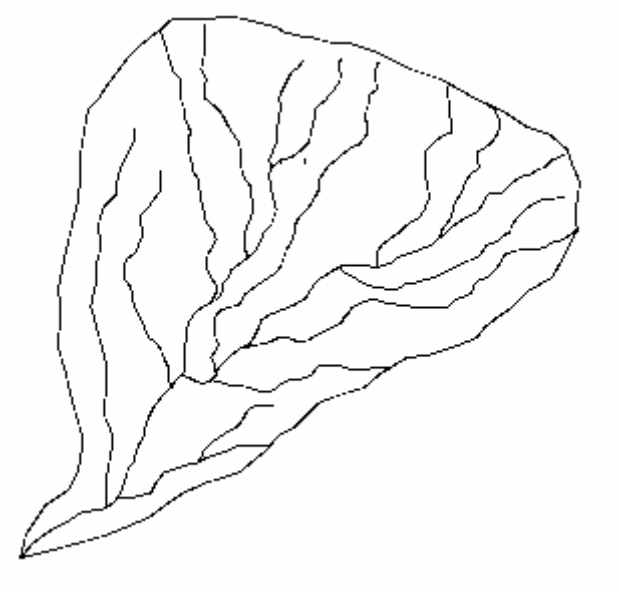


Figura 2.22. Exemplo de bacia hidrográfica.

Historicamente, há diversidade entre os autores e alguns deles vêm optando por trabalhar com área mínima do tipo grid (Chung *et. al., 1995;* Mark & Elen *et. al.,* 1995; Baeza & Corominas, 2001; Dai & Lee*,* 2001; Rodrigues, 2003), enquanto que outros (Carrara *et. al.,* 1991; Terlien *et. al.,* 1995) optam pelo estudo em termos de bacias ou encostas para a análise dos mais variados tipos de problemas.

A justificativa principal para o uso do "*grid*" como área mínima *é* o uso de SIG's para auxiliar na análise espacial. Uma vez que estes tipos de programa individualizam a área em pixels, onde a precisão está diretamente ligada ao tamanho de 1 pixel (quanto menor seu tamanho, maior a precisão). Grande parte dos autores vem lançando mão desta vantagem e incorporando maior precisão em suas análises.

Ao serem considerados, por exemplo, problemas específicos que podem ocorrer em uma rede de energia elétrica, a seleção de uma área mínima do tipo *grid* é a mais apropriada, segundo Rodrigues (2003), considerando que os agentes condicionantes para ocorrência de problemas não estão vinculados a uma bacia ou um talude, como pode ocorrer no caso de inundações, quando a área mínima do tipo bacia vincula a análise do evento à geometria da área mínima. Podem ocorrer situações em que qualquer uma das opções de área mínima seja adequada, como no caso de análise de problemas relacionados a erosões. Neste caso, a seleção da área mínima mais adequada fica condicionada muito mais às demais características da análise. Portanto, a área mínima a ser considerada para uma tomada de decisão deverá ser aquela que represente, adequadamente, um determinado problema.

Rodrigues (2003) diz que ao se considerar uma área mínima por bacia ou encosta, pode-se superestimar ou subestimar uma área, devido o fato de a área mínima ser muito variável.

Carrara (1991) faz comentários sobre os tipos de unidades do terreno (tab. 2.17), dando um enfoque em particular para divisão do terreno em unidades de única condição (UCU – Unique Condition Unit).

Tabela 2.17. Comparação de vantagens e desvantagens de unidades do terreno para zoneamento de *Hazard* (CARRARA, 1991), modificada.

Unidade de Terreno	Consistência	Meio Físico	Técnica
Unidade Geomorfológica	Baixa	Alta	Manual
Grade de Célula	Alta	Baixa	Automática
Unidade Única Condicional	Alta	Média	Automática
Unidade de Encosta	Alta	Média para alta	Automática

2.4.3 RECURSOS PARA ZONEAMENTO

Irigaray *et. al*. (1996b) relata sobre a enorme variedade de métodos para realizar análises de susceptibilidade de escorregamento, fazendo uma comparação para identificar o mais apropriado. Entre eles os métodos de declividade crítica (considera a relação entre distribuição da zona de ruptura em cada unidade litológica e a declividade), matriz (método quantitativo ou qualitativo), percentagem de zonas de ruptura (baseado em modelo heurístico), indexação (modelo empírico baseado em análises do terreno), valor de informação (modelo estatístico) e regressão múltipla (obtenção de equações

determinísticas). Sendo o método de matriz o melhor na concepção dos autores deste trabalho.

Baeza & Corominas (2001) afirmam que os procedimentos podem ser agrupados com base em análises geomórficas, técnicas de tratamento de dados e aproximações determinísticas. Onde a duas primeiras são mais usadas em análise de *hazard* regionais enquanto que a terceira é usada para estudos detalhados, onde um fator de segurança é determinado, e que a técnica de análise multivariada (tratamento de dados) permite a avaliação quantitativa da influência simultânea de diferentes fatores, portanto, mais realística e objetiva para a avaliação de susceptibilidade a escorregamentos.

Este é o ponto principal na realização de um zoneamento, pois irá indicar o enfoque do trabalho. Os principais enfoques e recursos já foram mencionados anteriormente e a seguir serão analisados e exemplificados com maior detalhe (tab. 2.18).

Tabela 2.18. Vantagens de desvantagens dos tipos de enfoques utilizados para zoneamento

Enfoque	Vantagens	Desvantagens	Exemplos
Multicritério (em especial AHP)	• Transformação de dados Quantitativos em dados qualitativos; • Avaliação da importância relativa de cada atributo.	• Exige uma enorme quantidade de informações, por isso um tempo grande de trabalhos preliminares; • Para análises de muitas classes e atributos se faz necessário uso de ferramenta computacional (MathLab, MathCad)	Rodrigues (2003), Rodrigues & Zuquette (2006), Komac (2005), Esmali & Ahmadi (2003).
Determinístico	• Análise quantitativa, com fator de segurança	• Aplicável em pequenas áreas, em escala local de trabalho, não aplicável em escalas maiores devido à quantidade de informações exigidas.	Skempton & Delory (1957); Wu & Abdel-Latif (2000).
Heurístico (Geomórfico)	• Ë um método de fácil análise, não necessitando de ferramentas computacionais muito avançadas para tal; • Gera boas potencialidades relativas entre os atributos, aproximando-se mais da realidade.	• O principal inconveniente é que o conhecimento disponível dos fatores que influenciam os deslizamentos pode ser inadequado e subjetivo dependendo da experiência do pesquisador; • Devido ao grau de subjetividade inviabiliza a comparação com outros autores.	Augusto Filho (2006), Dias & Herrmann (2001), DRD (1991), Pejon (1992), Anbalagan (1992).
Estatístico (bivariada e multivatiada).	• Relacionam o aspecto probabilístico; • Objetividade. • Trabalha com dados qualitativos e quantitativos • Capacidade de analisar a influencia de cada atributo	• As multivariadas necessitam de dados abundantes e de qualidade	Carrara (1983,1988), Carrara *et. al*.(1990, 1991),

2.4.3.1 MÉTODOS MULTICRITERIAIS

Alguns autores vêm utilizando a Analise Multicriterial como forma de tratamento de informações para os mais diversos tipos de problemas, devido a possibilidade de lidar com julgamentos de forma matemática, uma vez que problemas complexos que consideram dados qualitativos e quantitativos são

divididos na forma de uma hierarquia de decisão, baseado em preferências (ou importância) de um determinado atributo analisado, com relação a outro.

Sen & Yang (1998), apresentam (Tabela 2.19) uma classificação dos métodos relacionados à Tomada de Decisão Multicriterial do tipo Multiatributo dentre eles o Processo Analítico Hierárquico (AHP) que considera o uso de pesos de antemão e apresenta a comparação par-a-par de todas as alternativas e atributos.

Considerando esta classificação os autores apresentam uma árvore de decisão para seleção do método é o mais adequado bastando para isso, responder a algumas questões que são formuladas para a decisão entre um ou outro método. Para a seleção do método AHP, os autores apresentam as seguintes questões que devem ser e respondidas a fim de se continuar a seleção do método:

- A preferência da informação é requerida? (*sim*).
- Qual a preferência que a informação representa? (*pesos relativos*).
- Os pesos utilizados são determinados previamente ou são gerados? (*são gerados*).
- Qual é o tipo de entrada de dados é requerida? (*comparação par-a-par de todas as alternativas e atributos*).

Tabela 2.19. Classificação dos métodos relacionados ã tomada de decisão multicriterial do tipo multiatributos (SEN & YANG, 1998).

TIPO DE INFORMAÇÃO	MÉTODO	INFORMAÇÃO PREFERENCIAL
Sem informações	Dominância	
	Maximo-mínimo	
Níveis padrão	Máximo-máximo	
	Conjuntivo	
	Disjuntivo	
Determinação de pesos	Avaliação direta	
	Mínimos quadrados	Comparação par a par de todos os atributos
	Eigenvector	
	Entropia	
	MITA	Comparação adequada dos atributos
Determinação de pesos de antemão	Lexicográfico	Classificação de todos atributos
	Pesos simplificados	
	TOPSIS	Definição de preferências e pontos não preferenciais
	Avaliação Linear	
	Estimativa da posição relativa	Comparação par-a-par de todos os atributos
	ELECTRE	
Determinação de pesos de antemão	AHP	Comparação par-a-par de todas alternativas e atributos
	LIMAP	Comparação par-a-par de preferências
Pesos deverão ser gerados	UTA	Classificação de um subconjunto de alternativas
Função de utilidade local	ILUTA	Comparações par-a-par de algumas alternativas
Função de utilidade implicita	EDMCM	Comparações par-a-par e formulação de questões

Quando se tem diferentes atributos/fatores que contribuem para a Tomada de Decisão, existe, a necessidade de determinar a contribuição relativa da cada um deles. Para solucionar este problema, Saaty (1977) propôs uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a Tomada de Decisão são comparados par-a-par, e um critério de importância relativa (Tab. 2.20) é atribuído a relação entre estes fatores.

Tabela 2.20. Escalas de importâncias (SATTY, 1977).

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Importância igual	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Pequena importância de uma sobre a outra	O julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra
9	Importância absoluta	Mais alto grau de certeza de favorecimento de uma atividade sobre a outra.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos	Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.

Muitos autores nacionais têm utilizado este método para resolver problemas de diversas áreas principalmente da engenharia de produção dentre estes autores podemos citar Montevechi & Pamplona (1996), Pamplona (1999), Murakami (2003), Kimura & Suen (2003).

O AHP (Analytic Hierarchy Process) é uma técnica de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios desenvolvida por Thomas L. Saaty (1977), em resposta ao planejamento de contingência militar e empresarial, tomada de decisão, alocação de recursos escassos, resolução de conflitos e a necessária participação política nos acordos negociados. Desde então, tem mostrado ser uma metodologia variada e útil, fornecendo a pesquisadores de diferentes áreas um novo meio de olhar os seus velhos problemas. A teoria reflete a maneira pela qual a mente humana conceitualiza e estrutura um problema complexo. O método natural de funcionamento da mente humana, quando se defronta com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, é agregá-los a grupos, segundo propriedades comuns, isto é, quando o ser humano identifica algum problema, decompõe a complexidade encontrada; quando descobre relações, sintetiza; este é o processo fundamental da percepção: decomposição e síntese.

A metodologia baseia-se no princípio de que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso, quanto os dados utilizados (fig. 2.23).

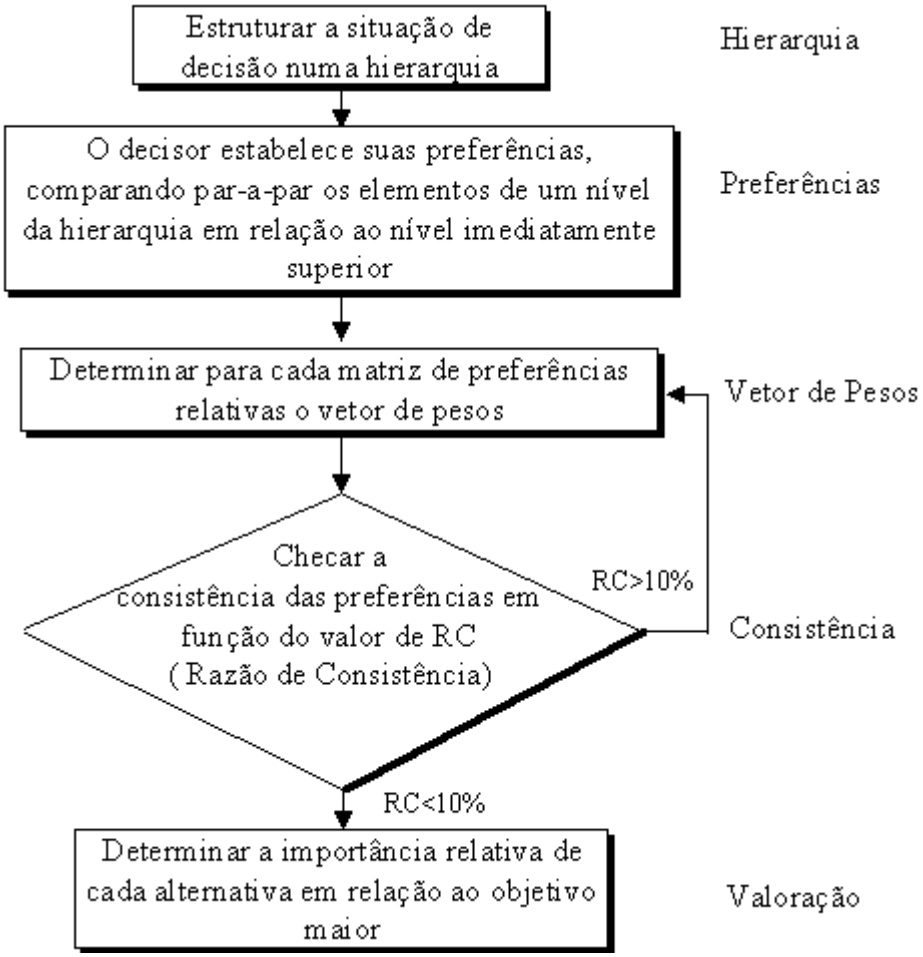


Figura 2.23. Fluxograma da metodologia AHP.

Hierarquização

Segundo Rodrigues (2003), para que seja possível a aplicação da Sistemática de Análise Hierárquica, deve-se definir quantos e quais os níveis que serão utilizados na análise do problema, onde o primeiro nível sempre deve ser ocupado pela meta e os demais serão simplificações deste. A Figura 2.24 apresenta o diagrama de hierarquização de decisão, adotado para análise de movimento de massa. Note-se que, uma vez que a aplicação da Sistemática AHP servirá, no caso foi para definir as áreas instáveis a movimentos de massa

gravitacionais. O diagrama representa a estruturação do problema como um todo, além de apresentar os quatro níveis hierárquicos, estruturados de acordo com a figura 2.24.

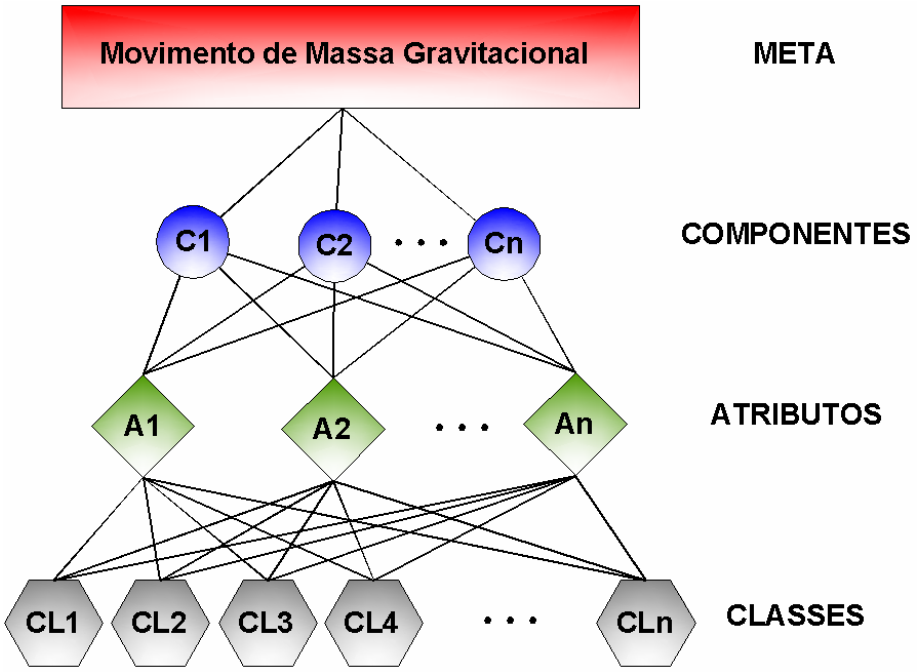


Figura 2.24. Diagrama de hierarquização de movimentos de massa.

1° nível: o primeiro nível, ou mais elevado, é caracterizado pela meta ou objetivo da aplicação da Sistemática AHP que, no caso, consiste em definir áreas instáveis a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais. **2° nível:** consiste na definição dos componentes do meio físico a serem considerados na análise.

3° nível: corresponde aos atributos relacionados aos componentes do meio físico.

4° nível: representa as características ou classes de cada um dos atributos que caracterizam o maciço como instável ou não.

Montagem das matrizes pareada

Após ter sido estruturado o problema em forma de hierarquia, e os julgamentos terem sido efetuados, o passo seguinte consiste em calcular o vetor prioridade da matriz dada.

Nesta etapa do desenvolvimento da aplicação, são montadas as matrizes de comparação para cada um dos três níveis inferiores, comparando os elementos de mesmo nível hierárquico com relação ao elemento do nível superior, a fim de definir a importância relativa de um determinado elemento em relação a outro (tab. 2.20, 2.21) (RODRIGUES, 2003). Desta comparação deve-se gerar um índice randômico que irá indicar o grau de confiabilidade para a análise, e este não deve ser superior a 10%

Pode-se considerar modelos para análise quanto a instabilidade. Como avaliando a estabilidade pela seguinte condição (RODRIGUES & ZUQUETTE, 2006):

A [Σ (atributo favorável à estabilidade + atributos que afetam positivamente os favoráveis)] = B [Σ (atributos favoráveis a instabilidade + atributos potencializadores dos favoráveis a instabilidade)]

Esta condição pode ser comparada às expressões de fator de segurança quando considera condições determinísticas. A condição geral permite considerar uma análise temporal, a variabilidade espacial das informações e diferentes tipos de informações (qualitativas e quantitativas).

Tabela 2.21. Matriz de pesos relativos para classe curvatura da encosta (RODRIGUES 2003).

	LINEAR/ CONCAVA	CONVEXA/ CONCAVA	CÔNCAVA/ CONCAVA	LINEAR/ CONVEXA	CONVEXA/ CONVEXA	CÔNCAVA/ CONVEXA	LINEAR/ LINEAR	CONVEXA/ LINEAR	CÔNCAVA/ LINEAR	Peso relativo normalizado
LINEAR/CONCAVA	1	2	1/2	3	4	2	2	5/2	3/2	0.161087
CONVEXA/CONCAVA	1/2	1	1/3	2	3	2	3	4	2	0.139819
CÔNCAVA/CONCAVA	2	3	1	3	6	4	5	6	2	0.269791
LINEAR/CONVEXA	1/3	1/2	1/3	1	3	2	4/3	3	1/2	0.086254
CONVEXA/CONVEXA	1/4	1/3	1/3	1/3	1	1/4	1/3	1/2	1/4	0.034659
CÔNCAVA/CONVEXA	1/2	1/2	1/4	1/2	4	1	2	3	1/2	0.081134
LINEAR/LINEAR	1/2	1/3	1/5	3/4	3	1/2	1	3/2	1/3	0.057503
CONVEXA/LINEAR	2/5	1/4	1/6	1/3	2	1/3	2/3	1	1/4	0.039779
CÔNCAVA/LINEAR	2/3	1/2	1/2	2	4	2	3	4	1	0.129972
	AVMáx.=9.587	I.C=0.073	R.C=0.050							

Determinação dos pesos relativos das Unidades de terreno

Segundo Rodrigues (2003), a determinação dos pesos relativos normalizados finais de cada unidade do terreno é obtido através das relações entre os atributos, os componentes e as classes, e as operações matemáticas destas relações (adição, multiplicação, etc). Com isso é possível obter-se os Índices Finais de Instabilidade das Encostas (IFIE), e através da análise da média e do desvio padrão dos índices de cada unidade do terreno obtem-se as classes Potenciais de predisposição (figura 2.25), que foram: para alto grau 23, para médio grau entre 23 e 15 e para baixo grau inferiores a 15. Sendo possível realizar um zoneamento das áreas potencialmente susceptíveis a movimentos de massa gravitacionais (figura 2.26).

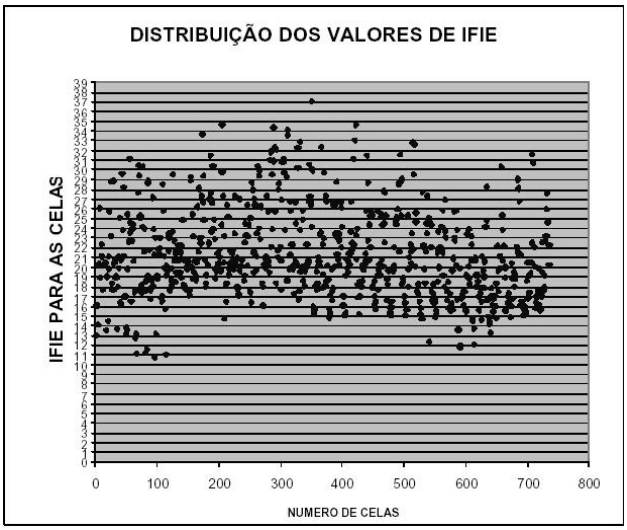
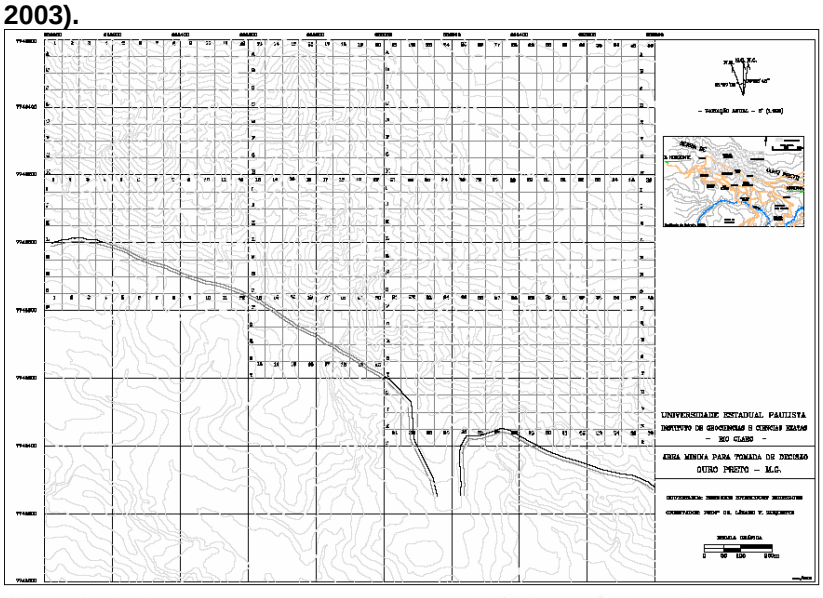


Figura 2.25. Gráfico mostra os indices finais de Instabilidades da encosta (Rodrigues 2003).



(a)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
A	B	M	M	B	B	M	B	M	M	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
B	M	B	M	B	B	B	B	B	M	M	M	M	M	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
C	M	M	B	B	B	B	M	M	M	M	M	M	M	A	M	A	M	M	M	A	M	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
D	B	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	A	M	M	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
E	M	M	M	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
F	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	B	M	M	M	M	M	M	M	B	M
G	A	A	A	A	A	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	B	M	M	M	M	M	M	M
H	M	A	M	A	A	M	M	A	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
I	M	A	M	A	A	M	A	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	B	M	M	M	B	B	B	M	M
J	M	A	M	M	M	M	M	M	M	A	A	A	M	M	M	A	M	A	M	M	M	A	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M
K	M	M	A	M	M	M	M	M	M	A	M	A	M	M	A	A	A	A	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M
L	M	M	A	A	A	M	M	M	M	M	A	A	A	M	A	A	A	A	A	M	A	M	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M
M	M	A	M	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	M	A	M	A	A	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M
N	M	M	A	M	M	A	A	A	M	M	A	A	A	A	A	A	A	A	M	A	A	A	A	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
O	M	M	M	M	A	M	M	M	M	A	A	A	A	M	A	M	A	A	A	A	M	A	A	A	A	A	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M
P	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	A	A	M	M	A	A	A	A	A	A	M	M	M	A	M	A	M	A	A	A	M	A	M	M	M	M
Q													A	M	A	A	A	M	M	A	M	M	A	M	A	A	A	A	A	M	A	A	M	M	M	M
R													B	M	M	M	A	A	M	A	A	A	M	A	M	A	A	A	A	M	M	A	M	A	M	A
S													M	M	M	M	A	A	A	A	M	M	M	M	A	A	A	A	M	M	B	M	A	M	M	A
T													M	M	M	M	A	A	A	A	M	M	A	A	M	M	A	M	B	B	B	M	M	A	A
U																					A	A	A	M	A	A	A	B	M	B	B	B	A	A	A	A
V																					M	M	A	A	A	A	M	A	A	B	B	B	M	A	A	A
X																					A	A	M	A	A	A	A	A	A	M	M	B	M	A	M	M
Z																					M	A	A	A	M	A	A	M	A	B	M	B	M	M	M	M

No DE CELAS	CLASSES	PERCEN-TUAL
217	ALTA(A)	29,48
479	MÉDIA(M)	65,08
40	BAIXA(B)	5,43

(b)

Figura 2.26. (a)Divisão da área de trabalho e (b)distribuição das classes de favorabilidade aos movimentos de massa gravitacionais, Rodrigues (2003).

- ***Exemplo Esmali & Ahmad (2003)***

Um outro exemplo que pode ser cito é o trabalho de Esmali & Ahmad (2003) também utilizando a técnica de Análise Hierárquica, no Iran, onde foi considerado os seguintes fatores: litologia, declividade, uso da terra, formas lineares, precipitação, formas da encosta e altitude. Com os quais gerou uma matriz de comparação (tab. 2.22) e obteve os pesos relativos de cada fator. A partir da freqüência dos pixels elaborou-se gerou uma curva acumulativa de pixel x valor dos pesos relativos de cada unidade (figura 2.27). Com esta curva foram definidas as classes de suscetibilidades (tab. 2.23) e elaborado o mapa de susceptibilidade (figura 2.28).

Tabela 2.32. Matriz de comparação dos fatores (ESMALI & AHMAD, 2003).

	Lit.	Decl.	Uso	F. Lin	Prec.	F. Enc.	Alt.
Litologia	1	3	5	5	7	8	9
Declividade	1/3	1	3	3	4	5	6
Uso da Terra	1/5	1/3	1	1	3	4	5
Formas Lineares	1/5	1/3	1	1	3	4	5
Precipitação	1/7	¼	1/3	1/3	1	2	3
Formas da encosta	1/8	1/5	¼	¼	½	1	2
Altitude	1/9	1/6	1/5	1/5	1/3	½	1
Somatório	2,112	5,283	10,783	10,783	18,883	24,5	31

Figura 2.27. Curva acumulativa de freqüências de pixels x M (valores de índices relativos finais) por Esmali & Ahmad (2003).

Tabela 2.23. Classes de susceptibilidades(ESMALI & AHMAD, 2003).

Classes	Parâmetros (M)	Nomenclatura
1	0 a 30	Muito Baixo
2	30 a 45	Baixo
3	45 a 62	Moderado
4	62 a 89	Alto
5	89 a 100	Muito Alto

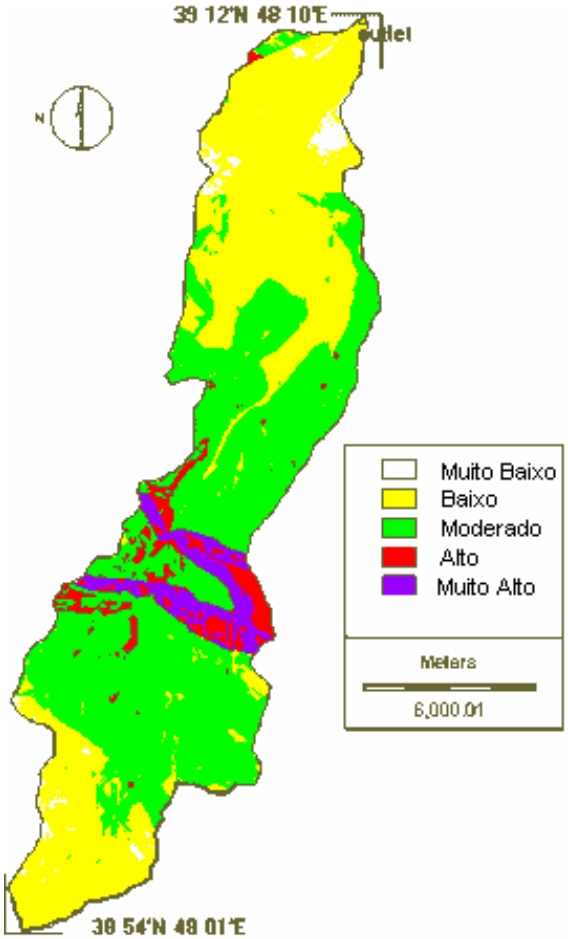


Figura 2.28. Mapa de zoneamento de suscetibilidade a movimentos de massa gravitacionais (ESMALI & AHMAD, 2003).

2.4.3.2 MÉTODOS HEURÍSTICOS

Baseados na avaliação a priori dos fatores que produzem a instabilidade na área de investigação, os mesmos são ordenados e ponderados segundo sua importância assumida ou esperada na geração do deslizamento, através de pesos. São conhecidos também como métodos indiretos, os resultados dos

quais pode se extrapolar a zonas de deslizamentos através da combinação de fatores similares. Um procedimento deste tipo é a análise qualitativa baseado na combinação de mapas de fatores. Cada um destes mapas de fatores forma um mapa que combinará com os demais para formar o mapa de Zoneamento Final de Instabilidade. O inconveniente deste método é na ponderação exata dos fatores. Abaixo serão dados dois exemplos deste método.

- ***Exemplo Augusto Filho (2005)***

Augusto Filho (2005) em seus estudos na rodovia Anchieta-Imigrantes(SP), utiliza um método heurístico semelhante ao recomendado pelo DRD (1991), onde obtém os pesos (tab. 2.24) através de comparações com o mapa de inventário. E para definição das classes foi usada à técnica de "Natural Breaks" onde este método identifica "breakpoints", ou seja, baseia-se na minimização da variância dentro de cada classe, usando a método estatístico de Jenk (otimização de Jenk). Que é realizado por uma rotina de programação do software "ArcView 3.2a" , e foram definidas quatro classes, para o mapa de susceptibilidade (fig. 2.29).

Tabela 2.24. Pesos e classes. (AUGUSTO FILHO, 2005).

Declividade	%TA	%SA	%SAA	Peso	
(°)	(%)	(%)	(%)	I	F
0-10	11.4	1.8	2.3	1.0	13
11-20	20.3	6.1	4.3	1.8	24
21-30	28.1	25.1	12.8	5.5	71
31-40	24.8	36.4	21.0	9.1	118
41-50	12.7	24.4	27.5	11.9	154
51-60	2.6	5.9	32.7	14.2	183
61-70	0.1	0.2	28.4	12.3	nc

* %TA and %SA = Percentagem total e área escorregada
%SAA = Percentagem de área escorregada ajustada
I and F = Pesos individuais e finais
nc = Não considerado

Susceptibilidade Classes	Area (hectares)	% of Total Area (%)
Baixo	142.0	6.1
Médio	441.7	18.9
Alta	1220.9	52.4
Muito Alta	296.4	12.7
Movimento de tálus	230.7	9.9

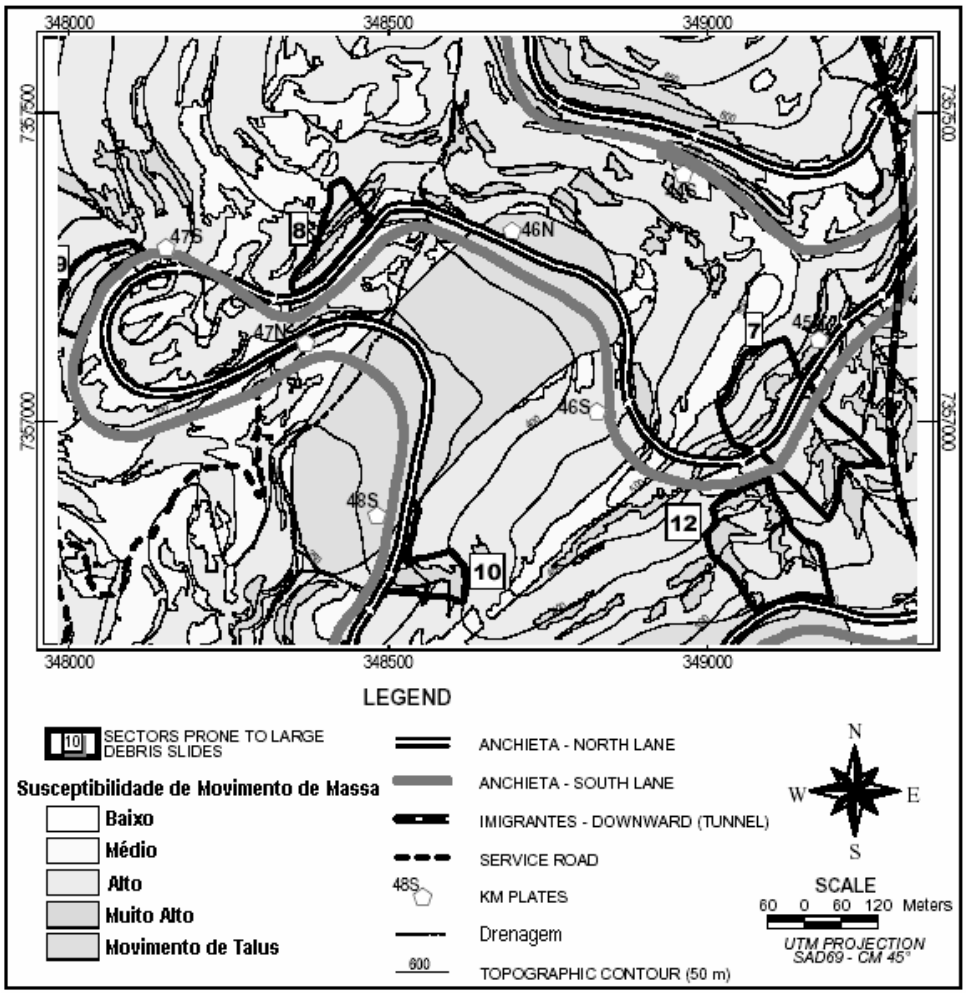


Figura 2.29. Mapa de susceptibilidade a Movimentos de Massa. (AUGUSTO FILHO, 2005)

- ***Exemplo Pejon (1992)***

Ainda dentro do enfoque Heurístico cita-se o trabalho de Pejon (1992) que estudou processos erosivos e levantou as potencialidades relativas de escoamento superficial utilizando o tratamento para zoneamento através da atribuição de pesos, a sistemática abordada será descrita a seguir.

