



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG

**ANÁLISE DE PERIGO DE MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA DO TÁLUS DO MACIÇO DE
ITATIAIA ASSOCIADO À IMPLANTAÇÃO DO TREM DE
ALTA VELOCIDADE - TAV BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Nº 30

FAUSTO BATISTA MENDONÇA

Orientadora: NORIS COSTA DINIZ
Co-orientador: GUSTAVO MACEDO DE MELLO BAPTISTA

Brasília, 2012



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG**

**ANÁLISE DE PERIGO DE MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA DO TÁLUS DO MACIÇO DE
ITATIAIA ASSOCIADO À IMPLANTAÇÃO DO TREM DE
ALTA VELOCIDADE - TAV BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 30

FAUSTO BATISTA MENDONÇA

Área de Concentração: Geociências Aplicadas

Orientadora: NORIS COSTA DINIZ

Co-orientador: GUSTAVO MACEDO DE MELLO BAPTISTA

Membros da Banca Examinadora:

Noris Costa Diniz - UnB

Paulo Roberto Meneses - UnB

André Pacheco de Assis - UnB

13/03/2012
Brasília, 2012

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de
Brasília. Acervo 998260.

Mendonça, Fausto Batista.
M539a Análise de perigo de movimentos gravitacionais de
massa do Tálus do maciço de Itatiaia associado à implantação
do trem de alta velocidade : TAV Brasil / Fausto Batista
Mendonça. -- 2012.
xvi, 191 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília,
Instituto de Geociências, 2012.
Inclui bibliografia.
Orientação: Noris Costa Diniz ; Co-orientação:
Gustavo Macedo de Mello Baptista.

1. Geomorfologia. 2. Tálus (Geologia). 3. Sensoriamento
remoto. 4. Geologia - Avaliação de riscos. 5. Movimentos
gravitacionais de massa. I. Diniz, Noris Costa. II. Baptista,
Gustavo Macedo de Mello. III. Título.

CDU 551.4(81)

À minha querida esposa Quelita
por seu amor, paciência e
compreensão. Aos meus pais
Sebastião Galvão e Delzilea que
me ensinaram a vencer por meio
de muito esforço e dedicação.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelas orações atendidas e pelas portas que se abriram ao longo desse trabalho.

Ao Comando-Geral de Operações Aéreas que proporcionou a oportunidade da realização do Mestrado em Geociências Aplicadas.

Aos professores do Instituto de Geociências, em especial à professora Noris Costa Diniz e ao professor Gustavo Macedo de Mello Baptista pelas orientações.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, nas pessoas do Geólogo Jorge Pimentel e do Engenheiro Shinzato que contribuíram expressivamente no fornecimento de dados para este trabalho.

Ao Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia - CENSIPAM que colaborou significativamente no fornecimento de dados de sensoriamento remoto.

À minha esposa que nunca deixou de me incentivar e apoiar, mesmo nas horas mais difíceis, proporcionando intensa alegria com suas palavras sábias e seu amor.

Aos meus pais pelos ensinamentos de vida e pelo apoio constante.

A todos os colegas do mestrado que contribuíram de alguma forma para a conclusão desse trabalho, em especial aos colegas Pedro Mandai e Júlia Pêra pela amizade e pelo apoio.

Aos colegas Gervásio e Paulo Henrique, do laboratório do Instituto de Geociências da UnB, que trouxeram significativa contribuição no uso das ferramentas de SIG.

Aos amigos do COMGAR que de alguma forma tornaram possível a conclusão dos trabalhos realizados nesse mestrado.

Aos funcionários da UnB, em especial do Instituto de Geociências, que participaram de alguma forma contribuindo para a conclusão deste trabalho.

“Quando vejo os teus céus, obras dos teus dedos, a lua
e as estrelas que preparaste; que é o homem mortal
para que te lembres dele?”

Sl 8:3,4a

Resumo

O projeto do trem de alta velocidade a ser construído no Brasil ligará a cidade de Campinas, no estado de São Paulo, à cidade do Rio de Janeiro. Trata-se de uma obra linear inédita no país, que passará por tipos de terrenos diversos enfrentando condições adversas distintas. Este trabalho propõe um mapeamento de risco de deslizamentos na região do trecho 4 do traçado inicial, próximo à cidade de Itatiaia no interior do estado do Rio de Janeiro. As cicatrizes de deslizamento foram inventariadas por meio de fotointerpretação. Mapas temáticos da região com dados de pedologia, geomorfologia, uso e cobertura do solo, litologia, hipsometria e unidades geológico-geotécnicas no buffer de 2 km, foram utilizados como dados para a álgebra de mapas que resultou nos mapas de risco e de perigo do trecho avaliado. Os resultados apontaram a existência de risco alto à ocorrência de deslizamentos em quase todo o trecho 4. Esse fato aponta para a necessidade de uma avaliação geotécnica muito cuidadosa das condições geológicas das encostas que sofrerão intervenções durante a obra de engenharia.

Abstract

The design of high speed train to be built in Brazil will connect the Campinas city in São Paulo to Rio de Janeiro city. It is a linear work unprecedented in the Country, wich will go through various types of land experiencing different conditions. This job presents a risk mapping of landslides in the region of the fourth section of the planning route, on a region near the city of Itatiaia in Rio de Janeiro. Landslides were inventoried by meas of photointerpretation. Thematic maps of the region with data from pedology, geomorphology, land use an land cover, lithology, hypsometry and geological/geotechnical units on a 2km buffer were used for the map algebra wich generates the risk and hazard maps. The results indicate the existence of high risk to the ocurrence of landslides in almost section four showing the need of a very thorough geotechnical evaluation of the slopes geological conditions that will suffer interventions during engineering work.

SUMÁRIO

Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de figuras	x
Lista de tabelas	xiii
Lista de quadros	xiv
Lista de siglas e abreviaturas	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Introdução	4
2.2 Trabalhos relevantes sobre MGM	4
3 GEOMORFOLOGIA	9
3.1 Introdução	9
3.2 Geomorfologia.....	9
3.3 Geomorfologia estrutural.....	10
3.4 Critérios para a caracterização das unidades de relevo	15
3.5 Morfografias e geoformas	21
3.6 Morfometria.....	28
3.7 Morfogênese	28
3.7.1 Intemperismo	28
3.7.2 Erosão	29
3.7.3 Acumulação	29
3.8 Aplicações dos resultados da análise geomorfológica	30
3.9 Geomorfologia da área de estudo	32
4 MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA	42
4.1 Introdução	42
4.2 Movimento gravitacional de massa (MGM)	42
4.2.1 Condicionantes de movimentos de massa	47
4.2.2 Desencadeadores de movimentos de massa	49
4.2.3 Medidas mitigadoras	52
4.2.4 Medidas emergenciais	55
5 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE RISCO	56
5.1 Introdução	56
5.2 Cartografia geotécnica no Brasil	56
5.3 Cartografia de risco	57
5.3.1 Elaboração de uma carta de risco	62
5.3.2 Ferramentas de análise.....	65
5.3.3 Escala das cartas de risco.....	66
5.3.4 Considerações finais	67
6 SENSORIAMENTO REMOTO	68
6.1 Introdução	68
6.2 Um breve histórico	68
6.3 Sensores remotos e seus produtos	70
6.3.1 Sensores em uso atualmente	72
6.3.2 Câmeras aéreas digitais	73
6.4 Interpretação de imagens	79
6.4.1 Processamento analógico ou interpretação visual de imagens	79
6.4.2 Processamento digital de imagens	81
7 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG	84

7.1	Introdução	84
7.2	Definição	84
7.3	Geoprocessamento.....	85
7.4	Componentes básicos de um SIG	86
7.5	Estruturação do banco de dados geográficos.....	89
7.5.1	Modelagem de dados geográficos	89
7.5.2	Natureza diversificada dos dados espaciais.....	90
7.6	Produtos de SIG para mapeamento de risco.....	90
8	O PROJETO DO TAV	92
8.1	Introdução	92
8.2	Interações com o meio	92
8.3	Mapas de localização da área	93
8.3.1	Mapa do cone de dejeção do depósito de tálus.....	95
8.3.2	Litologia da área	96
8.3.3	Mapa de cicatrizes de MGM	96
8.3.4	Mapa de declividade (Slope)	97
8.4	Investigações geológico geotécnicas	99
8.5	Traçado do TAV	101
9	MATERIAL E MÉTODOS	113
9.1	Introdução	113
9.2	Pesquisa metodológica	113
9.3	Visão geral sobre a coleta de dados	115
9.4	Geração de MDE	126
9.5	Modelo adotado para a operação entre mapas.....	126
9.5.1	Critério de distribuição dos pesos.....	129
9.5.2	Passos desenvolvidos.....	129
10	RESULTADOS E DISCUSSÃO	131
10.1	Introdução	131
10.2	Análise da geomorfologia.....	131
10.3	Aspectos climáticos	132
10.4	Análise preliminar de imagens	132
10.5	Análise de MGM por fotointerpretação.....	136
10.5.1	Avaliação estatística da distribuição espacial dos MGM	137
10.5.2	Hipsometria	141
10.5.3	Litologias	144
10.5.4	Uso do solo e cobertura vegetal.....	152
10.5.5	Geomorfologia.....	156
10.5.6	Pedologia	159
10.5.7	MGM na área do <i>buffer</i> de 2 km	162
10.6	Mapa de Perigo	165
10.6.1	Distribuição dos pesos	165
10.6.2	Mapa de perigo da área.....	166
10.6.3	Mapa de perigo no <i>buffer</i> de 2 km.....	167
10.7	Validação da Análise	169
10.7.1	Comparação das médias aritméticas.....	169
10.7.2	ANOVA de fator único.....	171
10.8	Proposta de mapa de risco	173
11	CONCLUSÕES.....	176
12	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180
	APÊNDICES E ANEXOS.....	192

Lista de figuras

Figura 1 - Carta-Imagem da área de estudo. Localização do corte do Tálus no traçado proposto.....	2
Figura 2 - Recorte do mapa geotécnico em 1:100.000, com destaque para o depósito de tálus (seta azul) e o traçado da ferrovia em vermelho. (CPRM, 2009b)	3
Figura 3 - Mapa de susceptibilidade a MGM na Turquia, gerado por Yalcin e Bulut (2007).	7
Figura 4 - Proposta de ciclo geomorfológico. Fonte: Davis (1899).....	11
Figura 5 - Modelo de evolução de vertente (DAVIS, 1899).....	12
Figura 6 - Comparação entre a proposta de Penck (A) e de Davis (B).	12
Figura 7 - Representação esquemática das unidades taxonômicas geomorfológicas. (ROSS, 1992)....	13
Figura 8 - Proposição de análise geomorfológica. (AB’SABER, 1969a; <i>apud</i> DANTAS <i>et al.</i> , 2008).	14
Figura 9 - Depressão na região do Mar Morto. Fonte: http://api.ning.com . Acessado em: 16/03/2011.	22
Figura 10 - Geoforma planalto. Fonte: extraído de: http://gpsbt.planetaclix.pt/arga_01/planalto.jpg . Acessado em: 10/11/2010.	22
Figura 11 - Montanhas na região de Angra dos Reis-RJ. Fonte: (AUTOR, 2010).....	23
Figura 12 - Chapada Diamantina no estado da Bahia. Fonte: obtida em http://f5pelomundo.files.wordpress.com/2009/08/chapada_diamantina.jpg . Acessado em: 12/03/2011.	23
Figura 13 - Geoforma tabuleiro. Fonte: extraído de: http://www.cpgg.ufba.br/lec/images/fmtb.jpg . Acessado em: 25/11/2010.	24
Figura 14 - Serra. Fonte: http://i.olhares.com/data/big/185/1858948.jpg . Acessado em: 22/11/2010...24	24
Figura 15 - Morros. Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Serra_P4.JPG . Acessado em: 22/11/2010.	25
Figura 16 -Morrotes. Fonte: http://jasper.rc.unesp.br/corumbatai/vd/cp07/fts/7.16.jpg . Acessado em: 21/11/2010.....	25
Figura 17 - Região de colina. Fonte: http://jasper.rc.unesp.br/corumbatai/vd/cp07/fts/7.17.jpg . Acessado em: 22/11/2010.	26
Figura 18 - Esquema de localização de terraço. Fonte: http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/leito.gif . Acessado em: 19/07/2010.	26
Figura 19 - Elementos de descrições de forma de relevo. Adaptado de Press <i>et al.</i> (2006).....	27
Figura 20 - Exemplo de tálus.	29
Figura 21 - Cone de dejeção ou leque deposicional. Fonte: http://www4.fct.unesp.br/ . Acessado em: 12/07/2010.....	30
Figura 22 - Esboço geomorfológico do Estado de São Paulo. Fonte: http://Sistemas de Informação e Gestão Territorial para o Município de Campinas - Embrapa Monitoramento por Satélite.htm . Acessado em: 03/05/2011.	32
Figura 23 - Graben do vale do Paraíba com destaque em amarelo para o depósito de tálus. (MENDONÇA <i>et al.</i> , 2011a).	33
Figura 24 - Vale do Paraíba cravado entre duas serras. O retângulo vermelho indica a região do vale. (ALMEIDA E CARNEIRO, 1998).....	36
Figura 25 - Formação da serra do Mar por soerguimento. (ALMEIDA E CARNEIRO, 1998).	37
Figura 26 - Esquema de formação e apresentação de um Graben. http://homepage.ufp.pt/biblioteca/GlossarySaltTectonics/Pages/PageG.html . Acessado em: 13/11/2011.....	38
Figura 27 - Traçado das linhas para extração dos perfis topográficos.	39
Figura 28 - Perfil topográfico do vale do Paraíba no trecho estudado.	39
Figura 29 - Perfis topográficos do Tálus do Itatiaia.	40
Figura 30 - Topo do Pico do Itatiaia. Imagem de 30 de agosto de 2011.....	41
Figura 31 - Queda de rocha em rodovia. Fonte: http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/environment/naturalhazards/landslides/fig_2_land_rockfall.jpg . Acessado em: 05/07/2010.	46
Figura 32 - Principais movimentos gravitacionais de massa. (Adaptado de USGS, 2011a).....	47
Figura 33 - Encosta rochosa com falhas e fraturas em Angra dos Reis (RJ). Fonte: (AUTOR, 2010).48	48

Figura 34 - Tipos de taludes.....	50
Figura 35 - Classificação de perigos ou suscetibilidades ambientais. Destaque para os perigos geológicos. (Adaptado segundo JTC-1 de CERRI E AMARAL, 1998).....	58
Figura 36 - Carta de perigo de deslizamentos na Califórnia. (VARNES, 1984).....	60
Figura 37 - Documentos utilizados na geração de uma carta perigo e a representação das metodologias.....	66
Figura 38 - Espectro eletromagnético. Fonte: http://www.vision.ime.usp.br/~ronaldo/mac0417-03/aula_02.html . Acessado em: 11/08/2008.	69
Figura 39 - Imagem SAR gerada pelo sensor da aeronave R99 da FAB em 2008.	71
Figura 40 - Esquema de atuação de um sensor tipo Push Broom. Fonte: http://www.fao.org/DOCREP/003/T0355E/T0355E04.htm . Acessado em: 10/10/2011.....	75
Figura 41 - Faixas de voo indicadas sobre uma carta aeronáutica de 1:1.000.000.	76
Figura 42 - Faixa estreitando no trecho de topografia mais elevada.....	76
Figura 43 - Distorção topográfica. (SCHOWENGERDT, 2007).....	77
Figura 44 - Distorção topográfica em função da elevação no terreno (SCHOWENGERDT, 2007).....	77
Figura 45 - Imagem com 50 cm de resolução espacial na área de estudo.....	78
Figura 46 - Padrões de drenagem segundo Jensen (2009)	80
Figura 47 - Cicatrizes de deslizamentos.....	81
Figura 48 - Subsistemas que compõem um SIG. (INPE, 2007).....	86
Figura 49 - Integração de dados por meio de SIG. (USGS, 2011b).....	87
Figura 50 - Representação matricial. (INPE, 2007)	88
Figura 51 - Representação de elementos vetoriais. (INPE, 2007).....	88
Figura 52 - Paradigma dos quatro universos.	90
Figura 53 - Composição RGB 342 do sensor CCD CBERS2B.....	94
Figura 54 - Composição RGB 543 do sensor ETM + Landsat 7.	94
Figura 55 - Mapa do cone deposicional do Tálus do Itatiaia.	95
Figura 56 - Mapa de litologia da área de estudo.	96
Figura 57 - Vetorização das cicatrizes de MGM.....	97
Figura 58 - Mapa de declividade da área	98
Figura 59 - Articulação dos mapas de unidades geológico-geotécnicas em 1:20.000. Fonte CPRM (2009a).	102
Figura 60 - Recorte do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas (1:20.000 – Folha 15).....	104
Figura 61 - Recorte do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas (1:20.000 – Folha 16). Área com grande incidência de feições erosivas. Fonte CPRM (2009a).....	109
Figura 62 - Recorte do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas (1:20.000 – Folha 20). Área de sedimentos aluvionares do Rio Paraíba do Sul. No detalhe é possível observar o longo trecho de área sedimentar cortado (em amarelo). Fonte CPRM (2009a).	109
Figura 63 - Recorte do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas (1:20.000 – Folha 30). A área de turfa em São José dos Campos é muito extensa em volta do traçado proposto. As áreas de cava de areia se repetem em vários trechos próximos ao rio Paraíba do Sul. Fonte CPRM (2009a).....	110
Figura 64 - Recorte do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas (1:20.000 – Folha 33). Áreas de pedreiras sendo cortadas pelo traçado proposto.....	111
Figura 65 - Metodologia adotada no trabalho. Adaptado de Zuquette e Ahrendt (2003), Copons e Vilaplana (2008) e van Westen <i>et al.</i> (2008).....	114
Figura 66 - Pontos de campo no trecho 4 do TAV. (Apêndice C).....	121
Figura 67 - Imagem 3D. Gerada com dados da missão SRTM3.....	126
Figura 68 - MDE dos dados da missão SRTM3 de um trecho do vale do Paraíba (RJ).(MENDONÇA <i>et al.</i> , 2011a).....	126
Figura 69 - Operação para obter densidade de MGM. Adaptado de Irigaray e Chacón (2003).....	127
Figura 70 - Edição de áreas atingidas por MGM.	128
Figura 71 - Passos da etapa básica de inventário da JTC-1.....	130
Figura 72 - Imagem PAN do sensor CBERS 2B.....	133
Figura 73 - Filtro direcional N-S.....	133
Figura 74 - Filtro direcional NE-SW.....	134
Figura 75 - Filtro direcional E-W.....	134

Figura 76 - Filtro direcional NW-SE.....	135
Figura 77 - Imagem resultante da operação NDVI e filtro direcional E-W.	136
Figura 78 - Divisão de subáreas para teste de hipótese.	137
Figura 79 - Divisão de subáreas para novo teste.	140
Figura 80 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a hipsometria.	142
Figura 81 - Estatística dos MGM na hipsometria.....	143
Figura 82 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a litologia.....	145
Figura 83 - Frequência de MGM nas litologias.	146
Figura 84 – Quantidade de MGM em relação a amplitude das geoformas (eixo y).....	147
Figura 85 - Áreas de MGM em relação às geoformas.	148
Figura 86 - Influência da declividade em área e frequência de MGM.....	149
Figura 87 - Quantidade de MGM distribuída pela elevação do terreno.	150
Figura 88 - Superposição das estatísticas de MGM nas geoformas sobre um perfil do tálus.	151
Figura 89 - Modelo do terreno na área de estudo com superposição da imagem da ADS 80. A maior elevação corresponde ao pico do Itatiaia. Junto à planície do vale inicia a rampa do depósito de tálus que sobe em direção ao pico. O seu leque deposicional se estende em torno da base do pico.	151
Figura 90 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a cobertura do solo.	153
Figura 91 - Estatística dos MGM nas classes de uso e cobertura.....	154
Figura 92 - Estatística dos MGM nas classes de uso e cobertura (continuação).....	155
Figura 93 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a geomorfologia.....	156
Figura 94 - Estatística dos MGM na geomorfologia.	158
Figura 95 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a pedologia.	159
Figura 96 - Estatística dos MGM na pedologia.....	160
Figura 97 - Estatística dos MGM na pedologia (continuação).....	161
Figura 98 – Mapa de cicatrizes de MGM sobre as unidades GG do trecho 4.....	162
Figura 99 - MGM nas unidades GG do <i>buffer</i> de 2 km do traçado do TAV.....	164
Figura 100 - Mapa de Perigo da área. Resultado da álgebra de mapas pelo comando <i>weighted overlay</i> . (Apêndice C).	167
Figura 101 - Mapa de perigo no <i>buffer</i> de 2 km. Resultado da álgebra de mapas. (Apêndice C).....	168
Figura 102 - Mapa de risco a MGM no trecho estudado do traçado do TAV. Resultado da operação <i>intersect</i> entre o mapa de perigo e o traçado da ferrovia.....	173
Figura 103 - Mapa de risco a MGM no <i>buffer</i> de 2 km do trecho estudado no traçado do TAV. Resultado da operação <i>intersect</i> entre o mapa de perigo do <i>buffer</i> de 2 km e o traçado da ferrovia. ...	174

Lista de tabelas

Tabela 1 - Comparativo entre trabalhos relevantes publicados.....	5
Tabela 2 - Comportamento do relevo nas fases do ciclo de erosão.....	11
Tabela 3 - Critérios para caracterização das unidades de relevo. (IPT, 1981)	15
Tabela 4 - Critérios para identificação de sistemas de relevo de degradação. (IPT, 1981).....	16
Tabela 5 - Grandes compartimentos na região (ROSS E MOROZ, 1997).	33
Tabela 6 - Formação da Morfoescultura do Planalto Atlântico (Adaptado de ROSS E MOROZ, 1997).	35
Tabela 7 - Classificação dos MGM. (VARNES, 1978)	44
Tabela 8 - Classificação de MGM em função da inclinação da encosta. (COROMINAS <i>et al.</i> , 2003).....	44
Tabela 9 - Medidas mitigadoras para os principais tipos de MGM. (AUGUSTO FILHO, 2001)	53
Tabela 10 - Classificação de algumas obras de estabilização de taludes e encostas. Adaptado de Augusto Filho e Virgílio (2009).....	54
Tabela 11 - Características mostradas em cada escala. Adaptado de Zuquette e Gandolfi (2004).	66
Tabela 12 - Escala de trabalho indicada em função da resolução espacial da imagem original. Adaptado de IBGE (1999).....	70
Tabela 13 - Comparação entre representação vetorial e matricial (INPE, 2007)	89
Tabela 14 - Tipologias de riscos geológicos identificados e soluções propostas. (ASSIS <i>et al.</i> , 2009).	100
Tabela 15 - Compartimento e comportamento geomecânico diferenciado, progressivas aproximadas e obras predominantes por trecho. Adaptado de: Assis <i>et al.</i> (2009).....	101
Tabela 16- Classificação dos parâmetros predominantes para descrição dos compartimentos de comportamento geomecânico. Fonte: CPRM (2009b).....	103
Tabela 17 - Dados e sumário do CGM 04 Vale de Resende (km 144-177). Fonte: CPRM (2009b).....	105
Tabela 18 - Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-04 Vale de Resende (km 144-177). Fonte: CPRM (2009b).....	106
Tabela 19 - Técnicas para levantamento de informações sobre MGM. (Adaptado de VAN WESTEN <i>et al.</i> , 2008)	117
Tabela 20 - Fatores ambientais e suas relevâncias para análise de perigo de deslizamentos. (VAN WESTEN <i>et al.</i> , 2008)	118
Tabela 21 - Conversão dos pesos.	129
Tabela 22 - Análise de perigo associado ao trecho CGM 4 (Vale de Resende).....	131
Tabela 23- Operadores do filtro passa alta de Sobel. Fonte: IBGE (1999).....	132
Tabela 24 - Resultado da operação <i>sumarize</i> entre litologia e áreas de MGM.	136
Tabela 25 - Estatística de MGM nas bandas hipsométricas.	142
Tabela 26 - Dados gerados após a vetorização das áreas de MGM.	144
Tabela 27 - Estatística de MGM no uso e cobertura da área.....	152
Tabela 28 - Estatística de MGM na geomorfologia da área.....	156
Tabela 29 - Estatística de MGM na pedologia.	159
Tabela 30 - Estatística de MGM nas unidades GG do traçado do TAV.	163
Tabela 31 - Distribuição dos pesos das classes e das feições.....	165
Tabela 32 - Distribuição dos pesos das classes nas unidades GG.....	168
Tabela 33 - Dados de ocorrências de MGM nas classes das feições de terreno.....	169
Tabela 34 - Áreas movimentadas por MGM nos temas.	172

Lista de quadros

Quadro 1 - Principais níveis de classificação do sistema do ITC, comparado com outras aproximações de avaliação (Adaptado de DINIZ-SOUZA, 1992).....	17
Quadro 2 - Definição da classificação de terrenos segundo PUCE (DINIZ-SOUZA, 1992).	20
Quadro 3 - Unid. Morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico (ROSS E MOROZ, 1997).	34
Quadro 4 - Geomorfologia do médio vale do Paraíba (Adaptado de ROSS E MOROZ, 1997).....	34
Quadro 5 - Incidência de fatores condicionantes de MGM. Adaptado de Regueiros e González-Barros (2008).	49
Quadro 6 - Principais sensores que fornecem imagens atualmente. (Adaptado de JENSEN, 2009)	72
Quadro 7 - Distribuição dos sensores da ADS 80.	75
Quadro 8 - Níveis de suscetibilidade a MGM (Adaptado de REGUEIROS E GONZÁLEZ-BARROS, 2008).	97
Quadro 9 - Morfologia observada no campo.....	122
Quadro 10 - Características relacionadas à estabilidade dos terrenos.....	123
Quadro 11 - Resultado do teste F com duas amostras para variância.	170
Quadro 12 - Resultados do teste t de médias.....	171
Quadro 13 - Resultado do teste ANOVA para ocorrências nas classes.	171
Quadro 14 - Resultado do teste ANOVA para áreas movimentadas.....	172
Quadro 15 - Comprimento das classes de risco no trecho avaliado.	174
Quadro 16 - Comprimento das classes de risco no buffer de 2 km no trecho avaliado.	175

Lista de siglas e abreviaturas

- ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.
- ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos.
- ADS – *Airborne Digital Sensor*.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres.
- APA – Área de Proteção Ambiental.
- APP – Área de Preservação Permanente.
- CAD – *Computer Aided Design*.
- CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.
- CBGE – Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia.
- CCD – *Charge-Coupled Device*.
- CE – Caminhamento Elétrico.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais.
- CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres.
- CENSIPAM – Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia.
- CGM – Compartimentação Geomecânica.
- COMGAR – Comando-Geral de Operações Aéreas.
- COPPE – UFRJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- FAB – Força Aérea Brasileira.
- GG – Geológico-geotécnica.
- GSD – *Groud Sample Distance*.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- IG – UnB – Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.
- ILWIS – *Integrated Land and Watershed Management Information System*.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- IR – *Infra Red*.
- ITC – *Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente*.
- JICA – *Japan International Cooperation Agency*.

JTC – *Joint Technical Committee on Landslides and Engineering Slopes.*

MDE – Modelo Digital de Elevação.

MGM – Movimento Gravitacional de Massa.

MLME – Modelo Linear de Mistura Espectral.

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index.*

PNI – Parque Nacional do Itatiaia.

PNPEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.

PUCE – *Pattern Unit Component Evaluation.*

SAR – *Sintetic Aperture Radar.*

SBSR – Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

SEV – Sondagem Elétrica Vertical.

SIG – Sistema de Informações Geográficas.

SR – Sensoriamento Remoto.

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission.*

TAV – Trem de Alta Velocidade.

USGS – *United States Geological Survey.*

1 INTRODUÇÃO

Ações antrópicas sobre o meio ambiente, especialmente em áreas sujeitas a catástrofes naturais, podem trazer riscos fatais ou danos a obras civis, uma vez que configuram uma das causas de movimentos gravitacionais de massa, conforme relatado por Yakushova (1986) e Zuquette *et al.* (2009). As intervenções na natureza para a implantação de uma ferrovia estão sujeitas a situações naturalmente perigosas. O estudo geológico-geotécnico dessas áreas tem como objetivo reduzir as possibilidades de ocorrerem acidentes oriundos da desestabilização de encostas ou de massas de terra que se encontram em repouso. Além de proporcionar à engenharia e à geotecnia conhecimentos sobre o comportamento do maciço ou da massa de solo que sofrerá a intervenção, tanto durante a execução das obras como durante a utilização da benfeitoria.

A área de concentração deste trabalho de mestrado é Geociências Aplicadas, na linha de pesquisa de aplicação de geotecnologias na análise de perigo e de risco a processos geodinâmicos superficiais. O tema escolhido foi a obra viária de infraestrutura no trecho 4 do Trem de Alta Velocidade (TAV Brasil), na serra da Mantiqueira entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

O traçado do TAV passa por terrenos muito variados, desde mangues próximos à baía de Guanabara até serras e vales na divisa entre os dois estados, além de turfeiras, solos calapsíveis e mar de morros no interior de São Paulo. A diferença no comportamento de solos tão distintos faz com que o estudo geológico geotécnico ganhe importância e se torne complexo.

Press *et al.* (2006) relata que os MGM (movimentos gravitacionais de massa) dependem de declividade, estabilidade, natureza dos materiais além da quantidade de água contida nos materiais da encosta. O trecho a ser estudado neste trabalho apresenta um corpo de tálus que será cortado para a passagem da ferrovia. Na Figura 1 observa-se o traçado otimizado da ferrovia apresentado ao final do estudo de viabilidade. A região do depósito apresentada nesta figura é fruto da análise feita pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Esse tipo de massa de solo é capaz de apresentar um movimento conhecido como rastejo, que pode causar sérios danos a obras civis, por exemplo, deslocando suas fundações. Wolle e Carvalho (1994) e Vargas (1999) relatam um movimento de rastejo de depósito de tálus no sopé da serra de Cubatão que avançou vinte metros em direção a casa de força de uma Usina Hidrelétrica da Light, após o início de uma obra de ampliação da casa de força, colocando em risco sua operação.

De movimento de rastejo até deslizamento do corpo de tálus são processos de suscetibilidade natural desses terrenos de sopé de encosta na base do maciço alcalino do Itatiaia. Esta situação de perigo geológico pode se tornar uma situação de risco geológico à medida que estes movimentos gravitacionais de massa atinjam as estruturas civis existentes no seu alcance, como a rodovia e a barragem, e ainda a ferrovia a ser construída. Assim como a intervenção da ferrovia, dependendo de como seja realizada, pode vir a deflagrar situações de risco geológico, devido a cortes e aterros que venham a mobilizar e desestabilizar o corpo de tálus.

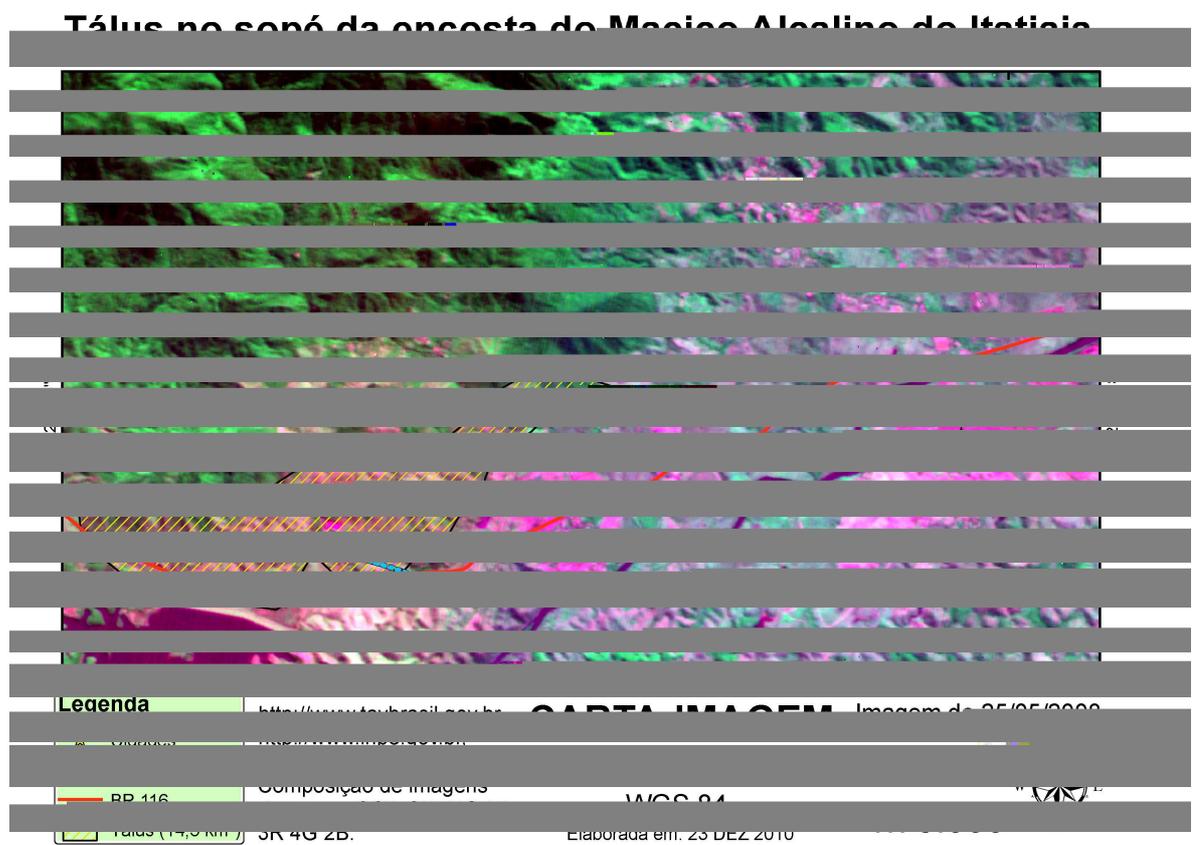


Figura 1 - Carta-Imagem da área de estudo. Localização do corte do Tálus no traçado proposto.

Na fase de viabilidade (CPRM, 2009b) constatou-se que a área a ser cortada apresenta solos formados por areia, arenitos, cascalhos, conglomerados, depósitos aluvionares e coluvionares, além de formações sedimentares, conforme observado na Figura 2, com a área mapeada formada por tálus. Os resultados dessa fase apontaram a necessidade de realização de estudos detalhados para a compreensão e o reconhecimento dos terrenos no traçado do TAV.

O estudo da CPRM classificou o material do depósito de tálus como heterogêneo e incoerente, variando desde grandes blocos de matacões até as frações areia, silte e argila, com espessuras muito variáveis. Classificou também que a capacidade de suporte é em geral média, localmente baixa (CPRM, 2009b).

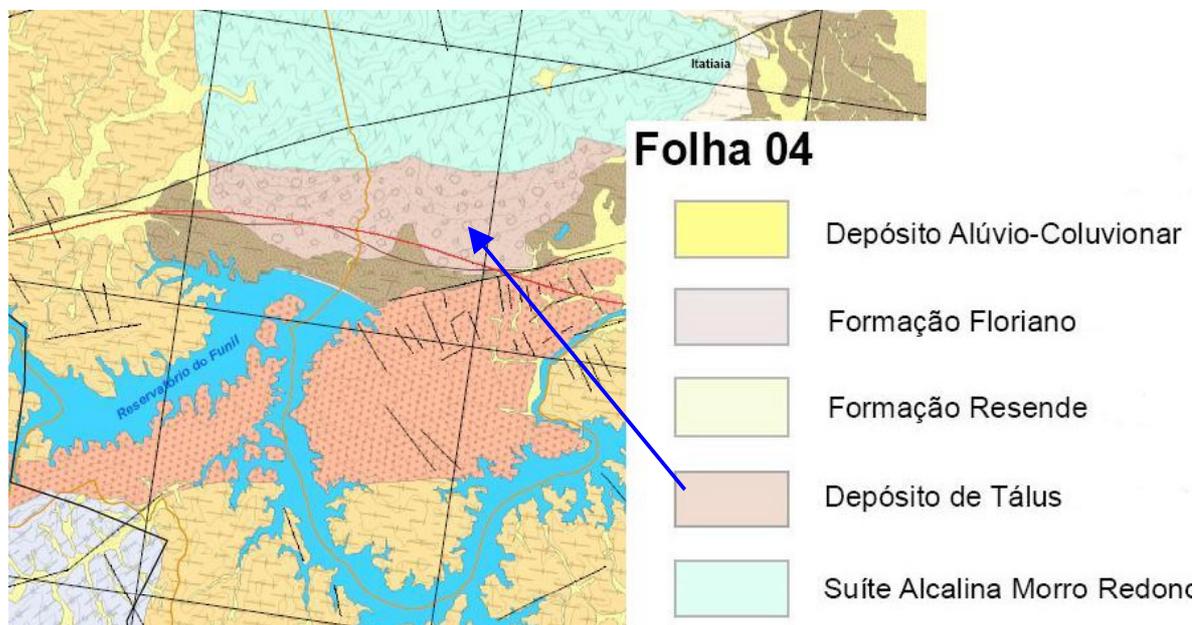


Figura 2 - Recorte do mapa geotécnico em 1:100.000, com destaque para o depósito de tálus (seta azul) e o traçado da ferrovia em vermelho. (CPRM, 2009b)

1.1 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é avaliar, por meio de imagens de sensoriamento remoto de altíssima resolução, processamento digital de imagens e operações algébricas entre mapas temáticos, o perigo de ocorrência de um movimento gravitacional de massa no corte do depósito de tálus observado no sopé da encosta do maciço alcalino de Itatiaia.

Os objetivos específicos são:

a) Mapear cicatrizes de movimentos de massa ocorridos na região, aplicando a metodologia JTC-1 (2008), obtendo assim a indicação da existência de pontos mais frágeis e suscetíveis a deslizamentos de massa.

b) Mapear áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa, aplicando a metodologia adotada por Regueiros e González-Barros (2008).

c) Analisar a existência de perigo de MGM que possa comprometer a operação do trem de alta velocidade, aplicando a metodologia de Regueiros e González-Barros (2008).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Os desastres naturais sempre acompanharam a história da humanidade, observam-se exemplos como o soterramento da Cidade de Pompeia na Itália pelas cinzas do vulcão Vesúvio, próximo ao ano 79 (GÓIS, 2009). Recentemente foi possível observar as forças da natureza devastando cidades na Ásia, como tsunamis gerados por terremotos submarinos no ano de 2004. No Haiti, em 2010, ocorreu também um terremoto que causou milhares de mortes e mergulhou o país num verdadeiro colapso administrativo, econômico e social.

As inundações e deslizamentos causados por chuvas intensas fazem parte de catástrofes que costumam assolar a humanidade. O verão de 2010 foi marcado por uma série de MGM gerados por fortes chuvas na cidade de Angra dos Reis no estado do Rio de Janeiro, além de fortes enxurradas e enchentes nas ruas. Em 2011 Teresópolis e Nova Friburgo foram atingidas por centenas de deslizamentos gerados por chuvas de grande intensidade.

2.2 Trabalhos relevantes sobre MGM

Prever um deslizamento é quase impossível, entretanto prevenir os resultados oriundos desta movimentação de terra é uma prática possível, conforme alguns trabalhos publicados neste sentido, como Varnes (1984), Fernandes e Amaral (1996), Wolle e Carvalho (1989) e Guzzetti e Tonelli (2004).

Conhecer o histórico de movimentos de massa na região estudada é um passo importante no mapeamento das possíveis áreas a serem atingidas. Diversos autores desenvolveram estudos levando em conta informações semelhantes, como registros de movimentos de massa remotos e recentes.

As novas tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR) têm sido largamente aplicadas nestes estudos, além das ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

As principais obras consultadas foram trabalhos divulgados pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil) referentes ao projeto do TAV, trabalhos divulgados pela USGS (*United States Geological Survey*), revistas e livros de geologia de engenharia, dissertações e teses que tratam de assuntos referentes a movimento de massa, vulnerabilidades e risco geológico. Publicações que abordam levantamentos de dados geológicos e geomorfológicos por meio de técnicas de sensoriamento remoto e SIG também foram consultadas.

Na Tabela 1 consta um comparativo das diferenças encontradas em alguns trabalhos publicados de maior relevância sobre risco e vulnerabilidade a MGM.

Tabela 1 - Comparativo entre trabalhos relevantes publicados.

Autor	Ano	Insumos	Fenômenos avaliados	Técnicas abordadas	Produtos gerados
Abreu A. E. S. Augusto Filho O.	2009	- Folhas topográficas; - Lev. aerofotogramétrico; - Lev. Campo; - Mapa de uso solo.	- Substrato rochoso; - Materiais inconsolidados; - Declividade; - Uso do solo.	- Ensaios de laboratório e in situ; - Fotointerpretação; - TIN (ArcView); - Interpretação visual de campo.	- Carta geotécnica.
Copons R. e Vilaplana J. M.	2008	- Lev. aerofotogramétrico; - Lev. Campo; - Publicações de MGM na mídia.	- Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM.	- Fotointerpretação; - Interpretação visual de campo; - Análise empírica sobre a distância percorrida pela massa rochosa e aspecto do tálus; - Densidade das áreas de depósito de rochas.	- Mapa de susceptibilidade.
van Westen C. J., Castellanos E. e Kuriakose L.	2008	- Lev. aerofotogramétrico; - Lev. Campo; - LIDAR; - MDE.	- Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM; - Uso do solo; - Aspecto; - Drenagem.	- Fotointerpretação; - TIN; - Análise multitemporal de imagens; - Álgebra de mapas.	- Mapa de susceptibilidade.
Yalcin A. Bulut F.	2007	- Lev. aerofotogramétrico visível e IR; - Folhas topográficas; - MDE.	- Uso do solo; - Cicatrizes de MGM; - Litologia; - Hidrogeologia; - Aspecto.	- Fotointerpretação; - TIN (ArcView); - Interpretação visual de campo; - Álgebra de Mapas.	- Mapa de susceptibilidade.
Zuquette L. V. e Ahrendt A.	2003	- Folhas topográficas; - Lev. aerofotogramétrico; - Lev. Campo; - Mapa de uso solo.	- Litologia; - Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM; - Acumulado de chuvas; - Aspecto.	- Fotointerpretação; - Ensaios de laboratório; - Interpretação visual de campo.	- Indicação da distribuição da chuva na área como fator desencadeador dos MGM.
Vilaplana J. M. <i>et al.</i>	2002	- Lev. aerofotogramétrico; - Lev. Campo;	- Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM.	- Fotointerpretação; - Digitalização;	- Mapa de Perigo.

Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P.	1999	<ul style="list-style-type: none"> - Folhas topográficas; - Mapa geomorfológico. - Lev. aerofotogramétrico; - Mapa geomorfológico; 	<ul style="list-style-type: none"> - Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM 	<ul style="list-style-type: none"> - Matriz: magnitude/frequência. - Fotointerpretação; - Interpretação visual de campo; - Álgebra de mapas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de perigo.
Barredo J. I. <i>et al.</i>	2000	<ul style="list-style-type: none"> - Lev. aerofotogramétrico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Litologia; - Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fotointerpretação; - Álgebra de Mapas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de risco de MGM.

Nos trabalhos descritos na Tabela 1 observou-se que o uso de ferramentas de SIG, fotointerpretação e de SR foi uma constante, mostrando que são procedimentos básicos para a geração de informações de análise de risco e perigo geológico.

Yalcin e Bulut (2007) esclarecem sobre a importância do conhecimento da litologia da região de Ardesen na Turquia para o correto entendimento dos MGM. Neste trabalho as curvas de nível foram obtidas por meio de vetorização manual da carta topográfica de 1:25.000 e posteriormente foi gerado um MDE. O mapa de suscetibilidade foi gerado pelo processo de álgebra de mapas utilizando os mapas de litologia, uso e cobertura, aspecto, drenagem e rodovias. Na Figura 3 observa-se o mapa de suscetibilidade gerado.

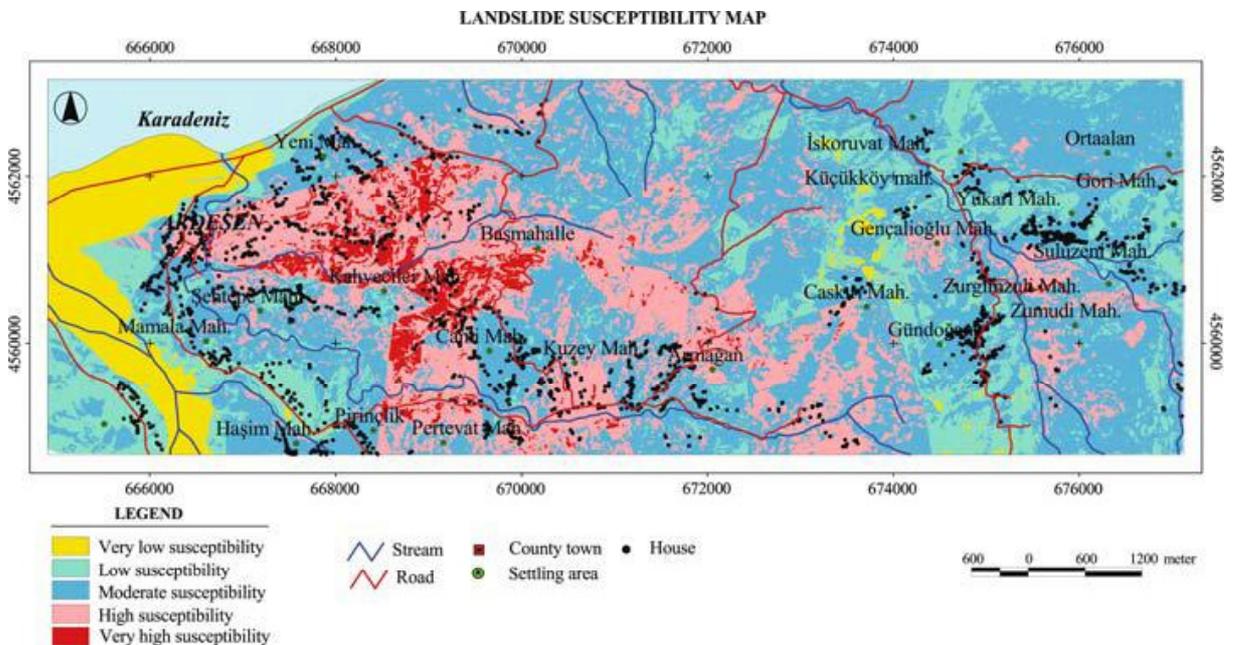


Figura 3 - Mapa de suscetibilidade a MGM na Turquia, gerado por Yalcin e Bulut (2007).

Zuquette e Ahrendt (2003) propõem uma metodologia baseada primeiramente em análise das características geotécnicas, seguido de um levantamento do histórico de movimentos gravitacionais de massa ocorridos na região e depois o levantamento dos documentos cartográficos da área de estudo, onde são utilizadas cartas topográficas e fotografias aéreas para o inventário de cicatrizes. Em uma segunda fase é proposto um levantamento de campo para verificar as características geotécnicas dos solos da região além das cicatrizes de escorregamentos ocorridos. Na terceira fase os dados de chuva, no período estudado, são associados aos movimentos gravitacionais de massa como fatores desencadeadores.

O uso de imagens orbitais, em substituição às fotografias aéreas cresceu bastante a partir da década de 90, à medida que as imagens dos sensores começaram a ser difundidas a custos mais baixos ou nenhum, e as ferramentas de processamento digital de imagens começaram a ser mais exploradas. Pressinotti *et al.* (2009) falam da importância do uso dessas imagens. Estes recursos, que cresceram junto com a qualidade das imagens geradas por sensores modernos, têm sido aplicados na identificação de cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa, conforme relatado no trabalho de Riedel *et al.* (2008), onde técnicas de segmentação e classificação foram usadas em imagens IKONOS obtendo sucesso no mapeamento das cicatrizes.

A fotografia aérea voltou a ser mais frequentemente utilizada com o uso das câmeras aéreas digitais, que proporcionaram maior precisão no posicionamento da aeronave com sistemas eletrônicos acoplados aos equipamentos de auxílio a navegação e com sensores e lentes que proporcionam resoluções espaciais da ordem de poucos centímetros. O uso de fotografias aéreas para a geração de dados cartográficos associados a risco geológico e vulnerabilidades, por meio de fotointerpretação, pode ser verificado nos trabalhos de Brabb (1977), Guzzetti *et al.* (1999), Carrara *et al.* (1999), Vilaplana *et al.* (2002), Barredo *et al.* (2000), Ardizzone *et al.* (2002), Cardinali *et al.* (2002), Guzzetti *et al.* (2003), van Westen *et al.* (2008), Yalcin e Bulut (2007), Metternicht *et al.* (2005), Copons e Vilaplana (2008) e Abreu e Augusto Filho (2009).

A revisão bibliográfica completa-se com o desenvolvimento dos capítulos três a sete, que seguem descrevendo sobre o estado da arte.

3 GEOMORFOLOGIA

3.1 Introdução

Entender a formação do solo contribui para a obtenção de melhor compreensão sobre os processos do meio físico. Esses processos são responsáveis por boa parte das mudanças nas paisagens e na topografia das regiões no Brasil. Nesse contexto, faz-se necessário o estudo geomorfológico da área pesquisada, no intuito de permitir uma correta interpretação dos eventos geológicos ocorridos e daqueles que poderão ainda ocorrer, conforme descrito por Ab'Saber (2000).

O entendimento dos processos que originaram o relevo poderá facilitar a identificação das formações de depósitos de tálus, na área de estudo.

3.2 Geomorfologia

Trata-se de um ramo da ciência que estuda as formas de relevo da superfície da Terra, seus processos de formação, tanto pretéritos como atuais, e as características particulares de cada tipo de relevo. Florenzano (2008) define geomorfologia como a ciência que estuda as formas de relevo, os materiais que o compõem, a gênese e os processos que neles atuam. Coltrinari (1982) define relevo como um conjunto das grandes unidades que se distinguem nas paisagens, como serras, maciços e planaltos onde as forças que os formaram são de origem endógena, ou seja, provocadas internamente (tectônicas, sismicidade, vulcanismo, dobramentos, afundamentos, falhamentos e fraturamentos). Além dos processos endógenos, os processos exógenos também contribuem para a formação do relevo, que podem ser manifestados como intemperização, erosão, sedimentação e ação do vento e da água, podendo esse último ocorrer em virtude da umidade, da chuva ou de correntezas, tanto geradas pelas dinâmicas dos corpos d'água como pelas águas superficiais de enxurradas. As ações antrópicas sobre os relevos podem acelerar ou retardar a ocorrência de alguns fenômenos exógenos, entretanto estas ações não têm influência direta nos processos endógenos, uma vez que esses processos são resultado da energia dinâmica existente na crosta terrestre. As interações do homem com o relevo fazem com que as paisagens deixem de possuir características puramente naturais, pois as explorações minerais, obras de engenharia, represamentos de rios, dentre outras, são ações que influenciam diretamente no comportamento do solo, frente às solicitações de carga e aos agentes exógenos.

A paisagem alterada é um espaço produzido, no qual o relevo serve de suporte físico ou recurso, onde as diferentes formas de ocupação refletem os momentos históricos,

econômicos e sociais. Logo, o relevo e seu modelado representam o fruto da dinamicidade, entre os processos físicos e os agentes sociais atuantes, que ocorrem de modo contraditório e dialético a partir da análise integrada das relações processuais entre escala de tempo geológica e a escala histórica ou humana.

Dantas *et al.* (2008) relata que os processos endógenos são responsáveis pelo soerguimento das paisagens, gerando relevos montanhosos, e os processos exógenos pelo arrasamento dos relevos, gerando relevos mais aplainados. Os relevos encontrados na superfície terrestre são resultados do antagonismo entre os dois processos que vem ocorrendo ao longo dos anos. Ross e Moroz (1997) afirmam que o relevo é dinâmico e está em contínuo processo de evolução, sendo assim, as paisagens tendem a se alterar naturalmente.

Entender os processos de formação da superfície do nosso planeta é um desafio que o homem deve enfrentar para lograr êxito em todas as atividades que interagem com o meio ambiente. Projetos de engenharia, irrigação, agricultura e ocupação de terrenos para atividades militares, são exemplos dessas interações. A superfície do planeta está sendo formada ao longo de toda a sua existência. As grandes transformações no relevo ocorrem em intervalos de tempo que o homem, com sua breve existência, não consegue acompanhar, pois são períodos de milhões ou até bilhões de anos. Os terremotos e erupções vulcânicas são fenômenos de curto período de tempo, mas as suas consequências na formação da crosta terrestre se refletem ainda durante muitos anos após suas ocorrências.

As características morfológicas constituem diferentes topografias encontradas no planeta e irão influenciar diretamente os procedimentos adotados nas diversas atividades mencionadas. Os fatores intrínsecos ao relevo, como a fragilidade ou a vulnerabilidade associadas a sua ocupação, que sejam favoráveis ou desfavoráveis para cada atividade, devem ser considerados.

3.3 Geomorfologia estrutural

Este ramo da geomorfologia teve origem em trabalhos executados por engenheiros e geólogos europeus e norte-americanos, tendo a publicação "*The geographical cycle*" de Willian Morris Davis (1899) como marco fundamental. Este trabalho reunia pesquisadores de língua inglesa e francesa que estudavam processos fluviais. Apoiado em uma teoria bergsoniana dedutivista, Davis criou uma nova teoria a partir de suas observações e de sua enorme imaginação. A formação do relevo terrestre era oriunda de ciclos de erosão, apresentando etapas que se sucediam do nascimento à morte. Este ciclo é representado na Figura 4, onde a linha $\alpha\omega$ representa o passar do tempo, enquanto as linhas verticais

representam as variações de relevo acima do nível médio do mar. Conforme o tempo passa as estruturas geológicas são arrasadas pelo intemperismo e vão formando as fases subsequentes ao seu surgimento. A linha CEGJ sofreu ação da hidrografia com o passar dos anos, enquanto a linha DFHK representa a topografia de relevos mais altos que não sofreram ação da hidrografia.

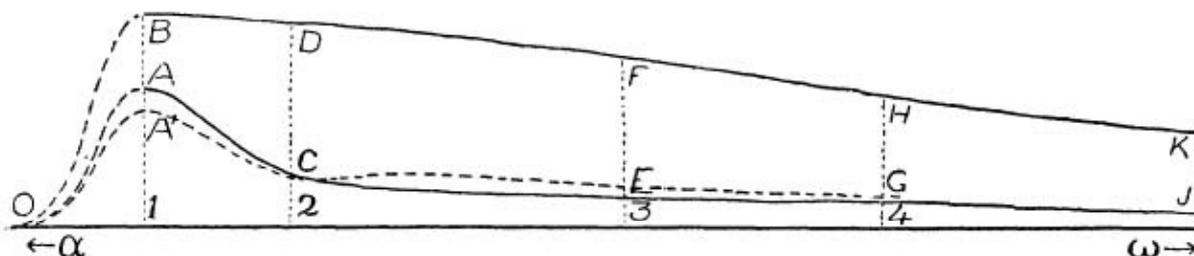


Figura 4 - Proposta de ciclo geomorfológico. Fonte: Davis (1899)

Juventude, maturidade e senilidade compunham as fases do ciclo de erosão e os fatores principais deste ciclo são a estrutura geológica, os processos operantes, o tempo e a história evolutiva do modelo. Na Tabela 2 constam as características observadas no relevo em cada fase, extraído de Christofolletti (1980).

Tabela 2 - Comportamento do relevo nas fases do ciclo de erosão.

FASE		COMPORTAMENTO OBSERVADO
Juventude	Inferior	Eliminação dos lagos
	Média	Eliminação das cachoeiras e rápidos
	Superior	Os cursos fluviais estão próximos do equilíbrio
O relevo alcança o máximo no começo da maturidade		
Maturidade	Inferior	As drenagens encontram-se integradas pelas capturas
	Média	Os fundos dos vales apresentam campos metamórficos; há máxima rugosidade na topografia
	Superior	Os interflúvios paulatinamente tornam-se arredondados; progressivamente a drenagem se torna ajustada às estruturas; as declividades dos cursos tributários tornam-se equilibradas
Senilidade	2	Os fundos dos vales continuam a se alargar
	3	O controle estrutural sobre as drenagens tende a relaxar
	4	Espessamento do manto de intemperismo

Na Figura 5 observa-se o modelo de evolução de vertente proposto por Davis (1899), onde a fase final observada corresponde ao trecho 4 da Figura 4.

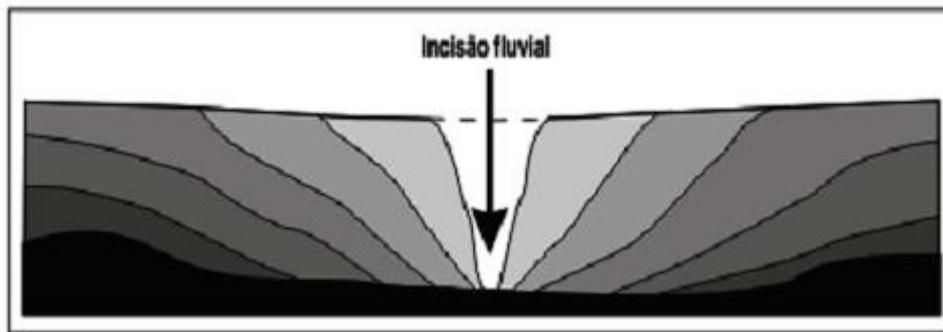


Figura 5 - Modelo de evolução de vertente (DAVIS, 1899).

Walter Penck, um dos principais opositores das ideias apresentadas por Davis, publicou em 1924 o trabalho *“Die Morphologische Analyse”* que se contrapôs à sucessão progressiva e irreversível, ou seja, a de formação seguida de erosão de William Morris Davis. Penck tem o mérito de ter desenvolvido uma fundamentação teórico-metodológica que até o momento é balizadora das pesquisas geomorfológicas.

Na Figura 6 tem-se a comparação entre as propostas de Penck e de Davis.

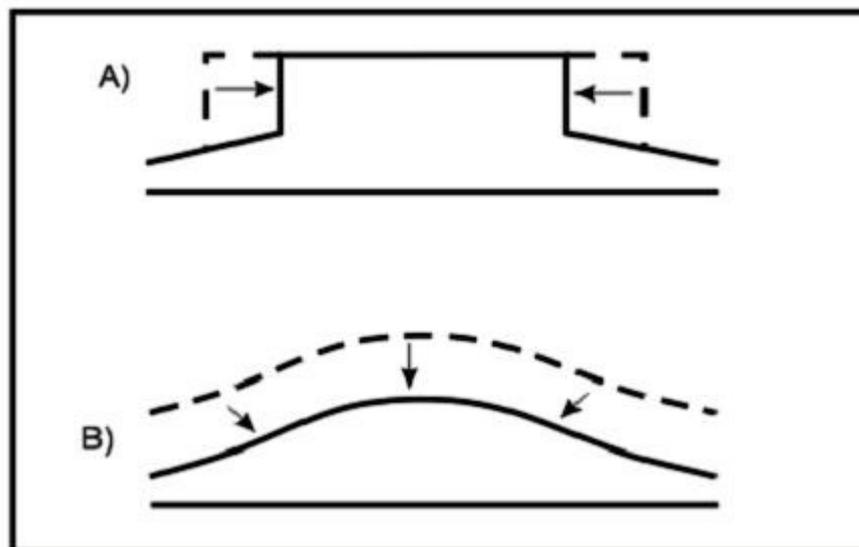


Figura 6 - Comparação entre a proposta de Penck (A) e de Davis (B).

Ross e Moroz (1997) define que todo relevo terrestre pertence a uma determinada estrutura que o sustenta e mostra um aspecto escultural que é decorrente da ação do tipo climático atual e pretérito que atuou e atua nessa estrutura. Deste modo a morfoestrutura e a morfoescultura definem situações estáticas, produtos da ação do endógeno e do exógeno. Estes produtos se dividem nas unidades taxonômicas que Ross (1992) classifica segundo a Figura 7.

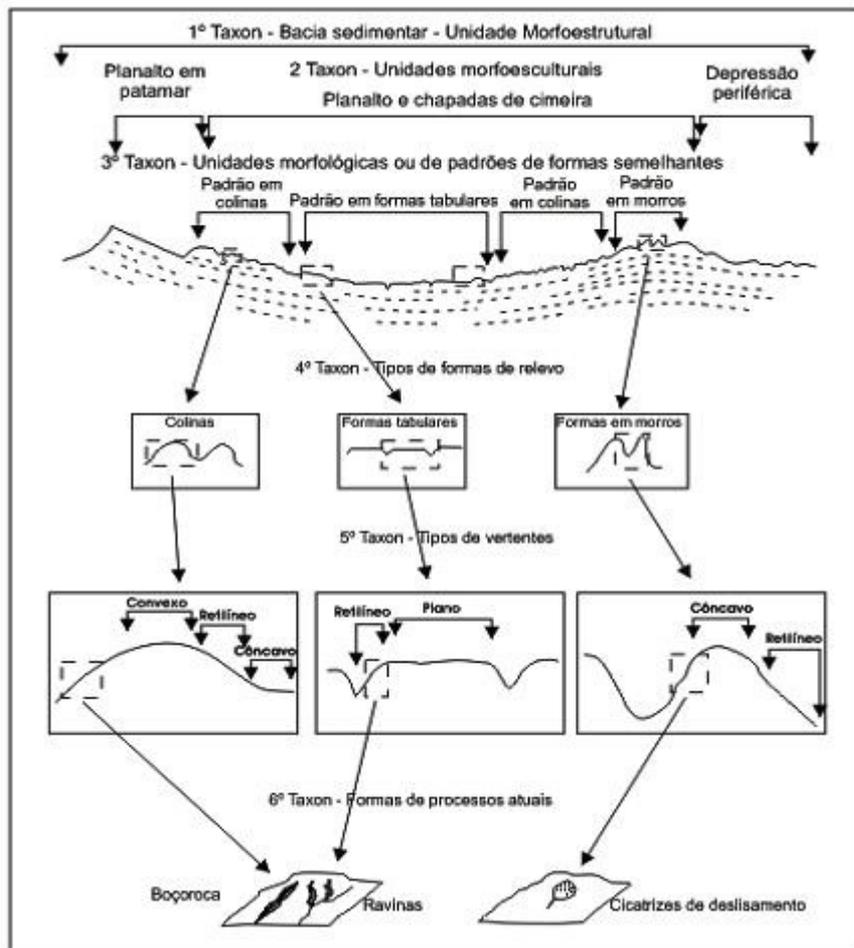


Figura 7 - Representação esquemática das unidades taxonômicas geomorfológicas. (ROSS, 1992).

Os níveis de abordagem geomorfológicas na metodologia de análise Ab'Saber (1969b) seguem a seguinte classificação: compartimentação morfológica, estrutura superficial do relevo e fisiologia da paisagem.

Na compartimentação morfológica o uso de imagens de sensoriamento remoto e trabalhos de campo são as principais ferramentas para caracterizar formas e padrões de relevo. Trata-se de uma etapa importante para o planejamento de uso e ocupação do solo. Os parâmetros de abordagem nesta etapa são morfométrico, morfográfico e morfogenético. Conforme observado na Figura 8.

No estudo da estrutura superficial do relevo são levados em consideração os aspectos de formações superficiais autóctones e alóctones. Os parâmetros de abordagem nesta etapa são os mesmos da anterior acrescidos de morfocronologia, demonstrado na Figura 8.

A fisiologia da paisagem estuda a influência da estrutura litológica, do clima e dos tipos de solo na formação das paisagens. Nesta etapa os parâmetros de abordagem já

mencionados são acrescidos de morfodinâmica. É no estudo da fisiologia da paisagem que é considerada também a ação do homem sobre o relevo, como visto na Figura 8.

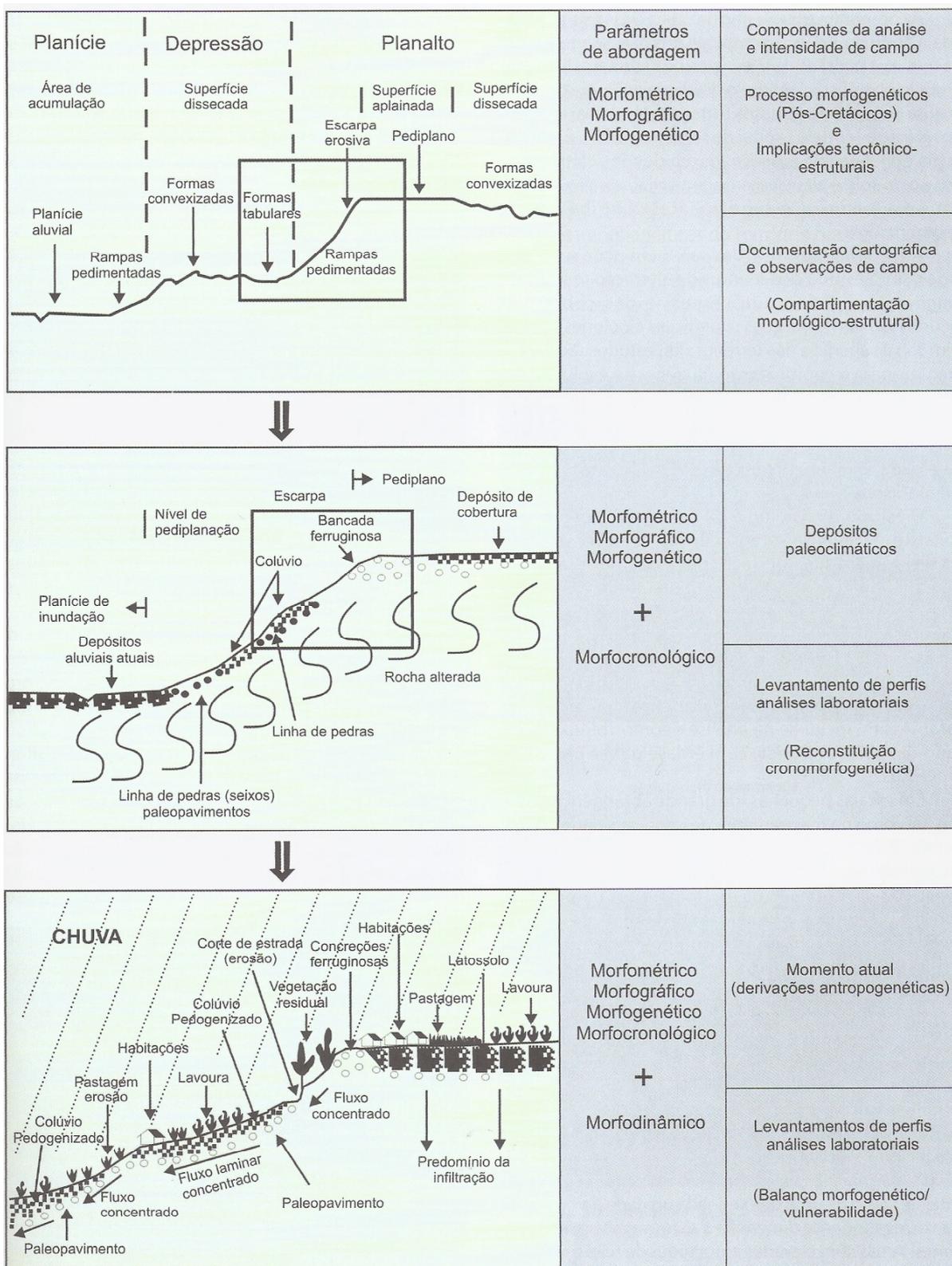


Figura 8 - Proposição de análise geomorfológica. (AB'SABER, 1969a; *apud* DANTAS *et al.*, 2008).