Para elaboração desta carta, segundo método de Cook, deve-se atribuir pesos aos atributos considerados, tanto maiores quanto maior for a sua influencia no processo de escoamento.

A tabela 2.25 apresenta o resultado da graduação dos atributos para a área de estudo. Com base no método de Cook e nas características da área, propõe-se a seguir seqüências para a elaboração da referida tabela:

1. A analisar a variação de cada atributo na área;
2. Para cada atributo, de acordo com sua variação, estabelecer classes que tenham comportamento semelhante, quanto ao escoamento superficial.
3. Considerando ainda comportamento semelhante, quanto ao escoamento superficial;
4. Analisar o conjunto obtido pela associação das classes de menor potencial ao escoamento de cada atributo. Em seguida atribuir uma pontuação a cada uma dessas classes, tanto maior, quanto maior a importância de cada uma dessas classes, tanto maior, quanto maior a importância de cada atributo, em relação aos demais, nesta situação de mínimo potencial ao escoamento;
5. Verificar qual o atributo que apresenta o maior número de classes de escoamento definida no item 4, estabelecer o número de pontos das demais classes deste atributo. Deve-se conceder maior número de

pontos de acordo com o aumento da influencia no processo de escoamento com a variação do atributo considerado. Por exemplo, as classes de declividade elevada devem receber pontuação maior do que as de baixa declividade.

6. Analisar o conjunto que define a condição de maior potencial ao escoamento superficial na região, representado pela associação de todas as classes de maior potencial estabelecidas no item 3, para cada atributo. A partir do número de pontos da classe de maior potencial ao escoamento do atributo analisado no item 5, atribuir os pontos as classes dos demais atributos, de maneira a refletir a importância de cada um, nesta situação de alto potencial ao escoamento superficial.
7. Estabelecida a pontuação mínima e máxima para cada atributo, proceder à atribuição de pontos para as classes intermediárias, considerando novamente a influencia que a variação do atributo ocasiona no processo de escoamento superficial.

A soma dos pesos das classes de menor potencial ao escoamento superficial de cada atributo, resulta em um total de 70 pontos e para a condição de máximo potencial 272 pontos. Portanto, ocorre uma variação dos atributos de 202 pontos ente as duas situações, indicando uma grande variabilidade dos atributos considerados. Para a elaboração da carta de potencial de escoamento superficial estabeleceu-se a divisão da área em 10 classes de escoamento superficial, com intervalos constantes e iguais a 20 pontos, com exceção da ultima classe que tem um intervalo de 22 pontos (tab. 2.25).

A carta do potencial ao escoamento superficial apresenta uma divisão da região em zonas de escoamento superficial relativas, ou seja, a pontuação de

cada zona indica seu potencial a escoamento superficial em relação às demais. A elaboração desta carta pressupõe a sobreposição de todos os atributos considerados para a definição das zonas a serem classificas quanto ao escoamento superficial.

Este sistema de atribuição de pesos, embora subjetivo e dependente da experiência do mapeador, apresenta resultados muito positivos, uma vez que não define porcentagens de escoamento, mas sim permite uma divisão da área em regiões com maior ou menor potencial ao escoamento superficial.

Tabela 2.25. Pontuação dos atributos do meio físico utilizados para elaboração da carta de potencial de escoamento superficial (modificado de Pejon, 1992). .

Classes de escoamento		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Total e pontos das classes		272-250	249-230	229-210	209-190	189-170	169-150	149-130	129-110	109-90	89-70
Atributos											
Classes de declividade		C4 (90)	C3 (75)	C2 (66)	C1 (60)	B2 (45)	B1 (36)		A2 (24)	A1 (15)	
Litologia		Arg./ Silt./ Folh Form. Irati e Piramboia e Corumbataí (40)		Argi./Silt Formação Itararé. Magmatitos básico Form. Serra Geral (30)		Aren./ Silt. Arenosos /Diam. Form. Itararé e Tatuí (20)			Aren Form. Itaguerí e Itararé (16)	Aren. Form Botucatu (10)	
Material Inconsolidado	Textura Gênese	Silt-Arg. Residual (40)		Argilo-silt Residual (30)		Arg. Poroso Retrab. (20)		Arenoso Res. e Retrab. (14)		Arenos Res. e Retr (10)	
	Espessura (m)	Menor que 0,50 (30)		0,5 a 3,0 (20)		3,0 a 5,0 (16)			maior 5,0 (10)		
	Permeabilidade (m/s)	Menor que 10-7 (12)		10-7 (8)		10-6 (7)		10-5 (6)	Maior que 10-4 (5)		
Densidade de drenagem		Mais que 5 (30)				5 a 2 (20)				menos que 2 (10)	
Feições favoráveis ao armazenamento superficial		Não Apresenta (30)		Lagoas, pequenas depressões (pequena quantidade) (20)					Lagoas, pequenas depressões (grandes quantidade) (10)		

(20) – número de pontos das classes de cada atributo.

2.4.3.3 **MÉTODOS DETERMINÍSTICOS** (Fator de segurança)

Método muito utilizado para determinar a estabilidade de taludes artificiais e de aterros. Fundamentam-se em modelos baseados no equilíbrio-limite, talude infinito ou em modelos numéricos tendo uma base física o que dá uma grande vantagem em relação a outros métodos. O método mais usual se aplica a escorregamentos translacionais que é o talude infinito. Esta técnica não é aplicável a escalas pequenas pois ela necessita de uma quantidade de informação muito grande.

O método do talude infinito (fig. 2.30) foi desenvolvido por Skempton & Delory, 1957. Neste método, o fator de segurança (Fs), definido pela relação entre as forças de resistência ao cisalhamento e as de tensão cisalhante, ambas atuantes no plano de ruptura, é definido por:

$$Fs = \frac{c' + \left(\rho z \cos^2 \beta - u\right) tg\phi'}{\rho z sen\beta \cos\beta}$$

Onde: c'= coesão efetiva

ρ= peso especifico do solo

u= poro-pressão

Φ'= ângulo de atrito interno

z= espessura do solo

β=ângulo da encosta

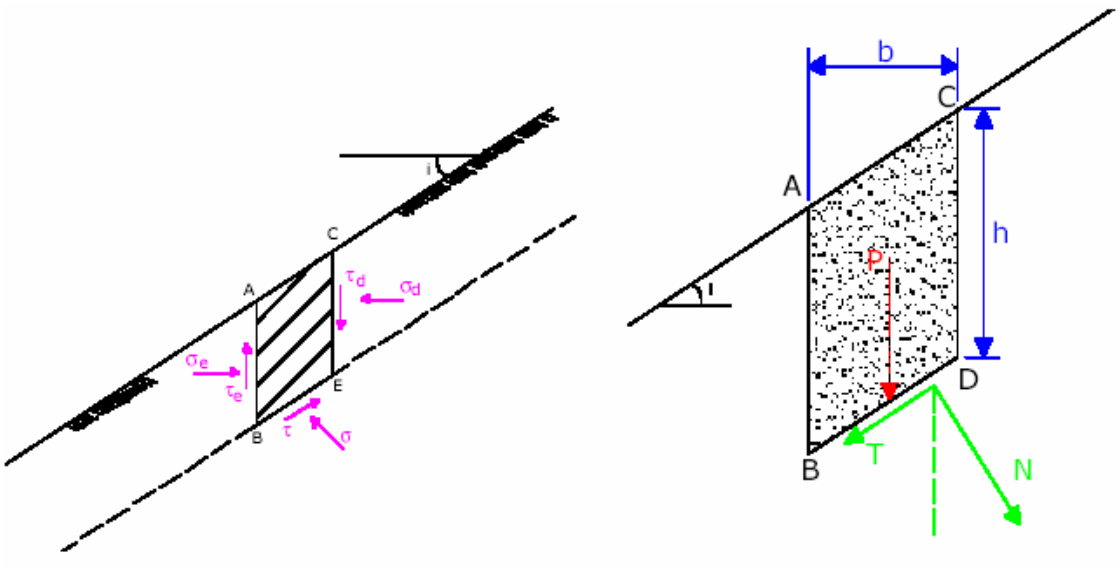


Figura 2.30. Condições consideradas em talude Infinito.

E esta equação foi aprimorada por Wu & Abdel-Latif (2000) para situações de escorregamentos planares com taludes de 30 metros de altura. E eles obtiveram um mapa com 5 classes de fator de segurança (fig. 2.31).

$$FS = \frac{c_r + c' + [\gamma(Z - h_w) + (\gamma_s - \gamma_w)h_w]\cos^2\beta \tan\phi'}{[\gamma(Z - h_w) + \gamma_s h_w]\sin\beta \cos\beta}$$

Onde Cr: coesão para áreas vegetadas; C': coesão efetiva para não saturados; γ_S: peso específico para saturado; γ_W: peso específico da água; β: declividade; Φ'= ângulo de atrito efetivo; h_W: altura da lâmina de água; Z: profundidade da superfície.

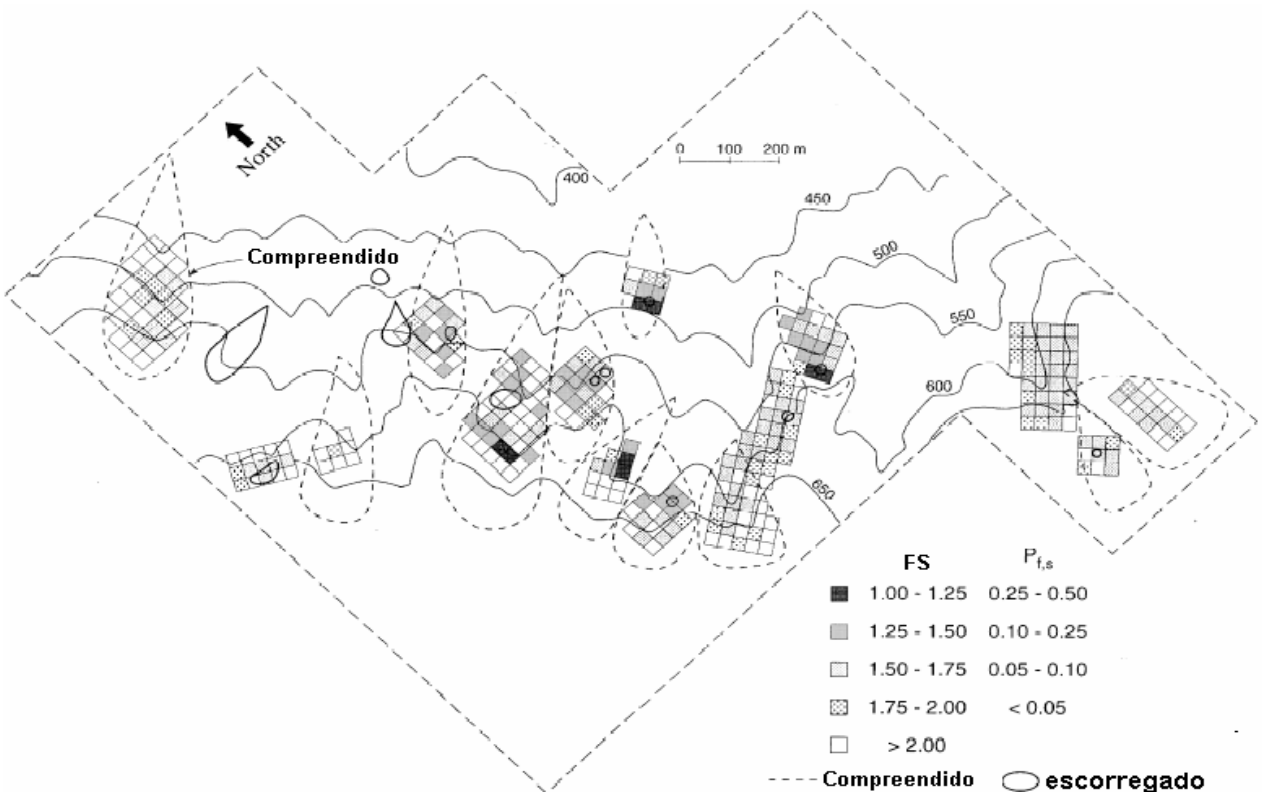


Figura. 2.31. Mapa de fator de segurança da área (WU & ABDEL-LATIF, 2000).

2.4.3.4 MÉTODOS ESTATÍTICOS

Baseiam-se nas relações observadas de cada fator e a distribuição de movimentos de massa gravitacionais atuais e antigos. São utilizados quando se tem abundante informação tanto qualitativa quanto quantitativa, aplicando-se os modelos estatísticos que podem ser bivariados ou multivariados. A principal vantagem deste método é a objetividade do método. A potencialidade deste método depende diretamente da qualidade e quantidade dos dados adquiridos.

Os métodos estatísticos bivariados se dividem em dois grupos, os que utilizam análise condicionada e os que não utilizam. A análise condicionada trata de avaliar a relação probabilística entre os diversos fatores relevantes para as

condições de instabilidade quanto à ocorrência de movimentos de massa se baseiam na sobreposição do mapa de um ou mais fatores com o mapa de distribuição de movimentos de massa gravitacionais para obter a probabilidade condiciona a presença ou ausência de movimentos de massa.

- ***Exemplo Clerici et. al. (2002)***

E seguindo a linha de Unidade Condicional Única do terreno, Clerici *et. al*. (2002) aplicam esta sistemática na bacia do Rio Parma, com auxilio de um *sofware* computacional (GRASS – Geografic Research Analysis Support System), para testa a validade desta sistemática de divisão do terreno em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). A figura 2.32 é um exemplo de como o programa calcula a densidade de movimentos de massa.

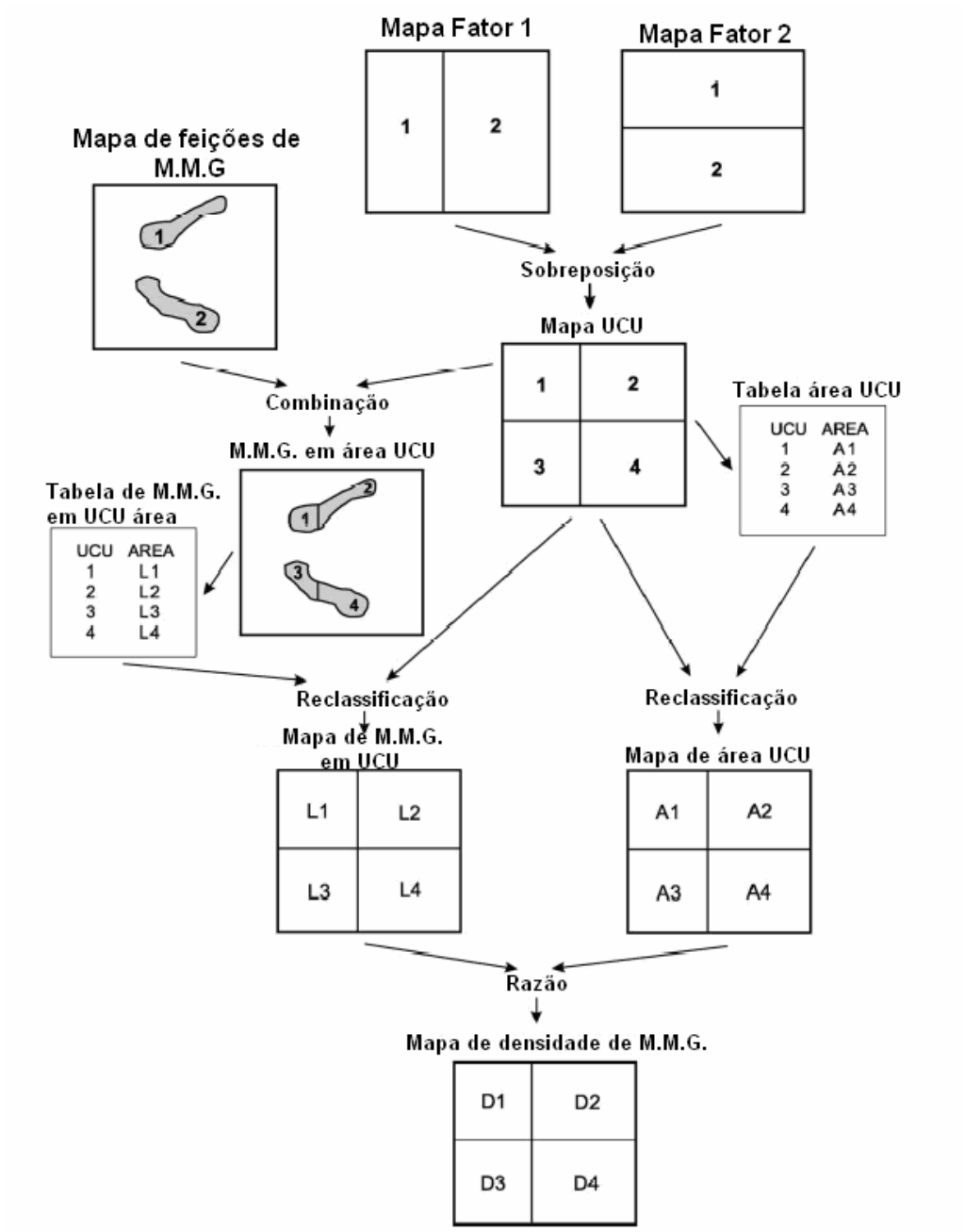


Figura 2.32. Procedimento usado no programa GRASS para calculo da densidade de movimento de massa gravitacional (Clerici *et. al*. 2002).

A partir desta seqüência foi calculado as densidades de movimentos de massa e definidos cinco classes de susceptibilidade (tab. 2.25) para o mapa de susceptibilidade (fig. 2.33).

Tabela 2.26. limites de classes (Clerici *et. al*. 2002).

Classes nº	Classes	Valores	Extensão km²	Extensão %
1	Muito Baixo	0–13%	60.730	18.29
2	Baixo	14–27%	32.589	9.81
3	Médio	28–41%	54.117	16.30
4	Alto	42–55%	47.641	14.35
5	Muito Alto	>55%	17.709	5.33
	Áreas indefinidas		113.922	34.31
	de M.M.G.		5.329	1.60
		TOTAL	332.036	100.00

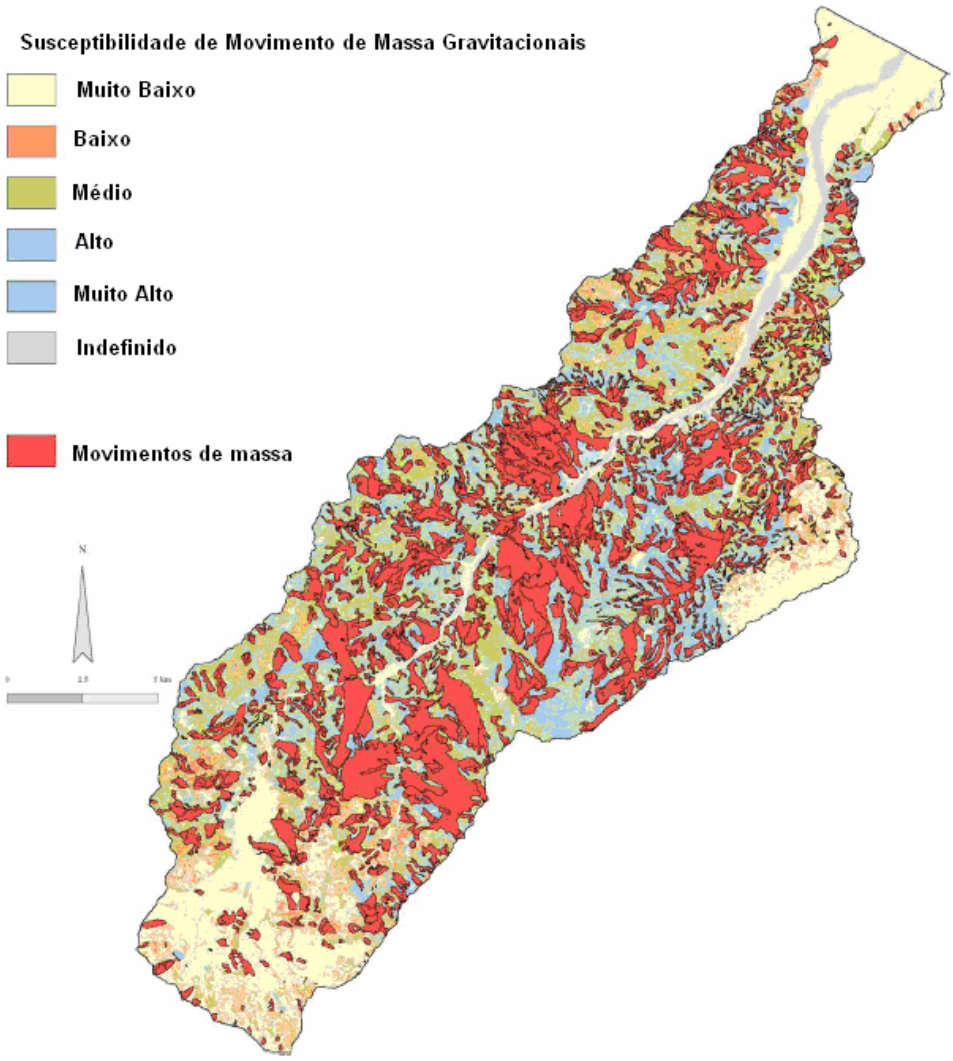


Figura 2.33. Mapa de susceptibilidade a movimento de massa gravitacional (Clerici *et. al*., 2002).

- ***Exemplo DRD (1991)***

Ainda do ponto de vista das análises estatísticas bivariadas condicionais, o Departamento de desenvolvimento Regional da Secretaria Executiva Ambiental dos Estados Unidos da América em sua publicação em 1991 (DRD, 1991) divide a técnica de preparação do mapa de zoneamento de *Hazard* em quatro etapas:

- A primeira etapa consiste em traçar os movimentos de massa gravitacionais existentes e preparam um mapa que combina os fatores permanentes (substrato rochoso, declividade, e, quando disponível, os fatores hidrológicos) em unidades individuais no mapa (fig. 2.34);

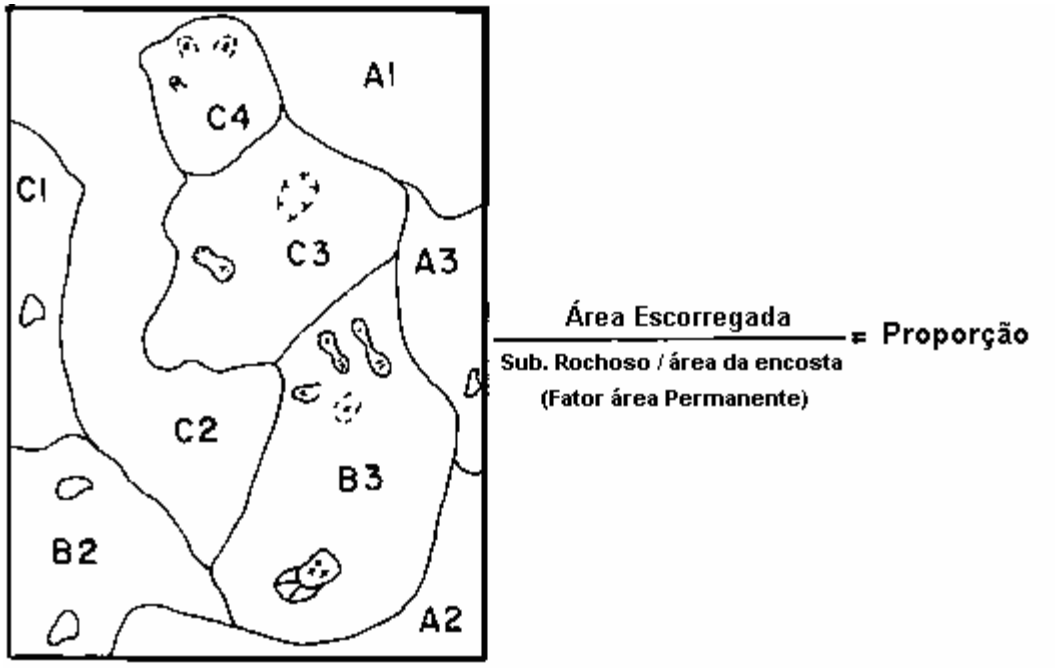


Figura 2.34. Mapa da área de estudo, onde: uma representação de como a proporção de substrato rochoso combinado com a declividade e antigas atividades de escorregamento encontradas. Note que a combinação B3 obviamente tem mais movimentos que a combinação C4, e a devido ao tamanho da área ela irá gerar uma proporção maior que B3 (DRD,1991).

- A segunda etapa consiste em sobrepor o inventário dos movimentos de massa gravitacionais no mapa combinado dos fatores (fig. 2.35);

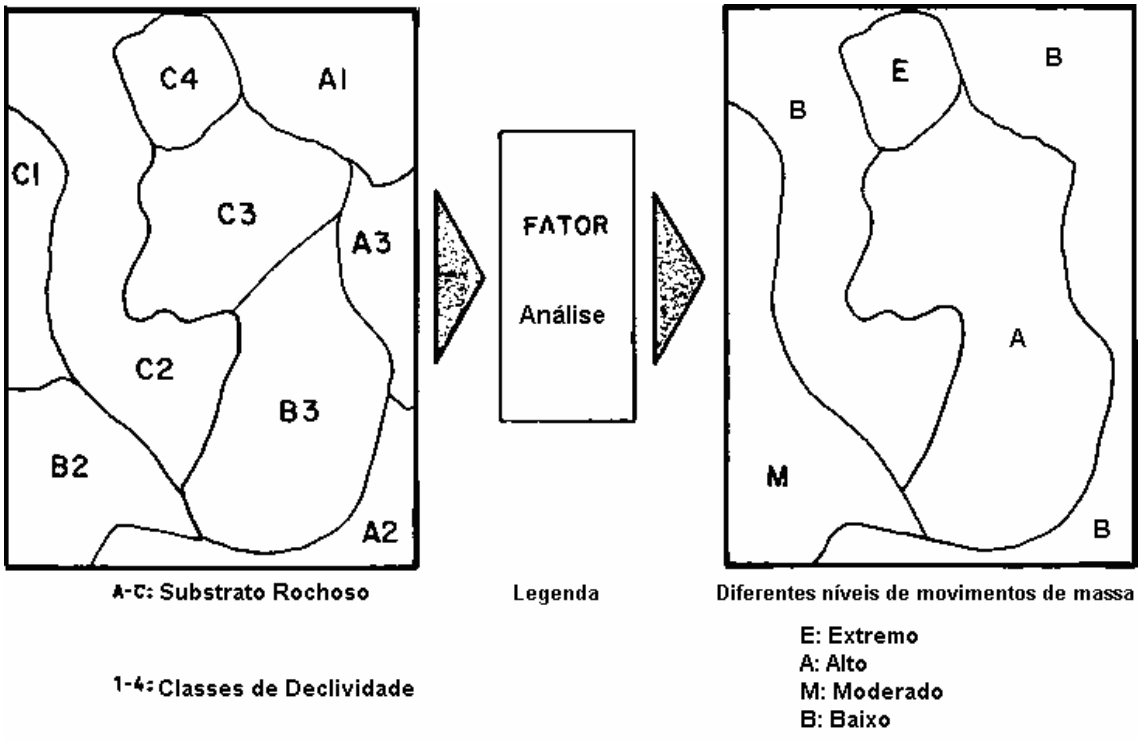


Figura 2.35. Zonas de níveis de movimento de massa gravitacional(DRD, 1991).

- A terceira etapa consiste em preparam uma análise de fator para todas as combinações dos fatores e agrupação de uma maneira que defina os quatro níveis de potencial de movimento de massa gravitacional (tab. 2.27);

Tabela 2.27. Fatores permanentes Combinados(DRD, 1991).

	Classe de Declividade				
Sub. Rochoso	**0<12% (1)**	**12<25% (2)**	**25<50% (3)**	**>50X (4)**	**AREA TOTAL (HA)**
A	-	52	78	-	130 área escorregada
	1570	722	512	237	3041 área combinada [a/]
B	-	301	784	-	1085 área escorregada
	-	1776	2327	-	4103 área Combinada [a/]
C	78		351	180	609 área escorregada
	673	2450	1790	793	5706 área Combinada [a/]

[a/] Área Combinada = Área Fator Permanente Combinado.

- A quarta etapa consiste em elaborar um mapa com quatro zonas de potencial de movimento de massa gravitacional das combinações agrupadas,

com valores determinados pela função W (fig. 2.36), e obtendo uma variação de 0,1 a 1,0,

$$W = \sum_{i=1}^{i=3} \sum_{j=1}^{j=n_i} \left(X_{i,j} - X_i\right)^2 = W_1 + W_2 + W_3$$

Onde:
X_{ij} = j observações em i grupos
n_i = números de observações no grupo i

Figura 2.36. Função W para definir os quatro níveis de classes de zoneamento.

- Métodos multivariados

Os métodos multivariados estudam a interação e a dependência de um conjunto de fatores que atuam simultaneamente na ocorrência do movimento de massa gravitacional para estabelecer a implicação que tem cada um deles. Trata-se de uma aproximação mais objetiva que outras técnicas, situando-se como um dos melhores métodos para predição espacial de movimento de massa. As técnicas mais utilizadas são as regressões múltiplas e as análises discriminadas (Carrara (1983), Baeza & Coromidas (2001), Ayalew *et. al* (2005), Santacana *et. al* (2003), Van Den Eeckhaut (2006). O resultado em ambos os processos são funções baseadas em combinações lineares dos fatores de maior significância estatística para definir as condições de instabilidade, estando baseado na presença ou ausência de movimentos de massa gravitacionais.

A análise discriminante permite separar várias populações de uma mesma amostra caracterizadas pelas mesmas variáveis

- ***Exemplo Van Den Eeckhaut et. Al. (2006)***

Van Den Eeckhaut et. al. (2006) em estudo sobre movimento de massa gravitacional utiliza a regressão lógica para avaliar a susceptibilidade de tal eventos, na região de Flemish Ardennes (Bélgica). A metodologia é baseada na hipótese de que os fatores causais de eventos passados irão influenciar movimentos futuros. As informações obtidas para o mapa de inventário derivaram de levantamento de campo, imagem de satélite de alta resolução e do mapa de sombreamento (*hillshade*). Os fatores levantados por ele foram declividade, litologia, relevo e drenagem. O mapa de susceptibilidade a movimento de massa gravitacional foi baseado nas variáveis das bases digitais, com valores variando de 0 a 1, sendo 1 a probabilidade de uma célula localizada dentro da zona de depressão do movimento de massa gravitacional (fig. 2.37). Entretanto, dado o fato que a presença de um movimento é um evento raro, a probabilidade será geralmente muito baixa e o mapa de susceptibilidade será muito difícil de se interpretar para pessoa não familiarizada com a teoria desta metodologia. As classes de susceptibilidade foram quatro (tab. 2.28, fig. 2.38).

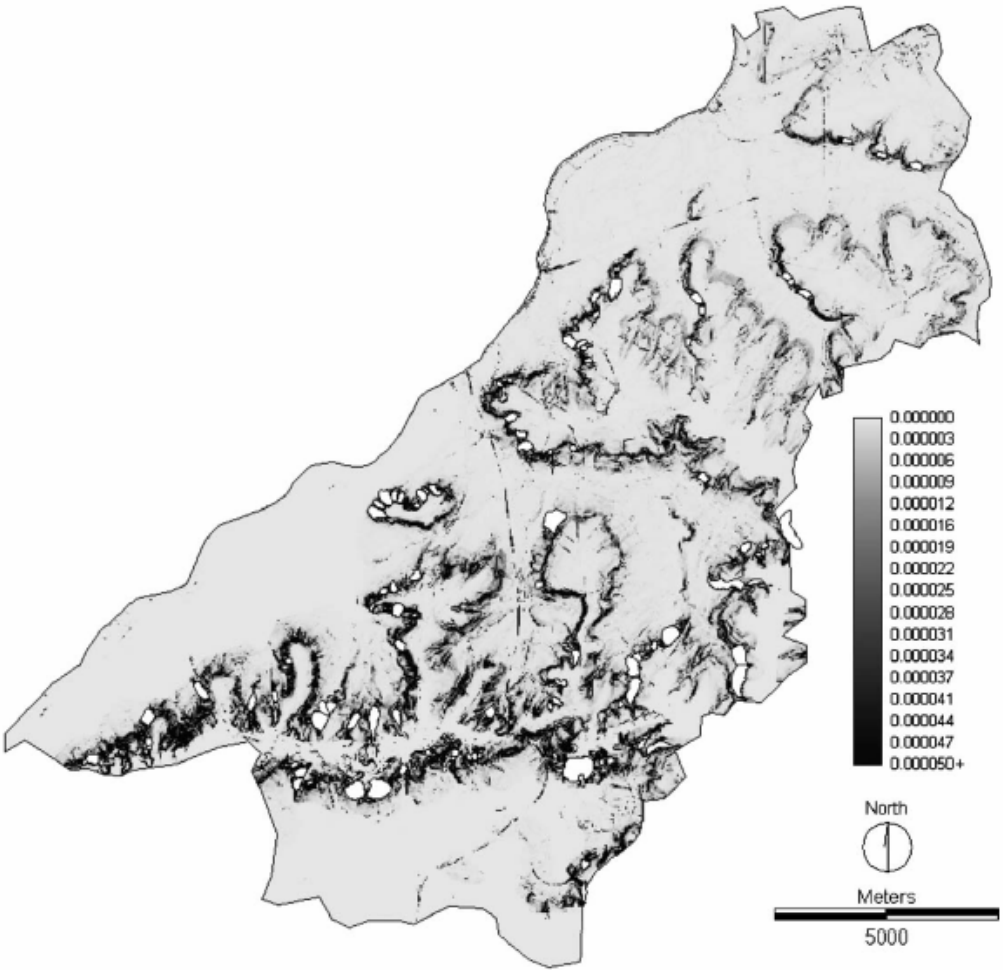


Figura 2.37. Mapa de susceptibilidade de M.M.G. obtido por regressão lógica Van Den Eeckhaut *et. al*. (2006).

Tabela. 2.28. Classes de susceptibilidade Van Den Eeckhaut *et. al*. (2006).