A morfologia engloba a morfografia, que é a descrição qualitativa das formas de relevo e a morfometria que é a caracterização do relevo por meio de variáveis quantitativas ou índices morfométricos. O estudo da morfologia é o ponto de partida para o entendimento do relevo.

3.4 Critérios para a caracterização das unidades de relevo

As unidades de relevo podem ser caracterizadas em função de parâmetros geométricos mensuráveis que estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para caracterização das unidades de relevo. (IPT, 1981)

Variável	Categoria	Intervalo de classe	Conceito
Amplitude Local	Pequena	0-100m	Altura máxima da unidade em metros
	Média	100-300m	
	Grande	>300m	
Declividade	Baixa	0-15%	Inclinação média do perfil da encosta, em %
	Média	15-30%	
	Alta	>30%	
Densidade de drenagem	Baixa	0-5	Número de cursos d'água perenes em uma área de 10 km ²
	Média	5-30	
	Alta	>30	
Expressão de colinas em áreas	Pequenas	<1km ²	Área ocupada pelos interflúvios
	Médias	1-4km ²	
	Grandes	>4km ²	
Topos	Extensos Restritos		Convencional
Formas dos topos	Aplainados Arredondados Angulosos		Convencional
Perfil das Vertentes	Convexo Retilíneo Côncavo		Convencional
Padrão de drenagem	Dendrítico Paralelo Retangular Pinulado Em treliça		Convencional
Vales	Abertos Fechados		Convencional
Planícies aluvionares interiores	Desenvolvidas Restritas		Convencional
Existência de drenagem fechada	Presente Ausente		Ocorrência de lagoas perenes ou intermitentes
Existência de ravinamento de vertentes	Presente Ausente		Convencional

Os sistemas de relevo de degradação podem ser identificados pelos critérios definidos pelo IPT (1981), conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Critérios para identificação de sistemas de relevo de degradação. (IPT, 1981)

Conjuntos de sistema de relevo	Declividade dominante da vertente	Amplitudes locais
Relevo colinoso	0-15%	<100m
Relevo de morros com vertentes suavizadas	0-15%	100-300m
Relevo de morrotes	>15%	<100m
Relevo de morros	>15%	100-300m
Relevo montanhoso	>15%	>300m

Diniz-Souza (1992) cita diversos trabalhos de análise e caracterização de terrenos para o planejamento de uso e ocupação, dentre os quais podem ser citados Purnell (1984), Zuidan (1985), Cooke e Doornkamp (1990), Verstappen (1983), van Westen *et al.* (2008) e Meijerink (1988), esse último apresenta a metodologia usada no ITC (*Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente*) na Holanda, no Sistema de Informações Geográficas ILWIS (*Integrated Land and Watershed Management Information System*).

No Quadro 1 observam-se os principais níveis de classificação do sistema de classificação do ITC, comparado com outras aproximações de avaliação de terrenos.

Os Padrões ou Sistema de Terreno e as Províncias são definidos segundo o sistema PUCE (*Pattern Unit Component Evaluation*) no Quadro 2.

Quadro 1 - Principais níveis de classificação do sistema do ITC, comparado com outras aproximações de avaliação (Adaptado de DINIZ-SOUZA, 1992).

Nível – ITC Sistema de classificação geológica		Escalas	Classificação fisiográfica	ITC Classificação de terrenos	Oxford mexe	CSIRO. DIV(BRANT.) GEOMECC	CSIRO. Land Research and Rej. Surv. (Christian)	DOS	Sistema Loreetec	FAO Frameworks (Purnell, 1984)	Ross J. (1990)
Nível	Características dinâmicas										
1	Geoquímica Geomorfológica	<= 1:250.000	Província fisiográfica	Província de terreno	Região de terreno e sistema de terreno.	Província de terreno	Província de terreno (sistema de complexo de terreno)	Região de terreno / província (como parte do sistema de terreno)		Províncias externas (países)	Unidades morfo-estruturais, Unidades morfoeculturais, Superfícies geneticamente homogêneas
2	Unidade Geomorfológica Principal	>= 1:250.000	Unidade fisiográfica principal	Sistema de terreno (padrão)	Sistema de terreno	Padrão de terreno	Sistema de terreno	Sistema de terreno		Estados e bacias hidrográficas	Modelado padrão de formas de relevo

		padrão dominante de componentes de terreno geneticamente relacionados.										
3	Unidade Geomorfológica	Nenhuma ou poucas generalizações em classes de área. Os detalhes podem ser generalizados. O relevo, litologia e gênese são principais critérios da classificação. Razoavelmente homogêneo e distinto do terreno circunvizinho.	>= 1:50.000	Unidade fisiográfica detalhada	Unidade de terreno	Faceta de terreno	Unidade de terreno	Unidade de terreno	Faceta de terreno		Municípios, área rural, sub-bacias	Tipos de forma de relevo

4	Detalhe Geomorfológico	Nenhuma generalização em classes de área. Nenhuma ou pouca generalização em detalhes. Relevo é o critério mais importante. Basicamente uniforme na litologia da forma do terreno, solo, vegetação e processos.	>= 1:10.000	Elemento fisiográfico	Componente do terreno	Elemento do terreno	Componente do terreno	Componente do terreno (local)	-	Fácies	(Municípios)	Formas lineares e pontuais do relevo.
---	------------------------	--	-------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	-----------------------	-------------------------------	---	--------	--------------	---------------------------------------

Quadro 2 - Definição da classificação de terrenos segundo PUCE (DINIZ-SOUZA, 1992).

DEFINIÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE TERRENO						
Estágio inicial da classificação de terreno				Estágio final da classificação de terreno		
Fontes de informação indireta	Fator relevante na classificação	Título	Fontes suplementares de informação	Fator relevante na classificação	Título	Modo de expressão
Mapas geológicos, imagens de sensoriamento remoto na escala da ordem de 1:10 ⁶	Áreas de geologia constante a nível de grupo.	---	Estudos geológicos.	Áreas de geologia constante a nível de grupo.	PROVÍNCIA	Mapa 1:250.000 ou escala maior das associações de PADRÕES DE TERRENO
Imagens de sensoriamento remoto na escala da ordem de 1:10 ⁵	Áreas de padrão de imagem similar, amplitude de relevo local constante e padrão e densidade de drenagem constantes como definido pela interpretação de imagens.	Padrão de imagens de alta resolução	Estudo da terra, da fisiografia e das associações de unidades do terreno	Áreas de amplitude de relevo local constante e padrão e densidade de drenagem constante. Áreas de padrão de imageamento constante. Áreas com mesma associação de unidade de terreno.	PADRÃO DE TERRENO.	Mapa 1:250.000 ou escala maior (e bloco diagrama) da paisagem e das associações de UNIDADES DE TERRENO
Estudos fotogramétricos de imagens na escala da ordem de 1:10 ⁴	Forma de relevo típica	Unidade de forma de relevo	Estudo da terra para reconhecimento e avaliação quantitativa das dimensões das formas de relevo (onde não obtido pelo estudo das	Áreas ocupadas por formas de relevo típicas com associações de materiais do terreno e formações vegetais características. Áreas com mesma	UNIDADE DE TERRENO	Mapas 1:25.000 ou escala maior das formas de relevo, associação de materiais e formações vegetais, parâmetros, porcentagens de padrões de terreno, e

			fotografias aéreas e imagens). Estudo da terra das associações de materiais do terreno e de cobertura vegetal. Estudos das associações de componentes de terreno.	associação de componentes de terreno.		associação de COMPONENTES DE TERRENO.
Estudos fotogramétricos de imagens na escala da ordem de 1:10 ³ . Mapas com intervalo de adequabilidade.	Tipos de vertentes típicas.	Componente de forma de relevo.	Estudos da terra para reconhecimento de vertentes, solos, cobertura da superfície e associação vegetal específicos	Áreas com tipo de mudanças de declive constantes. Classificação do solo pela U.S.C e subdivisão dos perfis primários ao nível de forma. Classificação das associações de vegetação.	COMPONENTE DE TERRENO	Mapa 1:2.500 ou escala maior das combinações de vertentes, associação vegetal e de solo característicos e da dominância relativa em relação a Unidade de Terreno e aos parâmetros de terreno.

3.5 Morfografias e geofomas

Para a modelagem dos terrenos são adotados parâmetros geomorfológicos que podem ser descritos como: depressões, planícies, planaltos, montanhas, chapadas, tabuleiros, escarpas, serras, morros, morrotes, colinas e terraços. Esses parâmetros são também chamados de macroformas, segundo Florenzano (2008).

Depressões são terrenos situados abaixo do nível do mar ou abaixo do nível altimétrico das regiões adjacentes, que podem ter diferentes origens ou formas. Segundo Dantas *et al.* (2008) o Vale do Rio Paraíba do Sul pode ser considerado uma depressão por estar abaixo dos níveis das regiões próximas. Na Figura 9 tem-se um exemplo de depressão, a região do mar Morto que encontra-se abaixo do nível do mar.



Figura 9 - Depressão na região do Mar Morto. Fonte: <http://api.ning.com>. Acessado em: 16/03/2011.

Planícies são terrenos baixos ou planos, formados por acúmulo de material que pode ser de origem: aluvial ou fluvial, marinha, lacustre, glacial ou eólica, conforme relata Florenzano (2008).

Os planaltos apresentam-se como terrenos altos, variando de planos a ondulados. Costumam ser pouco acidentado e com um relevo arrasado pela erosão em cotas mais elevadas, conforme relatado por Dantas *et al.* (2008). Na Figura 10 tem-se um exemplo de planalto.



Figura 10 - Geoforma planalto. Fonte: extraído de: http://gpsbtt.planetaclix.pt/arga_01/planalto.jpg. Acessado em: 10/11/2010.

Montanhas configuram terrenos fortemente ondulados e de grandes elevações. A presença de colúvio e tálus nestes relevos é frequente. Na Figura 11 observam-se montanhas na região de Angra dos Reis-RJ.



Figura 11 - Montanhas na região de Angra dos Reis-RJ. Fonte: (AUTOR, 2010)

Chapadas são relevos típicos de planalto sedimentar. São grandes superfícies planas, em geral de estrutura horizontal, acima de 600 m, características das Regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil (FLORENZANO, 2008). Na Figura 12 observa-se uma imagem da Chapada Diamantina no estado da Bahia.



Figura 12 - Chapada Diamantina no estado da Bahia. Fonte: obtida em http://f5pelomundo.files.wordpress.com/2009/08/chapada_diamantina.jpg. Acessado em: 12/03/2011.

Tabuleiros são áreas de relevo plano de origem sedimentar, de baixa altitude e com limite abrupto (FLORENZANO, 2008). Na Figura 13 tem-se um exemplo de geoforma tabuleiro.



Figura 13 - Geoforma tabuleiro. Fonte: extraído de: <http://www.cpgg.ufba.br/lec/images/fmtb.jpg>. Acessado em: 25/11/2010.

As escarpas configuram terrenos muito acidentados que, segundo Dantas *et al.* (2008), apresentam desnivelamentos superiores a 300 m com rampas ou degraus de grande inclinação.

As serras são altas elevações do terreno, com domínio de topos angulares, amplitudes acima de 200 m e altas declividades, conforme define Florenzano (2008). Na Figura 14 tem-se um exemplo de serra.



Figura 14 - Serra. Fonte: <http://i.olhares.com/data/big/185/1858948.jpg>. Acessado em: 22/11/2010.

Os morros possuem médias elevações do terreno, com domínio de topos arredondados, amplitude entre 100m e 200m e grandes declividades (FLORENZANO, 2008). Na Figura 15 tem-se um exemplo de geoforma morro.



Figura 15 - Morros. Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Serra_P4.JPG. Acessado em: 22/11/2010.

Os morrotes se apresentam em terrenos de baixas elevações, com domínio de topos arredondados, amplitude entre 20 m e 60 m e grandes declividades. Na Figura 16 observam-se morrotes.



Figura 16 -Morrotes. Fonte: <http://jasper.rc.unesp.br/corumbatai/vd/cp07/fts/7.16.jpg>. Acessado em: 21/11/2010.

Segundo Florenzano (2008) as colinas são baixas elevações do terreno, com topos arredondados a quase planos, amplitude entre 20 m e 60 m e declividades baixas. Na Figura 17 observa-se uma região de colina.

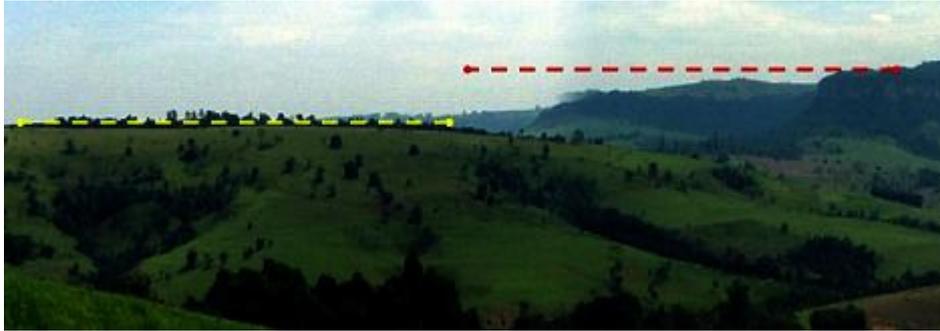


Figura 17 - Região de colina. Fonte: [.http://jasper.rc.unesp.br/corumbatai/vd/cp07/fts/7.17.jpg](http://jasper.rc.unesp.br/corumbatai/vd/cp07/fts/7.17.jpg). Acessado em: 22/11/2010.

Os terraços configuram patamares em forma de degrau, localizados nas encostas dos vales (FLORENZANO, 2008). Na Figura 18 observa-se um esquema sobre a localização dos terraços. São formados, segundo Press *et al.* (2006), quando o terreno é soerguido e o rio erode a planície de inundação gerando uma nova planície em nível mais baixo.

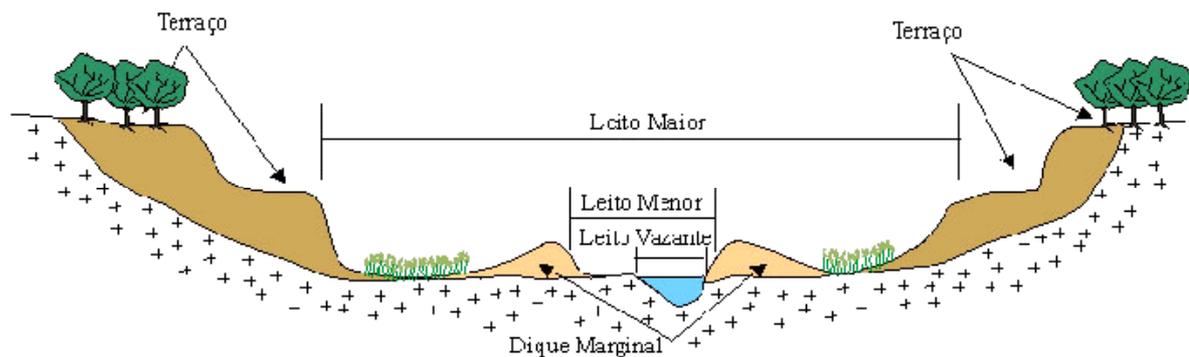


Figura 18 - Esquema de localização de terraço. Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/leito.gif>. Acessado em: 19/07/2010.

Conforme relatado por Florenzano (2008) existe ainda outra classificação de geofomas, que se corresponde com a apresentada da seguinte forma:

- Relevo plano: planícies, terraços, tabuleiros e chapadas;
- Relevo suave ondulado: colinas;
- Relevo ondulado: morros e morrotes;
- Relevo fortemente ondulado: morros e serras;
- Relevo montanhoso: montanhas e serras;

- Relevo escarpado: serras e escarpas.

Alguns elementos são utilizados nas distinções de terrenos e limites das geoformas, que são:

- Talvegue: é a linha de maior profundidade no leito de um rio.
- Interflúvio: é o espaço entre dois talvegues.
- Vertente: conhecida como encosta. Superfícies inclinadas que vai da linha divisória de águas ao fundo do vale.
- Vale: é uma depressão alongada, de fundo descendente, formado por um talvegue e duas vertentes.
- Divisor de águas: é o nome dado à linha que divide duas bacias hidrográficas.
- Ruptura de declive: é o nome dado à descontinuidade de aclave de uma vertente.

Na Figura 19 observam-se alguns desses elementos.

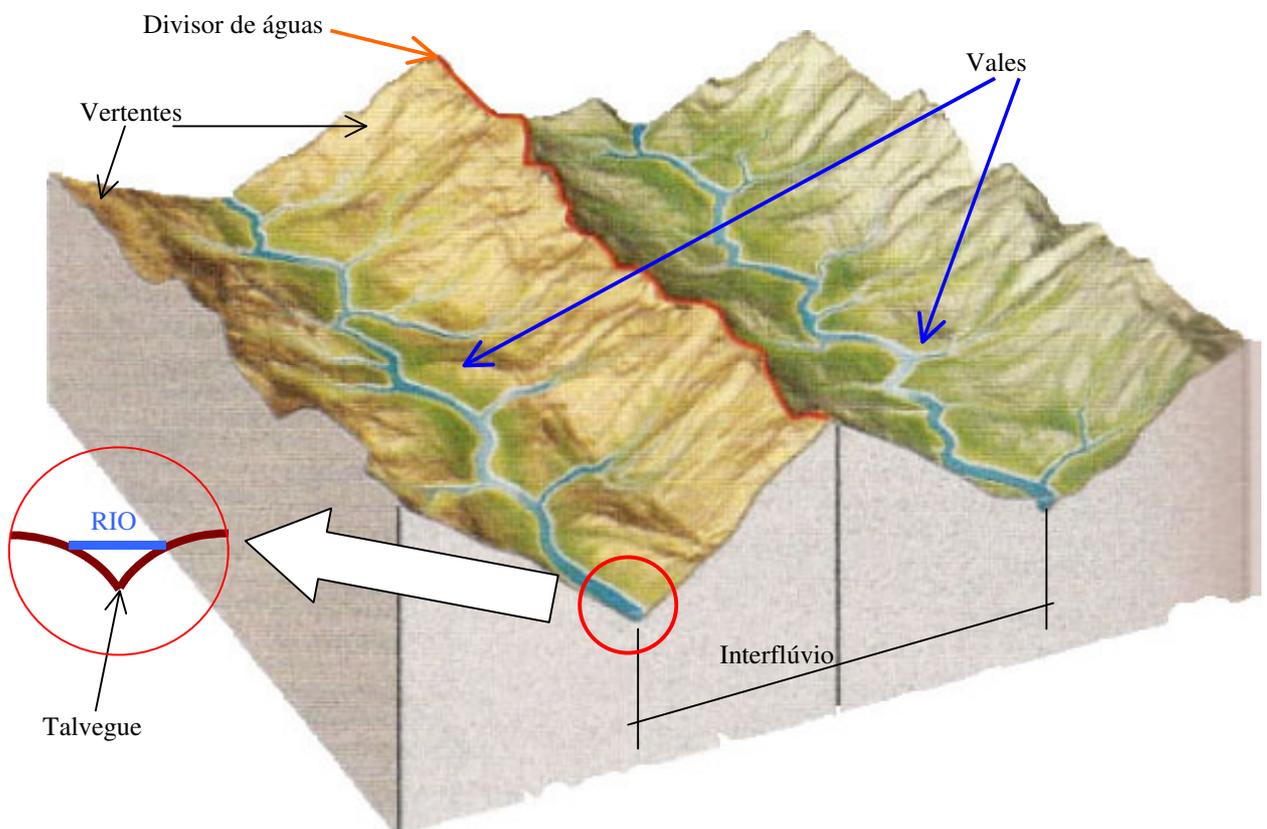


Figura 19 - Elementos de descrições de forma de relevo. Adaptado de Press *et al.* (2006)

3.6 Morfometria

A morfometria consiste em estudar as dimensões mensuráveis de uma geomorfologia. Os parâmetros que compreendem estas dimensões são:

- Altitude: altura do relevo em relação ao nível do mar;
- Amplitude altimétrica: altura da forma de relevo;
- Extensão da vertente: é a distância entre a base da vertente e o divisor de águas;
- Declividade: é a inclinação do relevo em relação ao plano horizontal;
- Densidade de drenagem: é a razão entre comprimento dos canais de drenagem e unidade de área;
- Frequência de rios: definido pelo número de canais de drenagem por unidade de área;
- Amplitude interfluvial: distância que separa dois interflúvios.

As variáveis morfométricas podem ser obtidas por meio de medições em campo, em cartas topográficas ou em um modelo digital de elevação (MDE), segundo Florenzano (2008).

3.7 Morfogênese

Refere-se à origem das formações dos relevos, que são os resultados dos processos endógenos e exógenos, já definidos no início deste capítulo. As formas resultantes dos processos endógenos, segundo Florenzano (2008) são: planaltos, planícies e chapadas. Podem ser resultantes de processos exógenos os tabuleiros, planícies e depressões. Geralmente englobam processos de formação fruto de intemperismo físico (fragmentação de rochas), químico e bioquímico (decomposição das rochas), erosão ou denudação e acumulação que corresponde à deposição do material removido e/ou transportado pela erosão.

3.7.1 Intemperismo

Segundo Press *et al.* (2006) é o processo geral pelo qual as rochas são destruídas na superfície da Terra. O intemperismo físico se caracteriza pela fragmentação (ação mecânica) sofrida pelas rochas; o químico ou decomposição pela alteração química ou dissolução dos minerais que compõem a rocha, que pode acontecer por ações químicas ou biológicas, conforme relatado por Florenzano (2008). O grau de intemperismo em uma

rocha ou solo varia de acordo com a profundidade, em função da natureza, da estrutura e da mineralogia do maciço rochoso, segundo Diniz-Souza (1992).

3.7.2 Erosão

Remoção e transporte de material intemperizado, segundo Florenzano (2008). Press *et al.* (2006) define como o conjunto de processos que desagregam e transportam solos e rochas morro abaixo ou na direção do vento.

Os processos de erosão mais importantes que ocorrem no Brasil são de origem pluvial, fluvial e de movimentos de massa.

3.7.3 Acumulação

Refere-se à deposição de material removido e transportado pelos agentes de erosão e acabam gerando principalmente as seguintes feições de relevo, segundo Florenzano (2008):

- Tálus; (Figura 20)
- Cones de dejeção ou leques deposicionais. (Figura 21)



Figura 20 - Exemplo de tálus.

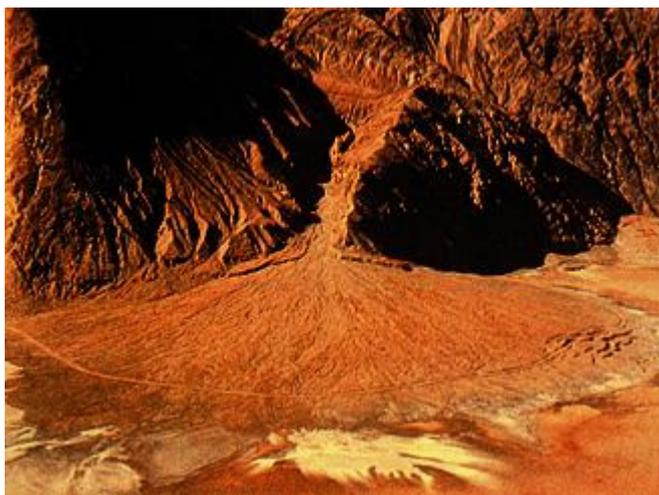


Figura 21 - Cone de dejeção ou leque deposicional. Fonte: <http://www4.fct.unesp.br/>. Acessado em: 12/07/2010.

Florenzano (2008) define o tálus como um depósito formado por fragmentos de rocha, removidos e depositados na base da vertente, resultantes de movimentos de massa antigos, e apresenta a possibilidade de gerar novos movimentos quando desestabilizados, principalmente por elevada pluviosidade. Porém, ações antrópicas também podem desencadear movimentos neste tipo de formação. IG-UnB (2010) traz a definição de tálus como sendo um depósito sedimentar clástico de sopé de encosta, mal classificado, geralmente com fragmentos grosseiros e angulosos sem estratificação regular. O que é possível notar nas duas definições é que se trata de uma formação muito instável e sujeita a movimentos de massa.

Existe outro tipo de formação por acumulação que é o colúvio, semelhante ao tálus, porém é um solo de vertente que sofreu pequeno transporte, misturado com solos e fragmentos de rocha, trazidos de regiões mais altas, geralmente mal classificado e mal selecionado, conforme definido por IG-UnB (2010). Caracteriza-se por apresentar fragmentos de rocha fracamente consolidados, conforme descrito por Gusmão Filho (2002). O elúvio também é um solo residual, porém sofreu muito pouco ou nenhum transporte, segundo IG-UnB (2010). Além desses existe ainda o alúvio, que é um solo transportado por rios ou massa de água dinâmica.

3.8 Aplicações dos resultados da análise geomorfológica

A pesquisa geomorfológica tem sua aplicação prática na correta indicação das possibilidades de uso e ocupação das áreas estudadas, indicando suas potencialidade e

limitações para algumas aplicações que, conforme descrito por Nunes *et al.* (1994), podem ser:

- indicação de faixas favoráveis a estudos de detalhe para implantação ou ampliação de rede viária, considerando aspectos de relevo;
- indicação de faixas favoráveis a estudos de detalhe para implantação de linhas de transmissão, oleodutos e gasodutos, considerando aspectos morfológicos;
- indicação de sítios propícios a instalação de núcleos urbanos em função do relevo e da malha viária já existente ou em implantação;
- delimitação de áreas sujeitas à inundação, assim como áreas com problemas de escoamento superficial e subterrâneo e definição de bacias de captação;
- indicação de sítios favoráveis a estudos de implantação de açudes e represas hidrelétricas;
- delimitação de áreas em desequilíbrio morfodinâmico, que possibilitem a aceleração de processos erosivos;
- relação da evolução do relevo com a ocorrência de recursos minerais, principalmente os aluviais e supergênicos.

Uma das formas de representar as áreas geomorfologicamente propícias a determinadas finalidades é utilizando a cartografia geomorfológica. Os mapas gerados com base em análises geomorfológicas trazem informações sobre o relevo, com ênfase na geomorfologia, nas estruturas superficiais das paisagens e nos processos morfodinâmicos, inserindo o homem como agente desses processos. Na Figura 22 tem-se um exemplo de uma carta geomorfológica do Estado de São Paulo.

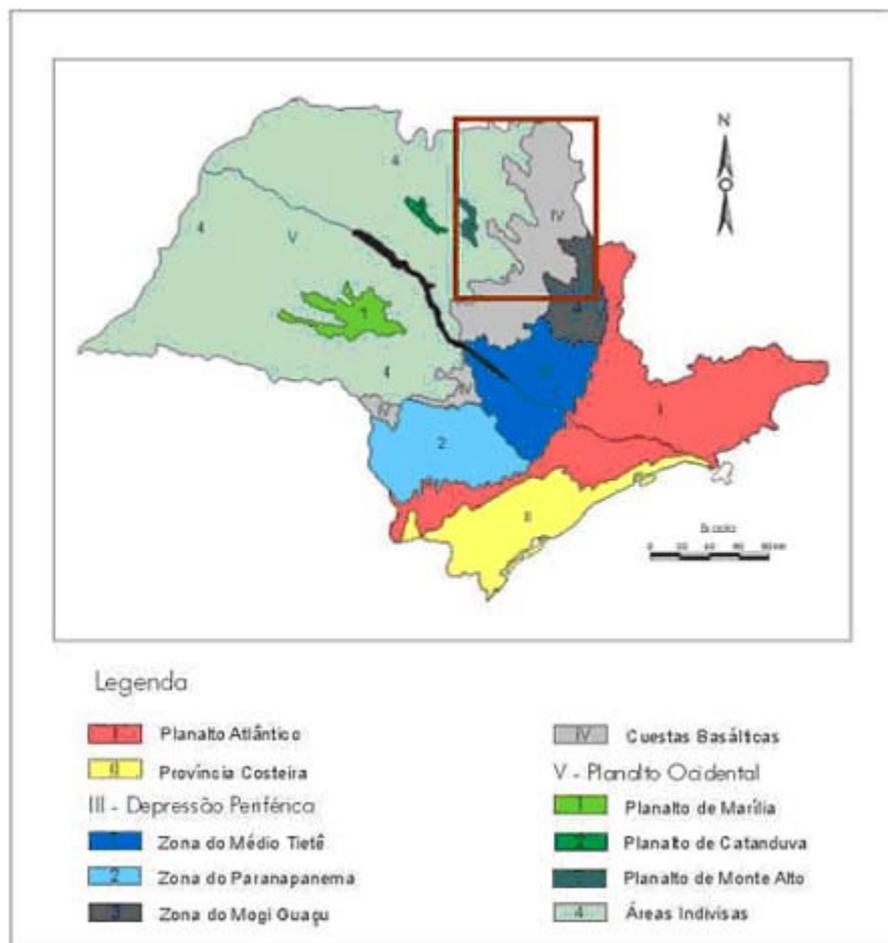


Figura 22 - Esboço geomorfológico do Estado de São Paulo. Fonte: <http://Sistemas de Informação e Gestão Territorial para o Município de Campinas - Embrapa Monitoramento por Satélite.htm>. Acessado em: 03/05/2011.

O estudo dos solos é um aliado importante nas pesquisas geomorfológicas. Por meio da estratigrafia do solo é possível chegar aos processos de formação do relevo, uma vez que esse estudo permite verificar os períodos existentes entre as camadas de solo depositadas, conforme descrito por Birkeland (1984). No estudo estratigráfico as informações sobre os climas que atuaram na formação do solo, além das condições hidrológicas e ações vulcânicas e tectônicas pretéritas devem ser consideradas, trata-se de uma integração de dados multidisciplinares.

3.9 Geomorfologia da área de estudo

O trecho do vale do Paraíba que possui o tálus do Itatiaia compreende um vale entre duas serras, a serra da Mantiqueira, onde está localizado o pico do Itatiaia e a serra da Bocaina que se liga à serra do Mar. Sua localização pode ser vista na Figura 23 que foi gerada com dados SRTM3.

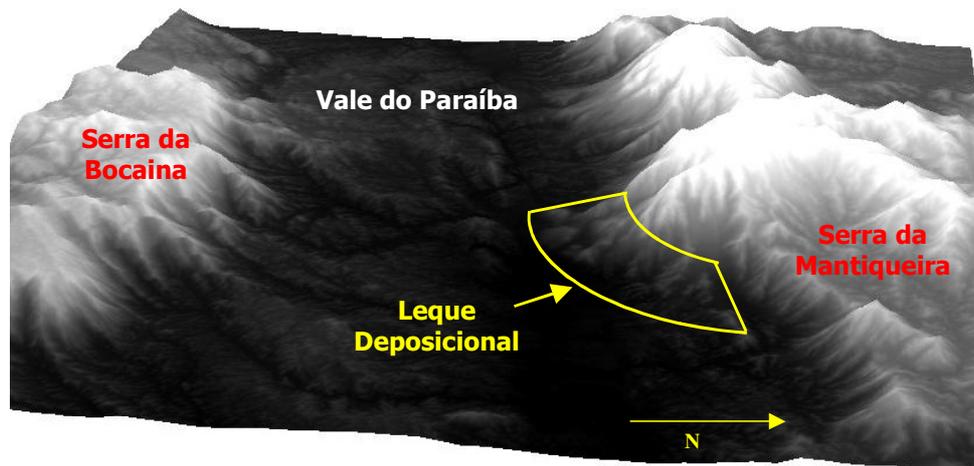


Figura 23 - Graben do vale do Paraíba com destaque em amarelo para o depósito de tálus. (MENDONÇA *et al.*, 2011a).

Ross e Moroz (1997) descrevem que serra do Mar e serra da Mantiqueira fazem parte da Unidade Morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico, conforme observado na Tabela 5. O planalto e a serra da Mantiqueira localizam-se a nordeste do estado de São Paulo, tendo a leste o estado do Rio de Janeiro, ao norte Minas Gerais e ao sul o Médio Vale do Paraíba. A serra do Mar segue na região desde o planalto da Bocaina até o vale do Ribeira do Iguape margeando o litoral. Uma descrição geral sobre a geomorfologia das duas unidades pode ser vista no Quadro 3.

Tabela 5 - Grandes compartimentos na região (ROSS E MOROZ, 1997).

UNIDADES MORFOESTRUTURAIS	UNIDADES MORFOESCULTURAIS
Cinturão Orogênico do Atlântico	Planalto Atlântico Nível Alto (acima de 900m) Nível Médio (800-900m) Nível Baixo (700-800m)
Bacia Sedimentar do Paraná	Planalto Ocidental Paulista Depressão Periférica Paulista
Bacias Sedimentares Cenozóicas	Planalto de São Paulo Depressão do Médio Paraíba Planícies Litorâneas Planícies Fluviais

O Médio Vale do Paraíba se divide em planalto do Médio Vale do Paraíba e depressão do Médio Vale do Paraíba. O planalto situa-se na porção mais a leste, entrando pelo território do Rio de Janeiro, já a depressão pertence a morfoestrutura da bacia sedimentar de Taubaté. A geomorfologia das duas unidades pode ser observada no Quadro 4.

Quadro 3 - Unid. Morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico (ROSS E MOROZ, 1997).

Quesito	UNIDADES		
	Planalto e serra da Mantiqueira		Serra do Mar
Formas de relevo predominante	Escarpas e morros altos com topos aguçados.		Escarpas e cristas com topos aguçados.
Interflúvios	250m a 3.750m		
Altimetria	Nível alto	1.000 a 2.000m	20 a 1.000m
	Nível médio	700 a 1.000m	
Declividade	Nível alto	30% a 60%	40% a 60%
	Nível médio	20% a 30%	
Litologia	Gnaisses, migmatitos e granitos. Com solos do tipo Cambissolos, Litólicos, Podzólicos e afloramentos rochosos.		Gnaisses, migmatitos e micaxistos. Solos do tipo Cambissolos, Litólicos e afloramentos rochosos.
Drenagem	Padrão dentrítico. Com frequência de padrões em treliça, pela adaptação às direções das estruturas regionais (falhas, dobras e contatos litológicos).		Padrão dentrítico, adaptado às estruturas (falhas, fraturas e contatos litológicos).
Fragilidade potencial a MGM	Alta fragilidade, sujeito a processos erosivos intensos e grande probabilidade de MGM. Pois as vertentes são muito inclinadas, alta densidade de drenagem em vales muito entalhados e relevo muito dissecado.		Alta fragilidade, sujeito a processos erosivos pluvio-fluviais agressivos e MGM espontâneos ou induzidos. Pois as vertentes são muito inclinadas, alta densidade de drenagem em vales muito entalhados e relevo muito dissecado.

Quadro 4 - Geomorfologia do médio vale do Paraíba (Adaptado de ROSS E MOROZ, 1997).

Quesito	UNIDADES DO MÉDIO VALE DO PARAÍBA	
	Planalto	Depressão
Formas de relevo predominante	Morros baixos com topos convexos.	Colinas de topo convexo.
Interflúvios	250m a 750m	250m a 3.750m
Altimetria	600 a 800m	600 a 700m
Declividade	20% a 30%	5% a 20%
Litologia	Migmatitos. Solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo.	Arenitos, folhelhos e argilitos. Solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo.
Drenagem	Padrão dentrítico. Adaptado às estruturas geológicas da área.	
Fragilidade potencial a MGM	Nível médio de fragilidade, sujeito a fortes atividades erosivas. Pois apresenta média a alta densidade de drenagem em vales entalhados e relevo com dissecção média.	-

Quanto a morfogênese, Ross e Moroz (1997) descrevem a formação da Morfoestrutura do planalto Atlântico conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Formação da Morfoescultura do Planalto Atlântico (Adaptado de ROSS E MOROZ, 1997).

Período		Eventos ocorridos
Cenozóico	Quaternário	Pleistoceno – continuidade dos processos erosivos em climas alternados, secos e úmidos com fases de pediplanação seguidos por processos de dissecação generalizada através da erosão química e mecânica das águas pluviais e fluviais e de subsuperfície; Pleistoceno/Holoceno – Processos erosivos retrabalhando os sedimentos das formações sedimentares e surgindo as colinas, patamares e planícies fluviais no interior das bacias sedimentares de São Paulo, Taubaté e Resende (planícies dos rios Tietê, Pinheiros e Paraíba do Sul).
	Terciário	Soerguimento lento da Plataforma Sul-americana, associada a mobilização tectônica das placas; Reativação das falhas transcorrentes antigas transformando-se em falhas normais; Geração de níveis morfológicos diferenciados decorrentes da atividade tectônica; Processos erosivos longos com alternâncias climáticas seco-úmido, principalmente no Cenozóico superior; Geração de níveis morfológicos diferenciados em função dos processos erosivos, pondo em resalto as rochas intrusivas (granitos/sienitos) e as metamórficas de alta resistência (quartzitos); Deposição de sedimentos em depressões tectônicas (grabens) gerando as bacias sedimentares de Taubaté, São Paulo e do Baixo Ribeira do Iguape.
Paleozóico ao Mesozóico		Processos erosivos longos gerando níveis morfológicos diferenciados por diferenças de resistência litológica; Movimentação da crosta associada a mobilidades das placas, conhecida por reativação Wealdiana a partir do Cretáceo; Reativação das falhas antigas acompanhadas de intrusões alcalinas.
pré-Cambriano Médio ao Superior		Depósito de material fino em bacias geossinclinais; Fases de novos dobramentos acompanhados de metamorfismo regional e magmatismo (intrusões graníticas); Falhamentos transcorrentes regionais.
pré-Cambriano Inferior ao Médio		Diversas fases de metamorfismo regional; Processos erosivos longos.

Conforme descrito na Tabela 6, as litologias mais encontradas na área de estudo podem ser datadas com período de formação da seguinte forma:

- Gnaisses: do pré-Cambriano Inferior ao Médio;

- Granitos: do pré-Cambriano Médio ao Superior;
- Rochas Alcalinas: do Paleozóico ao Mesozóico;
- Depósito sedimentar: Cenozóico.

A Figura 24 traz um mapa gerado por Almeida e Carneiro (1998) com a posição das serras desenhando o vale do Paraíba.

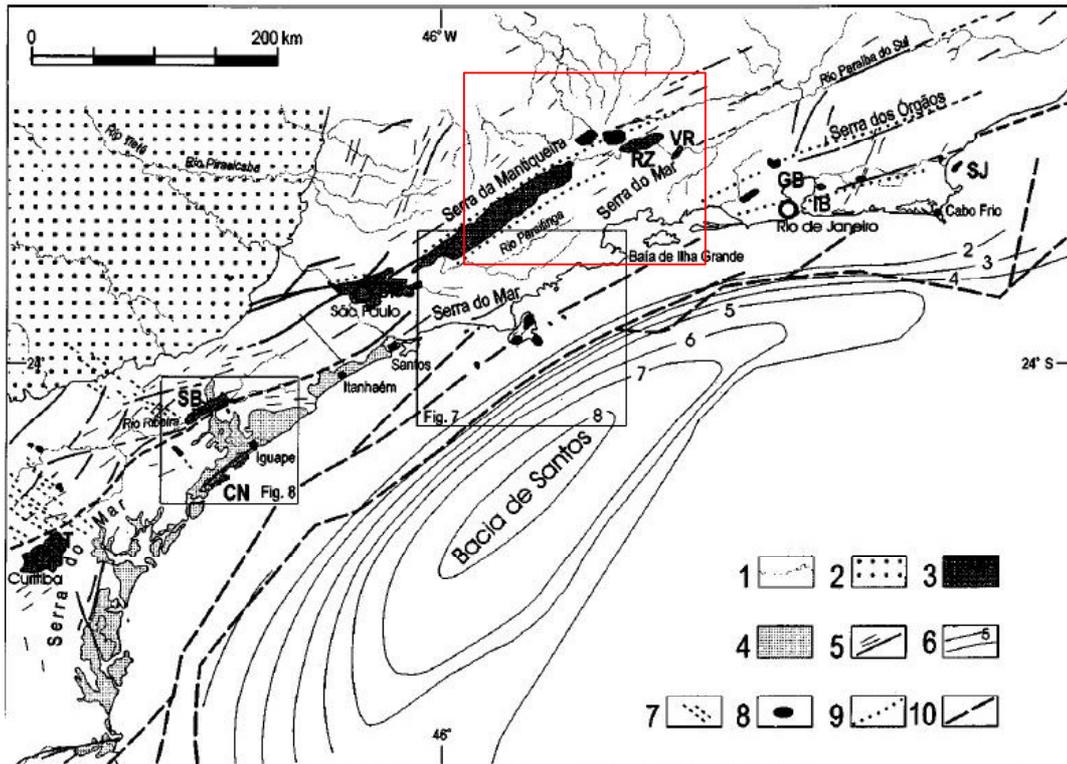


Figura 24 - Vale do Paraíba cravado entre duas serras. O retângulo vermelho indica a região do vale. (ALMEIDA E CARNEIRO, 1998)

Convenções: 1. Rede de drenagem no embasamento, 2. Bacia do Paraná, 3. Bacias tafrogênicas continentais: (CT) Curitiba, (SB) Sete Barras, (CN) Cananeia, (SP) São Paulo, (TT) Taubaté, (RZ) Resende, (VR) Volta Redonda, (GB) Guanabara, (IB) São José de Itaboraí, (SJ) Barra de São João, 4. Cobertura cenozóica, 5. Alinhamentos estruturais e falhas, 6. Linhas de contorno estrutural do embasamento, 7. Diques, 8. Corpos alcalinos, 9. Limites topográficos de riftes, 10. Falhas na área submersa.

Almeida e Carneiro (1998) descrevem a formação do graben do Paraíba como resultado do soerguimento da serra do Mar, como visto na Figura 25. Nunes e Calbete (2000) descrevem o vale do Paraíba como parte integrante do planalto Atlântico, formando uma depressão de origem tectônica.

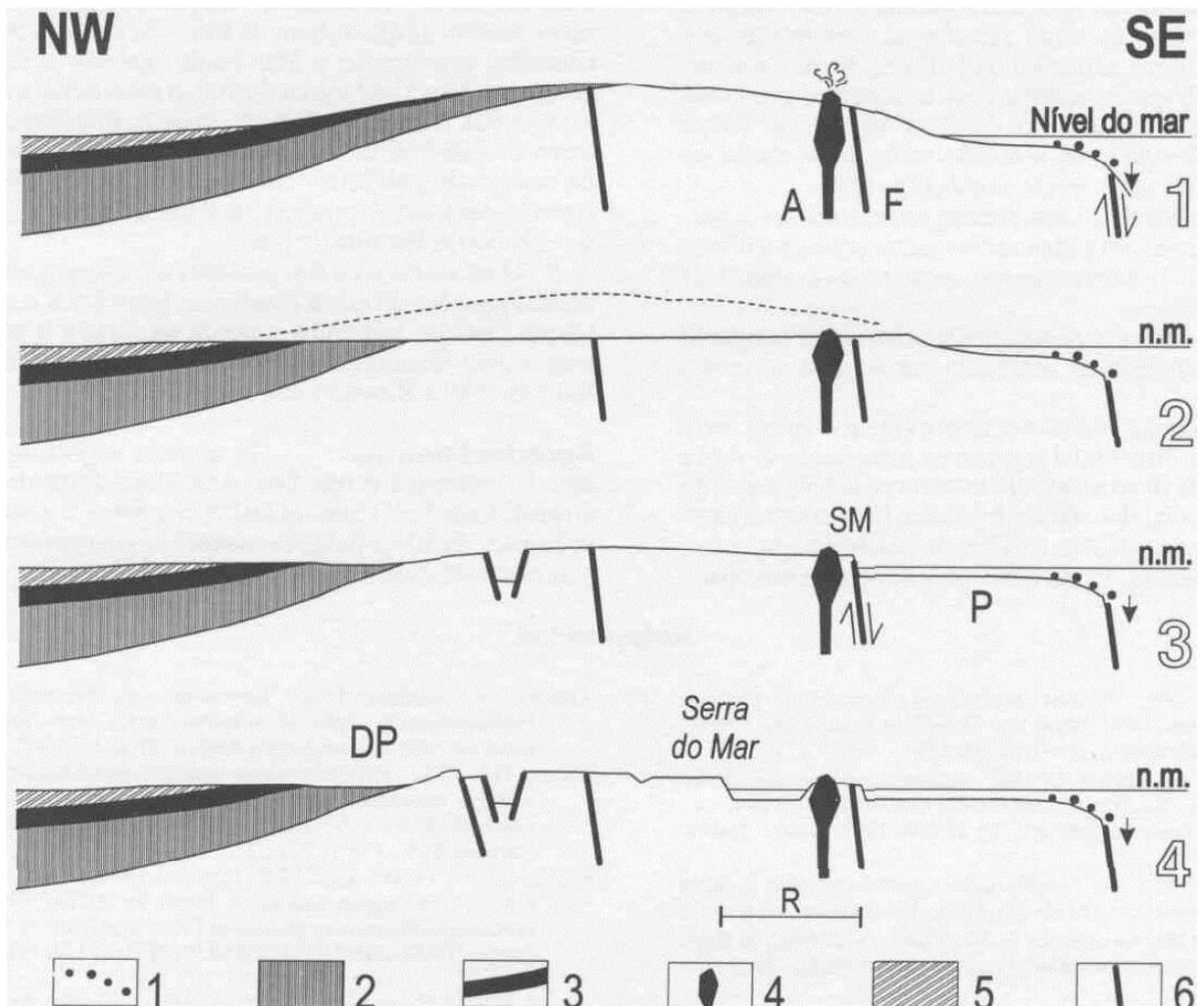


Figura 25 - Formação da serra do Mar por soerguimento. (ALMEIDA E CARNEIRO, 1998).

Estágios: 1. Soerguimento senoniano erodido, causando deposição nas bacias de Santos e do Paraná. Depósitos da Formação Santos indicados na primeira e do Grupo Bauru na segunda. Vulcanismo alcalino (A); Falha de Santos (F). 2. Desenvolvimento da superfície de aplainamento Japi no final do Senoniano. 3. Deformação da Superfície Japi no Paleoceno. Surge a serra do Mar (SM) na falha de Santos (F), o sistema de grábens continentais e começa a se desenvolver, na costa, a plataforma continental (P). 4. Recuo erosivo (R) da serra do Mar para sua posição atual. A posição esquemática da Depressão Periférica e indicada (DP). Intrusões alcalinas sustentam ilhas. Convenções: 1. Depósitos da Fm. Santos, 2. Cobertura fanerozóica sotoposta ao basaltos serra Geral, 3. Formação serra Geral, 4. Corpos alcalinos, 5. Grupo Bauru, 6. Falhas

Os grabens formam-se por movimentos tectônicos entre blocos de rocha conforme demonstrado na Figura 26.

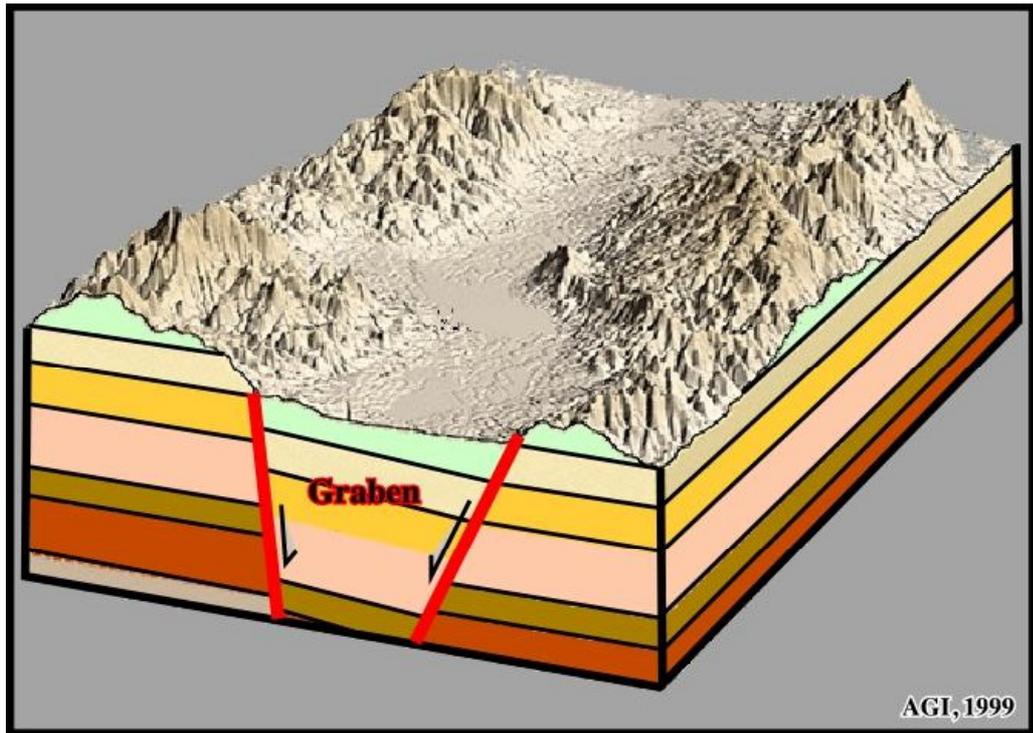


Figura 26 - Esquema de formação e apresentação de um Graben.
<http://homepage.ufp.pt/biblioteca/GlossarySaltTectonics/Pages/PageG.html>. Acessado em: 13/11/2011.

A serra da Mantiqueira, segundo Almeida e Carneiro (1998), resultou de um importante evento tectônico iniciado no Paleoceno, que também influenciou a formação da serra do Mar. Os autores relatam que por cerca de três a quatro dezenas de milhões de anos a serra do Mar recuou até a posição atual por efeito de processos erosivos.

Na Figura 27 observam-se as linhas de perfis traçadas sobre o MDE para extrair os perfis topográficos. O vale do Paraíba apresenta-se conforme o perfil topográfico da Figura 28, extraído do modelo SRTM3, onde à direita tem-se a serra do Mar e à esquerda a serra da Mantiqueira. Na elevação da esquerda é possível visualizar o topo do pico do Itatiaia atingindo cota em trono de 2.700 m. A cota no leito do rio Paraíba do Sul nesse trecho está em 450 m.

Os perfis topográficos obtidos desde a calha do rio Paraíba do Sul até o topo do pico do Itatiaia podem ser vistos na Figura 29.

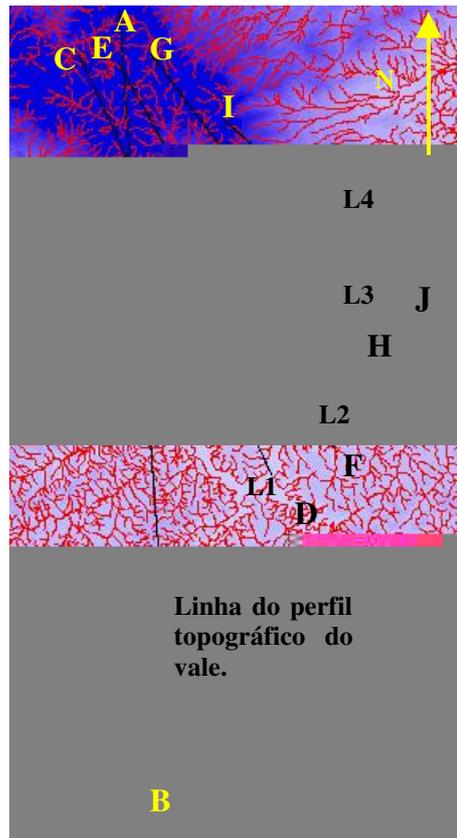


Figura 27 - Traçado das linhas para extração dos perfis topográficos.

O Tálus do Itatiaia apresenta uma extensão de cerca de 10 km da base do leque deposicional. Segundo IPT (1981) esta topografia é a mais abrupta da região, com desníveis da ordem de 2.000 m no topo da Mantiqueira e 500 m nas planícies do vale do Rio Paraíba, ainda descreve a formação de serra da Mantiqueira por um embasamento cristalino e estruturas gnáissicas.

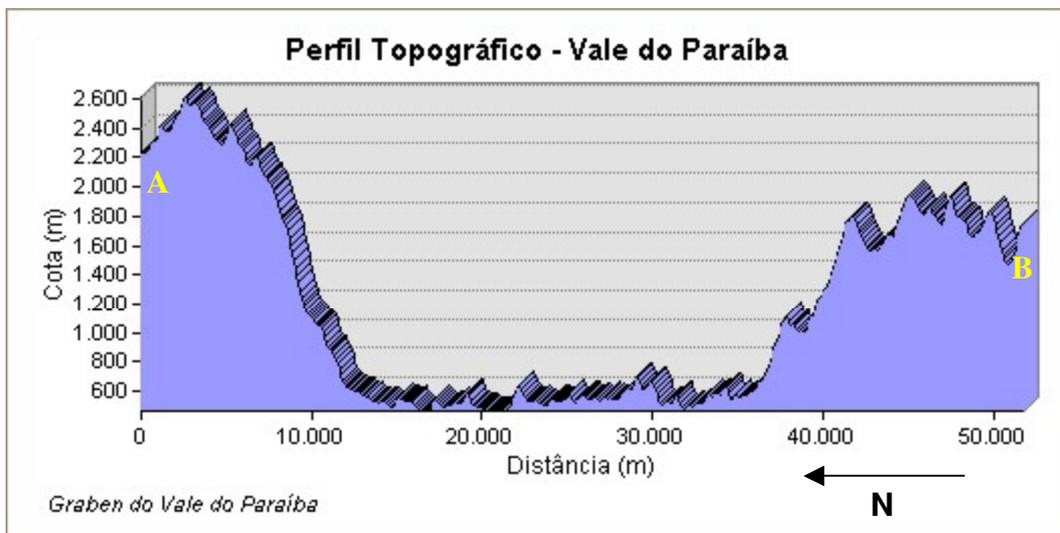


Figura 28 - Perfil topográfico do vale do Paraíba no trecho estudado.

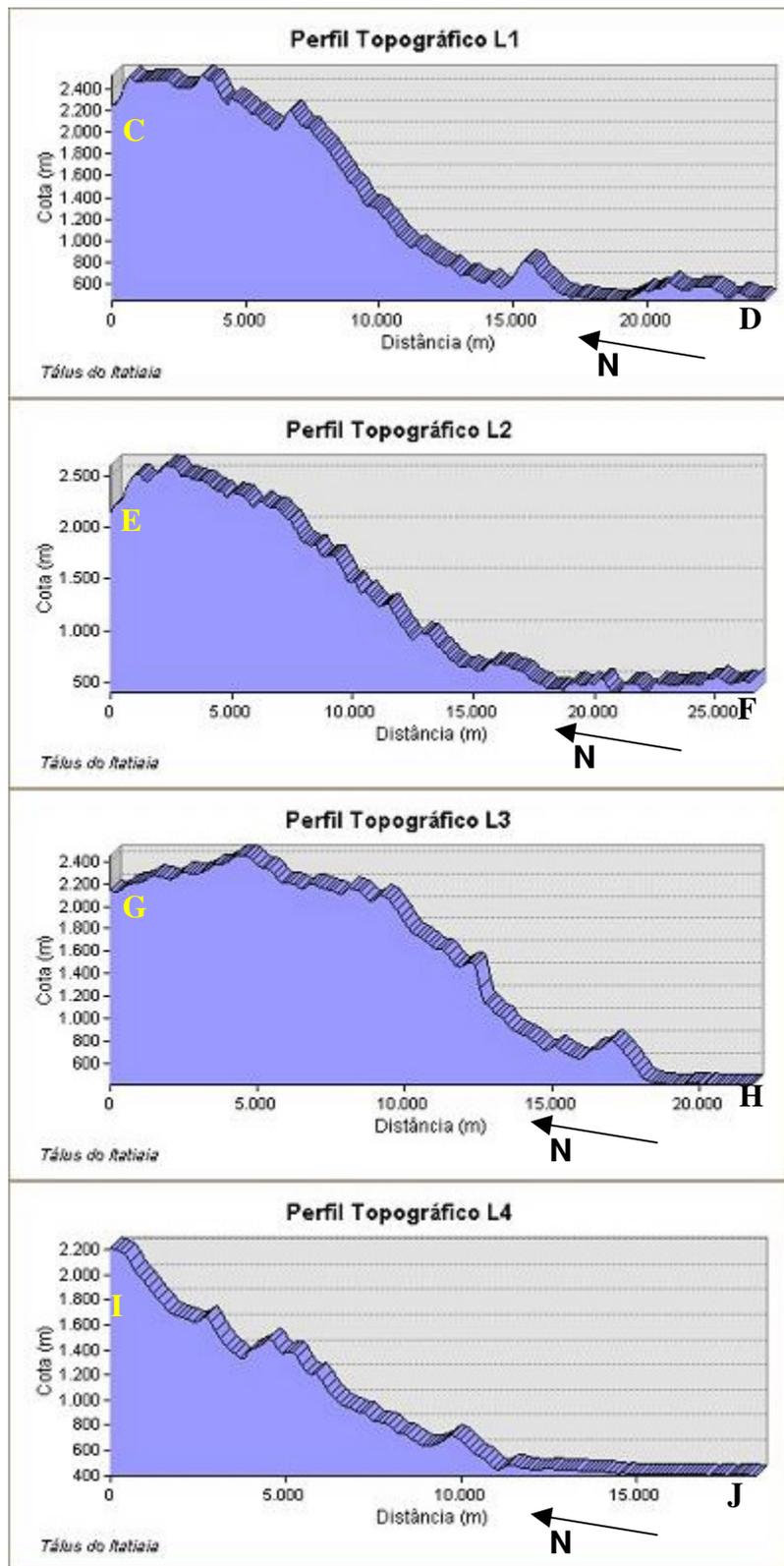


Figura 29 - Perfis topográficos do Tálus do Itatiaia.

As formações rochosas no pico do Itatiaia podem ser observadas na Figura 30, onde uma imagem gerada por aerolevantamento em agosto de 2011 traz detalhes em função de uma resolução espacial de 50 cm.



Figura 30 - Topo do Pico do Itatiaia. Imagem de 30 de agosto de 2011.

As coordenadas da área central da imagem são: $22^{\circ}22'44''\text{S}$ $044^{\circ}39'54''\text{W}$, sob um sistema de projeção WGS 84 numa cota em torno de 2.700m.

4 MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA

4.1 Introdução

Os prejuízos causados por um movimento gravitacional de massa não se resumem a perdas econômicas, mas, principalmente, a perda de vidas humanas (GUZZETTI E TONELLI, 2004). Geralmente essas perdas são em números expressivos, como relatado por Varnes (1984) sobre uma corrida de detritos em maio de 1970 no Peru, que ceifou cerca de 20.000 vidas. As benfeitorias atingidas acabam gerando grandes prejuízos, como relatado por Infanti Jr. e Fornasari Filho (2009) que trata de um movimento de rastejo que culminou com o abandono de um viaduto de concreto e um trecho da Via Anchieta em São Paulo no ano de 1957.

4.2 Movimento gravitacional de massa (MGM)

Interferir na estabilidade de encostas formadas por estruturas não coesas pode trazer um risco real de ocorrer um MGM, ou dispersão em massa, que, segundo Varnes (1984), são todos os processos de quedas de rocha, fluxo de detritos e deslizamentos de terra ocorrendo pequeno ou grande deslizamento de material. Fernandes e Amaral (1996) afirmam que os deslizamentos são processos naturais que agem modelando o relevo e as paisagens, entretanto, costumam causar grandes prejuízos ao homem. Em razão disso, os movimentos gravitacionais de massa têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores ao longo de muitos anos, como Prandini *et al.* (1976), Brabb (1977), Varnes (1978), Varnes (1984), Wolle e Carvalho (1989), Augusto Filho (1992), IUGS (1995), Guzzetti *et al.* (1999), Vargas (1999), Vilaplana *et al.* (2002), Zuquette e Ahrendt (2003), Santacana *et al.* (2003), Corominas (2003), Takahashi (2007), van Westen *et al.* (2008), Riedel *et al.* (2008), Copons e Vilaplana (2008), Souza *et al.* (2009), Tominaga (2009a), Pimentel (2010), Cascini *et al.* (2010) e Cannon *et al.* (2010).

O Brasil apresenta formas de relevo muito variadas de Norte a Sul de seu território, com grandes extensões de maciços montanhosos, conforme relatado por Fernandes e Amaral (1996). Apresenta ainda ações climáticas muito distintas, como geadas nas serras gaúchas, passando por chuvas intensas no sudeste e longos períodos de estiagem no nordeste que se alternam com alguns meses chuvosos durante o ano. Esses dois fatores, relevo acidentado e altos índices pluviométricos, podem gerar movimentos de massa que trazem transtornos e morte a várias classes sociais. Acidentes ocorridos em janeiro de 2010 em Angra dos Reis e em janeiro de 2011 nas cidades de Petrópolis e Nova Friburgo, ambos

no estado do Rio de Janeiro, mostraram que o tema é um caso de interesse público para que menos pessoas venham a ter suas vidas ceifadas por movimentos de massa.

Apesar destes fatos ocorridos, no Brasil já existem diversas Instituições e universidades trabalhando no tema há alguns anos. Em 2005 o Instituto Geológico do Estado de São Paulo organizou o primeiro seminário interno sobre a temática “Prevenção de Desastres Naturais”, conforme descrito por Vedovello (2009), que teve por objetivo avaliar as diversas áreas do Instituto que trabalhavam com o tema. Dentre as conclusões do seminário foi relatada a necessidade interdisciplinar dos pesquisadores que trabalham neste tema. Em julho de 2011 foi criado o CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), que está ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. As equipes começaram a trabalhar operacionalmente em novembro do mesmo ano. Características marcantes na missão do CEMADEN são as ações de antecipação aos desastres, principalmente na prevenção e nas reduções de danos. Atualmente o CEMADEN é dotado de recursos que permitem que o CENAD (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres) mantenha comunicação permanente para a aquisição de dados e informações que auxiliem na prevenção e nas ações de resposta a desastres, mobilizando equipes, materiais e equipamentos.

Existem vários tipos de movimentos de massa, que estão intimamente ligados aos tipos de materiais que compõem o solo, incluindo seus processos de formação e os diversos fatores condicionantes. Press *et al.* (2006) define que os movimentos de massa dependem pelo menos de três fatores: natureza do material, declividade estabilidade da encosta e quantidade de água contida nos materiais. Guimarães *et al.* (2008) afirma que as condições locais que influenciam nos MGM são: estrutura geológica, tipo dos materiais, declividade, orientação e forma da vertente, área de contribuição, intensidade e distribuição das precipitações.

A natureza do material pode ser classificada como consolidada ou inconsolidada. A declividade e a estabilidade da encosta irão contribuir para os materiais caírem, fluírem ou deslizarem, já a quantidade de água presente na massa de solo dependerá da porosidade do solo e da quantidade de chuva ou tipo e forma de água a que o solo está exposto.

Vários pesquisadores desenvolveram classificações para os movimentos de massa, entretanto a classificação mais simples é a descrita na Tabela 7 publicada por Varnes (1978), conforme relatado por Fernandes e Amaral (1996), Coronado (2006), Gomes (2009) e Infanti Jr e Fornassari Filho (2009).

Tabela 7 - Classificação dos MGM. (VARNES, 1978)

Tipo de movimento	Tipo de material		
	Rocha	Solo (Engenharia)	
		Grossoiro	Fino
Quedas	Queda de rocha	de detritos	de terra
Tombamentos	Tombamento de rocha	de detritos	de terra
Escorregamentos	Rotacional	de rocha	de detritos
	Translacional		
Expansões laterais	de rocha	de detritos	de terra
Escoamentos / Corridas	de rocha (rastejo profundo)	de detritos (rastejo de solo)	de terra
Complexos	Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

Corominas *et al.* (2003) traz uma classificação em função do ângulo de inclinação do terreno, conforme consta na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação de MGM em função da inclinação da encosta. (COROMINAS *et al.*, 2003)

Material da encosta	Tipo de MGM	Inclinação do terreno
Rocha	Queda de rocha	45°
Depósito de seixo	Ruptura de detritos	30°
Colúvios e solo transportado	Corrida de detritos	25°
Depósito glacial e lacustre	Deslizamento rotacional	15°

Existe a definição de alguns termos associados a MGM feita pela IUGS (*International Union of Geological Science*), citados por Corominas *et al.* (2008), que são:

- Deslizamentos: movimento de rocha, detrito ou solo descendo por uma encosta;
- Deslizamento ativo: deslizamento que ainda está ocorrendo, podendo ser a primeira ocorrência ou a reativação;
- Deslizamento reativado: deslizamento que retornou a se movimentar depois de desativado;
- Inventário de deslizamento: levantamento de localização, classificação, volume (ou área), atividade, data de ocorrência e outras características possíveis de serem verificadas;
- Susceptibilidade: avaliação qualitativa ou quantitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial dos deslizamentos existentes ou daqueles que podem ocorrer. Poderá incluir ainda a velocidade e a intensidade de deslizamento potencial ou ocorrido. Espera-se que os deslizamentos ocorram com maior frequência nas áreas mais suscetíveis. A

susceptibilidade inclui deslizamentos que tiveram origem na área avaliada ou que originaram em outra área mas vieram a afetar a área avaliada;

- Perigo: condição para causar uma consequência indesejável fruto de deslizamentos.
- Elemento em risco: população, construções, obras de engenharia, atividades econômicas, serviços de utilidade pública, infra-estruturas em geral e valores do meio ambiente com potencialidade para ser afetado por um MGM;
- Vulnerabilidade: grau de perda de um elemento ou parte de um elemento afetada por um deslizamento. Adota-se uma escala de zero (nenhuma perda) a 1 (perda total);
- Risco: medida de probabilidade e severidade de um efeito nocivo a vidas humanas, propriedades e ao meio ambiente resultado de um MGM; e
- Zoneamento: divisão do terreno por regiões homogêneas classificando cada uma delas quanto ao grau de susceptibilidade a deslizamentos atuais ou potenciais.

Os escorregamentos podem ser de caráter rotacional ou translacional, costumam ocorrer com frequência no sudeste brasileiro, como descrito por Fernandes e Amaral (1996). O rotacional é caracterizado pelo deslocamento de massa de solo sob um movimento de rotação em torno de um eixo paralelo ao solo e transversal a encosta, desenhando uma superfície de ruptura curva e côncava onde se dá o movimento rotacional de massa de solo para cima. O translacional desloca a massa de solo paralelamente a inclinação da encosta. Existe um plano de ruptura bem definido, separando o material que se deslocou daquele que permaneceu na posição anterior ao movimento. É comum a ocorrência do escorregamento translacional em solos tropicais, pois a interface solo-rocha configura importante descontinuidade mecânica. Sob condição de grandes volumes de chuva ocorre o aumento da poro pressão positiva e a interface é lubrificada pela água, proporcionando o deslocamento da massa de solo sobre a rocha sã.