Classe	Valor
Baixo	0–0,00001
Moderado	0,00001–0,00005
Alto	0,00005–0,0012
Muito alto	0,0012–1

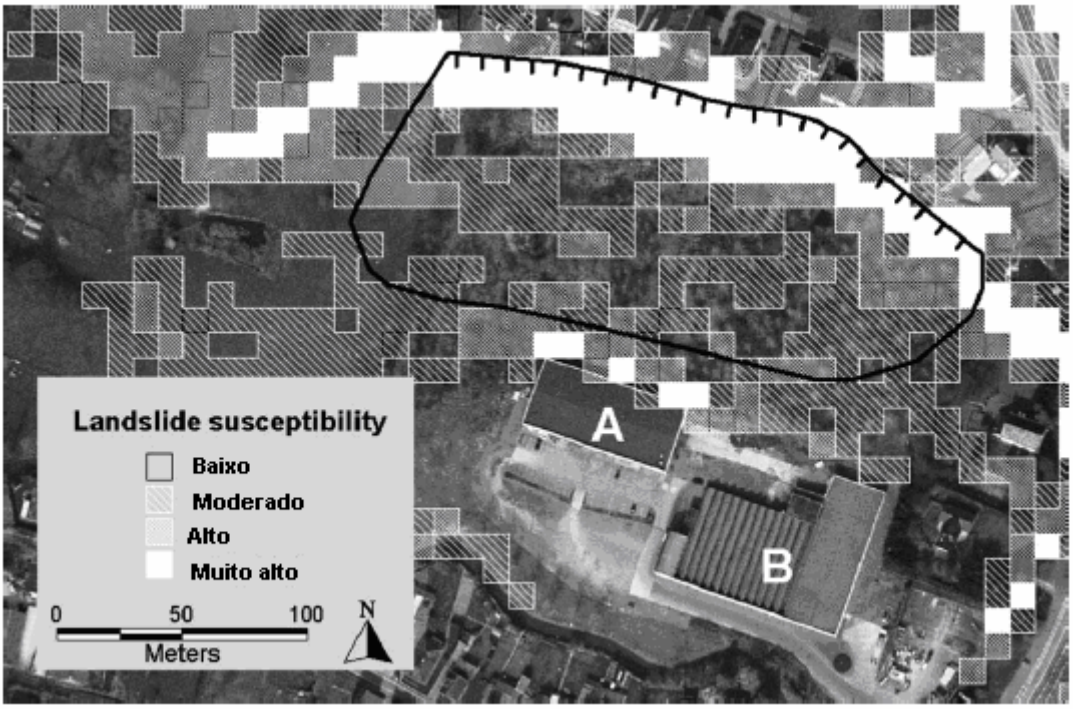


Figura 2.38. Ortotofografia com classes de susceptibilidade (VAN DEN EECKHAUT *et. al*.,2006).

2.5 TRABALHOES REALIZADOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

O CPRM em parcerias com a PUC-RJ e a EMOP (Empresa de Obras Publicas do Estado do Rio de Janeiro), realizou o Inventário de Escorregamento do Estado do Rio de Janeiro (SILVA *et. al*., 2000). Como resultado obteve-se uma base de dados chamado **MovMassa,** que continha 1.087 laudos técnicos, dos quais 706 são referentes a ocorrências no município do Rio de Janeiro, cedidos pelo Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, e 381 distribuídos pelo interior do estado e cedidos pela EMOP. Os dados disponíveis abrangem desde ocorrências do ano de 1938 até eventos de 1999, para a Cidade do Rio de Janeiro, e para os demais municípios os registros englobam o período 1975-1999. Segundos os autores, o inventário de escorregamentos foi limitado pelas restrições orçamentárias impostas ao

projeto pelo governo do estado do Rio de Janeiro. O reduzido número de dias de campo, devido à falta de recursos acabou por diminuir muito o número de registros presentes no banco de dados. A distribuição desses escorregamentos no Estado do Rio de Janeiro é apresentada na figura 2.39.

Figura 2.39. Distribuição das ocorrências de movimento de massa no estado do Rio de Janeiro (SILVA *et. al*., 2000).

A grande maioria dos escorregamentos no Estado do Rio de Janeiro, concentrou-se nos meses dezembro a março com aproximadamente 60% do total. Dentre esses, o mês de janeiro destacou-se como o mais expressivo, com quase 35% do total de acidentes no Estado (figura 2.40).

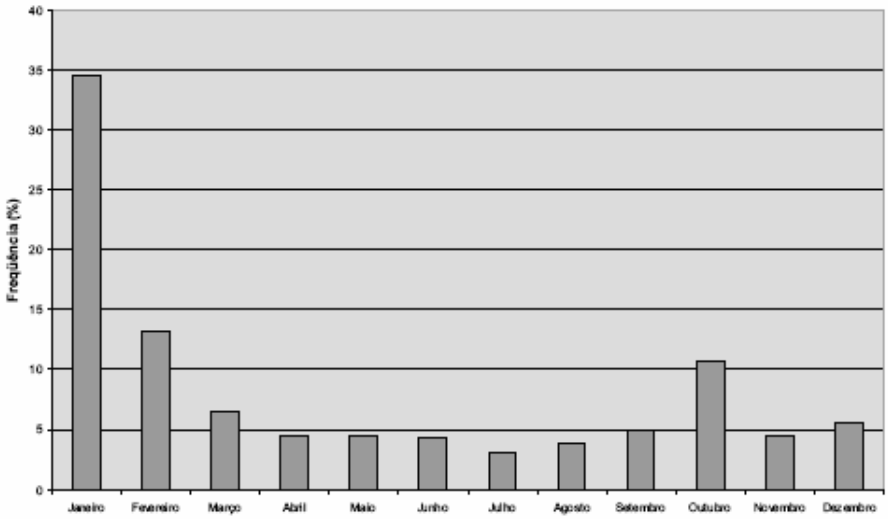


Figura 2.40. Distribuição dos escorregamentos significativos ao longo do ano no Estado do Rio de Janeiro (SILVA *et. al*., 2000).

Até o ano de 1996, conforme constatado por AMARAL (1996), fevereiro apresentava o maior número de escorregamentos significativos. Esta tendência mudou no período 1997-1999, onde ocorreu uma concentração acentuada de acidentes no mês de janeiro. Nos últimos três anos observou-se também um elevado registro de ocorrências em outubro, chegando a alcançar um percentual de 10,7%, contrariando sua tendência histórica (até 1996 apresentava menos que 5% das ocorrências) e superando inclusive alguns meses de verão como dezembro e março. Estes fatos podem ser explicados por eventos de chuvas esporádicos de grande intensidade (>175mm/dia), ocorridos nestes meses de outubro, principalmente no litoral sul do estado.

O gráfico da figura 1.2 mostra a tipologia dos escorregamentos significativos ocorridos no Estado do Rio de Janeiro. No levantamento realizado pelo Inventário não foram constatados, nos três últimos anos, escorregamentos complexos (combinação de dois movimentos), mantendo-se assim a baixa freqüência desse tipo de movimento. Vale ressaltar, no entanto que esse total talvez seja maior do que o reportado nos pareceres técnicos pesquisados, uma vez que sua constatação em campo é bastante complexa; desse modo a cicatriz de um escorregamento é em geral interpretada como resultado de um único movimento. Dentre os escorregamentos simples, o tipo de movimento mais comum é representado pelos deslizamentos, sendo que a absoluta maioria deles são deslizamentos de solo residual.

O gráfico da figura 2.41 apresenta, comparativamente, o volume de massa mobilizada pelos escorregamentos. A seleção de um período histórico reduzido de análise deve-se à ausência deste tipo de informação nos dados primários. Observa-se através desse gráfico que a grande maioria dos

escorregamentos que causaram danos possuem volume inferior a 10 m^3; trata-se de um reflexo do principal tipo de ocupação das encostas do Estado do Rio de Janeiro, as favelas.

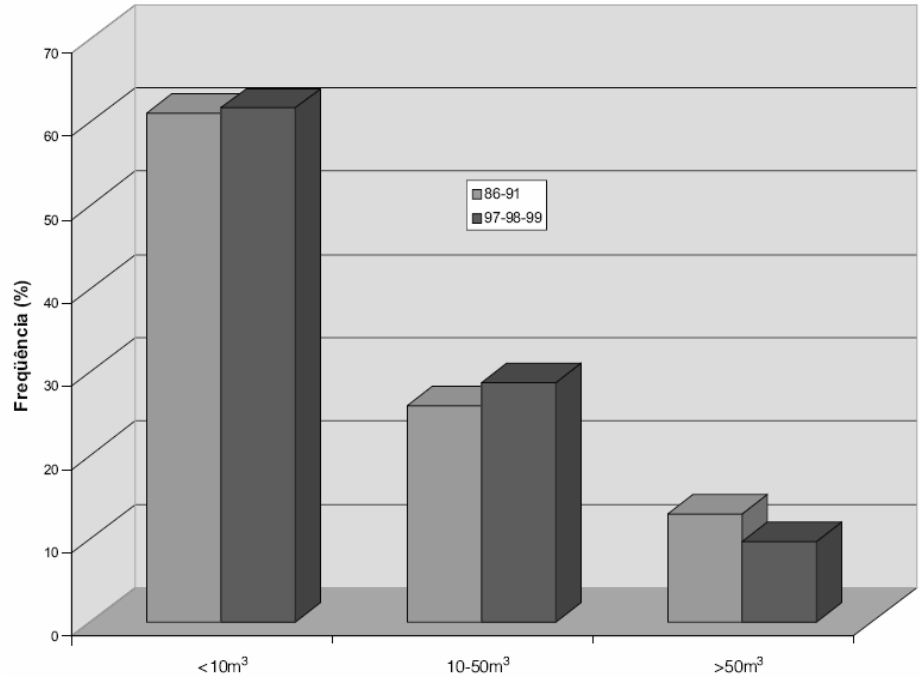


Figura 2.41. Volume de material mobilizado pelos escorregamentos significativos no Estado do Rio de Janeiro (SILVA *et. al*., 2000).

O gráfico da figura 1.1 mostra os prejuízos socioeconômicos provocados pelos escorregamentos. Infelizmente não é possível expressar tais perdas em termos de um valor monetário, pois informações dessa natureza são complexas, uma vez que é necessário levar em consideração, não só os prejuízos diretos, como também os custos indiretos, e, além disso, no Brasil este tipo de levantamento não é freqüente.

Em 1991 Silva Jr., em sua dissertação de mestrado, fez um levantamento dos escorregamentos acontecidos ao longo da rodovia Rio-Santos, totalizando 63 taludes de corte e naturais. Sua área de estudo compreendia desde os municípios de Itaguaí (KM 15 da rodovia Rio-Santos) ate Angra dos Reis (KM 82 da rodovia Rio-Santos). Neste trabalho ele mensurou parâmetros de geometria dos taludes, analisou solos e rochas,

dados pluviométricos, de ocupação humana e analisou a influencia de vários condicionantes da ocorrência de movimentos de massa gravitacionais na área de estudo. Este é um excelente trabalho, pois o autor faz relações de parâmetros chave no estudo de movimentos de massa gravitacionais.

Para realização de um zoneamento geológico-geotécnico visando separar áreas potencialmente predispostas à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais este trabalho foi executado segundo as etapas constantes do fluxograma da figura 3.1.

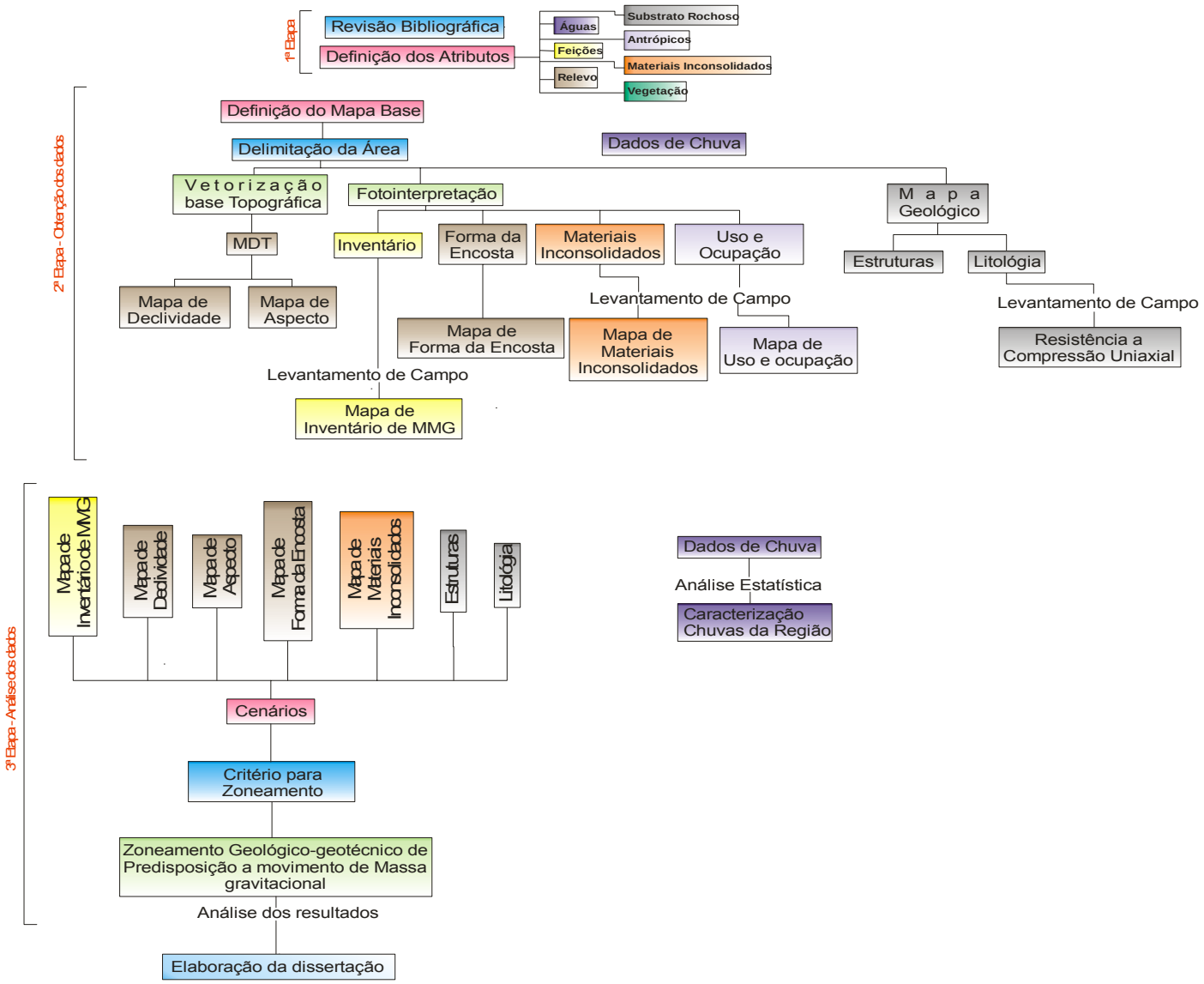


Figura 3.1. Fluxograma das etapas de trabalho.

3.1 ETAPAS DE TRABALHO

Para agilizar a execução do trabalho este foi dividido em três etapas:

A primeira etapa consistiu em identificar todos os atributos importantes a serem considerados em uma análise de eventos de movimentos de massa gravitacionais, para serem mapeados.

A segunda etapa consistiu de na obtenção, geração e armazenamentos de informações importantes para estudos de movimentos de massa gravitacionais.

A terceira etapa consistiu na análise dos resultados.

3.1.1 LEVANTAMENTO DE ATRIBUTOS A SEREM MAPEADOS

Os atributos a serem mapeados foram baseados na listagem de Zuquette (1998). A escolha dos componentes e atributos a serem analisados na influencia direta destes com eventos de movimento de massa. Estes componentes são:

- Feições ou evidências de movimentos de massa gravitacionais;
- Vegetação;
- Substrato Rochoso;
- Relevo;
- Águas;
- Materiais inconsolidados;
- Blocos/matacões e
- Antrópicos.

Cada componente apresenta atributos que tem suas classes de interesse quando se estuda movimentos de massa gravitacionais, que estão apresentadas na tabela 3.1 também quanto à forma de obtenção destas. É importante ressaltar que as classes vão variar de acordo com as características encontradas na área.

Tabela 3.1 (continua). Componentes e atributos analisados (adaptado ZUQUETTE, 1998).

Componente	Atributo	Sistema Classificatório	Forma de obtenção	Código do Atributo
Feições ou evidencias de Movimentos de Massa Gravitacionais	Fissuras em Superfícies	Presença ou ausência	Campo	1
	Canais de drenagem alterados com zonas de acumulo	Presença ou ausência	Campo / Foto	2
	Vegetações naturais com diferentes portes em zonas de vizinhança na encosta	Presença ou ausência	Campo	3
	Depósitos oriundos de movimentos de massa antigos e cicatrizados	Distribuição, espessura, tipo	Campo / Foto	4
	Depósitos oriundos de movimentos de massa recentes	Distribuição e volumes	Campo	5
	Alterações de geometria em um determinado trecho nos canais de drenagem	Presença ou ausência	Campo / Foto	6
	Veios ou camadas finas dispostas de forma escalonada no perfil	Presença ou ausência	Campo	7
	Posição no Landform	Distribuição	Campo / Foto	8
	Comprimento	Valor	Campo / Foto	9
	Largura	Valor	Campo / Foto	10
	Profundidade	Valor	Campo	11
	Posição de parada do material movimentado no relevo	Distribuição	Campo / Foto	12
	Materiais envolvidos	tipologia	Campo / Escritório	13
	Tipo de Superfície de ruptura	tipologia	Campo	14
Vegetação	Capacidade de armazenar água na superfície	Forma/ Dimensão	Campo / Foto	15
Substrato Rochoso	Áreas com rochas aflorantes	distribuição	Campo / Foto	16
	Litologia	litotipo	Campo	17
	Alternância de materiais com diferentes níveis de competência	Número de repetições, dimensões	Campo	18
	Grau de intemperismo	ISRM 1983	Campo / Escritório	19
	Alternância de materiais com diferentes níveis de resistência	Espessura, Número de repetições	Campo / Escritório	20
	Materiais com esmectita	Presença ou ausência	Campo	21
	Paralelismo entre o topo rochoso e a superfície do terreno	Relação entre eles	Campo / Foto	22

Tabela 3.1 (continuação). Componentes e atributos analisados (adaptado ZUQUETTE, 1998).

Componente	Atributo	Sistema Classificatório	Forma de obtenção	Código do Atributo
	Grau de irregularidade do topo rochoso	Ondulado/planar/em degraus	Campo / Foto	23
	Tipo de contato entre os topos rochosos	tipologia	Campo	24
	Tipo de contato entre diferentes materiais rochosos	tipologia	Campo	25
	Tipo de contato entre os topos rochosos e os materiais inconsolidados	tipologia	Campo	26
	Tipo de descontinuidades	Gênese e geometria	Campo	27
	Densidade das descontinuidades	Totais por tipo	Campo / Escritório	28
	Abertura das descontinuidades	ISRM 1983	Campo	29
	Preenchimento das descontinuidades	Espessura e tipo de material	Campo	30
	Descontinuidades geradas por alívio de tensão e ou por ativ. Antrópicas	Distribuição e características geométricas, atividades geradoras	Campo	31
	Persistência das descontinuidades	ISRM 1983	Campo	32
	Conectividade das descontinuidades	Relação entre elas	Campo	33
	Perfil de alteração homogeneizou ou evidenciou as descontinuidades	Contínuo/Descontínuo	Campo	34
	Relação entre direção das encostas e direção das descontinuidades	Ângulo entre eles	Campo / Escritório	35
	Relação entre sentido do mergulho das descontinuidades e da inclinação da encosta	Ângulo entre direções	Campo / Escritório	36
	Relação entre ângulo de mergulho da encosta e ângulo de mergulho das descontinuidades	Ângulo entre direções	Campo / Escritório	37
	Zonas de falhas ou intensamente fraturas	Largura, característica	Campo / Escritório	38
	Camadas litotípicas que tenham comportamento de descontinuidades	Repetição de camadas	Campo	39
Relevo	declividade	Valor	Escritório	40
	Direção, mergulho e sentido do vetor de maior declividade	Valor	Escritório	41
	Perfil vertical e longitudinal do landforms ou encosta	RUHE 1975	Campo / Foto	42
	Formas dos vales	Geometria	Campo / Foto	43
	Escarpas	Presença ou ausência	Campo / Foto	44
	Inversões da direção das inclinações de partes das encostas	Número de Inversões/freqüência	Campo / Foto	45
Águas	Zonas onde o fluxo das águas superficiais esta concentrado	Freqüência/Distribuição	Campo / Foto	46
	Pequenas lagoas nos canais de drenagens	Freqüência/Distribuição	Campo / Foto	47

Tabela 3.1 (conclusão). Componentes e atributos analisados (adaptado ZUQUETTE, 1998).

Componente	Atributo	Sistema Classificatório	Forma de obtenção	Código do Atributo
	Relações do N.A. com depósitos de materiais retrabalhados naturais	Geometria/variação anual	Campo	48
	Surgências alinhadas em determinadas altitudes	Cota/distribuição	Campo	49
	Diferentes níveis de surgências em uma mesma encosta	Diferença de altitude	Campo	50
	Surgências que desaparecem temporariamente	distribuição	Campo	51
	Surgências que desaparecem definitivamente	distribuição	Campo	52
	Fluxo de N.A. direcionado	direção	Campo	53
	Zonas mais favoráveis a variações de pressão neutra	distribuição	Campo / Foto	54
	Variações bruscas do nível da água	Cota/distribuição	Campo	55
Materiais Inconsolidados	Perfil de material inconsolidado	Zuquette & Gandolfi 2004	Campo	56
	Tipo de material	Tipologia	Campo / Escritório	57
	Descrição tipo	Descritivo	Campo	58
	Descontinuidade	Presença ou ausência	Campo	59
	Difração de fluxo de água	Presença ou ausência	Campo	60
	Heterogeneidade do pacote de materiais retrabalhados	Presença ou ausência	Campo	61
Blocos / Matacões	Dimensão e Forma	Descritivo	Campo	62
	Posição dos matacões na topografia e em relação às formas das encostas	distribuição	Campo	63
	Profundidade	Valor	Campo	64
	Tamanho dos matacões	Valor	Campo	65
	Posição em relação aos canais de drenagem	Distribuição	Campo	66
	Posição do centro de massa	Soterrado/ superfície	Campo	67
Antrópicos	Escavações	Dimensão e densidade	Campo / Foto	68
	Posição das escavações na encosta	Distribuição	Campo / Foto	69
	Alterações antrópicas nos canais drenagem das encostas	Distribuição	Campo	70
	Acumulo artificiais de água na encosta	Presença ou Ausência / Distribuição	Campo	71
	Eficiência da compactação dos aterros construídos nas encostas	-	Escritório	72
	Ocupação no topo das encostas com fossas ou outros recursos com a mesma finalidade	Presença ou Ausência / Tipo	Campo	73

3.1.2 OBTENÇÃO E GERAÇÃO DE DADOS

3.1.2.1 Delimitação da área

A área de estudo foi delimitada tomando como base oito cartas topográficas, na escala 1:10.000, de 1976:

- Folha SF23. Z – A – VI – 3 – NE – E
- Folha SF23. Z – A – VI – 3 – NE – F
- Folha SF23. Z – A – VI – 3 – SO – A
- Folha SF23. Z – A – VI – 3 – SO – B
- Folha SF23. Z – A – VI – 3 – SO – C
- Folha SF23. Z – A – VI – 3 – SO – D
- Folha SF23. Z – A – VI – 3 – SE – A
- Folha SF23. Z – A – VI – 3 – SE – B

Área esta compreendida pelo divisor de águas da encosta até o Oceano Atlântico, e limitada longitudinalmente pelo começo da encosta, no município de Itaguaí (RJ) até a bacia do rio da Prata, no município de Muriquí (RJ).

3.1.2.3 Divisão das formas das encostas

Para realização desta divisão foi utilizado a fotointerpretação dos pares estereoscópicos de fotografias aéreas, na escala 1:30.000, de 2005.

Foram classificadas as encostas quanto ao seu perfil vertical e longitudinal, segundo os padrões de Ruhe (apud MITCHELL, 1991) (fig. 3.2).

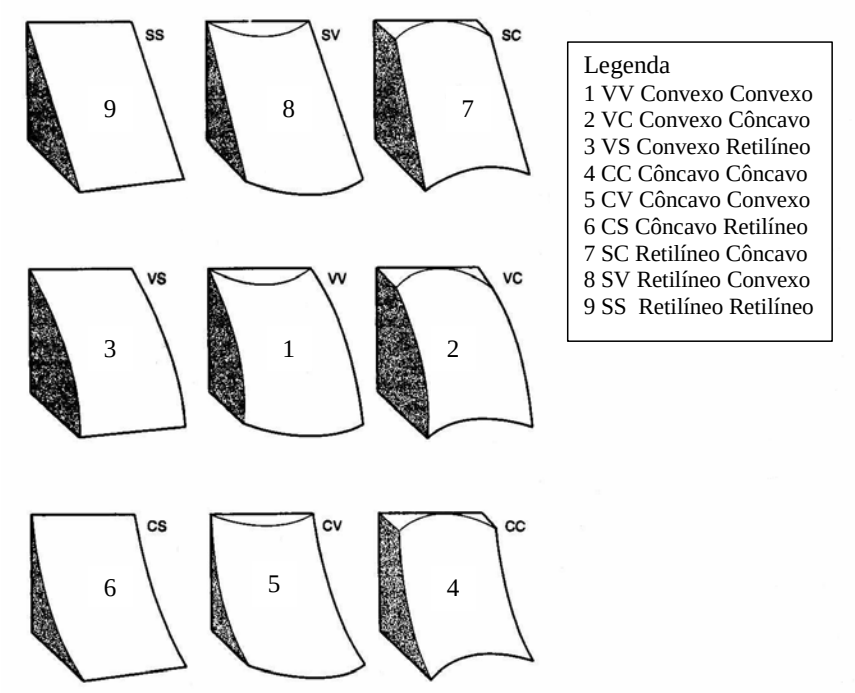


Figura 3.2. Formas das vertentes (S Retilíneo, V convexo, C côncavo), RUHE apud MITCHELL (1991).

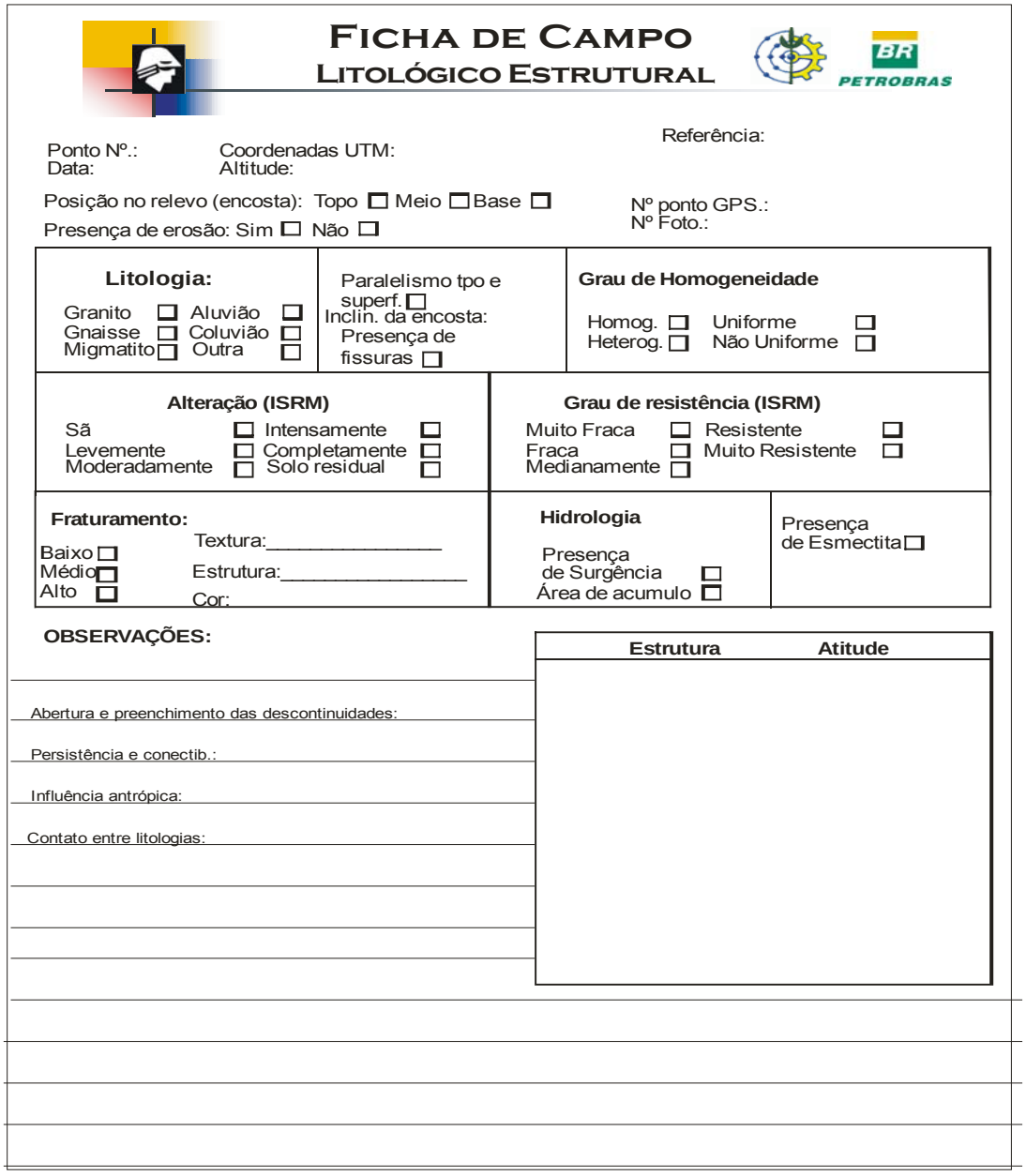
Esta fase tem como objetivo identificar os tipos de *landforms* presentes na área, tendo em mente que os diferentes tipos de *landforms* irão sofrer ação da chuva de maneira diferente, devido à forma de suas encostas que tendem a concentrar ou dispersar o fluxo superficial de água. Na região de estudo, devido a suas elevadas altitudes, um elemento importante ao estudo de movimentos de massa gravitacionais é a forma da encosta, que irá mostrar aspectos de evolução do relevo, relacionados à espessura do material inconsolidado, perfil de alteração, e conseqüentemente a instabilidade da encosta.

Após interpretação, as fotografias aéreas foram ortoretificadas no software ENVI 4.1™, a partir das fotografias scanerizadas.

3.1.2.4 Levantamento Lito-estrutural

Para realização deste levantamento foram analisados trabalhos anteriores executados na área (mapa geológico da folha Itaguaí na escala 1:50.000) e delimitado os contatos das litologias e as estruturas presentes através de fotointerpretação das fotografias áreas na escala 1:30.000. A partir deste foi desenvolvido um levantamento de campo, para confirmar os contatos e estruturas presentes, e considerar os contatos e estruturas encontradas em campo não observados em fotografias aéreas e não citados na bibliografia.

Nos trabalhos de campo foram utilizados equipamentos básicos como: bússola, martelo, GPS, altímetro, maquina fotográfica e etc. Este levantamento foi feito com objetivo de identificar as litologias, levantar as estruturas geológicas (falha, fraturas, dobras) de interesse para o estudo de movimentos de massa gravitacionais, com auxilio de fichas de campo (figura 3.3).



FICHA DE CAMPO
LITOLÓGICO ESTRUTURAL

Ponto Nº.: Coordenadas UTM: Referência:
Data: Altitude:

Posição no relevo (encosta): Topo ☐ Meio ☐ Base ☐ Nº ponto GPS.:
Presença de erosão: Sim ☐ Não ☐ Nº Foto.:

Litologia:	Paralelismo tpo e superf. ☐ Inclin. da encosta: Presença de fissuras ☐	Grau de Homogeneidade
Granito ☐ Aluvião ☐ Gnaisse ☐ Coluvião ☐ Migmatito ☐ Outra ☐		Homog. ☐ Uniforme ☐ Heterog. ☐ Não Uniforme ☐

Alteração (ISRM)	Grau de resistência (ISRM)
Sã ☐ Intensamente ☐ Levemente ☐ Completamente ☐ Moderadamente ☐ Solo residual ☐	Muito Fraca ☐ Resistente ☐ Fraca ☐ Muito Resistente ☐ Medianamente ☐

Fraturamento:	Hidrologia	Presença de Esmectita ☐
Baixo ☐ Médio ☐ Alto ☐ Textura:_____ Estrutura:_____ Cor:	Presença de Surgência ☐ Área de acumulo ☐	

OBSERVAÇÕES:

Abertura e preenchimento das descontinuidades:

Persistência e conectib.:

Influência antrópica:

Contato entre litologias:

Estrutura	Atitude

Figura 3.3. Ficha de levantamento de lito-estrutural, utilizado em campo.

3.1.2.5 Determinação da resistência à compressão uniaxial

Com objetivo de se obter a resistência a compressão uniaxial das litologias, foi utilizado o esclerômetro de Schmitd, também conhecido como martelo de Schmitd, em campo. Aliado aos ensaios de índices físicos de rochas (MB-28 ABNT), em laboratório, considerando as relações da figura 3.4.