Quedas de rocha são caracterizadas por material rochoso que se desprende da encosta e desce ao longo desta. Geralmente ocorrem em juntas ou fraturas. Os tombamentos ocorrem de forma semelhante, porém neste tipo de movimento existe a rotação do material que foi despreendido. Na Figura 31 observa-se a ocorrência de uma queda de rocha em rodovia.



Figura 31 - Queda de rocha em rodovia. Fonte: http://atlas.nrcan.gc.ca/auth/english/maps/environment/naturalhazards/landslides/fig_2_land_rockfall.jpg. Acessado em: 05/07/2010.

Este tipo de MGM demanda várias metodologias de avaliação de perigo para as vias que podem sofrer interrupções de funcionamento além da possibilidade de causarem vítimas fatais. Países como Estados Unidos, Canadá, Itália e Espanha vêm desenvolvendo diversos estudos no sentido de gerenciar taludes rochosos, conforme descrito por Guzzetti *et al.* (1999), Ardizzone *et al.* (2002), Cardinalli *et al.* (2002), Guzzetti *et al.* (2003), Takahashi (2007), van Westen *et al.* (2008) e Gomes (2009).

Os escoamentos deslocam material, geralmente em grandes velocidades, que estão soltos na superfície, como detritos, material orgânico e fragmentos de rocha. A maior parte deles é causada por grandes volumes de precipitação, mas podem ser gerados por movimentação a seco de partículas muito finas de argila e areia, geralmente são desenvolvidos ao longo das drenagens. Quando o escoamento se dá sob movimentos lentos tem-se o rastejo, que se caracteriza por ser um movimento lento e contínuo, geralmente ocorre nas vertentes.

Expansões laterais se dão em terrenos planos ou quase planos. Quando minerais se desgastam de forma diferenciada na rocha, gerando vazios e discontinuidades podem surgir fissuras que desprendem parte da rocha que pode se deslocar lateralmente.

Varnes (1984), Zuquette e Ahrendt (2003) e Guzzetti e Tonelli (2004) relatam que os prejuízos causados por movimentos de massa em diversas partes do mundo não são

computados apenas pelo ponto de vista econômico, mas, sobretudo, pelo ponto de vista social com a perda de vidas humanas. É importante salientar que tanto o cômputo das perdas econômicas como das sociais devem existir. Diniz (2005) afirma que os processos geodinâmicos podem representar ameaças naturais, mas que podem ser prevenidas quando avaliadas as suscetibilidades aos processos do meio físico.

Os principais tipos de movimento de massa são observados na Figura 32.

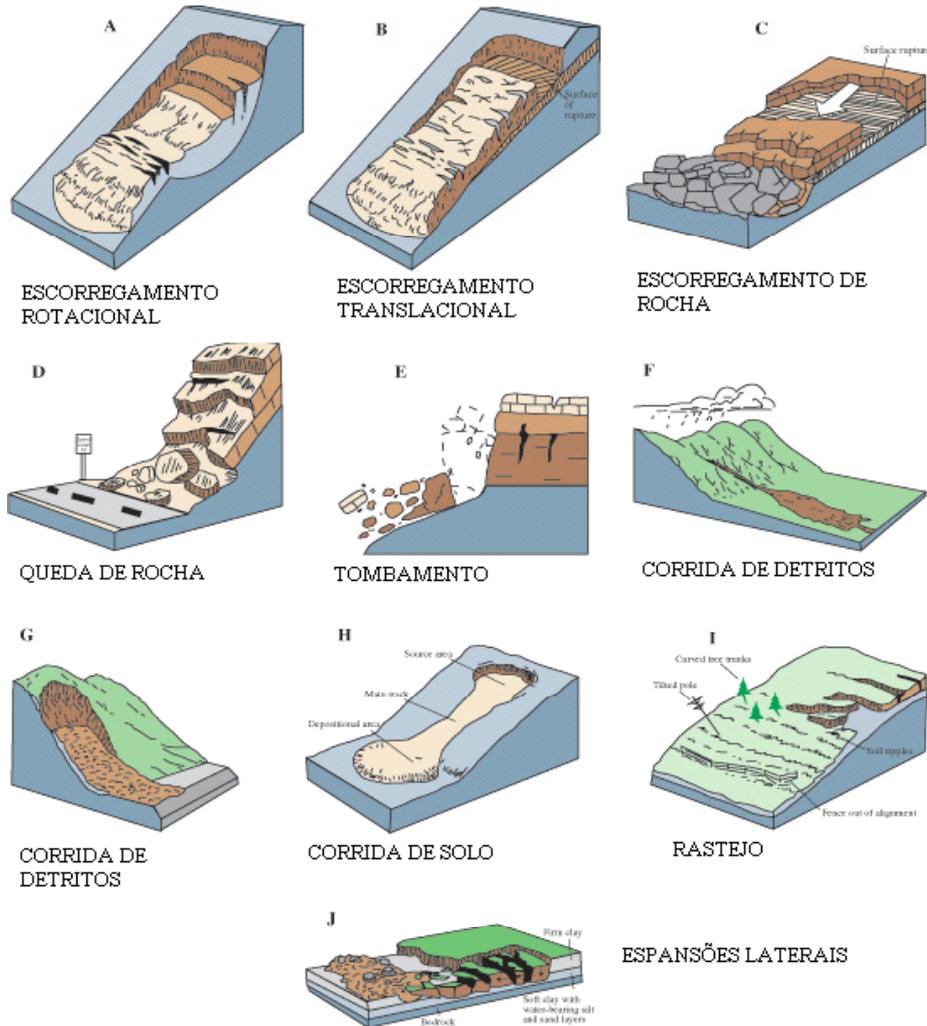


Figura 32 - Principais movimentos gravitacionais de massa. (Adaptado de USGS, 2011a)

4.2.1 Condicionantes de movimentos de massa

Os condicionantes naturais à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa são os aspectos geológicos e geomorfológicos. Os processos geradores dos relevos e das massas de solo, tanto pretéritos como os atuais, podem auxiliar na determinação da localização espacial e temporal dos movimentos de massa.

Os seguintes aspectos podem ser considerados: falhas, fraturas, descontinuidades, foliação e morfologia, incluindo os depósitos de encosta. As falhas e fraturas são elementos importantes para a dinâmica hidráulica do maciço, uma vez que proporcionam o fluxo de água no interior das formações. Quando as falhas são preenchidas por material impermeável podem proporcionar o acúmulo de água em pontos localizados. Na Figura 33 observa-se uma encosta rochosa com falhas e fraturas.



Figura 33 - Encosta rochosa com falhas e fraturas em Angra dos Reis (RJ). Fonte: (AUTOR, 2010).

As descontinuidades irão influenciar na distribuição da poro pressão no interior do maciço, proporcionando aumento do intemperismo em pontos localizados na encosta, além de influenciar também a resistência e deformabilidade das rochas. Esses fatos poderão influenciar na estabilidade da encosta.

A foliação deve ser levada em consideração, principalmente nos cortes de encostas, pois o mergulho de bandamentos para fora de encosta não configura uma situação segura.

A morfologia de encosta tem participação direta na estabilidade, pois o aumento da declividade pode gerar um aumento da instabilidade, apesar de alguns trabalhos apontarem que este não é um fator decisivo, de acordo com o relato de Fernandes e Amaral (1996). Os depósitos formados no sopé da encosta configuram áreas com alto risco de instabilidade, já que são formados por tálus e colúvios, que são materiais heterogêneos que carecem de estudos detalhados para que os cortes e aterros possam ser efetuados com segurança, como afirma Augusto Filho e Virgili (2009) e Rodrigues e Lopes (2009). Alguns destes depósitos podem ser formados sobre rocha sã, o que aumenta o risco de instabilidade pelo aumento da poro pressão positiva na interface com a rocha, independente da execução de cortes e

aterros. A influência hidrológica nestes depósitos é fator de grande importância, pois a elevação do nível do lençol freático também pode acelerar o movimento de massa, conforme descrito por Fernandes e Amaral (1996), Regueiros e González-Barros (2008) e Augusto Filho e Virgili (2009).

Regueiros e González-Barros (2008) classificam alguns parâmetros no intuito de indicar maior incidência de movimentos de massa em função da geomorfologia conforme o Quadro 5, onde 1, 2 e 3 significam baixa, média e alta incidência respectivamente.

Quadro 5 - Incidência de fatores condicionantes de MGM. Adaptado de Regueiros e González-Barros (2008).

Fatores e classificação		Deslizamentos	Queda de blocos	Corridas de lama	Avalanche de detritos
Inclinação	< 10°	1	1	2	1
	Entre 10° e 30°	2	1	3	1
	> 30°	3	3	3	3
Litologias	Rochas duras	1	2	1	1
	Rochas brandas	3	2	1	2
	Solos duros	1	2	1	1
	Solos brandos	3	1	3	1
	Detritos	1	1	2	3
Estrutura	Mergulhos elevados	3	2	1	3
	Rochas fraturadas	1	3	1	3
Nível do lençol freático	Superficial	3	1	3	1
	Médio	2	1	1-2	1
	Profundo	1	1	1	1

4.2.2 Desencadeadores de movimentos de massa

Os mecanismos desencadeadores de movimentos de massa podem ter várias origens, incluindo causas geológicas, geomorfológicas, físicas e humanas, como é descrito por Wieczorek (1996) e Corominas e Moya (2008). Chuvas intensas, vulcanismo, terremotos, derretimento de neve, rápida elevação do nível do lençol freático, além de ações antrópicas como, cortes em encostas e desmatamentos, podem ser o gatilho necessário para iniciar o movimento de massa ou, muitas vezes, acelerar um movimento

lento que já tenha iniciado. Dependendo da declividade do terreno e do material formado, esse movimento poderia ser queda, deslizamento ou fluxo de materiais.

Os taludes de encostas podem se apresentar como talude natural, talude de corte ou talude de aterro. O talude natural configura uma superfície natural inclinada unindo outras duas com diferentes potenciais gravitacionais. O talude de corte apresenta algum tipo de escavação e o talude de aterro é formado por aterros diversos. Esses tipos de taludes são visualizados na Figura 34.

As regiões formadas por depósitos de tálus, colúvios ou aluviões, em geral apresentam estruturas não coesas de material sedimentar, mal classificado e mal selecionado, podendo ter fragmentos grosseiros e angulosos, sem estratificação regular. Em face dessas características, os cortes a serem realizados em regiões com solos dessa natureza devem prever um estudo detalhado da constituição do solo. Cortes ou aterros em áreas compostas por depósitos de tálus podem gerar instabilidades que comprometem as estruturas feitas pelo homem, conforme relatado por Vargas (1999) e Augusto Filho e Virgilli (2009). O levantamento das unidades litológicas da região é uma recomendação importante para que os movimentos de massa possam ser previstos e evitados, ressalta Varnes (1984) e Corominas *et al.* (2003). Como fruto desse levantamento tem-se, por exemplo, o mapa geotécnico, que é um modelo do ambiente geológico servindo às finalidades de engenharia entre outros, como define Diniz (1998).

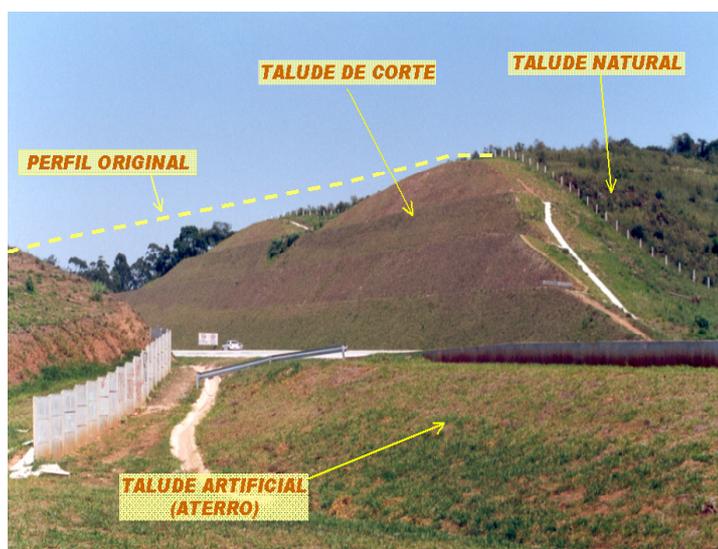


Figura 34 - Tipos de taludes.

A velocidade de um movimento de massa pode variar entre cm/ano e km/h, segundo Wolle e Carvalho (1994), IUGS (1995) e Press *et al.* (2006). Em corpos de tálus é comum ocorrer um movimento gradativo, conhecido como “*creeping*” ou rastejo,

conforme observado na Figura 32 I. Os depósitos de tálus são formados por grandes massas que se acumulam pouco a pouco. À medida que o seu peso aumenta, por acúmulo de material ou de água, a encosta começa a se deslocar lentamente, por isso recebe o nome de rastejo (WOLLE E CARVALHO, 1994). O deslocamento ocorre sempre que as tensões de cisalhamento se igualarem ou superarem a resistência ao cisalhamento do solo do talude, conforme descreve Vargas (1999). A instabilidade mecânica de uma área de tálus é muito grande, qualquer intervenção que altere a estabilidade deve ser acompanhada com muita precaução, pois os movimentos destas massas, depois de iniciados, podem ganhar velocidade e a energia desenvolvida costuma ser destruidora, ressaltam Rodrigues e Lopes (2009). O movimento de rastejo apresenta características de deslocamentos com velocidades muito baixas a baixas e decrescente com a profundidade. Além de uma geometria indefinida os movimentos podem ser constantes, sazonais ou intermitentes.

Nas regiões tropicais, o principal mecanismo desencadeador de movimentos gravitacionais de massa é a intensidade de chuva, segundo Yakushova (1986), Wolle e Carvalho (1989), Zuquette e Ahrendt (2003), Hong e Adler (2007) e Tominaga (2009a). Porém, Press *et al.* (2006) e Takahashi (2007) relatam a potencialidade da chuva em desencadear a ocorrência desses movimentos em região sujeitas a outros tipos de clima, como temperado por exemplo. A verificação de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa, relacionados a períodos de chuva intensa, também é relatada por Coronado (2006), Liu e Wu (2008), Bahum *et al.* (2008), Dahal *et al.* (2009), Wieczorek *et al.* (2009) e Cannon *et al.* (2010). Augusto Filho e Virgili (2009) ressaltam a influência que os depósitos de tálus podem sofrer com a elevação do nível do lençol freático, desestabilizando a encosta.

Wolle e Carvalho (1989) descrevem que os escorregamentos translacionais, de delgadas capas de solo, que ocorrem frequentemente na região da serra do Mar são gerados por chuvas intensas, sejam por períodos acumulados após vários dias de chuva ou por curtos períodos de algumas horas com altíssimo índice pluviométrico.

A inadequada ocupação das encostas configura outro importante agente desencadeador na geração de MGM, que é a ação antrópica, conforme descrito por Cunha *et al.* (1990), Amaral e Amaral (1991), Barros *et al.* (1992), Amaral (1992), Cunha e Benvenuto (1992), Wolle e Carvalho (1994), Nunes e Calbete (2000), Zuquette e Ahrendt (2003), e Carvalho *et al.* (2007).

4.2.3 Medidas mitigadoras

O monitoramento dos fenômenos naturais causadores de movimentos de massa é um dos recursos disponíveis no mundo moderno. Os satélites meteorológicos com capacidade de previsão de índices pluviométricos com horas de antecedência já são realidade em todo o mundo, mas sem ações efetivas de mobilização da população em áreas de risco é um recurso inútil para salvar vidas. O acompanhamento de ocorrências de erupções e atividades vulcânicas é fundamental para evitar a perda de vidas nas áreas sujeitas a derrame de magma. O monitoramento dos movimentos tectônicos já é acompanhado por satélites geoestacionários, conforme descreve por Press *et al.* (2006), o que confere um auxílio na observação do comportamento da crosta terrestre. Aliado ao conhecimento da geomorfologia e da geologia sobre áreas de falha é possível um mapeamento das áreas mais sujeitas a abalos sísmicos e a deslizamentos causados por estes.

Além dos fenômenos naturais, as ações antrópicas causam também o surgimento de MGM. Interações com o solo para a implementação de estradas, dutos, ferrovias e edificações podem alterar a condição de repouso de massas não coesas e assim desestabilizar áreas que poderão se movimentar mediante um gatilho, como chuvas intensas por exemplo, conforme relatado por Vargas (1999). Lázaro e Moura (2004) levantaram as suscetibilidades associadas a um trecho de oleoduto da TRANSPETRO de 159,5 km cortando quinze municípios nos Estados de São Paulo, Goiás e Distrito Federal. Neste estudo encontraram trechos sujeitos a movimentos de rastejo, onde foi possível visualizar árvores, postes e muros inclinados ou tombados, além de cortes com inclinação acentuada que colocavam em risco alguns trechos das tubulações de óleo. Erosões, recalques e colapsos de solo também foram observados. Em alguns trechos o uso inadequado de rodovias sem pavimentação sobre os dutos foram os riscos encontrados. Dentre as recomendações apontadas estão aplicação de cobertura vegetal, sistema de drenagem superficial, recomposição de áreas afetadas, restauração da estabilidade, impermeabilização de áreas adjacentes aos dutos e interdição de tráfego em vias não pavimentadas.

Barbosa e Cerri (2004) conseguiram observar suscetibilidades em um trecho de implantação de uma rodovia, mapeando áreas sujeitas a escorregamentos de solo e erosões. Mendonça *et al.* (2011a) apontam algumas dificuldades a serem enfrentadas em certo trecho de implantação da ferrovia do TAV.

Para o implemento de ações efetivas de combate aos movimentos gravitacionais de massa faz-se necessário um levantamento dos condicionantes do meio físico, conforme descrito por Cruden e Varnes (1996), Diniz (1998), IUGS (2001) e Guzzetti *et al.* (2003), além da observação de ações antrópicas que podem ser destacados os desmatamentos, depósitos de lixo nas encostas, execução de corte e aterro. Para os tipos de movimentos descritos na Tabela 7 algumas ações de combate podem ser enumeradas, conforme vistos na Tabela 9.

Tabela 9 - Medidas mitigadoras para os principais tipos de MGM. (AUGUSTO FILHO, 2001)

Tipo de movimento	Medidas mitigadoras
Queda ou tombamento	Remoção manual e individual dos blocos instáveis; Fixação dos blocos instáveis por meio de chumbadores ou tirantes; Execução de obras de pequeno porte para estabilidade da encosta rochosa (cintas, grelhas, montantes, etc).
Escorregamentos	Remoção das bananeiras e implantação de cobertura vegetal apropriada, associada, quando necessário, a barreiras vegetais para proteção contra possíveis massas escorregadas; Remoção do lixo de encostas e deposição em local adequado, além de melhorar o serviço público de coleta ; Retaludamento e execução de obras de contenção para encostas com inclinação excessiva; Condução de águas pluviais e tamponamento de trincas no solo com argila compactada além de proteção superficial.
Rastejo	Desvio e canalização das águas aduzidas naturalmente para a área mobilizada; Drenagem profunda; Reparos e manutenção de redes de água e esgoto; Impermeabilização da superfície do terreno.

Cabem comentários sobre algumas das ações descritas na Tabela 9, como a retirada de bananeiras. As bananeiras não possuem raízes profundas, sendo assim, as raízes rasas não auxiliam na fixação do solo. A remoção ou a fixação de blocos de rocha por meio de chumbadores poderá ser uma opção em função das variáveis econômicas, técnicas e logísticas envolvidas nas operações. Em alguns casos, a remoção de determinado bloco de rocha é inviável, por um dos aspectos citados acima, tornando a fixação do bloco de rocha a opção mais racional, a recíproca também é verdadeira. As ações no sentido de desviar volumes de águas pluviais de taludes, sejam naturais ou artificiais, configuram uma boa

prática, pois reduzem o peso conferido à massa de solo do talude por acúmulo de água, além de reduzir o incremento do nível do lençol freático na encosta. Esses fatores são deflagradores de MGM.

As corridas de massa, particularmente, caracterizam um movimento gravitacional com alto poder de destruição, as medidas mitigadoras podem retardar os efeitos ou diminuir a magnitude dos danos. As medidas associadas a este tipo de movimento podem ser: uso de represas escalonadas de gabiões, diques abertos para retenção de sólidos, impermeabilização de solos e aumento da seção transversal de canais de drenagem.

Atualmente existem diversos tipos de obras de contenção de encostas, entretanto, a escolha da melhor opção se dá após um estudo geológico geotécnico e fenomenológico do solo ou rocha do talude. Em geral, as soluções mais simples e mais econômicas, que atendam as solicitações técnicas, são as adotadas. Na Tabela 10 observa-se a classificação de algumas obras de contenção.

Tabela 10 - Classificação de algumas obras de estabilização de taludes e encostas. Adaptado de Augusto Filho e Virgílio (2009).

Obras	Classificação	Tipos
Sem estrutura de contenção		Retaludamento. Drenagem. Proteção superficial.
	Passiva	Muros de arrimo. Cortinas cravadas. Cortinas ou muros ancorados sem protensão.
Com estrutura de contenção	Ativa	Muros, cortinas e placas atirantadas.
	De reforço de maciço	Injeções de cimento e resinas químicas. Estacas e microestacas de concreto.
De proteção		Barreiras vegetais. Muros de espera.

A grande maioria das obras de estabilização de encostas é uma combinação de duas ou mais técnicas descritas na Tabela 10. A falha na execução de alguma delas pode comprometer todo o complexo de contenção executado, sendo assim, deve-se prezar pela qualidade dos serviços realizados, uma vez que as estruturas costumam se localizar em áreas de difícil acesso, para posteriores avaliações durante a utilização.

A ferramenta de SIG (Sistema de Informação Geográfica) tem sido aplicada em diversos trabalhos na geração de mapas de risco de movimento gravitacional de massa, conforme relatado por Diniz (1998), Carrara *et al.* (1999), Augusto Filho (2001), Bateira (2001), Irigaray e Chacón (2003), Corominas *et al.* (2003), Martín-Serrano *et al.* (2004), Cascini *et al.* (2005), Clerici *et al.* (2006), Roque (2006), Zuquette e Nakazawa (2009), Celestino e Diniz (2009), Abreu e Augusto Filho (2009), Pressinotti *et al.* (2009), Pimentel (2010), Safaei *et al.* (2010), Braz e Riedel (2011) e Caraméz e Higashi (2011).

4.2.4 Medidas emergenciais

Souza *et al.* (2009) relata que desde o início da década de 70, o Brasil começou a estudar os fenômenos ligados aos desastres naturais. Os movimentos de massa fazem parte do grupo de assuntos tratados pelos diversos órgãos, institutos e universidades que, desde aquela década, começaram a se envolver com trabalhos para tentar entender e se prevenir aos deslizamentos no intuito de que vidas pudessem ser salvas. O primeiro Grupo de Pesquisa criado foi na Escola de Engenharia de São Carlos da USP em 1972.

As medidas emergenciais se enquadram nas ações tomadas após a ocorrência de um evento de MGM, onde elementos em risco foram ou ainda podem ser atingidos.

Em se tratando de medidas emergenciais, os primeiros levantamentos a serem realizados contemplam, no mínimo: avaliação de risco emergencial, cadastramento de situações de risco emergenciais e zoneamento preliminar de risco.

Na avaliação de áreas de risco emergencial, a tomada de fotografias aéreas oblíquas, após os deslizamentos, é essencial para as indicações destas áreas. Na sequência do estudo, levantamentos aerofotogramétricos e imagens de sensores orbitais ou aerotransportados são ferramentas importantes para o apontamento das áreas mais atingidas recentemente ou remotamente, por meio de trabalhos de interpretação de imagens, conforme relatado por Amaral (1992), Vilaplana *et al.* (2002), Zuquete e Ahrendt (2003), Corominas *et al.* (2003), Irigaray e Chacón (2003), Santacana *et al.* (2003), Ayala-Carcedo *et al.* (2003), Carvalho *et al.* (2007), Abreu e Augusto Filho (2009) e da Silva *et al.* (2011). Atualmente o uso de MDE (Modelo Digital de Elevação) nas avaliações geomorfológicas tem sido largamente aplicado, conforme pode ser visto nos trabalhos de Corominas (2003), van Westen e Gethaun (2003), van Westen (2004), Coronado e Diniz (2005), McKenna *et al.* (2008), van Westen *et al.* (2008), Pimentel (2010), Caraméz e Higashi (2011) e Mendonça *et al.* (2011a), auxiliando nos trabalhos de interpretação de imagens.

5 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE RISCO

5.1 Introdução

No início do século XX começa a existir a divulgação de trabalhos cartográficos voltados para a caracterização do meio geológico geotécnico, onde a preocupação com as representações gráficas era primordial. Após a II Guerra mundial houve a divulgação de trabalhos no intuito de facilitar o planejamento da reconstrução das cidades na Europa. Entretanto, já na segunda década do século passado durante o planejamento das cidades alemãs de Erfurt, Frankfurt, Danzig, entre outras, foi divulgado um mapa de adequabilidade para fundações, onde o terreno é classificado em função da aptidão para serem construídas obras de fundações, conforme descrito por Dearman (1991).

É importante destacar que por muito tempo no Brasil foi usado o termo risco de forma inadequada, pois o termo apropriado seria perigo. Dessa forma, nas diversas bibliografias aqui citadas, tanto nacionais como internacionais, era adotado, nas décadas de 80 e 90, o termo risco referindo-se a situações de suscetibilidade que deveriam ser tratadas como de perigo. Essa realidade reforça a importância da comissão JTC-1 (*Joint Technical Committee on Landslides and Engineering Slopes*) na revisão e uniformização de conceitos, no intuito de torná-los mais precisos em função do tipo de estudo realizado. A comissão JTC-1 adota procedimentos que são recomendados pela ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia), ABMS (Associação Brasileira de Mecânica dos Solos), COPPE - UFRJ (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro) e UnB (Universidade de Brasília), além do Ministério das Cidades do Governo Federal, Ministério de Minas e Energia e CPRM. A nova PNPEC (Política Nacional de Proteção e Defesa Civil) do Governo Federal, no Art 6º do Projeto de Lei de Conversão à Medida Provisória nº 547, de 11 de outubro de 2011, assinada em 6 de março de 2012, aponta para procedimentos de elaboração de mapas de risco, suscetibilidade e vulnerabilidade a desastres naturais, sob a responsabilidade da União, Estados e Municípios.

5.2 Cartografia geotécnica no Brasil

No Brasil, o primeiro trabalho voltado para cartografia geotécnica foi publicado na década de 1960, conforme descrito por Zuquette e Gandolfi (2004) e Diniz-Souza (1992). Habener publicou em 1966 um trabalho tratando de aspectos teóricos sobre o assunto. Desde então a cartografia geotécnica vem sendo estudada e aprimorando as metodologias e

formas de representação e aplicação. Nos anos 70 seguiram publicações de cartas geotécnicas e trabalhos discutindo metodologias e áreas de aplicação voltadas para o planejamento de ocupação dos terrenos.

Na década de 1980 os trabalhos de caracterização do meio físico visando à ocupação ordenada e racional dos terrenos continuaram. No intuito de visualizar as possíveis causas e evitar que a ocorrência de mais prejuízos, a Casa Militar de São Paulo, através da Coordenadoria de Defesa Civil do Estado solicitou a confecção de uma carta geotécnica das áreas dos morros de Santos e São Vicente em 1980, o que resultou no trabalho de Prandini *et al.* (1980), que compreende uma carta geotécnica acompanhada de critérios de ocupação de cada área definida pela carta.

Diversas universidades e instituições públicas de pesquisa iniciaram o desenvolvimento do estudo da Cartografia Geotécnica desde a década de 80. Atualmente, a cartografia geotécnica absorveu a cartografia geoambiental, agregando informações aos estudos de impacto de ações antrópicas sobre o meio ambiente. A ideia inicial que seria dar suporte às obras de engenharia no que tange a segurança das edificações, agora aborda também o impacto sócio ambiental.

As interações das ações antrópicas indiscriminadas com o meio físico acabam acarretando sérias consequências para a população e para o meio ambiente, uma vez que podem gerar fenômenos denominados desastres naturais, como enchentes e deslizamentos de terra.

5.3 Cartografia de risco

Segundo Varnes (1984), risco está diretamente ligado a um elemento em perigo que apresente certa vulnerabilidade, esses três fatores configuram uma situação de risco; a vulnerabilidade, o elemento e o perigo associado a ele.

De uma forma geral os perigos podem ser classificados dentro de um critério de suscetibilidades ou perigos ambientais conforme definido por Cerri e Amaral (1998) e adaptado segundo o JTC-1, observado na Figura 35.

Ao mencionar a palavra risco o conceito de probabilidade está intrínseco, pois se trata da probabilidade de ocorrência de um evento que colocará bens (vidas humanas ou valores econômicos) sob risco de perdas, que são mencionadas por Amaral (1992), Barros *et al.* (1992), Vilaplana *et al.* (2002), Tominaga (2009b) e Camarez e Higashi (2011). A probabilidade será maior quanto mais intensa for a ação dos elementos condicionantes do

desastre. Sendo assim, a JTC-1 veio esclarecer o significado de risco levando em consideração o elemento em risco, logo a Figura 35 trata de perigos ambientais.

Na classificação dos perigos geológicos, que está dentro de perigos naturais e físicos, observam-se os perigos endógenos e os exógenos. Os endógenos são fruto de forças internas do planeta, ou seja, resultado da dinâmica da crosta terrestre. Os exógenos são resultado de ações sobre a crosta terrestre de agentes oriundos da atmosfera ou do ambiente externo à crosta, como por exemplo, chuva. Os resultados destes fenômenos, tanto endógeno como exógeno, são catástrofes naturais, podendo ser exemplificado o tsunami ocorrido no Japão em março de 2011.

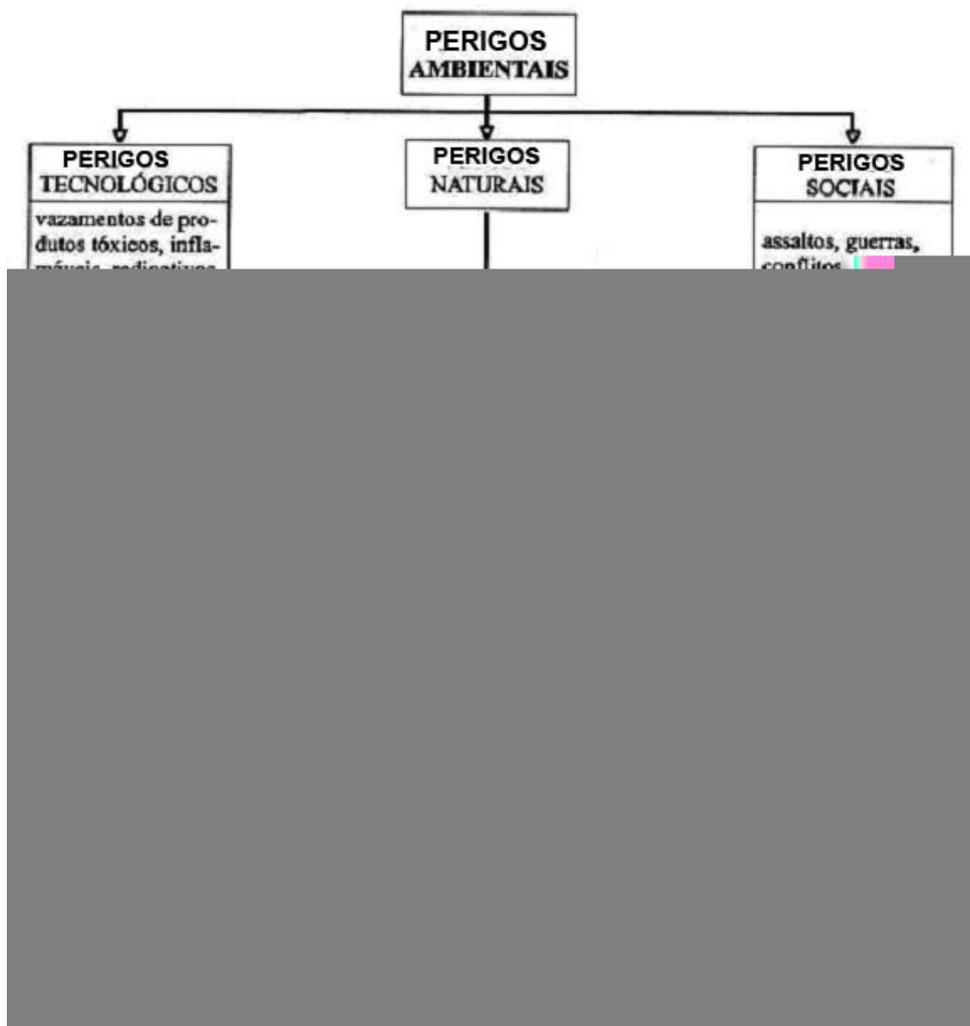


Figura 35 - Classificação de perigos ou suscetibilidades ambientais. Destaque para os perigos geológicos. (Adaptado segundo JTC-1 de CERRI E AMARAL, 1998)

Segundo Zuquette e Gandolfi (2004) uma carta de eventos perigosos deve proporcionar ao usuário pelo menos informações de: intensidade ou magnitude do evento, probabilidade temporal, probabilidade espacial; e materiais geológicos envolvidos.

Para que um evento perigoso ocorra é necessário que uma série de fatores se somem proporcionando um cenário favorável à ocorrência do evento, como descrito por Hong e Adler (2007). No trabalho desenvolvido por Zuquette e Ahrendt (2003) foi possível constatar que a grande quantidade de chuva que havia caído na região há cerca de um mês teve grande influência na ocorrência do evento. Além disso, o somatório de condições como: ocupação desordenada e sem critério técnico das encostas, lançamento de lixo doméstico em encostas e características geotécnicas como condutividade hidráulica, porosidade e razão de capacidade de infiltração tiveram significativa participação para a ocorrência do evento na cidade de Campos do Jordão em janeiro de 2000.

A avaliação de suscetibilidade na ocorrência de eventos perigosos tem se mostrado uma ferramenta de grande importância no auxílio à tomada de decisão no que tange à ocupação urbana, deposição de resíduos e aterros e preservação ambiental. Segundo Zuquette e Gandolfi (2004) os eventos naturais perigosos mais estudados são movimentos gravitacionais de massa, erosões, expansibilidades, inundações, poluição das águas e subsidência.

As catástrofes naturais acabam levando muitas vidas inocentes e, por vezes, poderiam ser evitadas caso houvesse um estudo direcionado para o controle e a visualização das probabilidades de ocorrência. Em geral, os processos exógenos podem ser prevenidos, observando uma ocupação racional do solo e acompanhando a ocorrência de agentes deflagradores dos eventos, como por exemplo, chuvas de grande intensidade em regiões de encosta. Os acidentes causados por movimentos gravitacionais de massa ocorridos em janeiro de 2010 na cidade do Rio de Janeiro, mais especificamente no Morro do Bumba em Niterói e na Ilha Grande em Angra dos Reis, fizeram dezenas de vítimas. Caso um estudo detalhado de mapeamento de risco tivesse sido feito e respeitado, esses desastres poderiam ter sido evitados ou ter os seus efeitos mitigados. Nishiyama (2004) relata que a alta frequência de ocorrência de acidentes associados ao meio físico, principalmente relacionados à ocupação desordenada em grandes centros urbanos, tem sido objeto de preocupação das autoridades nas três esferas do poder público.

Análises de álgebra de mapas podem fornecer cartas de risco que auxiliam de forma significativa na tomada de decisão quanto à gestão de áreas potencialmente perigosas, como é indicado por Santacana *et al.* (2003), Pimentel (2010) e Braz e Riedel

(2011). Na Figura 36 observa-se uma carta de perigo de estabilidade quanto a deslizamentos na Califórnia, elaborada por Varnes (1984), resultado de combinação da carta de deslizamentos, carta de depósitos de deslizamentos e de unidades geológicas suscetíveis a deslizamentos.

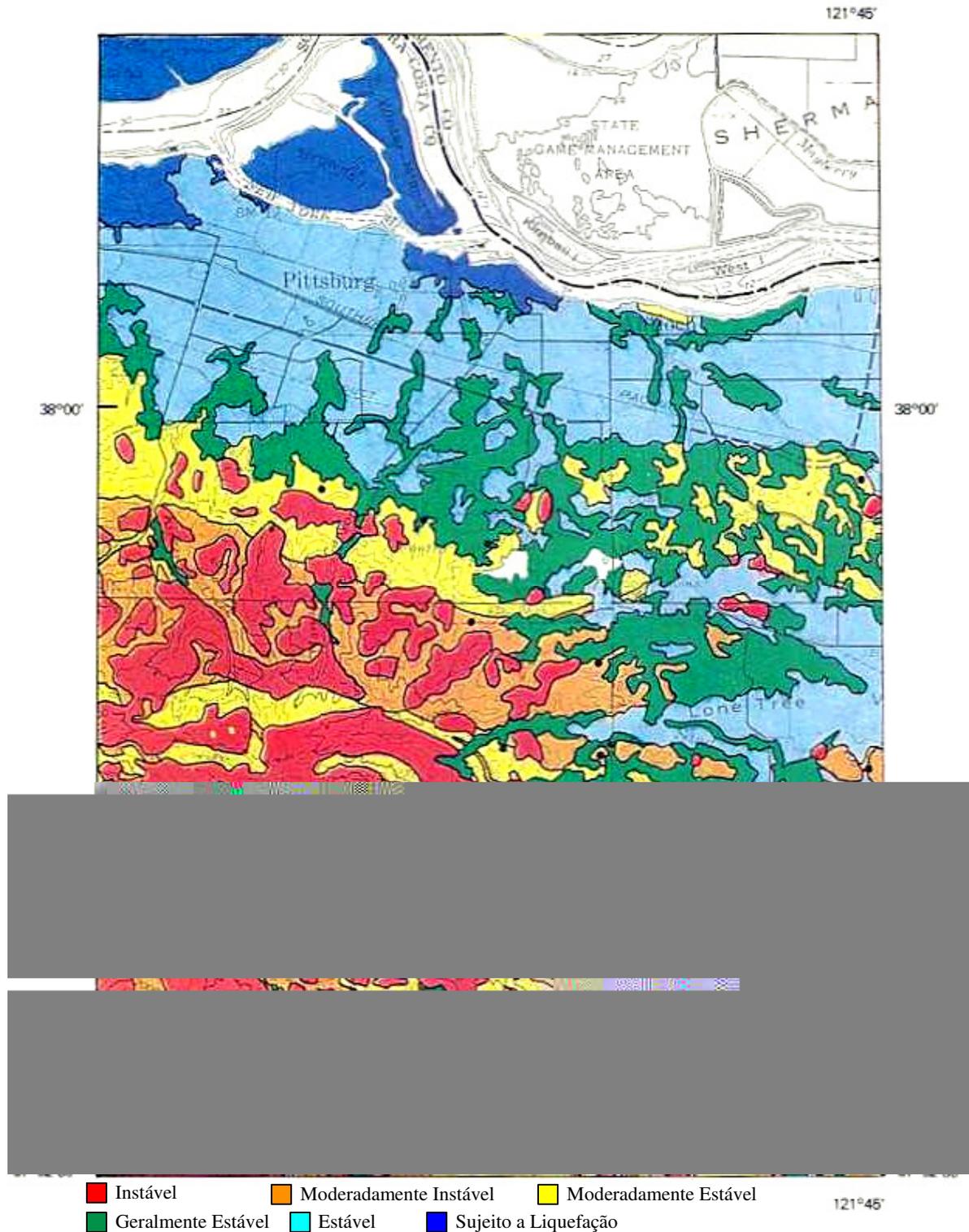


Figura 36 - Carta de perigo de deslizamentos na Califórnia. (VARNES, 1984).

As áreas em vermelho são instáveis; em laranja, moderadamente instável; em amarelo, moderadamente estável; em verde, geralmente estável; em azul claro, estável; em azul escuro, sujeitas a liquefação e os pontos pretos indicam áreas de depósitos isolados de deslizamentos.

No Brasil não existe uma padronização de cores para representar os graus de risco (CERRI *et al.*, 1995), entretanto costuma-se seguir a mesma sequência adotada na Figura 36.

O risco de ocorrerem movimentos de massa, inundações ou outros fenômenos naturais que possam gerar prejuízos ou danos causados a pessoas e bens, ou ainda a interrupção de atividades econômicas foi definido por Varnes (1984) como Risco total (Rt), que é dado pelo produto entre Perigo (H), Vulnerabilidade (V) e Elemento em risco (E). Onde “H” significa qualquer evento que possa causar danos, tanto materiais como perda de vidas, “V” seria definido como grau de perda ou dano causado a um elemento ou conjunto de elementos e “E” significam pessoas, bens e propriedades em risco. A definição atual de risco considera ainda a probabilidade de ocorrência do evento (JTC-1, 2008).

Fatos associados a movimentos de massa ocorridos no passado podem auxiliar na prevenção de novos movimentos no futuro, entretanto podem ocorrer deslizamentos em lugares onde não exista ainda registro de movimentos anteriores. A observação de cicatrizes de escorregamentos de massas de solo pode auxiliar no mapeamento de riscos de ocorrência de movimentos de massa no futuro (VARNES, 1984).

As principais etapas para a elaboração de uma carta de risco englobam basicamente inventário de escorregamentos, levantamentos de campo, fotointerpretação, análise e revisão de mapas geológicos, geomorfológicos e hidrológicos (CERRI *et al.*, 1995; *apud* CARRARA, 1978). Estas etapas acabam fornecendo as informações que são requeridas pelo modelo da IAEG (*International Association for Engineering Geology and the Environment*) na elaboração de mapas geotécnicos, que são: caráter das rochas e solos, condições hidrogeológicas, condições geomorfológicas e fenômenos geodinâmicos. Nishiyama (2004) enfatiza que a análise de riscos geológico geotécnicos carece de levantamentos do meio físico, englobando levantamento geológico, geomorfológico, geotécnico e hidrológico.

A fotointerpretação conta hoje com o auxílio da interpretação de imagens de sensores orbitais que utilizam processamento digital de imagens como uma ferramenta do sensoriamento remoto.

O estudo da geomorfologia acaba fornecendo subsídios para o entendimento dos fenômenos geodinâmicos do passado e indicação de possíveis ocorrências no futuro.

Na metodologia adotada pela EESC/USP atribui-se uma hierarquização dos documentos cartográficos que serão a base para a elaboração de uma carta de risco geológico. Nesta hierarquização, que vai de I a VIII, seguem passos para se chegar em conclusões e tomadas de decisões administrativas e econômicas. A carta no nível V é a carta de prognóstico de riscos, de problemas e de limitações, ela é gerada com base nas cartas das fases anteriores (ZUQUETTE E GANDOLFI, 2004).

A forma como as informações serão trazidas das cartas base para a carta de risco depende da metodologia de análise. A utilização de sistemas de informação geográfica na geração dessas cartas tem sido a ferramenta mais utilizada atualmente. Neste sistema as variáveis de interesse no terreno são representadas em forma de mapa. Ao superpor as áreas compostas pelas variáveis são simuladas interações para criar novas informações. As variáveis recebem pesos dentro de uma mesma carta temática, distinguindo assim níveis de importância e ao final da interação entre os mapas é gerado um resultado em forma de mapa. A definição destes pesos não é simples, diversas metodologias têm sido adotadas com esta finalidade, como por exemplo, regressão logística (DAMIÃO, 2007) e sistemas especialistas (ARCAYA, 2007). O processamento digital de imagens é outra ferramenta que já tem se mostrado eficiente nas análises de cartografia de risco (MENDONÇA *et al.*, 2011b).

5.3.1 Elaboração de uma carta de risco

As principais etapas para a elaboração de uma carta de risco, já descritas anteriormente, serão abordadas a seguir, que são: inventário de escorregamentos, levantamentos de campo, fotointerpretação, análise e revisão de mapas geológicos, geomorfológicos e hidrológicos.

5.3.1.1 Inventário de escorregamentos

Dado um evento de movimento gravitacional de massa, faz-se necessário primeiramente um levantamento das cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens da região afetada. Esses documentos permitem uma localização imediata de pontos de risco a serem avaliados.

Levantar as informações referentes a escorregamentos já ocorridos é uma das primeiras etapas para o mapeamento de risco, uma vez que possibilitam identificar as regiões mais sujeitas aos movimentos gravitacionais de massa (JTC-1, 2008). Zuquette e

Ahrendt (2003) ressaltam a importância de mapearem a área afetada por movimentos gravitacionais de massa e o fizeram em uma área afetada por deslizamentos após um intenso período de chuvas em São José dos Campos no estado de São Paulo. Cerri *et al.* (2004) levantaram evidências de instabilidades e condicionantes de processos de instabilização no mapeamento de prováveis áreas de ocorrência de processos de desestabilização de encostas, nas zonas leste, oeste e norte do município de São Paulo. Ferreira e Pejon (2004) observaram os processos erosivos ocorridos, desde a década de 60, na cabeceira do Rio Tucum em São Pedro no estado de São Paulo no intuito de mapearem as prováveis causas dos processos erosivos que haviam se instalado naquele trecho da bacia hidrográfica.

Nessa etapa, o mais importante é a obtenção de dados coerentes e verídicos, pois informações oriundas de dados duvidosos poderão comprometer o resultado da análise.

5.3.1.2 Levantamento de campo

O levantamento das propriedades geotécnicas do material é de suma importância, uma vez que os índices físicos estão diretamente ligados ao comportamento da massa de solo. A obtenção de amostras no campo para a análise em laboratório onde serão fornecidos os valores de índices como: Limites de Atterberg, índice de vazios e coesão é uma etapa fundamental para a aplicação de técnicas de contenção das encostas. Após a obtenção destes valores as áreas de solo representadas nas cartas geotécnicas informarão características do material de cada região.

Kozciak e Fiori (2004) realizaram ensaios em 72 amostras indeformadas de solo, oriundas de 26 pontos de coleta e em três profundidades diferentes para a análise de condutividade hidráulica e granulométrica, pois desejavam caracterizar o solo do ponto de vista hidrológico para uma futura análise de estabilidade de vertentes.

Dentro do levantamento de campo, importa também avaliar o aspecto de uso e ocupação do solo, uma vez que a ocupação desordenada das grandes cidades pode influenciar no surgimento de áreas de risco a desastres naturais. Zuquette e Ahrendt (2003) relatam a influência deste tipo de ocupação em riscos geológicos.

Caraméz e Higashi (2011) apontam fragilidades de determinadas áreas na Cidade de Florianópolis com base em dados geomorfológicos e sondagens SPT, onde são feitas recomendações sobre ocupações mais propícias ou não.

5.3.1.3 Fotointerpretação

Os dados obtidos por sensoriamento remoto trazem riquezas de detalhes que proporcionam a visualização de cicatrizes de movimentos de massa nas encostas. As fotografias aéreas foram gradativamente sendo substituídas pelas imagens de sensores orbitais e aerotransportados, entretanto, voltaram a ser uma boa opção com as novas câmeras digitais aerotransportadas. A análise de interpretação de imagens permite, por exemplo, avaliar a condição da vegetação, cujas copas e demais partes aéreas da floresta, detritos vegetais e sistema radicular que contribuem para a sua estabilidade podem ser avaliados ou inferidos por ferramentas de processamento digital de imagens, conforme descrito por Prandini *et al.* (1976).

As imagens de sensoriamento remoto, associadas às técnicas de processamento digital de imagens, permitiram que a cartografia geotécnica alcançasse resultados de análise que na era da fotografia aérea analógica eram bem mais complexos. Esse fato pode ser observado, por exemplo, nos resultados obtidos por Riedel *et al.* (2008), onde uma imagem IKONOS foi utilizada para classificação visual de cicatrizes de movimento de massa na região de Cubatão em São Paulo. Mendonça *et al.* (2011a) consegue destacar aspectos geomorfológicos do relevo utilizando filtros direcionais em imagens do sensor CBERS 2B e em dados da missão SRTM3.

Associado a interpretação de imagens e aos processamentos digitais, outra ferramenta importante que manipula valores qualitativos e quantitativos é o SIG, Sistema de Informação Geográfica. Essa ferramenta permite que valores espaciais sejam considerados nas análises, além de permitir a confecção de mapas de diversos temas. Os dados espacializados podem ser trabalhados matematicamente, proporcionando resultados quantitativos em forma de mapas, auxiliando nas tomadas de decisão e assim reduzindo os riscos nos planejamentos urbanos e de uso do solo de uma forma geral. Permite ainda entender como o meio ambiente está se comportando frente às intervenções humanas.

5.3.1.4 Análise e revisão de mapas

Conforme descrito por Nishiyama (2004), os aspectos geológico geotécnico, geomorfológico e hidrológico devem ser tratados detalhadamente para dar suporte as decisões relacionadas à cartografia de risco.

Os mapas geológicos devem trazer informações sobre as características das rochas e solo que estejam relacionadas às propriedades físicas que são importantes para a geotecnia. As principais características geológicas que indicam as características

geotécnicas são: composição mineralógica, características estruturais e texturais, umidade, grau de saturação, consistência, fissuração, grau de intemperismo e alteração.

Os mapas geomorfológicos apresentam a história da formação dos relevos, onde é possível observar a formação dos vales, montanhas, morros, planícies e chapadas, por exemplo. A observação dos agentes dinâmicos que influenciaram na formação faz parte dos levantamentos geomorfológicos. No estudo e no levantamento de dados para estes tipos de mapas o uso de interpretação de imagens e fotografias aéreas é largamente aplicado. O recurso de geração de modelos digitais de elevação é frequentemente utilizado, na obtenção de dados sobre as formas de terreno, conforme aplicado por Mendonça *et al.* (2010).

Do ponto de vista hidrológico, ou hidrogeológico, a modificação que a água gera nas propriedades dos solos e rochas influenciam na forma de interação da engenharia com o solo. O regime das águas superficiais e subterrâneas é influenciado pela extração de águas subterrâneas e estruturas hidráulicas, além de fatores como urbanização e desflorestamento, que podem influenciar em movimentos de encostas e sedimentações.

5.3.2 Ferramentas de análise

A elaboração de uma carta de riscos ambientais deve se valer de vários documentos cartográficos comprovadamente eficazes, ou seja, que estejam de acordo com as normas vigentes do ramo da cartografia no país. Cerri *et al.* (1995) relata que a validade de uma carta de risco pode ser limitada, uma vez que as informações carecem de atualização conforme o dinamismo do cenário estudado.

Na Figura 37 observa-se uma lista dos principais documentos cartográficos e suas ferramentas de manipulação na geração de uma carta de perigo ou de suscetibilidade. É claro que esta relação de documentos não finda a discussão sobre o tema, uma vez que o surgimento de variáveis em torno da área analisada é infinita, tomando como exemplo, uma carta específica sobre dutos de óleo que cortam certa região.

Para a obtenção da carta de risco é necessário relacionar a carta de perigo com o elemento em risco, suas vulnerabilidades e a probabilidade de ocorrência do evento perigoso.

A geração de cartas temáticas voltadas para risco, vulnerabilidade e preservação conta com o apoio da cartografia automatizada, que já é uma realidade no Brasil desde o final do século XX. Relata Diniz (1998).



Figura 37 - Documentos utilizados na geração de uma carta perigo e a representação das metodologias.

5.3.3 Escala das cartas de risco

As escalas das cartas de risco, em geral, são definidas em função dos detalhes que se deseja mostrar no documento. Zuquette e Gandolfi (2004) relatam que as escalas para cartas geotécnicas devem ser maiores que 1:100.000, uma vez que as tomadas de decisão ficariam prejudicadas em escalas menores.

Zuquette e Gandolfi (2004) dividem as cartas geotécnicas em quatro classes de escalas, que são: regionais, intermediária, de detalhe e locais. As características de cada uma delas estão descritas na Tabela 11.

Tabela 11 - Características mostradas em cada escala. Adaptado de Zuquette e Gandolfi (2004).

CLASSE	INTERVALO	CARACTERÍSTICAS
Regional	1:100.000 a 1:50.000	Áreas com extensões de centenas de quilômetros quadrados.
Intermediária	1:25.000 a 1:10.000	Destinada a trabalhos com controle visual de campo. O nível de detalhe deve ser bem maior que na classe regional.
De detalhe	1:5.000 a 1:2.500	Áreas de algumas dezenas de quilômetros quadrados. Aplicadas em questões que carecem de informações bem específicas.
Local	1:1.000 a 1:500	Estudos de áreas específicas, inferiores a um quilômetro quadrado.

Guzzetti *et al.* (2011) classificam as escalas da seguinte forma:

< 1:200.000 – Pequenas escalas;

Entre 1:25.000 e 1:200.000 – Médias escalas;

> 1:25:000 – Grandes escalas.

Para grandes escalas Guzzetti *et al.* (2011) descrevem que são necessárias compilações em fotografias aéreas de escalas maiores que 1:20.000 para o levantamento de cicatrizes de deslizamentos.

5.3.4 Considerações finais

Como a cartografia geotécnica de risco traz a missão de fornecer elementos que auxiliem na tomada de decisões, as conclusões advindas dos trabalhos realizados neste campo da ciência devem trazer o mínimo possível de incertezas. A interação com os aspectos do meio ambiente assim como análises que permitam decisões que levem em conta custo/benefício são fatores esperados tanto nas cartas de risco como nas cartas geradas com outras finalidades geotécnicas (ZUQUETTE E GANDOLFI, 2004).

A gestão dos territórios está atrelada ao poder público, em função disso as três esferas administrativas do país (União, Estados e Municípios) devem se mobilizar no intuito de reduzir a população que se encontra exposta a riscos ambientais, mais especificamente riscos geológicos. Esta mobilização é mencionada por Brollo *et al.* (2009).

Nos documentos cartográficos são esperados aspectos conclusivos sobre os objetos em análise. Em cartas de risco, esta informação é extremamente importante, tendo em vista a finalidade do documento, uma vez que as decisões tomadas com base neste produto visam mitigar ou evitar danos futuros à sociedade como um todo e ao meio ambiente.

A cartografia geotécnica associada às técnicas modernas de sistema de informações geográficas, sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, configura uma ferramenta poderosa de gestão do meio ambiente, de recursos naturais e de gestão de riscos. Sendo assim, torna-se de fundamental importância no planejamento territorial e urbano.

6 SENSORIAMENTO REMOTO

6.1 Introdução

As imagens de Sensoriamento Remoto têm origem nas fotografias aéreas, que foram largamente empregadas na obtenção de informações na Segunda Guerra Mundial no século XX, por exemplo, com o uso de fotointerpretações. Mas a sua definição como Sensoriamento Remoto só viria a surgir na década de 60, segundo Curran (1985) e Jensen (2009), sendo uma definição considerada simples, que diz apenas que se trata da aquisição de dados de um objeto sem tocá-lo. As aplicações do Sensoriamento Remoto no mundo moderno são muito diversificadas, podendo ser citadas as áreas da geografia, geologia, engenharia, defesa civil, meteorologia, defesa, agricultura, planejamento urbano, oceanografia, entre outras. Mantovani *et al.* (1996), Soeters e van Westen (1996), van Westen e Getahun (2003), Hong *et al.* (2007), Regueiros e González-Barros (2008) e Pimentel (2010) mencionam a importância do sensoriamento remoto como uma das ferramentas aplicadas no estudo de deslizamentos e zoneamento de risco. Vale ressaltar que as aplicações se multiplicam grandemente com a implementação de novos sensores, que trazem informações das mais variadas faixas espectrais e com diversas resoluções.

6.2 Um breve histórico

A obtenção de informações de objetos distantes, sem estar ao nosso alcance, por meio do espectro eletromagnético, configura uma definição de sensoriamento remoto como dito anteriormente. O homem sempre utilizou esse artifício para receber informações do mundo que o cerca. Os sentidos do ser humano trazem a noção prática do que é sensoriar à distância. Entretanto, a visão humana apresenta uma grande limitação na percepção dos comprimentos de onda existentes na natureza compondo o espectro eletromagnético. Como visto na Figura 38, a faixa do visível é muito reduzida em relação ao restante do espectro.

Observar imagens à distância é uma prática antiga. A Bíblia Sagrada relata a situação de homens, denominados espias, que foram designados por Moisés a espiarem a terra que Deus havia prometido ao povo de Israel. Naquela ocasião as imagens da missão de reconhecimento ficavam gravadas na mente daqueles homens. Entretanto, com o desenvolvimento da ciência o homem descobre formas de capturar estas imagens, surgem as pinturas e as fotografias. As imagens fotográficas foram utilizadas pela primeira vez em uma missão de reconhecimento aéreo em 1858 pelo francês Tournachon a bordo de um balão, na cidade de Bievre na França.

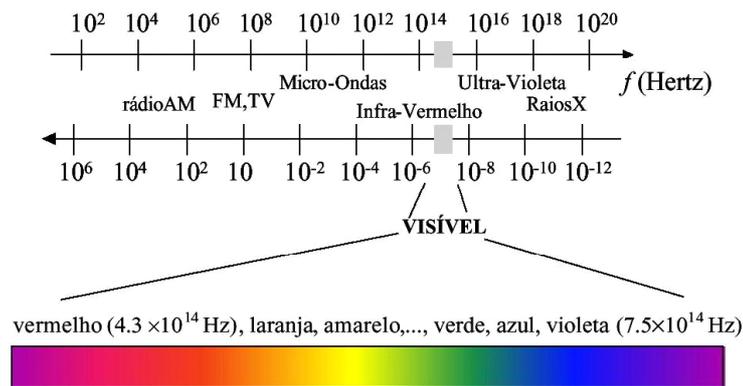


Figura 38 - Espectro eletromagnético. Fonte: http://www.vision.ime.usp.br/~ronaldo/mac0417-03/aula_02.html. Acessado em: 11/08/2008.

Com a invenção do avião, as técnicas de sensoriamento remoto começam a ganhar impulso e importância no aspecto da inteligência de imagens, fornecendo mais agilidade e precisão às informações obtidas. As novas tecnologias surgem no intuito de obter informações de alvos que o olho humano não consegue perceber, de fenômenos além da faixa do visível. Surgem os filmes fotográficos infravermelhos (IR), que conseguiam distinguir vegetações mortas ou estressadas, em função da diferença entre a refletância de vegetação morta e da vegetação sadia no comprimento de onda do IR próximo.

Conforme as fotografias aéreas começaram a ser difundidas, a comunidade científica passou a observar que a sua utilidade poderia ser muito maior do que apenas a obtenção de informações sobre inimigos de guerra. Pesquisadores de geologia, engenharia, economia, biologia, entre outros, vislumbram a possibilidade de estudar áreas em escalas menores e abrangendo superfícies maiores. Paralelamente, os sensores se desenvolveram e foram aperfeiçoados. As plataformas evoluíram de simples balões para jatos que apresentam aviação moderna e até satélites. A obtenção de informações por meio de imagens de sensoriamento remoto tem se tornado uma prática cotidiana no mundo moderno. Em diversos seguimentos da sociedade já é possível observar como as imagens oriundas de sensoriamento remoto, orbitais ou aerotransportado, vem somando conhecimento aos diversos ramos da ciência. Um exemplo notório é a previsão do tempo que todos assistem em suas casas em jornais televisivos, onde ao fundo, uma imagem, fruto de sensoriamento remoto orbital auxilia no entendimento dos fenômenos meteorológicos.

Atualmente existem diversos tipos de sensores remotos aplicados à obtenção de imagens, tais como: câmeras aerofotogramétricas, sensores a laser, satélites imageadores

em diversas faixas do espectro e radares. Cada um traz consigo vantagens e limitações bem particulares.

6.3 Sensores remotos e seus produtos

Segundo a definição clássica de sensoriamento remoto, já mencionado, a aquisição de informações de objetos ou fenômenos a distância permite que dados, geradores de imagens ou não, possam ser avaliados. As imagens de sensoriamento remoto trazem diferenças na apresentação do dado em função de características individuais dos sensores e da interação do espectro eletromagnético com o meio em que alvo e sensor estão inseridos, por isso devem ser interpretadas conforme suas particularidades. Na área de estudo será tratada a interpretação de imagens ópticas.

As imagens geradas pelos sensores remotos atuais podem ser classificadas, quanto à resolução, sob o seguinte critério: espacial, temporal, espectral e radiométrica.

Resolução espacial: trata-se da distinção entre dois objetos no terreno em função do seu tamanho, logo, quanto melhor a resolução espacial maior distinção entre dois objetos. A célula gerada na matriz que forma a imagem agrupa as respostas de radiação que sensibilizam o sensor, formando uma tonalidade distinta. Quanto menor esta célula maior a possibilidade de conter apenas um objeto ou parte dele, aumentando a distinção entre objetos diferentes. Na fotografia analógica cada elemento da matriz formadora da imagem é um cristal de haleto de prata, já na fotografia digital cada elemento (pixel) é formado pela resposta gerada por um único detector eletrônico.

A resolução espacial tem influência direta na qualidade do produto cartográfico gerado em função da escala adotada. IBGE (1999) indica as escalas apropriadas de produtos a serem gerados com as imagens mais comumente encontradas no mercado. Quanto menor o pixel da imagem gerada maior será a resolução espacial possibilitando a geração de mapas em escalas maiores, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Escala de trabalho indicada em função da resolução espacial da imagem original. Adaptado de IBGE (1999).

<i>SENSOR</i>	<i>RESOLUÇÃO ESPACIAL</i>	<i>ESCALA</i>
NOOA/AVHRR	1 km	< 1.000.000
RESURS-01	160 m	1:500.000 a 1:1.000.000
LANDSAT/MSS	80 m	1:250.000 a 1:500.000
LANDSAT/TM	30 m	1:100.000 a 1:250.000
SPOT Multiespectral	20 m	1:50.000 a 1:100.000
SPOT Pancromático	10 m	1:25.000 a 1:50.000

Resolução temporal: refere-se ao intervalo de tempo em que o sensor poderá imagear novamente a mesma cena. Quanto melhor a resolução temporal menor o intervalo de tempo entre duas cenas obtidas do mesmo objeto.

Resolução espectral: refere-se ao tamanho do intervalo de bandas dentro do espectro que sensibilizam o sensor. Os sensores multi e hiper espectrais registram diversas faixas dentro do espectro eletromagnético em uma cena.

Resolução radiométrica: está associada à sensibilidade do sensor para distinguir diferenças de potência no sinal de resposta do alvo que atinge o sensor. Segundo Jensen (2009), a resolução radiométrica define o número de níveis de sinal que podem ser discriminados.

Os sensores remotos utilizados atualmente diferem das primeiras fotografias aéreas em diversos aspectos, por exemplo, na precisão de sua localização espaço temporal. As atitudes da aeronave ou do satélite podem ser registradas, trazendo informações necessárias ao processamento das imagens reduzindo as distorções causadas por inclinações dos sensores no momento da tomada das imagens. Tecnologias de matrizes de detectores em substituição aos filmes fotográficos já são realidade há alguns anos. Como exemplo, tem-se a câmera ADS 80 da Leica Systems, que captura imagens com altíssima resolução espacial em plataformas aerotransportadas, que podem ser processadas em formato “geotif”, captadas por uma matriz de detectores eletrônicos. Este sensor gera imagens nas bandas do visível e infravermelho próximo.

Outro tipo de sensor remoto é o radar de abertura sintética (SAR – *Syntetic Aperture RADAR*), este sensor gera imagens na banda das microondas. O aspecto de uma imagem SAR pode ser observado na Figura 39.



Figura 39 - Imagem SAR gerada pelo sensor da aeronave R99 da FAB em 2008.

Um pulso eletromagnético é emitido sobre o alvo, que reflete parte deste pulso para uma antena do sensor, essa resposta é denominada eco radar. O sinal retroespalhado não volta na sua totalidade para a antena do sensor, mas a parcela que retorna tem sua intensidade medida e geram tons de cinza diferentes.

6.3.1 Sensores em uso atualmente

Existe uma série de sensores operando atualmente na obtenção de dados de sensoriamento remoto com a finalidade de gerar imagens. Entretanto, algumas diferenças básicas entre eles devem ser pontuadas. Os sensores podem estar em uma plataforma orbital (no espaço) ou em aeronaves (aerotransportados) que podem ser tripuladas ou não, além de obterem dados nas diversas faixas do espectro eletromagnético da Figura 38.

A origem da energia que sensibiliza o sensor também gera uma classificação, que pode denominar o sensor como ativo ou passivo. O sensor ativo é aquele que gera a energia que utiliza para formar imagens, ou seja, envia energia para o alvo e capta uma parcela dela para formar a imagem. Já o passivo gera imagens com a energia que emana ou é refletida pelo alvo oriunda de outra fonte. No Quadro 6 pode ser observado um grupo de sensores que, na data da realização deste trabalho, estão em operação, ou que possuem ainda imagens disponíveis. Os sensores aerotransportados, a exceção do RADAR uma vez que opera com visada lateral, dependerão sempre das condições meteorológicas, primando pela segurança de voo das plataformas.

Quadro 6 - Principais sensores que fornecem imagens atualmente. (Adaptado de JENSEN, 2009)

Sensor	Faixa espectral de operação	Resolução espacial máxima (m)	Período de utilização	Resolução temporal (Dias)	Observações
SENSORES AEROTRANSPORTADOS					
Câmeras digitais	RGB NIR	0,05	Diurno	Variável	-
SAR	Micro-Ondas	1,8	Qualquer	Variável	R99 (FAB)
AVIRIS	RGB NIR SWIR	2,5 ou 20	Diurno	Variável	224 bandas
Câmeras analógicas	RGB NIR	Variável	Diurno	Variável	A faixa espectral dependerá do filme utilizado.
SENSORES ORBITAIS					
IKONOS	RG NIR SWIR	1,0 a 4,0	Diurno	Com apontamento	A resolução de 1,0 m só é obtida no modo pancromático.
Quickbird	RG NIR	2,44 a 0,61	Diurno	Com apontamento	Resolução de

	SWIR				0,61 m obtida no modo PAN.
PRISM	RG	2,5	Diurno	-	Três sensores sendo, um Nadir, um Front e um Back. Levantamento de dados para geração de MDE.
AVNIR - 2	RGB NIR	10	Diurno	-	-
PALSAR	Microondas (L)	7 a 44	Qualquer	-	-
SPOT 5	RG NIR SWIR	2,5 a 5	Diurno	Com apontamento	Resolução de 5m obtida no modo PAN. Pode gerar MDE com 10m de resolução espacial.
ASTER	RG NIR SWIR Termal	15, 30 e 90	Depende da faixa imageada.	5, 16, 16	3 bandas RG NIR. 11 bandas SWIR e Termal.
CCD – CBERS 2B ⁽¹⁾	RGB NIR	20	Diurno	26 (nadir) 3 (lateral)	Possui ainda a câmera HRC. Gera imagens pancromáticas na faixa do azul ao IR próximo com resolução espacial de 2,7m.
ETM+ – LANDSAT 7 ⁽²⁾	RGB NIR SWIR Termal	30	Depende da faixa imageada.	16	Imagens até 2003.
MODIS	RGB NIR SWIR Termal	250, 500, 1000	Depende da faixa imageada.	1 a 2	36 bandas

(1) Fonte: <http://www.cbers.inpe.br/?content=cameras1e2e2b>

(2) Fonte: http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php

6.3.2 Câmeras aéreas digitais

Em substituição às câmeras aéreas analógicas, as digitais evoluíram e trouxeram aos voos aerofotogramétricos mais agilidade e precisão, elevando a qualidade do produto gerado. Entretanto, quanto melhor a resolução espacial, maior a quantidade de dados gerados, carecendo de mais espaço de armazenamento dos dados.

Os filmes fotográficos foram substituídos pelas matrizes CCD (*Charge-Coupled Device*, que é um detector por carga acoplada) que transformam radiações eletromagnéticas em pulsos elétricos que têm sua intensidade medida e geram as imagens.

Os planejamentos dos voos ganharam agilidade e precisão, pois os resultados dos estudos no planejamento do voo são inseridos diretamente nos equipamentos de bordo, como recobrimento lateral e longitudinal, por exemplo. Assim o operador pode visualizar, antes do voo, todas as manobras a serem realizadas pela aeronave, verificar possíveis erros e corrigi-los antes do voo. As faixas de voo que antes eram marcadas em uma carta em papel hoje são inseridas no *software* que gerencia o funcionamento da câmera durante o voo, onde a carta em formato digital ou o MDE da área podem servir como fundo de tela, facilitando ao operador a visualização de feições no terreno, e assim acompanhar a correta execução do aerolevanteamento.

6.3.2.1 CÂMERA ADS 80

Equipamento adquirido pelo CENSIPAM em dezembro de 2010, e que veio a equipar aeronaves R-35A Learjet da FAB em abril de 2011, baseados em um termo de cooperação técnica. O primeiro voo foi realizado em 25/05/2011.

A missão de aerolevanteamento consiste das seguintes etapas:

- Planejamento da missão;
- Equipagem da aeronave;
- Brifim da missão;
- Aerolevanteamento;
- Retorno da missão;
- Extração dos dados;
- Processamento e análise;
- Geração do produto de aerolevanteamento;
- Entrega ou arquivamento do produto solicitado.

O sensor acoplado na câmera é o Head – SH 82, trata-se de um *Push Broom*, conforme pode ser observado na Figura 40. O sensor da câmera é um CCD que possui 12 linhas de 12.000 pixels cada, sendo distribuída conforme o Quadro 7. O sensor converte luz em elétrons que são medidos e recebem um valor em intensidade radiométrica, gerando as imagens.

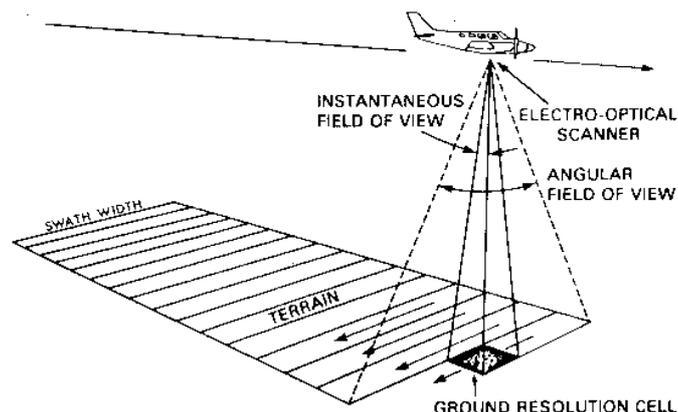


Figura 40 - Esquema de atuação de um sensor tipo Push Broom. Fonte: <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0355E/T0355E04.htm>. Acessado em: 10/10/2011.

Quadro 7 - Distribuição dos sensores da ADS 80.

Posição	Faixa	Quantidade	λ (nm)
Anterior	Pancromática	1	465-676
Nadir	Pancromática	2	
	NIR	1	833-920
	Azul	1	420-492
	Verde	1	533-587
	Vermelho	1	604-664
Posterior	Pancromática	1	465-676
	NIR	1	833-920
	Azul	1	420-492
	Verde	1	533-587
	Vermelho	1	604-664
TOTAL		12	

O campo de visada (FOV- *Fiel of View*) é de 64° transversalmente a linha de voo.

1 – Planejamento da missão:

Utiliza o *software* FPES 10.2 da Leica Geosystems. Nele é possível ajustar o GSD, o eixo de voo, o recobrimento lateral entre as faixas, as coordenadas dos cantos da área a ser levantada, além do sistema de projeção, que é adotado pelo CENSIPAM o WGS 84. O próprio *software* ajusta a quantidade de faixas e o tamanho de cada uma delas. É possível carregar as faixas sobre uma carta georeferenciada ou um MDE da área a ser voada.

2 – Durante o aerolevanteamento:

O *software* FCMS gerencia todo o voo, verificando se o que foi planejado está sendo cumprido, alertando ao operador quanto à velocidade da aeronave, altura de voo e a correta posição no espaço para iniciar o levantamento. Informa ainda correções de rota e posicionamento da aeronave entre as faixas.

Como todas as linhas de voo já estão planejadas, e seus dados salvos no sistema, o operador pode selecionar quais linhas irá voar na sequência que melhor lhe convier, basta informa ao sistema qual a sequência a ser seguida.

No voo realizado no vale do Paraíba, na região mais íngreme foi necessário diminuir o espaço entre as faixas para que a projeção angular não causasse perdas de áreas imageadas, pois as montanhas do Pico das Agulhas Negras são muito íngremes. Foram voadas 7 faixas neste projeto. Esse detalhe entre os espaçamentos das faixas pode ser observado na Figura 41, que traz as 7 faixas indicadas em uma carta aeronáutica. O efeito do relevo no resultado das faixas imageadas pode ser observado na Figura 42, onde a faixa da imagem se estreitou no trecho de relevo mais elevado.

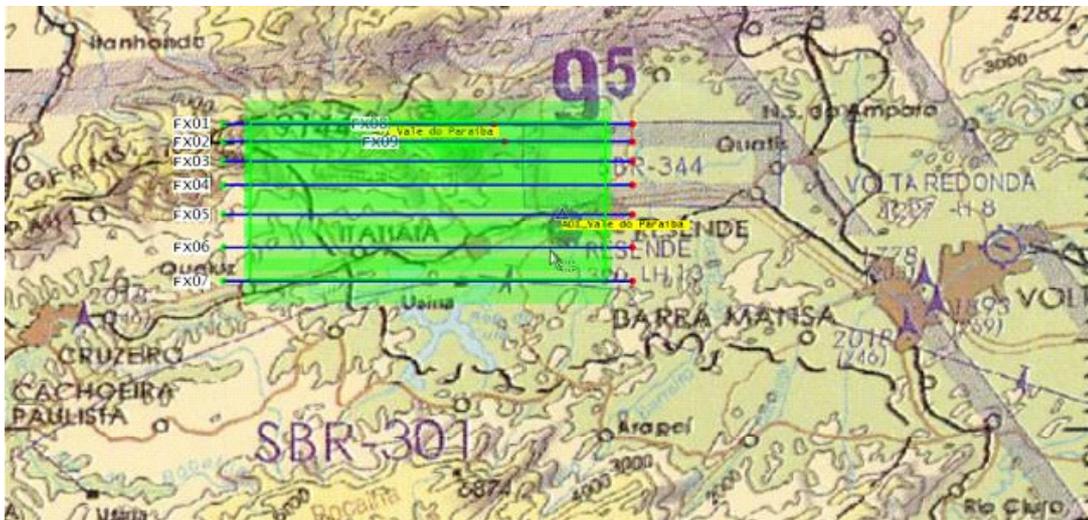


Figura 41 - Faixas de voo indicadas sobre uma carta aeronáutica de 1:1.000.000.

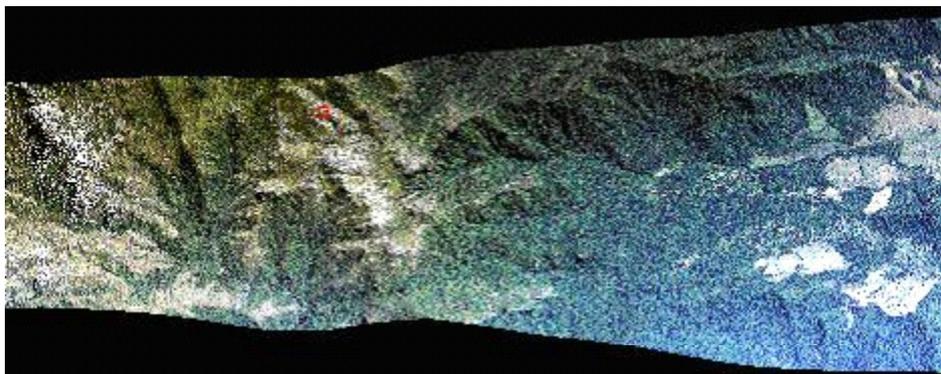


Figura 42 - Faixa estreitando no trecho de topografia mais elevada.

Schowengerdt (2007) define essa distorção para os sensores *pushbroom* como uma distorção topográfica. O deslocamento será maior quanto mais distante do Nadir for o

ângulo de inclinação do sensor e quanto mais alto for o objeto sensoriado. Essa distorção pode ser observada na Figura 43.

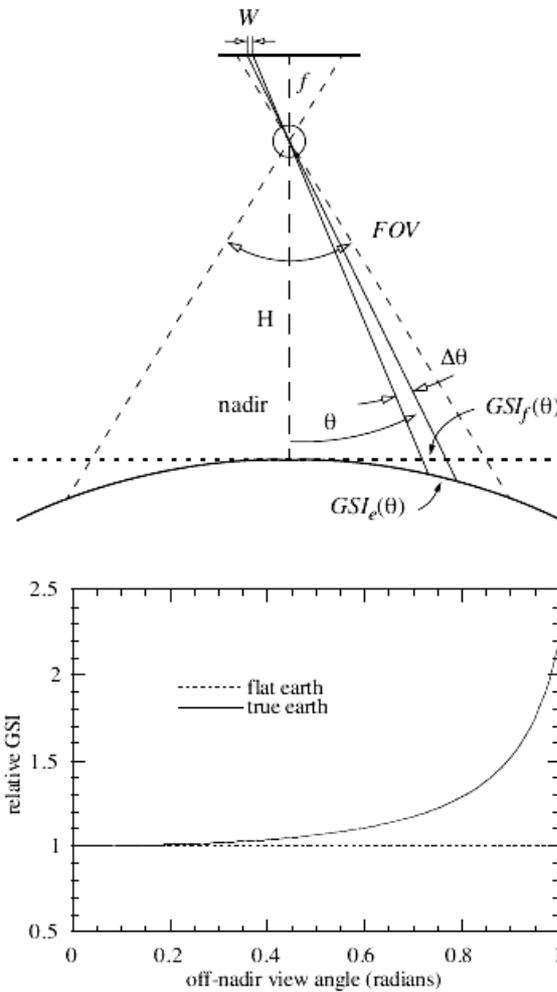


Figura 43 - Distorção topográfica. (SCHOWENGERDT, 2007).

Na Figura 44 nota-se que em função da elevação no terreno a distorção topográfica também está presente.

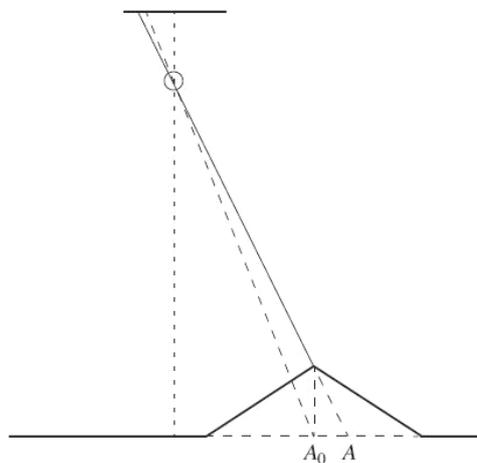


Figura 44 - Distorção topográfica em função da elevação no terreno (SCHOWENGERDT, 2007).

O moderno sistema de planejamento de voo aerofotogramétrico da ADS 80 não permite que essas distorções comprometam a qualidade do produto gerado, pois consegue corrigir as linhas de voo antes da decolagem, ainda na fase de planejamento. Este recurso minimiza custos com revoos de áreas para cobrirem eventuais aberturas de faixa, que não ocorrem com esse sistema.

3 – Processamento dos dados:

O sistema gera três tipos de imagens com as seguintes nomenclaturas:

L0: Imagem bruta, gerada sem correções de atitude da aeronave, porém georeferenciada.

L1: Imagem corrigida por triangulação com pontos conhecidos no terreno, utiliza malha de pontos do IBGE.

L2: Imagem com maior correção, pois utiliza blocos de pontos conhecidos no terreno. Esta imagem já está georeferenciada.

A câmera ADS 80 pode gerar imagens com até 5 cm de resolução espacial, porém a plataforma do CENSIPAM permite chegar até 25 cm apenas. Imagens com 5 cm de resolução espacial só podem ser obtidas sob uma velocidade em torno de 100 kt com essa câmera, que é uma velocidade apropriada para aeronaves de baixa performance, geralmente turbo hélice.

Na Figura 45, observa-se uma imagem fruto do levantamento do projeto Vale do Paraíba em 30 de agosto de 2011. No voo foram obtidas imagens na faixa do visível e NIR, nas resoluções espaciais de 40, 50 e 75 cm.

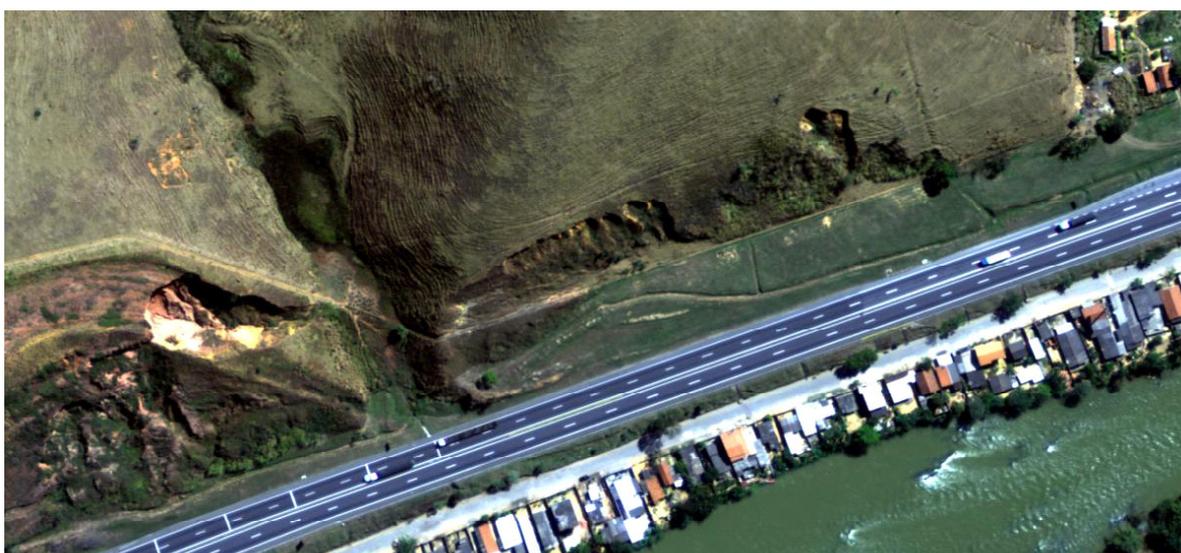


Figura 45 - Imagem com 50 cm de resolução espacial na área de estudo.

O projeto do vale do Paraíba contemplava uma área de 510 km², foram necessários 55 minutos de imageamento a uma altura de voo de 30.000 ft com a aeronave Learjet. As imagens foram geradas entre 08:30h e 15:30h.

Nota-se na Figura 45 que áreas que sofreram deslizamentos podem ser avaliadas por meio de interpretação visual de imagens geradas pela ADS 80. Segundo Mantovani *et al.* (1996), Guzzetti *et al.* (2000) e Widartono e Kerle (2007) as imagens de sensoriamento remoto são essenciais para o auxílio nos estudos relacionados a desastres naturais.

6.4 Interpretação de imagens

A identificação das características de um alvo imageado é de grande valia, porém a identificação correta é fruto de uma boa interpretação de imagens. A interpretação de imagens terá uma qualidade tanto melhor quanto maior for o conhecimento do intérprete sobre o tipo de alvo a ser reconhecido. Dentre as informações que podem ser obtidas por meio da interpretação de imagens podem ser destacadas: tipo de atividade de uma indústria, uso e cobertura do solo, topografia, área ocupada por uma instalação, armazenagem de materiais, acessos, processos geomorfológicos, cicatrizes de deslizamentos, entre outras. Além da possibilidade de uma análise temporal, onde se observa o aspecto dinâmico de determinado alvo, como por exemplo, o crescimento de uma cidade, a evolução do desmatamento em determinada região e as áreas cultivadas.

As duas técnicas de processamento de imagens mais utilizadas, segundo Jensen (2009) são: processamento analógico ou interpretação visual de imagens e processamento digital de imagens. O conhecimento das particularidades de cada sensor é essencial para uma correta interpretação, pois como visto no Quadro 6, cada sensor tem suas limitações e bandas de operação que influenciarão diretamente nas características do produto de sensoriamento remoto (MOREIRA, 2003).

6.4.1 Processamento analógico ou interpretação visual de imagens

O primeiro sentido humano a ser colocado em prática nesta modalidade de interpretação é a visão. A percepção dos objetos na imagem será mais eficiente quando a experiência do intérprete de imagens for maior, para isso deverão ser levados em consideração alguns aspectos visuais, como: tons de cinza, cor, textura, padrão, objetos em volta, contorno, forma, sombras e o tamanho (CURRAN, 1985 e JENSEN, 2009).

Santos e Sobreira (2006) ressaltam que a análise da geomorfologia do terreno pode ser feita por meio de interpretação visual de fotografias aéreas.

A interpretação visual dos canais de drenagem pode inferir as características litológicas da área, em função do padrão da drenagem desenvolvida no terreno. Na Figura 46 observam-se diferentes padrões de drenagem que denotam diferentes formações geomorfológicas, extraídas de Jensen (2009).

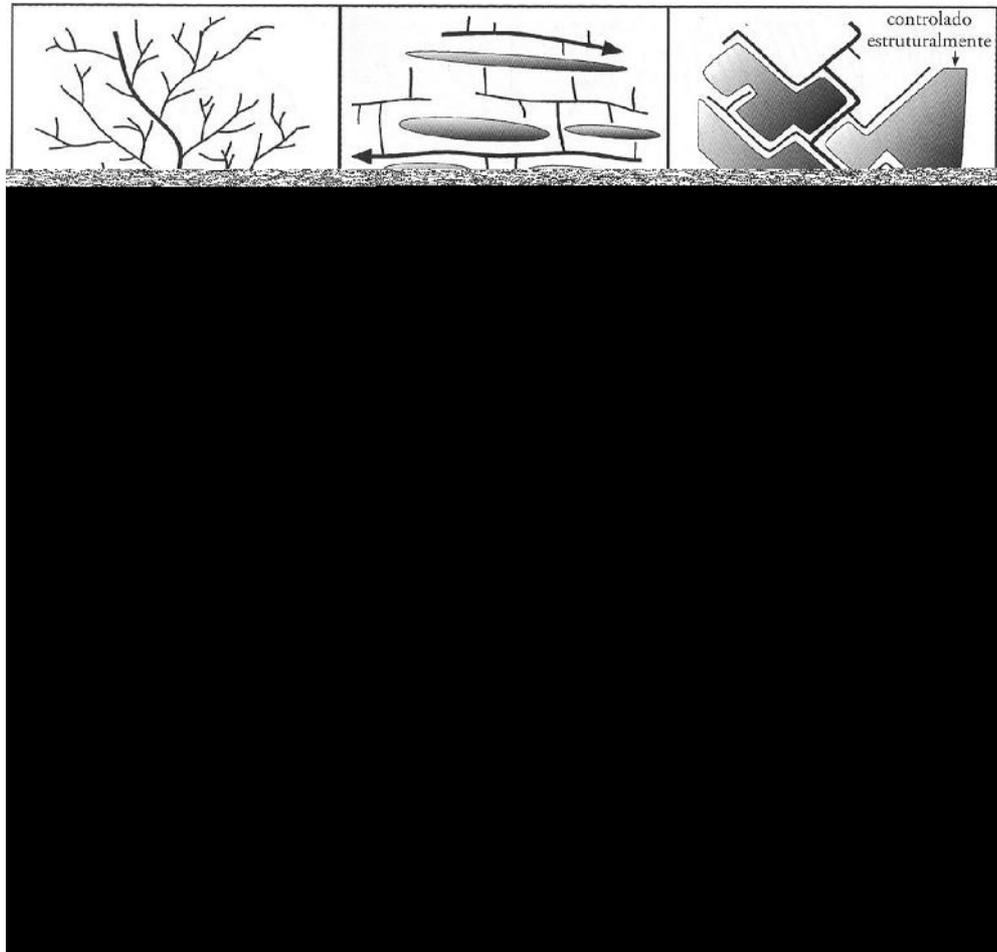


Figura 46 - Padrões de drenagem segundo Jensen (2009)

O que gera diferentes padrões de drenagem, segundo Jensen (2009), são as litologias do leito rochoso, a textura do solo, a permeabilidade do solo e o tipo de geomorfologia.

Uma bacia hidrográfica pode apresentar mais de um padrão de drenagem, quando isso ocorre o padrão recebe o nome de misto. Como em escalas regionais é possível visualizar as bacias de forma ampla, conhecer os principais padrões de drenagem é de grande valia para a interpretação visual de imagens de SR na obtenção das diferentes litologias.

Yalcin e Bulut (2007) e van Westen *et al.* (2008) relatam que para descrever áreas sob risco de movimento gravitacional de massa ou que tenham sofrido este fenômeno, imagens com resolução espacial melhores que 3 m são mais indicadas para a aplicação de interpretação visual ou estereoscopia. Na Figura 45 é possível visualizar áreas que sofreram movimento gravitacional de massa, são áreas de taludes de corte para a construção da rodovia Presidente Dutra. Assim como na Figura 47 observam-se cicatrizes de movimentos antigos.



Figura 47 - Cicatrizes de deslizamentos.

Na Figura 47 é possível visualizar facilmente as cicatrizes de deslizamento, visto que a resolução espacial desta imagem é de 40cm.

No Quadro 6 pode-se observar que já existem diversos sensores que fornecem dado com resolução espacial melhor ou igual a 3 m, como os sensores AVIRIS, SAR, Quickbird, IKONOS, PRISM, câmeras digitais e SPOT. Porém, van Westen e Gethaun (2003), Metternicht *et al.* (2005) e van Westen *et al.* (2008), afirmam que as fotografias aéreas ainda são as imagens mais utilizadas para o mapeamento de movimentos gravitacionais de massa, sendo evitada a sua aplicação apenas para escalas regionais, onde o custo não compensa. Mantovani *et al.* (1996) afirma que a fotografia aérea é o produto de sensoriamento remoto que melhor se adequou ao estudo de deslizamentos e de zoneamento de risco.

6.4.2 Processamento digital de imagens

Aliada ao avanço tecnológico dos sensores, vem a tecnologia de processamento digital de imagens (PDI), onde diversas pesquisas tem sido desenvolvidas no intuito de

obter informações mais precisas num menor espaço de tempo, sem perda de qualidade no suporte à tomada de decisão ou ao controle de qualidade do meio ambiente.

Algumas técnicas básicas podem ser enumeradas, como por exemplo:

Correção radiométrica: ruídos provenientes da atmosfera ou do sistema sensor são geralmente encontrados em imagens de sensoriamento remoto, sendo assim, as correções radiométricas permitem que imagens geradas em épocas diferentes e sob interferências de intensidades distintas, possam ser equalizadas na geração de produtos de sensoriamento remoto.

Realce de imagem: facilita a distinção de detalhes no aspecto visual da imagem. Neste processo é aplicado um fator de realce em determinados pixels da imagem. Um exemplo deste tipo de processo é o realce de histograma.

Correção geométrica: consiste em ajustar a imagem a uma projeção cartográfica padrão, permitindo que a imagem venha a ser utilizada como suporte à geração de informações. É importante lembrar que registrar uma imagem consiste em fazer com que os pixels de duas imagens coincidam, isto é, representem a mesma área, entretanto, georreferenciar uma imagem é o processo que correlaciona as coordenadas x,y da matriz da imagem com as coordenadas (latitude e longitude) de um sistema de referência.

6.4.2.1 Processos que facilitam a interpretação

Alguns processos como: filtragem de imagens, manipulação de histogramas e operações aritméticas são utilizados no intuito de realçar feições nas imagens e facilitar os procedimentos de interpretação. Dentre as filtragens podem ser destacados basicamente os filtros passa alta e passa baixa. Os filtros passa alta realçam as bordas de feições distintas, já os passa baixa suavizam as diferenças entre feições.

Os filtros direcionais configuram filtros passa alta especiais, que ressaltam lineamentos das feições. As linhas de talvegue esculpidas no terreno podem ser destacadas se os filtros forem aplicados no sentido transversal ao escoamento superficial, isto ficou claro nos resultados obtidos por Mendonça *et al.* (2011a) que conseguiu, usando filtros direcionais passa alta, indicar a direção de escoamento superficial de água no corpo do tálus.

Braz e Riedel (2011) utilizando-se de análise qualitativa e descritiva com os dados observados por meio de imagens TM Landsat 5, fotos aéreas, cartas topográficas e mapas geológicos, aplicando o método hipotético-dedutivo, buscaram relacionar informações do meio físico com escorregamentos translacionais. Concluíram que o intenso fraturamento na

região por eles pesquisada, possibilita infiltrações nos horizontes inferiores de rocha alterada e saprolito e que, aliados as condições de relevo sinuoso, condicionam movimentos gravitacionais de massa ao se submeterem a intensos volumes de chuva, mesmo em curtos períodos de tempo.

Vivaldi e Baptista (2011) após aplicarem o NDVI, em imagens do sensor CBERS 2B, conseguiram marcar áreas com atividade fotossintética nula na APP da Bacia do Rio Preto, no Distrito Federal, proporcionando a possibilidade da verificação de ausência de vegetação em áreas de proteção permanente.

Bias e Barbosa (2011) conseguiram por meio do MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral) mapear áreas que contém água com mais ou com menos sólido em suspensão, auxiliando no estudo de dispersão de poluentes, no Lago Paranoá em Brasília.

Dependendo das particularidades do sensor, outros processos deverão ser aplicados na imagem além dos citados.

7 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG

7.1 Introdução

O correto posicionamento de dados espaciais em um documento cartográfico permite que decisões acertadas possam ser tomadas com base nesses dados. Por exemplo, a correta localização de um aeroporto em uma carta de navegação proporcionará um planejamento de voo dentro da realidade do tempo a ser gasto para chegar naquele local. Sabendo-se as outras variáveis envolvidas, como velocidade da aeronave, peso e variáveis climáticas a viagem pode ser planejada com o mínimo de incertezas.

Conhecer a capacidade de carga de um solo é primordial para se executar o planejamento das fundações, pela ocasião da construção de alguma edificação. Mapear as capacidades de carga de forma correta e dentro da realidade do terreno é essencial para o sucesso neste planejamento.

Dados especializados no meio ambiente podem ser integrados trazendo cada um a sua particularidade e gerando informações importantes que isoladamente não auxiliariam nas decisões a serem tomadas. Essa integração é gerenciada por um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

7.2 Definição

Os conceitos básicos para entender os sistemas de informação geográfica são espaço geográfico e informação espacial (AVELINO, 2004). O espaço geográfico corresponde a localizações na superfície da Terra onde ocorrem fenômenos a serem considerados em uma análise. Informação espacial trata-se dos atributos do espaço geográficos que interessam para uma análise.

Nem sempre todas as informações espaciais necessárias para uma análise estão disponíveis em um documento, sendo necessária a realização de operações entre mapas, ou seja, integração de dados de fontes diferentes, para a correta indicação do fenômeno que se deseja avaliar no espaço geográfico considerado.

A necessidade de integrar dados de diversos mapas para auxiliar na tomada de decisão começa a ser suprida na década de 1970 conforme relatam Diniz (1998) e Silva (1999) com o surgimento de equipamentos capazes de processar e armazenar dados, porém com baixa velocidade de processamento e pouca capacidade de memória. Surge nesta época os sistemas CAD (*Computer Aided Design* – Projeto Assistido por Computador) o que veio alavancar a cartografia digital.

Antenucci *et al.* (1991) *apud* Celestino e Diniz (2009) trazem a definição de SIG conforme o Comitê Federal de Coordenação Interagências dos Estados Unidos com um sistema de *hardware*, *software* e procedimentos, projetado para apoiar a captura, gerenciamento, manipulação, análise e apresentação de dados, referenciados espacialmente, para solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento.

Silva (1999) define SIG como uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece alternativa para o entendimento da ocupação do meio físico. Silva (1999) detalha ainda que o SIG necessita de um meio digital, o que torna o uso da informática imprescindível. Deve possuir uma base de dados, georeferenciados e com controle de erros, integrada e possuírem funções de análise destes dados variando de álgebra cumulativa (soma, subtração, multiplicação, divisão, etc.) até álgebra não cumulativa (operações lógicas).

O SIG tem se mostrado uma ferramenta de complexa integração, pois reúne diversos campos da ciência na aquisição de dados para gerar informações que podem ser aplicadas em diversas áreas da ciência até mesmo na medicina. Como exemplo pode ser citado o levantamento de áreas detentoras de focos de doenças contagiosas, fruto de visitas domiciliares, onde auxiliará na decisão de envidar esforços de um número maior de agentes sanitários agindo naquela região.

7.3 Geoprocessamento

Pode ser definido como coleta, tratamento ou processamento e divulgação de um resultado de análise de dados espaciais. Para a realização desses passos utiliza-se a ferramenta de SIG, pois a manipulação de dados de diversas fontes sob análises complexas é uma das capacidades desta ferramenta.

INPE (2007) define geoprocessamento como a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Garcia (2004) define como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais com um objetivo específico.

O tratamento de dados espaciais do mundo real, obtidos de diversas fontes como dados de campo ou sensores imageadores, com o uso de operações matemáticas assistidas por computador, no intuito de processar e fornecer informações que sejam úteis aos diversos ramos da ciência e da sociedade já tem sido uma realidade nas aplicações do geoprocessamento.

7.4 Componentes básicos de um SIG

Segundo Diniz (1998) configuram os componentes básicos de um SIG: interface com o usuário, entrada e integração de dados, consulta e manipulação, saída de dados e sistema de gerenciamento de dados. A Figura 48 apresenta uma estrutura geral de um SIG (INPE, 2007).

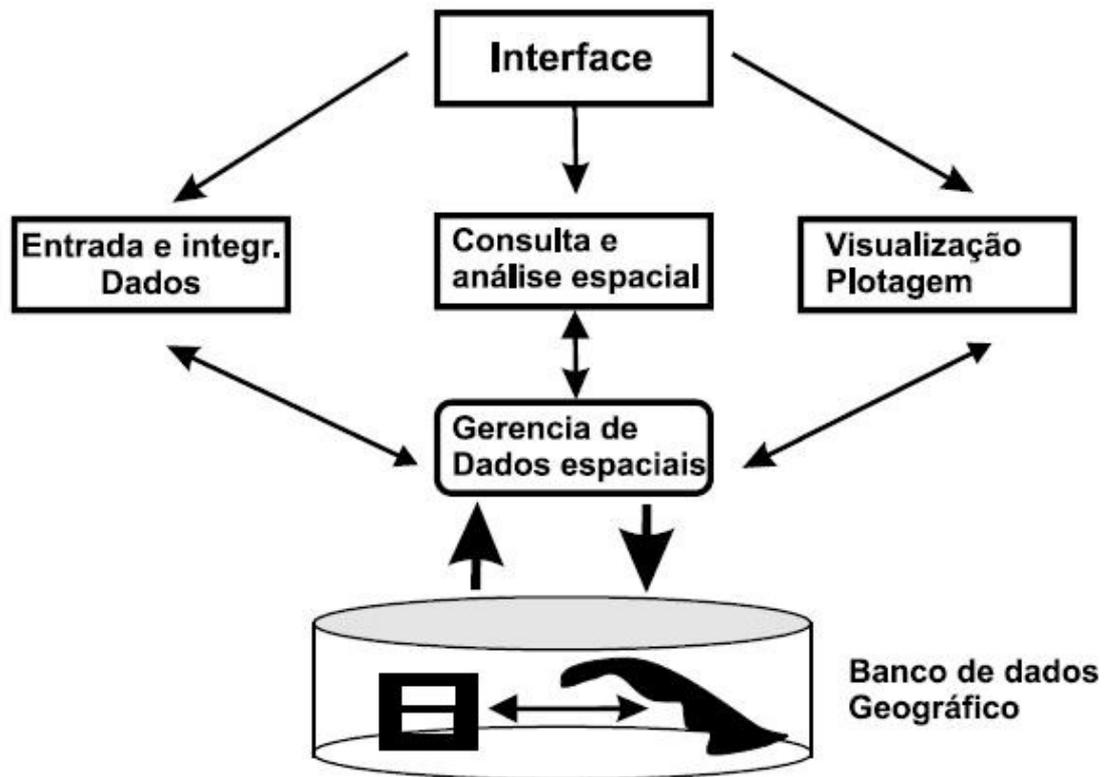


Figura 48 - Subsistemas que compõem um SIG. (INPE, 2007)

A interação com o usuário compreende uma interface gráfica com menus, na maioria dos programas de computador voltados para aplicação de SIG, podendo também apresentar a opção de linhas de comando.

A integração de dados que poderia ser dificultada em função de sua natureza, como por exemplo, tipo de solo e grau de contaminação do lençol freático nele contido, é uma tarefa que um SIG contempla. Ou ainda, a cota do Pico do Itatiaia e a sua formação rochosa, são dados distintos na sua origem e no seu tratamento, pois um é numérico e o outro teórico geológico. USGS (2011b) descreve essa capacidade do SIG pela Figura 49.



Figura 49 - Integração de dados por meio de SIG. (USGS, 2011b)

USGS (2011b) define que integração de dados por meio de SIG trata-se de conectar dados em diferentes formatos no intuito de gerar informações. Essas informações podem ser descritas em forma de mapas.

A consulta ou análise espacial está associada à utilização das ferramentas de SIG na manipulação dos dados para a geração de informações de relativa importância. Para o sucesso desse componente do sistema é necessário que os dados estejam padronizados dentro de variáveis cartográficas adotadas para a estruturação dos dados dentro do banco.

A visualização e plotagem correspondem à saída das informações que o sistema consegue gerar no cruzamento dos diversos dados nele armazenados. A correta interpretação dessas informações carece do conhecimento do usuário sobre o tema.

Uma das capacidades do sistema é gerenciar dados em formatos diferentes, que podem ser tanto matricial (raster) como vetorial. Segundo INPE (2007) o formato “raster” corresponde à representação do espaço como uma matriz $P(m,n)$ composta por m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado. No formato vetorial a localização e a aparência gráfica de cada objeto são representadas por um ou mais pares de coordenadas, a sua representação pode ser por meio de três elementos gráficos, que são nó ou ponto, linha e polígono. Na Figura 50 observam-se a representação de um arquivo matricial e na Figura 51 de um vetorial.

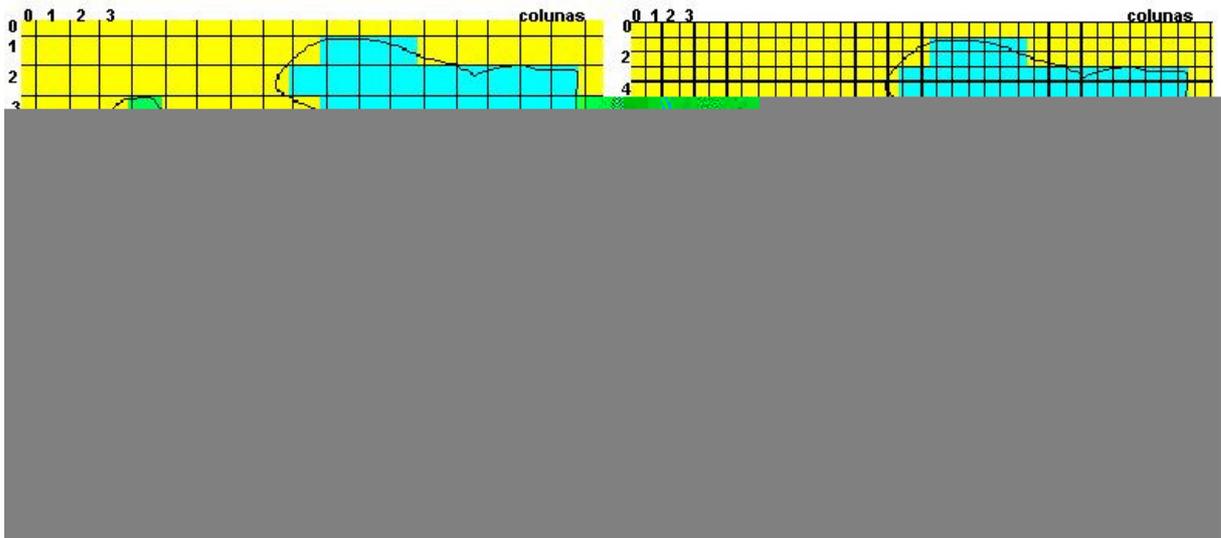


Figura 50 - Representação matricial. (INPE, 2007)

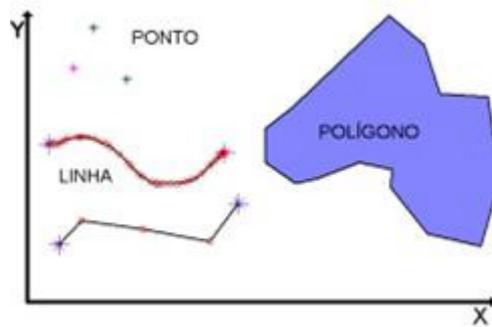


Figura 51 - Representação de elementos vetoriais. (INPE, 2007)

Mapas, onde a precisão é o ponto mais importante, a representação vetorial é a mais indicada. Já para as operações de álgebra de mapas o formato matricial facilita os processamentos. Porém, o volume de dados armazenados no formato matricial é bem maior (INPE, 2007).

Para a representação de mapas temáticos, INPE (2007) descreve as vantagens e desvantagens de cada formato, conforme visto na Tabela 13.

Associado aos dados matriciais ou vetoriais existe os atributos alfanuméricos (DINIZ, 1998) que são armazenados em tabelas em forma de planilha.

Esses elementos irão compor o banco de dados geográficos.

Tabela 13 - Comparação entre representação vetorial e matricial (INPE, 2007)

Aspecto	Vetorial	Matricial
Relações espaciais entre objetos	Relacionamento topológico entre objetos disponíveis	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
Ligação com banco de dados	Facilita associar atributos a elementos gráficos	Associa atributos apenas a classes do mapa
Análise, simulação e modelagem	Representação indireta de fenômenos contínuos Álgebra de mapas é limitada	Representam melhor os fenômenos com variação contínua no espaço Simulação e modelagem mais fáceis
Escalas de trabalho	Adequado tanto a grandes quanto pequenas	Mais adequado para pequenas escalas (1:25.000 ou menos)
Algoritmos	Problemas com erros geométricos	Processamento mais rápido e eficiente
Armazenamento	Por coordenadas (mais eficiente)	Por matrizes

7.5 Estruturação do banco de dados geográficos

A produção de mapas por meio da ferramenta de SIG deve obedecer a padrões cartográficos e de precisão de forma a não comprometer a qualidade do produto gerado e por sua vez trazer incertezas ou conclusões errôneas aos usuários do produto. A compatibilidade entre os dados deve obedecer às padronizações de sistemas de projeção cartográfica, coordenadas e escalas de representação (DINIZ, 1998).

O sistema gerenciador de banco de dados tem por atribuição acessar, manipular, controlar e armazenar os dados operacionais e estratégicos do sistema, sendo assim o responsável por controlar todas as operações sobre os dados transformando dados operacionais em informações de gestão.

7.5.1 Modelagem de dados geográficos

A modelagem em SIG consiste em traduzir o mundo real para o ambiente computacional, uma das abordagens mais tradicionais, citada por Avelino (2004), Diniz (1998) e INPE (2007) é a abordada por Gomes e Velho (1995) *apud* Câmara (1995), que pode ser vista na Figura 52 e que pode ser esclarecida da seguinte forma:

- Universo do mundo real, que inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema;
- Universo matemático (conceitual), que inclui uma definição matemática (formal) das entidades a serem incluídas no modelo;

- Universo de representação, onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas;
- Universo de implementação, onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidas, baseadas em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados. É neste nível que acontece a codificação.

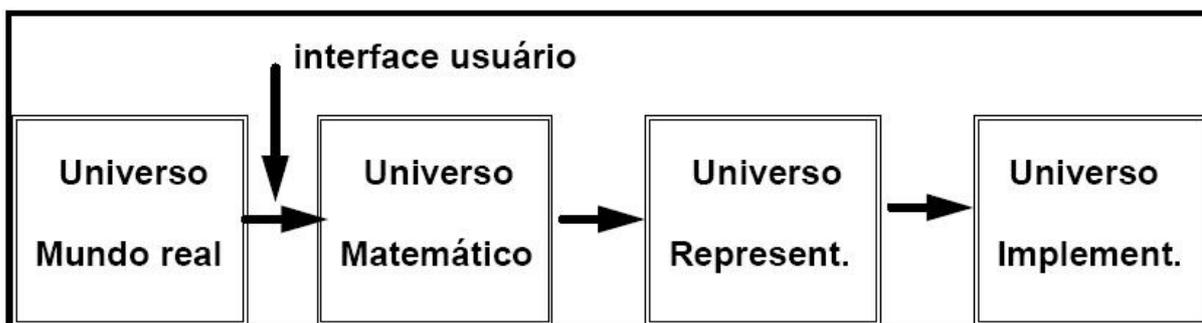


Figura 52 - Paradigma dos quatro universos.

7.5.2 Natureza diversificada dos dados espaciais

Dados espaciais ambientais são exemplos bem claros de diversidade de dados, como por exemplo uso e cobertura do solo, topografia, clima, qualidade da água, rede hidrográfica, malha viária, vegetação, dentre outros. Alguns destes fenômenos apresentam variação contínua no espaço, como clima e cobertura do solo, outros, variação discreta como redes hidrográficas e malha viária. Entretanto, dependendo da escala utilizada, os dados podem se apresentar de forma discreta ou contínua.

7.6 **Produtos de SIG para mapeamento de risco**

Diversos trabalhos relacionados com mapeamento geotécnico têm aplicado SIG na fase de geração de informações, como nos desenvolvidos por Diniz (1998), Guzzetti *et al.* (1999), Bateira (2001), Cardinalli *et al.* (2002), Martín-Serrano *et al.* (2004), Clerici *et al.* (2006), Roque (2006), Coronado (2006), Zuquette e Nakazawa (2009), Celestino e Diniz (2009), Pressinotti *et al.* (2009) e Pimentel (2010). Para a geração dos mapas de áreas de risco e das cicatrizes nos terrenos será utilizada a ferramenta de SIG, bem como para as análises finais de áreas de perigo.

Para a geração de produtos na área de estudo buscaram-se informações com alguns órgãos, que já trabalharam na região, onde podem ser destacados a CPRM, PNI (Parque

Nacional do Itatiaia), NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), COMGAR (Comando Geral de Operações Aéreas), CENSIPAM (Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Os dados em diversos formatos serviram de base para a confecção das folhas de caracterização do meio físico, que é uma etapa que Diniz (1998) descreve como vital para levantamentos de risco. A listagem dos produtos consultados neste trabalho constam no Apêndice D. Os mapas gerados ao final das análises constam no Apêndice C.

8 O PROJETO DO TAV

8.1 Introdução

O crescimento econômico e o desenvolvimento tecnológico impulsionam o homem a vencer novos desafios para garantir o crescimento urbano e populacional. A implantação de um trem de alta velocidade (TAV) entre duas capitais influentes na economia do Brasil atribui ao projeto do TAV uma importância ímpar dentro dos projetos que o Governo Federal tem desenvolvido.

A ferrovia ligará a região da Leopoldina, na cidade do Rio de Janeiro, à cidade de Campinas no estado de São Paulo, totalizando 511 km de trilhos. O traçado passa por terrenos como baixada, serra, colinas e morros, cada um com suas particularidades de formação e limitações de construções. Estas limitações precisam ser vencidas para garantir segurança aos usuários no período de utilização e aos operários no período de implantação.

8.2 Interações com o meio

O planejamento de uso e ocupação do solo é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão quanto ao melhor aproveitamento do solo para as diversas finalidades. Obras de engenharia carecem de dados relativos ao comportamento geomecânico do solo, além da natureza da ocupação das áreas a serem afetadas, como por exemplo, áreas a serem inundadas para a construção de uma barragem. Abreu e Augusto Filho (2009) alertam sobre a existência de ocupações inadequadas em Área de Preservação Permanente (APP) e em Áreas de Proteção Ambiental (APA).

A implantação de uma ferrovia, assim como de uma estrada, implica em diversas interações com o terreno. Execução de cortes e aterros, áreas de bota-fora, de empréstimo, além da busca de jazidas de materiais de construção nas proximidades dos canteiros, para reduzir o custo logístico do suprimento de material são alguns exemplos. Entretanto, o conhecimento da geologia da região é primordial para a implantação de estradas, sejam de ferro ou asfaltada. Copons e Vilaplana (2008) falam sobre a necessidade de conhecer a geomorfologia do terreno para a sua correta utilização, reduzindo os riscos. No mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro, produzido pela CPRM (2000) e constante no Anexo E, é possível verificar que a formação analisada neste trabalho é composta por depósitos de colúvio e alúvio.

Ações antrópicas em terrenos estáveis, ou não, podem trazer sérios prejuízos às obras. A etapa três do estudo desenvolvido pela CPRM (2009b), relativo ao projeto do

TAV, descreve uma série de terrenos suscetíveis a MGM quando desestabilizados por qualquer agente externo, como vales entulhados com sedimentos alúvio-coluvionares, tálus de grande espessura (de 10 a 50 m), além de nível d'água (NA) raso em torno de 10 m nos sedimentos.

Os cortes em massas coluvionares têm mostrado que, mesmo por menores que sejam, acabam causando movimentos de rastejo que podem evoluir para movimentos mais rápidos com o acúmulo de grandes volumes de chuvas. Infanti Jr. e Fornasari Filho (2009) relatam alguns casos de movimentação de tálus em obras viárias, como na Via Anchieta, em um trecho que corta a serra do Mar na altura do quilômetro 44,5 no qual, em 1952, foi observado o movimento do corpo de tálus numa área de 200.000 m². Como consequência deste movimento, um viaduto de concreto e um trecho da pista sustentado por um arrimo foram abandonados em 1957, por apresentarem risco de colapso em função dos movimentos (WOLLE E CARVALHO, 1994). Em 1961, na mesma rodovia, outro viaduto em estrutura metálica também teve que ser abandonado devido a movimentos no tálus nas suas fundações. Já na Rodovia dos Imigrantes, na mesma região, foram construídos anéis de proteção em volta dos tubulões da fundação de um viaduto, nos níveis que atravessavam o corpo de tálus, conforme relatado por Mori e Colombek (1994). O movimento da massa coluvionar foi notado ainda na fase de execução da obra, pelo deslocamento do viaduto que causou uma abertura de 12 cm em uma junta do tabuleiro.

8.3 Mapas de localização da área

Estes mapas foram gerados com imagens LANDSAT 7 e CBERS 2B obtidas na página eletrônica do INPE, permitem observar os elementos que compõem a paisagem, como a represa, a rodovia, as áreas vegetadas e as áreas urbanizadas e antropizadas.

Na Figura 53 observa-se um recorte de uma composição do sensor CCD do satélite CBERS 2B da área de estudo. É possível observar como as feições geomorfológicas são destacadas na imagem óptica do sensor CCD. Na Figura 54 tem-se um recorte da mesma área em uma composição colorida RGB 543 do sensor ETM+ do satélite Landsat 7, onde as feições geomorfológicas também estão visíveis.

Composição RGB 342 CBERS 2B

Universidade de Brasília
Instituto de Geociências



Figura 53 - Composição RGB 342 do sensor CCD CBERRS2B.

Composição RGB 543 Landsat 7

Universidade de Brasília
Instituto de Geociências



Figura 54 - Composição RGB 543 do sensor ETM + Landsat 7.

8.3.1 Mapa do cone de dejeção do depósito de tálus

O depósito de tálus do Itatiaia se estende desde a cidade de Engenheiro Passos, no limite dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro até próximo a Penedo, distrito de Resende. Observa-se na Figura 55, que é uma área deposicional bem extensa, cerca de 10 km no perímetro da sua base, com mais de 50 km² de área. O cone deposicional do tálus foi marcado por interpretação visual com o auxílio das imagens obtidas na fase de inventário.

 Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas



Figura 55 - Mapa do cone deposicional do Tálus do Itatiaia.

8.3.2 Litologia da área

Conhecer a litologia da área estudada é uma necessidade, descrita por Varnes (1984), Cruden e Varnes (1996), Guzzetti *et al.* (1999), Cardinalli *et al.* (2002) e van Westen *et al.* (2008) que foi suprida pelo material consultado na pesquisa, oriundo da CPRM. Na Figura 56 observa-se o mapa litológico.



Figura 56 - Mapa de litologia da área de estudo.

Foi necessária apenas uma padronização dos sistemas de projeção, pois os dados da CPRM estavam em SAD 69 e foram reprojctados para WGS 84, que era o sistema dos outros dados.

8.3.3 Mapa de cicatrizes de MGM

As imagens geradas pelo voo do 1º/6º Grupo de Aviação do COMGAR foram cedidas pelo CENSIPAM para a realização deste estudo. As imagens utilizadas para a vetorização das áreas de cicatrizes de MGM apresentavam resolução espacial de 0,5 m e sistema de projeção WGS 84, foram obtidas no dia 30 de agosto de 2011 a uma altura de voo de 30.000 ft com a aeronave Learjet, entre 08:30h e 15:30h. Na Figura 57 observa-se o

trabalho de vetorização feito por meio do *software* ArcGis de forma manual como um processo de fotointerpretação.



Figura 57 - Vetorização das cicatrizes de MGM

Os anfiteatros gerados por deslizamentos remotos são feições constantes em toda a região de estudo. Foi possível observar também diversos deslizamentos recentes em solos superficiais de taludes às margens da rodovia Presidente Dutra, mostrando que a região se caracteriza por frequentes instabilidades nos taludes de corte.

8.3.4 Mapa de declividade (Slope)

A CPRM disponibilizou um MDE com resolução espacial de 20 m abrangendo a faixa de 20 km de largura de faixa no traçado da ferrovia. Assim foi possível gerar a carta de declividade observada na Figura 58.

Regueiros e González-Barros (2008) classifica as declividades como fatores condicionantes de MGM de acordo com o grau de suscetibilidade que pode ser nula, baixa, média, alta ou muito alta conforme o Quadro 8.

Quadro 8 - Níveis de suscetibilidade a MGM (Adaptado de REGUEIROS E GONZÁLEZ-BARROS, 2008).

Declividades condicionantes	Suscetibilidade	Representação
0° - 3°	NULA	Blue
3° - 7°	BAIXA	Green
7° - 15°	MÉDIA	Yellow
15° - 30°	ALTA	Orange
> 30°	MUITO ALTA	Red



Figura 58 - Mapa de declividade da área

Esta classificação foi feita apenas para uma avaliação qualitativa. É possível observar várias regiões com inclinações elevadas, acima de 15° , o que denota uma alta suscetibilidade a MGM segundo Regueiros e González-Barros (2008).

8.4 Investigações geológico geotécnicas

A empresa GEODATA foi a responsável por executar as investigações geológico-geotécnicas, no período entre abril e junho de 2009. Utilizando-se da ferramenta de SIG foi efetuada a análise do traçado do TAV dos seguintes aspectos:

- Domínios e unidades geológico-geotécnicas, descritos na Tabela 14, com os riscos associados e as propostas de solução (ASSIS *et al.*, 2009);
- SEVs (Sondagem Elétrica Vertical) e caminhamentos elétricos para verificação dos topos rochosos e camadas (Anexo D);
- Perfis de sondagem: mistas (SM), rotativas (SR), a percussão (SP) e a trado (ST), para a verificação de vários parâmetros, espessuras, nível d'água (NA), índice RQD (*Roch Quality Designation*), ensaio de perda d'água (EPA), entre outros;
- Copartimentação geomecânica (CGM). Melo (2010) alerta sobre a necessidade de acompanhar as alterações imprimidas no maciço em função das interações com obras de engenharia, proporcionando segurança ao empreendimento.
- Estruturas civis: corte, aterros, pontes/viadutos e túneis;
- Eventos de risco, segundo tipologias, por CGM e por estruturas civis do TAV.

O relatório preliminar forneceu as seções longitudinais e mapas na escala de 1:50.000. Mapas geotécnicos foram fornecidos em 1:20.000, conforme Anexo B.

Foram definidos dez compartimentos CGM diferenciados com base em três conjuntos de informação, que são: os compartimentos geomorfológicos, os domínios geológico-geotécnicos e a base geológica. Os dez compartimentos estão listados na Tabela 15 com a indicação da distância progressiva, partindo do Rio de Janeiro. Observam-se ainda na Tabela 15 as principais obras a serem efetuados nos trechos, frutos do estudo de CGM apresentado por Assis *et al.* (2009).

Quase todas as soluções apontadas requerem alteração do traçado do TAV. As soluções de engenharia mencionadas nos itens 1 e 2 podem ser tanto a execução de aterros em plataformas como a construção de viadutos com fundações profundas, uma vez que a espessura dos sedimentos varia de 10 a 25 metros. É importante lembrar que as áreas de turfa e areia são objeto de requerimento de pesquisa e lavra junto ao DNPM, o que poderia

trazer prejuízos econômicos durante a utilização do empreendimento, pois dificultaria a exploração da região sob pena de alterar o comportamento do solo que sustentaria as fundações ou bases da ferrovia.

Tabela 14 - Tipologias de riscos geológicos identificados e soluções propostas. (ASSIS *et al.*, 2009).

RISCOS GEOLÓGICOS	EXTENSÃO	SOLUÇÃO
1 – Argilas moles no entorno da Baía de Guanabara e Ilha do Governador	16 km	Adequação da engenharia
2 – Cavas de areia do Rio Guandu	54 km	Adequação da engenharia
3 – Serra das Araras	16 km	Traçado alterado
4 – Mar de morros do Vale do Paraíba nos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo	120 km	Traçado alterado
5 – Turfeiras	4 km entre Pindamonhangaba e Potim e 25 km entre Caçapava e São José dos Campos	Falta adequar traçado
6 – Cavas de areia	90 km entre Jacareí e Potim	Falta adequar traçado
7 – Solos colapsíveis	3 km em Caçapava	Traçado adequado
8 – Solos colapsíveis	4km entre Pindamonhangaba e Taubaté	Traçado adequado
9 – Pedreiras	Áreas diversas entre Arujá, Santa Isabel e São Paulo e em Caieiras	Traçado alterado
10 – Terrenos cársticos	Cajamar	Adequação de engenharia
11 – Mar de morros	30 km entre Jacareí e Gaurulhos	Traçado alterado
12 – Mar de Morros	Entre São Paulo e Vinhedo, 54 km	Traçado alterado

Tabela 15 - Compartimento e comportamento geomecânico diferenciado, progressivas aproximadas e obras predominantes por trecho. Adaptado de: Assis *et al.* (2009).

Progressiva (km)	Compartimentos de Comportamento Geomecânico (CGM)	Obra predominante
000-075	CGM-01 Baixada Fluminense	Túneis, pontes e viadutos de grandes dimensões, complementados por aterros e cortes.
075-102	CGM-02 Escarpa da Serra das Araras	Túneis de grandes dimensões, complementados por pontes, viadutos e cortes.
102-144	CGM-03 Mar de Morros do Paraíba do Sul Fluminense	Pontes e viadutos, túneis, cortes e aterros.
144-177	CGM-04 Vale de Resende	Pontes e viadutos de grande extensão próximo a Resende. Daí por diante vários cortes e aterros, além de túneis curtos.
177-218	CGM-05 Mar de Morros de Queluz	Túneis, pontes e viadutos. Alguns cortes de grandes alturas.
218-334	CGM-06 Bacia de Taubaté	Pontes e viadutos extensos. Pequenos cortes, aterros e túneis.
334-385	CGM-07 Alto de Arujá	Cortes, aterros, Pontes, viadutos e túneis.
385-414	CGM-08 Bacia de São Paulo	Longos túneis em meios urbanos, com pequenos cortes e aterros.
414-481	CGM-09 Mar de Morros de Jundiaí	Túneis, pontes e viadutos de grandes dimensões. Alguns cortes de grandes alturas.
481-511	CGM-10 Depressão de Campinas	Longo túnel próximo ao Aeroporto de Viracopos. Vários cortes e aterros, complementado por pontes e viadutos.

No CGM-04 constam depósitos de tálus no sopé, que podem gerar instabilidades ao sofrerem cortes e emboques, onde Assis *et al.* (2009) menciona o risco de impactos muito negativos para a operação do empreendimento. O estudo aponta a necessidade de alteração do traçado para evitar o corte no sopé do tálus, ou investigar a melhor forma de estabilizar o mesmo.

8.5 Traçado do TAV

O traçado do TAV foi proposto pelo consórcio Halcrow e Sinergia e mapeado pela CPRM obedecendo à articulação observada na Figura 28, totalizando 45 folhas na escala

1:20.000. Assis *et al.* (2009) elaborou o Relatório Técnico Final da consultoria geológico geotécnico apresentado a ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres).

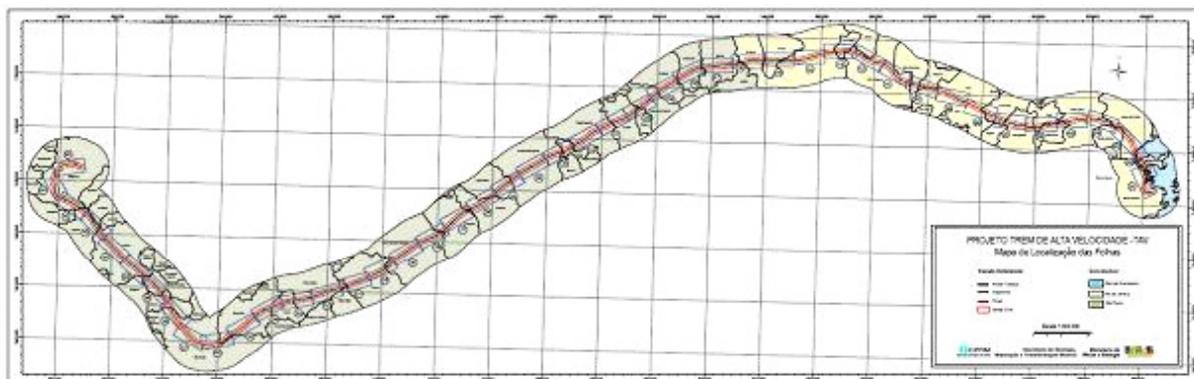


Figura 59 - Articulação dos mapas de unidades geológico-geotécnicas em 1:20.000. Fonte CPRM (2009a).

O objetivo do estudo desenvolvido pela CPRM foi de levantar os dados referentes à caracterização geológico geotécnica dos terrenos por onde passa o traçado do TAV. Foram levantadas características geotécnicas em uma faixa de 2 km de largura, sendo 1 km para cada lado do eixo do traçado.

Os trabalhos iniciaram em dezembro de 2008, com reuniões e seminários sobre o tema. Em janeiro de 2009 os técnicos se reuniram no Rio de Janeiro, onde houve diversas palestras para orientar as metodologias de ação além de difundir os conhecimentos sobre as características do meio-físico que abrange a região de estudo.

A metodologia utilizada obedeceu às fases de levantamento de dados, geoprocessamento, mapa de domínios geológico geotécnicos, mapa de unidades geotécnicas na escala de 1:10.000, investigações geotécnicas, levantamento de dados geológico estruturais e geração de dados em ambiente SIG. van Westen *et al.* (2008) afirma que o uso do SIG representa o estado da arte na avaliação de riscos de deslizamentos.

A classificação dos parâmetros predominantes para descrição dos compartimentos de comportamento geomecânico está descrita na Tabela 16.

Tabela 16- Classificação dos parâmetros predominantes para descrição dos compartimentos de comportamento geomecânico. Fonte: CPRM (2009b)

Quesito	Descrição
Litologia	L1 Solo Transportado (aterros, colúvios, alúvios e sedimentos flúvio-marinhos, em camadas com espessuras variáveis e interdigitadas).
	L2 Depósito Colúvio-Aluvionar.
	L3 Solo Residual de rocha cristalina
	L4 Solo Residual de rocha sedimentar
	L5 Solo Residual de rocha metassedimentar
Condições de água (Profundidade do Nível d'água – NA)	W1 Maciço Seco
	W2 NA aflorante ou raso até 3 m de profundidade
	W3 NA de 3 a 10 m de profundidade
	W4 NA de 10 a 20 m de profundidade
	W5 NA profundo (>20 m) ou acompanhando as proximidades do contato solo e rocha
Topo rochoso	T1 Topo Rochoso plano
	T2 Topo Rochoso levemente ondulado
	T3 Topo Rochoso ondulado
	T4 Topo Rochoso com variações bruscas em uma direção
	T5 Topo Rochoso com variações bruscas em duas direções (“caixa de ovos”)
Condicionante Geotécnico	G1 Solos sujeitos à Liquefação (não-coesivos, fofos e saturados)
	G2 Solo Mole (baixa resistência e muito compressível)
	G3 Solo Muito Permeável (percolação excessiva)
	G4 Solo Colapsível (recalques excessivos e bruscos)
	G5 Solo Expansível
Feições Geológico-Estruturais	E1 Área com Baixa Concentração de Descontinuidades
	E2 Área com Média Concentração de Descontinuidades
	E3 Área com Alta Concentração de Descontinuidades
	E4 Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros (esfoliação esferoidal tipo “cascas de cebola”)
	E5 Faixas de concentração de zonas de cisalhamento, falhas ou fraturamento excessivo
Feições de Risco Geológico	P1 Ocorrência de solos sujeitos a liquefação
	P2 Ocorrência de solos moles
	P3 Ocorrência de solos muito permeáveis
	P4 Ocorrência de solos colapsíveis
	P5 Ocorrência de solos expansíveis
	P6 Franja de alteração intempélica em grandes profundidades, acompanhando zonas de descontinuidades, com possível ocorrência de água
	P7 Coberturas superficiais sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e erosão
	P8 Campo de matações (blocos de rocha soltos e imersos em solos)
	P9 Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares
	P10 Tálus de grande espessura sujeitos a instabilizações

P11	Cavas de areia (algumas encobertas com corpos de água)
P12	Camadas de turfa, com possível ocorrência de linhito (combustão espontânea)
P13	Ocorrência de feições cársticas

No estudo prévio sobre as condições geológico-geotécnicas do traçado, feito em fevereiro de 2009, foram feitas as seguintes considerações: no trecho entre Quatis e Resende foi sugerido que o traçado fosse deslocado para o Norte, evitando regiões de terrenos movimentados compostos por rochas graníticas e alcalinas que são mais suscetíveis a MGM. O próximo trecho analisado é o que está sendo abordado neste trabalho, trata-se do trecho próximo à cidade de Itatiaia junto ao dique da Represa do Funil e da Rodovia Presidente Dutra, onde o estudo não recomenda que sejam feitos cortes no depósito de tálus. Sendo assim, o traçado foi deslocado para o Sul da área do depósito de tálus, porém interfere no dique da Represa do Funil, como pode ser observado na Figura 60. Ao Norte, observa-se o depósito de tálus. A seta vermelha indica a simbologia de feições erosivas de rastejo. Fonte CPRM (2009a).

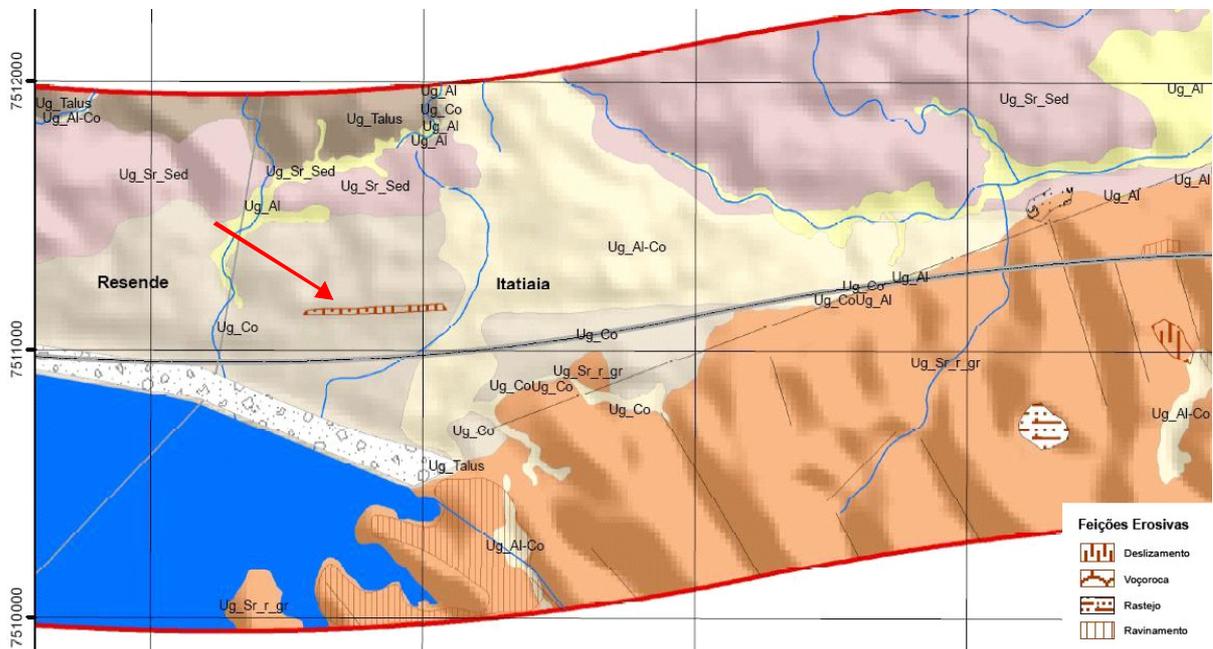


Figura 60 - Recorte do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas (1:20.000 – Folha 15).

Como entre a represa e o depósito de tálus já está instalada a Rodovia Presidente Dutra, o estudo sugere a implantação de um túnel neste trecho do traçado (ASSIS *et al.*, 2009).

O CGM 4 é a compartimentação no trecho denominado Vale de Resende (km 144-177) e está detalhado na Tabela 17.

Tabela 17 - Dados e sumário do CGM 04 Vale de Resende (km 144-177). Fonte: CPRM (2009b).