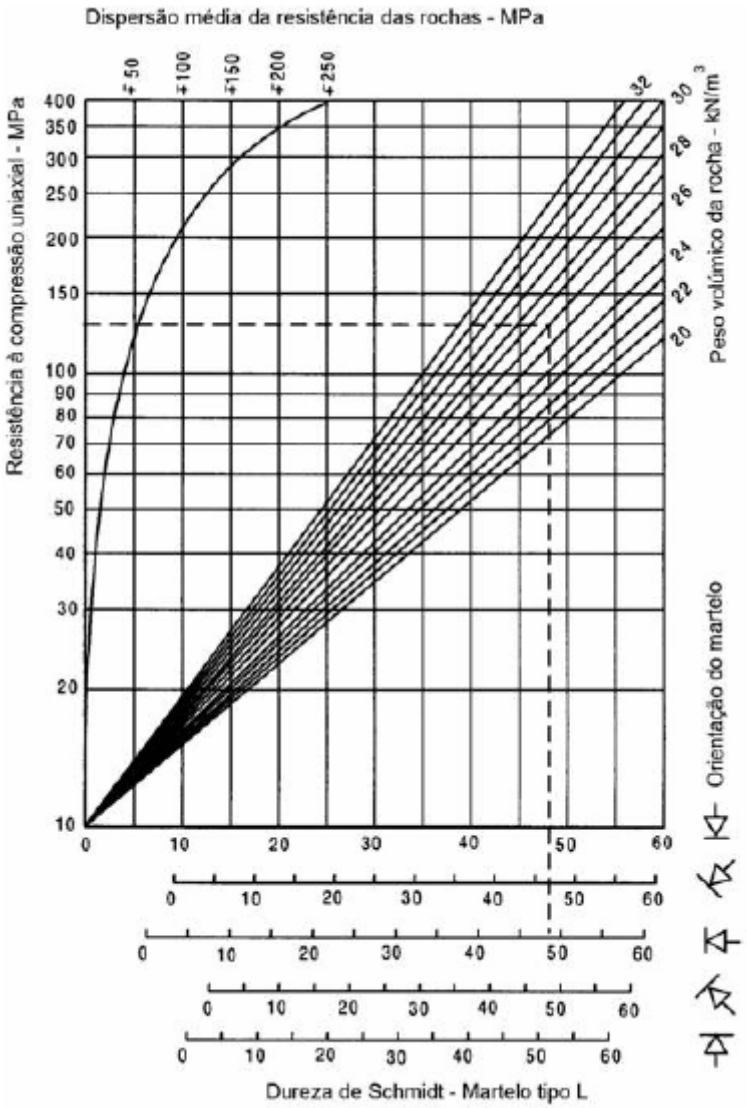


Figura 3.4. Diagrama para determinação da resistência à compressão uniaxial a partir da dureza do martelo de Schmitd e do peso específico (modificado de Zuquette e Gandolfi, 2004).

3.1.2.6 Delimitação dos Materiais Inconsolidados

Os materiais inconsolidados são componentes de extrema importância em um mapeamento geotécnico, e no estudo de movimentos de massa gravitacionais podem ter características que os tornam mais susceptíveis à ocorrência destes eventos.

Com objetivo de se obter os atributos referentes a materiais inconsolidados foram delimitados, através da fotointerpretação, áreas com características semelhantes que pudessem expor a dinâmica dos materiais nas encostas. Assim, sendo possível individualizar os materiais coluvionares, as encostas de talús e os materiais residuais. E depois de individualizados estas áreas, foi feito um trabalho de campo para confirmar os resultados obtidos com a fotointerpretação inicial e obter características (atributos tab. 3.1) de maior detalhamento exigido para um levantamento de materiais inconsolidados visando estudos de movimentos de massa gravitacionais, considerando a escala de 1:10.000. Após esta fase foi feita ortoretificação das fotografias aéreas no software ENVI 4.1™ a partir das fotografias scanerizadas.

Neste trabalho, os materiais inconsolidados foram agrupados por classes de solos residuais (tab. 3.2) e solos transportados (tab. 3.3), para elaboração do mapa de materiais inconsolidados.

Tabela 3.2. Classes de perfil de alteração e nomenclatura adotada para diferentes protólitos.

Horizontes	Biotita Gnaisse	Granito Acinzentado	Migmatito
Solo Residual Maduro	SRMgp	SRMgr	SRMm
Solo Residual Jovem	SRJgp	SRJgr	SRJm
Saprolito	Sgp	Sgr	Sm
Rocha Alterada	RAgp	RAgr	RAm
Rocha Sã	RSgp	RSgr	RSm

Tabela 3.3. Classes adotadas para caracterizar os materiais transportados e suas nomenclaturas, para caracterização de materiais residuais.

Tipo	Nomenclatura
Talús com matacões arredondados (granito)	STTgr
Talús com matacões angulosos (biotita gnaisse)	STTgp
Talús com matacões angulosos (migmatito)	STTgg
Talús com matacões angulosos e arredondados (mistura)	STTm
Colúvio	STCarg
Talús/Colúvio	STT/Carg

3.1.2.7 MDT

O modelo digital do terreno (MDT) é de extrema importância quando se quer analisar o relevo, pois ele permite uma análise tri-dimencional que é mais difícil a partir da carta topográfica. Além de ser uma ferramenta essencial para se gerar cartas mais detalhados em um tempo menor, como a carta de declividade e direção da inclinação do talude.

Para obtenção do MDT foram vetorizadas as curvas de nível no software AutoCadMap3D™ e exportado como extensão DXF para serem importados para o ArcMap 9.1™. No ArcMap 9.1™ criou-se um TIN (Triangular Integrated Network) a partir das curvas de nível, na ferramenta de *3D Analyst*.

3.1.2.8 Declividade

A declividade é um atributo fundamental na análise voltada aos movimentos de massa gravitacionais, que poderá condicionar diferentes tipos de eventos.

Para obtenção da declividade utilizou-se o MDT. No ArcMap 9.1™ após criado o MDT, foi criado a carta de declividade na opção *SLOPE* da ferramenta de *surface analysis* dentro de *3D Analyst*. Esta carta de declividade foi gerada com tamanho de pixel de 5 metros. As classes de declividade foram definidas com intervalo de 10º, sendo a classe mais alta a declividades acima 50º, totalizando 6 classes de declividades.

3.1.2.9 Direção do Mergulho do Talude

A Carta de aspecto ou direção do mergulho do talude ou direção de vertentes é uma informação para obtenção de atributos relacionados com a relação entre a face do talude e as estruturas lineares do terreno, assim como com alguns atributos da tabela 3.1.

Para obtenção da direção da face do talude utilizou-se o MDT. No ArcMap 9.1™ após criado o MDT, foi gerado o mapa de aspectos na opção *ASPECT* da ferramenta de *surface analysis* dentro de *3D Analyst*. Este mapa de aspectos foi gerado com tamanho de pixel de 5 metros e foi classificado em 9 classes: norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste, sudoeste e plano.

3.1.2.10 Usos

O uso do solo é um atributo muito importante, pois dependendo do tipo de cobertura, seja natural ou antrópica irá potencializar ou não, a ocorrência de um evento de movimento de massa gravitacional. Um exemplo desta interferência é a concentração do escoamento de água, devido a impermeabilização do solo causado pelos calçamentos.

A delimitação dos diferentes tipos de uso do solo foi feito a partir de fotografias aéreas ortoretificadas, na escala 1:30.000, coloridas, de 2005.

As categorias levantadas foram: mata, pastagem, área urbana, plantação de bananeira, área industrial.

3.1.2.11 Obtenção de dados de chuva

A água desempenha um papel fundamental em eventos de movimentos de massa gravitacionais como agente deflagrador. Então se faz necessário obter informações pluviais da área, registradas em pluviógrafos e pluviômetros.

3.1.2.12 Inventário de MMG

Foi feito, preliminarmente, uma fotointerpretação das feições de MMG, com fotografias aéreas na escala 1:30.000 e com um mosaico ampliado na escala 1:5.000 de fotografias 1:30.000. Estas fotografias foram transformadas para formato digital através de um scanner de mesa (no formato A3) com resolução de 800 DPI no formato TIFF, sendo possível obter excelente resolução na escala 1:5.000, com isso possibilitando:

- Identificar feições impossíveis de serem alcançadas em campo;
- Localizar feições possíveis de serem inventariadas em campo, servindo de guia para próxima etapa que é o levantamento de campo.

Este inventário é feito com objetivo de montar uma base de dados para posterior análise estatística. Levantamento este que é de fundamental importância para identificar todas as feições de movimentos de massa gravitacionais presentes na área de estudo e quantificar estes processos.

Este levantamento tem como metodologia a proposta da UNESCO-WP/WLI (1990), que aborda aspectos de classificação, dimensão e localização dos movimentos de massa gravitacionais. Para a realização do inventário foi fundamental à utilização de uma câmera fotográfica digital com zoom óptico, que possibilitou o registro fotográfico de feições distantes, com difícil acesso devido às condições topográficas e de vegetação da área.

3.1.2.13 Obtenção de parâmetros geotécnicos para caracterização de materiais geológicos envolvidos nos mecanismos de ruptura.

Com objetivo de melhor explicar os mecanismos de rupturas dos movimentos de massa gravitacionais ocorridos em materiais inconsolidados, foram executados ensaios de resistência ao cisalhamento do solo, permeabilidade, análise granulométrica conjunta e índices físicos. Estes ensaios foram realizados em amostras de locais onde já se haviam ocorrido deflagração de movimentos de massa gravitacionais, tomando o cuidado de retirar amostras ainda indeformadas, das paredes das cicatrizes, como os realizados por Wolle & Carvalho em 1989.

- *Resistência ao cisalhamento dos solos*

Executados de acordo com ASTM (D3080), em laboratório, de amostras indeformadas coletadas no campo. Estas amostras foram obtidas em tubos de PVC cilíndricos de 20cm de comprimento e 9,7cm de diâmetro.E foi realizado em condições drenadas para simular a condição real de campo.

Para cada amostra, foram consideradas as tensões normais de 25kPa, 50kPa e 100kPa. Tensões normais estas que, em campo, correspondem (na

média) a uma tensão confinante equivalente a um solo de 1,5m, 2,5m e 5m de espessura, respectivamente. Estas espessuras por sua vez correspondem a grande maioria das profundidades dos escorregamentos translacionais em solo ocorridos na área, identificados em trabalho de campo.

O estudo de Pitanga *et. al.* (2006), que realizou ensaios de cisalhamento direto em três solos residuais de gnaisse (indeformados) de diferentes variações granulométricas, mostrou que a variação da velocidade de realização do ensaio não influencia na resistência ao cisalhamento. Então, foi adotada uma velocidade de cisalhamento que fosse possível de se obter as resistências residuais dos materiais (0,54mm/min).

Foram realizados ensaios em condições naturais de umidade e inundados.

O processo de inundação do corpo de prova foi feito dentro da própria caixa de cisalhamento sendo que o umedecimento se deu da base para o topo da amostra, no anel de cisalhamento.

- *Permeabilidade*

Estes ensaios foram realizados com auxílio de um permeâmetro de carga constante para amostras indeformadas e cilíndricas, com diâmetro de 10cm e comprimento de 15cm. O volume de água percolado foi coletado em intervalos de tempo pré-estabelecidos e, medidos até a variação se tornar constante.

Os valores de permeabilidade foram calculados aplicando a lei de Darcy, pela equação:

$$K = \frac{Va.L}{A.t(h+L)}$$

Onde **K** é a permeabilidade do solo, **Va** é o volume de água percolado no solo em um tempo ***t*** , **L** é o comprimento da coluna d'água, ***h*** é a altura vertical de coluna d'água e **A** é área.

- *Análise Granulométrica Conjunta*

Este ensaio foi realizado com amostras deformadas, com base na Norma ABNT-NBR 7181, para obter a curva granulométrica.

- *Índices Físicos*

Estes índices foram obtidos para amostras deformadas, indeformadas e por correlações matemáticas. Os índices obtidos foram:

- ⇒ Peso específico do sólidos (ABNT-NBR 6508) (ρ_s);
- ⇒ Umidade de gravimétrica de campo (w);
- ⇒ Umidade Volumétrica (θ)
- ⇒ Saturação (Sr)
- ⇒ Massa específica do solo (ρ);
- ⇒ Índices de vazios (e);
- ⇒ Porosidade (n).

Na tabela a seguir (tab 3.5), um resumo das formas de obtenção dos dados neste trabalho.

Tabela 3.5(continua). Resumo das formas de obtenção de dados.

Meta	Etapa	Atributos	Obtenção	Observação
Delimitação da área	Escritório	Divisor de águas	Base topográfica	Encosta de frente ao oceano atlântico
Formas das encostas	Escritório	Forma da encosta	Fotointerpretação	Foi feito levando em consideração formato vertical e longitudinal das encostas
Lito-estrutural	Campo	Litologia; Estruturas Geológicas	Bibliografia; Descrição de afloramento; Registro das atitudes	Foi feito com base no mapa geológico do DRM, na escala 1:50.000
Inventário	Campo	Tipos de MMG	Levantamentos de fotografia aérea e campo	Baseado em UNESCO-WP/WLI(1990)
Resistência à compressão uniaxial das rochas	Campo/ Escritório	Resistência à compressão uniaxial	Martelo Schmitd / Ensaio de índices físicos	MB-28 (ABNT)
Delimitação dos materiais inconsolidados	Escritório/ Campo	Vide materiais inconsolidados (tabela 3.1)	Fotointerpretação e levantamento de campo	Vide (tabela 3.1)
Obtenção de parâmetros geotécnicos para caracterização dos mecanismos de ruptura	Campo/ Escritório	Coesão, ângulo de atrito interno, índice de vazios, porosidade, massa específica do solo e dos sólidos, permeabilidade e expansibidade	Ensaios de Cisalhamento Direto, permeabilidade, massa específica dos sólidos e correlações matemáticas	
Obtenção de dados de chuva	Campo	Vide Águas (tabela 3.1)	Levantamento de campo	Vide (tabela 3.1)

Tabela 3.5(conclusão). Resumo das formas de obtenção de dados.

Meta	Etapa	Atributos	Obtenção	Observação
MDT	Escritório	Vide Relevo (tabela 3.1)	Vetorização base topográfica	Foi feito no sistema TIN
Declividade	Escritório	Vide Relevo (tabela 3.1)	A partir do modelo digital do terreno	Foi feito com pixel de 5 metros
Aspecto	Escritório	Vide Relevo (tabela 3.1)	A partir do modelo digital do terreno	Foi feito com pixel de 5 metros
Uso	Escritório/ Campo	Vide Antrópicos (tabela 3.1)	Fotointerpretação e levantamento de campo	
Zoneamento	Escritório	Forma da encosta, materiais inconsolidados, declividade, direção do mergulho das encostas, altitude, influencia antrópica.	Análise dos atributos, sobreposição e validação.	

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

4.1.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está inserida nos municípios de Mangaratiba e Itaguaí, litoral sul do estado do Rio de Janeiro, na porção sudoeste da folha Itaguaí, coordenadas: 606000E, 7474000N; 624000E, 7462000N, da Zona UTM 23 Sul. Correspondendo a uma área de 60 km^2, em uma faixa estreita entre o mar e a Serra da Mazomba e serra do Leandro, em um percurso litorâneo desde o distrito de Brisa Mar (Itaguaí) até o distrito de Muriquí (Mangaratiba). Na figura 4.1 é apresentada sua localização espacial. A principal via de acesso a região é a rodovia Rio-Santos.

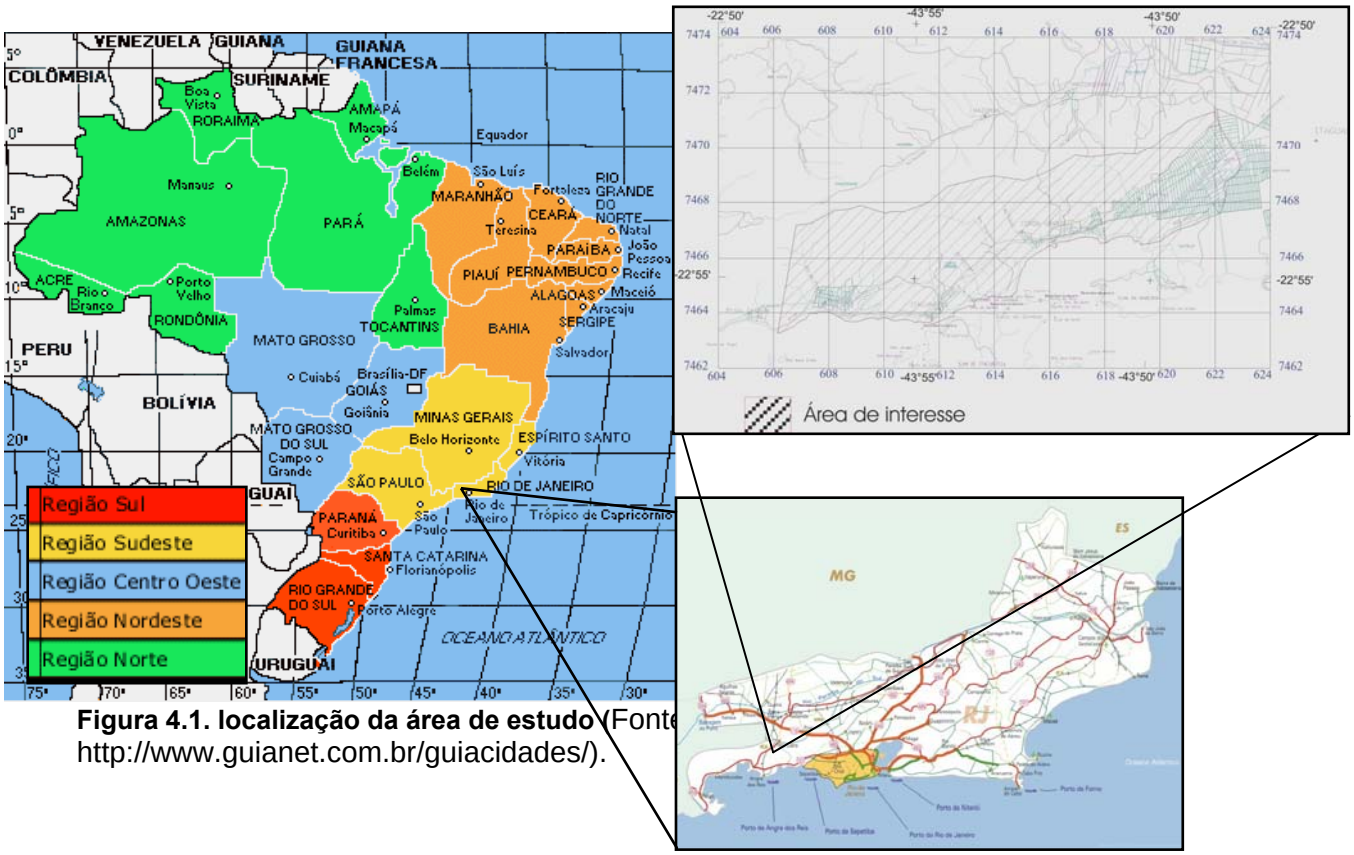


Figura 4.1. localização da área de estudo (Fonte http://www.guianet.com.br/guiacidades/).

4.1.2 GEOMORFOLOGIA

Segundo Silva et. al. (2000), a área é formada por:

- Planícies Colúvio-Aluvionares. Superfícies sub-horizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, com sistemas deposicionais continentais.
- Planícies Flúvio-Marinhas. Superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e Marinhos. Sob influência de refluxo de marés.
- Escarpas Serranas. Relevo montanhoso, extremamente acidentado, transicional entre dois sistemas de relevo. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus.

4.1.3 GEOLOGIA

A região é basicamente constituída por migmatitos, granitos e biotita gnaisse, da unidade Rio Negro (DRM, 1983), depósitos colúvio-aluvionares, e praiais em pequenas porções próximas a costa. As rochas apresentam um forte *trend* estrutural na direção NE-SW. Segundo DRM (1983) a migmatização ocorreu, em parte, sob influência do Batólito Serra dos Órgãos.

4.1.4 VEGETAÇÃO

A vegetação predominante na região é a Mata Atlântica, que se apresenta intacta principalmente nas áreas de elevada altitude. A Mata Atlântica local é caracterizada por espécies arbóreas de grande porte (30 metros de altura), arbustivas e rasteiras. E Ainda presença da monocultura de banana na média e baixo encosta e pastagem.

4.1.5 CLIMA

A área de estudo está inserida em um clima tropical úmido, com moderada evapotranspiração anual, classificado por Köppen como **Af,** onde a letra **A** corresponde a climas megatérmicos (temperatura média do mês mais frio superior a 18ºC) e a segunda letra (**f**) corresponde a sempre úmido (mês menos chuvoso com precipitação superior a 60mm). A temperatura média anual é de aproximadamente 22ºC, a média mensal aproximada é de 25ºC no mês mais quente e 19ºC no mês mais frio. Os ventos em sua maioria são de sudoeste e sul (Silva Jr, 1991).

A região é sujeita a uma intensa precipitação pluviométrica, atingindo acumuladas anuais que ultrapassam 2100 mm.

4.2 FORMA DA ENCOSTA

As áreas com diferentes formas das encostas foram individualizadas levanto em consideração seus perfis verticais e horizontais das encostas. Onde foram individualizados (Anexo I):

⇒ 55 Encostas retilínea-retilínea, perfazendo uma área de 8,5km^2. Nestas encostas ocorreram 25% dos eventos de MMG (figura 4.2), e quando relacionados com sua área total equivale a uma freqüência de 4 eventos por km^2 (figura 4.3);

⇒ 44 Encostas retilínea-côncava, perfazendo uma área de 4,9km^2. Ocorrendo 28% dos eventos de MMG, para cada km2 de encosta tem uma relação de 7,55 eventos. Junto com a classe anterior é a mais importante em temos de movimentos de massa gravitacionais;

⇒ 31 Encostas retilínea-convexa, perfazendo uma área de 11,7km^2. Nestas encostas ocorreram 8% dos eventos de MMG, e quando relacionados com sua área total equivale a uma baixa freqüência de 0,94 eventos por km^2;

⇒ 02 Encostas côncava-retilínea, perfazendo uma área de 0,4km^2. Nestas encostas ocorreram 1% dos eventos de MMG, mas quando relacionado com sua área total equivale a freqüência de 2,5 eventos por km^2;

⇒ 44 Encostas côncava-côncava, perfazendo uma área de 11,2km^2. Ocorrendo 22% dos eventos de MMG, e quando relacionados com sua área total equivale a uma freqüência de 2,59 eventos por km^2;

⇒ 02 Encostas côncava-convexa, perfazendo uma área de 0,2km^2. Estas encostas são afetadas com 1% dos eventos de MMG, mas quando relacionado com sua área total equivale a uma freqüência de 5 eventos por km^2;

⇒ 16 Encostas convexa-retilínea, perfazendo uma área de 1,7km^2. Nestas encostas ocorreram 7% dos eventos de MMG, e quando relacionado com sua área total equivale a uma alta freqüência de 5,88 eventos por km^2;

⇒ 06 Encostas convexa-côncava, perfazendo uma área de 0,3km^2. Nestas encostas ocorreram 1% dos eventos de MMG, e quando relacionado com sua área total equivale a uma freqüência de 3,33 eventos por km^2;

⇒ 29 Encostas convexa-convexa, perfazendo uma área de 2,2km^2. Ocorrendo 7% dos eventos de MMG, mas quando relacionados com sua área total equivale a uma freqüência de 4,55 eventos por km^2;

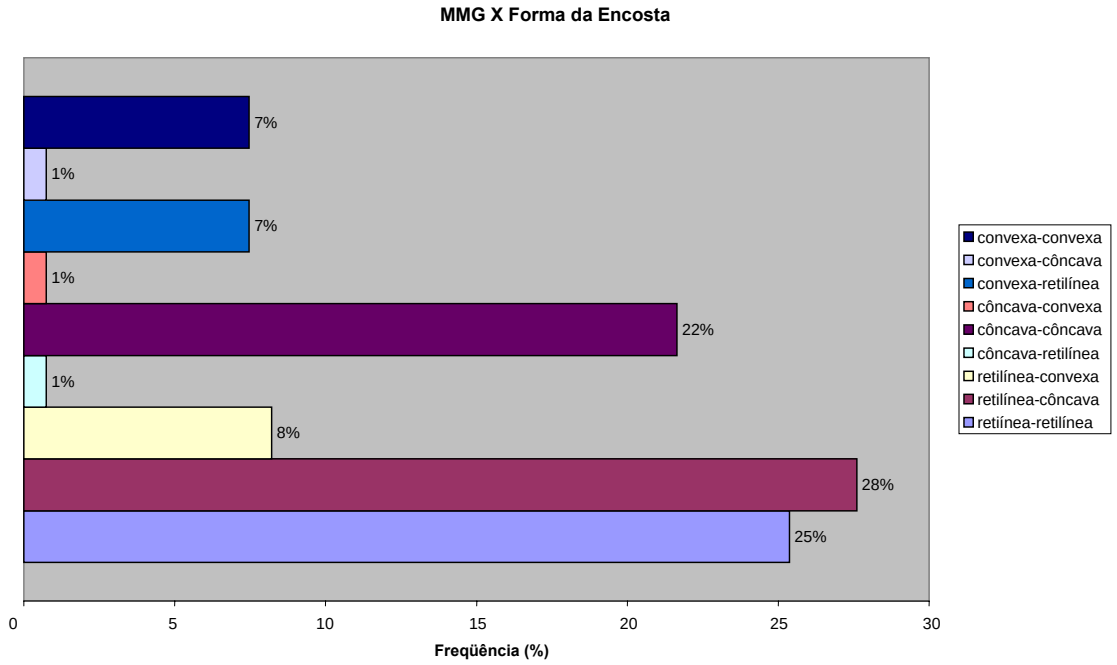


Figura 4.2. Freqüência de eventos em cada forma de encosta, em relação ao total de eventos.

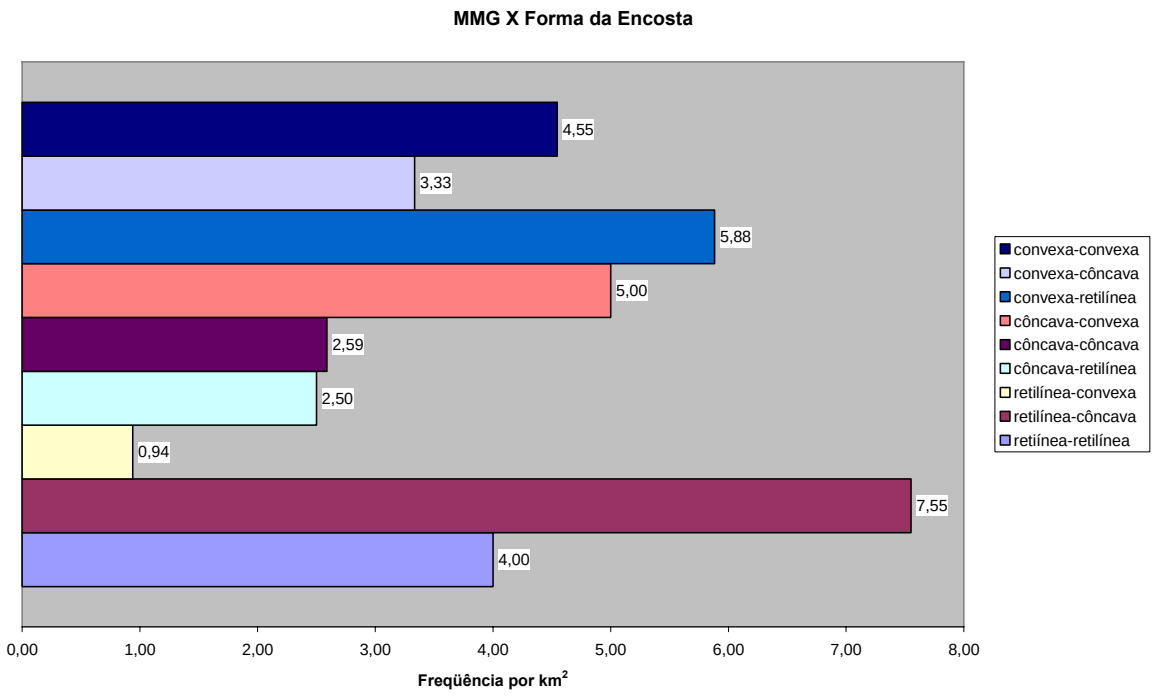


Figura 4.3. Freqüência de eventos por km^2 de Forma de encosta.

4.3 SUBSTRATO ROCHOSO

4.3.1 LITOLOGIAS

A área de estudo é composta por biotita gnaisse, migmatito, granito e depósitos quaternários (Anexo II). Para cada afloramento foi preenchida uma ficha de campo, com objetivo de levantar características litológico-estruturais (fig. 4.4).

FICHA DE CAMPO
LITOLÓGICO ESTRUTURAL

Ponto Nº.: Coordenadas UTM: 606409 / 7464296 Referência:
Data: 21-04 Altitude:

Posição no relevo (encosta): Topo ☐ Meio ☐ Base ☒ Nº ponto GPS.:
Presença de erosão: Sim ☐ Não ☒ Nº Foto.: 84-84a-84b

Litologia:	Paralelismo tpo e superf. ☐ Inclin. da encosta: Presença de fissuras ☒	**Grau de Homogeneidade**
Granito ☐ Aluvião ☐ Gnaisse ☒ Coluvião ☐ Migmatito ☒ Outra ☐		Homog. ☐ Uniforme ☐ Heterog. ☐ Não Uniforme ☐

Alteração (ISRM)	**Grau de resistência (ISRM)**
Sã ☒ Intensamente ☐ Levemente ☐ Completamente ☐ Moderadamente ☐ Solo residual ☐	Muito Fraca ☐ Resistente ☐ Fraca ☐ Muito Resistente ☒ Medianamente ☐

Fraturamento:		**Hidrologia**	Presença de Esmectita ☐
Baixo ☐ Médio ☒ Alto ☐	Textura: Estrutura: Foliação Cor:	Presença de Surgência ☐ Área de acumulo ☐	

OBSERVAÇÕES:

Abertura e preenchimento das descontinuidades: Não / Não
Persistência e conectib.: Não / Não
Influência antrópica: Sim Estrada
Contato entre litologias:

Biotita Gnaisse com presença de zona migmatizada

Estrutura	**Atitude**
N72E/35NW (Sn)	
330/25 (Sn)	
330/35 (Sn)	
330/20 (Sn)	
320/37 (Sn)	
Outro lado da pista:	
310/35	
Fraturas: 216/84	
174/73	

Figura 4.4. Exemplo de ficha de levantamento lito-estrutural.

4.3.1.1 Granito (pCVrngr)

Granito acinzentado, discretamente foliado, com variações granulométricas, entre fina e média, mostrando aspectos porfiroclásticos em amplos domínios. Encontrado na parte de maior altitude da área de estudo e em blocos na média e baixa encosta (fig. 4.5)

Fig. 4.5. exemplo de bloco de granito na média encosta.

4.3.1.2 Migmatito (pCVrnm)

Migmatito com neossoma granitóide de talhe fino-médio, em parte pegmatóide (fig. 4.6). Com veios de quartzo, e em contato transicional com Biotita Gnaisse, na ordem de 20 metros de espessura. Apresentando estruturas típicas de migmatitos, como, as estruturas estromatomáticas.

Figura 4.6. Afloramento de migmatito com neossoma.

4.3.1.3 Biotita Gnaisse (pCVrngp)

Biotita gnaisse melanocrático, de granulação média a grosseira, com minerais de Biotita (predominância) de granulação fina, quartzo de granulação média a grosseira, feldspato de granulação grosseira, podendo ter veios de quartzo regionalmente e pórfiros de microclina. (fig. 4.7). Com foliação incipiente mergulhando na direção, na média, 335/25. Com presença de zonas migmatizadas, característica esta de um contato transicional entre o biotita gnaisse e migmatito (fig. 4.8).

O relevo formado por esta litologia é caracterizado por uma serie de paredões rochosos, ortogonal ao litoral (fig. 4.9), intercalados por vales. Estes vales estruturais apresentam-se com degraus (fig. 4.10), que são gerados por falhas estruturais, representados por descontinuidades presentes no biotita gnaisse, que por sua vez é um reflexo da tectônica local da Província Mantiqueira caracterizada por lineamentos NE-SW.

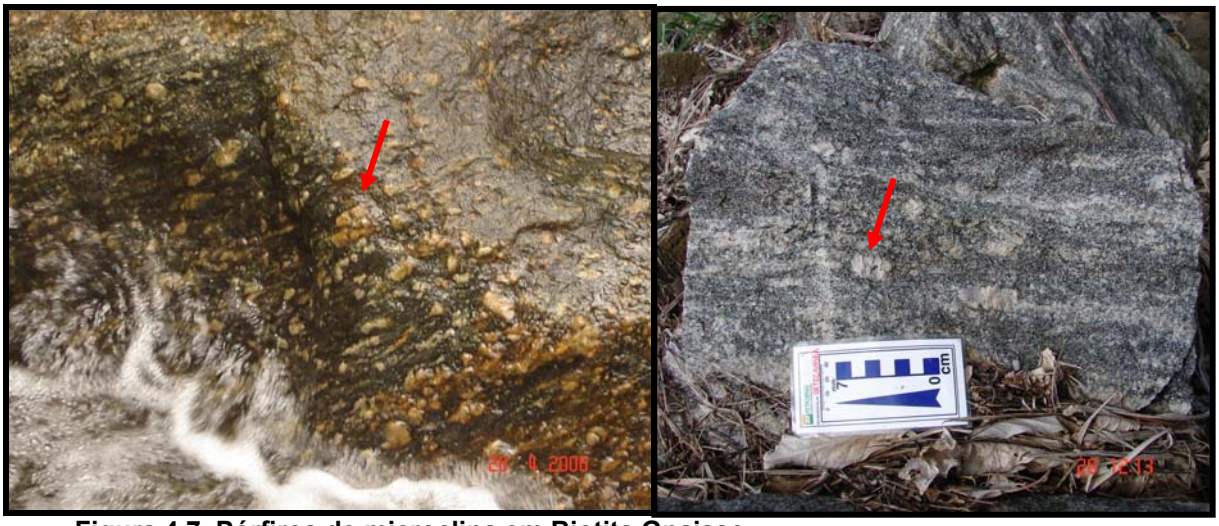


Figura 4.7. Pórfiros de microclina em Biotita Gnaisse.

Figura 4.8. Transição entre migmatito e biotita gnaisse.

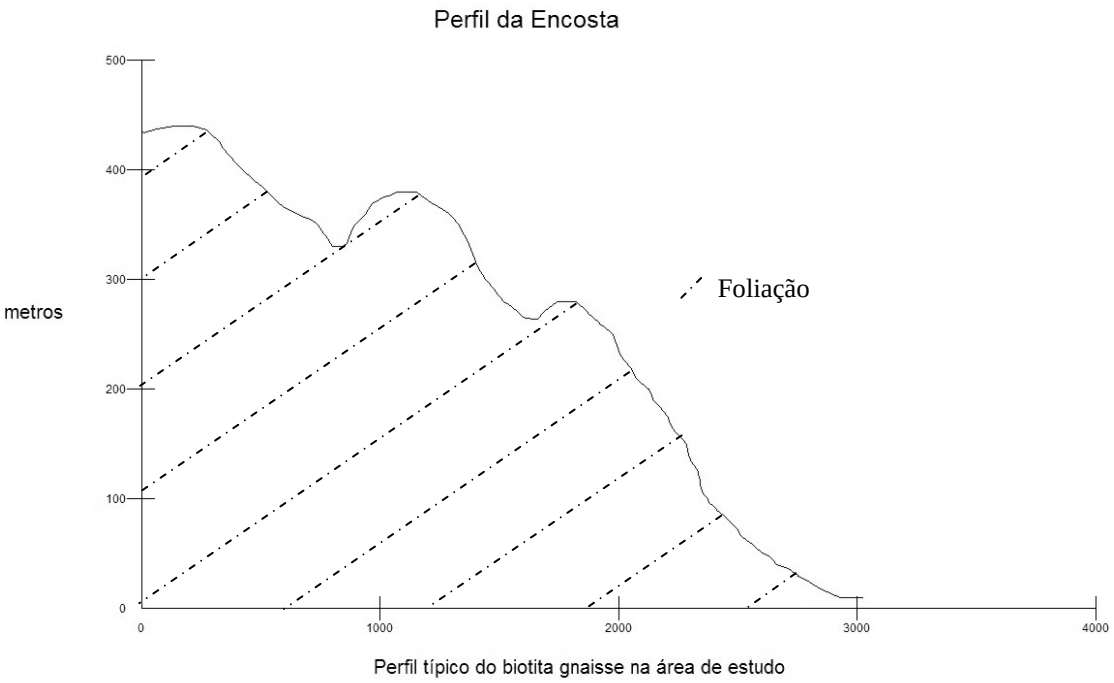


Figura 4.9. Perfil da encosta sustentada pelo biotita gnaisse.