Quesito	Descrição	
Litologia	L3	Solo Residual de rochas cristalinas, com ocorrências de Solo
	L4	Residual de rochas sedimentares e de Depósitos Colúvio-
	L2	Aluvionares, predominantemente espessos (10 a 20 m).
Condições de Água	W1	Maciço seco ou NA acompanhando as proximidades do contato
	W5	solo e rocha nos morros que conformam as encostas do vale NA
	W2/3	raso e até 10 m nos sedimentos.
Topo Rochoso	T3	Topo Rochoso muito irregular em função das variações litológicas, com profundidades de até 15m, acompanhando a
	T4	morfologia dos morros das encostas e profundidades bem maiores nos vales entulhados de sedimentos (10 a 50 m).
Feições Geológico-Estruturais	E1/2	Zonas de baixa a média concentração de descontinuidades, predominantemente subverticais, com traço nas direções NE e NW (as descontinuidades NE acompanham a foliação e as NW são feições tracionadas e portadoras de água). A calha do rio Paraíba do Sul tem seu traçado controlado por estas feições NE e NW.
	E4	Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros (esfoliação esferoidal tipo casca de cebola)
Condicionante Geotécnico	-x-	
Feições de Risco Geológico	P6	Franjas de alteração intempérica em grandes profundidades, acompanhando as zonas de falhas e fraturas em quaisquer direções (NE e NW), com possível ocorrência de água.
	P7	Coberturas superficiais sujeitas a movimento gravitacionais de massa e erosão.
	P8	Campo de matações (blocos de rocha soltos imersos em solo).
	P9	Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares, na atual calha do rio Paraíba do Sul e vales contribuintes.
	P10	Tálus de grande espessura na sua porção de sopé, sujeitos a instabilizações.
Sondagens Mecânicas	SP 09 a 14	
Sondagens Geofísicas	SEV 076 a 099	

O Vale de Resende se caracteriza pelo contato entre rochas cristalinas e sedimentares, em margens opostas, e sedimentos colúvio-aluvionares nos vales mais baixos (Bacia de Resende). O rio Paraíba do Sul apresenta uma calha em zigue-zague, determinada pelo arranjo das duas famílias principais de descontinuidades (NE e NW).

Descrição Geomecânica A margem direita (de acordo com a direção de fluxo do rio) do vale (rochas cristalinas) possui um perfil típico de alteração por intemperismo, com camadas de solos residuais rasos a até 10 m de espessura, seguidas de rochas alteradas e fraturadas (5 a 10 m), até atingir a rocha sã de alta resistência.

Já na margem esquerda, as rochas de base são de origem sedimentar e o topo rochoso é mais profundo.

O contato entre solo e rocha alterada/fraturada normalmente concentra água e forma uma faixa com característica geomecânica desfavorável a corte, onde pode ocorrer também a presença de juntas de alívio.

Os sedimentos podem atingir espessuras de grande monta, mas muitas vezes atingem capacidade de suporte suficiente, antes do topo rochosos, quando confinados em profundidade.

Nos maciços de rocha cristalina, uma vez em rocha, trata-se de maciço autoportante, mas sujeito à presença de descontinuidades (zonas de cisalhamento, falhas e fraturas), agravada por alteração intempélica profunda devido à penetração de água.

No relatório da CPRM 3ª etapa (ASSIS *et al.*, 2009 *apud* CPRM, 2009b), consta uma rápida descrição de eventos de riscos potenciais por trecho além de medidas mitigadoras que são sugeridas. Para o CGM 04 Vale de Resende essas descrições podem ser observadas na Tabela 18.

As sondagens SEV e mecânicas constam no Anexo D. Foram obtidas em CPRM (2009c).

Tabela 18 - Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-04 Vale de Resende (km 144-177). Fonte: CPRM (2009b).

		Descrição
Tipo de Obra Predominante	PV	Este trecho se caracteriza por algumas pontes de viadutos (PV) de grande extensão, nas proximidades de Resende e depois uma sequência de cortes (CT), aterros (AT) e túneis curtos (TU).

Interferências	IT RB	Rodovias, mas sem maiores interações. Reservatório da barragem de Funil, mas em posição favorável em relação ao traçado proposto.
Eventos de Risco Potenciais	Geral	<p>Topo rochoso ondulado acompanhando a morfologia dos morros, mas sujeito a alteração brusca de profundidades devido aos vales entulhados, preenchidos por sedimentos. Esta variação do topo rochoso e consequente alternâncias de rochas de alta resistência com zonas de baixa (solos e rochas alteradas), agravados com vales entulhados, continuam a ser o principal condicionante local:</p> <p>→ PV – elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muitos profundos. Deve-se atentar para a presença de matacões, os quais podem falsear a determinação do topo rochoso;</p> <p>→ TU – variações das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solos, rocha alterada e rocha) e presença de água, que pode ocorrer nas passagens por zonas de cisalhamento e falhas.</p> <p>Solos superficiais sujeitos a erosão e movimentos gravitacionais de massa:</p> <p>→ CT – Instabilidade de taludes de cortes e emboques, com impactos muito negativos para a operação do empreendimento.</p>
	Local	Ocorrência de tálus no sopé, os quais podem ser instáveis.

Medidas Mitigadoras	Geral	<p>Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.</p> <p>É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de fundações de PV e antecipar as mudanças de faces de escavação dos TU.</p> <p>O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mistas e presença de água. Dada à presença do NA em pontos localizados (zonas de cisalhamento e falhas), o método deve prever seu controle efetivo, tais como pressurização, injeções e investigações da frente de escavação.</p> <p>Para minimizar a sequência de túneis curtos intercalados a cortes de grande altura, e o conseqüente número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais nos túneis e as alturas de corte e emboques, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.</p> <p>Considerando o risco operacional para o empreendimento causado por eventuais instabilizações de taludes, nos casos onde forem necessários cortes e emboques, utilizar medidas complementares de engenharia (contenção, tratamentos de maciço e drenagem) para garantir sua estabilização em níveis de riscos aceitáveis.</p>
	Local	Alterar traçado para evitar zonas de tálus, ou investigar melhor a características de estabilização do mesmo.

No próximo trecho observa-se a presença de várias indicações de feições erosivas, configurando uma alta suscetibilidade de ocorrência de MGM naturais ou induzidos. Conforme se observa na Figura 61. Foi sugerida por Assis *et al.* (2009) a construção de túnel neste trecho.

O trecho que vai desde Tremembé, passando por São José dos Campos indo até Jacareí apresenta grande número de cavas de areia nas planícies aluvionares. A vibração induzida pelo TAV poderá instabilizar por liquefação as cavas de taludes subaquáticos (ASSIS *et al.*, 2009). O estudo recomenda que sejam evitadas essas áreas. Na área da cidade de São José dos Campos, a planície aluvionar do rio Paraíba do Sul apresenta depósitos de turfa explorados comercialmente. Este material pode entrar em combustão espontânea, o que configura uma suscetibilidade deste terreno. As áreas de turfa e as cavas de areia podem ser visualizadas na Figura 63. Ocorrem ainda áreas sujeitas a inundações e argilas moles. O trecho que corta a cidade de São José dos Campos recebeu a indicação de ser atravessado por túneis, conforme Assis *et al.* (2009).



Figura 63 - Recorte do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas (1:20.000 – Folha 30). A área de turfa em São José dos Campos é muito extensa em volta do traçado proposto. As áreas de cava de areia se repetem em vários trechos próximos ao rio Paraíba do Sul. Fonte CPRM (2009a).

No trecho que vai de Igatató até a serra do Japi, passando por Arujá e Caieiras, observa-se um relevo movimentado suscetível a processos erosivos e MGM. Existem pedreiras e saibreiras na região, conforme observado na Figura 64. Assis *et al.* (2009) recomenda a construção de túneis para vencer estes trechos.

Próximo ao município de Cajamar, no trecho denominado Caieiras, existe a ocorrência de processos de dissolução de rochas carbonáticas, resultando em colapso de

solos trazendo danos a moradias e rede viária. Assis *et al.* (2009) recomenda a construção de falsos túneis nesse trecho.

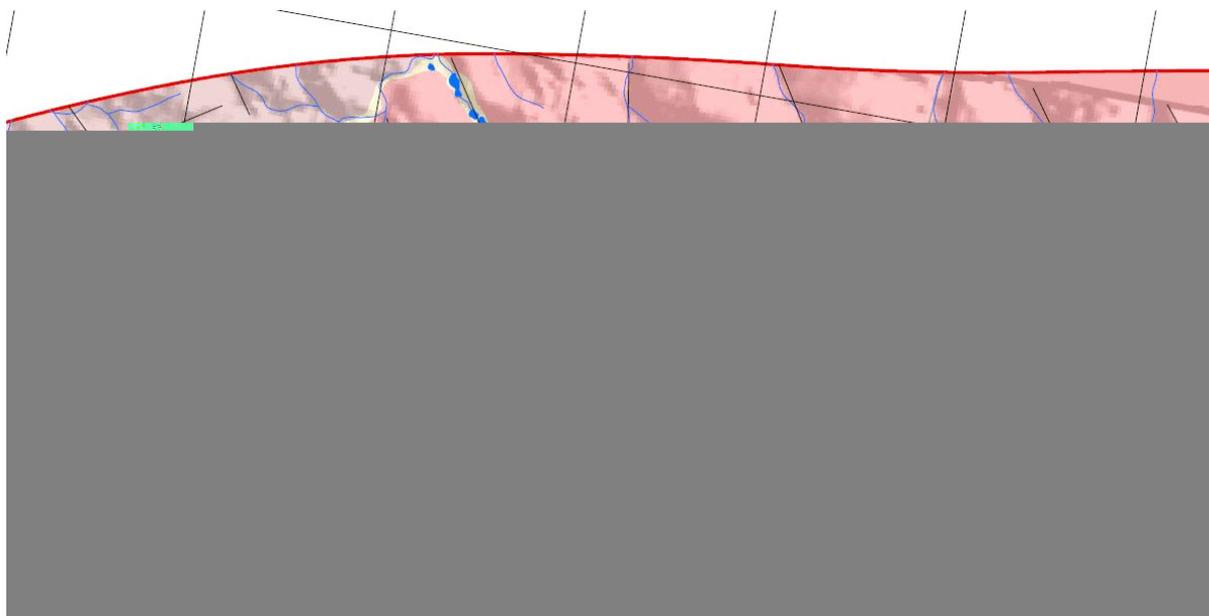


Figura 64 - Recorte do Mapa de Unidades Geológico-Geotécnicas (1:20.000 – Folha 33). Áreas de pedreiras sendo cortadas pelo traçado proposto.

Como observado neste capítulo, vencer os desafios das adversidades geológicas à implantação da ferrovia no vale do Paraíba não se trata de uma tarefa fácil, pois apesar de existirem terrenos de planície formados pelo gráben que gerou o vale, conforme Fernández *et al.* (2011), estas planícies estão preenchidas com solos moles e argilas orgânicas que podem gerar recalques relevantes, além de turfas que podem gerar combustão espontânea. As cavas de exploração de areia podem gerar deslizamentos subaquáticos ocasionados por vibração da operação da ferrovia.

O trecho entre a Represa do Funil e o depósito de tálus acaba fazendo com que a melhor opção seja de aproximar o traçado do TAV à Rodovia Presidente Dutra, evitando o dique da represa e não efetuando corte no tálus.

A condução de programas de investigação geológico geotécnicas mais detalhados é apontada, pelo relatório da CPRM 3ª etapa (ASSIS *et al.*, 2009 *apud* CPRM, 2009b), como a forma mais eficiente de mitigar riscos de origem geológica, visando o aperfeiçoamento do modelo geológico geomecânico em cada fase do empreendimento.

Terzaghi (1950) *apud* Popescu (1996) afirma que se uma encosta começa a se movimentar os meios para interromper o movimento devem ir de encontro ao agente causador do início do movimento. No caso do TAV, especificamente no trecho descrito

pela Figura 60, próximo à Represa do Funil e à Rodovia Presidente Dutra, após a realização do corte no depósito de tálus para a passagem do *greide* da ferrovia, o surgimento de um movimento de rastejo poderia comprometer todo o funcionamento da via. Uma vez que aquele ponto dificulta a implementação de desvios, pois a represa e a rodovia citadas poderiam sofrer danos estruturais com o MGM.

Popescu (1996) alerta sobre a complexidade da recuperação de áreas atingidas por movimento de rastejo, onde muitas vezes é viável economicamente que o trecho da via seja abandonado e o traçado sofra uma grande alteração, sob o risco de gerar novos movimentos caso não o faça. O movimento de rastejo, bem característico de depósitos de tálus e colúvio, conforme descrevem Wolle e Carvalho (1994), Fernandes e Amaral (1996) e Vargas (1999) pode requerer grandes escavações e altos volumes de material retirado da encosta para cessar o movimento, entretanto, este trabalho poderia gerar outros movimentos da encosta desestabilizada. Em geral, as soluções para MGM precisam ser o mais próximo possível da condição natural da encosta, caso contrário, acaba onerando as obras de estabilização além de reduzir o tempo de vida útil em face das ações naturais sobre as benfeitorias.

9 MATERIAL E MÉTODOS

9.1 Introdução

Para o desenvolvimento da pesquisa optou-se pela obtenção de informações espacializadas por diversos órgãos governamentais e não governamentais na área de estudo. Modernos recursos associados ao Sensoriamento Remoto (SR), Fotointerpretação e a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foram aplicados. Os dados disponibilizados on-line pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) foram de grande valor para a elaboração da base de dados, além das imagens geradas pelo levantamento aerofotogramétrico do 1º Esquadrão do 6º Grupo de Aviação (1º/6º GAV) pertencente ao Comando-Geral de Operações Aéreas (COMGAR). Dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA, dos dados SRTM3, que apresentam resolução espacial de 90 m também foram utilizados, bem como imagens baixadas do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com resolução espacial de 20 m e 30 m. Foram obtidas, junto ao Parque Nacional do Itatiaia imagens do sensor ALOS e *Shapes* de feições do terreno da área de pesquisa. A lista da documentação consultada consta no Apêndice F.

9.2 Pesquisa metodológica

A metodologia utilizada por vários autores, sobre levantamento de áreas de risco, como Carrara *et al.* (1999), Augusto Filho (2001), Cardinali *et al.* (2002), Vilaplana *et al.* (2002), Guzzetti *et al.* (2003), Zuquette e Ahrendt (2003), Irigaray e Chacón (2003), van Westen *et al.* (2008), Copons e Vilaplana (2008), Vedovello (2009) e Pimentel (2010), pode ser descrita em quatro etapas principais, que são:

- Inventário: etapa de busca de informações sobre a área estudada, onde imagens anteriores aos deslizamentos, cartas da região, dados de chuva e trabalhos geotécnicos realizados são elementos a serem levantados;
- Avaliação: nesta etapa destacam-se levantamentos preliminares de campo, geração de MDE, processamento digital de imagens e caracterização do meio físico;
- Análise: aplicação de técnicas de SIG para a geração de informações com os dados levantados nas fases anteriores, mapeando áreas vulneráveis e sob risco; e
- Resultado final: divulgação do produto gerado na análise.

A Figura 65 apresenta uma representação esquemática das etapas.



Figura 65 - Metodologia adotada no trabalho. Adaptado de Zuquette e Ahrendt (2003), Copons e Vilaplana (2008) e van Westen *et al.* (2008).

Os dados preliminares de campo foram levantados pela CPRM e disponibilizados para a realização deste trabalho, por isso foram lançados como dados de inventário.

No processamento das imagens foram realizados os seguintes trabalhos:

- Interpretação visual das imagens CBERS 2B e LANDSAT 7 para a localização da área de estudo, que compreende o substrato de litologia nefelina - sienito, da suíte alcalina do Morro Redondo Dois. Para a visualização da geomorfologia recomendam-se imagens com baixa resolução espacial, pois se faz necessário uma visão regional (VAN WESTEN, 2008).
- Indicar a direção preferencial de escoamento superficial sobre o depósito de tálus aplicando filtros direcionais, conforme manual Técnico em Geociências do IBGE (IBGE, 1999), visando identificar a provável direção de movimento, uma vez que o excesso de água é um dos elementos desencadeadores do movimento gravitacional de massa, conforme relatado por Press *et al.* (2006), Coronado (2006), Liu e Wu (2008), Bahum *et al.*

(2008), Rodrigues e Lopes (2009), Augusto Filho e Virgilli (2009), Dahal *et al.* (2009), Wieczorek *et al.* (2009) e Cannon *et al.* (2010).

- Mapeamento das áreas que sofreram deslizamentos remotos ou recentes e geraram a topografia atual. Tomando por base as especificações do Guia para Elaboração de Mapas Geomorfológicos da Espanha (Martín-Serrano *et al.*, 2004). Nesta fase a técnica utilizada foi fotointerpretação das imagens geradas pelo 1°/6° GAV, pois configura o processo mais indicado para este levantamento segundo Brabb (1977), Mantovani *et al.* (1996), Guzzetti *et al.* (1999), Carrara *et al.* (1999), Barredo *et al.* (2000), Vilaplana *et al.* (2002), Ardizzone *et al.* (2002), Cardinalli *et al.* (2002), Guzzetti *et al.* (2003), Metternicht *et al.* (2005), Yalcin e Bulut (2007), van Westen *et al.* (2008), Copons e Vilaplana (2008) e Abreu e Augusto Filho (2009). Este tipo de trabalho é classificado por Braz e Riedel (2011) como hipotético-dedutivo.
- Na fase de análise aplicaram-se álgebra de mapas para a geração de áreas de perigo e risco de MGM segundo as evidências apontadas nas fases anteriores. Este procedimento tem se mostrado eficiente conforme relatado por Varnes (1984), Guzzetti *et al.* (1999), Irigaray e Chacón (2003), van Westen e Getahun (2003), van Westen *et al.* (2008), Safaei *et al.* (2010) e Pimentel (2010).

9.3 Visão geral sobre a coleta de dados

Para a obtenção de informações que preenchem os produtos gerados em escalas regional, intermediária, de detalhe e local (ZUQUETTE E GANDOLFI, 2004), bem como aqueles gerados segundo a metodologia adotada por Diniz-Souza (1992) que divide o terreno em Província, Padrão, Unidade e Componente, aplicam-se diversas técnicas em imagens de sensoriamento remoto que são descritas por van Westen *et al.* (2008) e Safaei *et al.* (2010) conforme a Tabela 19, onde:

Na coluna escala tem-se:

A = alta aplicabilidade;

M = moderada aplicabilidade e

B = baixa aplicabilidade

Seguindo o mesmo critério de importância, observa-se na Tabela 20 os fatores ambientais e a relevância de cada um para uma avaliação de perigo de deslizamentos, (VAN WESTEN *et al.*, 2008).

Tabela 19 - Técnicas para levantamento de informações sobre MGM. (Adaptado de VAN WESTEN *et al.*, 2008)

GRUPO	TÉCNICA	DESCRIÇÃO	ESCALA			
			Regional	Intermediária	Detalhe	Local
Interpretação de Imagens	Fotos aéreas	Interpretação de imagens em formato analógico ou digital multitemporal ou não.	M	A	A	A
	Imagem satélite de alta resolução	Imagens estereoscópicas ou não e dados multitemporais ou não.	M	M	A	A
	Mapas de relevo por LIDAR	Dados multitemporais ou não.	B	M	A	A
	Imagens RADAR	Imagem única em uma data.	B	M	M	M
Classificação automática (ou semi) baseada em características espectrais	Fotos aéreas	Razão entre imagens	M	A	A	A
	Imagem multiespectral de média resolução	Imagem única em uma data, baseada em classificação por end members ou segmentação de imagem	A	A	A	M
		Imagens multitemporais, baseada em classificação por end members ou segmentação de imagem	A	A	A	M
	Combinação de dados ópticos e RADAR	Fusão de imagens ou classificação multi-sensor e end member ou classificação por objeto	M	M	M	M
Classificação automática (ou semi) baseada em características de altitude	InSAR	Interferometria RADAR para grandes áreas	M	M	M	M
		Medidores permanentes em terra para verificação de dados pontuais	A	A	A	A
	LIDAR	Overlay de MDE gerados em diferentes períodos	B	B	M	A
	Fotogrametria	Overlay de MDE de fotos aéreas ou imagens satelitais de alta resolução gerados em diferentes períodos	B	M	A	A
Investigação de campo	Mapeamento de campo	Método convencional	M	A	A	A
		Uso de GPS para obtenção de coordenadas in loco.	B	A	A	A
	Entrevistas	Questionários ou reuniões com pessoas do local.	B	M	A	A
Estudo de arquivos	Jornais	Estudo histórico de jornais, livros e revistas sobre a região	A	A	A	A

	Manutenções realizadas em rodovias	Relacionar serviços de manutenção ao longo do traçado com possíveis causas de deslizamentos já ocorridos	B	M	A	A
	Levantamento de incêndios ocorridos	Histórico de deslizamentos ocorridos relacionados com incêndios	B	M	A	A
Datação de deslizamentos	Método direto	Datação por carbono ou outros	B	B	B	M
	Método indireto	Medição de componentes químicos no solo	B	B	B	M
Monitoramento técnico	Extensômetros	Informação contínua de velocidade de movimentação, inclinações de superfície e variação de pressões internas	-	-	B	H
	Medida de distância eletrônica	Medições eletrônicas de distância periodicamente	-	-	B	A
	GPS	Medições periódicas de coordenadas	-	-	B	A
	Estação total	Medições periódicas de ângulos e distâncias	-	-	B	A
	InSAR terrestre	Uso de radar de terra para verificar deslocamentos periodicamente	-	-	B	A
	LIDAR terrestre	Uso de laser scanner periodicamente	-	-	B	A

Tabela 20 - Fatores ambientais e suas relevâncias para análise de perigo de deslizamentos. (VAN WESTEN *et al.*, 2008)

GRUPO	TIPO DE DADO	RELEVÂNCIA PARA A ANÁLISE	ESCALA			
			Regional	Intermediária	Detalhe	Local
MDE	Declividade	Fator mais importante em MGM	B	A	A	A
	Inclinação	Pode refletir diferenças na umidade do solo e na vegetação	A	A	A	A
	Forma/Aspecto	Indicação da declividade hidrológica	M	A	A	A
	Direção de fluxo	Usado para modelagem hidrológica	B	M	A	A
	Acumulação de fluxo	Usado para modelagem hidrológica	B	M	A	A

	Relevo interno	Usado em pequenas escalas de avaliação como indicador de tipo de terreno	A	M	B	B
	Densidade de drenagem	Usado em pequenas escalas de avaliação como indicador de tipo de terreno	A	M	B	B
Geologia	Tipo de rocha	Mapeamento litológico para engenharia e classificação estratigráfica	A	A	A	A
	Intemperismo	Perfil de intemperismo é um importante fator para MGM	B	M	A	A
	Descontinuidades	Característica importante para queda de blocos	B	M	A	A
	Aspecto estrutural	Estrutura geológica associada a ângulo e direção de inclinação é relevante para prever queda de blocos	A	A	A	A
	Falhas	Distancia de falhas ativas ou espessuras de falhas são importantes para mapear riscos	A	A	A	A
Solos	Tipos	Tipos de solos para engenharia, baseados na origem ou na classificação geotécnica	M	A	A	A
	Espessura	Espessura obtida por furos de sondagens ou sondagens geofísicas é um dado importante para análise de estabilidade	B	M	A	A
	Propriedades geotécnicas	Granulometria, coesão, ângulo de atrito, densidade são parâmetros importantes para análises de estabilidade	B	M	A	A
	Propriedades hidrológicas	Porosidade, saturação, curva PF (retenção) são parâmetros importantes na modelagem de águas subterrâneas	B	M	A	A
Hidrologia	Lençol freático	Variação espaço-temporal do nível do lençol	B	B	M	A
	Umidade do solo	Variação espaço-temporal da umidade do solo é um dos mais importantes parâmetros de análise de estabilidade	B	B	M	A
	Componentes hidrológicos	Interceptação, evapotranspiração, retenção, escoamento superficial, infiltração, percolação, etc.	M	A	A	A
	Rede de fluxo	Áreas em torno da rede de fluxo de primeira ordem ou em torno de rios erodidos	A	A	A	B

Geomorfologia	Unidades fisiográficas	Primeira subdivisão do terreno em zonas, que é relevante para pequenas escalas de mapeamento	A	M	B	B
	Unidades de mapeamento de terreno	Unidades homogêneas em função da litologia, morfografia e processos	A	M	B	B
	Unidades geomorfológicas	Classificação genética e principal agente formador do terreno	A	A	M	B
	Subunidades geomorfológicas	Subdivisão geomorfológica do terreno em unidade menores	A	A	A	B
Uso do solo	Mapa de uso e ocupação	Um dos mais importantes componentes de análise de estabilidade	A	A	A	A
	Mudanças no uso do solo	Variação temporal do uso do solo é um fator importante para análise de estabilidade	M	A	A	A
	Características da vegetação	Tipo de vegetação, cobertura do dossel, profundidade das raízes, são itens a serem levados em consideração	B	M	A	A
	Estradas	Regiões em volta de estradas em áreas sujeitas a deslizamentos ou que sofreram cortes são frequentemente avaliadas	M	A	A	A
	Edificações	Áreas que foram cortadas para execução de construções são usadas como fator de análise	M	A	A	A

Com base na Tabela 19, o trabalho foi desenvolvido procurando obedecer às indicações de alta aplicabilidade nos dados que foram levantados para chegar-se em uma escala intermediária. As técnicas adotadas neste trabalho, segundo a tabela, foram interpretação de imagens, investigação de campo e estudo de arquivos. Da mesma forma os dados foram analisados conforme indicações de níveis de importância da Tabela 20.

Os dados de campo foram levantados por equipe da CPRM sediada no Rio de Janeiro, na data de 05 de março de 2009 e disponibilizadas para este trabalho. Os pontos de levantamento na região do Trecho 4 na área de estudo, podem ser observados na Figura 66.

No Quadro 9 estão resumidos os dados geomorfológicos, e no Quadro 10 constam características relacionadas a estabilidade dos terrenos, ambas observadas no campo.

Pontos de Campo no Trecho 4 do TAV



Figura 66 - Pontos de campo no trecho 4 do TAV. (Apêndice C)

As fotos dos pontos de coleta de dados de campo constam no Anexo “A”.

Quadro 9 - Morfologia observada no campo.

Ponto	Município	Forma Relacionada	Posição Relacionada	Decliv.	Amplitude	Unidade litoestratigráfica	Descrição do afloramento	Tipo Solo	Tipo Ocup	Tipo Cobertura e Vegetação	Tipo feição	Tipo Material
21	Resende	Vertente	Forte Ondulado	20-45%	0-50m	Formação Resende		Latossolo	Periurbana	Pastagem	Talude de corte	Colúvio
22	Resende		Forte Ondulado	20-45%	0-50m	Complexo Embú		Neossolo litólico	Rural	Mata degradada	Talude de corte	Solo residual
23	Resende	Vertente	Ondulado	8-20%	0-50m	Complexo Embú (paragnaisse)		Latossolo	Rural	Pastagem Agricultura Solo exposto	Talude natural	Colúvio
24	Resende	Baixadas	Plano	0-3%	0-50m	Complexo Embú Formação Resende	Contato Inferido	Planossolo	Rural	Planossolo		
25	Itatiaia	Baixadas Rampas de Colúvio	Suave-ondulado	3-8%	0-50m	Complexo Embú		Argissolo Planossolo	Periurbana	Argissolo Planossolo	Talude natural, Várzea, Baixada	Aterro Aluvião Colúvio
26	Itatiaia	Rampas de Colúvio	Ondulado	8-20%	0-50m	Granito Quebra Cangalha		Argissolo	Periurbana	Argissolo	Talude de corte misto	Depósito de tálus. Colúvio, Rampa.
31	Itatiaia	Rampas de tálus	Forte Ondulado	20-45%	0-50m	Formação Resende		Latossolo	Rural	Reflorestamento, Pastagem	Talude natural	Depósito de tálus.
32	Resende	Vertente	Ondulado	8-20%	50-100m	Formação Resende		Argissolo	Rural	Pastagem	Talude natural, Ravina, Rastejo	Colúvio Rampa
34	Itatiaia	Planície alúvio coluvionar	Ondulado	8-20%	0-50m	Formação Resende		Argissolo	Periurbana	Solo exposto	Talude de corte	Aluvião Colúvio
35	Itatiaia	Rampas de tálus	Forte Ondulado	20-45%	100-200m	Formação Resende, Granito Quebra Cangalha	Redefinir contato	Neossolo litólico	Periurbana	Mata degradada	Talude natural	Depósito de tálus
36	Itatiaia	Rampas de tálus	Forte Ondulado	20-45%	0-50m	Formação Resende, Granito Quebra Cangalha	Redefinir contato	Neossolo litólico	Rural	Mata degradada, Reflorestamento, Pastagem, Agricultura	Talude natural	Solo Residual, Depósito de tálus
47	Itatiaia	Vertente	Ondulado	8-20%	50-100m	Suíte Serra das Araras_Granito Quebra Cangalha, Formação Resende	Contato	Argissolo	Urbana	Pastagem	Talude natural	Colúvio
48	Itatiaia	Vertente	Ondulado	8-20%	50-100m	Granito Quebra Cangalha		Latossolo	Periurbana	Pastagem	Talude de corte misto	Colúvio, Solo Residual
49	Itatiaia	Planície alúvio coluvionar	Ondulado	8-20%	0-50m	Formação Resende		Argissolo, Cascalho (4m)	Periurbana		Talude de corte	Aluvião Colúvio
50	Resende	Vertente	Ondulado	8-20%	50-100m	Formação Resende		Argissolo	Rural	Mata degradada	Talude natural	Aluvião Colúvio
51	Resende	Vertente	Ondulado	8-20%	0-50m	Complexo Embú, Formação Resende	Contato Inferido	Argissolo	Rural	Pastagem	Talude natural	Colúvio, Solo Residual

Quadro 10 - Características relacionadas à estabilidade dos terrenos.

<i>Ponto</i>	<i>Suscet. a Erosão</i>	<i>Tipo de erosão</i>	<i>Tipo de MGM</i>	<i>Descrição MGM</i>	<i>Potencial de Risco</i>	<i>Grupo Foto I</i>	<i>Grupo Foto II</i>	<i>Grupo Foto III</i>
21	Moderada	Voçoroca		Já ocorrido. Feito obras de contenção	Alto	Talude de corte com voçorocas nas margens da Dutra (foto 1-2)	Linha férrea ao lado da Via Dutra sentido E(foto 3) e sentido W(foto4)	Talude com voçoroca (foto5)
22	Alta		Queda de blocos e lascas	Potencial de natureza induzida	Alto	Vista para lago da barragem do Funil (foto 7)	Corte no talude mostrando rochas do Complexo Embu (fotos 8-14)	Vista para Norte mostrando a serra de Itatiaia ao fundo e área do traçado(fotos 15-17)
23	Alta				Moderado	Talude natural com solo exposto (foto 18)		
24	Baixa				Moderado	Área plana colúvio-aluvionar utilizado para agricultura (foto 19)		
25	Moderada		Escorregamento planar	Ocorrido. De natureza induzida	Moderado	Erosões ao longo da linha do trem (fotos 20-25)	Visão da linha do trem (fotos 26-28)	Drenagem artificial (fotos 29-31), áreas de várzea (fotos 32-35) e talude erodido (foto 36)
26	Alta				Moderado	Matações expostos no talude (foto 37)	Blocos de granito quebracangalha (foto 38)	Os blocos estão na Fx. Dom. no LE sentido São Paulo (foto 39)
31	Moderada				Moderado	Campo de blocos (fotos 40-45)	Vista geral da região onde passa o traçado(foto 46)	

32	Alta	Sulcos Ravina (ativa)	Rastejo	Potencial	Moderado	Anfiteatro(forma de relevo) na base, área úmida e plana (foto 47)		
34	Moderada				Baixo	Vista de perfil do solo nesta área escavada para construção de casas (fotos 48-53)		
35	Alta				Moderado	Campo de blocos (fotos 54-56)	Detalhe dos Matacões (fotos 57-61)	Vista geral para a Rodovia Dutra (fotos 62-65)
36	Alta	Sulcos (estabilizada)			Moderado	Blocos de Granito Quebra-Cangalha (fotos 66-67)	Campo de blocos e matacões (fotos 68-71)	Matacões marcando linha de colúvio (fotos 72-73)
47	Muito Alta	Voçoroca (ativa)			Alto	Obra de terraplanagem ao lado da escola sobre o topo do morrote da Formação Resende (fotos 74-78)	Vista geral do relevo plano com os morrotes_ Paisagem N-S (fotos 79-81)	Vista parcial do traçado sobre relevo ondulado e afloramento Resende (foto 82-87)
48	Moderada	Sulcos, Ravina, Voçoroca (ativos)			Moderado	Talude em corte, onde o perfil do solo mostra matacões e solo coluvionar (fotos 88-89)	Erosão localizada nas drenagens e perfil do solo com sulcos e ravinas (foto 90-92)	Matacões com fraturas preenchidas por material feldspático (foto 93)
49	Moderada				Moderado	Talude onde aflora a Formação Resende(foto 94-95)	Perfil de solo com um nível de conglomerado bem marcado(fotos 96-102)	Perfil de solo neste ponto(foto 103)
50	Alta				Moderado	Panoramica de um grande	Vista geral do traçado sentido	

						anfiteatro mostra um relevo ondulado ao fundo(foto 104-110)	SW(foto 111)	
51	Alta				Moderado	Vista geral de um pequeno anfiteatro com área baixa, no centro úmida. Foto sentido Norte para rochas do Complexo Embu (foto 112)		

9.4 Geração de MDE

Os modelos digitais de terreno fazem parte das diversas ferramentas que o sensoriamento remoto conseguiu trazer para os estudos de risco geológico, onde é possível visualizar os processos geomorfológicos e suas condicionantes, como, por exemplo, formas de vertentes e canais de drenagem. Observa-se na Figura 67 um exemplo de imagem 3D gerada com dados da missão SRTM3.

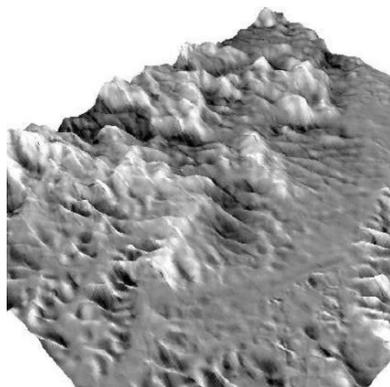


Figura 67 - Imagem 3D. Gerada com dados da missão SRTM3.

Na Figura 68 observa-se um MDE do graben do vale do Paraíba, na cidade de Itatiaia, no estado do Rio de Janeiro.

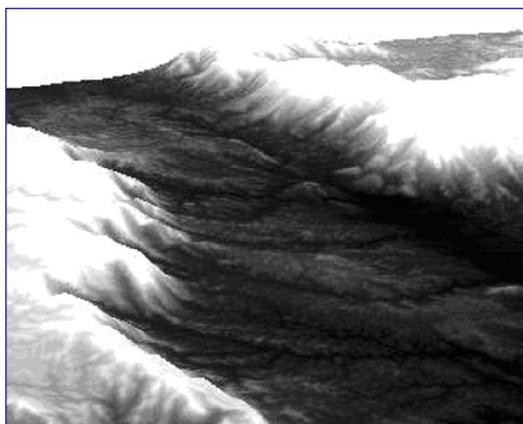


Figura 68 - MDE dos dados da missão SRTM3 de um trecho do vale do Paraíba (RJ).(MENDONÇA *et al.*, 2011a)

9.5 Modelo adotado para a operação entre mapas

De posse de uma categoria ou tema, por exemplo, litologia da região, busca-se as áreas afetadas por movimentos de massa recentes e remotos por meio de fotointerpretação. Esses movimentos são responsáveis pela formação da paisagem. Por meio de uma operação entre

tabelas dentro do SIG é possível obter a densidade de movimentos em cada litologia, conforme demonstrado na Figura 69 adaptada de Irigaray e Chacón (2003).



Figura 69 - Operação para obter densidade de MGM. Adaptado de Irigaray e Chacón (2003).

Trabalhos de fotointerpretação conduziram às estatísticas de MGM observados nas feições de litologia, pedologia, uso e cobertura, geomorfologia, hipsometria e unidades geológico geotécnicas no *buffer* de 2 km, que estão descritas nos resultados deste trabalho. Por um processo de fotointerpretação foram marcadas as áreas de movimentos de massa ocorridos na área de estudo, conforme pode ser observado na Figura 70. Este procedimento é mencionado por Guzzetti *et al.* (1994), Cardinalli *et al.* (2002), Ardizzone *et al.* (2002), Guzzetti *et al.* (2003), Zuquette e Ahrendt (2003), Coronado (2006), Corominas *et al.* (2008) e JTC-1 (2008) como necessário para uma avaliação de suscetibilidade e perigo geológico.

Após a vetorização dos MGM foram feitas as análises estatísticas de ocorrência em cada categoria, para isso utilizou-se o comando *Intersect* em *Analysis Tools* do ArcGis 9.3 que gerou um *shape* da interseção das áreas de MGM e das áreas das feições, este resultado traz uma tabela de dados que é a união das tabelas dos *shapes* dessas áreas. Em seguida, foi realizada a operação *sumarize* nas colunas de dados de áreas movimentadas e frequência de ocorrências, no intuito de obter a quantidade de incidências e a proporção de área atingida em cada categoria: litologia, pedologia, uso e cobertura, hipsometria, geomorfologia e unidades geológico geotécnicas no *buffer* de 2 km. A operação *sumarize* consolida a quantidade de ocorrências de MGM e das áreas movimentadas em cada classe das categorias consideradas.



Figura 70 - Edição de áreas atingidas por MGM.

De posse dos resultados da operação *sumarize*, consegue-se relacionar as classes atingidas de cada categoria, atribuir pesos e efetuar a álgebra de mapas para a obtenção das áreas de perigo de ocorrência de MGM e trechos de risco de deslizamentos no traçado proposto para o TAV.

A álgebra de mapas é realizada através da ferramenta *weighted overlay* do ArcGis 9.3 que sobrepõe as matrizes (arquivos raster dos temas ou categorias), onde suas células possuem pesos atribuídos segundo a razão entre a porcentagem de ocorrência e a porcentagem de área movimentada na classe (PIMENTEL, 2010), efetuando a soma dos pesos das células e retornando uma matriz final com o resultado dessa operação matemática. A matriz final (mapa de perigo) é classificada em intervalos de valores de células onde os valores mais altos correspondem às células de maior peso, indo até as células de menor peso com os valores menores. Assim o mapa pode ser classificado conforme a divisão do número de intervalos que se deseja, dividindo intervalos de valores iguais que vão desde a célula de menor até a de maior valor.

Os trechos de risco são obtidos por meio de uma operação de interseção, *intersect* no ArcGis 9.3, entre o arquivo raster, ou matricial, resultado da álgebra de mapas e o vetor do traçado proposto para a ferrovia. Como o vetor possui um valor único e o raster apresenta valores de dados diferentes nas áreas resultantes da operação de álgebra, ao efetuar a interseção o vetor assume os valores correspondentes às áreas dos trechos por onde passa.

Caso o traçado seja alterado é possível realizar a mesma operação e obter os trechos classificados quanto ao risco, uma vez que os critérios para a geração de áreas de perigo são referentes às características do terreno.

9.5.1 Critério de distribuição dos pesos

Primeiramente os arquivos vetoriais foram transformados em raster, conforme preconizam Câmara (1995), Silva (1999), Coronado (2006) e INPE (2007). Para isso, foi aplicada a ferramenta *Feature to Raster (converter)* do ícone *Toolbox* do *Software ArcGis 9.3*.

A metodologia utilizada corresponde à mesma adotada por Pimentel (2010) na avaliação de áreas de risco na região de Angra dos Reis após as várias ocorrências de MGM naquela região em 2010. Pimentel (2010) efetua a distribuição dos pesos por meio da razão entre a porcentagem de ocorrências e a área movimentada em cada classe dentro das feições (pesos equivalentes). Os pesos entre as feições foram distribuídos de forma igualitária até completar o valor de 100%, na ferramenta *weighted overlay* do ícone *Toolbox* do *ArcGis 9.3*.

Os pesos inseridos no *software* podem ser de NODATA a 9 de forma discreta. Como os valores obtidos nas razões são contínuos foi feita uma discretização dos pesos. Na coluna *ArcGis(0,4)* da Tabela 21, constam os valores discretizados em uma escala que possui intervalos iguais de 0,4.

Tabela 21 - Conversão dos pesos.

Pesos equivalentes	Peso ArcGis(0,4)
Até 0,4	1
0,8	2
1,2	3
1,6	4
2	5
2,4	6
2,8	7
3,2	8
3,6	9
4 ou mais	9

9.5.2 Passos desenvolvidos

Os passos desenvolvidos foram segundo metodologia da JTC-1 (2008), que se divide em básico, intermediário e avançado. As etapas do passo básico, aqui desenvolvidas, podem ser vistas na Figura 71, os passos seguintes estão descritos no Anexo C.

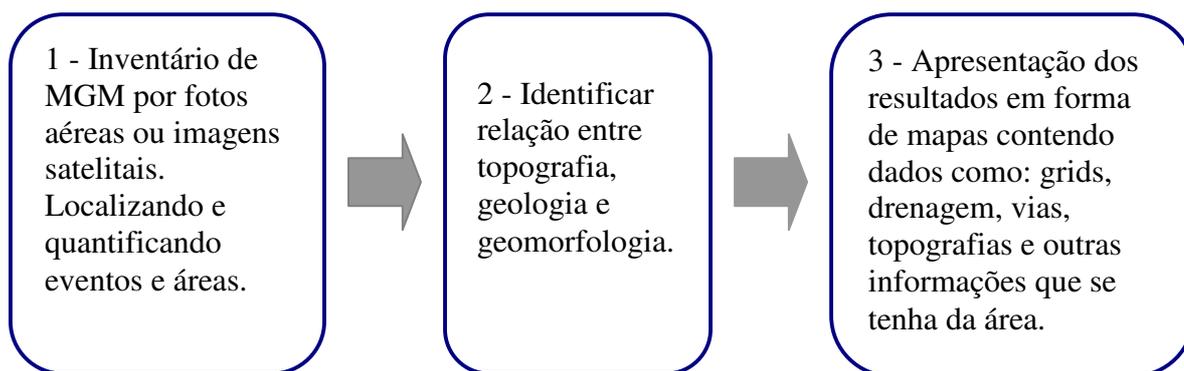


Figura 71 - Passos da etapa básica de inventário da JTC-1.

Com o modelo digital de elevação gerado por meio dos dados da missão SRTM3 foi possível levantar os perfis topográficos do Tálus do Itatiaia. Esses perfis podem ser observados no capítulo 3 de geomorfologia. Por meio dos perfis notam-se as áreas deposicionais do Tálus do Itatiaia.

Foi desenvolvido um trabalho por meio de processamento digital de imagens no intuito de verificar a direção preferencial de escoamento superficial no depósito de tálus próximo à Represa do Funil. Cascini *et al.* (2005), Corominas *et al.* (2008) e Castellanos e van Westen *et al.* (2008) citam a importância de análises qualitativas na avaliação de susceptibilidade e de zoneamento de risco geológico. O filtro utilizado foi o filtro passa alta de Sobel.

10 RESULTADOS E DISCUSSÃO

10.1 Introdução

Foram observadas informações importantes para a geração de documentos que indicam risco de MGM na região a ser cortada para a implantação da ferrovia. Análises geoespaciais com aplicação de ferramentas de SIG e SR foram utilizadas.

10.2 Análise da geomorfologia

Ross e Morz (1997) alertam sobre a fragilidade da região do vale do Paraíba sob o ponto de vista de risco de ocorrência de MGM. Com base nessa afirmação, observa-se na Tabela 22 a classificação dos quesitos avaliados pelo Relatório da 3ª etapa (ASSIS *et al.*, 2009 *apud* CPRM, 2009b) segundo os riscos potenciais associados, podendo ser Alto (A), Médio (M) ou Baixo (B) risco. A descrição dos quesitos encontra-se na Tabela 16 e na Tabela 17 que tratam sobre os parâmetros de descrição dos CGM.

Tabela 22 - Análise de perigo associado ao trecho CGM 4 (Vale de Resende).

QUESITO	Classificação do risco associado	
Litologia	L2	A
	L3	M
	L4	B
Condições de água	W1	B
	W5	M
	W2/3	A
Topo rochoso	T3	A
	T4	M
Condicionante Geotécnico	G1	M
	G3	A
Feições geológico-estruturais	E1/E2	M
	E4	A
Feições de risco geológico	P6	A (residual)
	P7	A
	P8	A (dormente)
	P9	A (atingimento)
	P10	A (rastejo lento)

Fernandes e Amaral (1996) e Tominaga (2009a) afirmam que além da análise da geomorfologia é necessária também a avaliação de fatores relacionados à geologia, aspectos climáticos e ação do homem referentes ao uso do solo e cobertura vegetal.

10.3 Aspectos climáticos

Sobre os aspectos climáticos Nunes e Calbete (2000) e Silva e Leite (2000) relatam que a precipitação média da região é de 1400 mm/ano concentrando cerca de 70% durante o período primavera-verão (setembro a fevereiro). As temperaturas variam de 16° C a 23° C em média. Nunes e Calbete (2000) afirmam que a distribuição de chuvas pelo vale do Paraíba é homogênea. Os autores afirmam ainda que os eventos de MGM ocorridos na década de 1990 e início dos anos 2000 foram gerados por uso e ocupação inadequada do solo e não por variação significativa no acumulado de chuva. Apesar de levantarem um estudo de 40 anos de dados pluviométricos da região, Nunes e Calbete (2000) chegaram à conclusão que, mesmo com as influências de El Niño nos períodos, os eventos estão mesmo relacionados a atividades antrópicas desprovidas de cuidados técnicos sobre a geologia da região.

A direção do Cinturão Orogênico do Atlântico no vale do Paraíba descreve um caminho para as correntes polares (SW-NE), pois, conforme relatado por Nunes e Calbete (2000), a disposição do relevo exerce papel importante nos fluxos atmosféricos. Esse fato favorece a presença de chuvas conferindo frequentes instabilidades climáticas na região.

10.4 Análise preliminar de imagens

Os filtros direcionais, tais como o de Sobel, que foi utilizado no trabalho de Mendonça *et al.*, (2011a), e o de Prewitt, conforme descritos pelo IBGE (1999) são capazes de realçar na imagem a direção preferencial de escoamento superficial, o que indica a provável direção de movimentação do depósito de tálus. Na Tabela 23 observam-se os operadores dos filtros de Sobel.

Tabela 23- Operadores do filtro passa alta de Sobel. Fonte: IBGE (1999).

Filtros de Sobel											
N-S			NE-SW			E-W			NW-SE		
1	2	1	0	1	2	-1	0	1	-2	-1	0
0	0	0	-1	0	1	-2	0	2	-1	0	1
-1	-2	-1	-2	-1	0	-1	0	1	0	1	2

Após filtragens da imagem pancromática do sensor CBERS 2B da área, que pode ser vista na Figura 72, foi possível verificar que a direção preferencial de escoamento superficial está na direção transversal ao traçado proposto para a implantação do trem de alta velocidade, conforme observado na Figura 73 que foi submetida ao filtro passa alta com filtro de Sobel na direção N-S.



Figura 72 - Imagem PAN do sensor CBERS 2B.

As setas vermelhas indicam direções preferenciais de escoamento superficial que são descritas pelas linhas de talvegue. A linha azul representa o traçado proposto para o TAV.

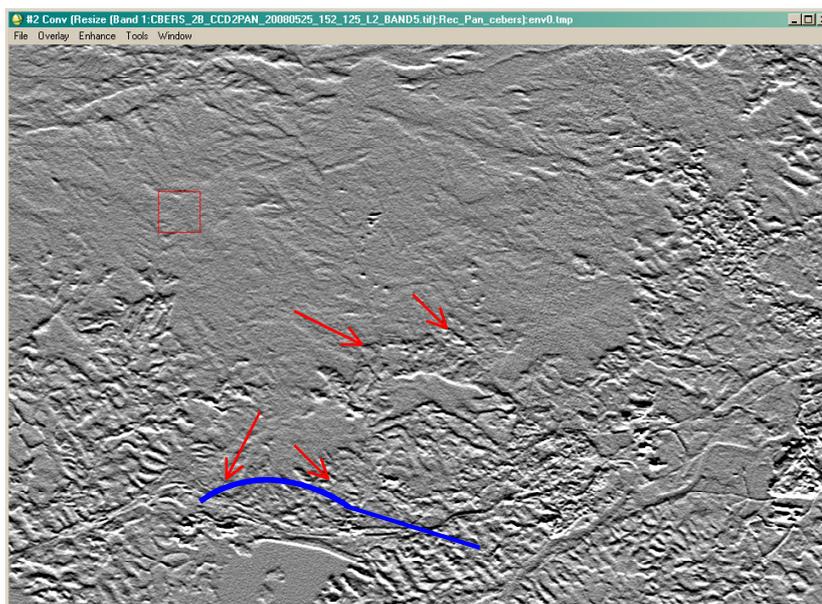


Figura 73 - Filtro direcional N-S.

Ao submeter a imagem ao mesmo filtro porém com direção NE-SW, Figura 74, foi possível observar que as linhas de escoamento superficial continuam predominando na mesma direção, ou seja, de encontro com o traçado do trem de alta velocidade.



Figura 74 - Filtro direcional NE-SW.

O filtro na direção E-W apontou a mesma direção de escoamento superficial, conforme observado na Figura 75.



Figura 75 - Filtro direcional E-W.

Nota-se que as direções de talvegue em toda a imagem foram ressaltadas com a filtragem nesta direção, isso demonstra que a direção predominante de escoamento superficial está de Norte para Sul, ou seja, em direção ao traçado preliminar da ferrovia a ser construída.

O último filtro aplicado foi no sentido NW-SE, que continuou a ressaltar a mesma direção de escoamento superficial observada nos anteriores, conforme visto na Figura 76.



Figura 76 - Filtro direcional NW-SE.

Observa-se que as imagens que realçaram mais as linhas de fluxo superficial de água foram as filtradas nas direções E-W e NE-SW, isso quer dizer que as linhas de escoamento superficial predominam na região no sentido NW-SE, ou seja, perpendicular à varredura dos filtros de Sobel. Este também se mostra como o sentido de deslocamento do depósito de tálus, pois acompanha o sentido do fluxo de escoamento superficial, uma vez que a força desenvolvida por MGM gerado por escoamento de água de chuva é um dos fatores que acarretam o deslocamento de depósitos de tálus e outros tipos de deslizamentos, conforme capítulo 4 que trata de MGM.

No mesmo estudo foi aplicada uma operação aritmética entre bandas, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que consegue apontar diferenças entre densidades de áreas vegetadas. A operação é definida pela equação: $NDVI = \frac{IR - V}{IR + V}$, onde “IR” corresponde a banda situada no infra vermelho e “V” a do visível.

A imagem resultante desta operação foi submetida aos filtros direcionais. Procurou-se com esta operação verificar se a direção das linhas de escoamento superficial na encosta coincidiria com a vegetação mais densa nos talwegues. O resultado pode ser observado na Figura 77.

É possível observar que as linhas de talvegue e o leque deposicional do corpo do tálus se desenvolvem em direção à rodovia existente e ao dique da represa, conforme conclui Mendonça *et al.* (2011b).

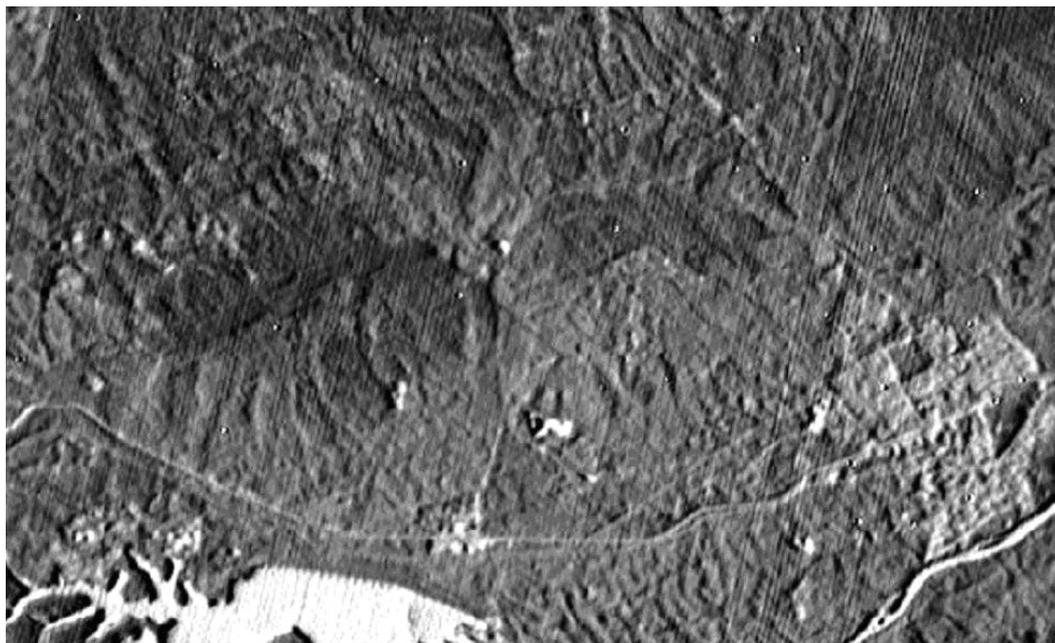


Figura 77 - Imagem resultante da operação NDVI e filtro direcional E-W.

10.5 Análise de MGM por fotointerpretação

As ortofotos fornecidas pelo CENSIPAM e pelo COMGAR foram imprescindíveis para a realização desta etapa do trabalho. Na Tabela 24 observa-se os dados gerados como resultado da operação *sumarize*, no *software* ArcGis 9.3, entre litologia e áreas de MGM.

Tabela 24 - Resultado da operação *sumarize* entre litologia e áreas de MGM.

Área da Classe (km ²)	Frequência de MGM	Nome da classe	Área de MGM (km ²)
1,422	4	Gnaisses	0,1138
2,487	17	Gnaisses	0,3634
7,559	1	Dep. Sed. Aluvionar	0,0335
15,050	1	Granitóides	0,0066
17,548	2	Granitos	0,1031
21,737	5	Dep. Sed. Col. Tálus	0,0195
73,341	48	Gnaisses	0,7235
85,498	5	Dep. Sed. Col. Tálus	0,0232
127,682	13	Rochas Alcalinas	0,3875
160,003	161	Dep. Sed. Col. Tálus	2,2462
160,129	2	Gnaisses	0,0208
439,833	30	Gnaisses	0,8226

Algumas classes se repetem, como Gnaisses, por exemplo, isso se deve ao fato de existir duas ou mais áreas distintas no mapa representando a mesma classe. Cada área tem o seu registro de quantidade de ocorrências de MGM, o que foi definido como frequência de ocorrência de movimento gravitacional de massa, que é resultado da fotointerpretação sobre as ortofotos. Os valores foram então consolidados por classe para possibilitar os tratamentos estatísticos dos dados. A mesma operação foi realizada entre áreas de MGM e os outros temas. O *shape* de MGM foi o mesmo para todos os temas, uma vez que era o resultado da visualização de cicatrizes de MGM.

A declividade foi considerada pelos valores de Ross e Moroz (1997). Augusto Filho (2001) destaca que uso e cobertura, declividade e litologia são fatores controladores de MGM.

10.5.1 Avaliação estatística da distribuição espacial dos MGM

Foi feita a verificação do padrão de distribuição das ocorrências de MGM na área de estudo. No mapa da Figura 78 nota-se que o padrão de distribuição de pontos de ocorrência de MGM não é uniforme na área, porém com o teste de χ^2 foi possível confirmar que a distribuição segue a geomorfologia da região, como pode ser visualizado no mapa, uma vez que a concentração dos registros de MGM estão no sopé do maciço alcalino do Pico do Itatiaia.

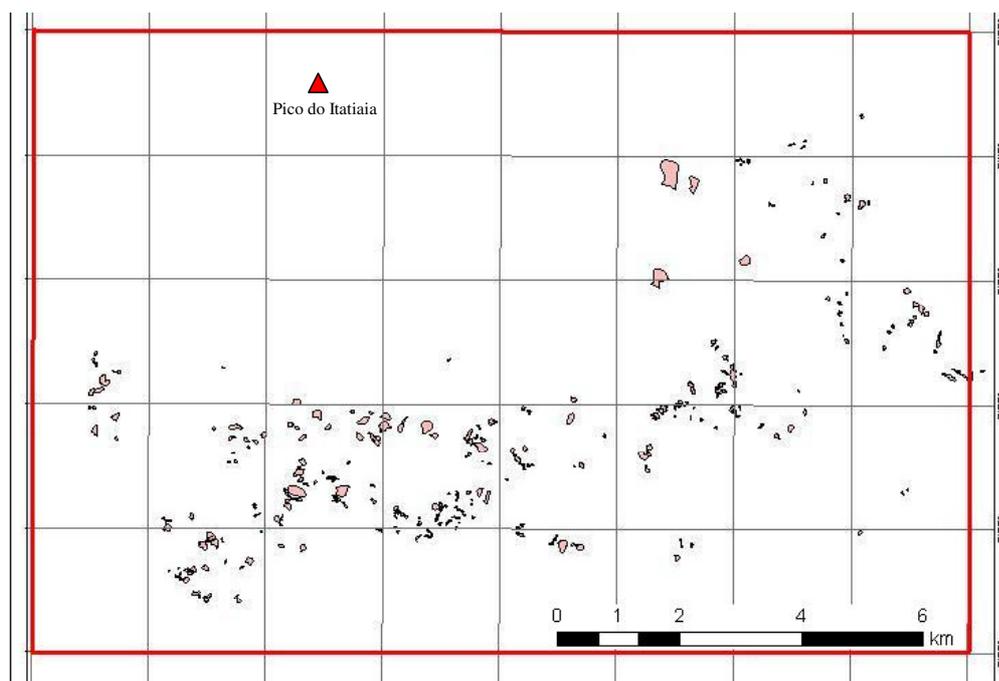


Figura 78 - Divisão de subáreas para teste de hipótese.

A distribuição χ^2 parte da premissa que a distribuição é equidistante (MONTGOMERY E RUNGER, 2003). A divisão em subáreas foi feita na quadrícula do mapa conforme a Figura 78.

O mapa foi dividido por 40 subáreas de igual tamanho, aproveitando a quadrícula, e computadas a quantidade de pontos de MGM em cada uma delas. Adotou-se um nível de significância de 5%.

$$k = 40 \text{ (n}^\circ \text{ de subáreas)}$$

$$v = 40 - 2 = 38 \text{ (graus de liberdade)}$$

Com estes valores na tabela de χ^2 tem-se o valor crítico de **53,37** para um nível de significância de 5%.

Teste de hipóteses:

H0: o padrão de distribuição de pontos é uniforme.

H1: o padrão de distribuição de pontos não é uniforme.

Tem-se então que “N” é o número total de observações na área selecionada (264), “E” o número esperado em cada subárea e “O”, número de pontos observados em cada subárea.

$$E = N/k, \text{ onde } E = 6,60.$$

O valor de χ^2 é dado pela expressão:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E)^2}{E}$$

Dessa forma, obtém-se o valor de χ^2 :

Subárea	O _i	(O _i -E) ² /E
1	0	6,6
2	0	6,6
3	0	6,6
4	0	6,6
5	0	6,6
6	0	6,6
7	3	1,963636
8	1	4,751515
9	0	6,6
10	0	6,6
11	0	6,6
12	0	6,6
13	0	6,6
14	3	1,963636
15	14	8,29697

16	2	3,206061
17	6	0,054545
18	1	4,751515
19	1	4,751515
20	1	4,751515
21	1	4,751515
22	14	8,29697
23	11	2,933333
24	15	10,69091
25	4	1,024242
26	16	13,38788
27	39	159,0545
28	47	247,297
29	14	8,29697
30	21	31,41818
31	7	0,024242
32	2	3,206061
33	0	6,6
34	22	35,933333
35	3	1,963636
36	4	1,024242
37	8	0,29697
38	3	1,963636
39	0	6,6
40	1	4,751515
$\Sigma =$	264	656,6061

Como o valor de χ^2 é maior que o valor crítico ($656 > 53,37$), rejeita-se a hipótese. O padrão de distribuição de pontos não é uniforme.

Porém é possível visualizar no padrão de distribuição da Figura 78 que os movimentos de massa se distribuem ao longo da área deposicional de sedimentos, em torno do sopé do Pico do Itatiaia. Na região do Pico não foram observados movimentos de massa remotos nem recentes.

Nas elevações maiores a superfície apresenta diversos blocos de rocha que podem ser oriundos de corridas de blocos que só poderiam ser confirmadas com visitas de campo ou sensoriamento de alta resolução multi temporal.

Desta forma, os dados aqui analisados tendem a ocorrer nas elevações mais baixas, na região do sopé do Pico do Itatiaia.

10.5.1.1 Reduzindo a área avaliada

Ao reduzir a área avaliada pelo teste de equidistância, tomando uma região no sopé do Pico do Itatiaia, o teste pode ser feito no trecho de maior concentração de ocorrências para verificar se a distribuição é uniforme nesta região. Para isto foi feita uma nova divisão em subáreas, conforme Figura 79.

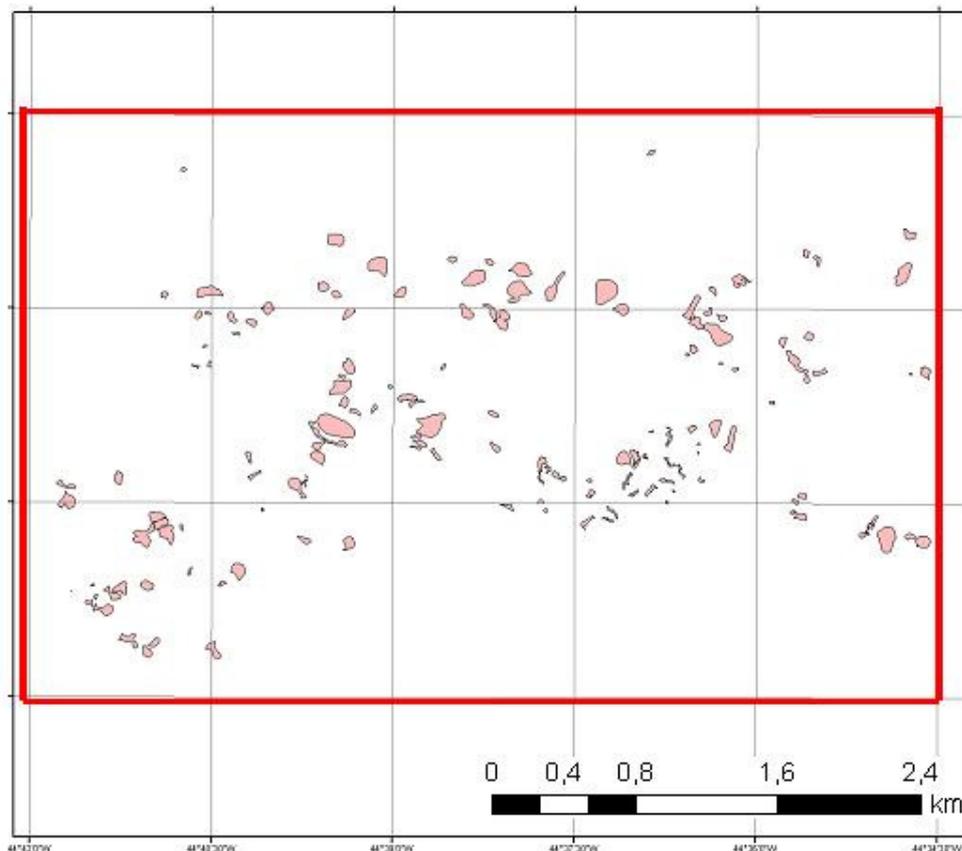


Figura 79 - Divisão de subáreas para novo teste.

Agora com 15 subáreas de igual tamanho, aproveitando a quadrícula, e computadas a quantidade de pontos de MGM em cada uma delas. Nível de significância de 5%.

$k = 15$ (nº de subáreas)

$v = 15 - 2 = 13$ (graus de liberdade)

Com estes valores na tabela de χ^2 tem-se o valor crítico de **22,36** para um nível de significância de 5%.

Teste de hipóteses:

H0: o padrão de distribuição de pontos é uniforme.

H1: o padrão de distribuição de pontos não é uniforme.

Tem-se então que “N” é o número total de observações na área selecionada (156), “E” o número esperado em cada subárea e “O”, número de pontos observados em cada subárea.

$E = N/k$, onde $E = 10,40$.

Subárea	O _i	(O _i -E) ² /E
1	3	5,265385
2	5	2,803846
3	7	1,111538
4	5	2,803846
5	4	3,938462
6	8	0,553846
7	24	17,78462
8	21	10,80385
9	32	44,86154
10	9	0,188462
11	18	5,553846
12	6	1,861538
13	2	6,784615
14	3	5,265385
15	9	0,188462
Σ =	156	109,7692

Como o valor de χ^2 é maior que o valor crítico ($109 > 22,36$), rejeita-se a hipótese. O padrão de distribuição de pontos continua não sendo uniforme.

Caso aumente a escala de visualização e sejam feitos novos testes com novas subáreas a quantidade de pontos de incidência reduziria a quase zero em diversas subáreas, impossibilitando a realização do teste visto que a quantidade de subáreas seria muito pouca. Sendo assim, a distribuição de ocorrências não é equidistante na área.

10.5.2 Hipsometria

O terreno foi dividido conforme os níveis de altitude, obedecendo aos intervalos de hipsometria conforme as seguintes classes:

- até 500 m;
- de 500 m a 750 m;
- de 750 m a 1250 m;
- de 1250 m a 1750 m e
- acima de 1750 m.

No resultado da operação *sumarize* entre áreas de MGM e hipsometria foram registrados a quantidade e a área dos movimentos conforme a Tabela 25.

Tabela 25 - Estatística de MGM nas bandas hipsométricas.

Bandas Hipsométricas (m)	Área das bandas (km²)	Área das bandas (%)	Freq. MGM	Freq. MGM (%)	Áreas dos MGM (km²)	Áreas dos MGM (%)
1750-2650	45,77	9%	0	0%	0	0%
1250-1750	53,23	10%	0	0%	0	0%
750-1250	82,77	16%	5	2%	0,4778	9%
500-750	152,93	30%	126	39%	2,8586	51%
380-500	179,68	35%	191	59%	2,2308	40%
TOTAL	514,38	100%	322	100%	5,5672	100%

Nota-se que nas altitudes mais elevadas a quantidade de MGM registrados por fotointerpretação foi nula. Porém, não significa a total inexistência de ocorrências. O mapa específico de cicatrizes de MGM sobre a hipsometria pode ser observado na Figura 80.