Figura 4.10. Estruturas em degraus características de afloramentos de biotita gnaisse em na média encosta.

4.3.2 ESTRUTURAS

A principal estruturação da área de estudo é a foliação do Biotita gnaisse, em média com sentido de direção do mergulho 335/25. Também há presença de lineamentos estruturais ortogonais à linha de praia. Característica interessante a se ressaltar é a formação de degraus nas cachoeiras que são formadas em biotita gnaisse anteriormente mostrado (fig. 4.10). Todas as estruturas de foliação estão a favor da segurança em relação a rodovia Rio-Santos. Presença marcante de "*sheet joints*" nos biotita gnaisse na alta encosta favorecendo a ocorrência de quedas. E quando a litologia apresenta-se mais homogênea surgem às esfoliações esferoidais que favorecem as quedas.

Além, de estruturas de fraturamento, predominantemente com 2 orientações: N40E/80SE e N43W/85SW, que isolam blocos (fig. 4.11).

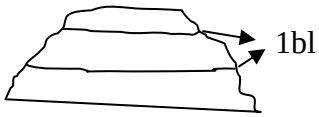
Figura 4.11. Família de fraturas combinadas com foliação isolando blocos (branco).

4.3.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL

Foram realizados ensaios de campo com esclerômetro de Schimtd para determinação da resistência a compressão uniaxial dos afloramentos rochosos e para verificar o estado de alteração dos maciços. Estes ensaios foram feitos em sete pontos diferentes ao longo da rodovia Rio-Santo. Como mostra as tabelas seguintes.

Ponto 1

Tabela 4.1. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 1.

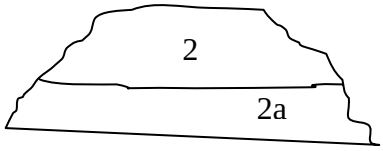
Coordenadas:	617221 E		7467353 N	
Amostra	1	1a	1b	1bl
Dureza	19,2 ←	20,3 ←	16,6 ←	6,1 ←
Tipo de Material	Biotita Gnaisse (meio)	Biotita Gnaisse (base)	Biotita Gnaisse (topo)	Níveis Biotíticos intercalando
Nível de Alteração (IRSM 1983)	III	II	III	IV
Peso específico Seco	2,261 g/cm^3	2,496 g/cm^3	2,288 g/cm^3	2,554 g/cm^3
Peso específico Saturado	2,377 g/cm^3	2,541 g/cm^3	2,396 g/cm^3	2,583 g/cm^3
Saturação	5,15%	1,79%	4,84%	1,16%
Porosidade	11,59%	4,45%	10,80%	2,93%
Resistência a Compressão uniaxial	34 MPa	38,7 MPa	30,0 MPa	22,0 MPa
Esquema do afloramento amostrado				

Obs:

← Posição de realização da medida da dureza.

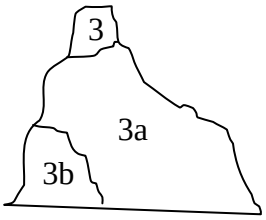
Ponto 2

Tabela 4.2. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 2.

Coordenadas:	612661 E	7465111 N
Amostra	2	2a
Dureza	↖ 10,1	← 14,3
Tipo de Material	Biotita Gnaisse (topo)	Biotita Gnaisse (base)
Nível de Alteração (IRSM 1983)	IV	III
Peso específico Seco	2,272 g/cm^3	2,513 g/cm^3
Peso específico Saturado	2,379 g/cm^3	2,553 g/cm^3
Saturação	5,07%	1,58%
Porosidade	10,74%	3,95%
Resistência a Compressão uniaxial	26,5 MPa	28,5 MPa
Esquema do afloramento amostrado		

Ponto 3

Tabela 4.3. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 3.

Coordenadas:	611854 E		7464183 N
Amostra	3	3a	3b
Dureza	8 ←	14,4 ↙	29,4 ↙
Tipo de Material	Migmatito (topo)	Migmatito (meio)	Migmatito (base)
Nível de Alteração (IRSM 1983)	IV	III	II
Peso específico Seco	2,539 g/cm^3	2,533 g/cm^3	2,536 g/cm^3
Peso específico Saturado	2,575 g/cm^3	2,557 g/cm^3	2,551 g/cm^3
Saturação	1,43%	0,96%	0,61%
Porosidade	3,58%	2,41%	1,54%
Resistência a Compressão uniaxial	20 MPa	29,5 MPa	55,5 MPa
Esquema do afloramento amostrado			

Pontos 4, 5 e 6

Tabela 4.4. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 4, 5 e 6.

Parâmetros	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Coordenadas:	611746 E 7464036 N	609935 E 7464008 N	609832 E 7464164 N
Amostra	4	5	6
Dureza	13,7 ↙	33,7 ←	37,3 ←
Tipo de Material	Migmatito	Migmatito	Migmatito
Nível de Alteração (IRSM 1983)	IV	I	I
Peso específico Seco	2,436 g/cm^3	2,655 g/cm^3	2,646 g/cm^3
Peso específico Saturado	2,502 g/cm^3	2,671 g/cm^3	2,647 g/cm^3
Saturação	2,72 %	0,59 %	0,02 %
Porosidade	6,60 %	1,56 %	0,06 %
Resistência a Compressão uniaxial:	27,5 MPa	70,0 MPa	77,1 MPa

Ponto 7

Tabela 4.5. Parâmetros de índices físicos e compressão uniaxial obtidos do ponto 7.

Coordenadas:	607196 E	7464885 N
Amostra	7	7a
Dureza	← 32,4	↙ 30,4
Tipo de Material	Migmatito	Biotita Gnaisse (outro lado da estrada)
Nível de Alteração (IRSM 1983)	I	I
Peso específico Seco	2,644g/cm^3	2,709 g/cm^3
Peso específico Saturado	2,657 g/cm^3	2,712 g/cm^3
Saturação	0,48%	0,11%
Porosidade	1,26%	0,29%
Resistência a Compressão uniaxial	63,8 MPa	67,5 MPa
Esquema do afloramento amostrado		

No ponto **4**, muito alterado, a resistência obtida foi muito baixa, assim concordando com seu nível de alteração. Nos pontos **5** e **6** a resistência obtida foi muito alta, o que era de se esperar de afloramentos de rochas sãs.

Então, a classificação ISRM, em campo, mostrou-se uma ferramenta muito útil para aferição da resistência, tendo visto que os resultados do martelo de Schmidt foram concordantes com as avaliações feitas em campo, como podemos ver pela tabela 4.6.

Tabela 4.6. Comparação entre níveis de alterações e características geotécnicas.

Litologia	**Propriedades geotécnicas**				
	Nível de alteração (ISRM 1983)	**ρ_d (kN/m^3)**	**ρ_{sat} (kN/m^3)**	**η (%)**	**RCU (MPa)**
Migmatito	I	26,4 – 25,3	26,5 – 25,7	3,31 – 0,32	77,1 – 58,3
	II	24,9 – 24,1	25,0 – 24,1	1,54 – 0,90	57,2 – 52,0
	III	25,3 – 24,2	25,4 – 24,7	5,26 – 0,59	29,8 – 28,2
	IV	26,3 – 23,4	26,4 – 23,9	9,76 – 0,89	21,0 – 19,0
Biotita Gnaisse	I	26,6 – 26,5	26,6 – 26,5	0,37 – 0,20	62,5 – 62,0
	II	25,0 – 24,0	25,3 – 24,4	6,46 – 3,46	35,5 – 32,9
	III	24,8 – 21,1	25,2 – 22,6	15,15 – 3,40	31,6 – 22,4
	IV	26,4 – 19,1	26,4 – 21,3	22,24 – 1,49	29,3 – 16,7

4.3.4 SUBSTRATO ROCHOSO X MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

Com relação aos eventos de movimentos de massa gravitacionais e suas relações com as litologias, as áreas de biotita gnaisse e de migmatito apresentam 47% dos eventos, mas quando obtem-se as freqüências de eventos por área, o migmatito apresenta 7,53 eventos por km^2 e para o biotita gnaisse 2,62 eventos por km^2. Uma característica importante dos biotitas gnaisses é a combinação da foliação esferoidal com a foliação principal ou/e famílias de fraturas, que iram propiciar quedas e posteriormente rolamentos.

4.4 MATERIAIS INCONSOLIDADOS

Na área de estudo destaca-se a presença de materiais inconsolidados transportados marcante nas encostas com talús e colúvios, e os solos residuais de biotita gnaisse, migmatito e granito (Anexo III), sendo que a diferenciação entre o residual de biotita gnaisse e de migmatito só é possível de verificar com a presença de estruturas migmatíticas preservadas nos residuais mais jovens e saprolíticos e a rápida caulinitização do feldspato, principalmente no migmatito. O material areno siltoso é o principal componente dos materiais inconsolidados, tanto residuais quanto transportados. Alguns perfis evidenciam descontinuidade (fig. 4.12).

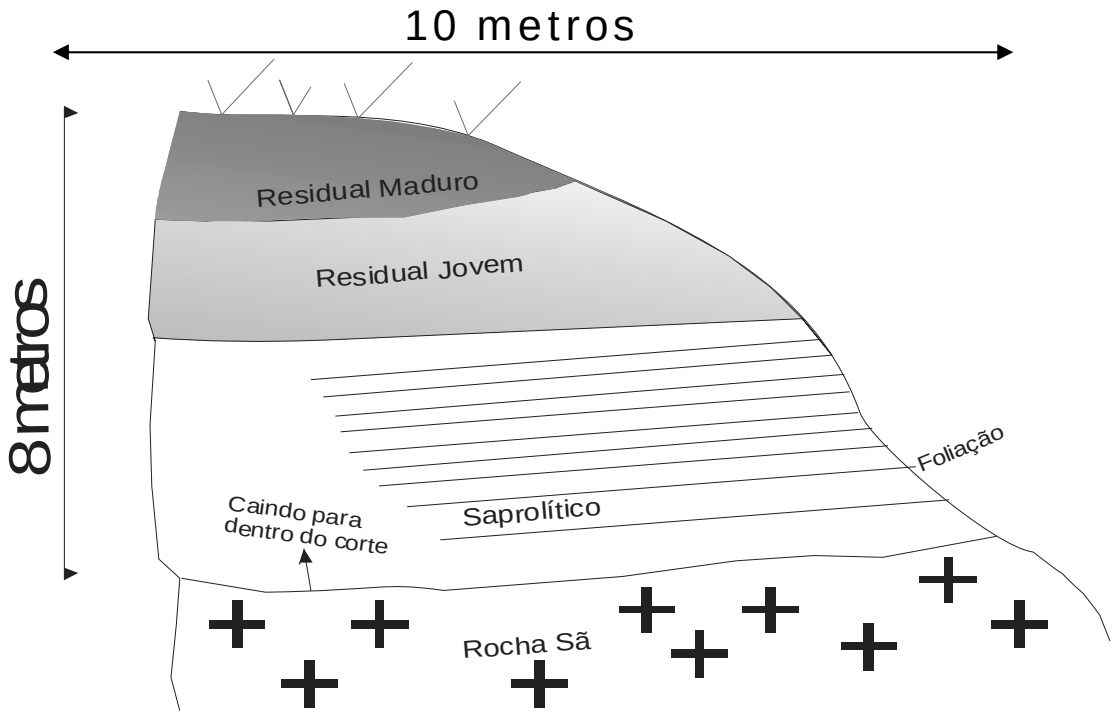


Figura. 4.12. Ilustração de um perfil típico.

Os perfis de materiais inconsolidados foram descritos em campo. A Seguir um exemplo de descrição de material Inconsolidado residual e de transportados do tipo talús, feitos em campo:

R1: SRMgp

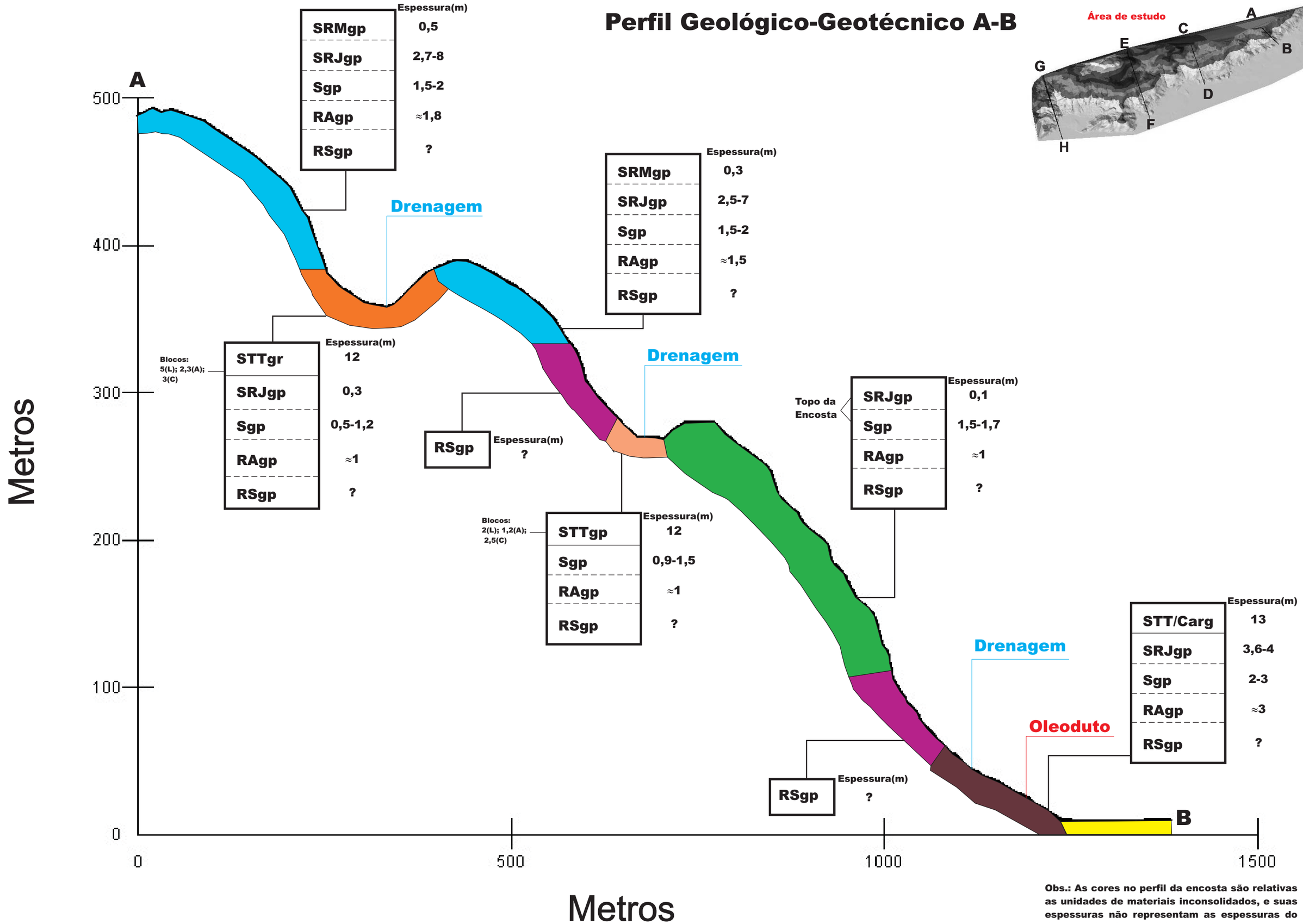
- *Residual maduro de Biotita Gnaisse;*
- *Material areno siltoso;*
- *Sem descontinuidades;*
- *Sem Blocos;*
- *Sem difração do fluxo de água;*
- *Espessura aproximada de 1 metro de solo residual maduro, 1 metro de solo residual jovem, 3 metros de saprolito e 50 cm de rocha alterada;*
- *Vegetação de Pastagem;*
- *Atividade antrópica: Alta tensão (topo da unidade) e duto (base da unidade).*

T2: STTgp

- *Encosta de talús;*
- *Material areno silto argiloso;*
- *Sem descontinuidades;*
- *Com matacões:*
    - ⇒ *Matacões de médio a grande porte;*
    - ⇒ *Angulosos;*
    - ⇒ *Situados na média encosta;*
    - ⇒ *Sobre forma convexo-retilínea de encosta;*
    - ⇒ *Com centros de massas desenterrados;*
    - ⇒ *Dentro e fora dos canais de drenagem;*
    - ⇒ *Blocos de biotita gnaisse;*
    - ⇒ *Dimensões médias de Blocos:*
        - *2m (largura);*
        - *1,2m (altura);*
        - *2,5m (comprimento);*
- *Sem difração do fluxo de água;*
- *Espessura aproximada de 8 metros de material transportado, 1 metro de solo residual maduro de biotita gnaisse, 1,2 metros de solo residual jovem, 3 metros de saprolito e 1,5 de rocha alterada ;*
- *Vegetação de pastagem;*
- *Atividade Antrópica: Duto (base da unidade).*

A partir dos dados de campo foram elaborados o mapa de materiais inconsolidados e 4 perfis geológico-geotécnicos que refletem as variações dos materiais inconsolidados na região (fig. 4.13, 4.14, 4.15, 4.16).

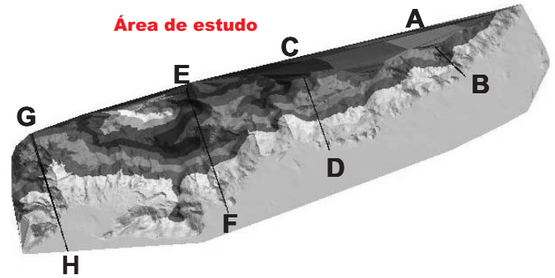
Perfil Geológico-Geotécnico A-B

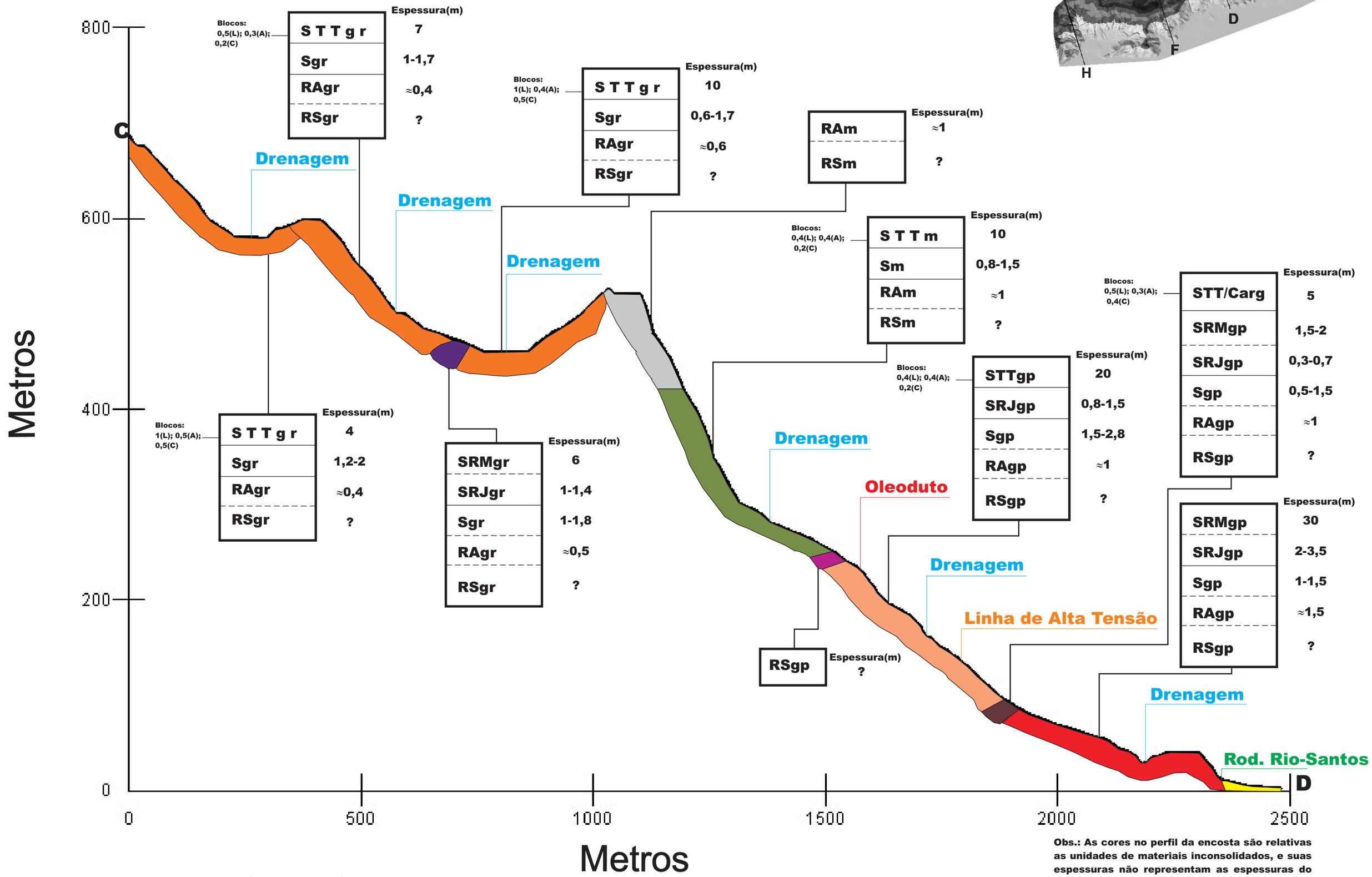


Obs.: As cores no perfil da encosta são relativas as unidades de materiais inconsolidados, e suas espessuras não representam as espessuras do dos materiais inconsolidados.

Figura 4.13. Perfil geotécnico A-B

Perfil Geológico-Geotécnico C-D

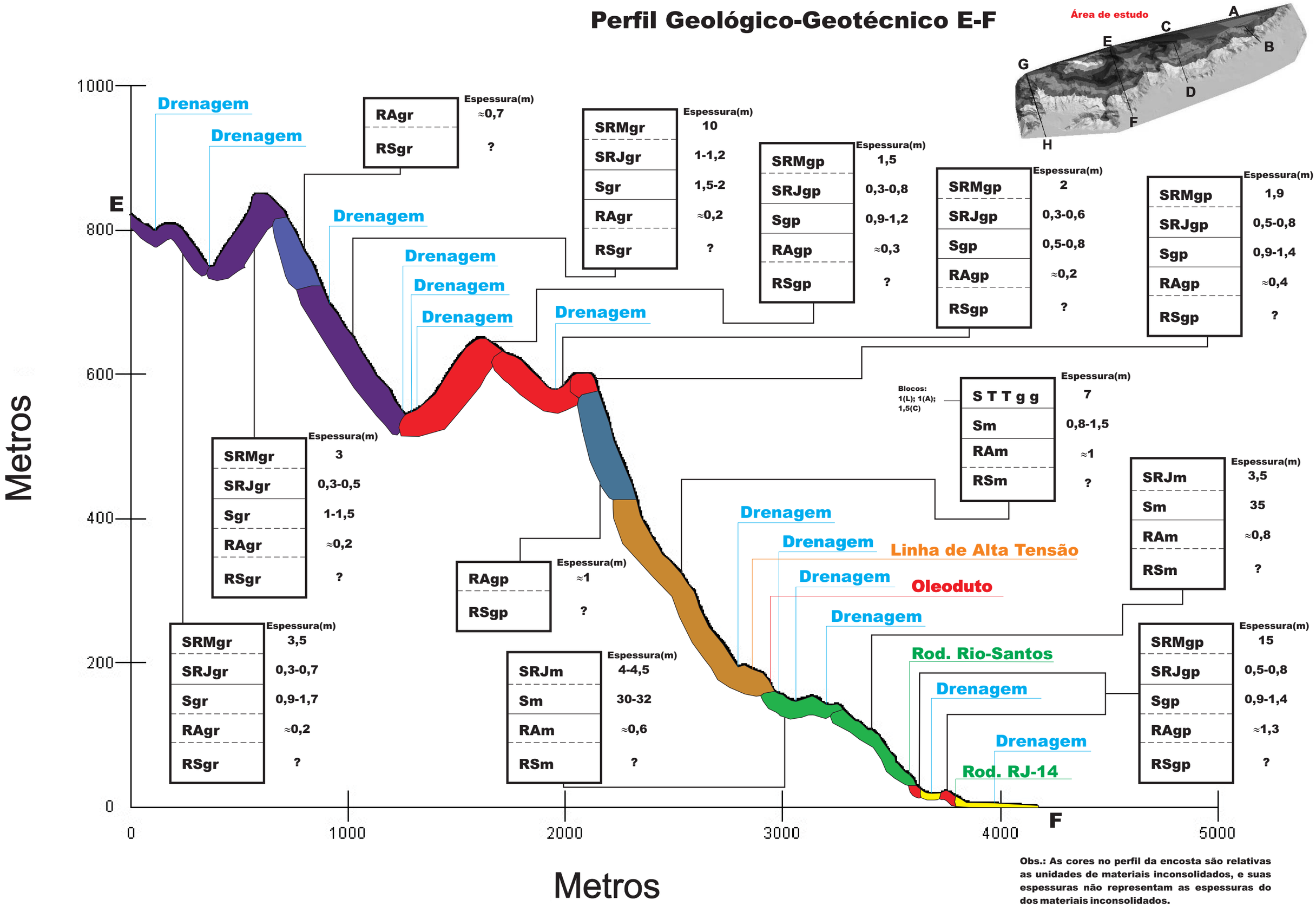




Obs.: As cores no perfil da encosta são relativas as unidades de materiais inconsolidados, e suas espessuras não representam as espessuras do dos materiais inconsolidados.

Figura 4.14. Perfil geotécnico C-D

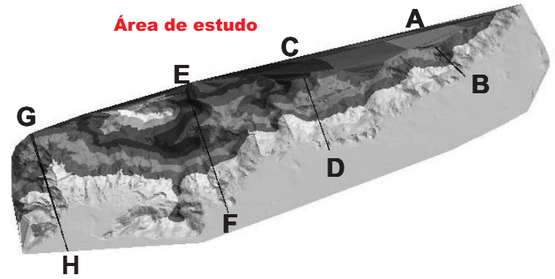
Perfil Geológico-Geotécnico E-F

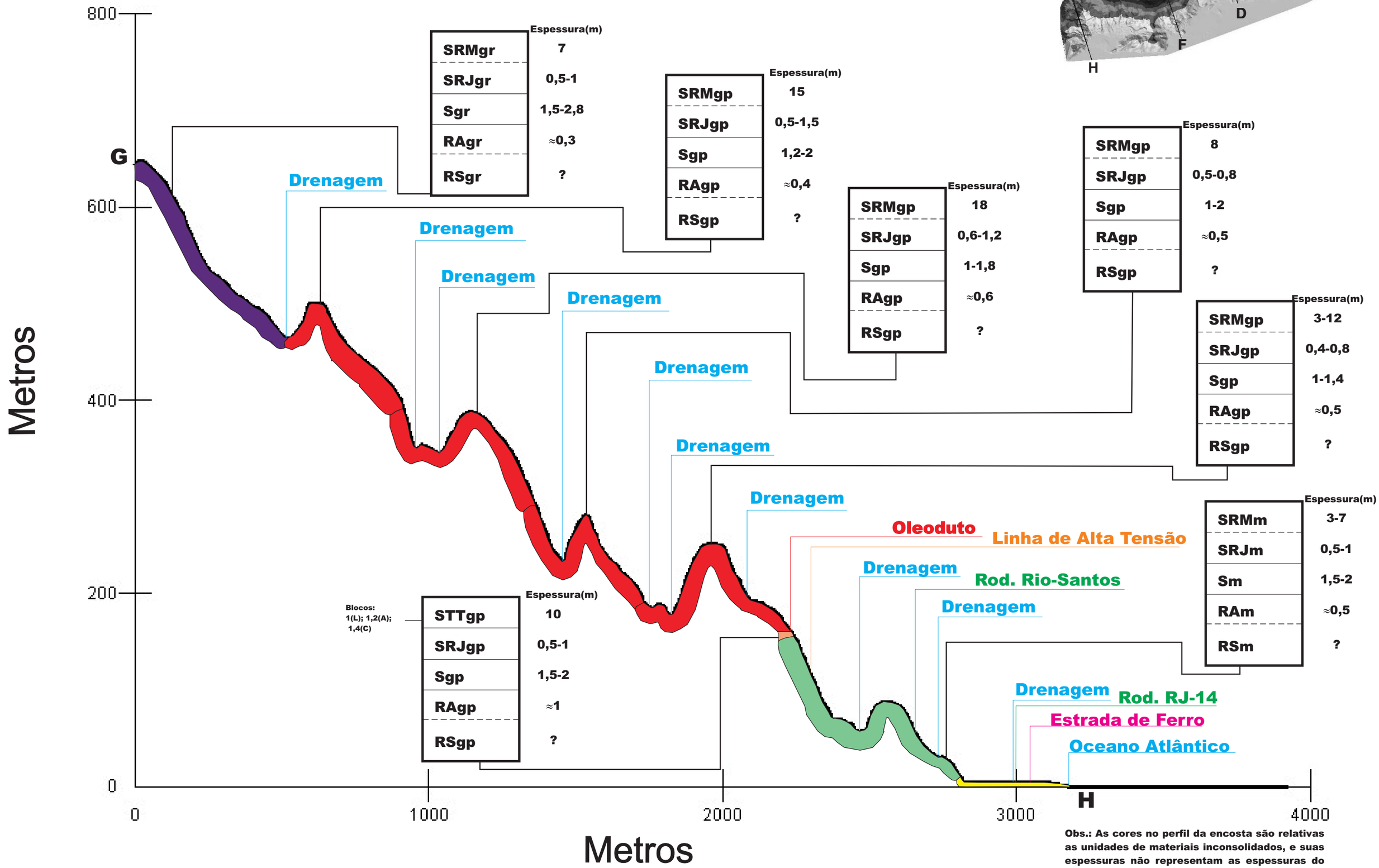


Obs.: As cores no perfil da encosta são relativas as unidades de materiais inconsolidados, e suas espessuras não representam as espessuras do dos materiais inconsolidados.

Figura 4.15. Perfil geotécnico E-F

Perfil Geológico-Geotécnico G-H





Obs.: As cores no perfil da encosta são relativas as unidades de materiais inconsolidados, e suas espessuras não representam as espessuras do dos materiais inconsolidados.

Figura 4.16. Perfil geotécnico G-H

4.4.2 MATERIAIS INCONSOLIDADOS RESIDUAIS

4.4.1.1 Biotita Gnaisse

Solos residuais originados da decomposição de biotita gnaisse são muitos semelhantes aos solos residuais de migmatito, somente sendo possível diferenciação com a ocorrência de horizontes saprolíticos, onde estas duas litologias são perfeitamente separadas. Suas características geotécnicas levantadas em ensaios de laboratório estão expressas na tabela 4.7.

- *Residual Maduro (SRMgp)*

Estes materiais inconsolidados são de textura areno silto argilosa com pedregulhos, e grãos de quartzo angulosos. Predominantemente estes horizontes são de pequenas espessuras (desde 0,1 a 20 metros).

Neste material inconsolidado estão concentrado 21,4% de todos os eventos de movimentos da massa gravitacionais na área. Comparando sua área total (11,6 km^2) com a quantidade de eventos ocorridos temos uma freqüência de 0,89 eventos por km^2, sendo a freqüência mais baixa entre as classes de materiais inconsolidados onde ocorreram eventos de movimentos de massa gravitacionais. Neste tipo de materiais inconsolidados ocorrem todos os tipos de movimentos de massa gravitacionais com exceções para aqueles relacionados com as quedas e os rolamentos.

- *Residual Jovem (SRJgp)*

Estes materiais inconsolidados são de textura areno siltosa com pouca argila e vestígios de pedregulho (segundo classificação granulométrica NBR

6502/65), com grãos de quartzo angulosos. Sendo sua distribuição granulométrica dada por: 4% de pedregulho, 68,5% de areia, 21% de silte e 6,5% de argila.. Predominantemente estes horizontes são de pequenas a médias espessuras (desde 0,2 a 8 metros).

Neste material inconsolidado estão concentrado 3% de todos os eventos de movimentos de massa gravitacionais na área, o que parece ser um valor muito baixo, mas se compararmos sua área total (1,5 km^2) com a quantidade de eventos ocorridos apresenta uma freqüência de 3,45 eventos por km^2.

- *Saprolitico (Sgp)*

Estes materiais inconsolidados são de textura areno siltosa com pouca argila e vestígios de pedregulho. Apresentam grãos de quartzo angulosos e são ricos em mineral Biotita Sendo sua distribuição granulométrica dada por: 1% de pedregulho, 69% de areia, 25% de silte e 5% de argila. Predominantemente estes camadas são de médio a grandes espessuras (≈ 3-25 metros), com preservação principalmente das foliações e outras estruturas, como as fraturas.

Neste material inconsolidado estão concentrado 2% de todos os eventos de MMG na área. Comparando sua área total com a quantidade de eventos ocorridos a freqüência de 30 eventos por km^2, que é um valor muito alto, devido a sua pequena expressão areal de 0,1 km^2, portanto, mostra que a freqüência em relação à área deve ser analisada com mais cuidado, pois este valor de 30 eventos por km^2 expressa uma situação não real de campo.

Ocorre percolação preferencial de água, devido às estruturas preservadas, em perfis saprolíticos mais fraturados.

Tabela 4.7. Resultados dos ensaios de laboratório realizados com materiais inconsolidados residuais de biotita gnaisse.