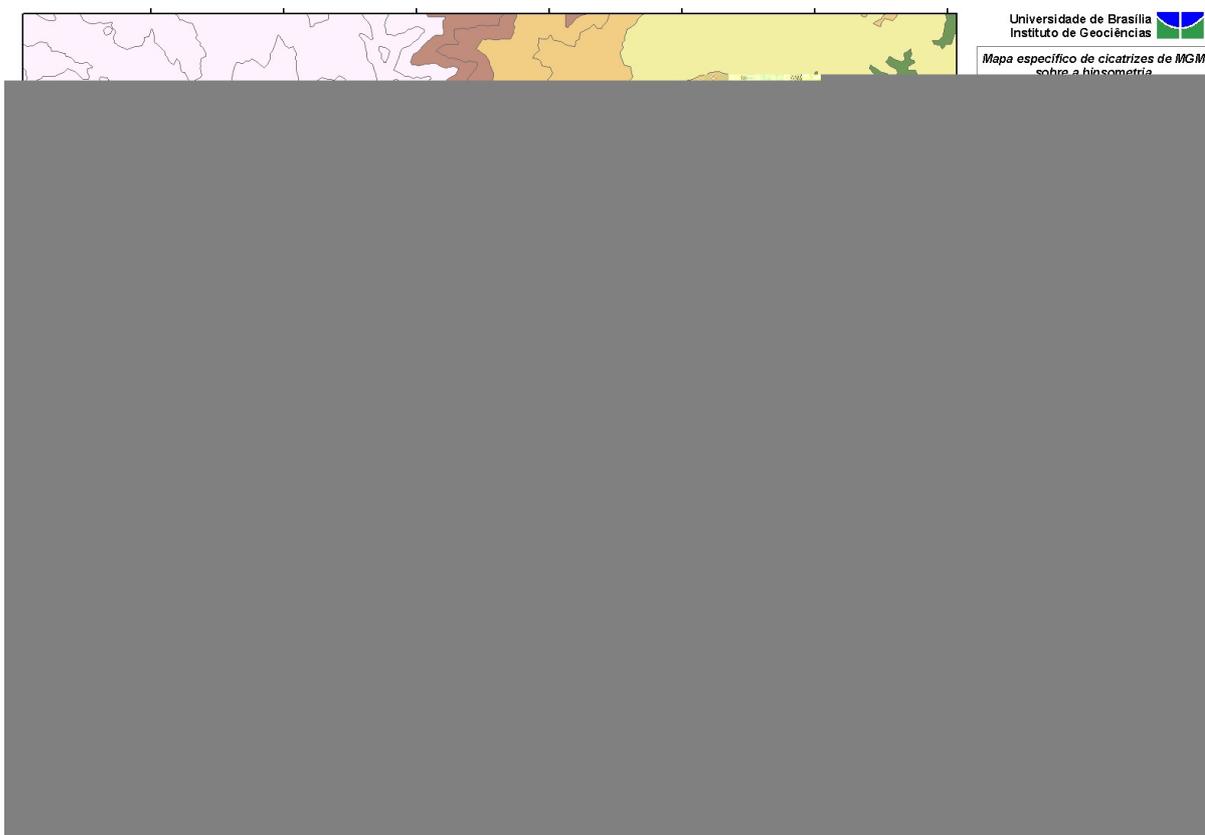


Figura 80 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a hipsometria.

Na Figura 81 tem-se os dados estatísticos dos MGM nas bandas hipsométricas.

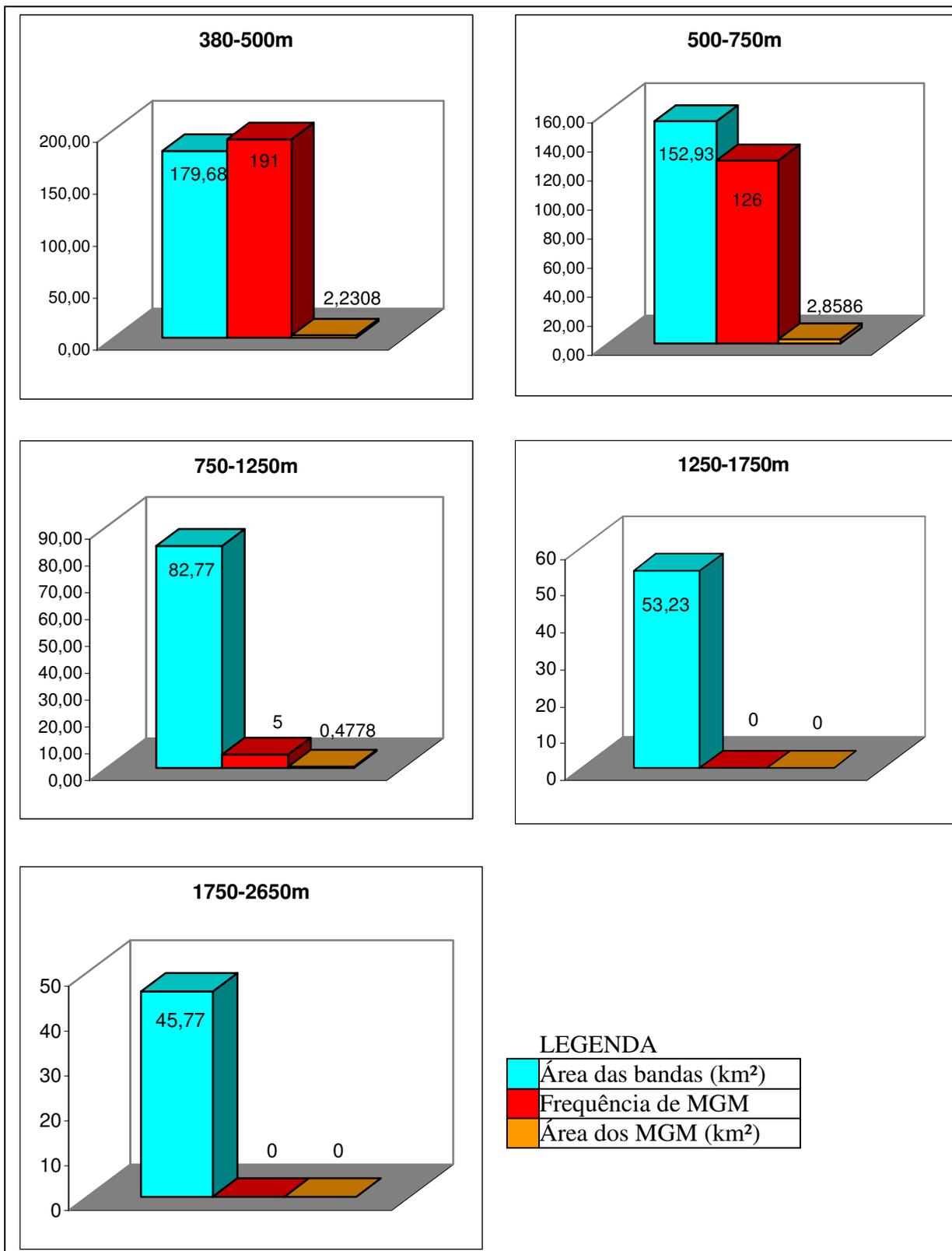


Figura 81 - Estatística dos MGM na hipsometria.

Observa-se que a banda de menor elevação (380-500 m) apresenta a maior quantidade de registros de MGM (191), porém a maior soma das áreas de movimento ficou com a classe

de 500-750 m, com 2,85 km². Esta, por sua vez apresentou a segunda maior incidência de MGM, 126 ocorrências.

A banda de 750-1250 m apresentou poucas ocorrências de MGM, entretanto com um somatório de área elevado para a classe, 9% do total de área movimentada com apenas 5 registros de movimento na região. As classes de maior elevação (1250-1750 m e 1750-2650 m) não apresentaram cicatrizes de MGM pelo método utilizado para visualização.

10.5.3 Litologias

As unidades de terreno foram distribuídas em cinco classes para análise, onde se levou em consideração: litologia, geoforma, amplitude, altimetria e declividade.

Os dados de litologia foram obtidos no mapa litológico da CPRM. Geoforma, amplitude, altimetria e declividade foram extraídas de Ross e Moroz (1997), conforme descrito no capítulo de geomorfologia, além de dados de campo da CPRM. A Tabela 26 traz o resumo dos valores observados.

Os depósitos sedimentares estão divididos em depósito sedimentar coluvionar - tálus e depósito sedimentar aluvionar assinalados pela CPRM em trabalho de campo. O mapa específico de cicatrizes de MGM sobre a litologia, pode ser visualizado na Figura 82.

Tabela 26 - Dados gerados após a vetorização das áreas de MGM.

LITOLOGIAS	Geoformas	Amplitude (m)	Altimetria (m)	Decliv.	Áreas Lito (km ²)	Quant. MGM	Área MGM (km ²)	Soma áreas de MGM (%)	Freq. MGM (%)
Rochas Alcalinas	Escarpas	300	2000	30%	127,68	13	0,39	7,97%	4,50%
Granitóides	Morros	200	1000	25%	15,05	1	0,01	0,14%	0,35%
Granitos	Morros	200	800	25%	17,55	2	0,10	2,12%	0,69%
Gnaisses	Morrotos	100	700	18%	677,21	101	2,04	42,03%	34,95%
Dep. Sed. Aluvionar	Planícies	50	600	5%	7,56	1	0,03	0,69%	0,35%
Dep. Sed. Coluvionar - Tálus	Morrotos	50	600	8%	267,24	171	2,29	47,06%	59,17%
TOTAL					1112,3	289	4,86	100,00%	100,00%

Nesta análise foi possível verificar que nas litologias de depósitos sedimentares coluvionares ocorreu o maior valor de áreas mobilizadas por MGM (47,06%), sendo seguida pela litologia gnaiss (42,03%), as rochas alcalinas apresentaram um valor baixo de área atingida em relação ao total verificado (7,97%).

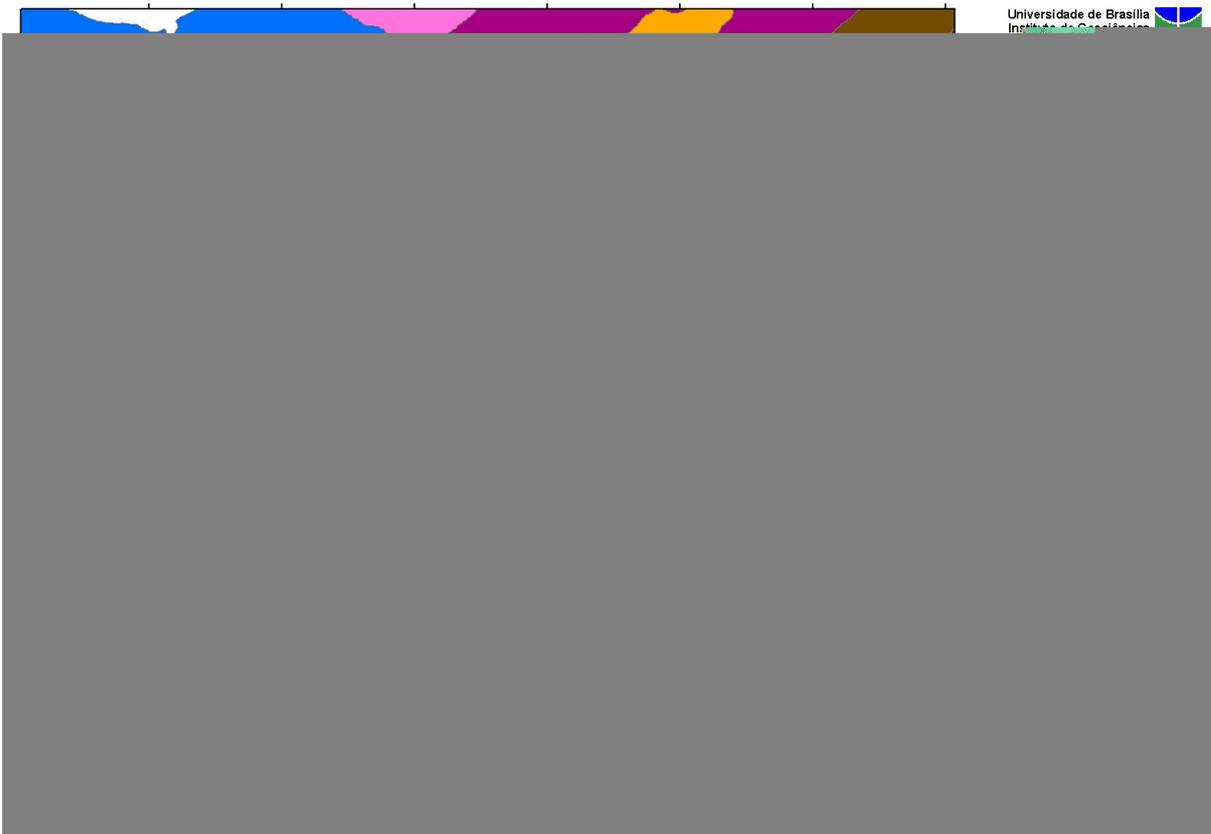


Figura 82 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a litologia.

Observa-se que os depósitos sedimentares coluvionares – tálus apresentaram mais de 59% das ocorrências. O gnaiss apresentou 34,95% de todas as ocorrências, ficando com a segunda maior quantidade de incidências. As rochas alcalinas apresentaram 4,50% das ocorrências de MGM, entretanto nas regiões que apresentam esta litologia, acima de 1250 m, não foram detectadas ocorrências de movimentos. Os granitos apresentaram 0,69% do total de áreas e nos granitóides foram registrados apenas 0,35% dos movimentos, assim como nos depósitos sedimentares aluvionares.

A área total de material mobilizado se distribuiu ao longo das litologias conforme gráficos da Figura 83.

Observando todas as áreas mobilizadas por MGM, por meio de fotointerpretação das imagens ortoretificadas, foi possível verificar a distribuição das áreas por litologia.

O gráfico da Figura 83 demonstra a maior quantidade de ocorrências de MGM nos depósitos sedimentares coluvionar - tálus, 171 casos. Nota-se que nos gnaisses ocorreram 101 casos, porém a área desta litologia é quase três vezes maior que a dos depósitos de tálus.

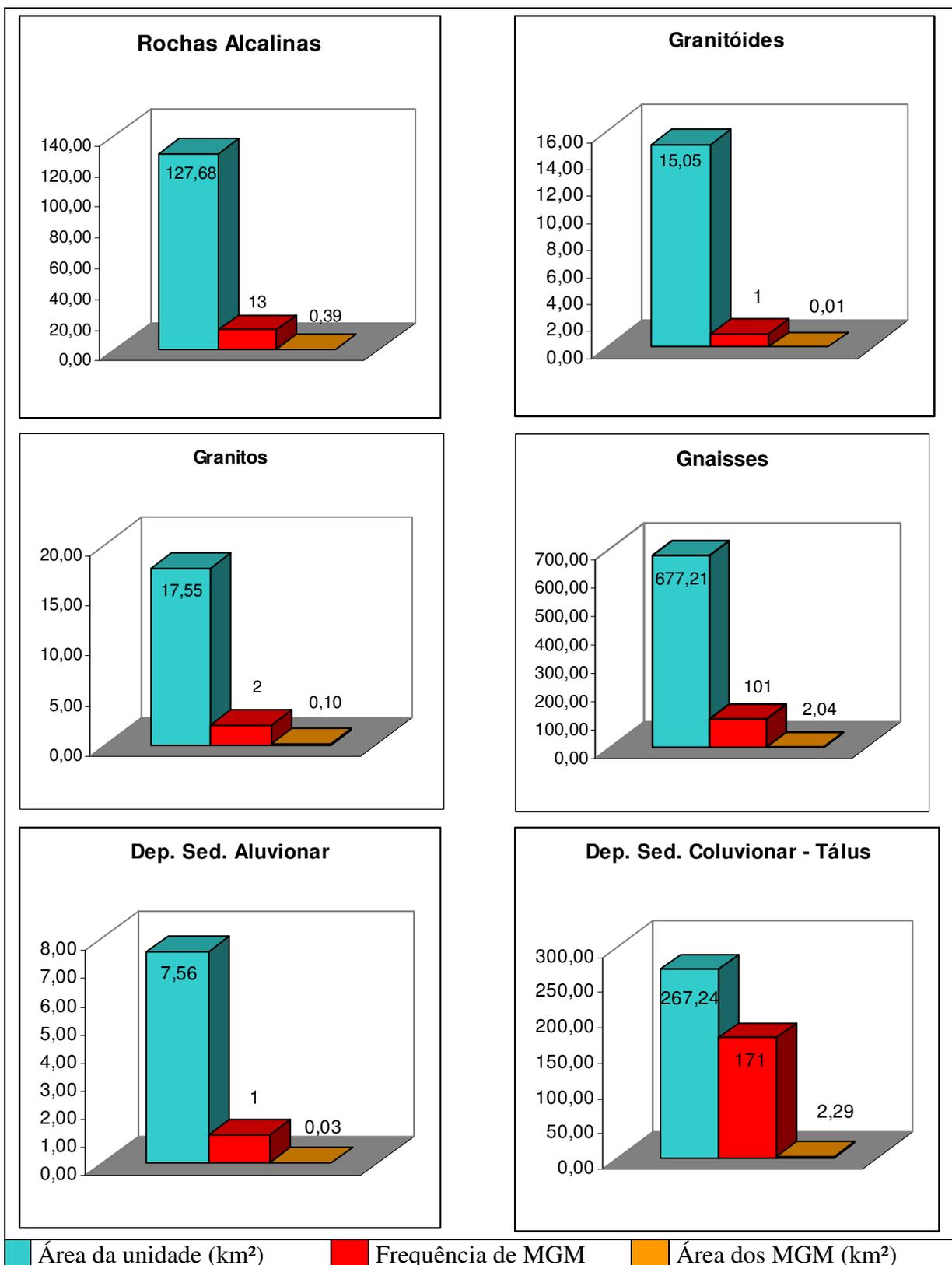


Figura 83 - Frequência de MGM nas litologias.

Observa-se no mapa que mesmo com uma elevada quantidade de ocorrências de MGM nos depósitos sedimentares coluvionar – tálus as áreas de movimentação são pequenas

em relação ao gnaisse. Fica claro, ao verificar nos gráficos, que as áreas de movimentação apresentam diferença de 0,25 km² e a quantidade de ocorrências é quase o dobro nos depósitos sedimentares de tálus em relação ao gnaisse. Isso denota que os MGM nos gnaisses apresentam maior movimentação de material do que nos depósitos sedimentares de tálus, apesar de ocorrerem em menor quantidade na região observada.

Os depósitos sedimentares aluvionares apresentaram apenas uma incidência. Isso se deve ao fato de estar em uma área muito baixa, praticamente na região mais plana junto ao rio. Os granitos e granitóides tiveram apenas duas e uma ocorrência respectivamente, essas litologias são mais íntegras, apresentando baixa fragilidade a MGM.

As treze ocorrências nas rochas alcalinas estão na transição do material mais íntegro para aquele oriundo de movimentos que vieram a formar o depósito coluvionar – tálus. Os depósitos estão mais sujeitos a ocorrência de MGM, em função de ser um material mal classificado e heterogêneo.

10.5.3.1 *Geoformas (Amplitude)*

Analisando a quantidade de MGM ocorridos em cada geoforma apresentada na Tabela 26 em relação a amplitude dos terrenos obtém-se o resultado da Figura 84.

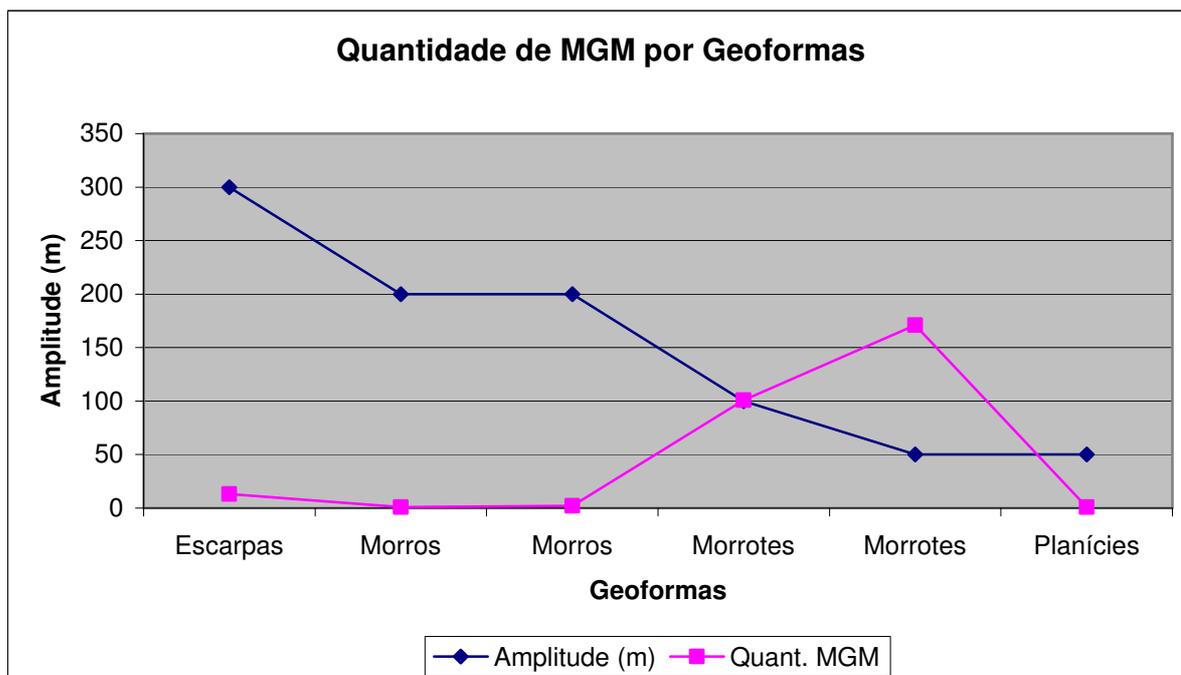


Figura 84 – Quantidade de MGM em relação a amplitude das geoformas (eixo y).

No gráfico da Figura 84 é possível notar que a medida que as amplitudes diminuem a quantidade de MGM aumenta. Particularmente nessa região, esse fato aponta pra o aumento de incidências de movimentos nos terrenos mais baixos, ou seja, nas proximidades do sopé do Pico do Itatiaia. Entretanto, na região de planície, junto ao talvegue do rio as ocorrências reduzem novamente. Logo, as incidências de MGM se dão na área deposicional no sopé do Pico do Itatiaia. IPT (1981) define que as amplitudes de terreno são menores que 100 m em colinas, fundos de vales e regiões de morrotes; e entre 100 m e 300 m em regiões de morros. Nas escarpas e terrenos montanhosos são acima de 300 m.

Na Figura 85 e na Figura 84 observa-se que em relação a amplitude as áreas de MGM aumentam a medida que aquelas diminuem. Voltando a reduzir nas regiões de planície.

O depósito sedimentar coluvionar - tálus compreende, na sua maioria, as áreas de morrotes, que são as regiões nas áreas baixas e de sedimentos próximo ao sopé do Pico do Itatiaia. Nos morrotes observam-se também os gnaisses.

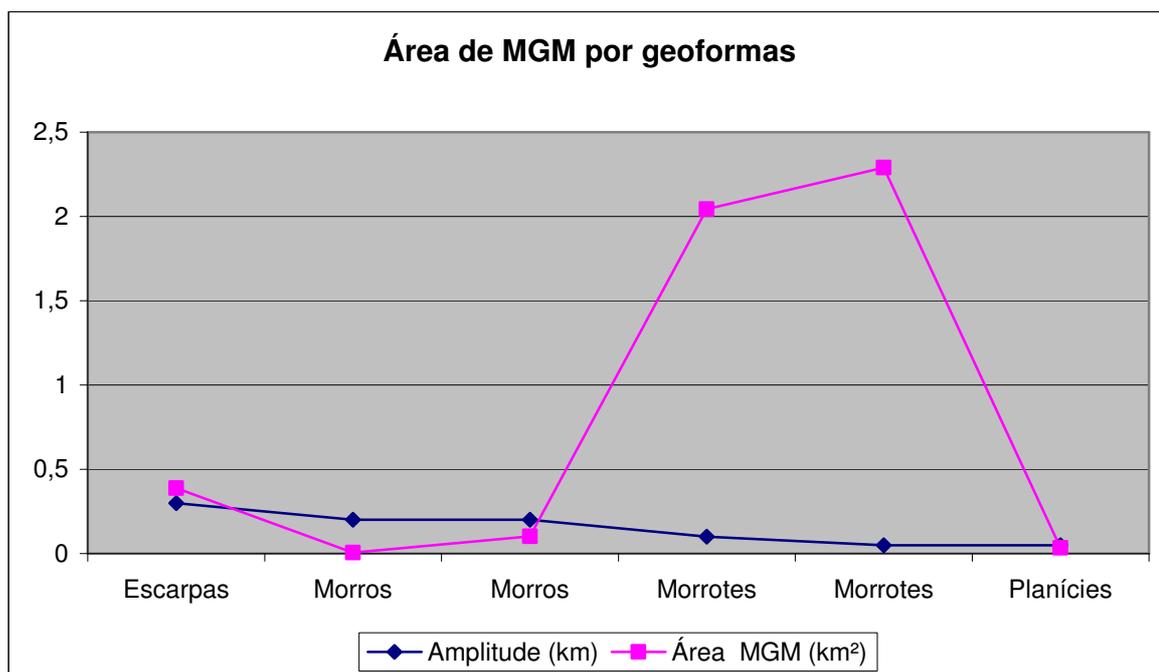


Figura 85 - Áreas de MGM em relação às geofomas.

10.5.3.2 *Geoformas (Declividade)*

Ao relacionar a declividade das geoformas à quantidade de MGM e às áreas de movimentação em cada geoforma obtém-se o gráfico da Figura 86.

Nas declividades menores houve maior incidência de MGM além de áreas maiores. Porém, observa-se que na planície as incidências se reduzem junto com as áreas.

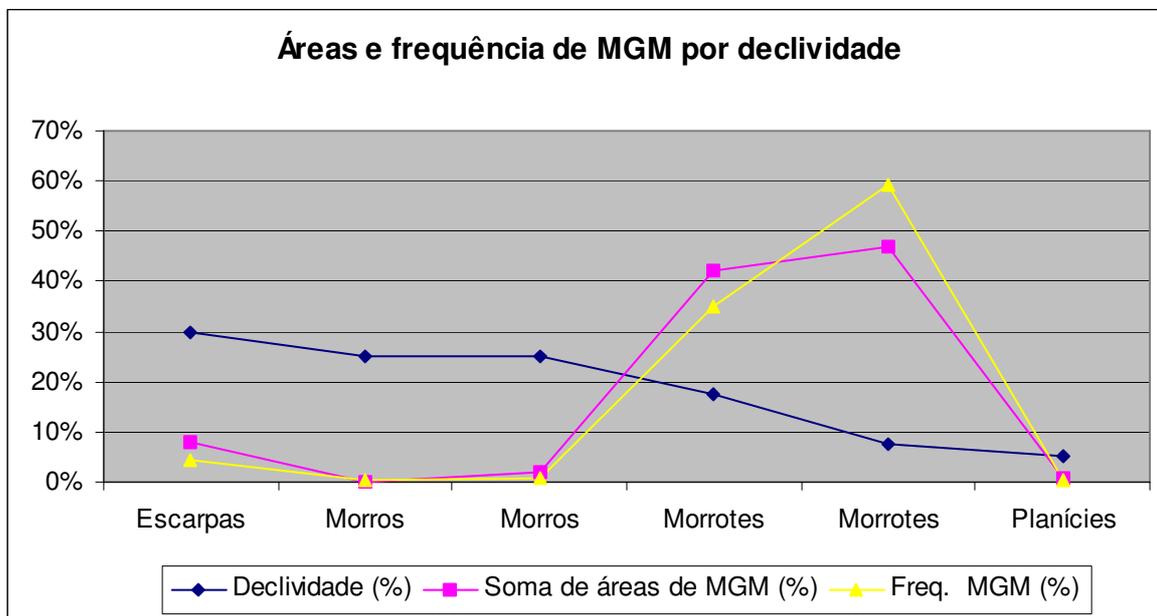


Figura 86 - Influência da declividade em área e frequência de MGM.

10.5.3.3 *Altimetria (cotas no terreno)*

Ao relacionar a quantidade de MGM e as áreas movimentadas com as cotas do terreno observou-se que em cotas mais baixas a incidência de movimentos e as áreas de solo movimentado alcançaram valores altos, conforme gráfico da Figura 87.

Na avaliação quanto a hipsometria já foi observado este fenômeno. Como a quantidade de visualizações foi maior nas cotas mais baixas, este resultado já era esperado.

Na mudança de declividade de 30% para 15% ocorre uma elevação brusca da quantidade de MGM e da área de movimento. As declividades maiores correspondem a litologias mais íntegras, ou seja, materiais mais resistentes, pois são compostas por grandes formações de rochas alcalinas, além de sofrerem menos intervenções antrópicas, o que não ocorre nas litologias mais ao sopé do pico do Itatiaia.

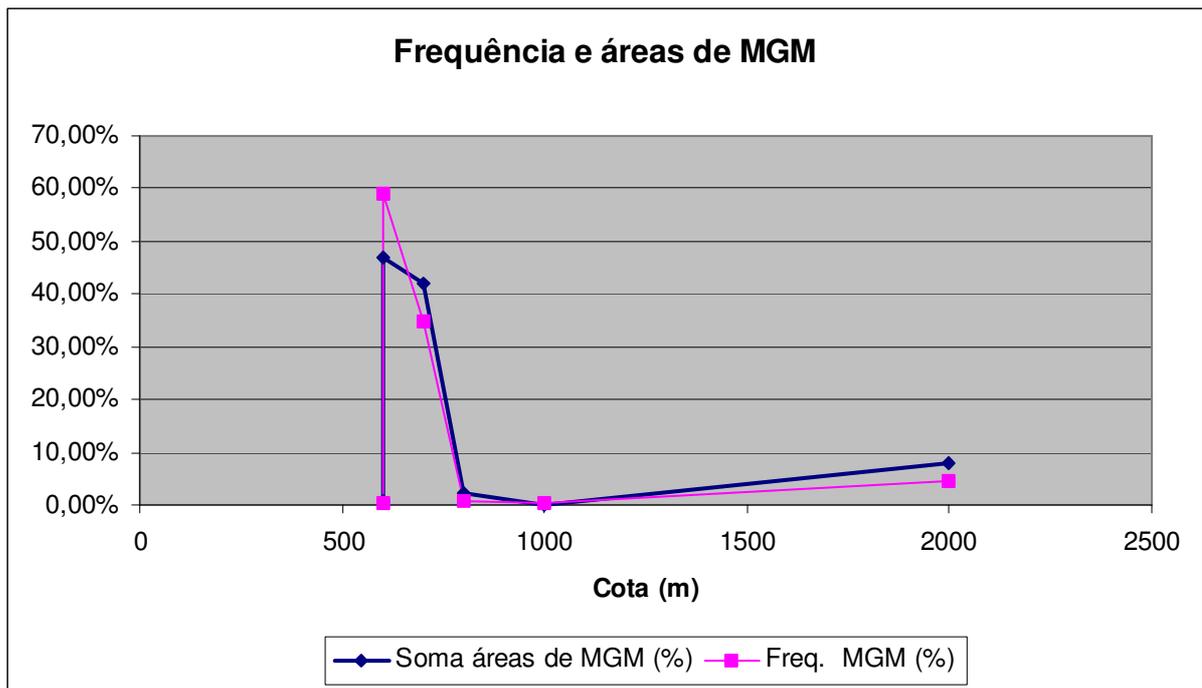


Figura 87 - Quantidade de MGM distribuída pela elevação do terreno.

Na subida das cotas de planície, às margens do rio, para as cotas intermediárias houve uma brusca elevação da quantidade de MGM. Nas cotas intermediárias, entre 800 e 1.000 metros, houve uma redução das quantidades de incidências, que voltam a aumentar nas cotas mais elevadas da região, porém se mantêm muito inferiores às máximas encontradas nas elevações intermediárias. Fenômeno semelhante foi observado com as áreas do material movimentado.

As regiões de depósitos sedimentares coluvionar – tálus apresentaram maior incidência de MGM em todas as análises apresentadas, sendo assim, classificados como litologia com maior suscetibilidade aos movimentos. Na Figura 88 é possível observar essa afirmação ao superpor os gráficos de frequência de MGM por geoformas e declividade, no perfil topográfico da área.

A Figura 89 apresenta um modelo digital de elevação com dados SRTM3 que foram recobertos com imagens da câmera ADS80 do levantamento do projeto vale do Paraíba. Nessa representação observa-se a região deposicional no sopé do Pico do Itatiaia, formada pela rampa que sobe desde a planície do vale.

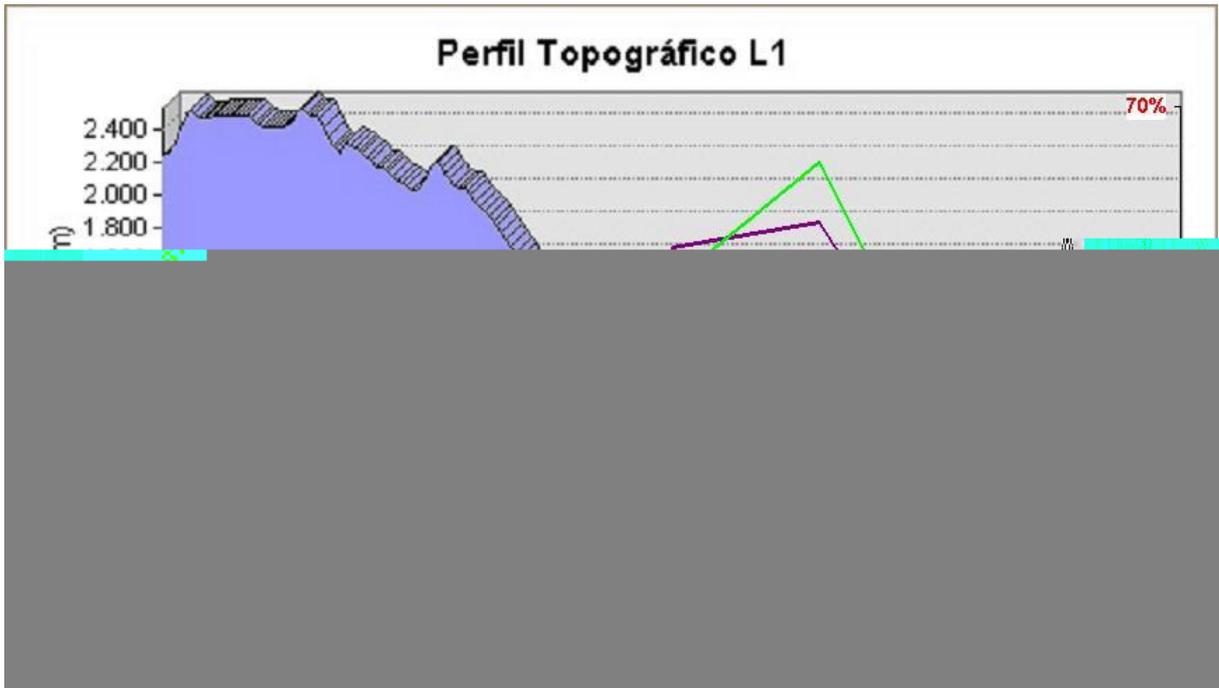


Figura 88 - Superposição das estatísticas de MGM nas geoformas sobre um perfil do tálus.

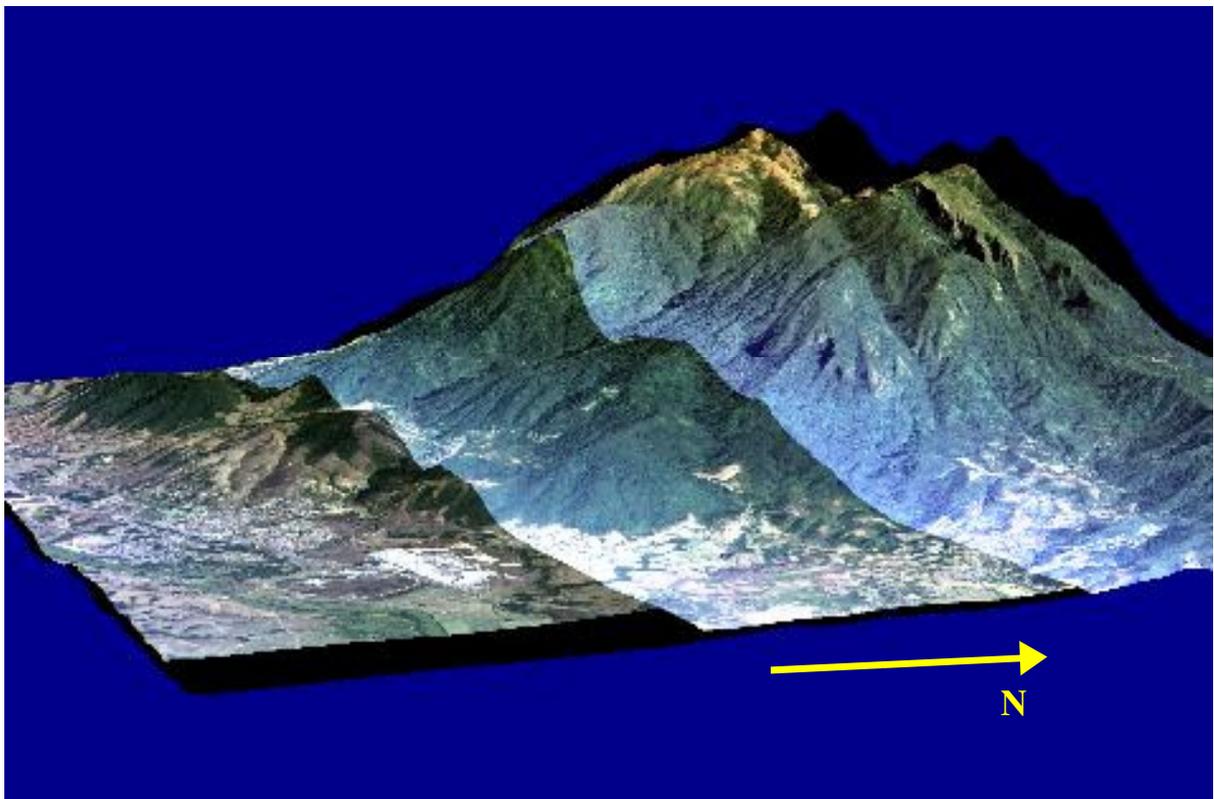


Figura 89 - Modelo do terreno na área de estudo com superposição da imagem da ADS 80. A maior elevação corresponde ao pico do Itatiaia. Junto à planície do vale inicia a rampa do depósito de tálus que sobe em direção ao pico. O seu leque deposicional se estende em torno da base do pico.

Os depósitos sedimentares coluvionar – tálus apresentaram assim maior suscetibilidade aos movimentos, seguidos dos gnaisses que estão presentes numa boa concentração nas baixas elevações.

Ressalta-se a importância de acompanhar as intervenções de corte e aterro nestas litologias no intuito de evitar ocorrências de novos movimentos de massa que possam comprometer os trabalhos de engenharia.

10.5.4 Uso do solo e cobertura vegetal

O Parque Nacional do Itatiaia possui o cadastro de uso e cobertura da região, de posse desses dados, cruzando a tabela de MGM registrados por fotointerpretação, foi possível visualizar quais os tipos de uso e cobertura da região que apresentaram maiores índices de movimentos de massa. Prandini *et al.* (1976), Varnes (1984), Corominas *et al.* (1992), Cruden e Varnes (1996) e van Westen *et al.* (2008), ressaltam a importância da cobertura do solo na avaliação de suscetibilidade e risco. O resultado pode ser observado na Tabela 27 e são relativos apenas às coberturas que apresentaram algum tipo de MGM após a vetorização sobre as ortofotos. A área denominada Influência Urbana corresponde às regiões de cidades e povoados.

Tabela 27 - Estatística de MGM no uso e cobertura da área.

Cobertura observada	Legenda	Área (km²)	Área (%)	Área MGM (km²)	Área MGM (%)	Freq. MGM	Freq. MGM (%)
Pecuária	Ap	173,09	40,13%	2,80	50,72%	207	60,35%
Floresta Estacional Semidecidual	F	10,41	2,41%	0,32	5,72%	20	5,83%
Floresta Ombrófila Densa	D	223,13	51,74%	1,86	33,68%	75	21,87%
Florestamento / Reflorestamento	R	0,81	0,19%	0,04	0,65%	2	0,58%
Agricultura	Ac	0,42	0,10%	0,05	0,97%	3	0,87%
Influência Urbana	Iu	18,85	4,37%	0,20	3,64%	15	4,37%
Savana Florestada	Sd	1,89	0,44%	0,08	1,48%	9	2,62%
Vegetação Secundária Inicial	Vsi	2,68	0,62%	0,17	3,14%	12	3,50%
TOTAL		431,28	100%	5,53	100%	343	100%

Na Figura 90 observa-se o mapa de cicatrizes sobre as áreas.



Figura 90 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a cobertura do solo.

Os gráficos da Figura 91 e da Figura 92 representam os registros de MGM frente as classes de uso e cobertura.

A classe Iu (Influência Urbana), que apresentou uma quantidade menor em relação a sua área, traz consigo a particularidade da dificuldade de visualização de movimentos remotos, pois como sofre influência urbana alguns movimentos acabam sendo cobertos por ações antrópicas dificultando a sua visualização por fotointerpretação.

Nos gráficos apresentados nota-se que os índices de frequência de MGM foram maiores que a área em quase todas as classes, a exceção de floresta ombrófila densa que apresentou índice menor em relação a sua área total. Esta classe em particular, pode ser visualizada no mapa como a que apresenta a maior área na região, o que acaba trazendo a ideia de que as ocorrências foram distribuídas por sua área. Entretanto, é possível perceber no mapa que as áreas desta cobertura localizadas nas regiões mais baixas foram as que abrigaram as 75 ocorrências registradas na classe.

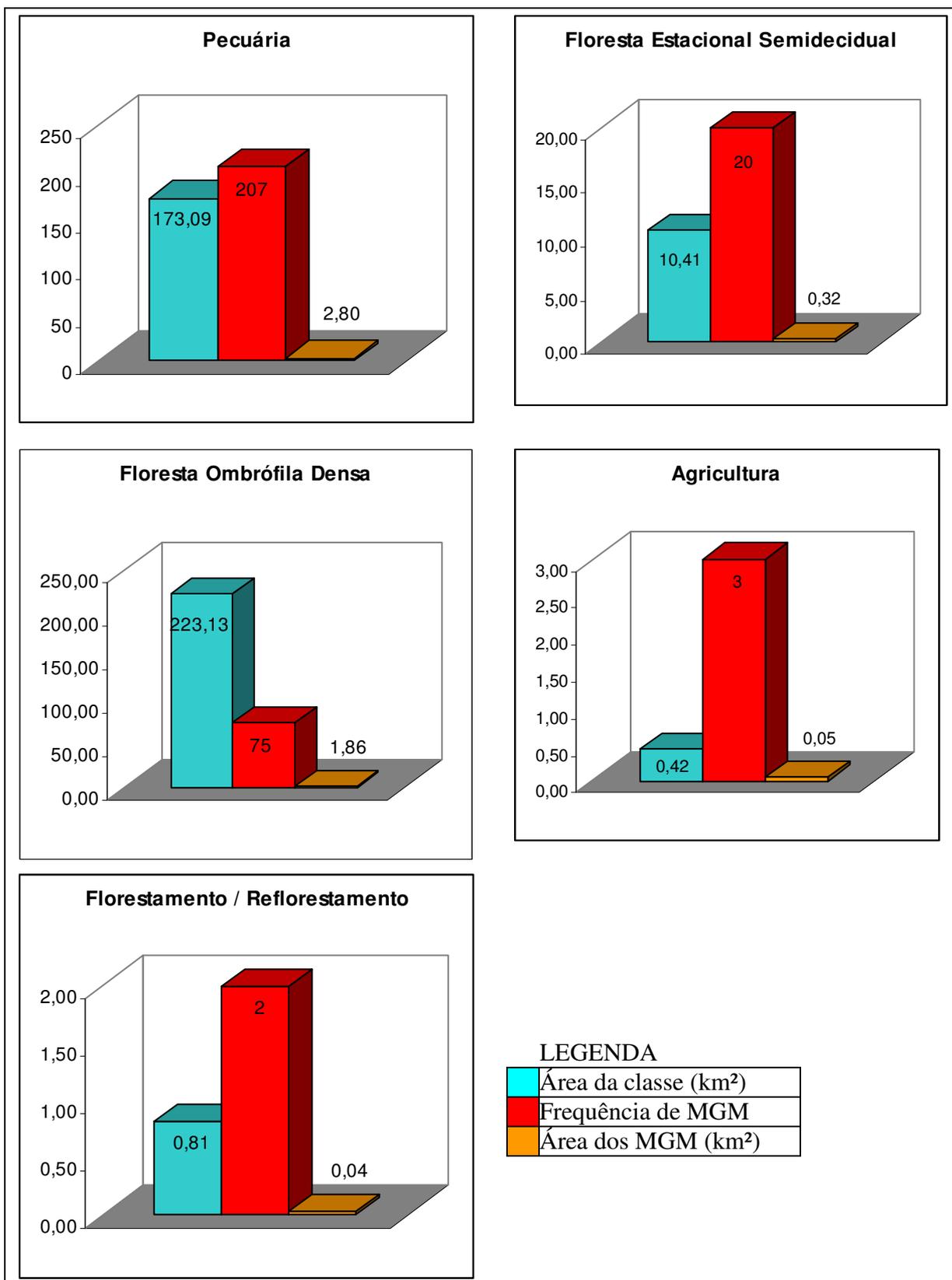


Figura 91 - Estatística dos MGM nas classes de uso e cobertura.

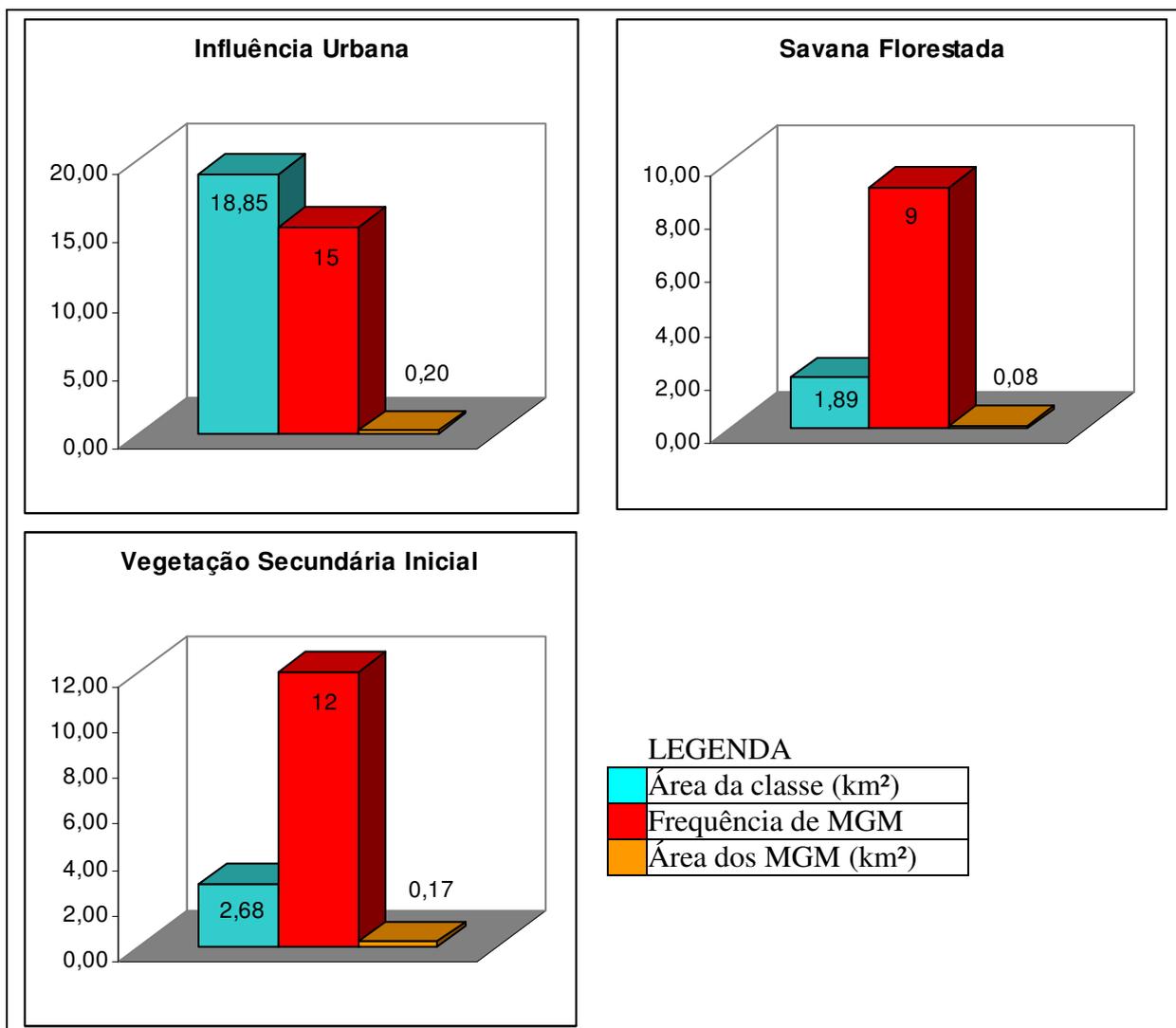


Figura 92 - Estatística dos MGM nas classes de uso e cobertura (continuação).

Pecuária compreende a classe com maior área movimentada, 2,80 km² em 207 ocorrências. Essa classe foi a mais afetada por incidências de movimento de massa.

A floresta estacional semidecidual apresentou vinte ocorrências em cerca de 10 km² de área. Observa-se no mapa que é uma vegetação que se espalha nas regiões de morrotes e próximo ao sopé das formações do Pico do Itatiaia.

As áreas de agricultura, vegetação secundária inicial, savana florestada e florestamento e reflorestamento apresentaram quantidades elevadas de ocorrências em áreas pequenas da classe. A área de agricultura foi a pior, com 3 ocorrências em 0,42 km². Dentre essas classes, a menos desfavorável foi a área de florestamento e reflorestamento, com duas ocorrências em 0,81 km². Entretanto, em todas essas classes a área movimentada foi pequena, sendo a área de vegetação secundária inicial a com maior área (0,17 km²).

10.5.5 Geomorfologia

O PNI disponibilizou o mapeamento geomorfológico da região que fora classificado pela CPRM em cinco unidades geomorfológicas conforme Tabela 28, onde também é possível visualizar os resultados das operações entre as tabelas de MGM e essa categoria. As áreas de MGM foram lançadas sobre as unidades gerando os resultados que seguem por meio de análises estatísticas.

Tabela 28 - Estatística de MGM na geomorfologia da área.

Unidades	Área (km ²)	Frequência MGM	Área MGM (km ²)	Área (%)	Frequência (%)	Área MGM (%)
Domínio de Colinas Dissecadas	4,07	2	0,0049	0,34%	0,72%	0,11%
Domínio Colinoso - Mar de Morros	737,68	98	1,4195	61,67%	35,13%	33,04%
Tabuleiros	77,59	59	0,7038	6,49%	21,15%	16,38%
Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais	14,28	1	0,0066	1,19%	0,36%	0,15%
Planícies Aluviais	96,79	4	0,0522	8,09%	1,43%	1,22%
Maciços Intrusivos Alcalinos	265,67	115	2,1088	22,21%	41,22%	49,09%
TOTAL	1196,08	279	4,30	100%	100%	100%

Na Figura 93 tem-se o mapa de geomorfologia com as cicatrizes de MGM.

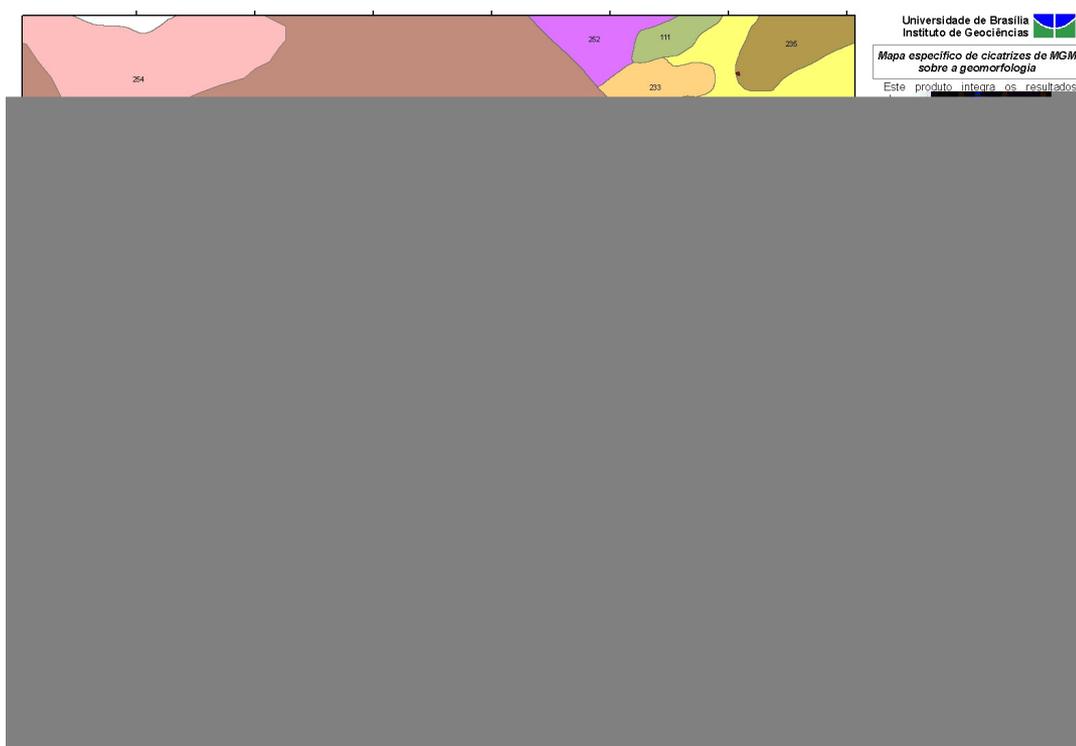


Figura 93 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a geomorfologia.

O domínio colinoso mar de morros apresenta a maior área na região avaliada e o segundo maior valor de incidências de MGM, com 98 casos. Apresenta ainda o segundo maior valor de volume de material movimentado, com 1,42 km².

Os domínios de colinas dissecadas apresentaram um valor elevado de ocorrências por km², sendo quase uma por cada 2 km², porém as áreas movimentadas são pequenas (0,0049 km²).

Os gráficos da Figura 94 trazem a estatística das cicatrizes observadas no mapa anterior.

Os tabuleiros sofreram 59 incidências de MGM em uma área de 77,59 km², isso confere um índice de quase uma ocorrência por km².

Nos alinhamentos serranos e degraus estruturais foi visualizada apenas uma ocorrência de MGM, em uma área de 14,28 km².

As planícies aluviais tiveram delimitação de apenas quatro ocorrências de MGM, nota-se que a região delimitada por esta unidade é mais plana, proporcionando maior estabilidade a movimentos de massa.

Os maciços intrusivos alcalinos apresentaram a maior quantidade de ocorrências, 115 casos, entretanto, é possível observar no mapa que os MGM se concentram na base da formação, no sopé da elevação do Pico do Itatiaia. O total de áreas movimentadas nesta unidade foi o maior valor, 2,10 km².

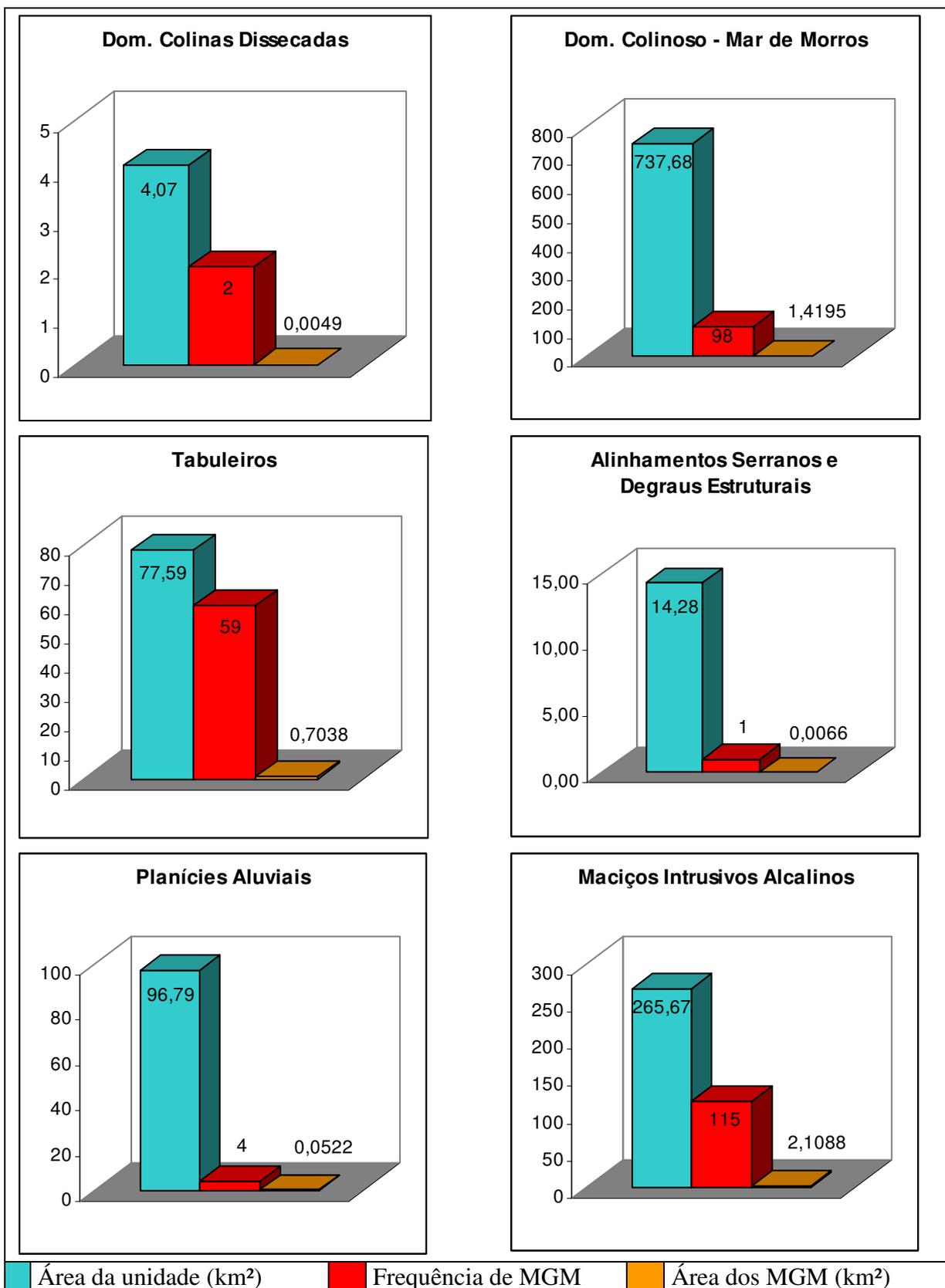


Figura 94 - Estatística dos MGM na geomorfologia.

10.5.6 Pedologia

As unidades de solo foram obtidas por meio de dados da EMBRAPA, disponibilizados pelo PNI. Por meio de operações entre tabelas foi possível obter a estatística de MGM sobre as unidades de solo, gerando os resultados da Tabela 29.

Tabela 29 - Estatística de MGM na pedologia.

Unidades	Área (km ²)	Frequência MGM	Área MGM (km ²)	Área (%)	Frequência (%)	Área MGM (%)
Urbano	0,30	2	0,0307	0,16%	1,14%	1,48%
PVa1	22,96	43	0,7662	12,37%	24,43%	36,90%
PVa2	54,43	49	0,3742	29,32%	27,84%	18,02%
PVa5	26,62	7	0,1343	14,34%	3,98%	6,47%
Ce	7,14	1	0,0335	3,85%	0,57%	1,61%
LAA2	74,21	74	0,7373	39,97%	42,05%	35,51%
LVA13	258,21	104	1,9207	139,06%	59,09%	92,51%
Ca6	70,29	16	0,6107	37,86%	9,09%	29,41%
TOTAL	185,68	176	2,08	100%	100%	100%

O mapa pedológico com as cicatrizes de MGM pode ser visto na Figura 95.

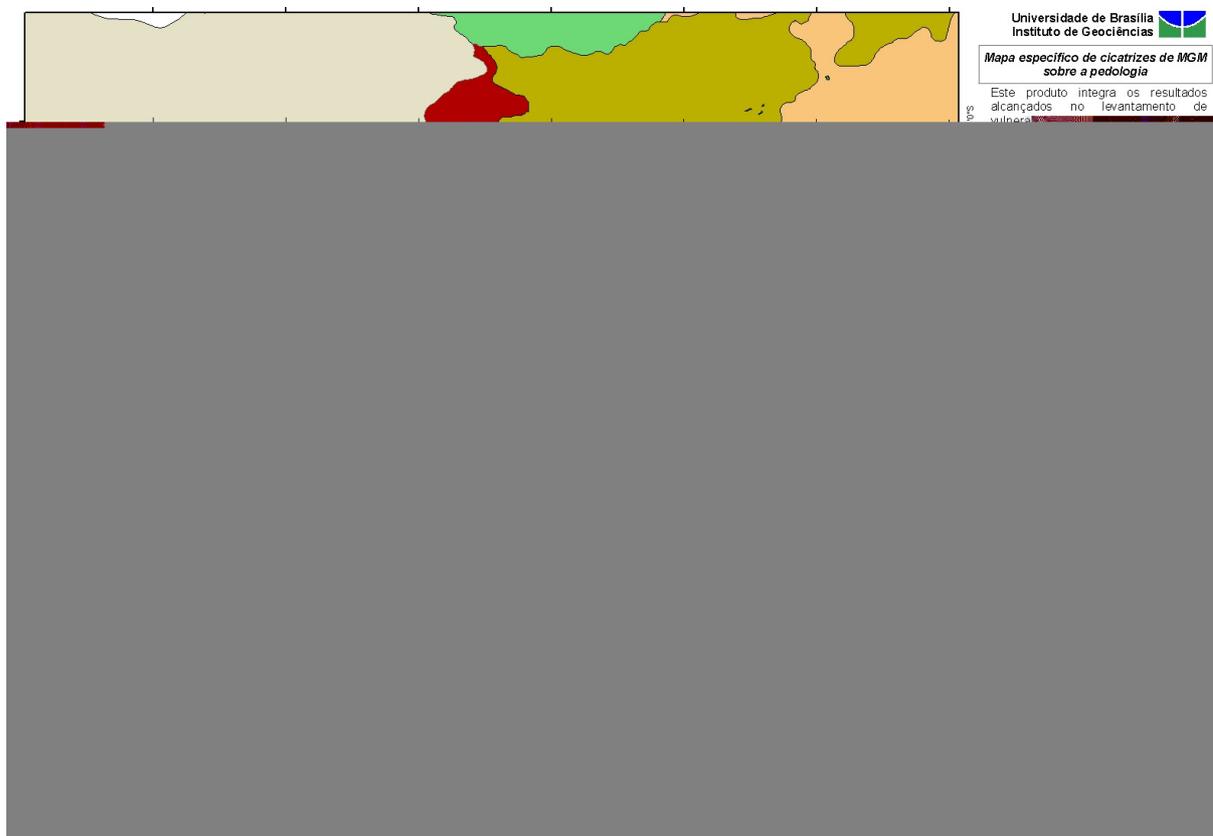


Figura 95 - Mapa de cicatrizes de MGM sobre a pedologia.

Na Figura 96 e na Figura 97 constam os resultados estatísticos observados.

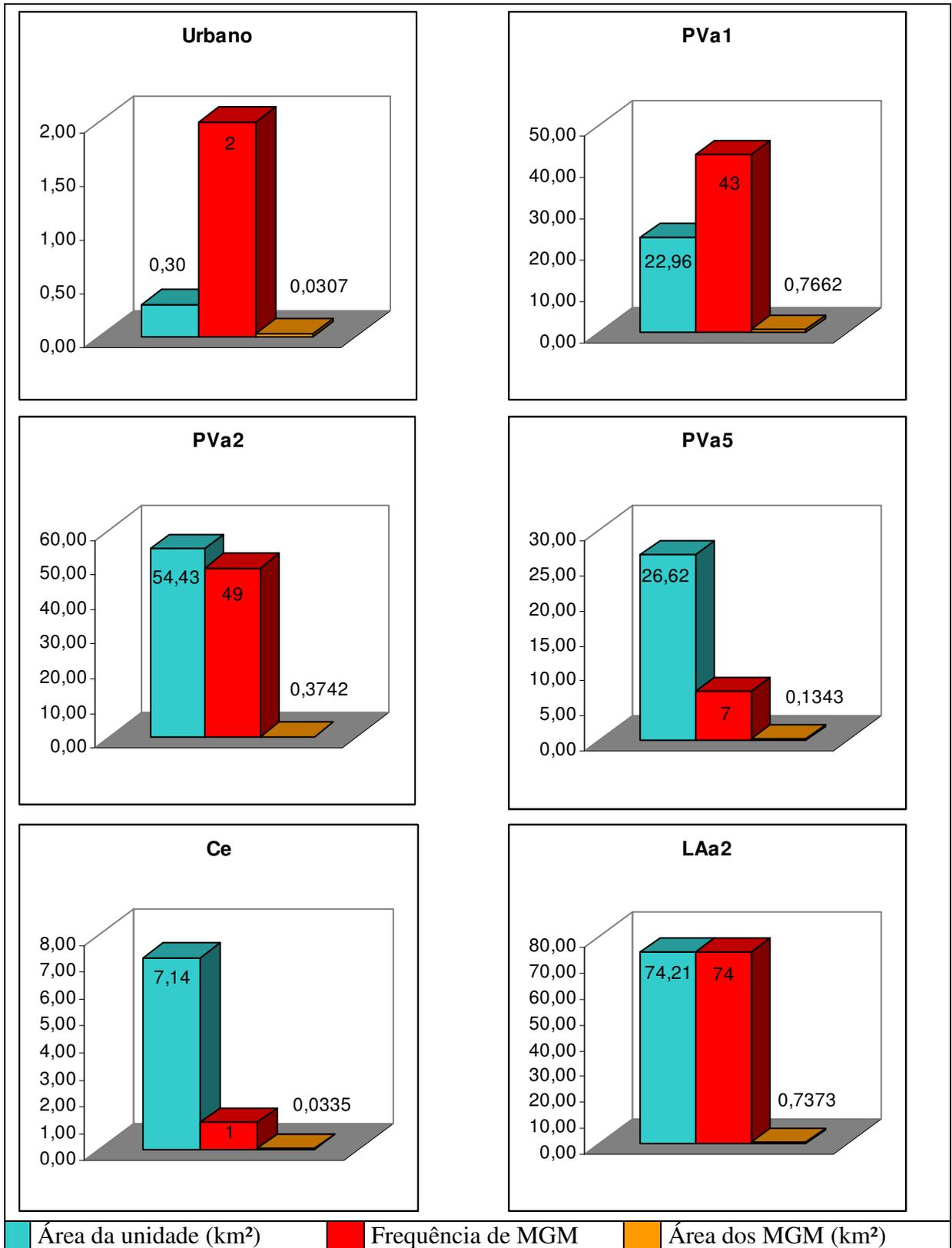


Figura 96 - Estatística dos MGM na pedologia.

As nomenclaturas de solos são padronizações adotadas pela EMBRAPA.

A classe PVa2 apresentou uma quantidade elevada de MGM, quase atingindo o valor de um movimento por km², mas com uma pequena área movimentada (0,37 km²).

A classe que mais chama atenção é a PVa1, que apresentou uma distribuição de quase dois MGM por km², com 43 ocorrências. Esta região corresponde à área no talus que será cortado para a passagem do TAV. Está na região do sopé do Pico do Itatiaia.

As classes PVa5 e Ce apresentaram valores pequenos de incidências em relação às suas áreas. PVa 5 está numa região onde predominam as formações de granito, com baixa incidência de MGM. Ce localiza-se nas áreas de planície junto ao talvegue do rio, com poucas elevações.

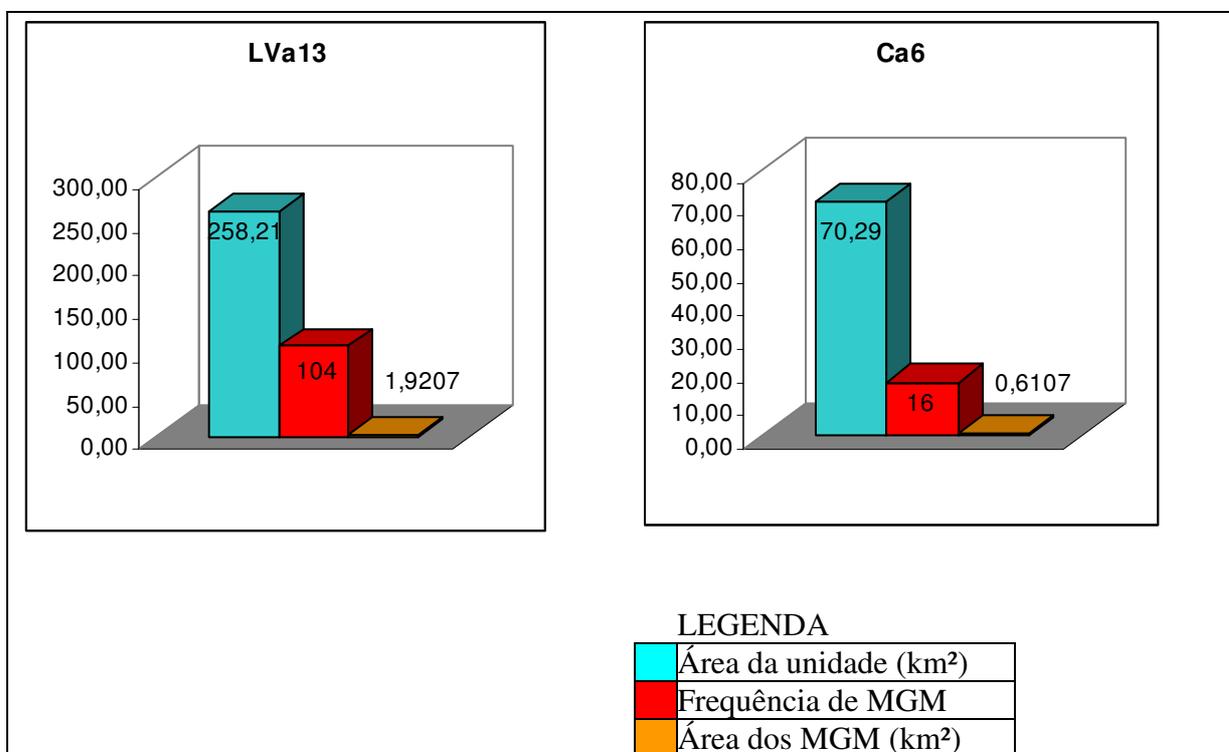


Figura 97 - Estatística dos MGM na pedologia (continuação).

Apesar de a área urbana ser muito pequena observa-se que foram registradas duas ocorrências de MGM na classe.

A classe de solo LVa13 foi a que apresentou o maior número de ocorrências (104), porém é a maior área de solo na região, com 258,21 km².

A classe LAa2 apresentou o segundo maior valor de ocorrências, mas com uma densidade alta para a sua área de solo, chegando a praticamente uma ocorrência por km². Isso na realidade não ocorre pelo fato das movimentações se concentrarem em algumas regiões do mapa. A quantidade de área movimentada foi menos de 1 km².

Ca6 apresenta uma quantidade pequena de ocorrências (16 casos) por estar em cotas onde a existência de rochas alcalinas é mais marcante.

Lva13 teve o registro de 104 ocorrências. Esse tipo de solo está localizado em áreas de transição de solos deposicionais e formações de rochas alcalinas. Apesar de sua área não ser pequena, 258 km², as incidências de MGM podem ser vistas predominantemente no lado oeste da área avaliada.

10.5.7 MGM na área do *buffer* de 2 km

A área do *buffer* de 2 km teve as unidades geológico geotécnicas (GG) definidas pelo trabalho de campo da CPRM em março de 2009. As unidades que compõem o trecho 4 do traçado são: aluviões, tálus, colúvio e matacões, colúvio aluvionar, solo residual e colúvio. Ao sobrepor as áreas afetadas por MGM no mapa de unidades geológico-geotécnicas, conforme Figura 98, foi possível levantar as unidades que sofreram maior quantidade de MGM.



Figura 98 – Mapa de cicatrizes de MGM sobre as unidades GG do trecho 4.

Extraiu-se do mapa a estatística de MGM em cada unidade conforme Tabela 30.

Tabela 30 - Estatística de MGM nas unidades GG do traçado do TAV.

Unid_GG	Área (km ²)	Frequência MGM	Área MGM (km ²)	Área (%)	Frequência (%)	Área MGM (%)
Tálus	5,12	35	0,31	14,62%	41,18%	28,75%
Colúvio e Matacões	9,01	9	0,14	25,74%	10,59%	12,98%
Colúvio	20,66	36	0,44	59,01%	42,35%	40,54%
Solo Residual	0,22	5	0,19	0,63%	5,88%	17,73%
Aluvião	0	0	0	0,00%	0,00%	0,00%
Colúvio Aluvionar	0	0	0	0,00%	0,00%	0,00%
TOTAL	35,01	85	1,08	100%	100%	100%

Conhecer as características geológico geotécnicas da região é um passo importante segundo Irigaray e Chacón (2003), Lázaro e Moura (2004), JTC-1 (2008) e Melo (2010).

O comportamento das unidades que apresentaram algum tipo de movimentação de massa está demonstrado nos gráficos da Figura 99.

Na área de *buffer* de 2 km não foram encontradas ocorrências de MGM nas unidades aluvião e colúvio aluvionar.

A região compreendida pela unidade tálus, dentro do *buffer* de 2 km, foi a que apresentou a segunda maior quantidade de ocorrências de MGM (35), ficando atrás apenas da unidade de colúvio. Nota-se que esta não é a unidade com maior área, o que denota uma alta potencialidade de incidência de MGM no tálus. Esta unidade compreende a parte do sopé a ser cortado para a passagem do TAV, segundo o traçado proposto.

Apesar da unidade colúvio ter sofrido o maior número de incidências de MGM ela possui a maior área no trecho, o que traz a ideia de movimentos mais distribuídos pela sua região. Entretanto, trata-se de uma unidade com elevado potencial de ocorrência de movimentos de massa.

A área de colúvio e matacões apresentou uma quantidade elevada de ocorrências em relação a sua área, ficando em quase um MGM por km². Nota-se também que a área dos movimentos foi próximo da metade das áreas movimentadas na unidade tálus, que foi a segunda maior quantidade de incidências.

Já nos colúvios, apesar de apresentarem 36 ocorrências, a maior quantidade por unidade, a área da unidade no trecho é a maior, indicando que existem muitos setores da unidade que não foram atingidos.

Os solos residuais, apesar de pouco representativo na área total (0,63%), apresentaram elevado grau de incidência de MGM, cinco ocorrências em 0,22 km². A sua área movimentada superou a de colúvios e matacões, conferindo movimentos em área que quase

igual a o valor da área da unidade. Para esta unidade seria propício aumentar a área de análise, pois a sua área avaliada é pequena em relação às outras.

O solo residual apresentou assim a característica de ser a unidade mais propícia ao surgimento de MGM, sendo seguido pela unidade tálus.

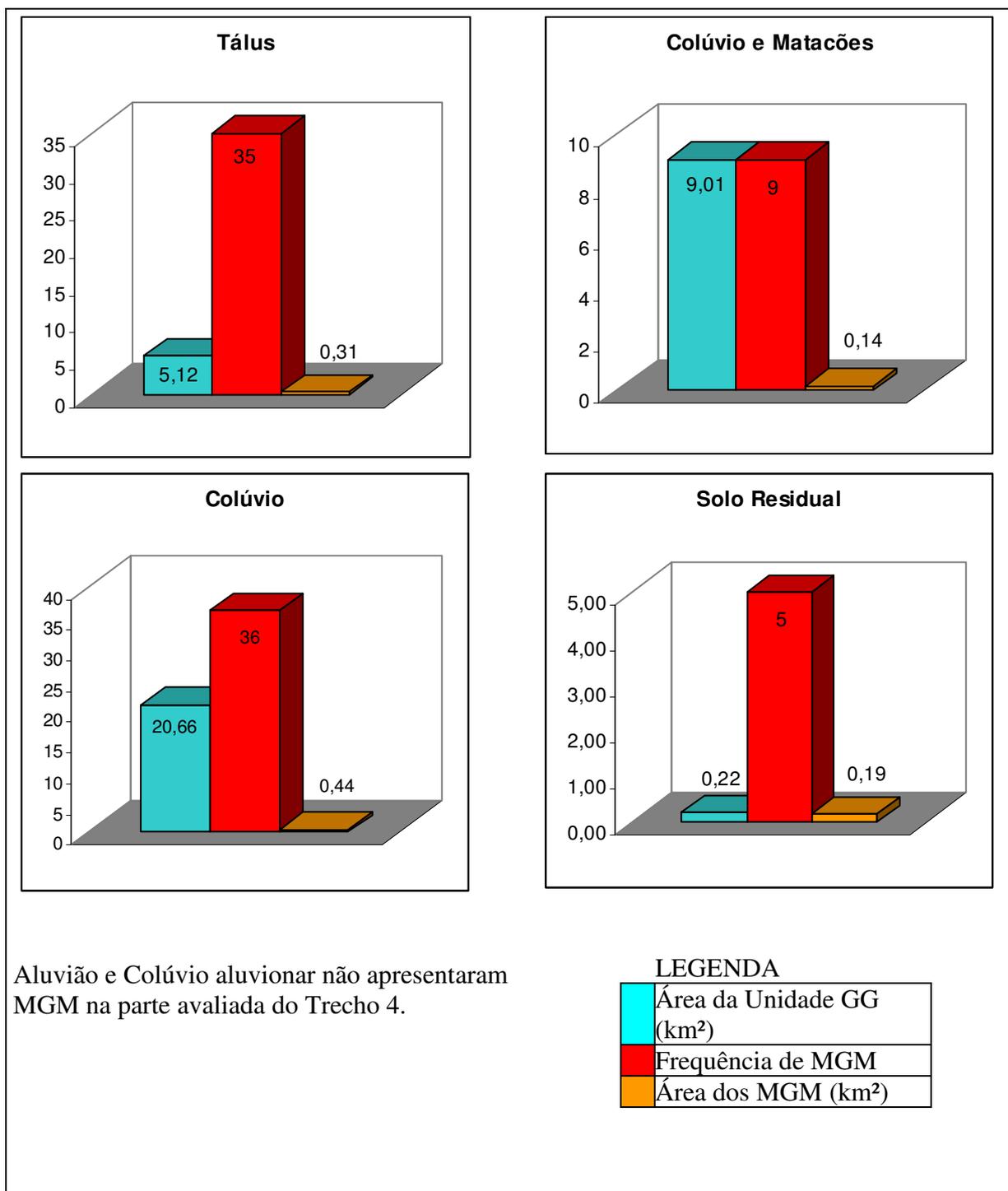


Figura 99 - MGM nas unidades GG do *buffer* de 2 km do traçado do TAV.

O tálus localiza-se no sopé da elevação do Pico do Itatiaia que será cortada para a passagem da ferrovia. JICA (2002) afirma que este tipo de análise pode indicar as áreas mais prováveis de sofrerem novas ocorrências de MGM. Guzzetti *et al.* (2005) e Corominas e Moya (2008) relatam que eventos repetitivos podem ocorrer em regiões atingidas por deslizamentos, devido à reativação de movimentos remotos.

10.6 Mapa de Perigo

De posse dos dados avaliados foi realizada uma álgebra de mapas entre as feições de hipsometria, litologia, uso e cobertura, geomorfologia e pedologia para a geração de áreas de perigo de MGM na região de passagem do traçado do TAV, tal procedimento é realizado com os arquivos no formato matricial. Para essa operação fez-se a distribuição dos pesos entre as feições e entre as classes que compõem as feições. O resultado fornece um mapa temático com as áreas da região avaliada classificadas quanto ao perigo de ocorrência de MGM.

10.6.1 Distribuição dos pesos

A Tabela 31 traz a distribuição dos pesos que foi inserida na ferramenta *Weighted Overlay* do ícone *Toolbox* do *Software ArcGis 9.3*. Os campos referentes à massa d'água foram classificados como "NODATA" para não interferirem na álgebra da geração do mapa descrita no capítulo de métodos.

Os valores dos pesos nas classes foram obtidos pela razão entre porcentagem de ocorrência (frequência) e porcentagem de área movimentada, e nos temas foram divididos em pesos iguais (PIMENTEL, 2010).

Tabela 31 - Distribuição dos pesos das classes e das feições.

	% Ocorrência	% de área de MGM	Razão	Peso %	Peso ArcGis
LITOLOGIA				20	
Rochas Alcalinas	4,89%	0,39%	12,53846	1,3	3
Granitóides	0,38%	0,01%	38	3,8	9
Granitos	0,75%	0,10%	7,5	0,8	2
Gnaisses	30,08%	2,04%	14,7451	1,5	4
Depósito Sedimentar	63,91%	2,26%	28,27876	2,8	7
HIPSOMETRIA				20	
1750-2650	0,00%	0,00%	NODATA	0	1
1250-1750	0,00%	0,00%	NODATA	0	1

750-1250	2,00%	9,00%	0,222222	0,2	1
500-750	39,00%	51,00%	0,764706	0,8	2
380-500	59,00%	40,00%	1,475	1,5	4
USO E COBERTURA				20	
Pecuária	60,35%	50,72%	1,189866	1,2	3
Floresta Estacional Semidecidual	5,83%	5,72%	1,019231	1,0	2
Floresta Ombrófila Densa	21,87%	33,68%	0,649347	0,7	2
Florestamento / Reflorestamento	0,58%	0,65%	0,892308	0,9	2
Agricultura	0,87%	0,97%	0,896907	0,9	2
Influência Urbana	4,37%	3,64%	1,200549	1,2	3
Savana Florestada	2,62%	1,48%	1,77027	1,8	5
Vegetação Secundária Inicial	3,50%	3,14%	1,11465	1,1	3
GEOMORFOLOGIA				20	
Domínio de Colinas Dissecadas	72,00%	0,11%	654,5455	6,6	9
Domínio Colinoso - Mar de Morros	35,13%	33,04%	1,063257	1,1	3
Tabuleiros	21,15%	16,38%	1,291209	1,3	3
Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais	0,36%	0,15%	2,4	2,4	6
Planícies Aluviais	1,43%	1,22%	1,172131	1,2	3
Maçãos Intrusivos Alcalinos	41,22%	49,09%	0,839682	0,8	2
PEDOLOGIA				20	
Urbano	1,14%	1,48%	0,77027	0,8	2
PVa1	24,43%	36,90%	0,66206	0,7	2
PVa2	27,84%	18,02%	1,54495	1,6	4
PVa5	3,98%	6,47%	0,615147	0,6	1
Ce	0,57%	1,61%	0,354037	0,4	1
LAa2	42,05%	35,51%	1,184173	1,2	3
LVa13	59,09%	92,51%	0,638742	0,6	1
Ca6	9,09%	29,41%	0,309079	0,3	1

10.6.2 Mapa de perigo da área

O mapa gerado pode ser visualizado na Figura 100 e consta no Apêndice C.



Figura 100 - Mapa de Perigo da área. Resultado da álgebra de mapas pelo comando *weighted overlay*. (Apêndice C).

O traçado proposto para o TAV passa pelo trecho que foi demarcado como alta suscetibilidade de perigo de ocorrer movimentos de massa. É possível perceber que a área preenchida com material sedimentar aluvionar, na região da calha maior do rio apresenta baixa suscetibilidade, isso se deve em função da pequena ou quase nenhuma presença de elevações nesta região. Ainda na região baixa do vale observa-se que boa parte é preenchida pelo sedimento colúvio-tálus, proveniente das elevações.

10.6.3 Mapa de perigo no *buffer* de 2 km

Considerando os arquivos gerados para o mapa anterior da região, mais o arquivo de classes geológico geotécnicas dentro do *buffer* de 2 km, foi feita uma álgebra de mapas, utilizando as seis feições. Os pesos foram redistribuídos entre as feições, porém nas classes permaneceram os mesmos utilizados na operação anterior. A classe de unidades GG recebeu peso de 15% e as outras classes 17% cada uma. Isso se deve ao fato do ArcGis permitir apenas que valores inteiros sejam inseridos na divisão dos pesos das classes na função utilizada. Sendo assim, a Tabela 32 apresenta os pesos para as classes que compõem a categoria de unidades GG e que foram inseridos no comando *weighted overlay*.

Tabela 32 - Distribuição dos pesos das classes nas unidades GG.

	% Ocorrência	% de área de MGM	Razão	Peso %	Peso ArcGis
UNID. GG				15	
Tálus	41,18%	28,75%	1,432348	1,4	4
Colúvio e Matacões	10,59%	12,98%	0,815871	0,8	2
Colúvio	42,35%	40,54%	1,044647	1,1	3
Solo Residual	5,88%	17,73%	0,331641	0,3	1
Aluvião	0,00%	0,00%	NODATA	NODATA	1
Colúvio Aluvionar	0,00%	0,00%	NODATA	NODATA	1

O resultado foi o mapa de perigo dentro do *buffer* de 2 km, visto na Figura 101.

Da mesma forma que no mapa de perigo da área, nota-se que a área de alta suscetibilidade de ocorrer MGM abrange boa parte do traçado no *buffer* de 2 km.

Em função da área de resposta da operação de álgebra de mapas ser menor, o resultado apresentado pelo *software* ArcGis 9.3 permitiu classificar apenas em três níveis de perigo, diferente do mapa da área que permitiu classificar em cinco níveis.

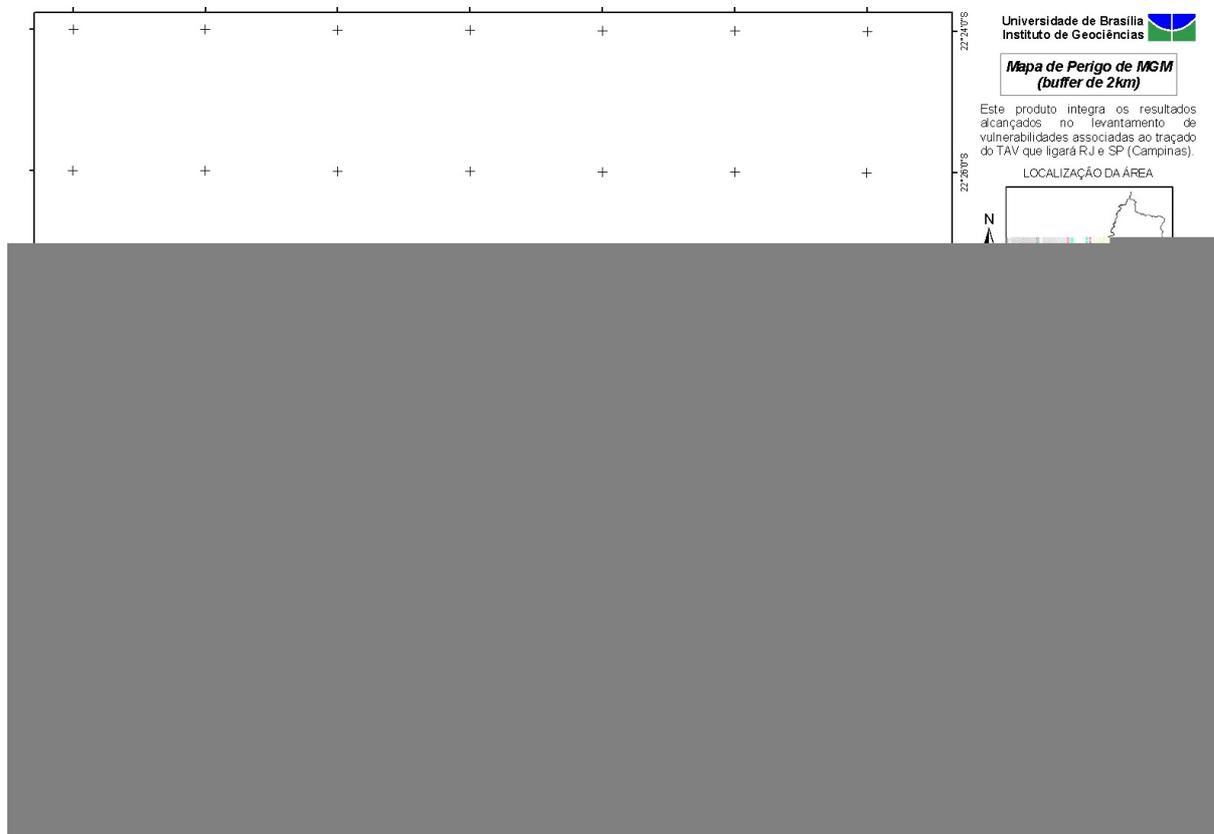


Figura 101 - Mapa de perigo no *buffer* de 2 km. Resultado da álgebra de mapas. (Apêndice C).

10.7 Validação da Análise

Foram submetidos a testes estatísticos os dados referentes às quantidades de ocorrências de MGM em cada tema de terreno, que foi denominado frequência de ocorrência. Esses dados constam na Tabela 33.

Tabela 33 - Dados de ocorrências de MGM nas classes das feições de terreno.

FREQUÊNCIA DE MGM					
	Litologia	Geomorfologia	Hipsometria	Pedologia	Uso e cobertura
	13	2	5	2	207
	1	98	126	43	20
	2	59	191	49	75
	101	1	-	7	2
	1	4	-	1	3
	171	115	-	74	15
	-	-	-	104	9
	-	-	-	16	12
Soma	289	279	322	296	343
Média	48,16667	46,5	107,3333333	37	42,875

Em cada classe dentro dos temas foi registrada a quantidade de cicatrizes de MGM visualizadas por fotointerpretação nas ortofotos fornecidas pelo CENSIPAM.

Verificou-se a igualdade entre as médias das ocorrências nos temas. O valor de significância em todos os testes foi de 5% ($\alpha = 0,05$).

10.7.1 Comparação das médias aritméticas

Cada tema apresentou uma quantidade de ocorrências que gerou um grupo de amostras de dados. Foi efetuado um teste paramétrico, o teste t no intuito de comparar as médias entre as amostras de dados. Esse teste pressupõe que a distribuição das amostras obedece à curva normal de Gauss (MONTGOMERY E RUNGER, 2003). A escolha deste teste se deu pelo fato das variâncias das populações de cada tema ser desconhecida.

Para efetuar o teste foi necessário verificar se as variâncias poderiam ser presumidas como equivalentes ou não, para isso foi feito primeiro um teste F, conforme definido por Witte e Witte (2005), Hines *et al.* (2006) e Levine *et al.* (2008).

Nesse teste é verificado se existem evidências de uma diferença entre as variâncias das populações. Se for evidenciado que existem diferenças entre as variâncias o teste t a ser aplicado é o teste para variâncias separadas, porém caso não existam as evidências o teste será para variâncias agrupadas.

As hipóteses são as seguintes:

H0: as variâncias das amostras são iguais;

H1: as variâncias não são iguais.

A hipótese nula é rejeitada caso a estatística do teste F seja maior que o valor crítico da cauda superior (LEVINE *et al.*, 2008).

Os resultados do teste F sendo duas amostras para variância podem ser vistos no Quadro 11. Os valores destacados (negrito) apontam para resultados de aceitação da hipótese nula, ou seja, as variâncias das amostras são iguais. Os valores não destacados apontam os resultados em que H0 foi rejeitada, ou seja, não existem evidências de que as variâncias entre as amostras sejam iguais nos pares dessas amostras. As tabelas resultantes de cada teste constam no Apêndice A.

Quadro 11 - Resultado do teste F com duas amostras para variância.

Teste F: duas amostras para variância					
	Litologia	Geomorfologia	Hipsometria	Pedologia	Uso e cobertura
Lito					
Geom	F= 1,92 ; Fcrit= 5,05				
Hips	F= 0,57 ; Fcrit= 0,17	F= 0,33 ; Fcrit= 0,19			
Pedo	F= 3,63 ; Fcrit= 3,97	F= 1,88 ; Fcrit= 3,97	F= 6,30 ; Fcrit= 4,73		
U.Cob	F= 1,03 ; Fcrit= 3,93	F= 0,54 ; Fcrit= 0,20	F= 1,80 ; Fcrit= 4,73	F= 0,28 ; Fcrit= 0,26	

Partindo desses resultados, é possível aplicar o teste t para duas amostras com variâncias presumidamente diferentes ou iguais.

As hipóteses são as seguintes:

H0: as médias das amostras são iguais;

H1: as médias não são iguais.

A hipótese nula é rejeitada caso a estatística do teste t seja maior que o valor crítico, conforme Montgomery e Runger (2003), Witte e Witte (2005), Hines *et al.* (2006) e Levine *et al.* (2008). Os valores obtidos constam no Quadro 12.

O diagrama considerado foi o bicaudal. Pelo resultado obtido percebe-se que as médias das ocorrências em cada tema apresentam valores iguais. Os gráficos gerados pelo teste t podem ser vistos no Apêndice B.

Quadro 12 - Resultados do teste t de médias.

Teste t: duas amostras presumindo					
Valores para o teste bicaudal.			variâncias diferentes		
			variâncias iguais		
	Litologia	Geomorfologia	Hipsometria	Pedologia	Uso e cobertura
Lito					
Geom	t = 0,04 ; tcrit= 2,22				
Hips	t= - 0,95 ; tcrit= 3,18	t= - 0,39 ; tcrit= 2,44			
Pedo	t= 0,38 ; tcrit= 2,17	t= 0,39 ; tcrit= 2,17	t= 1,25 ; tcrit= 4,30		
U.Cob	t= 0,14 ; tcrit= 2,17	t= 0,11 ; tcrit= 2,17	t= 1,25 ; tcrit= 2,26	t= - 0,20 ; tcrit= 2,20	

10.7.2 ANOVA de fator único

Trata-se de uma extensão do teste t para a diferença entre duas médias aritméticas. O teste compara as médias aritméticas entre os grupos de temas avaliados.

Foram testadas as médias de quantidades (frequências) de ocorrências de MGM nos temas da Tabela 33. O resultado é apresentado no Quadro 13.

As hipóteses são as seguintes:

H0: as médias das amostras são iguais;

H1: nem todas as médias são iguais.

Quadro 13 - Resultado do teste ANOVA para ocorrências nas classes.

Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Litologia	6	289	48,16666667	5139,366667		
Geomorfologia	6	279	46,5	2671,5		
Hipsometria	3	322	107,3333333	8910,333333		
Pedologia	8	296	37	1414,285714		
Uso e cobertura	8	343	42,875	4947,267857		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	11698,89919	4	2924,724798	0,749885988	0,567081269	2,742595484
Dentro dos grupos	101405,875	26	3900,225962			
Total	113104,7742	30				

Os resultados apontam que o valor de F está na região de aceitação, pois $F < F_{crítico}$, logo a hipótese nula é aceita. O valor $-P$ é maior que o nível de significância escolhido ($0,56 > 0,05$) este é mais um indício que H_0 deve ser aceita (LEVINE *et al.*, 2003).

O resultado aponta que as médias das quantidades de ocorrências nos temas são iguais.

Aplicou-se o teste ANOVA fator único para os dados de média de áreas movimentadas nos temas. Os dados avaliados constam na Tabela 34.

Tabela 34 - Áreas movimentadas por MGM nos temas.

ÁREAS DE MGM (km ²)					
	Litologia	Geomorfologia	Hipsometria	Pedologia	Uso e cobertura
	0,388	0,005	0,478	0,031	2,804
	0,007	1,42	2,859	0,766	0,316
	0,103	0,704	2,231	0,374	1,862
	2,044	0,007	-	0,134	0,036
	0,034	0,052	-	0,034	0,054
	2,29	2,109	-	0,737	0,201
	-	-	-	1,921	0,082
	-	-	-	0,611	0,174
Soma	4,866	4,297	5,568	4,608	5,529
Média	0,811	0,716166667	1,856	0,576	0,691125

Os resultados podem ser vistos no Quadro 14 para as hipóteses:

H_0 : as médias das amostras são iguais;

H_1 : nem todas as médias são iguais.

Quadro 14 - Resultado do teste ANOVA para áreas movimentadas.

Anova: fator único						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Litologia	6	4,866	0,811	1,1276136		
Geomorfologia	6	4,297	0,716166667	0,777061367		
Hipsometria	3	5,568	1,856	1,522759		
Pedologia	8	4,608	0,576	0,385604		
Uso e cobertura	8	5,529	0,691125	1,098528411		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3,88439113	4	0,971097783	1,099779625	0,37760921	2,742595484
Dentro dos grupos	22,95781971	26	0,882993066			
Total	26,84221084	30				

Como $F < F_{\text{crítico}}$ a hipótese nula é aceita. O valor $-P$ sendo maior que o nível de significância indica que H_0 deve ser aceita.

Nos dois testes verificou-se que as médias são iguais dentro dos temas avaliados. As médias das frequências de ocorrências são iguais e as médias das áreas movimentadas também são iguais.

10.8 Proposta de mapa de risco

Após uma operação de interseção, *intersect* na ferramenta *Analysis Tools* do ArcGis 9.3, sem ponderações de pesos, entre o mapa de perigo da área (raster), Figura 100, e o traçado proposto para o TAV (vetor), foi obtido o mapa de risco a movimento gravitacional de massa no traçado. Nesta operação de interseção considera-se o perigo de MGM (mapa de perigo) e o elemento em risco (ferrovia). O resultado pode ser vista na Figura 102 e consta no Apêndice C.

Os elementos ao fundo do traçado, como área do PNI, cidades, curvas de nível, hidrografia e estradas, são apenas para a ilustração da região, pois são vetores que não foram utilizados na álgebra do *software* para a geração do mapa de risco.

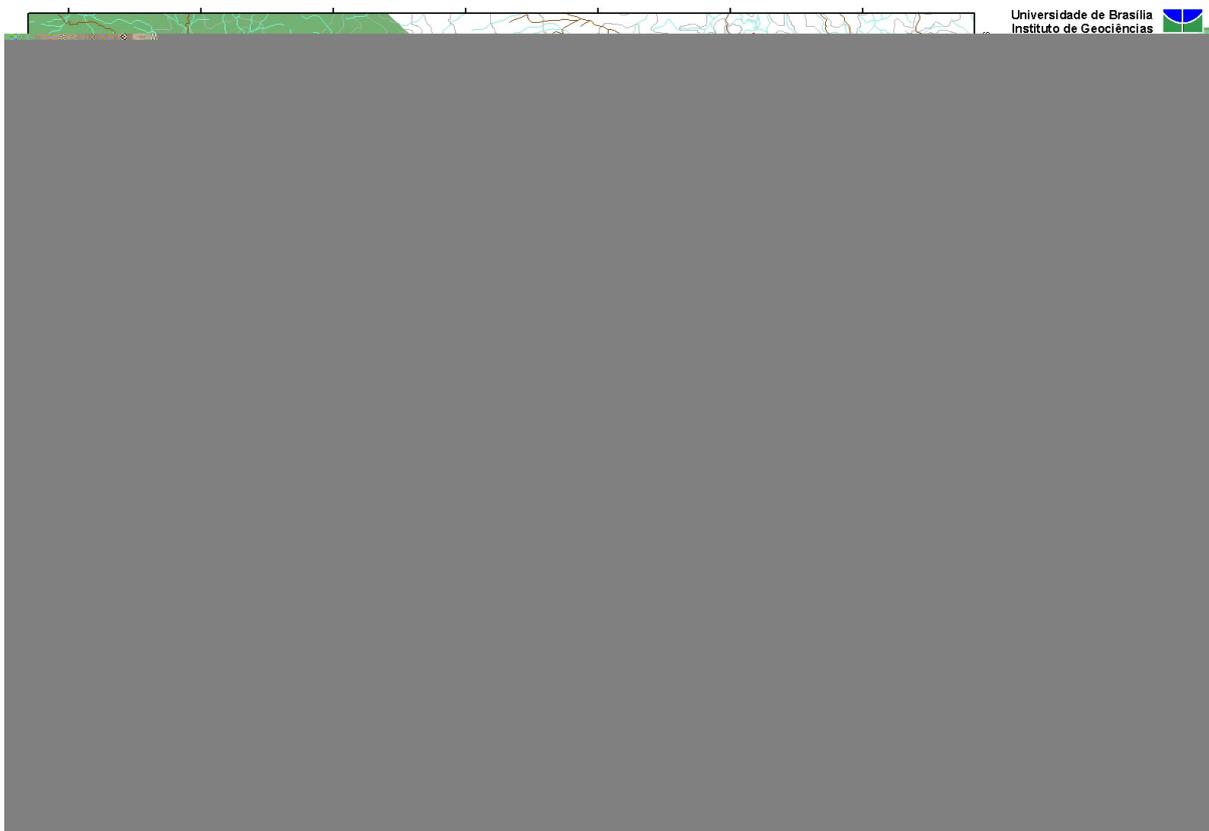


Figura 102 - Mapa de risco a MGM no trecho estudado do traçado do TAV. Resultado da operação *intersect* entre o mapa de perigo e o traçado da ferrovia.

Nota-se que a maior parte do trecho foi classificada como de alto risco a ocorrência de MGM. Junto à cidade de Resende observa-se um trecho com risco baixo, porém na sequência há uma mudança para alto risco. Próximo a Itatiaia e a Engenheiro Passos observam-se dois pequenos trechos de risco médio. No Quadro 15 constam os comprimentos das classes de risco para o trecho 4 na região avaliada, todo o trecho foi classificado.

Quadro 15 - Comprimento das classes de risco no trecho avaliado.

Área do trecho	
Risco	Comprimento (km)
ALTO	33,25
MÉDIO	2,62
BAIXO	1,5

Efetuuou-se então a mesma operação, porém utilizando o mapa de perigo do *buffer* de 2 km em lugar do mapa de perigo da área. O resultado consta na Figura 103 e pode ser visto no Apêndice C.



Figura 103 - Mapa de risco a MGM no *buffer* de 2 km do trecho estudado no traçado do TAV. Resultado da operação *intersect* entre o mapa de perigo do *buffer* de 2 km e o traçado da ferrovia.

Estes mapas configuram uma proposta de mapa de risco com base na metodologia aplicada. É possível notar diferenças em alguns trechos, por exemplo, junto à cidade de Itatiaia, onde, considerando as unidades geológico-geotécnicas, o trecho de risco médio é maior. Observa-se o surgimento de um trecho de risco médio entre Itatiaia e Resende que no mapa sem as unidades geológico-geotécnicas era de risco alto.

Junto a Resende surge um trecho de risco médio que anteriormente estava classificado como risco alto. No Quadro 16 constam os comprimentos das classes de risco para o trecho 4 na região avaliada, todo o trecho foi classificado.

Quadro 16 - Comprimento das classes de risco no buffer de 2 km no trecho avaliado.

Buffer de 2 km	
Risco	Comprimento (km)
ALTO	23,18
MÉDIO	6,09
BAIXO	1,53

Entretanto, os trechos de risco alto continuam sendo a classificação predominante, no trecho avaliado do traçado proposto, para as duas operações de álgebra de mapas.

Os mapas de risco propostos comprovam que existe risco, pois a probabilidade de ocorrer um MGM que atinga a ferrovia existe; neste caso o elemento vulnerável é a ferrovia que está localizada em uma área suscetível a MGM. O risco é real já na fase de construção da ferrovia, que ocupará a região de suscetibilidade a movimentos de massa com canteiros de obra e operários, ambos configuram elementos em risco. Durante a fase de operação da ferrovia existe o risco para os usuários, uma vez que existe a probabilidade de uma composição estar passando no momento exato da ocorrência de um MGM.

Caso o traçado seja alterado é possível efetuar a operação novamente, obtendo-se uma nova classificação de risco.

11 CONCLUSÕES

Em relação à hipótese apresentada nos objetivos deste trabalho ficou claro que existe perigo de ocorrência de movimento gravitacional de massa associado ao corte a ser realizado no depósito de tálus no sopé do Pico do Itatiaia. A presença de diversas áreas de movimentações remotas e recentes são indícios claros de que os terrenos na região estão sujeitos a movimentações.

A utilização de imagens do sensor CCD do CBERS 2B mostrou-se útil na identificação do corpo de tálus no contexto apresentado. Com o auxílio dos filtros direcionais Sobel foi possível visualizar com maior nitidez os sentidos de escoamento preferenciais de águas superficiais na encosta do depósito de tálus. O filtro na direção E-W foi mais eficaz que nas outras direções, mesmo após o processo NDVI, devido ao contexto geomorfológico da área de estudos. Observa-se que a direção preferencial de escoamento, na encosta do depósito de tálus voltada para o trecho de implementação da ferrovia, é quase perpendicular à direção desse filtro. O escoamento superficial traz um risco de movimento gravitacional de massa, uma vez que poderá deslocar o material ali depositado.

Os dados SRTM3 puderam confirmar, após a utilização dos mesmos filtros direcionais, a direção em que o corpo de tálus vem se movimentando ao longo do tempo de sua formação. Além de facilitarem a visualização do depósito de tálus quando recobertos, em um modelo digital de elevação, com as ortofotos que foram geradas pela câmera ADS80 do CENSIPAM, operadas pelo COMGAR.

As imagens de sensoriamento remoto apresentaram uma potencialidade no levantamento de regiões que podem apresentar riscos de movimento gravitacional de massa, uma vez que as direções preferenciais de escoamento superficial podem ser visualizadas com este tipo de dado. O processamento digital de imagens mostrou ser uma ferramenta muito útil no auxílio da indicação da direção preferencial de escoamento superficial. O levantamento de cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa por meio de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução demonstrou ser um método eficaz, pois permitiu que o mapeamento fosse concluído com alto grau de detalhamento.

No mapeamento das cicatrizes de movimentos ocorridos foi possível visualizar que as áreas de incidência de movimentos se distribuem ao longo da base do depósito de tálus. As áreas que se mostraram mais frágeis foram exatamente as mais próximas e dentro do *buffer* de 2 km que foi estabelecido na definição do traçado. Entretanto, áreas próximas com litologias

distintas também apresentaram elevada incidência de movimentos, como as litologias de gnaisses na base das encostas do Pico do Itatiaia.

Constatou-se, como era esperado, que a região apresenta perigo ou suscetibilidade ao surgimento de movimentos gravitacionais de massa, mesmo sem a intervenção de obras de corte nas encostas, trata-se de uma característica natural da região. Essa afirmação foi comprovada por gráficos de ocorrência de MGM nas litologias e geoformas da área avaliada.

A realização de cortes no depósito de tálus, desestabilizando a encosta, confere um risco ao TAV por MGM na região classificada como perigosa, que não pode ser desprezado na realização do empreendimento. Os mapas de risco ao TAV, de atingimento por MGM, gerados nesse trabalho apontam boa parte do trecho avaliado como de alto risco. Sendo assim, a região é suscetível e apresentou perigo alto a ocorrência de MGM. A probabilidade da ocorrência de MGM desde a fase de construção, pondo em risco operários e equipamentos, até a fase de operação, pondo em risco os usuários da ferrovia e a própria via, são reais uma vez que a região apresentou alta suscetibilidade a MGM. O mapeamento detalhado do depósito de tálus faz-se necessário para que não haja prejuízos de vidas e nem econômicos nas benfeitorias existentes e nas futuras.

A obtenção de ortofotos, geradas no aerolevanteamento do 1º/6º Grupo de Aviação do COMGAR com a câmera ADS 80 (CENSIPAM), foi um fator determinante no sucesso deste trabalho. As imagens demonstraram ser de alta qualidade no que diz respeito à resolução espacial, conferindo assim uma real potencialidade de aplicação em outros projetos semelhantes ou de aplicações em análises ambientais. Neste projeto foram obtidas imagens de 40 cm de resolução espacial. Contudo, os processamentos se apresentaram inicialmente demorados em função da imagem gerada possuir 16 *bits* de quantidade de informação por canal RGB da imagem, porém este óbice foi contornado salvando as imagens em 8 *bits* por canal. Como as imagens deveriam ser utilizadas apenas para a interpretação visual no mapeamento das cicatrizes este procedimento não trouxe prejuízo ao processo. Todavia, ficou claro que as fotografias aéreas digitais potencializam a qualidade dos dados gerados por meio de processamento digital de imagens e SIG, confirmando que se trata de um material de grande valor para o sensoriamento remoto.

As áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa foram mapeadas por meio de ferramentas de SIG. Ao final desse processo, foi possível verificar que a distribuição espacial dos pontos de ocorrência não é uniforme na região considerada para análise, uma vez que as ocorrências se distribuíram no sopé da formação do pico do Itatiaia. Porém, os testes estatísticos para verificar igualdade de médias apontaram que as médias de quantidade de

ocorrências e as médias de áreas de terra movimentadas nas classes das feições foram iguais nas feições consideradas.

A metodologia de inventário de cicatrizes para a análise de risco mostrou-se eficiente, pois conseguiu quantificar a existência do risco geológico em forma de gráficos e mapas por meio de fotointerpretação e ferramentas de SIG. Esta metodologia é uma recomendação da JTC-1. Em diversos países há cerca de dez anos, já se vem trabalhando dessa forma, proporcionando maior precisão nas decisões mitigadoras das causas de movimentos gravitacionais de massa ou em medidas preventivas. Isso pode ser comprovado pelos trabalhos de Carrara *et al.* (1999), Barredo *et al.* (2000), Bateira (2001), Corominas *et al.* (2003), Vilaplana *et al.* (2002), Cardinali *et al.* (2002), Ardizzone *et al.* (2002), Ayala-Carcedo *et al.* (2003), Guzzetti *et al.* (2003), Martín-Serrano *et al.* (2004), Guzzetti e Tonelli (2004), Clerici *et al.* (2006), Guzzetti *et al.* (2005), van Westen *et al.* (2008) e Regueiros e González-Barros (2008).

O *software* de SIG utilizado foi o ArcGis 9.3 e as ferramentas principais foram vetorização, *intersect*, *sumarize*, definição de projeções cartográficas, *feature to raster*, *weighted overlay* e edição de *lay-out*. Os temas utilizados foram litologia, geomorfologia, hipsometria, uso e cobertura, pedologia e unidades geológico geotécnicas, esta última apenas no *buffer* de 2km. A ferramenta *sumarize* forneceu os dados para as análises estatísticas, pois trazia as planilhas de saída com resumos de incidências dentro das classes dos temas após o comando *intersect*. A ferramenta *weighted overlay* finalizou a álgebra de mapas após a definição dos pesos entre as feições e nas classes, segundo metodologia de Pimentel (2010), e proporcionou a visualização dos mapas de perigo e risco a MGM na área e no trecho do traçado do TAV.

Movimento gravitacional de massa desse depósito de tálus geraria riscos geológicos já na fase de execução das obras do TAV. Entretanto, mesmo que todas as medidas de segurança para o corte do tálus sejam tomadas, é difícil garantir que o depósito não sofreria movimento algum após a obra concluída. A manutenção da ferrovia neste trecho, impedindo qualquer movimento desta formação após sofrer um corte desestabilizando-a, poderia onerar bastante o seu custo de operação, dependendo das técnicas adotadas para garantir a segurança dos usuários.

A gênese do depósito de tálus não pode ser concluída com os trabalhos desenvolvidos na metodologia adotada. A hipótese de que a área foi gerada pelo depósito de material oriundo da encosta do pico das Agulhas Negras foi a que se apresentou como mais consistente, pois a disposição do leque deposicional e a presença de sedimentos rudáceos e de

matações são fortes indícios. Estudos de sedimentologia na região poderiam comprovar a hipótese de formação do corpo do tálus por deslizamentos, sendo assim uma recomendação de trabalhos futuros.

Inventário de cicatrizes sob uma análise multi temporal e por tipologia de movimento configura outra sugestão para trabalhos futuros, que somariam no conhecimento comportamental da dinâmica superficial das massas de solo dessa região.

Análises sobre raio de alcance de deslizamento e de rastejo das massas movimentadas poderiam auxiliar na prevenção de eventos de MGM durante atividades futuras na obra da via do TAV. Recomenda-se que estudos com esse objetivo sejam realizados para proporcionar maior segurança para o empreendimento.

A metodologia aplicada no trecho 4 poderia ser considerada para os outros trechos, auxiliando os executores do projeto nas fases de estudo e planejamento. Claro que as particularidades de cada trecho demandariam outras informações que não foram consideradas aqui, como por exemplo, a presença de dutos enterrados, o comportamento da água subterrânea, o comportamento geotécnico sob regime de chuvas intensas e prolongadas, entre outras.

As oportunidades que uma obra desta monta traz para o desenvolvimento de metodologias e técnicas de análise são palpáveis e não podem ser desprezadas. Pelo fato desta obra ser a primeira no Brasil, utilizando um veículo moderno de transporte de massa, os aprendizados associados a sua execução podem trazer ganhos elevados de conhecimento a diversas áreas, como geologia, engenharias, geotecnia em especial, sensoriamento remoto, ciências ambientais, gestão e monitoramento de risco, entre outras.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber A. N. 1969a. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. *Rev. Geomorfologia*, **18**:23p
- _____. 1969b. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do nordeste brasileiro. *Rev. Geomorfologia*, **29**, IGEOG-USP – São Paulo.
- _____. 2000. Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil atlântico inter e subtropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. **1**:27-43.
- Abreu A. E. S., Augusto Filho O. 2009. Mapeamento geotécnico para gestão municipal. *Revista Luso-Brasileira de Geotecnia*, Lisboa, **115**: 45-80.
- Almeida F. F. M. de., Carneiro C. D. R. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. *Rev. Brasileira de Geociências*. Vol. 28, **2**:135-150.
- Amaral C. 1992. Cartas de risco de escorregamento em encostas favelizadas do Rio de Janeiro: revisão e estado da arte. *In: 1ª COBRAE – 1ª Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas*, Anais, p. 595-603.
- Amaral F. P., Amaral C. 1991. Fatores que afetam a distribuição dos escorregamentos no Rio de Janeiro: a influência do “Uso e ocupação do solo”. *In: 2º Simpósio de Geologia do Sudeste – SBG/SP-RJ*, Atas, p. 247-254.
- Antenucci J. C., Brown K., Croswell P. L., Kevany M. J. 1991. Geographic information systems: aguide to the technology. New York: Chapman and Hall, 301 pp.
- Arcaya S. G. CH. 2007. Avaliação dos fatores condicionantes dos processos erosivos no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-156/07, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 189 p.
- Ardizzone F., Cardinali M., Carrara A., Guzzetti F., Reichenbach P. 2002. Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. *Rev. Natural Hazards and Earth System Sciences*. **2**:3-14.
- Assis A. P., Diniz N. C., Azevedo A., Pfaltzgraf P., Shinzato E. 2009. Modelos geológico-geomecânicos e seus riscos associados ao longo do traçado do TAV – Etapa III. 54p.
- Augusto Filho O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *In: 1ª Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas*, Anais, p. 721-733.
- Augusto Filho O. 2001. Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 196p.
- Augusto Filho O., Virgili J. C. 2009. Estabilidade de taludes. *In: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds.) Geologia de Engenharia*, 15, ABGE, Oficina de Textos, p.: 243-269.
- Avelino P. H. M. 2004. A trajetória da tecnologia de sistemas de informação geográfica (SIG) na pesquisa geográfica. *Rev. Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros*. **1**:21-37. Disponível em: <http://www.cptl.ufms.br/revista-geo/artig_prof_patricia.pdf> *Acessado em: 22 dez 2011.*

- Ayala-Carcedo F. J., Domínguez M. J., Cubillo Nielsen S., Alvarez A., Laín L., González A., Laín R., Ortiz G. 2003. Mapas de susceptibilidad al alcance por desprendimientos rocosos graníticos. Sistema central español, Sierra de la Cabrera (Madrid), escala 1:5.000. In: F. J. Ayala-Carcedo & J. Corominas (eds.) Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas de SIG, 6, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, p.: 97-117.
- Bahum R. L., Savage W. Z., Godt J. W. 2008. TRIGRS – A fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis, version 2.0: *US Geological Survey Open-file Report.*, **1159**. 75p.
- Barredo J. I., Benavides A., Hervás J., van Westen C. J. 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. V 2, **1**: 9-23.
- Bateira C. V. M. 2001. Movimentos de vertente no NW de Portugal, susceptibilidade geomorfológica e sistemas de informação geográfica. Tese de Doutorado, Faculdade de Letras, Universidade do Porto, 469p.
- Barbosa T. T. A., Cerri L. E. S. 2004. Carta geológico-geotécnica para empreendimentos rodoviários a partir de métodos de investigação de superfície, na escala 1:25.000. In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, Anais, p.:219-227.
- Barros W. T., Geraldine R., Maia H. S., Amaral C., Sobreira F. C. 1992. Favela Santa Marta: uma trajetória em 6 anos, do alto ao baixo risco de acidentes por deslizamentos. In: 2º Simpósio Latinoamericano Sobre Riesgo Geológico Urbano, Anais, p. 23-33.
- Benvenuto C., Cunha M. A. 1992. Escorregamento em talude de aterro sanitário na cidade de São Paulo, Brasil. In: 2º Simpósio Latinoamericano Sobre Riesgo Geológico Urbano, Anais, p. 113-120.
- Bias E. S., Barbosa F. L. R. 2011. Aplicação do modelo linear de mistura espectral para análise dos tipos água no Lago Paranoá, Brasília - DF. In: XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais, p. 760-767.
- Birkeland P. 1984. Application of soils to geomorphological studies. *Soils and geomorphology*, 12, Oxford University Press, p.: 325-352.
- Brabb E. E. 1977. The landslide hazard in the San Francisco bay region. *Rev. Water, Air and Soil Pollution.*, **7**:237-238.
- Braz P. S., Riedel P. S. 2011. Análise entre condicionantes geológicos estruturais rupestres, geográficos e as cicatrizes de escorregamentos nos entornos de Cubatão – SP. In: 13º CBGE. 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais, 9p. CD.
- Brollo M. J., Pressinotti M. M. N., Marchiori-Faria D. G. 2009. Políticas públicas em desastres naturais no Brasil. In: M. M. N. Pressinotti & R. do Amaral (eds.) O Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais, 6, Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo, p.: 33-41.
- Câmara G. 1995. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. Tese de Doutorado. INPE, São José dos Campos, 252p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto/>>. Acessado em: 23 dez 2011.

- Cannon H. S., Boldt M. E., Kean J. W., Laber J. L., Staley D. M. 2010. Relations between rainfall and postfire debris-flow and flood magnitudes for emergency-response planning, San Gabriel mountains, southern California. *US Geological Survey Open-file Report.*, 1039. 31p.
- Caramaz M. L., Higashi R. A. R. 2011. Utilização de técnicas de geoprocessamento através de um SIG para a estimativa de características mecânicas dos solos do município de Florianópolis. *In: XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais*, p. 8849-8856.
- Cardinali M., Reichenbach P., Guzzetti F., Ardizzone F., Antonini G., Galli., Cacciano M., Castellani M., Salvati P. 2002. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Rev. Natural Hazards and Earth System Science.* **2**:57-72.
- Carrara A., Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P. 1999. Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Rev. Natural Hazards.* **20**:117-135.
- Carvalho C. S., Macedo E. S., Ogura A. T. 2007. Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Ministério das Cidades, Brasília. Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT, 2007.
- Cascini L., Fornaro G., Peduto D. 2010. Advanced low- and full – resolution DInSAR map generation for slow-moving landslide analysis at different scales. *Rev. Engineering Geology.*, **112**:29-42.
- Cascini L., Bonnard C., Corominas J., Jibson R., Montero-Olarte J. 2005. Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. *In: O. Hungr, R. Fell, R. Couture & E. Eberhardt (eds.) Landslide Risk Management, Taylor and Francis, Londres*, p.:199-235.
- Castellanos E., van Westen C. J. 2008. Qualitative landslide susceptibility assesment by multicriteria analysis: a casa study from San Antonio del Sur, Guant’anamo, Cuba. *Rev. Geomorphology.* **94**:453-466.
- Celestino T. B., Diniz N. C. 2009. Informática. *In: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds.) Geologia de Engenharia, 14, ABGE, Oficina de Textos*, p.: 227-241.
- Cerri L. E. S., Silva V. C. R., Augusto Filho O. 1995. Considerações sobre a representação cartográfica de riscos geológicos. *Revista IG, São Paulo, Volume especial*: 45-49.
- Cerri L. E. S. & Amaral C.P. Riscos Geológicos. *In: Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, 1998.*
- Cerri L. E. S., Zaine J. E., Silva V. C. R., Silva L. C. R., Néri A. C., Barbosa T. T. A., Paula J. P. L. de, Scarance M. R. A. P., Silva D. M. B. 2004. Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do Município de São Paulo (SP). *In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, Anais*, p.:115-122.
- Christofolletti A. *Geomorfologia*. 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1980. p. 159-176.
- Clerici A., Perego S., Tellini C., Vescovi P. 2006. A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). *Rev. Environmental Geology.*, **50**:941-961.
- Coltrinari L. 1982. Um exemplo de carta geomorfológica de detalhe: a carta do médio vale do Rio Parateí, SP. *Rev. Do Departamento de Geografia da USP*, **1**:55-63.

- Cooke R. V., Doornkamp J. C. Geomorphology in environmental management: a new introduction. 2 ed. – Oxford: Clarendon Press, 1990. 410p.
- Copons R., Vilaplana J. M. 2008. Rockfall susceptibility zoning at a large scale: from geomorphological inventory to preliminary land use planning. *Rev. Engineering Geology*, **102**:142-151.
- Corominas J., Baeza C., Saluela I. 1992. The influence of geometrical slope characteristics and land use on the development of shallow landslides. *In: D. H. Bell (eds.) 6th International Symposium on Landslides, Anais*, p. 919-924.
- Corominas J., Fell R., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Rev. Engineering Geology*, **102**: 85-98.
- Corominas J., Copons R., Vilaplana J. M., Altimir J., Amigo J. 2003. Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the Principality of Andorra. *Rev. Natural Hazards*, **30**:421-435.
- Corominas J. 2003. Predicción temporal de los movimientos de la ladera. *In: F. J. Ayala-Carcedo & J. Corominas (eds.) Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas de SIG, 2*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, p.: 37-53.
- Corominas J, Moya J. 2008. Uma revisão de avaliação da frequência de deslizamentos de terra para fins de zoneamento de risco. *Rev. Geologia de Engenharia*. **102**:193-213.
- Coronado J. A., Diniz N. C. 2005. Proposta metodológica para avaliação de risco por escorregamento na região andina do Eixo Cafeteiro, Quindío, Colômbia. *In: L. E. P. Campos, E. P. Presa, S. C. P. Lima Filho & P. C. Burgos (eds.) IV Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Anais*, p.51-59.
- Coronado J. A. 2006. Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos por meio do uso de sistemas de informações geográficas: aplicação em uma área do Eixo Cafeteiro Colombiano. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 92 p.
- CPRM Serviço Geológico do Brasil. Mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro–2000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>. Acessado em 13 dez 2010.
- CPRM Serviço Geológico do Brasil. Mapeamento geológico-geotécnico e delimitação das áreas de risco geológico ao longo do traçado da via do trem de alta velocidade – TAV – Etapa I. 2009a, 205p.
- CPRM Serviço Geológico do Brasil. Modelos geológico-geomecânicos e seus riscos associados ao longo do traçado do TAV – Etapa III. 2009b, 54p.
- CPRM Serviço Geológico do Brasil. Investigações Geológica-geotécnica – Etapa II. 2009c, 438p.
- CPRM Serviço Geológico do Brasil. Dados de campo, para o projeto do Trem de Alta Velocidade, levantados em 11 de março de 2009d.
- Cruden D. M., Varnes D. J. 1996. Landslide types and processes. *In: A. K. Turner & R. L. Schuster (eds.) Landslides, Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, Special Report 247*, Washington D.C., p.: 36-75.

- Cunha R. P., Machado M. J. M., Moreira A. C. 1990. Análise e solução de deslizamento de terra na favela da Rocinha. *In: 6° CBGE – 6° Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais*, p.387-397.
- Curran P. J., *Principles of remote sensing*. 1 ed. – Longman Scientific & Technical, 1985. 282p.
- Da Silva M. M., Sousa C. J. S., Costa K. S. P. 2011. Modelagem morfométrica e imagens QuickBird aplicadas à susceptibilidade a deslizamentos de encostas no Bairro Coroadinho – São Luis, MA. *In: XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais*, p. 949-956.
- Dahal R. K., Hasegawa S., Yamanaka M., Dhakal S., Bhandary N., Yatabe R. 2009. Comparative analysis of contributing parameters for rainfall-triggered landslides in the Lesser Himalaya of Nepal. *Rev. Environmental Geology.*, **58**:567-586.
- Davis W. M. 1899. The geographical cycle. *The geographical journal*, Vol.14, n° 5, pp 481-504.
- Damião D.P. 2007. Uso de técnicas de análise multivariada para a previsão de desmatamento na Amazônia: o modelo 'AMAZON-PD'. Tese de doutorado Universidade de Brasília, Pós-graduação em desenvolvimento sustentável, Brasília, DF, 128 p.
- Dantas M. E, Armesto R. C. G, Adamy A. 2008. Origem das Paisagens. *In: da Silva C. R. (ed.). Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro*, 3, CPRM, p.: 33-56.
- Dearman W. R. *Engineering Geological Mapping*. Butterworth-Hemerham, UK. Editora Oxford, 1991. 387 p.
- Diniz-Souza N. C. C. 1992. Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguaí: com base na compartimentação por forma de relevo e perfis típicos de alteração. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 207p.
- Diniz N. C. 2009. Relatório Técnico Final para prestação de serviços de consultoria geológico-geotécnica ao Projeto de Trem de Alta Velocidade Rio de Janeiro – São Paulo – Campinas. A Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, 65p.
- _____. 1998. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 297p.
- Fernández D. C. J., Valeriano M. M., Zani H., Andrades Filho C. O. 2011. Algoritmos de fluxo para extração de redes de drenagem por processos automáticos a partir de modelos digitais de elevação. *In: XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais*, p. 5163-5170.
- Fernandes N. F., Amaral C. P. 1996. Movimento de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. *In: A. J. T. Guerra & S. B. da Cunha (eds.) Geomorfologia e meio ambiente*, 3, BCD União de editoras S.A., p.: 123-186.
- Florenzano T. G. (Org.) 2008. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Teresa Gallotti Florenzano, São Paulo, Oficina de Textos, 318 pp.
- Garcia H. A. G. 2004. Avaliação da susceptibilidade aos movimentos de massa usando sistemas de informação geográfica e redes neurais artificiais. Caso de aplicação, Medellín, Colômbia.

- Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 140 p.
- Góis G. L. O poder destrutivo de um vulcão? Projeto Academia e Ciência. 2009.
Disponível em: <http://www.academiadeciencia.org.br/curiosidades/28112009.shtml>. Acessado em 01 de setembro de 2011.
- Gomes G. J. C. 2009. Avaliação do perigo relacionado à queda de blocos em rodovias. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Geotecnia, Escola de Minas, Universidade de Ouro Preto, 138 p.
- Gomes J. M., Velho L. Computação visual: imagens. Rio, SMR, 1995.
- Guimarães R. F., Carvalho Júnior O.A., Gomes R. A. T., Fernandes N. F. 2008. Movimento de massa. *In: Teresa Gallotti Florenzano (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*, 6, Oficina de Textos, p. 159-184
- Gusmão Filho J. A. 2002. Solos transportados pela gravidade. *In: Jaime de Azevedo Gusmão Filho. Solos da formação geológica ao uso na engenharia*, 12, Editora Universitária UFPE, p.:169-175.
- Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P. 1994. The AVI project: a bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy. *Rev. Environmental Management*. **18**:623-633.
- Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Rev. Geomorphology*. **31**:181-216.
- Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., Carrara A. 2000. Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber river basin, Central Italy. *Rev. Environmental Management*. Vol. 25, **3**:247-263.
- Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Ardizzone F., Galli M. 2003. The impact of landslides in the Umbria region, Central Italy. *Rev. Natural hazards and Earth System Science*. **3**:469-486.
- Guzzetti F., Tonelli G. 2004. Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Rev. Natural Hazards and Earth System Sciences*. **4**:213-232.
- Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Galli M., Ardizzone F. 2005. Probabilistic Landslide hazard assessment at the basin scale. *Rev. Geomorphology*. **72**:272-299.
- Hines W. W., Montgomery D. C., Goldsman D. M., Borror C. M. 2006. Probabilidade e estatística na engenharia. Tradução da quarta edição por Vera Regina Lima de Farias e Flores; revisão técnica Ana Maria Lima de Farias Rio de Janeiro, Editora Livro Técnico e Científico, 588 pp.
- Hong Y., Adler R. F. 2007. Towards an early-warning system for global landslides triggered by rainfall and earthquake. *International Journal of Remote Sensing*. **28**:3713-3719.
- Hong Y., Adler R. F., Negri A., Huffman G. J. 2007. Flood and landslide applications of near real-time satellite rainfall estimation. *Rev. Natural Hazards*. **43**:285-294.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Introdução ao processamento digital de imagens. Manuais técnicos em geociências, nº 9- Rio de Janeiro. 1999, p.:18-68.
- IG-UnB. 2010. Glossário de geologia. Disponível em <http://e-groups.unb.br/ig/glossario/index.html>. Acessado em 30 ago 2010.

- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Fundamentos de geoprocessamento: teórica. 2007. Apostila do Curso de Fundamentos de Geoprocessamento, São José dos Campos, SP.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. 1981. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Vol 1. 94p.
- Infanti Jr N., Fornasari Filho N. 2009. Processos de Dinâmica Superficial. *In: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds.) Geologia de Engenharia*, 9, ABGE, Oficina de Textos, p.: 131-152.
- Irigaray C., Chacón J. 2003. Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G. *In: F. J. Ayala-Carcedo & J. Corominas (eds.) Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas de SIG*, 2, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, p.: 21-36.
- IUGS – Working group on landslide. 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. *Boullletin of the International Association ef Engeneering Geology*. **52**:75-78.
- IUGS – Working group on landslide. 2001. A suggested method for reporting landslide remedial measures. *Boullletin of Engeneering Geology and Environment*. **60**:69-74.
- Jensen J. R. 2009. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Tradução da segunda edição por J.C. N. Epiphanyo (coordenador)...[et al.], 11, São José dos Campos – SP, Editora Parêntese, 598 pp.
- JICA – Japan International Cooperation Agency. 2002. The study on flood control and landslide prevention in the Tegucigalpa metropolitan area of the Republic of Honduras. Japan International Cooperation Agency Interim Report, 148 pp.
- JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engeneering Slopes. 2008. Guidelines for landslides susceptibility, hazard and risk zoning, for land use planning. *Rev. Engeneering Geology*. **103**: 85-98.
- Kozciak S., Fiori A. P. 2004. Caracterização hidrológica e de solos como ferramenta para futura análise de estabilidade de vertentes. *In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, Anais, p.:155-163.
- Lázaro A. A., Moura P. R. M. 2004. Sistemática utilizada na inspeção geológico-geotécnica de dutos da TRANSPETRO e de empresas conveniadas. *In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, Anais, p.:229-235.
- Levine D. M., Stephan D. F., Krehbiel T. C., Berenson M. L. 2008. Estatística teoria e aplicações. Tradução da quinta edição por Teresa Cristina Padilha de Souza, Rio de Janeiro, Editora Livro Técnico e Científico, 752 pp.
- Liu C., Wu C. 2008. Mapping susceptibility of rainfall-triggered shallow landslides using a probabilistic approach. *Rev. Environmental Geology*., **55**:907-915.
- Mantovani F., Soeters R., van Westen C. J. 1996. Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. *Rev. Geomorphology*. **15**:213-225.
- Martín-Serrano A., Salazar A., Nozal F. Suarez A. 2004. Mapa geomorfológico de España a escala 1:50.000: Guía para su elaboración. Instituto Geológico y Minero de España, 128p.