	SRMgp	SRJgp	Sgp
ρ campo(g/cm^3)	1,515 - 1,597	1,645 - 1,751	1,405 - 1,575
ρd campo(g/cm^3)	1,309 - 1,355	1,456 - 1,514	1,179 - 1,321
ρs (g/cm^3)	-	2,580	2,558
e	-	0,70 - 0,77	0,94 - 1,17
n(%)	-	41,98 - 43,56	48,34 - 53,89
Wm(%)	15,26 -15,73	10,50 - 15,65	18,95 - 21,05
θ (%)	-	17,55 - 23,69	23,95 - 29,15
Sr (%)	-	37,80 - 57,34	46,48 - 57,44
Φ(°)	37,5	41	32
C(kPa)	14,5	17,5	26,5
Φr(°)	32	42,5	32
Cr(kPa)	8	4,5	10
K_{20}(cm/s)	5,5E-04	1,1E-06	9,2E-04 - 1,4E-05
Pedregulho (%)	-	4	1
Areia (%)	-	68,5	69
Silte (%)	-	21	25
Argila (%)	-	6,5	5

Nota: **ρ** campo é a massa específica do solo, **ρd** campo é a massa específica seca do solo, **ρs** é a massa específica dos sólidos, **Wm** é a umidade gravimétrica, **θ** é a umidade volumétrica, **Φ** é o ângulo de atrito interno do solo, **C** é a coesão do solo, **Φr** é o ângulo de atrito residual do solo e **Cr** é a coesão residual do solo, **e** é o indice de vazios, **n** é a porosidade, **Sr** saturação, **K_{20}** é a condutividade hidráulica saturada a 20 ºC.

4.4.1.2 Migmatito

Os materiais inconsolidados residuais dos migmatitos são de fácil identificação em campo devido a singularidade deste horizontes principalmente quanto as estruturas migmatíticas preservadas. Os valores dos ensaios realizados em laboratório encontram-se na tabela 4.8

- *Residual Maduro (SRMm)*

Estes materiais inconsolidados são em geral de textura areno siltosa com vestígios de argila e pedregulho. Sendo sua distribuição granulométrica dada por: 2% de pedregulho, 76% de areia, 18% de silte e 4 % de argila, e

presença de grãos de quartzo angulosos. Predominantemente estes são de pequenas a medianas espessuras (0,8 a 7 metros).

Neste, se concentra 16% de todos os eventos de movimentos de massa gravitacionais na área. Comparando sua área total (4,1 km^2) com a quantidade de eventos ocorridos a freqüência é de 5,61 eventos por km^2, considerada alta.

- *Residual Jovem (SRJm)*

Estes materiais inconsolidados são de textura areno silto-argilosa. Com distribuição granulométrica dada por: 67% de areia, 21% de silte e 12% de argila, e grãos de quartzo angulosos. Predominantemente estes apresentaram pequenas espessuras (0,5 a 3 metros).

Neste material inconsolidado estão concentrados 15,7% de todos os eventos de movimentos de massa gravitacionais na área, e se comparado com sua área total (1,9 km^2) com a freqüência de 11,4 eventos por km^2, ocorrendo todos os tipos de eventos com exceção dos rolamentos.

- *Saprolitico (Sm)*

Estes materiais inconsolidados são de textura areno siltosa com vestígios de argila e pedregulho. Granulometricamente dada por: 0,5% de pedregulho, 84,5% de areia, 13% de silte e 2% de argila, e com grãos de quartzo angulosos e níveis cauliníticos formado do intemperismo dos feldspatos. Estes apresentam grandes variações de espessura (desde 0,8 a 30 metros), com preservação principalmente das estruturas migmatíticas (fig.4.17), possuindo variações de níveis biotíticos, geralmente na forma de lentes, menos resistentes.

Os principais eventos ocorridos foram escorregamentos translacionais em solo, sendo o saprolito o horizonte limítrofe da cicatriz. Sendo que esta unidade nunca aparece como material superficial na área de estudo.

Figura 4.17. Exemplo de horizonte saprolítico de migmatito.

Tabela 4.8. Resultados dos ensaios de laboratório realizados com materiais inconsolidados residuais de migmatito.

	SRMm	SRJm	Sm
ρ campo(g/cm^3)	1,345 - 1,413	1,284 - 1,406	1,229 - 1,367
ρd campo(g/cm^3)	1,247 - 1,297	1,073 - 1,132	1,212 - 1,272
ρs (g/cm^3)	2,720	2,919	2,569
e	1,10 - 1,18	1,58 - 1,72	1,02 - 1,12
n(%)	52,30 - 54,16	61,21 - 63,25	50,49 - 52,42
Wm(%)	7,87 - 9,92	19,66 - 26,12	11,17 - 12,75
θ (%)	9,82 - 12,61	22,67 - 29,12	13,73 - 17,73
Sr (%)	18,13 - 23,79	33,34 - 47,10	26,34 - 30,71
Φ(°)	42	45	34
C(kPa)	6,5	6,5	12
Φr(°)	39	42	32
Cr(kPa)	5,5	1	9
K_{20}(cm/s)	2,3E-05 - 3,0E-06	3,5E-04	2,9E-04
Pedregulho (%)	2	0	0,5
Areia (%)	76	67	84,5
Silte (%)	18	21	13
Argila (%)	4,5	12	2

4.4.1.3 Granito

Os materiais inconsolidados residuais são de difícil observação em campo devido à topografia íngreme, sendo este formado pelas rochas situadas nos topos das encostas.

- *Residual Maduro (SRMgr)*

Estes materiais inconsolidados são em geral de textura areno silto-argilosa com vestígios de pedregulho, e distribuição granulométrica dada por: 4% de pedregulho, 49% de areia, 25% silte, 22% de argila. Predominantemente apresentam espessuras medianas (≈3-10 metros), Condutividade hidráulica saturada variando entre 1,6x 10^{-6} a 3,7x10^{-7}cm/s. Sua massa especifica seca varia de 1,37 a 1,49 g/cm^3 e a massa especifica dos sólidos é de 2,755 g/cm^3. Seu índice de vazios variando de 0,85 a 1,04, porosidade de 46,02 a 50,95%. Quanto a resistência do material inconsolidado, apresentou ângulo de atrito interno de 32° e coesão de 31,5 kPa.

Cerca de 3% dos eventos de movimentos de massa gravitacionais. E com freqüência de 0,89 eventos por km^2.

- *Residual Jovem (SRJgr)*

Estes materiais inconsolidados são de textura areno silto argilosa com pedregulhos, grãos de quartzo angulosos, e granulometria fina (fig. 4.18). Predominantemente são de pequenas espessuras (0,3-2 metros). E apresentam alto grau de homogeneidade.

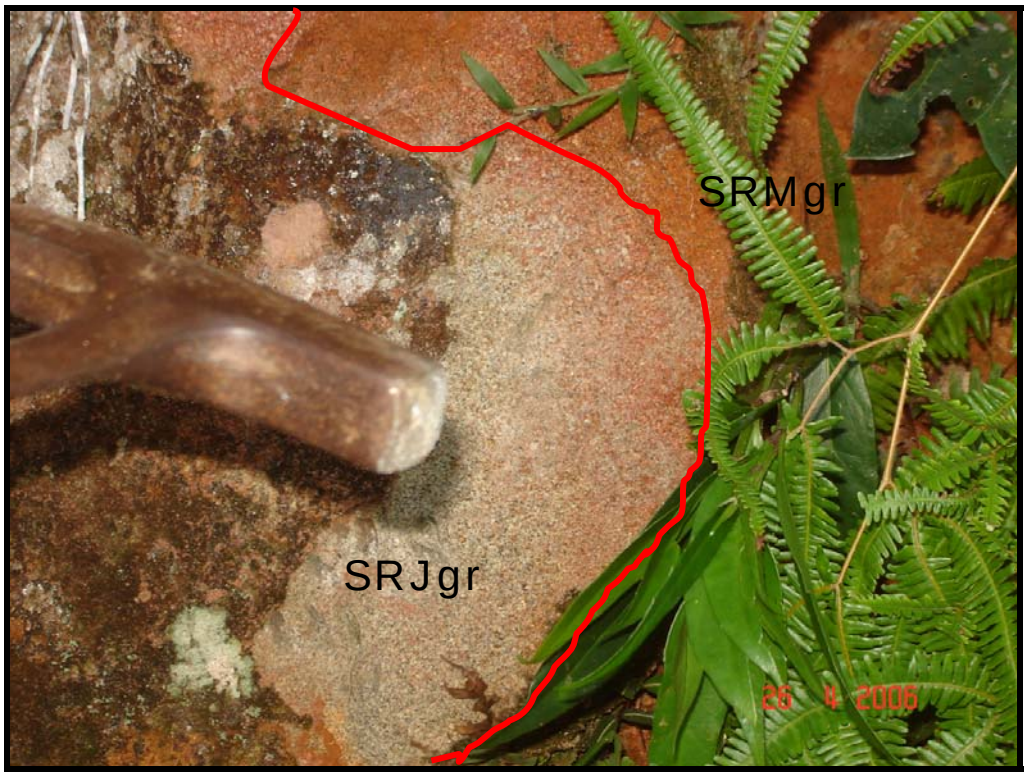


Figura 4.18. Exemplo de horizonte residual jovem de granito.

- *Saprolitico (Sgr)*

Estes materiais inconsolidados são de textura areno siltoso com argila, grãos de quartzo angulosos, de diâmetro mediano a grosseiro, blocos de granitos em matriz argilosa, possivelmente individualizados por famílias de fraturas que se interceptam. Predominantemente, são de médias espessuras (0,6-2,5 metros).

4.4.2 MATERIAIS INCONSOLIDADOS TRANSPORTADOS

- STTgr

São encontradas nas encostas na forma de talús com blocos arredondados de granito acinzentado, de textura areno argilosa com vestígios de pedregulhos e silte. Apresentam de médias espessuras com variações de 4

a 12 metros, e 3% de todos os movimentos de massa gravitacionais, e freqüência de 0,89 eventos por km^2.

- STTgp

São talús com blocos angulosos de biotita gnaisses, de textura areno siltosa com vestígios de argila e pedregulho. A distribuição granulométrica é dada por: 2% de pedregulho, 79,5% de areia, 15% de silte, 3% de argila. Com espessuras variando de 10 a 20 metros e, com grande variação de dimensões de blocos.

Ao redor de 15% de todos os movimentos de massa gravitacionais ocorrem associado, e com uma freqüência de 4,17 eventos por km^2.

- STTgg

Caracterizados por talús com blocos angulosos de migmatito, de textura areno argilo-siltosa com vestígios de pedregulho. A distribuição granulométrica é dada por: 1,5% de pedregulho, 61% de Areia, 17% de silte e 20,5% de argila, e apresentam espessuras com variações de 1,5 a 7 metros, e variação grande dimensão de blocos.

Ocorrem 7% de todos os movimentos de massa gravitacionais, e com uma freqüência de 1,79 eventos por km^2.

- STTm

São talús com mistura de blocos arredondados e angulosos de diferentes litologias, de textura areno argilo-siltosa com vestígios de pedregulho, com 1% de pedregulho, 49% de areia, 24% de silte e 26% de argila, espessuras variando de 3 a 10 metros e dimensões variadas de blocos.

Cerca de 7% de todos os movimentos de massa gravitacionais, gerando uma alta freqüência de 12,12 eventos por km^2. Sendo os principais tipos de movimentos de massa gravitacionais os rastejos e os rolamentos.

- STT/Carg

São talús com cobertura coluvionares, de textura argilo areno siltosa, de médias espessuras variando de 3 a 13 metros. E presença de blocos de dimensões medianas (≈ 1m de comprimento, 1,5m de largura , 0,7m de altura).

Apenas 1% de todos os movimentos de massa gravitacionais estão associados, e tem-se a freqüência de 1,54 eventos por km^2.

- STCarg

São formados por material coluvionar, de textura argilo areno silto arenosa, de espessuras médias de 20 metros. Não foi registrado nenhum evento de movimento de massa nestes tipos de materiais inconsolidados.

- Colúvio-Aluvionar

Depósitos de planície de inundação constituídas por areias feldspáticas, bancos e lentes de argila e níveis de cascalho.

A tabela 4.9 mostra características geotécnicas de alguns materiais inconsolidados transportados, obtidos em ensaios de laboratório.

Tabela 4.9. Resultados dos ensaios de laboratório realizados com solos transportados.

	STTgg	STTm	STTgp
ρ campo(g/cm^3)	1,522 - 1,760	1,641 - 1,781	1,340 - 1,606
ρd campo(g/cm^3)	1,319 - 1,508	1,265 - 1,362	1,204 - 1,418
ρs (g/cm^3)	2,843	2,816	2,779
e	0,88 - 1,15	1,07 - 1,23	0,96 - 1,31
n(%)	46,94 - 53,59	51,64 - 55,69	48,97 - 56,67
Wm(%)	15,35 - 15,32	29,80 - 31,58	10,79 - 13,28
θ (%)	20,26 - 27,31	39,73 - 48,71	13,75 - 18,84
Sr (%)	37,80 - 53,70	68,40 - 81,19	23,91 - 38,46
Φ(°)	27	26	-
C(kPa)	34	48	-
Φr(°)	34	37	-
Cr(kPa)	13	9	-
K_{20}(cm/s)	7,4E-07	5,6E-07	5,4E-04
Pedregulho (%)	1,5	1	2
Areia (%)	61	49	79,5
Silte (%)	17	24	15
Argila (%)	20,5	26	3

Os gráficos das figuras 4.19 e 4.20 mostram a relação dos movimentos de massa gravitacionais (MMG) com os materiais inconsolidados, sendo que a figura 4.19 apresenta a freqüência de eventos para cada material inconsolidado em relação ao total de eventos e a figura 4.20 apresenta a freqüência de eventos por km^2 de material inconsolidado.

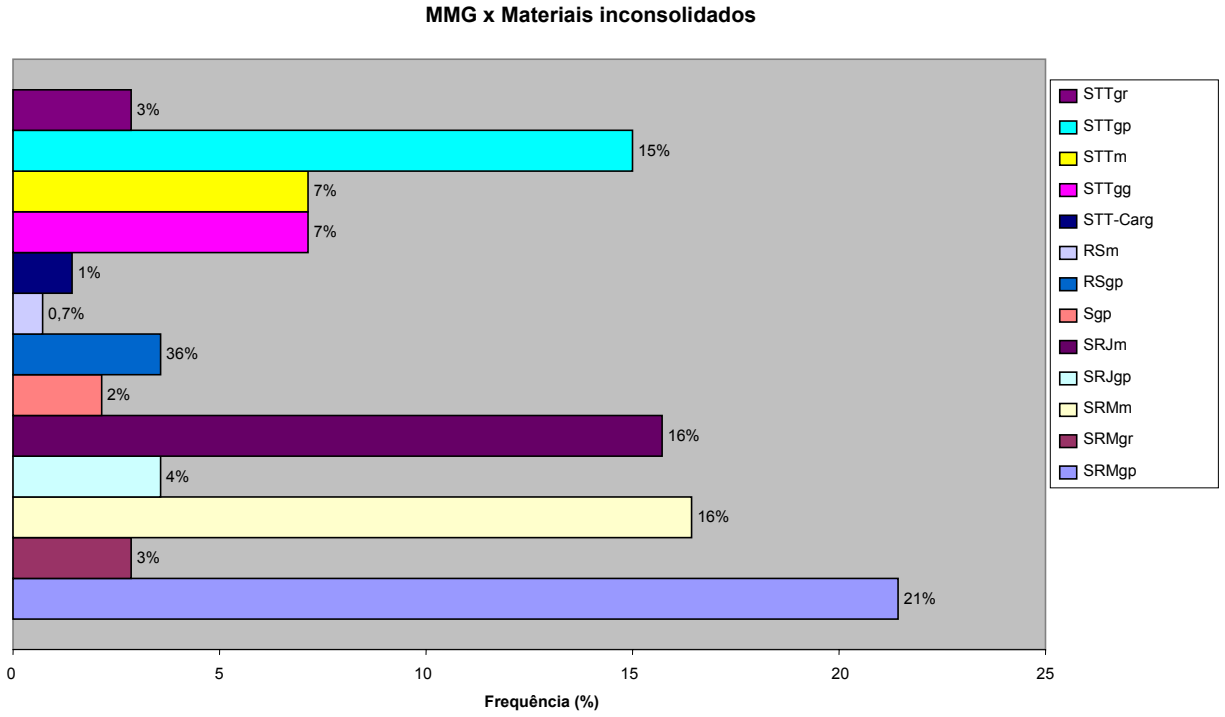


Figura 4.19. Freqüência de eventos em cada material inconsolidado em relação ao total de eventos.

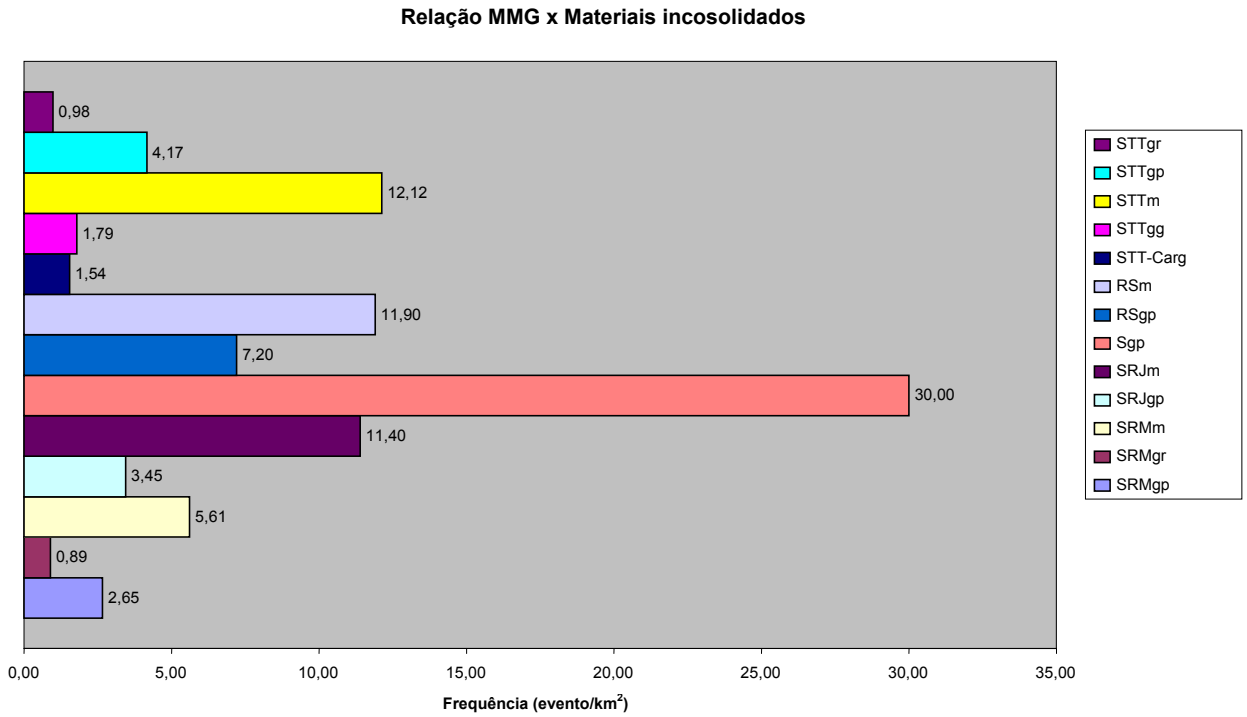


Figura 4.20. Freqüência de eventos por km^2 de material inconsolidado.

4.5 CARTA DE DECLIVIDADE

Inicialmente foi gerada uma carta de declividade com 9 classes com intervalo de 10°, variando de 0-90. Após avaliada a freqüência das classes foi elaborado uma segunda carta de declividade com 6 classes variando de 0 a >50º, com intervalo de 10º (Anexo IV). A maioria das encostas está dentro da classe de 10-20º, seguido da classe de 20-30º. E os eventos de movimentos de massa gravitacionais distribuem-se segundo o gráfico da figura 4.21, que corresponde a freqüência de eventos em cada classe de declividade. Sendo a classe de 20-30º a classe de maior freqüência com 39%, seguido da classe de 30-40º com 24%.

Os escorregamentos translacionais em solo, em sua maioria (54,4%), ocorrem em declividade de 20-30º, seguida de classe de 30-40º com 28,1% (figura 4.22). As quedas estão quase que divididas entre as classes de 40-50º e de 50-60º, ambas com 43%. Os rolamentos estão em sua maioria na classe de 20-30º (42,4%). Os escorregamentos translacionais em rocha apresentam-se divididos igualmente nas classes de 20-30º, 30-40º e 40-50º. Os escorregamentos de solo e rocha apresentam-se com maior freqüência nas classes 30-40º e 40-50º, respectivamente, 31,6% e 36,8%. Os rastejos em sua maioria estão na classe de declividade de 10-20º (70%) e de 20-30º. Os fluxos estão em sua maioria na classe de 40-50º (66,7%) e de 30-40º.

Apenas o escorregamento translacional em solo e rocha apresentou eventos em declividades acima de 60º

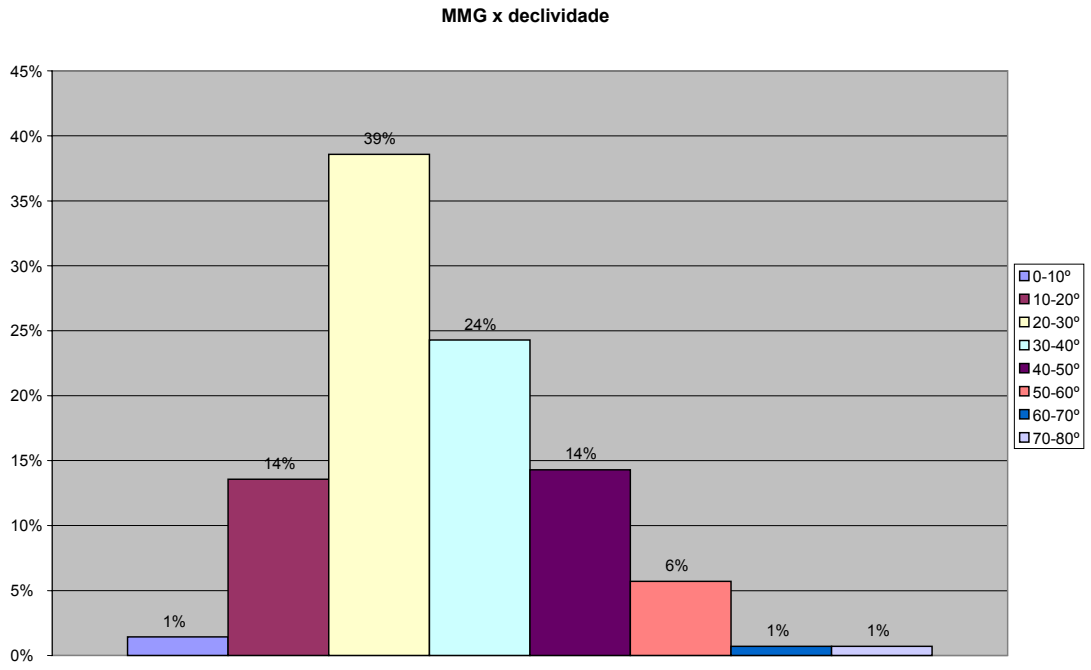


Figura 4.21. Freqüência de eventos em cada classe de declividade, em relação ao total de eventos.

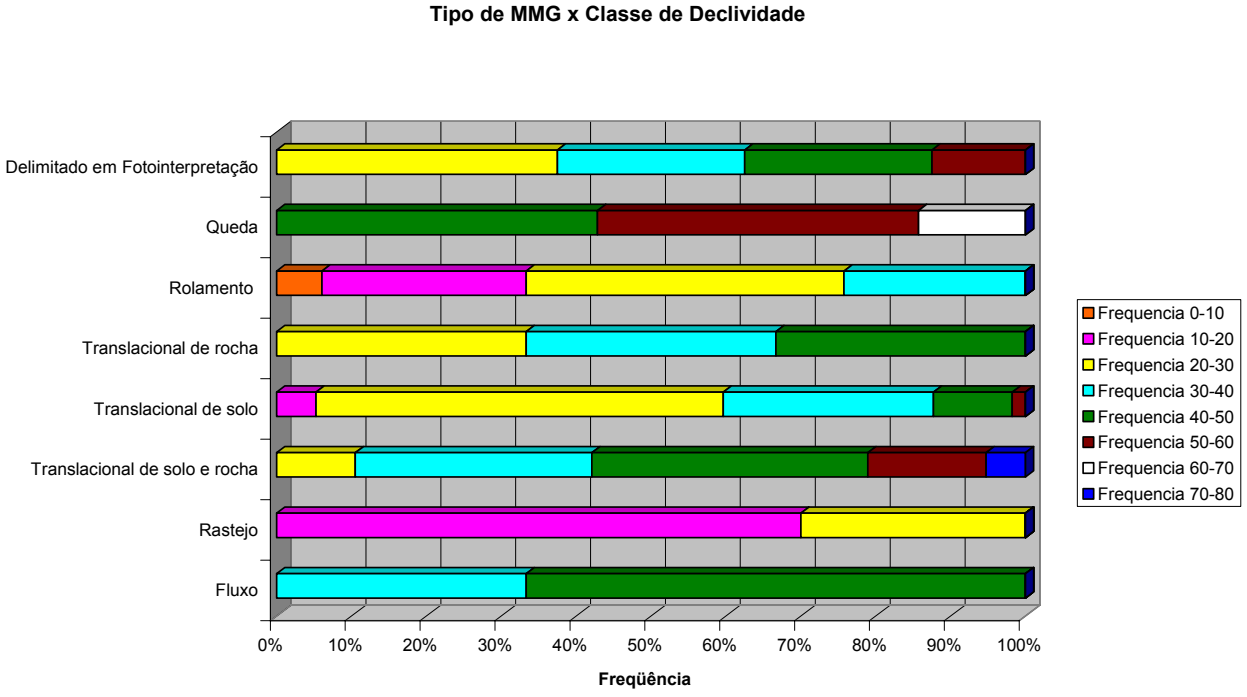


Figura 4.22. Relação tipo de evento versus classe de declividade.

4.6 DIREÇÃO DO MERGULHO DO TALUDE

Este mapa (Anexo V) foi gerado com 9 classes (plano, norte, sul, leste, oeste, sudeste, sudoeste, nordeste, noroeste). Verifica-se que a maioria das encostas pertencem as classes sul e sudeste, assim como a maioria dos movimentos de massa gravitacionais, 27% e 39% (figura 4.23), respectivamente.

As quedas estão divididas entre as classes de S e SE, com 14% a mais de faces para S. Os escorregamentos translacionais em solo em sua maioria (45,6%) ocorrem em classes de face para SE (figura 4.24). Os rolamentos estão em sua maioria na classe SE (57,6%). Os escorregamentos translacionais em rocha apresentam-se divididos entre S e SE, com vantagem de 33,4% para o primeiro. Os escorregamentos de solo e rocha apresentam-se com maior freqüência na classe S (57,9%). Enquanto os rastejos estão na classe S (80%) e na SW. Os fluxos apresentam-se divididos igualmente nas classes S, E e SE. Apenas os eventos delimitados em fotointerpretação apresentam uma freqüência alta de faces voltadas para NW, N e E, respectivamente, 50%, 37,5% e 12,5%.

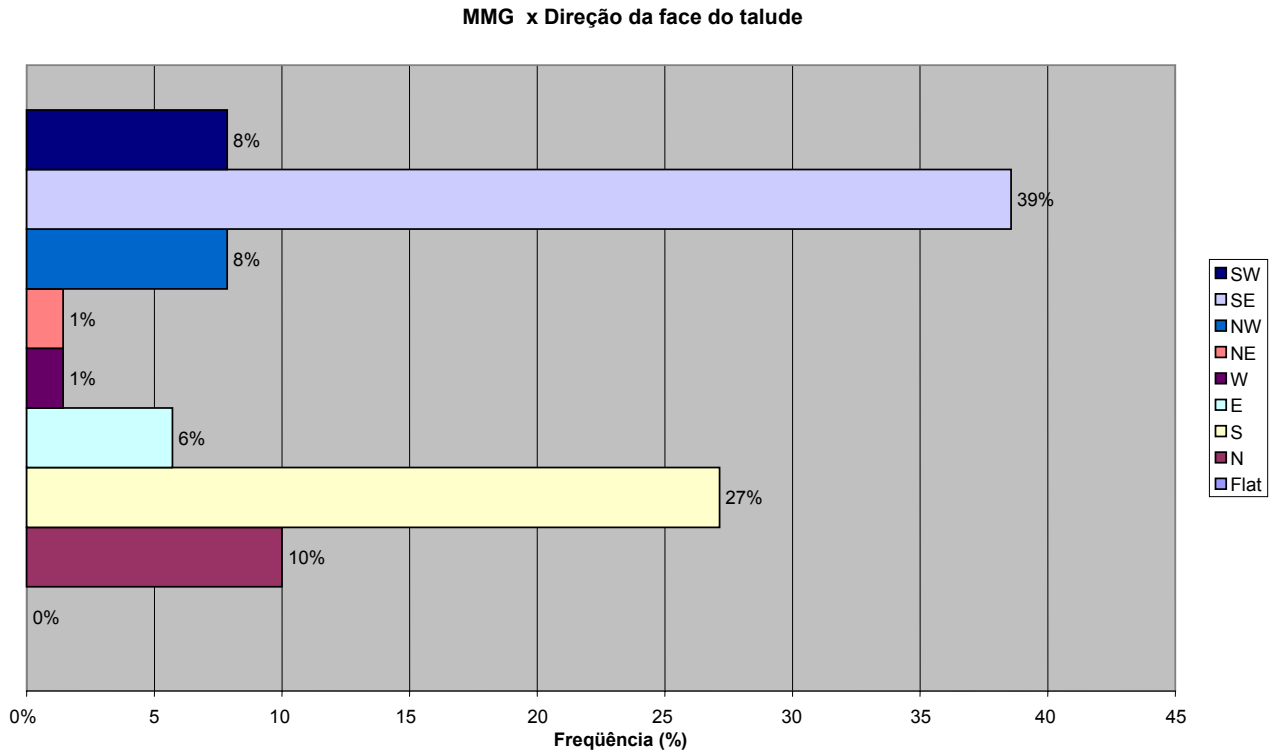


Figura 4.23. Freqüência de eventos em cada direção de face de talude, em relação ao total de eventos.

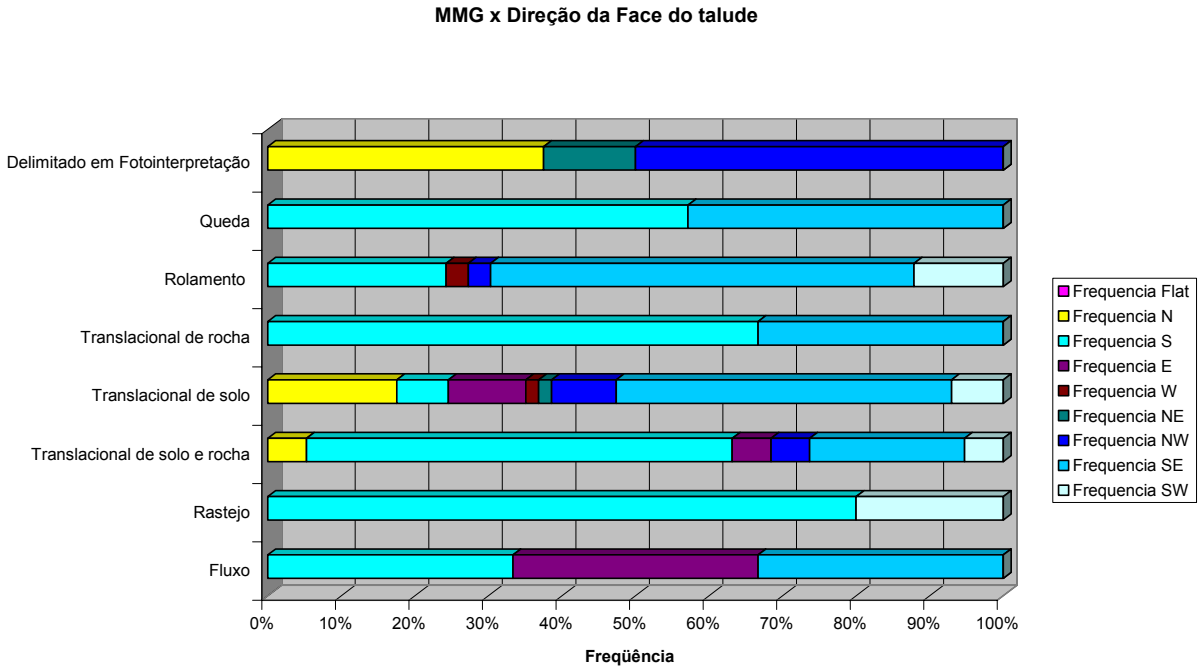


Figura 4.24. Relação tipo de evento versus classe direção de face do talude.

4.7 USOS

Foram individualizadas 6 classes de uso (Anexo VI): área industrial, com 1,5km^2, área urbana, com 9,1km^2, cultivo de banana, com 0,9km^2, mineração, com 0,07km^2, pastagem , com 8,8km^2 e Mata Atlântica, com 41,3km^2.

A grande maioria dos movimentos de massa gravitacionais ocorre em áreas de Mata Atlântica (71%), 22% ocorrem em pastagens e 7% em áreas urbanas. Dos eventos ocorridos em pastagem, o que se destaca é o escorregamento translacional em solo com 43,9% (figura 4.25).

Em termos de influência antrópica, cerca 49% dos eventos de movimentos de massa gravitacionais ocorrem, aparentemente, sem influência antrópica (figura 4.26), e que dente os usos o maior destaque é a Rodovia Rio-Santos com 27% dos eventos. Esta é uma informação importante tendo em vista que a rodovia Rio-Santos esta sendo ampliada neste ano (segundo comunicação verbal com comerciantes locais e topógrafos já trabalhando nas áreas marginais a rodovia) no trecho compreendido na área de estudo.

Com o avanço das plantações de banana cada vez mais crescente na região há um aumento da susceptibilidade de ocorrência de eventos de movimentos de massa gravitacionais, devido a este tipo de espécie produzir raízes muito superficiais aumentando a capacidade de infiltração da água no solo.

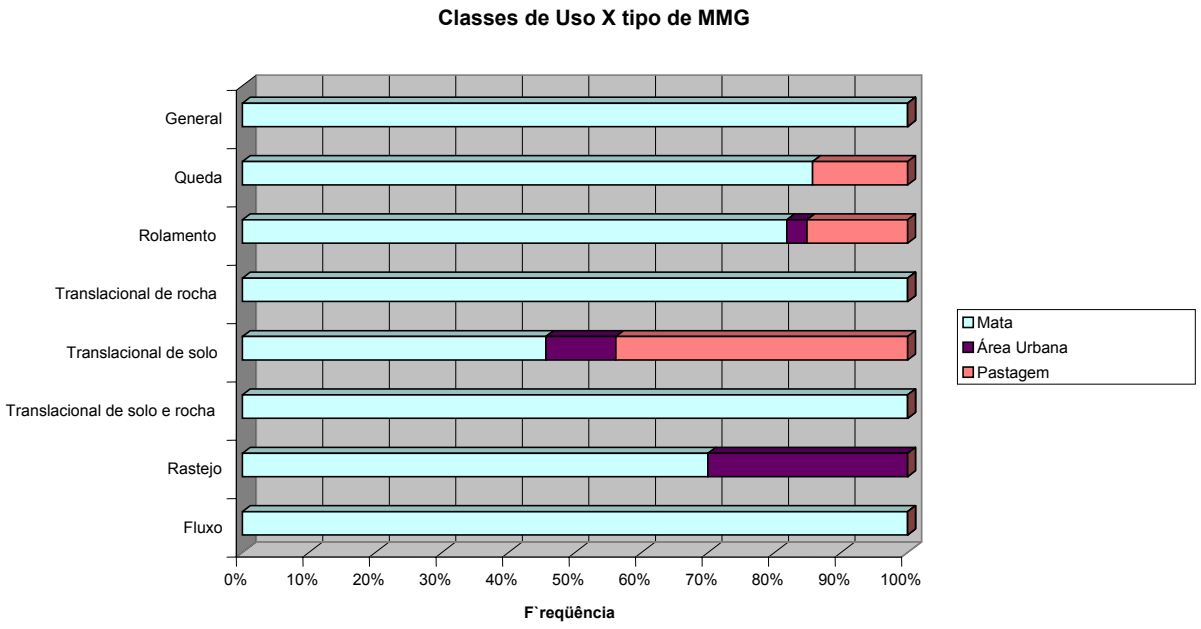


Figura 4.25. Relação de tipos de movimentos de massa gravitacionais com as classes de Uso do Solo.

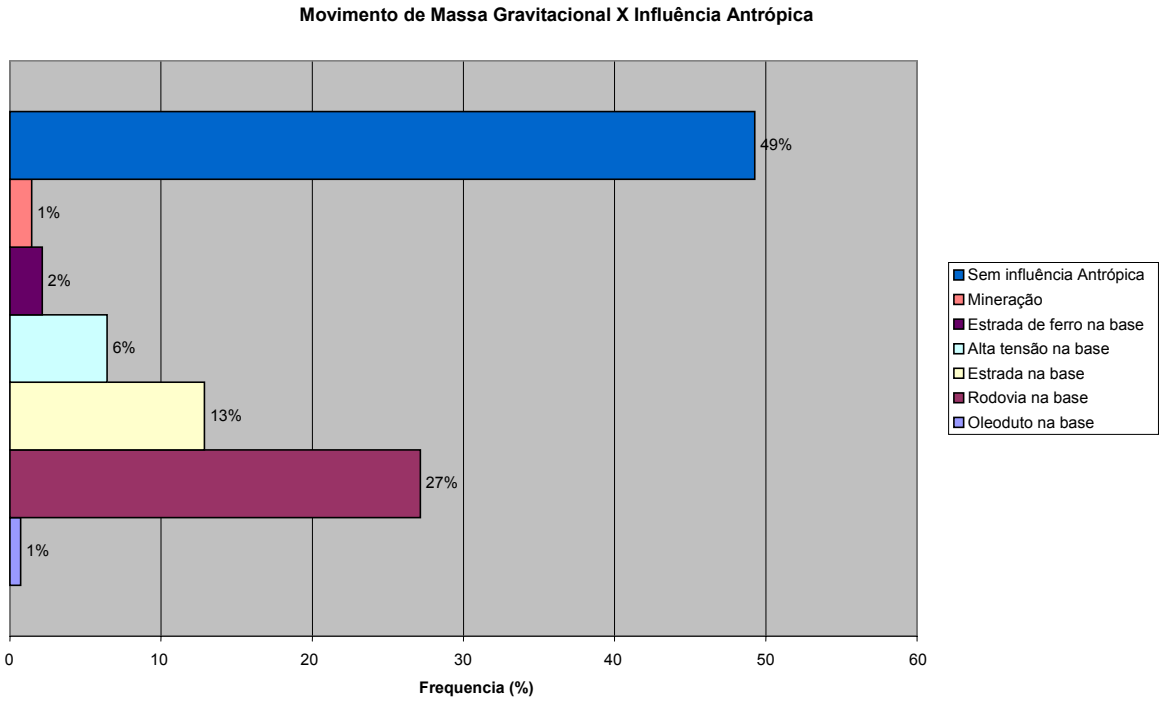


Figura 4.26. Relação de movimentos de massa gravitacionais com Influencia Antrópica.

4.8 DADOS DE CHUVA

Está localizada na região de estudo uma estação meteorológica e um pluviógrafo. A estação meteorológica encontra-se nos distritos de Coroa Grande (Itaguaí), sobre os cuidados da ANA (Agencia Nacional de Água), e a estação pluviométrica situada no KM 48 da faixa de oleoduto da PETROBRAS, sobre os cuidados do CENPES/PETROBRAS. Os registros do pluviógrafo não foram possíveis de serem obtidos devido a problemas burocráticos.

Os registros da estação metereológica são diárias, em um intervalo de leituras de 1989 a 2006 (figura. 4.27).

Analisando os dados de chuvas, em um intervalo de 17 anos (abril 1989 a abril de 2006) registrou-se uma variação de chuva acumulada anual entre 1642 mm e 2618 mm.

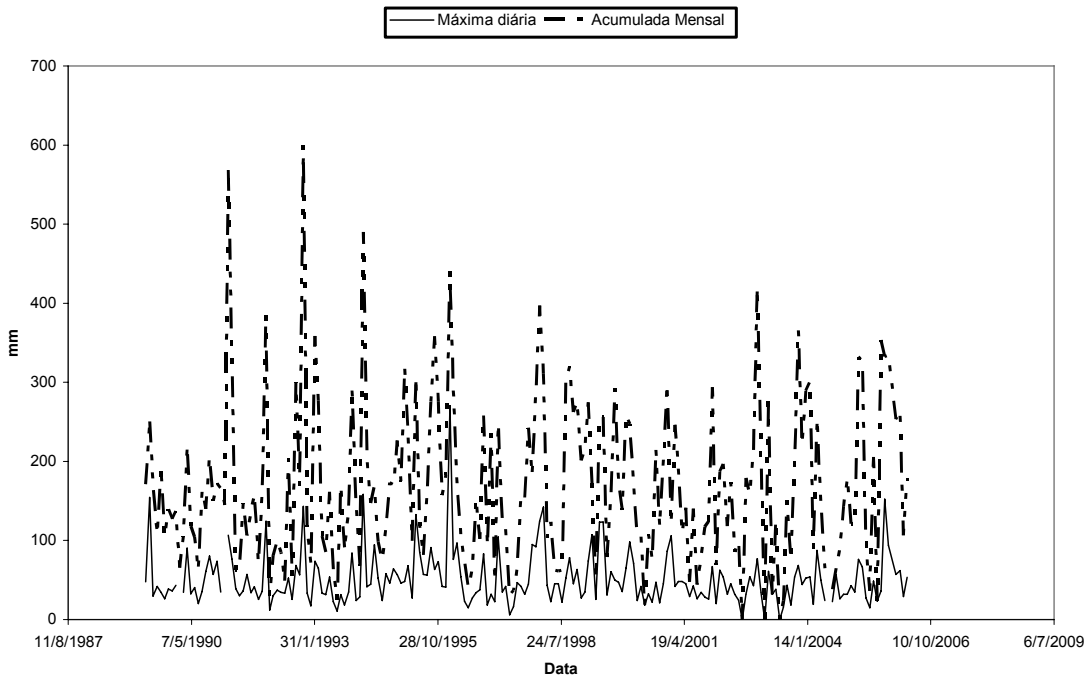


Figura 4.27. Registro de chuvas mensais estação Coroa Grande (Fonte ANA).

O município do Rio de Janeiro tem implantado o sistema de “Rio Alerta” baseado no mesmo critério de Tatizana et al. (1987a,b) e proposto por D’orsi et

al. (1997). Este primeiro estudo relaciona precipitações diárias e horárias com eventos de MMG registrados na Serra do Mar, em Cubatão. E o segundo foi feito baseado no modelo de Tatizana, mas com base nos eventos ocorridos no Rio de Janeiro, considerando os dados de chuva diários e acumulados de 4 dias (96 horas), a partir deste, foi obtido 28 casos de chuvas em 17 anos de registros de chuva (figura . 4.28) que ultrapassam o limite de ruptura. Estes eventos são listados na tabela 4.10.

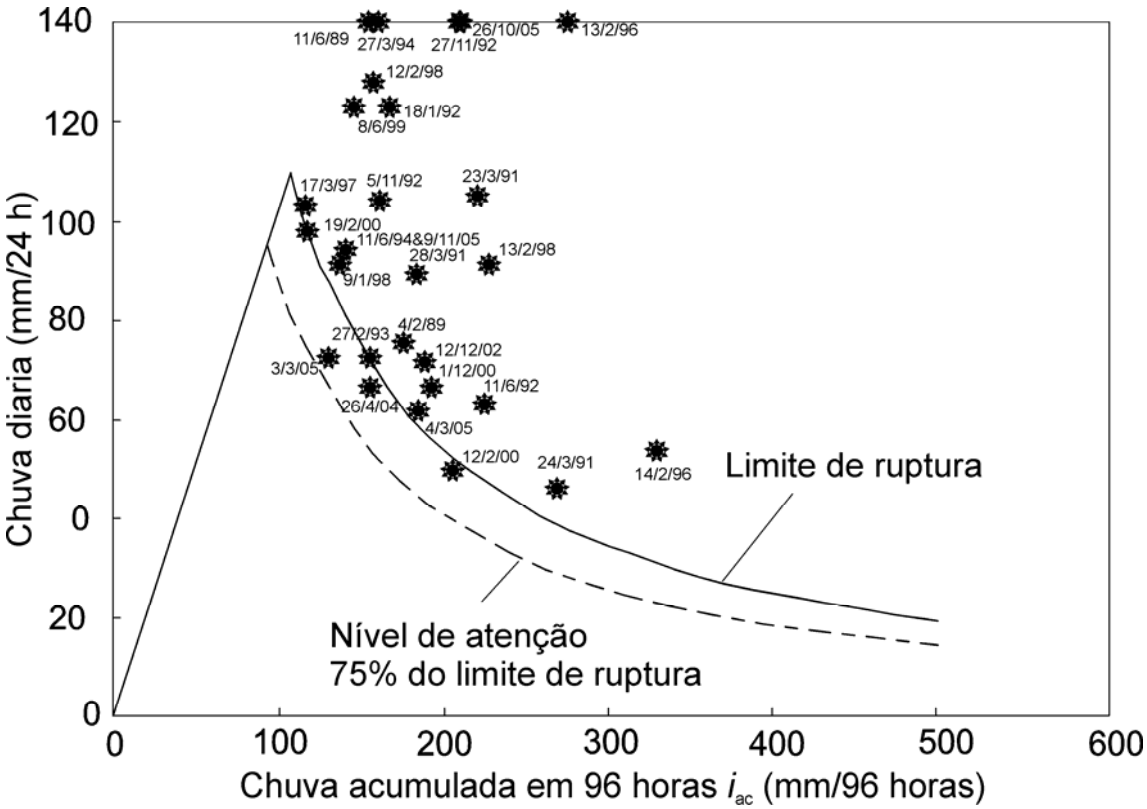


Figura 4.28. Registro de chuvas da estação Coroa Grande que ultrapassaram o limite de chuvas críticas proposto por D'orsi et. al. (1997).

Tabela 4.10. Valores de eventos acima dos limites propostos por D'orsi et. al. (1997).

Dia	Chuva (mm/24h)	Chuva Acumulada (mm/96h)	Dia	Chuva (mm/24h)	Chuva Acumulada (mm/96h)
11/06/1989	154	154	17/03/1997	104	116
02/04/1991	76	175	09/01/1998	92	137
23/03/1991	106	219	13/02/1998	92	227
24/03/1991	48	268	12/02/1998	129	157
28/03/1991	90	183	08/06/1999	123	145
18/01/1992	124	167	19/02/2000	98	113
05/11/1992	105	161	01/12/2000	67	192
06/11/1992	64	223	02/12/2000	51	205
27/11/1992	143	209	12/12/2002	73	188
27/02/1993	73	145	26/04/2004	67	155
27/03/1994	158	160	04/03/2005	62	184
11/06/1994	94	140	03/03/2005	76	130
13/02/1996	270	274	09/11/2005	94	140
14/02/1996	54	328	26/10/2005	152	210

Analisando os registros de chuva quanto aos valores diários de chuva e o numero de dias que chovem mensalmente, foi verificado que entorno de 5% das chuvas diárias estão acima de 60 mm e que 31% dos meses choveram mais que 10 dias.

Outra característica marcante das chuvas na área de estudo é o elevado número de dias consecutivos de chuva. Onde o maior número de dias registrado foi um evento de 20 dias consecutivos (3/1996), seguido de dois eventos de 18 dias consecutivos (3-4/1991, 11-12/1997). Estas chuvas mesmo sendo de baixa intensidade infiltram-se na sua totalidade no solo e provocam uma diminuição significativa aos parâmetros de resistência do solo, como a coesão. Esta afirmativa pode ser comprovada com a realização de ensaios de cisalhamento direto com amostra em umidade natural de campo e inundada. Como um exemplo apresenta-se um material inconsolidado residual de biotita gnaisse com umidade gravimétrica de 19,57% que apresentou um valor de coesão de 26,5 kPa e um valor de ângulo de atrito interno de 32°, em

condições de campo e, quando inundada a amostra apresentou uma umidade gravimétrica de 45,56% houve uma queda da coesão para 13 kPa e seu ângulo de atrito interno foi de 31°. Apesar de parecer pequena a perda de coesão, é o suficiente para condição de instabilização.

4.9 FEIÇÕES

Foram identificadas e caracterizadas 140 feições de movimentos de massa gravitacionais (Anexo X) sendo: 3 fluxos, 10 rastejos, 19 escorregamentos translacionais de solo e rocha, 33 pontos de rolamento, 57 escorregamentos translacionais em solo, 7 pontos de quedas de blocos, 3 escorregamentos translacionais em rocha e 8 escorregamentos só possíveis de serem identificados em fotografia aérea devido a falta de acesso. Obtendo-se relação de 3,16 eventos por km^2, quando considera-se somente a área de encosta de 41,3 km^2.

Cada evento foi caracterizado segundo os seguintes atributos (Anexo VII): localização, forma da encosta, classificação, posição no *landform*, comprimento, largura, profundidade, posição de parada do material mobilizado ou deslocado, material envolvido, superfície de ruptura, condição antrópica, área, declividade, volume mobilizado, litologia, aspecto (direção da face do Talude), material inconsolidado, altitude e uso do solo.

Em termos de área (figura 4.29), cerca de 46,5% dos eventos possuem menos que 50m^2, e que existem mais escorregamentos com áreas entre 100-1000m^2(25%) que escorregamentos com áreas entre 50-100(16%), sendo ente último quase comparável com eventos maiores que 1000m^2(11%) de área.

Em termos de volume de material mobilizado 36,8% dos movimentos de massa gravitacionais mobilizam menos de 50m^3. E que ocorrem mais MMG que mobilizam valores acima de 1000m^3(23%) que as classes intermediárias entre 100 e 50m^3 (figura. 4.30).

Os rastejos, as quedas e os rolamentos foram retirados da análise de área e volume de movimentos de massa gravitacionais, porque são difíceis de serem definidos nos casos de rastejos e nos casos das quedas e rolamentos estes teriam que ser analisados em termos de blocos de rocha.

Analisando as altitudes constatou-se que a grande maioria concentra-se entre as cotas 0-100m (46%), sendo que os escorregamentos translacionais em solo concentram-se mais na classe de 0-100m (73,7%), devido à contribuição dos eventos relacionados a influência da Rodovia Rio-Santos. As quedas surgem em maior número nas altitudes de 300-500 (42,9%), que são as elevações correspondentes aos paredões rochosos presentes na área associados a fraturas e falhas. Os rolamentos como previsto encontram-se em maior número nas classes mais baixas (42,4%). Os escorregamentos translacionais em solo e rocha apresentam-se bem distribuídos nas classes de elevações baixas e médias (entre 100 e 500m). Os rastejos em sua maioria ocorrem em cotas entre 0-100m (60%). Enquanto fluxos, em 66,7% (figura. 4.31) dos casos iniciaram-se em cotas elevadas (700-900m).

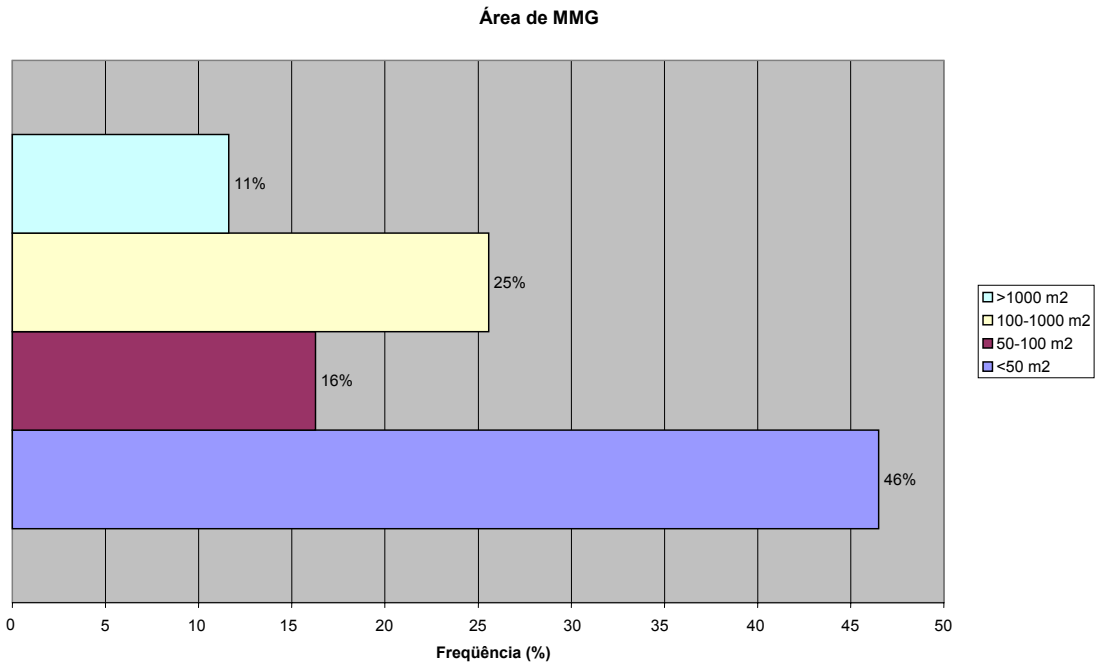


Figura 4.29. Freqüência de áreas de movimentos de massa gravitacionais.

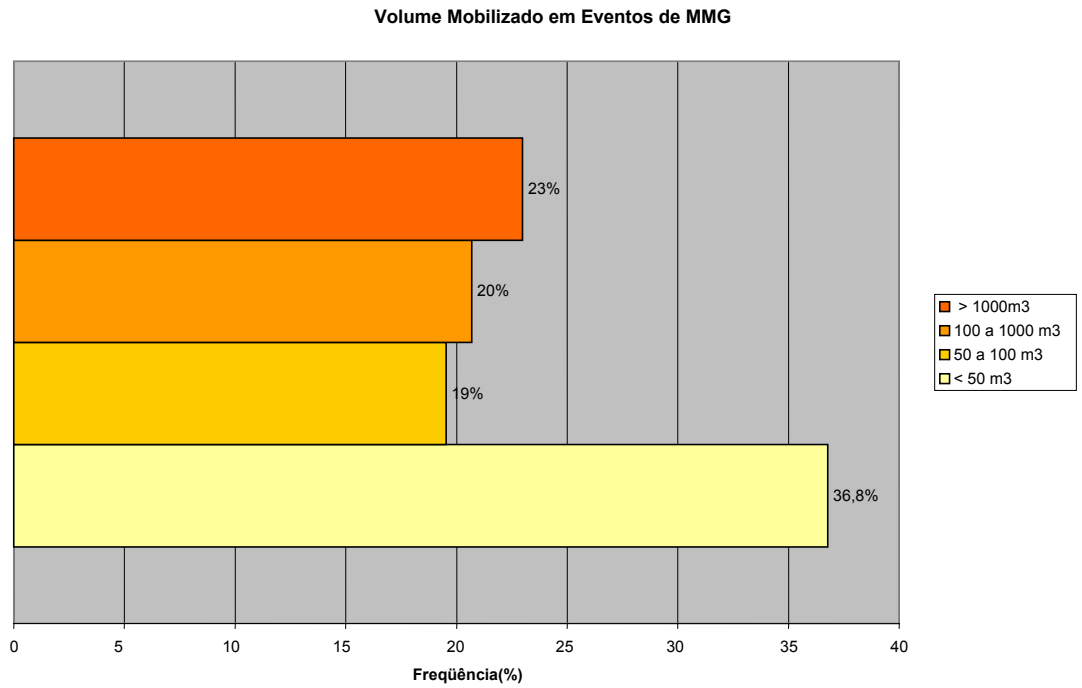


Figura 4.30. Freqüência de Volume material mobilizado em movimentos de massa gravitacional.

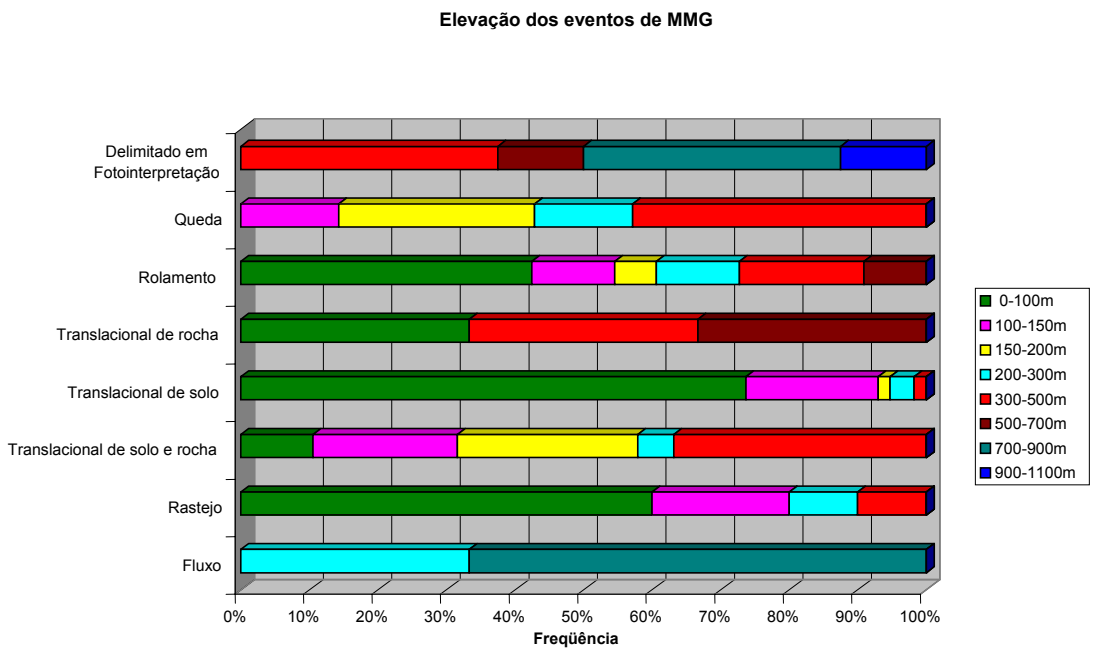


Figura 4.31. Freqüência Elevação dos diferentes tipos de MMG presentes na área de estudo.

4.9.1 MECANISMOS DE RUPTURA

- *Fluxo*

Estão associados a escorregamentos translacionais de rocha e solo em elevadas altitudes, facilmente identificados em campo devido à abertura de clareiras, na Mata Atlântica, de grande porte (fig. 4.32), ocasionada pela passagem de detritos encosta abaixo. À medida que o material escoa vai agregando mais partículas, assim aumentando o volume de massa mobilizada.

- *Rolamentos*

Estão associados a um padrão de fraturamento ortogonal a linha de costa, que associado a foliação local individualiza os blocos e estes se

desprendem das encostas rochosas em queda seguido de rolamento (fig. 4.33).

- Rastejos

Estão associados a declividades entre 20-30º, principalmente na média/baixa encosta. Em alguns pontos estão invadindo a rodovia (fig. 4.34), e em sua maioria ligados a encostas de Tálus.

Figura 4.32. Exemplo de fluxo.

Figura 4.33. Exemplo de rolamento.

Figura 4.34(continua). Exemplos de indícios de rastejo na área de estudo.

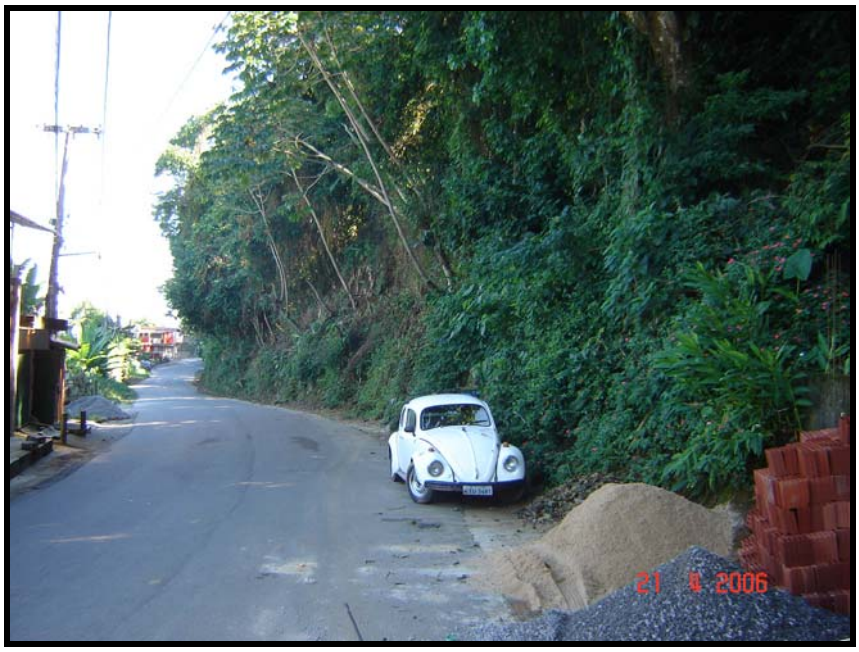


Figura 4.34(conclusão). Exemplos de indícios de rastejo na área de estudo. Nas duas últimas fotos a e b mostra o avanço do processo de rastejo (árvore tombada) em um período de 4 meses.

- *Quedas*

Estão associados às *sheet joints*, principalmente nas biotitas gnaisses que com a foliação individualizam blocos, e às foliações esferoidais, em partes mais homogêneas que são principalmente os migmatitos na área de estudo (fig.4.35). Em eventos de chuvas há uma diminuição da resistência

(principalmente coesão e ângulo de atrito), devido à infiltração da água nas fraturas e nas estruturas de foliação esferoidal.

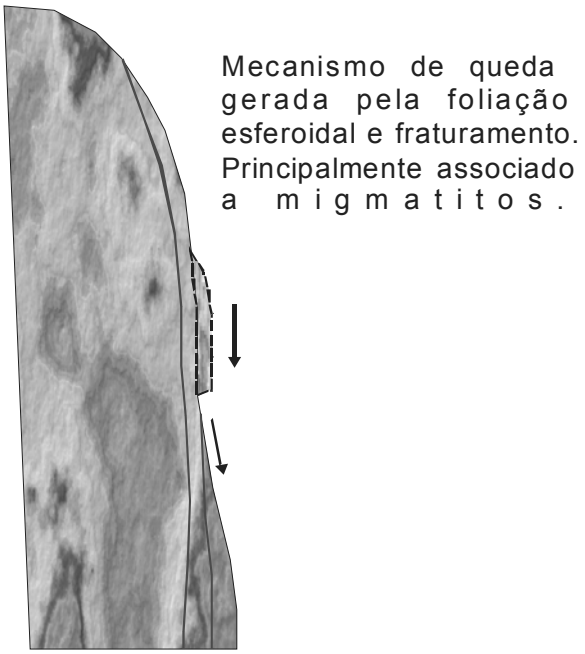


Figura 4.35. Ilustração do sistema de quedas associados às esfoliações esferoidais.

- *Escorregamentos Translacionais de Solo e Rocha*

O aumento de sobrecarga causado pela vegetação de grande porte e intemperismo no maciço rochoso, geram uma diminuição na resistência da rocha, que aliada as *sheet joints* (fig. 4.36) criam uma superfície preferencial de deslocamento (fig.4.37, 4.38).

Figura 4.36. Afloramento com estruturas de *Sheet Joints*.

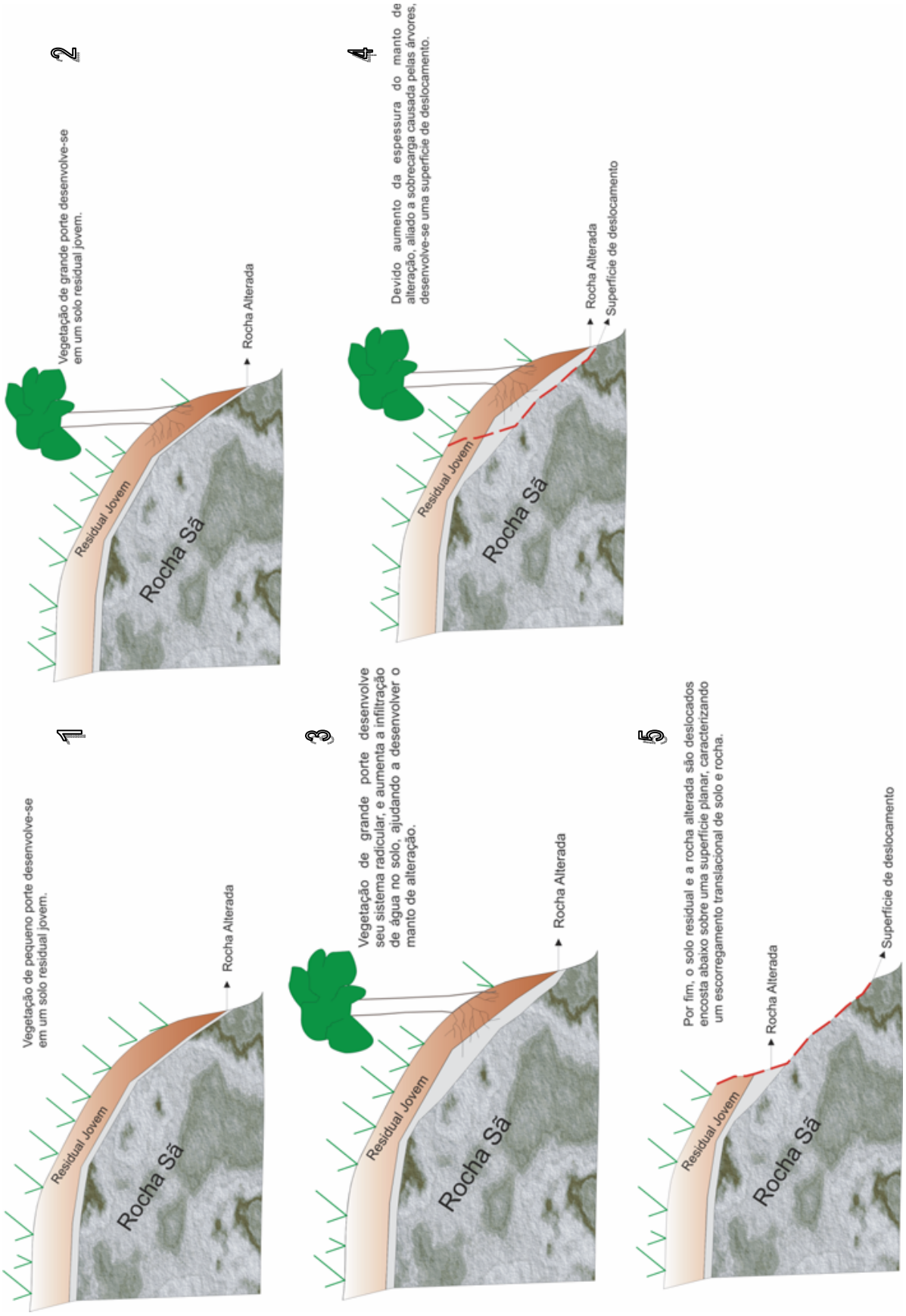


Figura 4.37. Ilustração do mecanismo de escorregamento translacional em solo e rocha ocorrido na área de estudo.

Figura 4.38. Exemplo de escorregamento translacional de solo e rocha.

- Escorregamentos Translacionais de Solo

O mecanismo está associado principalmente a interferência antrópica , seja em bermas de equilíbrio projetadas inadequadamente, seja devido a cortes na base do talude. O escorregamento inicia com uma superfície de ruptura circular, devido à homogeneidade do material residual maduro superficial, e progride para uma superfície planar quando encontra uma camada mais resistente, que é o horizonte saprolítico (fig. 4.39, 4.40).