- McKenna J. P., Lidke D. J., Coe J. A. 2008. Landslides mapped from LIDAR imagery, Kitsap County, Washington. *US Geological Survey Open-file Report.*, 1292. 81p.
- Meijerink A. J. M. 1988. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. *ITC Journal*. 1:23-44.
- Melo M. M. 2010. Caracterização e copartimentação geológica e geomecânica de maciço basáltico heterogêneo, aplicados a engenharia. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 160p.
- Mendonça F. B., Diniz N. C., Baptista G. M. M. 2010. Análise da Vulnerabilidade do Terreno em um Trecho de Implantação do Trem de Alta Velocidade entre Rio de Janeiro e São Paulo: Identificação de Tálus por MDE e Imagens CBERS 2B. *In: SERFA 10 - Encontro de Usuários de Sensoriamento Remoto das Forças Armadas, Anais*, p. 16.
- _____. 2011a. Movimento gravitacional de massa associado a um trecho de implantação do trem de alta velocidade entre Rio de Janeiro e São Paulo: identificação de depósito de tálus por meio de imagens CBERS 2B e SRTM. *In: XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais*, p. 7478-7485.
- _____. 2011b. Aplicação de filtros direcionais para a identificação da direção de movimentação de depósito de tálus, utilizando imagens CBERS 2B e dados da missão SRTM em trecho a ser cortado para a passagem da ferrovia do trem de alta velocidade. *In: 13° CBGE – 13° Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Anais*, 7p. CD.
- Metternicht G., Hurni L., Gogu R. 2005. Remote sensing of landslides: an analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Rev: Remote Sensing of Environments*, 98:284-303
- Montgomery D. C., Runger G. C. 2003. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Tradução da segunda edição por Verônica Calado, Rio de Janeiro, Editora Livro Técnico e Científico, 462 pp.
- Moreira M. A., Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 2 ed. – Viçosa. Editora UFV, 2003. 307p.
- Mori M., Golombek S. 1994. Fundações na Serra. *In: F. F. Falconi & A. Negro Jr (eds.) Solos do Litoral de São Paulo*, 5, ABMS – AEAS – ASSECOB, Produtores Associados.: 129-136.
- Nishiyama L. 2004. Cartas geotécnicas e a avaliação de riscos. *In: O. J. Pejon & L. V. Zuquette (eds.) Cartografia geotécnica e geoambiental. Conhecimento do meio físico: Base para a sustentabilidade*, 2, ABGE, Suprema Gráfica Editora, p.: 87.
- Nunes B. A., Ribeiro M. I. C., Almeida V. J., Filho T. N.(coordenadores) 1994.Considerações sobre elaboração de relatórios e mapas. *In: Manual técnico de geomorfologia*, 5, IBGE, p.: 65-69.
- Nunes H. L., Calbete N. O. 2000. Variabilidade pluviométrica no Vale do Paraíba paulista. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais*, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-cfc9695191732667cea358c24ec28827.PDF>>. *Acessado em 23 mar 2011*.
- Pimentel J. 2010. Projeto áreas de risco na região de Angra dos Reis, RJ: modelagem espacial de dados em SIG para a geração de mapa previsional de áreas de risco geológico – Rio de Janeiro

- CPRM – Serviço Geológico do Brasil e KIGAM – *Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources*. 113p.
- Popescu M. E. 1996. From landslide causes to landslide remediation. *Rev. Landslides*, **10**, 75-96.
- Prandini F.L., Guidicini G., Bottura J.A., Ponçano W.L., Santos A.R. (1976). Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica. São Paulo, IPT, Publicação especial, **1074**, 22p.
- Prandini F. L., Carneiro C. D. R., Neto A. G. P., Iwasa O. Y., Ponçano W. L., dos Santos A. R., Oliveira A. M. S., Pedrosa J. A., dos Santos M. C. S. R., Oliveira A. M. S., Pedrosa J. A., dos Santos M. C. S. R. 1980. Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente – Condicionantes do meio físico para o planejamento de ocupação urbana. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT – São Paulo. Escala: 1:20.000.
- Press F., Siever R., Groetzinger J., Jordan T. H. 2006. Dispersão de massa. Para entender a terra, 12, Editora Artmed, p.: 291-302.
- Pressinotti M. M. N., Guedes A. C. M., Fernandes da Silva P. C. 2009. Sistema gerenciador de informações do Instituto Geológico voltado à gestão de risco. *In: M. M. N. Pressinotti & R. do Amaral (eds.) O Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais*, 6, Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo, p.: 33-41.
- Purnell M. F. 1984. Application of FAO framework for land evaluation for conservation and land-use planning in sloping areas; potentials and constraints. *In: Siderius W. (ed). Land evolution for land-use planning and conservation in sloping areas*. Netherlands: ILRI. 40. p. 17-31
- Regueiros M., González-Barros. 2008. Riesgos naturales y planificación territorial. Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España, 2, Gobierno de España, Ministerio de Vivienda, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, p.: 79-95.
- Riedel P. S., Gomes A. R., Ferreira M. V., Lopes E. S. S., Merino E. R. 2008. Utilização de técnica de classificação por regiões para a identificação de cicatrizes de escorregamento na Serra do Mar Paulista. *In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia SINAGEO & II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia*, Anais, p. 188.
- Rodrigues R., Lopes J. A. U. 2009. Rodovias. *In: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds.) Geologia de Engenharia*, 25, ABGE, Oficina de Textos, p.: 419-430.
- Roque W. V. 2006. Mapeamento geoambiental da área urbana de Manaus-AM. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, 162p.
- Ross J. 1992. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. *Rev. Geografia*. São Paulo, IG-USP.
- Ross J. L. S., Moroz I. C. 1997. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo – Laboratório de Geomorfologia – Departamento de Geografia – FFLCH – USP / Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT / FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – Mapas e Relatórios – São Paulo. Escala 1:500.000.
- Safaei M., Omar H., Yousof Z. B. M., Ghiasi V. 2010. Applying Geospatial Technology to Landslide Susceptibility Assessment. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. **15**:677-

696. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2010/Ppr10.054/Ppr10.054.pdf>>. *Acessado em: 03 de dezembro de 2011.*
- Santacana N., Beaza C., Corominas J., De Paz A., Marturià J. 2003. Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales mediante el uso de un sistema de información geográfica. Aplicación a la Población de Lilet (Pirineo Oriental). In: F. J. Ayala-Carcedo & J. Corominas (eds.) Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas de SIG, 4, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, p.: 55-82.
- Santos C. A., Sobreira F. G. 2006. Cartografia geomorfológica como subsídio ao ordenamento territorial das bacias do ribeirão Carioca, córrego do Bação e córrego Carioca, Itabirito, MG. Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/aut/articles/346.pdf>> *Acessado em 7 dez 2011.*
- Schowengerdt R. A. 2007. Sensor models. Remote sensing: models and methods for image processing, 3, Academic Press, p.:75-125.
- Silva A. B. 1999. Sistema de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Editora da UNICAMP, Campinas – SP, 236 pp.
- _____. 1994. Sistemas geo-referenciados de informação: uma introdução. Campinas. UNICAMP. (Apostila do Curso de Especialização).
- Silva J. U. L., Leite W. C. A. 2000. Distribuição do coeficiente de variação da pluviosidade na região “oriental” paulista – Brasil. . In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, p.1-8. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/v-060.pdf>>. *Acessado em: 23 mar 2011.*
- Soeters R., van Westen C. J. 1996. Solpe instability recognition, analysis and zonation. In: A. K. Turner & R. L. Schuster (eds.) Landslides, investigation and mitigation. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington., p.:129-177.
- Souza C. R. G., Mendes R. M., Rossini-Penteado D., Tominaga L. K., Galina M. H., Santoro J., Tavares R., Santos M. L. 2009. Grupos de pesquisa com atuação em desastres naturais. In: M. M. N. Pressinotti & R. do Amaral (eds.) O Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais, 8, Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo, p.: 33-41.
- Takahashi T. 2007. Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures. Editora Taylor & Francis Group, London, UK, 448 pp.
- Terzaghi K. 1950. Mechanisms of landslides. Geological Society of América, Berkley volume, p.: 83-123.
- Tominaga L. K. 2009a. Escorregamentos. In: L. K. Tominaga, J. Santoro & R. Do Amaral (eds.) Desastres Naturais: conhecer para prevenir, 2, Instituto Geológico, São Paulo, p.: 25-38.
- _____. 2009b. Análise e mapeamento de risco. In: L. K. Tominaga, J. Santoro & R. Do Amaral (eds.) Desastres Naturais: conhecer para prevenir, 9, Instituto Geológico, São Paulo, p.: 149-160.
- USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 2011a. Landslide types and processes. Disponível em:

- <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>. Acessado em 07 abr 2011.
- USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 2011b. Data integration is the linking of information in different forms through a GIS. Disponível em: http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/gis_poster/. Acessado em 24 dez 2011.
- van Westen C. J. 2004. Geo-information tools for landslide risk assessment – an overview of recent developments. *In: W. Lacerda, M. Ehrlich, S. Fontoura & S. Sayao (eds.) Landslides, Evaluation & Stabilization. Proceedings of the 9th International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro*, pp.:39-56.
- van Westen C. J., Getahun F. L. 2003. Analyzing the evolution of the Tesina landslide using aerial photographs and digital elevation models. *Rev. Geomorphology.*, **54**:77-89.
- van Westen C. J., Castellanos E., Kuriakose S. L. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Rev.Engineering Geology.*, **102**:112-131.
- Vargas M. 1999. Revisão histórico-conceitual dos escorregamentos da serra do Mar. *Rev. Solos e Rochas.* 1:53-83.
- Varnes D. J. 1978. Slope movement types and process. *In: Schuster R. L. And Krizec R. J. (eds.) Landslides – analysis and control: National Research Council. Washington: National Academy of Sciences*, p.: 11-33.
- _____. 1984. *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*, Paris, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, p.: 10-26.
- Vedovello R. 2009. Resgate histórico da atuação do Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais. *In: M. M. N. Pressinotti & R. do Amaral (eds.) O Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais, 1, Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo*, p.: 1-7.
- Verstappen H. T. *Applied geomorphology*. Amsterdam: El Sevier, 1983. 437p.
- Vilaplana J. M., Pallás R., Guinau M., Falgás E., Alemany X., Muñoz A. 2002. Propuesta para una cartografía de peligrosidad geológica asociada a los movimientos de ladera en el noroeste de Nicaragua. *Rev. Serie Geográfica.*, **10**:109-119.
- Vivaldi D. D., Baptista G. M. M. 2011. Estudo da vegetação das áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do Rio Preto, em sua porção distrital, por meio de imagens CBERS 2B. *In: XV SBSR – XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais*, p. 5679-5685.
- Widartono B., Kerle N. 2007. Geo.....*In: S. Nayak & S. Zlatanova (eds.) Remote sensing and GIS technologies for monitoring and prediction of disasters, 1, Springer-Verlag Berlin Heildeberg, Berlin*, p.:11-24.
- Wieczorek G. F. 1996. Landslide triggering mechanisms. *In: A. K. Turner, & R. L. Schuster (eds.) Landslides: investigation and mitigation. Special Report 247, 4, National Academy Press, Washington.*, p.: 76-90.
- Wieczorek G. F., Eaton L. S., Morgan B. A., Wooten R. M., Morrissey M. 2009. An examination of selected historical rainfall-induced debris-flow events within the central and southern Appalachian Mountains of the eastern United States. US Geological Survey Open-file Report., 1155. 25p.

- Witte R. S., Witte J. S. 2005. Estatística. Tradução da sétima edição por Teresa Cristina Padilha de Souza; revisão técnica Eduardo Benedito Curtolo, Rio de Janeiro, Editora Livro Técnico e Científico, 486 pp.
- Wolle C. M., Carvalho C. S. 1989. Deslizamentos em encostas na serra do Mar - Brasil. *Rev. Solos e Rochas*. V 12, n° único:27-36.
- Wolle C. M., Carvalho C. S. 1994. Taludes naturais. *In*: F. F. Falconi, A. Negro Jr. (eds.) Solos do litoral de São Paulo, Mesa Redonda, ABMS, São Paulo, p.: 179-203.
- Yakushova A. F. 1986. The geological activity of underground waters and its relief-forming function. *In*: Mir Publishers (eds) *Geology with the elements of geomorphology*, 7, Mir Publishers Moscow, URSS, p.: 123-144.
- Yalcin A., Bulut F. 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE – Turkey). *Rev. Natural Hazards*, **41**:201-226.
- Zuidan R. A. van. 1985. Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphology mapping. Netherlands: Smits Publishers.
- Zuquette L. V., Ahrendt A. 2003. Triggering Factors of Landslides in Campos do Jordão City, Brazil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **62**:231-244.
- Zuquette L. V., Pejon O. J., Dantas-Ferreira M., Palma J. B. 2009. Environmental degradation related to mining, urbanization and pollutant sources: Poços de Caldas, Brazil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **68**:317-329.
- Zuquette L. V., Nakazawa V. A. 2009. Carta de geologia de engenharia. *In*: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds.) *Geologia de Engenharia*, 17, ABGE, Oficina de Textos, p.: 284-300.
- Zuquette L. V., Gandolfi N. *Cartografia Geotécnica*. 1 ed. – Oficina de textos, 2004. 190p.

APÊNDICES E ANEXOS.

APÊNDICE A - Resultados dos testes F entre as amostras das feições.

Teste-F: duas amostras para variâncias

	<i>Litologia</i>	<i>Geomorfologia</i>
Média	48,16666667	46,5
Variância	5139,366667	2671,5
Observações	6	6
gl	5	5
F	1,923775657	
P(F<=f) uni-caudal	0,244994044	
F crítico uni-caudal	5,050338814	

	<i>Litologia</i>	<i>Hipsometria</i>
Média	48,16666667	107,3333333
Variância	5139,366667	8910,333333
Observações	6	3
gl	5	2
F	0,576787251	
P(F<=f) uni-caudal	0,267941	
F crítico uni-caudal	0,172827086	

	<i>Litologia</i>	<i>Pedologia</i>
Média	48,16666667	37
Variância	5139,366667	1414,285714
Observações	6	8
gl	5	7
F	3,633895623	
P(F<=f) uni-caudal	0,061169874	
F crítico uni-caudal	3,971521778	

	<i>Litologia</i>	<i>Uso e cobertura</i>
Média	48,16666667	42,875
Variância	5139,366667	4947,267857
Observações	6	8
gl	5	7
F	1,038829272	
P(F<=f) uni-caudal	0,463720463	
F crítico uni-caudal	3,971521778	

	<i>Geomorfologia</i>	<i>Hipsometria</i>
Média	46,5	64,4
Variância	2671,5	7911,3
Observações	6	5
gl	5	4
F	0,337681544	
P(F<=f) uni-caudal	0,132374606	
F crítico uni-caudal	0,192597938	

	<i>Geomorfologia</i>	<i>Pedologia</i>
Média	46,5	37
Variância	2671,5	1414,285714
Observações	6	8
gl	5	7
F	1,888939394	
P(F<=f) uni-caudal	0,214661266	
F crítico uni-caudal	3,971521778	

	<i>Geomorfologia</i>	<i>Uso e cobertura</i>
Média	46,5	42,875
Variância	2671,5	4947,267857
Observações	6	8
gl	5	7
F	0,539995019	
P(F<=f) uni-caudal	0,257809895	
F crítico uni-caudal	0,205091055	

	<i>Hipsometria</i>	<i>Pedologia</i>
Média	107,3333333	37
Variância	8910,333333	1414,285714
Observações	3	8
gl	2	7
F	6,30023569	
P(F<=f) uni-caudal	0,027221392	
F crítico uni-caudal	4,737415793	

	<i>Hipsometria</i>	<i>Uso e cobertura</i>
Média	107,3333333	42,875
Variância	8910,333333	4947,267857
Observações	3	8
gl	2	7
F	1,801061432	
P(F<=f) uni-caudal	0,233866613	
F crítico uni-caudal	4,737415793	

	<i>Pedologia</i>	<i>Uso e cobertura</i>
Média	37	42,875
Variância	1414,285714	4947,267857
Observações	8	8
gl	7	7
F	0,285872072	
P(F<=f) uni-caudal	0,060291587	
F crítico uni-caudal	0,264058109	

APÊNDICE B - Resultados dos testes t.

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes

	<i>Litologia</i>	<i>Geomorfologia</i>
Média	48,16666667	46,5
Variância	5139,366667	2671,5
Observações	6	6
Variância agrupada	3905,433333	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	0,04619285	
P(T<=t) uni-caudal	0,482033003	
t crítico uni-caudal	1,812461505	
P(T<=t) bi-caudal	0,964066006	
t crítico bi-caudal	2,228139238	

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

	<i>Litologia</i>	<i>Hipsometria</i>
Média	48,16666667	107,3333333
Variância	5139,366667	8910,333333
Observações	6	3
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	-0,956459248	
P(T<=t) uni-caudal	0,204700438	
t crítico uni-caudal	2,353363016	
P(T<=t) bi-caudal	0,409400876	
t crítico bi-caudal	3,182449291	

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes

	<i>Litologia</i>	<i>Pedologia</i>
Média	48,16666667	37
Variância	5139,366667	1414,285714
Observações	6	8
Variância agrupada	2966,402778	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	0,379633994	
P(T<=t) uni-caudal	0,355425111	
t crítico uni-caudal	1,782286745	
P(T<=t) bi-caudal	0,710850221	
t crítico bi-caudal	2,178812792	

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes

	<i>Litologia</i>	<i>Uso e cobertura</i>
Média	48,16666667	42,875
Variância	5139,366667	4947,267857
Observações	6	8
Variância agrupada	5027,309028	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	0,138191487	
P(T<=t) uni-caudal	0,446190464	
t crítico uni-caudal	1,782286745	
P(T<=t) bi-caudal	0,892380928	
t crítico bi-caudal	2,178812792	

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

	<i>Geomorfologia</i>	<i>Hipsometria</i>
Média	46,5	64,4
Variância	2671,5	7911,3
Observações	6	5
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,397531483	
P(T<=t) uni-caudal	0,352366244	
t crítico uni-caudal	1,943180905	
P(T<=t) bi-caudal	0,704732488	
t crítico bi-caudal	2,446913641	

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes

	<i>Geomorfologia</i>	<i>Pedologia</i>
Média	46,5	37
Variância	2671,5	1414,285714
Observações	6	8
Variância agrupada	1938,125	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	0,399566725	
P(T<=t) uni-caudal	0,348247994	
t crítico uni-caudal	1,782286745	
P(T<=t) bi-caudal	0,696495987	
t crítico bi-caudal	2,178812792	

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

	<i>Geomorfologia</i>	<i>Uso e cobertura</i>
Média	46,5	42,875
Variância	2671,5	4947,267857
Observações	6	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	12	
Stat t	0,111149345	
P(T<=t) uni-caudal	0,456667677	
t crítico uni-caudal	1,782286745	
P(T<=t) bi-caudal	0,913335353	
t crítico bi-caudal	2,178812792	

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

	<i>Hipsometria</i>	<i>Pedologia</i>
Média	107,3333333	37
Variância	8910,333333	1414,285714
Observações	3	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	2	
Stat t	1,253775989	
P(T<=t) uni-caudal	0,168306462	
t crítico uni-caudal	2,91998731	
P(T<=t) bi-caudal	0,336612923	
t crítico bi-caudal	4,302655725	

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias equivalentes

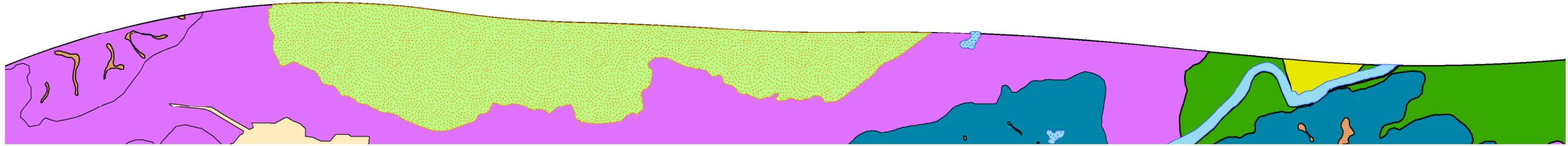
	<i>Hipsometria</i>	<i>Uso e cobertura</i>
Média	107,3333333	42,875
Variância	8910,333333	4947,267857
Observações	3	8
Variância agrupada	5827,949074	
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	1,247183843	
P(T<=t) uni-caudal	0,121903758	
t crítico uni-caudal	1,833113856	
P(T<=t) bi-caudal	0,243807516	
t crítico bi-caudal	2,262158887	

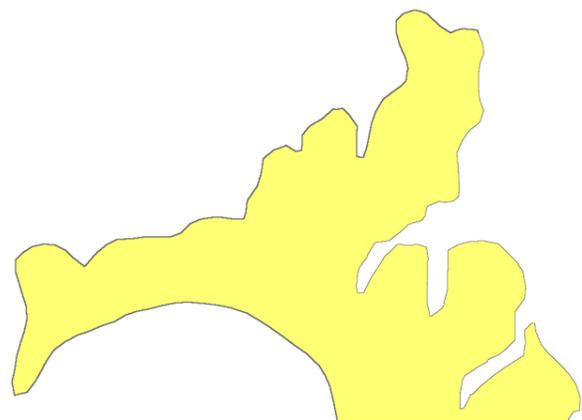
Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

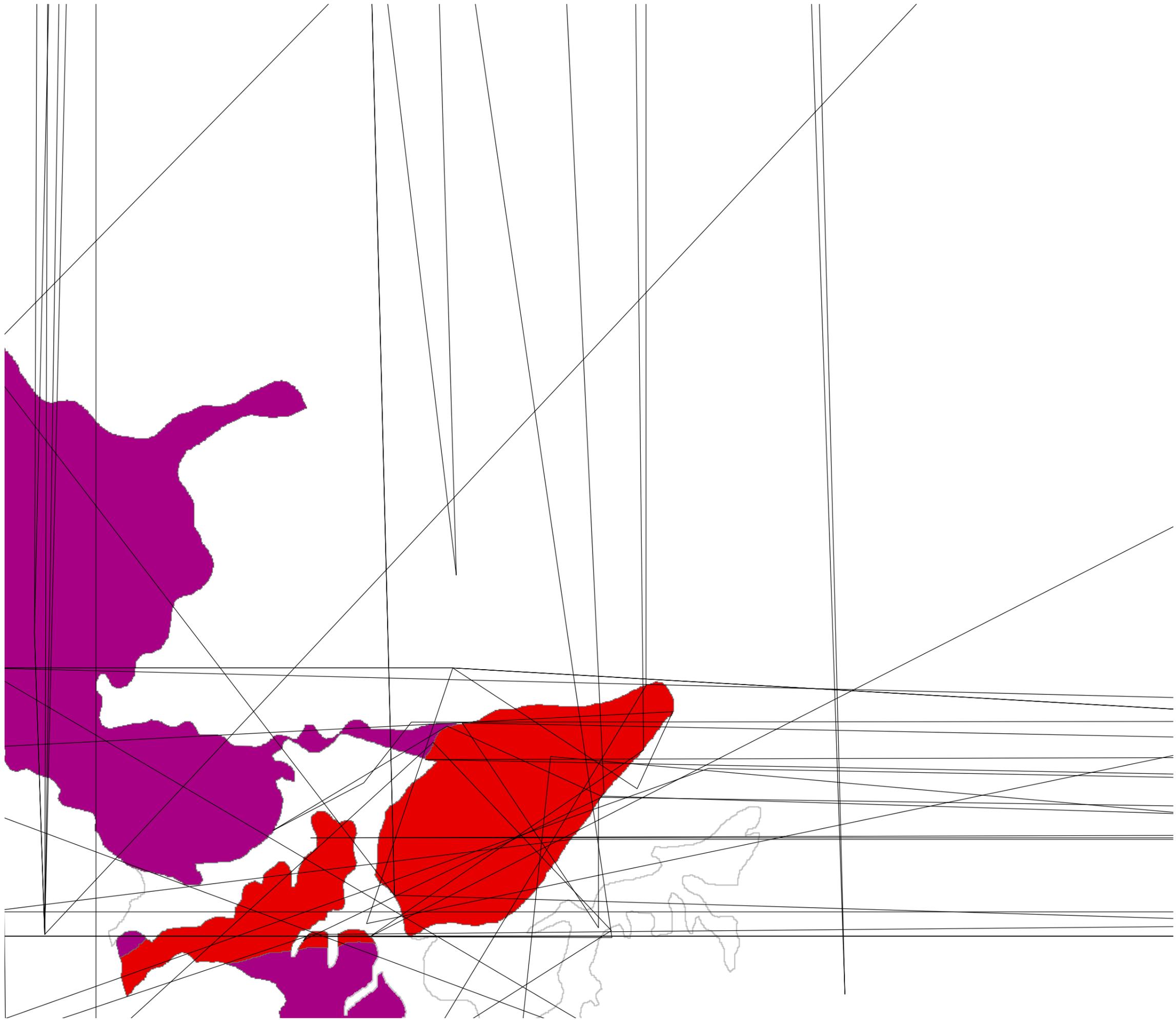
	<i>Pedologia</i>	<i>Uso e cobertura</i>
Média	37	42,875
Variância	1414,285714	4947,267857
Observações	8	8
Hipótese da diferença de média	0	
gl	11	
Stat t	-0,208339333	
P(T<=t) uni-caudal	0,419385736	
t crítico uni-caudal	1,795883691	
P(T<=t) bi-caudal	0,838771472	
t crítico bi-caudal	2,200986273	

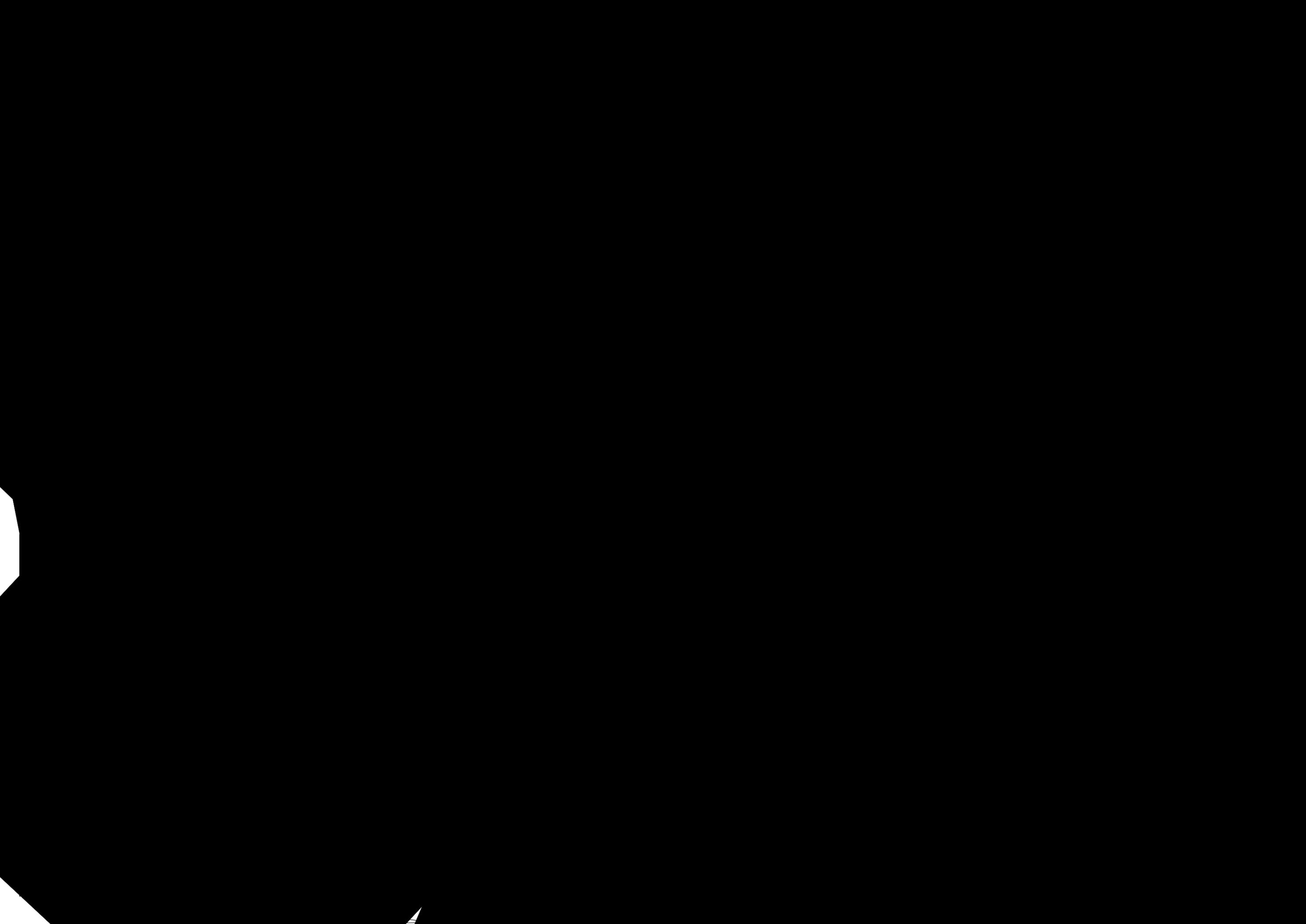
APÊNDICE C – Mapas.

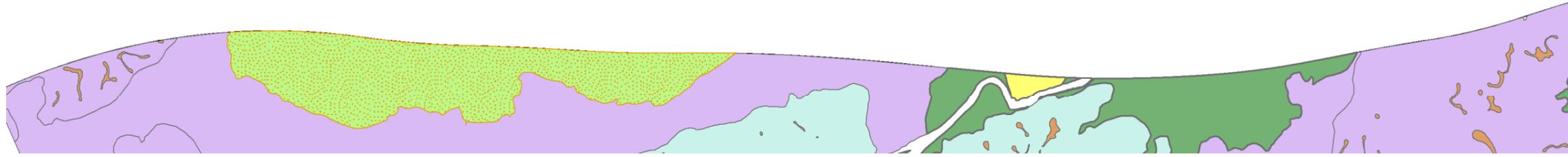
- Mapa de pontos de campo
- Mapa de cicatrizes de MGM com geomorfologia
- Mapa de cicatrizes de MGM com litologia
- Mapa de cicatrizes de MGM com hipsometria
- Mapa de cicatrizes de MGM com pedologia
- Mapa de cicatrizes de MGM com uso e cobertura
- Mapa de cicatrizes de MGM nas unidades GG no *buffer* de 2km do trecho 4
- Mapa de perigo da área
- Mapa de perigo do *buffer* de 2km no trecho 4, considerando as unidades GG
- Mapa de risco a MGM no traçado do TAV
- Mapa de risco a MGM no *buffer* de 2km no trecho 4, considerando as unidades GG





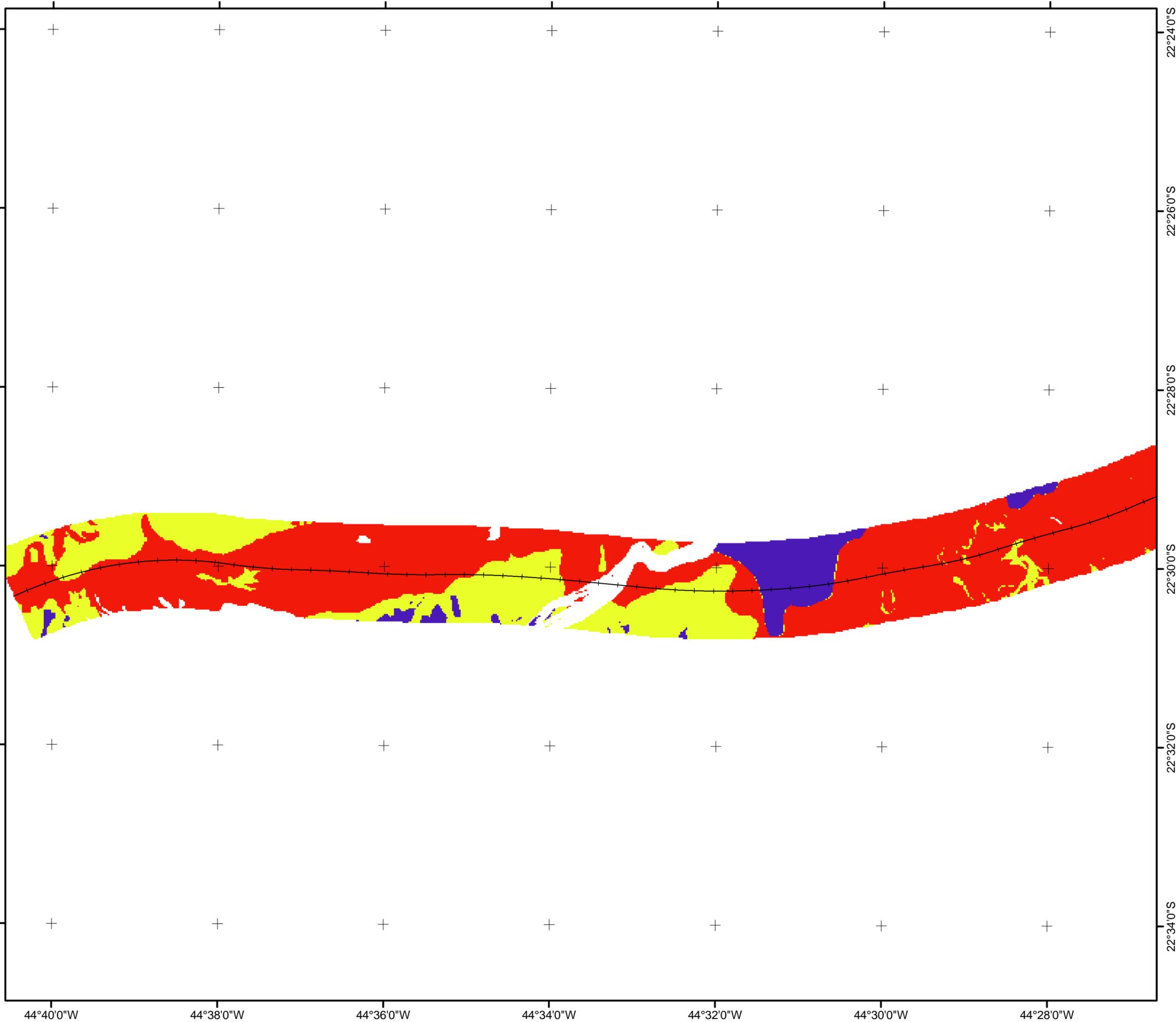


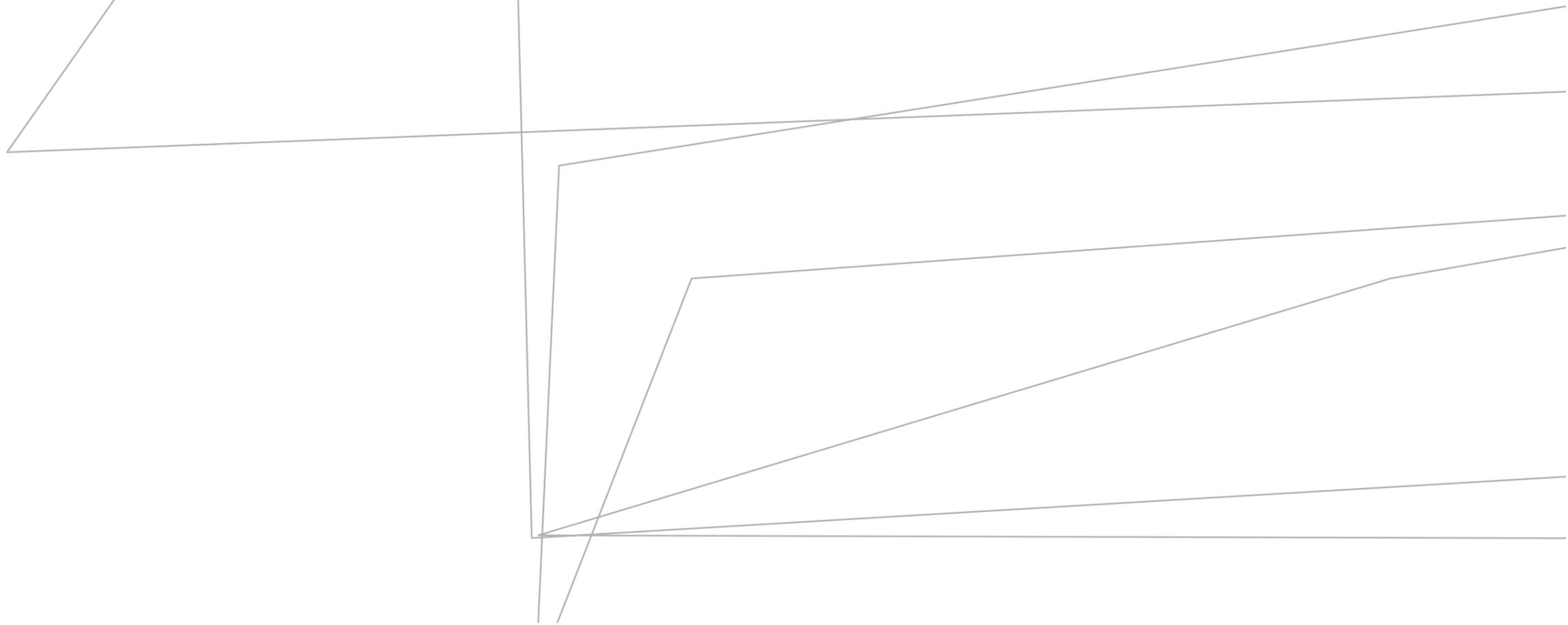
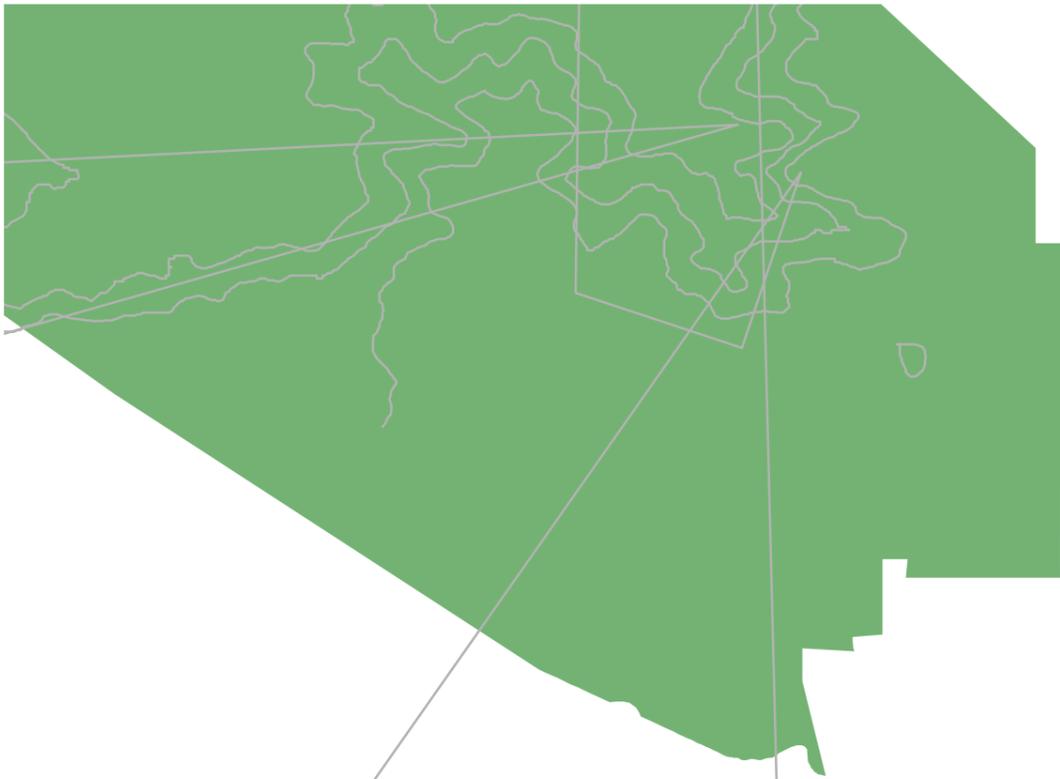


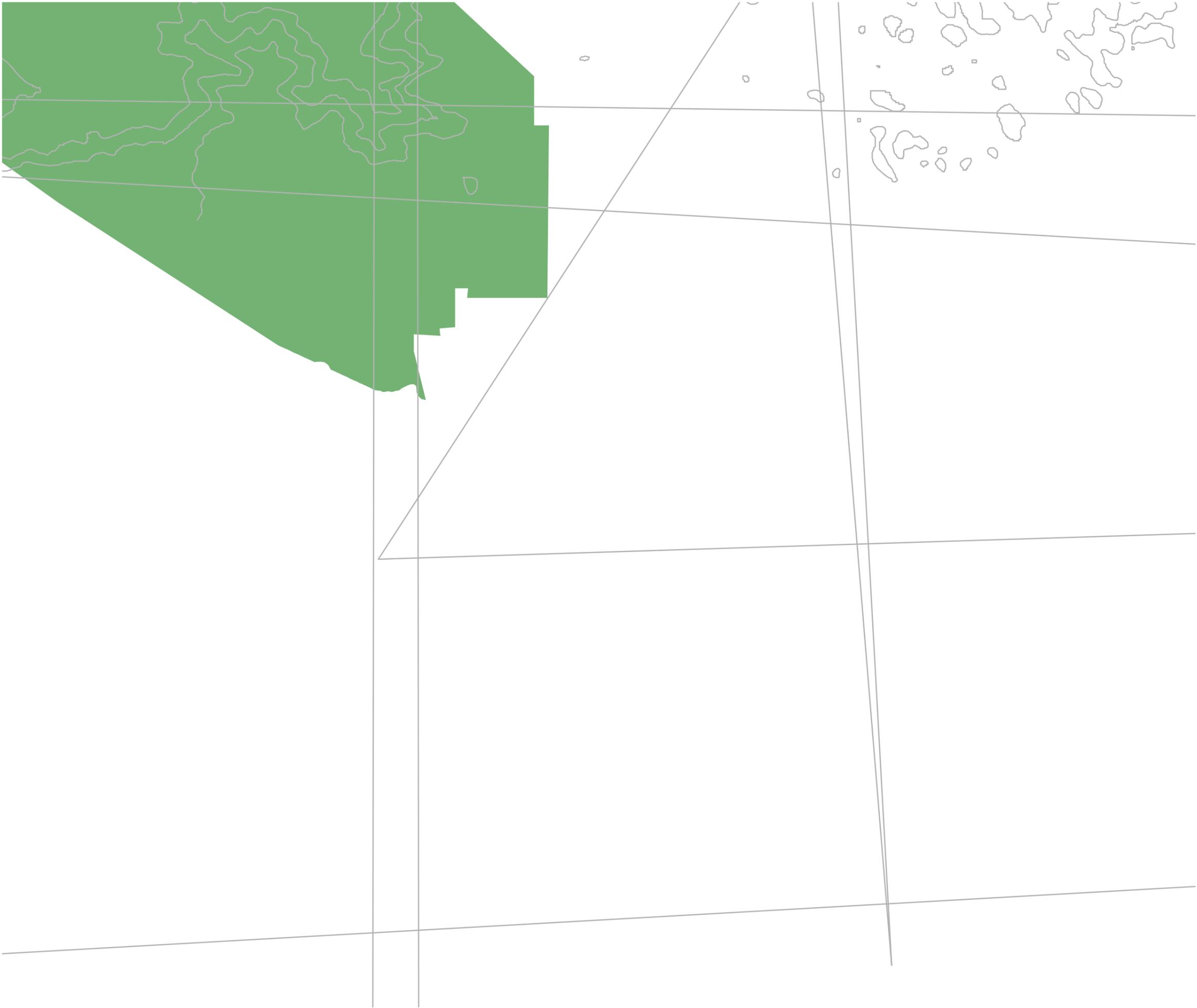




LOCALIZAÇÃO DA ÁREA







APÊNDICE D - Documentação consultada na fase de inventário.

ORIGEM	CLASSE	NOME	DESCRIÇÃO
CPRM	Shape	Pontos de campo IV; Pontos de campo;	Pontos coletados no campo em SAD 69 UTM Z23S, trecho do CGM 04. Abrangendo a faixa e 10km para cada lado do traçado. Descrição dos contatos geológicos.
	Shape	Eq_4_tps	Descreve detalhes geológicos e de risco observados no campo. Sirgas 2000 UTM Z23S.
	Shape	Furnas	Área de Represa do Funil dentro da faixa de 10km para cada lado do traçado. SAD 69 UTM Z 23S.
	Shape	Lineamentos	Lineamentos no trecho IV. SAD 69.
	Shape	trechos IV 2	Faixa de 2 km de largura marcando o traçado. SAD 69 UTM Z 23S.
	Shape de unidades geológico geotécnicas	Solo residual; Colúvio_matacões; Colúvio_aluvionar; Colúvio; Aluviões.	Faixa de 2 km de largura acompanhando o traçado. SAD 69 UTM Z 23S.
	Shape	Áreas Restritivas	Áreas em que já exista alguma atividade de grande monta, como subestação da Represa de Furnas. SAD 69 UTM Z 23S.
	Shape de hidrografia	Rio Paraíba do Sul; Lagos; Furnas	Trechos do rio Paraíba do Sul, lagos da região e montante da represa de Furnas que estão dentro da faixa de 10km para cada lado do traçado e pertencem ao traço do CGM 04. SAD 69 UTM Z23S.
	Ortofoto	Articulado_ortofoto_TAV de 0350 a 0371	<i>Pixel size</i> de 0,68 m.
	Mapas de aspecto	Aspecto_buffer 10km	Com 20 m resolução espacial, sem sistema de projeção definido. <i>Buffer</i> de 10 km.
	Mapas de declividade	Declividade_2km; Declividade_10 km	Mapas com <i>buffer</i> de 2km e de 10km.
	Hipsometria	TAV_hipso.tif	Célula de 20m no <i>buffer</i> de 10 km.
	MDE	MDE_ascgrid_Campinas-rio de janeiro	Célula de 20 m no <i>buffer</i> de 10km em SAD 69.
Mapa geológico	V_redonda_lito	Geologia de Volta Redonda - RJ	
Relevo sombreado	MDT_sombreado_45_05	Célula de 20m no <i>buffer</i> de 10 km.	

IBGE	Mapa 1:50.000, formato pdf.	Mapa Municipal Estatístico	Mapa do Município de Itatiaia no Estado do Rio de Janeiro, elaborado pelo IBGE em 2011. SIRGAS 2000 UTM Z 23S. Disponível em www.ibge.gov.br . Acessado em 19/08/2011.
	Carta 1:50.000, Formato geotif.	Folha São José do Barreiro (SF-23-Z-A-IV-2)	Segunda Impressão de 1988. Córrego Alegre UTM Z23S. Curvas de nível equidistância de 20m.
	Carta 1:50.000, Formato geotif.	Folha Agulhas Negras (SF-23-Z-A-I-4) MI 2712/4	Segunda Impressão de 1988. Córrego Alegre UTM Z23S. Curvas de nível equidistância de 20m.
	Carta 1:50.000, Formato geotif.	Folha Bananal (SF-23-Z-A-V-1) MI 2743/1	Segunda Impressão de 1991. Córrego Alegre UTM Z23S. Curvas de nível equidistância de 20m.
	Carta 1:50.000, Formato geotif.	Folha Resende (SF-23-Z-A-II-3)	Primeira Edição de 1973. Córrego Alegre UTM Z23S. Curvas de nível equidistância de 20m.
	Carta 1:50.000, Formato geotif.	Folha Passa-Quatro (SF-23-Z-A-I-3)	Segunda Impressão de 1988. Córrego Alegre UTM Z23S. Curvas de nível equidistância de 20m.
	MDE	2712/4ne; 2712/4no; 2712/4so; 2712/se	Relativo às folhas de 1:25.000. Células de 20m.
	Ortofotos	2712/3se; 2712/4ne, no, se e so; 2742/2ne, no, se e so	Pixel size de 1 m.
INPE	Imagens satelitais	CBERS_2B_CCD1XS_20080525_152_125_L2_BAND2.tif (BAND 1, 2, 3, 4, 5)	Dados baixados da página do INPE em 01 SET de 2010. www.inpe.br
	Imagens satelitais	LANDSAT_7_ETMXS_20020515_218_076_L2_BAND3.tif (BAND3, 4, 5)	Dados baixados da página do INPE em 01 SET de 2010. www.inpe.br
PNI	MDE	SF-23-Z-A	MDE de dados SRTM, WGS 84.
	Shape	Hidrografia_PARNA_ITATIAIA	Vetorização <i>heads up</i> em imagens ALOS (2,5m de resolução espacial). SIRGAS 2000.
	Shape	Sistema_transportes_PARNA_ITATIAIA	Malha viária vetorizada sobre cartas topográficas de 1:50.000. SIRGAS 2000.
	Shape	Base_1_50k	Infraestrutura vetorizada sobre folha topográfica de 1:50.000. SIRGAS 2000.
	Shape	uc_fed_fev_10	Unidades de parques nacionais protegidos. SIRGAS 2000.

	Shape	uso_cob	Unidades de uso e cobertura segundo classificação do PNI. WGS84.
	Shape	geomorfologia_rj_CPRM	Unidades geomorfológicas segundo classificação da CPRM. WGS84.
	Shape	pedologia_rj_EMBRAPA	Unidades pedológicas segundo classificação da EMBRAPA. WGS84.
	Carta rasterizada	São José do Barreiro	Carta topográfica em 1:50.000 georeferenciada em SIRGAS 2000.
	Carta rasterizada	Agulhas Negras	Carta topográfica em 1:50.000 georeferenciada em SIRGAS 2000.
	Shape	Litologia-rj-cprm	Litologia da área RJ. SAD 69.
CENSIPAM - COMGAR	15 imagens geotiff	RGB_N00L2_0_n.tif	Ortofotos da câmera ADS80 com <i>pixel size</i> 0,50 m, em WGS84 UTM23S.
	15 imagens geotiff	RGB_N00L2_0_n.tif	Ortofotos da câmera ADS80 com <i>pixel size</i> 0,40 m, em WGS84 UTM23S.
	15 imagens geotiff	RGB_N00L2_0_n.tif	Ortofotos da câmera ADS80 com <i>pixel size</i> 0,75 m, em WGS84 UTM23S.

ANEXO A – Fotos de campo (CPRM).

Ponto 21. (22°30'10,238"S 44°40'04,558"W)



Foto 1 - Talude de corte às margens da Dutra (Foto para NNE)



Foto 2 - Detalhe de Talude de corte às margens da Dutra mostrando voçorocas (Foto para NNE)



Foto 3 - Linha férrea às margens da Dutra (Foto para E)



Foto 4 - Linha férrea às margens da Dutra (Foto para W)



Foto 5 - Talude de corte às margens da Dutra mostrando voçorocas e ravinamento (Foto para NNE)



Foto 6 - Talude de corte estabilizado às margens da Dutra (Foto para NNE)

Ponto 22. (22°31'21,567"S 44°39'43,69"W)



Foto 7 - Vista para a barragem do Funil



Foto 8 - Corte no talude mostrando rochas do complexo Embu



Foto 9 - Corte no talude mostrando rochas do complexo Embu



Foto 10 - Corte no talude mostrando rochas do complexo Embu



Foto 11 - Corte no talude mostrando rochas do complexo Embu



Foto 12 - Corte no talude mostrando rochas do complexo Embu



Foto 13 - Corte no talude mostrando rochas do complexo Embu

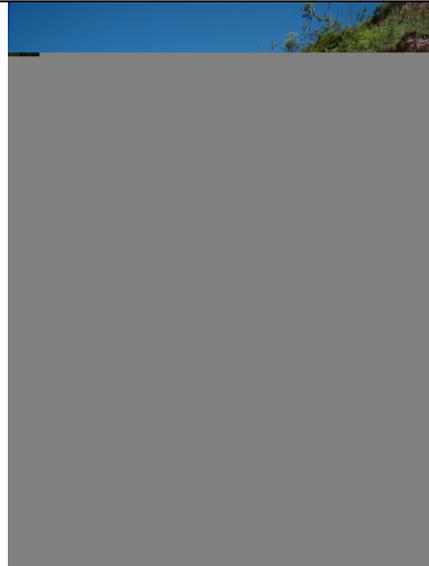


Foto 14 - Corte no talude mostrando rochas do complexo Embu



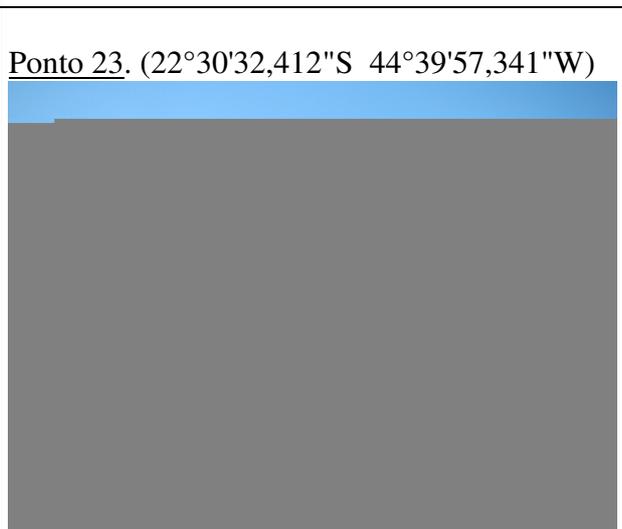
Foto 15 - Vista para NNW mostrando a serra de Itatiaia ao fundo e a área do traçado



Foto 16 - Vista para N mostrando a serra de Itatiaia ao fundo e a área do traçado



Foto 17 - Vista para NNE mostrando a serra de Itatiaia ao fundo e a área do traçado



Ponto 23. (22°30'32,412"S 44°39'57,341"W)

Foto 18 - Solo exposto (Foto para E)

Ponto 24. (22°30'15,779"S 44°40'01,361"W)



Foto 19 - Solo exposto (Foto para W)

Ponto 25. (22°30'22,751"S 44°36'51,498"W)



Foto 20 - Erosões ao longo da linha férrea



Foto 21 - Erosões ao longo da linha férrea

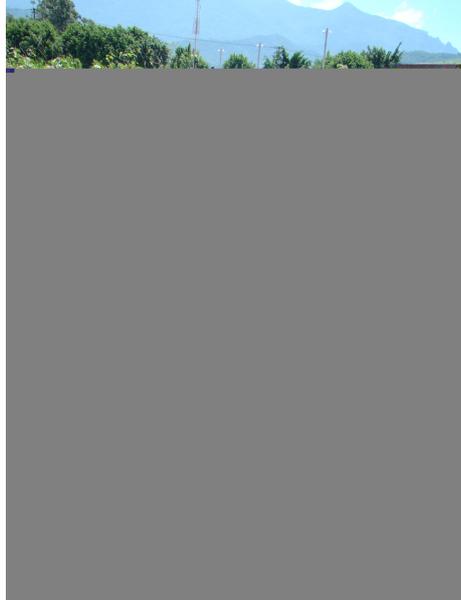


Foto 22 - Erosões ao longo da linha férrea



Foto 23 - Erosões ao longo da linha férrea



Foto 24 - Erosões ao longo da linha férrea



Foto 25 - Erosões ao longo da linha férrea



Foto 26 - Visão da linha férrea



Foto 27 - Visão da linha férrea



Foto 28 - Visão da linha férrea

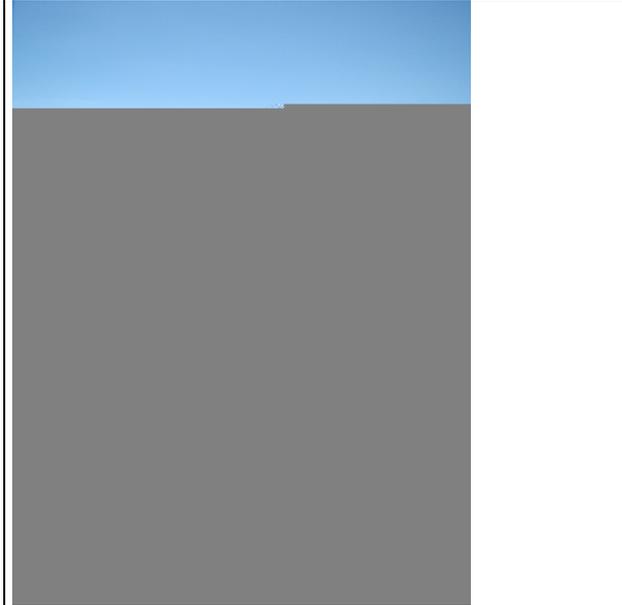


Foto 29 - Drenagem artificial acima da linha férrea



Foto 30 - Drenagem artificial acima da linha férrea



Foto 31 - Drenagem artificial acima da linha férrea



Foto 32 - Área de várzea em frente a furnas

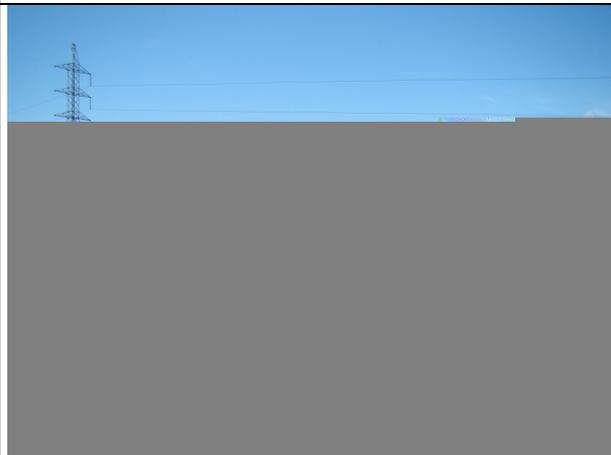


Foto 33 - Área de várzea em frente a furnas



Foto 34 - Área de várzea em frente a furnas



Foto 35 - Área de várzea em frente a furnas



Foto 36 - Taludes erodidos próximos a barragem

Ponto 26. (22°30'04,777"S 44°35'20,807"W)



Foto 37 - Blocos do granito Quebra-Cangalha ao lado da Dutra (Km 321)



Foto 38 - Blocos do granito Quebra-Cangalha ao lado da Dutra (Km 321)



Foto 39 - Blocos do granito Quebra-Cangalha ao lado da Dutra (Km 321)

Ponto 31. (22°29'56,33"S 44°38'19,525"W)

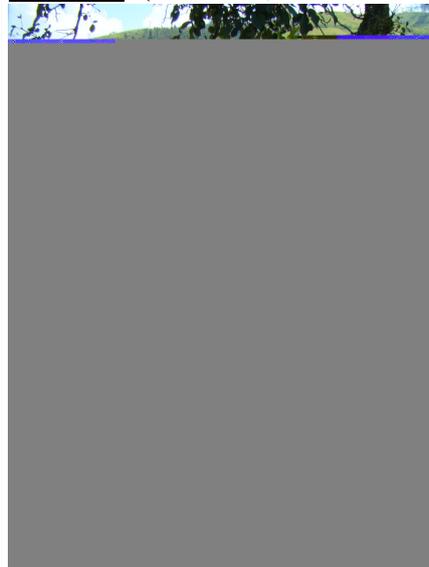


Foto 40 - Área de matacões



Foto 41 - Área de matacões

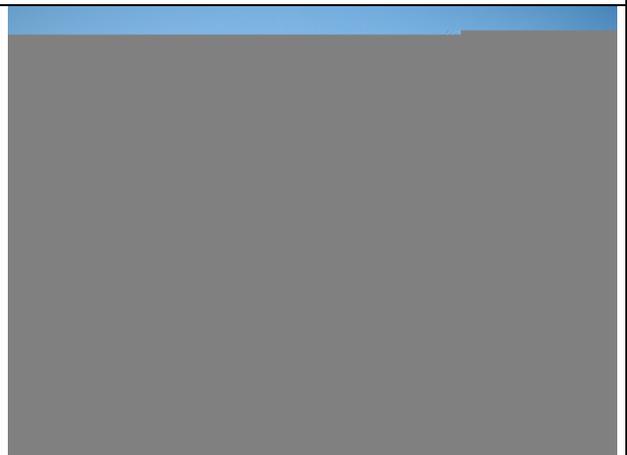


Foto 42 - Área de matacões

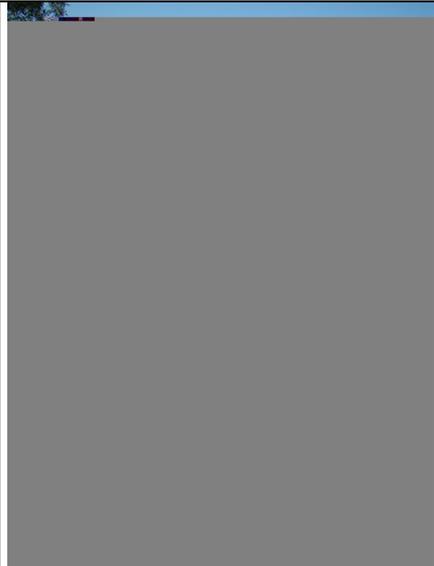


Foto 43 - Área de matacões



Foto 44 - Área de matacões



Foto 45 - Área de matacões



Foto 46 - Vista geral da região do traçado

Ponto 32. ($22^{\circ}29'43,658''S$ $44^{\circ}39'34,372''W$)

Ponto 34. ($22^{\circ}29'52,906''S$ $44^{\circ}35'06,515''W$)



Foto 47 - Anfiteatro



Foto 48 - Corte de estrada mostrando saprolito da formação Resende



Foto 49 - Corte de estrada mostrando saprolito da formação Resende



Foto 50 - Corte de estrada mostrando saprolito da formação Resende



Foto 51 - Corte de estrada mostrando saprolito da formação Resende



Foto 52 - Corte de estrada mostrando saprolito da formação Resende

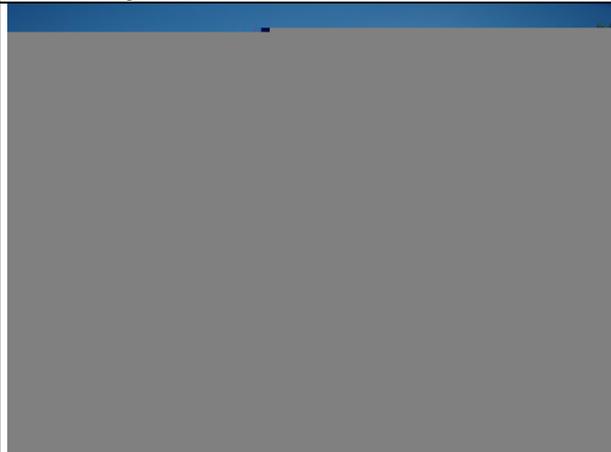
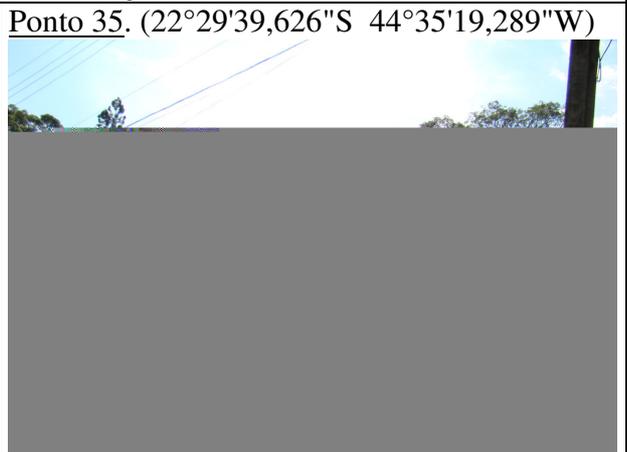


Foto 53 - Corte de estrada mostrando saprolito da formação Resende



Ponto 35. (22°29'39,626"S 44°35'19,289"W)

Foto 54 - Campo de blocos



Foto 55 - Campo de blocos

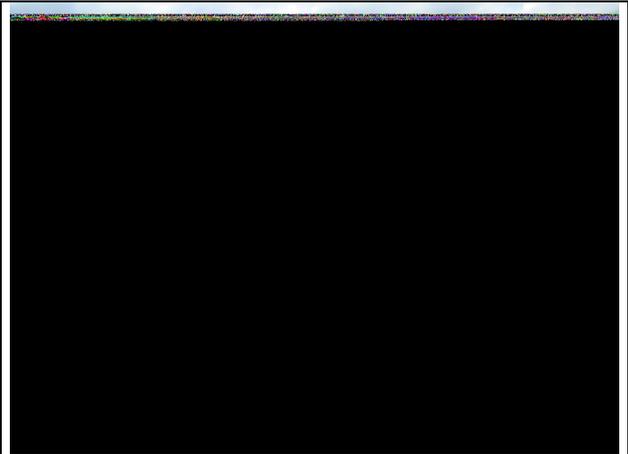


Foto 56 - Campo de blocos



Foto 57 - Detalhe de matacões

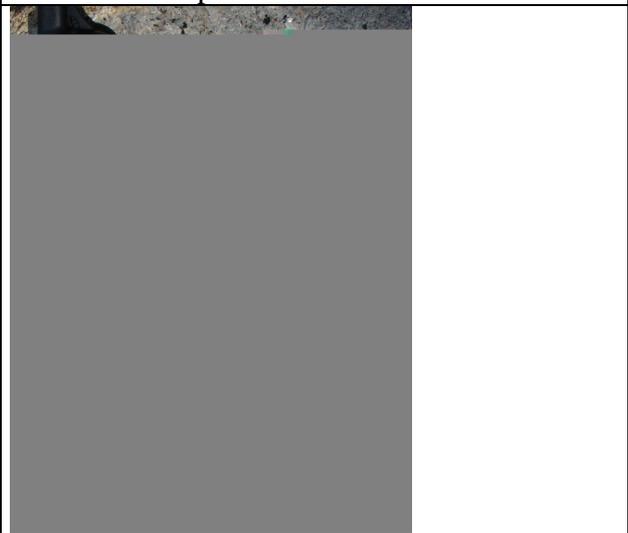


Foto 58 - Detalhe de matacões

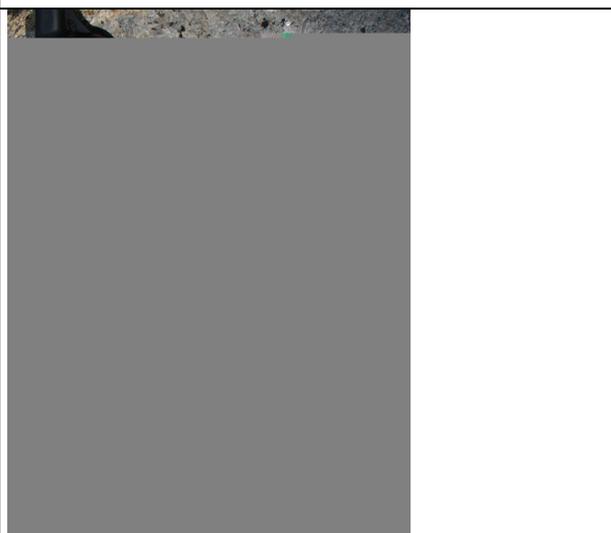


Foto 59 - Detalhe de matacões



Foto 60 - Detalhe de matacões



Foto 61 - Detalhe de matacões



Foto 62 - Vista para a Dutra



Foto 63 - Vista para a Dutra



Foto 64 - Vista para a Dutra

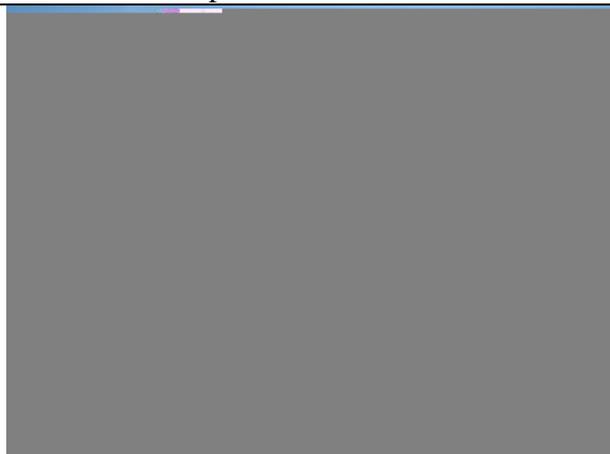
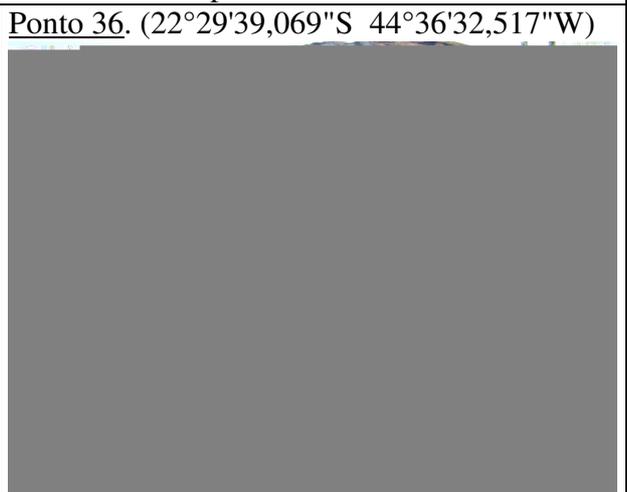


Foto 65 - Vista para a Dutra



Ponto 36. (22°29'39,069"S 44°36'32,517"W)

Foto 66 - Blocos do granito Quebra-Cangalha



Foto 67 - Blocos do granito Quebra-Cangalha



Foto 68 - Campo de blocos e matacões



Foto 69 - Campo de blocos e matacões