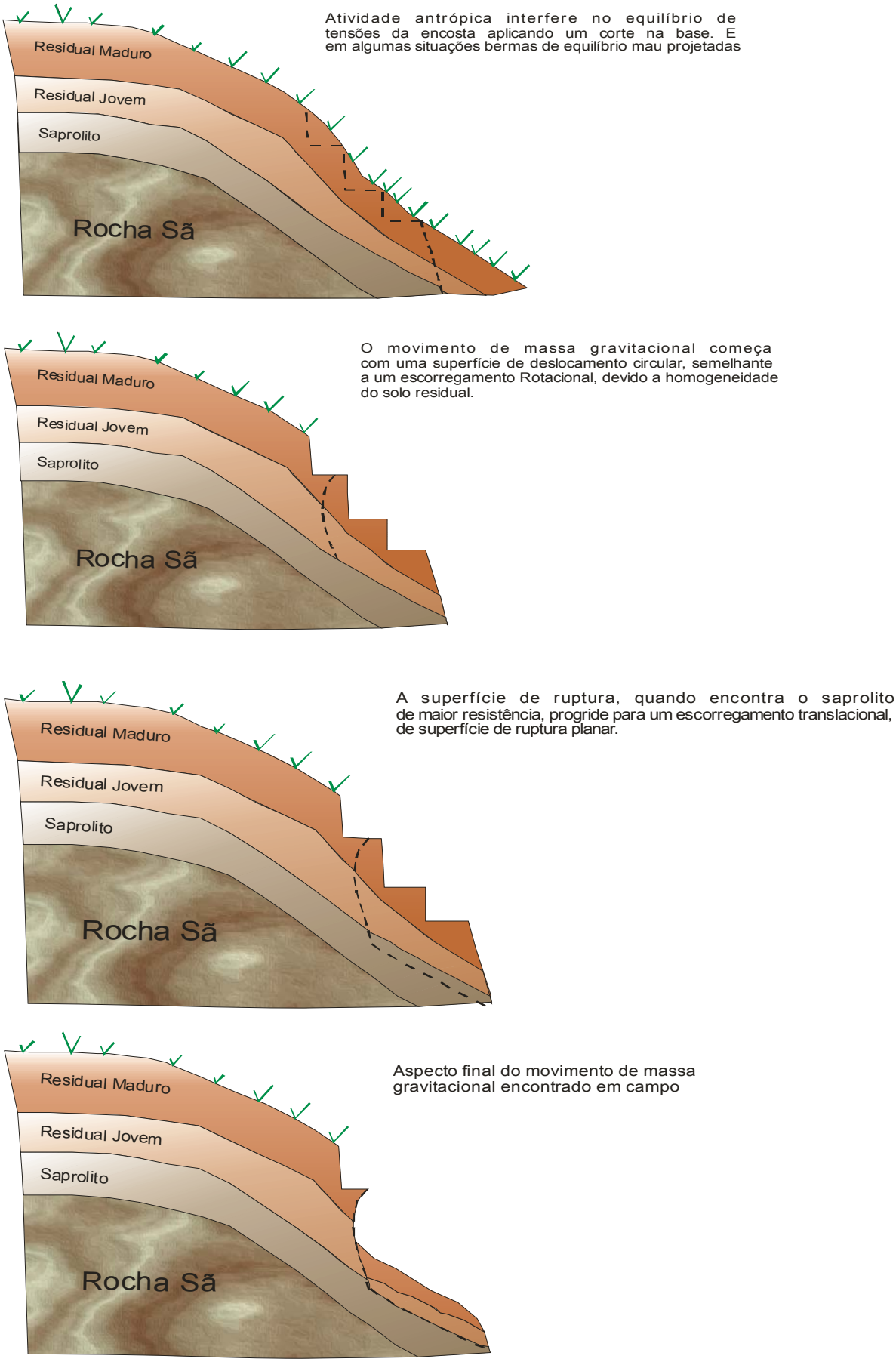


Figura 4.39. Ilustração do mecanismo de escorregamento translacional em solo.

Figura 4.40. Exemplo de escorregamento translacional em solo.

4.10 ZONEAMENTO GEOLÓGICO–GEOTÉCNICO DE ATRIBUTOS PREDISPONENTES A OCORRENCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

Após reunir e analisar todos os atributos foi definida uma área básica de unidade com base na sobreposição do mapa de forma da encosta e materiais inconsolidados. Estes foram selecionados devido à importância que evidenciaram. E em cada unidade foram analisados as formas das encostas, os materiais inconsolidados, as declividades, as direções dos mergulhos das faces dos taludes, as altitudes e as influências antrópicas.

Foi elaborado um mapa com 4 classes. As classes foram definidas os seguintes critérios:

⇒ Unidade Preta – apresenta mais que 3 atributos com alta freqüência de movimentos de massa gravitacionais, sendo que obrigatoriamente os materiais inconsolidados e a forma da encosta devem estar dentro das classes de alta freqüência de ocorrência de eventos.

⇒ Unidade Vermelha – apresenta de 2 a 3 atributos com alta freqüência, sendo obrigatório á presença de materiais inconsolidados ou forma de encosta de altas freqüências de ocorrência de eventos.

⇒ Unidade Verde – apresenta 1 atributo de alta freqüência ou/e atributos de média freqüência de ocorrência de eventos.

⇒ Unidade Branca – apresentam atributos de baixíssima freqüência de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais.

As classes de altas freqüências encontradas, e que foram utilizadas para caracterizar as Unidades anteriormente mencionadas podem ser visualizadas na tabela 4.11.

Tabela 4.11. Classes de atributos de alta freqüência de eventos.

Materiais Inconsolidados	Forma da Encosta	Declividade	Altitude	Aspecto	Influência Antrópica
SRMgp	RET-CNC	20-30°	0-100m	SE	Rodovia
SRMm	RET-RET	30-40°	100-150m	S	Alta Tensão
SRJm	CNC-CNC	40-50°	300-500m	N	
STTgp	RET-CNV	10-20°	150-200m	NW	
STTm					
STTgg					

Depois de realizado o zoneamento foi feito uma validação com base no inventário de movimentos de massa gravitacionais.

Foram individualizadas 371 unidades (Anexo VIII) a partir da combinação dos diferentes materiais inconsolidados com as diferentes formas da encostas. Sendo que a maioria das unidades encontram-se dentro da classe preta perfazendo 44,7% de todas as unidades, seguida da unidade vermelha com 40,7 % das unidades, que é a classe de alta predisposição.

- Unidade Branca

Esta unidade é caracterizada por planícies colúvio aluvionares-marinhas, ou seja, é uma unidade não sujeita a estes eventos. E por conseqüência esta apresenta atributos sem freqüência de movimentos de massa gravitacionais, e ocupa 19 km^2. Por outro lado é receptora de todos materiais geológicos deslocados das encostas

- Unidade Verde

Esta classe apresenta 53 unidades. Estas unidades juntas perfazem um total de 3 km^2, e apresenta freqüência baixíssima de 0,3 movimentos de massa gravitacionais por km^2, tendo sido registrado somente um evento em toda sua área. Assim apresenta uma baixa predisposição à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais, porém possível de ocorrência, somente, devido a algum tipo de influencia antrópica, com mudanças de geometria e movimentos de terra.

- Unidade Vermelha

Esta classe é constituída por 151 unidades, com 32 eventos (8 eventos em unidades com 2 atributos de alta freqüência e 24 eventos em unidades com 3 atributos de alta freqüência), e área de 18 km^2. Apresenta freqüência de 1,8 eventos/km^2, considerada como áreas com alta possibilidade de ocorrência de eventos de movimentos de massa gravitacionais, por estarem nas mais altas altitudes da região de estudo, com presença marcante da vegetação original de Mata Atlântica. Aproximadamente de 80% de sua área esta enquadrada dentro da unidade de material inconsolidado SRMgr, encostas voltadas para norte, e onde ocorrem todos eventos de fluxos.

- Unidade Preta

Esta classe composta de 166 unidades, com 107 eventos (correspondente a 76% de todos os eventos na área), e área de 20,6 km^2, gerando freqüência de 5,2 eventos/km^2. Considerada como zonas de altíssima possibilidade de ocorrência de eventos de movimentos de massa gravitacionais, muito mais alta que a classe vermelha.

Esta zona apresenta uma enorme diversidade de classes de declividades, Sofre influência da rodovia Rio-Santos e da faixa de duto, contempla grande parte das encostas de Talús, e esta distribuída desde baixa encosta a alta encosta.

Pode-se estimar que a probabilidade de ocorrência de eventos de movimentos de massa gravitacionais na área de estudo, por uma função que considere a freqüência de chuvas críticas (critério de D'orsi, 1997), a

combinações dos atributos predisponentes e a freqüência dos eventos de movimentos de massa gravitacionais.

CONCLUSÃO CAPITULO 5

Os movimentos de massa gravitacionais ocorrem em maior número na zona dos biotita gnaisses. Mas quando analisado quanto à freqüência de evento/área os migmatitos apresentaram os maiores valores, enquanto os materiais inconsolidados com maior número de ocorrências foram os residuais maduros de biotita gnaisse, que quando comparado com sua extensão territorial obteve uma baixa freqüência de eventos. As encostas retilíneas-retilíneas e retilíneas-convexas foram as encostas onde ocorrem o maior número de eventos de movimentos de massa gravitacionais. A classe de declividade com maior número de eventos foi a de 20-30°, e em relação a direção do mergulho do talude são os voltados para SE e S perfazendo juntos 66% de todos os eventos. A zona com Mata Atlântica concentra cerca de 71% de todos os eventos.

Apesar de ter uma extensão de cobertura muito grande de mata virgem (Mata Atlântica), cada vez mais se expande a plantação de banana na região, que é um cultivo desfavorável em termos de estabilidade de encosta, pois ela possui raízes muito superficiais aumentando a infiltração das águas das chuvas, baixando a resistência do solo.

A ampliação da Rodovia Rio-Santos, que já esta acontecendo, será um evento potencializador de MMG, tendo em vista que a maioria dos eventos que ocorreram por influência antrópica foi devido a cortes feitos nas encostas na época da construção da rodovia, e que uma segunda fase demandará um número maior, devido às limitações topográficas.

A tentativa de correlacionar as precipitações com eventos de movimentos de massa gravitacionais utilizando os parâmetros definidos por D'orsi (1997), obteve 28 eventos acima dos níveis críticos definidos em um intervalo de 17 anos de dados de chuvas. O que pode indicar um nível satisfatório, tendo em vista a média de 1,6 eventos/ano. E se levar em conta o número de dias consecutivos em que choveu obtem-se casos de até 20 dias de chuva seguidos, mostrando não só a importância da análise de eventos episódicos de chuvas catastróficas, como também o acumulado de chuva. Sendo que estas chuvas mesmo sendo de baixa intensidade irão infiltrar no solo e provocar uma diminuição significativa nos parâmetros de resistência do solo, em longo prazo.

Na área de estudo foram registrados 140 movimentos de massa gravitacionais, sendo eles: 79 escorregamentos translacionais (solo, rocha e solo e rocha), 33 rolamentos, 10 Rastejos, 7 quedas, 3 fluxos e 8 não classificados. Obtendo uma freqüência de 2,3 eventos por km^2, e quando analisado em termos de área de encosta obtemos uma freqüência de 3,2 eventos por km^2.

A maioria dos escorregamentos Translacionais, que são os mais numerosos, são de profundidades rasa, e não foram registrados os escorregamentos rotacionais, devido a heterogeneidade dos solos da área de estudo. Em áreas de elevada altitude a freqüência de eventos é menor devido a maior espessura de seus materiais inconsolidados, que propiciam o desenvolvimento de uma vegetação de grande porte. Os materiais inconsolidados residuais de granito são todos cobertos por este tipo de vegetação.

Os escorregamentos translacionais em solo, em sua maioria, ocorrem devido a cortes em taludes projetados inadequadamente. Onde este tipo de movimento inicia-se com uma superfície de ruptura rotacional (nas camadas de solo residual maduro e jovem) e progride para uma superfície planar de ruptura ao encontrar o material mais resistente (saprolito).

Os escorregamentos translacionais em solo e rocha ocorrem em sua maioria associados às elevadas altitudes e declividades, onde a principal aspecto é o desenvolvimento da vegetação de grande porte. Ao se formar na rocha uma camada de alteração, promove o surgimento de vegetações de pequeno porte, e esta vegetação promove o desenvolvimento de um solo, um pouco mais espesso, que possibilita uma vegetação de grande porte, que tem um sistema radicular mais complexo, promovendo uma maior infiltração da água no solo, e a conseqüente diminuição da resistência, até o ponto em que as forças solicitantes ultrapassam as forças resistentes (com a associação da inclinação e o aumento da carga solicitante das árvores e a perda de resistência durante eventos de chuva).

Os fluxos ocorrem em elevada altitudes associados a eventos de escorregamento translacionais de rocha, escoando encosta abaixo vai agregando material e gerando um fluxo de detritos.

Os rolamentos estão associados às encostas de talús e associados a todos os tipos de materiais geológicos.

O zoneamento mostrou que uma grande área (mais de 50%) possui níveis considerados de alta predisposição a ocorrência de processos de movimentos de massa gravitacionais. Sendo que na zona preta é muito maior que na zona vermelha. A zona vermelha possui uma diversidade de declividade

muito menor que a zona preta, e é formada em áreas com altitudes mais elevadas e com materiais inconsolidados residuais de granito. A zona verde é considerada de baixa predisposição, só mudando este quadro caso ocorra alguma intervenção antrópica desfavorável à instabilidade. E a zona branca não é sujeita a ocorrência destes eventos.

Finalizando pode ser avaliar que a probabilidade de ocorrência de eventos de movimentos de massa gravitacionais é função da freqüência de chuvas críticas, das combinações dos atributos predisponentes, e da freqüência dos eventos de movimentos de massa gravitacionais por zona, confirmando assim que as áreas enquadradas na zona preta apresentam probabilidades muitas vezes maiores que as da zona vermelha, desde que mantido as condições atuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CAPITULO 6

AMARAL, C. P. (1996). *"Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes e redução do risco"*. Tese de doutorado, eng. civil, PUC-RIO. Rio de Janeiro.

ANBALAGAN, R. (1992). *"Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain"*. *In* Proc. 6th Inter. Sym. on Landslides. D.H. Bell (editor). Christchurch, N.Z., pp. 861-868.

ANTOINE, P. & GIRAUD, A. (1995). *"Typologie des mouvements de versants dans un contexte opérationnel".* Bulletin of the International Association of Engineering Geology. 51, 57-62pp.

AUGUSTO FILHO, O. (1994). *"Cartas de risco de escorregamento: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela-SP".* Escola politécnica/USP, São Paulo, 168p. Dissertação de Mestrado.

AUGUSTO FILHO, O. (2005). *"Mass movements susceptibility map of a highway system using GIS technology: a case study in Brazil". In:* GEOLINE 2005 – International Symposium of Geology and linear infrastructures.Lion, France.

AYENEWA, T. & BARBIERI, G. (2005). "*Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia*". Engineering Geology . Vol. 77,1-15pp.

AYALEW, L.; YAMAGISHI, H; MARUI, H; KANNO, T (2005). *"Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications"*. Engineering Geology. Vol. 81, 432–445pp.

BAEZA, C. & COROMINAS, J. (2001). *"Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques".* Earth Surf. Process. Landforms 26, 1251-1263pp.

BONUCCELLI, T.J. (1999). *"Estudos dos Movimentos Gravitacionais de Massa e Processos Correlatos na área Urbana de Ouro Preto, Minas Gerais – Escala 1:10.000".* Tese de doutorado. Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos/ Departamento de Geotecnia. 208p.

BOURGEOIS, W.W. (1978). *"Timber harvesting activities on steep Vancouver Island terrain"*. *In* Proc. 5th North American Forest Soils Conference, Colorado State Univ., Fort Collins, CO., pp. 393-409.

BRAND, E.W. (1988). "*Landslide risk assessment in Hong Kong". In* Proc. 5th Inter. Sym. on Landslides. C. Bonnard (editor). Lausanne, Switzerland, pp. 1059-1072.

BRAND, E.W. (1989). *"Occurrence and significance of landslides in Southeast Asia".* Landslides: Extent and Economic Significance. Balkema, Brabb & Harrod (eds). Rotterdam. pp. 303-324.

BRAND, E.W. (1995). "A*slope instability in tropical areas". In* Landslides. Balkema, Bell (ed). Rotterdam. pp. 2031-2051.

CARRARA, A. (1983). *"Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation".* Mathematical Geology*.* Vol 15, no.: 3, 403-426pp.

CARRARA, A. (1988). *"Landslide Hazard Mapping by Statistical Methods. A "Black Box" Aproach".* Workshop on Natural Disasters in European Mediterranean Countries, Perugia, Italy, 205-224p.

CARRARA, A. (1992). *"Landslide Risk Assessment".* Proc. Of 1º Simpósio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Information geográfica para el estúdio de Riesgos Naturales, Bogotá, Colômbia, 329-355pp.

CARRARA, A. (1995). *"Gis-based techniques for mapping landslide hazard".* Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, CNR-CIOC, Bologna Bogotá. Academic Pub., Dordrecht, the Netherlands.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. (1990). *"Geografical Information System and Multvariate Models in Hazard Evaluation".* 6th International Conference and Field Workshop on Landslides, Milano, 17-28pp.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. (1991). *"GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard"*. Earth Surf. Proc. and Landforms, 16:427-445.

CERRI, L.E.S. (1993). *"Riscos geológicos associados a escorregamentos: Uma proposta para a prevenção de acidentes"***.** Rio Claro. Tese de Doutorado, IGCE/Unesp, Rio Claro/ São Paulo. 197 pg.

CHANG, S. (1992). *"The Simprecise mapping and evaluation system for engineering geological and landslide hazard zonation"*. *In* Proc. 6th Inter. Sym. on Landslides. D.H. Bell (editor). Christchurch, N.Z., pp. 905-910.

CHEN. H. (1999). *"Mechanisms and Modelling of landslide in Hong Kong"*. Thesis of Doctor Philosophy. University of Hong Kong/ Departamento of Civil Engineering. 143p

CHUNG, C.H.; FABRI, A.G., VAN WESTEN, C.J. (1995). *"Multivariate regression analysis for landslide hazard Zonation".* In : Carrara, A., Guzzetti,

F. (eds.), Geographic information System in Assessing Natural Hazard. Kluwer Academic Publishimg, Dordrecht, The Netherlands.

CLERICI, A; PEREGO, S.; TELLINI, P; VESCOVI, P. (2002). *"A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method".* Geomorphology. Vol. 48, issue 4, 349-364pp.

CRUDEN, D.M. (1991). *"A Simple Definition of a Landslide".* Bulletin of the International Association of Engineering Geology. 43, 27-29pp

CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996). *"Landslide types and processes".* In: Landslides Investigation and Mitigation. Special Report 247.Turner, AK & Schuster, RL Editors Transportation Research Board, p. 36-75.

DAÍ, F.C. & LEE, C.F. (2001). *"Frequency–volume relation and prediction of rainfall-induced landslides"*. Engineering Geology*. 59.* 253–266 pp.

Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (1983). "Mapeamento geológico das folhas Itaguaí e Mangaratiba". Niterói. GEOSOL/DRM 382p

DRD (1991). *"Landslide Hazard Assessment"*. In: Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning. Department of Regional Development and Environment Executive Secretariat for Economic and Social Affairs Organization of American States. Chapter 10. Washington, D.C.
http://www.oas.org/osde/publications/Unit/oea66e/begin.htm#Contents

DUARTE, A.C. (1980). *"Regionalização – Considerações Metodológicas".* Boletim Geográfico Teorética. Rio Claro. Vol. 10, N^{O}: 20. 5-32pp.

DIAS, E.C. (2003). *"Previsão de Movimentos Gravitacionais de Massa na Serra de Ouro Preto com base em Árvore de Eventos".* Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo/ Escola de Engenharia de São Carlos/

Departamento de Geotecnia. 191p.

DIAS, F.P. & HERRMANN, M.L.P. (2002). *"Análise a Susceptibilidade a Deslizamento no bairro Saco Grande, Florianópolis (SC)".* Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra. Vol. 21 (1): 91-104pp.

D'ORSI, R.; D'ÁVILA, C.; ORTIGÃO, J. A. R.; DIAS, A.; MORAES, L.; SANTOS, M. D. (1997). *"Rio-Watch: the Rio de Janeiro Landslide Watch system".* In: Panamerican Symposium of Landslides & COBRAE, 2, Rio de Janeiro. Anais. v. 1, p.21-31.

ESMALI A. & AHMADI H. (2003). *"Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation - A case study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran".* Disaster Management. In: Map India Conference 2003.

FALL, M.; AZZAM, R.; NOUBACTEP, C. (2006). "*A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping"* **.** Engineering Geology . vol. 82, 241–263pp

FERNANDES, N.F. & AMARAL, C.P. (2001). *"Movimento de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica"*. In: Geomorfologia e meio ambiente. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. P 123-194.

FREIRE, E.S.M. (1965). *"Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e Sua Moderna Sistemática"*. Construção, Rio de Janeiro, 8, 10-18pp.

GRITZNER, M.L.; MARCUS, W.A.; ASPINALL, R.; CUSTER, S.G. (2001). *"Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho".* Geomorphology. Vol. 37, no. 1-2, pp. 149-165.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. (1984). *"Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavações"*. Edgard Bl, cher, 2 ed., 194p.

HAMMOND, C.; HALL, D.; MILLER, S.; SWETIK, P. (1992). *"Level 1 stability analysis (LISA)"*, documentation for Version 2.0. U.S.D.A., For. Serv., Moscow, ID, Intermountain Res. Sta. Gen. Tech. Rep. INT-285.

HARTLÉN, J. & VIBERG, L. (1988). *"General Report: Evaluation of landslide hazard".* 5th Int Symp. On Landslides, Lausanne, Vol 2, 1037-1057pp.

HASEGAWA, S. (1985). *"Classification of slope movement forms – their description and interpretation".* In: International Conference and Field Workshop on Landslides, 4, Tokyo. Proceedings...Tokyo, pp. 11-16.

HOWES, D.E. & SWANSTON, D.N. (1994). *"A technique for stability hazard assessment"*. Chap. 2 *In* A guide for management of landslide prone terrain in the Pacific Northwest. S.C. Chatwin, D.E. Howes, J.W. Schwab and D. Swanston (editors) .BC Min. For. Land Man. Hdbook No. 18, pp. 19-84.

HUTCHINSON, J.N. (1988). *"General Report: Morfological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology"*. 5th Int Symp. On Landslides, Lausanne, Vol 1, 3-35pp

HUTCHINSON, J.N. (1992). *"Landslide hazard assessment". In* Proc. 6th Inter. Sym. on Landslides. D.H. Bell (editor). Christchurch, N.Z. pp. 1805-1842.

IRIGARAY, C.; CHACÓN, J.; FERNÁNDEZ, T. (1996a). *"Methodology for the analysis of landslide determinant factors by means of a GIS: Application to the Colmenar area (Malaga, Spain)".* Landslides. Chacón, Irigaray & Fernández (eds). Balkema, Rotterdam. 163-171pp.

IRIGARAY, C.; CHACÓN, J.; FERNÁNDEZ, T. (1996b). *"Comparative analysis of methods for landslide susceptibility mapping".* Landslides. Chacón, Irigaray & Fernández (eds). Balkema, Rotterdam. 163-171pp.

IPT (1991). "*Ocupação de Encostas"*. Publicação IPT N^0. 1831,216p.

ISRM (1983). *"Suggested Method for Rock Characterization Testing and Monitoring"*. published for International Society for Rock Mechanics. E.T.Brown editor. Pergamon Press. 211p.

KIMURA, H. & SUEN, A. S. (2003). "*Ferramentas de Análise Gerencial Baseadas em Modelos de Decisão Multicriteriais".* RAE-eletrônica, Volume 2, Número 1, jan-jun/2003. http://www.rae.com.br/eletronica/index.cfm?FuseAction=Artigo&ID=1881&Secao=2ºPWC&Volume=2&Numero=1&Ano=2003

KOMAC, M. (2005). *"A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia".* Geomorphology. Vol. 74, 17–28pp.

LANSHENG, W.; ZHUOYUAN, Z.; MINDONG, C.; JIN, X.; TIANBIN, L.; XIAOBI, D. (1995). *"Suggestion on the systematical Classification for slope deformation and failure".* Landslides. Balkema. 1869-1877pp.

LEE, S.; RYU, J.; MIN, K.;WON, J. (2003). *"Landslide Susceptibility Analysis Using GIS and Artificial Neural Network"***.** Earth Surface and Process. Landforms. Vol. 28, 1361-1376pp.

MARK, R.K. & ELLEN, S.D. (1995). *"Statistical and simulation models for mapping debris-flow hazard"*. In : Carrara, A., Guzzetti, F. (eds.), Geographic information System in Assessing Natural Hazard. Kluwer Academic Publishimg, Dordrecht, The Netherlands.

MEJÍA-NAVARRO, M. & GARCIA, L.A. (1996). *"Natural Hazard and Risk Assessment Using Decision Support Systems, Application: Glenwood Springs, Colorado"*. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. 2, n. 3, Fall 1996, pp. 299-324.

MONTEVECHI, J.A.B. & PAMPLONA E.O. (1996). *"Análise Hierárquica em Análise de Investimentos".* 2nd International Congress of Production of Industrial Engineering. 16Th National Congress of Production Engineering - ENEGEP/96

MURAKAMI, M. (2003). *"Decisão estratégica em TI: estudo de caso".* Dissertação de mestrado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP/ São Paulo

NEMCOK, A.; PASEK, J.; RYBAR, J. (1972). *"Classification of landslides and other mass movements".* Rock Mechanics, Springer-Verlag, pp. 71-78.

NIELSEN, T.H. & BRABB, E.E. (1977). *"Slope stability studies in the San Francisco Bay region, California"*. Reviews in Engineering Geology, Vol. 3. D.R. Coates (editor). Geol. Soc. Am., pp. 235-243.

OHLMACHER, G.C. & DAVIS, J. C. (2003). *"Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA".* Engineering Geology. Vol. 69, 331–343pp.

PACHAURI, A.K. & PANT, M. (1992). *"Landslide hazard mapping based on geological attributes"*. Engineering Geology. Vol. 32, no. 1-2, pp. 81-100.

PACK, R.T. (1985). *"Multivariate analysis of landslide-related variables in Davis County, Utah"*. *In* Delineation of Landslide, Flash Flood and Debris Flow Hazards in Utah. Utah State Univ., pp. 50-58.

PAMPLONA, E.O. (1999). *"Avaliação de Direcionadores de Custos em uma Empresa do Setor Industrial - Estudo de caso".* VI ABCustos. Braga, Portugal, Apresentação em Setembro de 1999.

PEJON, J. O. (1992). *"Mapeamento geotécnico da folha de piracicaba-SP (escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos de caracterização e*

de apresentação dos atributos". Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos/USP. 224p.

PITANGA, H. N.; LIMA, D. C.; SILVA, C. H. C.; CARVALHO, C. A. B.; BARBOSA, P.S.A. (2006). *"Influência da velocidade de carregamento sobre a resistência ao cisalhamento de solos residuais tropicais"*. Revista Geotecnia. N° 106. pp. 97-106.

RESOURCES INVENTORY COMMITTEE (RIC) - BRITISH COLUMBIA, (1996). "*Terrain Stability Mapping in British Columbia".* Victoria, BC, *In:* http://ilmbwww.gov.bc.ca/risc/pubs/earthsci/terrain2/index.htm

RIB, H. T. & LIANG, T. (1978). *" Recongnation and identification". In:* Landslides and Engineering Practice. E.B.Eckel (ed). Special report 29, Highway Research Board, p34-80.

RODRIGUES, B.B. (1998). *"Inventário e análise da susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosões na região de águas de lindóia/SP-escala 1:10.000."* Dissertação de Mestrado. Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

RODRIGUES, B.B. (2003). *"Proposta de sistemática para tomada de decisão relativa a movimento de massa gravitacionais: aplicação em Ouro Preto(MG)".* Tese de doutorado. Rio Claro, UNESP – Rio Claro.

RODRIGUES, B.B. & ZUQUETTE, L.V. (2006). *"Construção de cartas predisponentes a escorregamento em ares urbanas usando rotina de apoio a decisão". In:* Congresso Nacional de Geotecnia, 10, Lisboa (Portugal), (no prelo).

ROLLERSON, T.P. (1992). *"Relationships between landscape attributes and landslide frequencies after logging-Skidegate Plateau, Queen Charlotte Islands"*. BC Min. For., Victoria, BC Land Man. Rep. No. 76.

ROLLERSON, T.P. & SONDHEIM, M. (1985). *"Predicting post-logging terrain stability - a statistical-geographical approach"*. *In* Proc. Joint Sym. of the I.U.F.R.O. Mountain Logging Section and the 6th Pacific Northwest Skyline Sym., Vancouver, BC.

RUHE (1975). "Geomorphology", houghtin, mifflin, boston apud mitchel, c. W. (1991). "terrain evaluation". An introdutory handboook to the history, principles and methods fo practical terrain assessment. Londres, long man scientifican & technical.

SAATY, T.L. (1977). *"A scaling method for priorites in hierarch structures".* Jornal of Mathematical Psychology 15/3. 234-281pp.

SAATY, T.L. (1990). *"Physic as a decision theory"*. European Journal of Operational Research. v.48, p.98-104, 1990.

SAATY, T.L. (1991). *"Método de Análise Hierárquica".* MacGraw-Hill, Makron. São Paulo.

SASSA, K. (1985). *"The Geotechnical Classification of Landslides".* In: International Conference and Field Workshop on Landslides, 4, Tokyo. Proceedings...Tokyo, pp. 31-40.

SANTACANA, N; BAEZA, C; COROMINAS, J; PAZ, P & MARTURIÁ, J. (2003). *"A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain)"***.** Natural Hazards, Vol. 30. 281–295.

SEN, P. & YANG, J. (1998). *"Multiple criteria decision support in engineering design"*. London; New York : Springer. 264p.

SHARPE, C.F.S. (1938). "*Landslide and Related Phenomena*". Pageant, New Jersey,137p.

SIDLE, R.C.; PEARCE, A.J.; O'LOUGHLIN, C.L. (1985). *"Hillslope Stability and land use".* American Geophysical Union. Washinton D.C. 140p.

SILVA, F.L.M.; PIMENTEL, J.; FREITAS, A.C.N. (2000). *"Inventário de Escorregamentos do Estado do Rio de Janeiro".* Brasília : CPRM. 1 CD-ROM.

SILVA JR., G.C. (1991). *"Condicionantes geológicos na estabilidade de taludes ao longo da rodovia BR-101 no trecho Itaguaí - Angra dos Reis-RJ".* Dissertação. Instituto de Geociência /UFRJ.Rio de Janeiro.

SIVAKUMAR BABU, G. L. & MUKESH, M. D. (2003). *"Risk analysis of landslides – A case study"*. Geotechnical and Geological Engineering. Vol. 21, n 2. 113 – 127pp.

SKEMPTON,A.W. & DE LORY, F.A. (1957). *"Stability of natural slopes in London clay"*. 4th Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Vol. 2, 378-381pp.

SOETERS, R. & VAN WESTEN, C.J. (1996). *"Slope instability Recognition, analyses, and zonation". In:* Landslides investigation e mitigation, turner, A. K. & Schuster, R. L.Editors, National Academy Press, Washington, D.C. Special Report 247. Transportation research board, 129-177pp.

SHAHROOZ, S. (2005). *"Landslide hazard zonation in Mianeh-Tabriz Rail-way". In:* GEOLINE 2005 – International Symposium of Geology and linear infrastructures.Lion, France.

SOUZA, M.L. (1996). *"Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto/MG (escala 1:10000), susceptibilidade de movimento de massa e processos correlatos".* Dissertação de mestrado. São Carlos, USP - São Carlos.

STRALER, A. N. (1952). "Hipsometric (área-altitude) analysis of erosional topography". Geol. Soc. América Bulletin 63, pp. 1117-1142, apud

CHRISTOFOLETTI, A . Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S. ; ROCHA, M.C.M. (1987)a. "Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos – Serra do Mar-Município de Cubatão "In: Anais do 5° Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, v. 2 , pp. 225-236, São Paulo , Out. .

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M., (1987)b. "Modelamento Numérico da Análise de Correlação entre Chuvas e Deslizamentos aplicados à Encosta da Serra do Mar". In: Anais do 5° Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, v. 2 , pp. 237-248 São Paulo, Out. .

TERLIEN, M.T.J.; ASCH, T.W.J.; VAN WESTEN, C.J. (1995). *"Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment"*. *In*: Geographical Information System in Assessing Natural Hazard. Carrara A., Guzzetti F. (eds). Kluwer: New York, 57–77.

TERZAGHI, K. (1928). *"Landslides in Central America"*. The Technology Review, Vol.31, No.1, 12-16pp. Reference In: http://www.library.ubc.ca/archives/u_arch/terzaghi1.html".

TERZAGHI, K. (1950). *"Mechanism of Landslides"*. Geological Society of América. Engineering geology. Berkeley. No. 488, November, 83-123pp.Harvard soil mechanics series, 36. Instituto de pesquisas tecnológicas, São Paulo. Separata, 467, 1953. 30 pp.

UROMEIHY A. & JAFFAR-KHALLO M. (2005) *"Landslide hazard zonation map along Karaj-Gachsar road (Iran)". In:* GEOLINE 2005 – International Symposium of Geology and linear infrastructures.Lion, France.

VAN DEN EECKHAUT, M.; VANWALLEGHEM, T.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VERSTRAETEN, G.; VANDEKERCKHOVE, L.(2006). *"Prediction of*

landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium)". Geomorphology, *Available online 19 January 2006.*

VARNES, D.J. (1958). *"Landslides Types and Processes"*. Highway Research board, Special Report, Vol. 29, 20-47pp.

VARNES, D.J. (1978), "*Slope Movement and Types and processes"*. In: Schuster, R.L. e Krizek, R.J.(eds), Landslides: Analysis and Control. Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington DC, 11-33pp.

VAZ, L.F. (1996), "*Classificação genética de dos solos e horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais"*. Solos e Rochas, 19 (2), 117-136.

WALKER, B.F.; BLONG, R.J.; MACGREGOR, J.D. (1987). *"Landslide classification, geomorphology and site investigations.* In: Soil Slope Instability and Stabilization. 1-52pp.

WILLIAMSON, D.A. KUHN, C.R. (1988). *"The Unified Rock Classification System"*. In: KIRKALDIE. L. editor. *Rock classification System for Engineering Purposes.* ASTM STP 984, 167p.

WP/WLI - UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1990). *"A suggested method for reporting a landslide". Bulletin International Association for Engineering Geology, 41: 5-12.*

WP/WLI - UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1991). *"A Suggested method for a landslide summary".* Bulletin of the International Association of Engineering Geology. 43, 101-110pp

WP/WLI – UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1994).

"The Multilingual Landslide Glossary". Bitech Publishers, Richmond, British Columbia, Canadá.

WOLLE, C.M. & CARVALHO, C.S. (1989). "Deslizamentos em Encostas na Serra do Mar", Solos e Rochas , v. 12, número único, pp. 27-36.

WU, T. H. & ABDEL-LATIF, M. A. (2000). *"Prediction and mapping of landslide hazard".* Can. Geotech. J. 37: 781–795.

YAGI, R. (1993). *"Classification of landslides based upon landform units ascribed from landslide activity in and around central Ohu backbone range, northeast Japan"*. Landslides – Seventh International Conference & Field Workshop, Czech and Slovak, Balkema, 57-62pp.

XAVIER-DA-SILVA, J. (2001). *"Geoprocessamento e análise ambiental".* Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001. 228p.

ZÁRUBA, Q. & MENCL, V. (1969). *"Landslides and their control"*. Amsterdam, Elsevier, 205pp.

ZENÓBIO, A.A. (2000). *"Avaliação geológico-geotécnica de encosta naturais rochosas: área urbana de Ouro Preto (MG) escala 1:5000".* Dissertação de mestrado. São Carlos, USP - São Carlos, 2v.

ZUQUETTE, L.V. (1987). *"Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras"*. Tese de Doutorado, 3v. EESC/USP. São Carlos / São Paulo. 673pg.

ZUQUETTE, L.V. (1993). *"Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração"*. São Carlos, USP - São Carlos, 2v., 368p. (Tese de Livre-Docência).

ZUQUETTE, L.V. (1998). *"Proposta metodológica para análise de eventos perigosos"*. Revista Geociências. (no prelo).

ZUQUETTE, L.V. & PEJON, O.J. (2004). *"Eventos perigosos geológico-geotécnicos no Brasil". In:* Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 312-336 (CD-ROM).

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo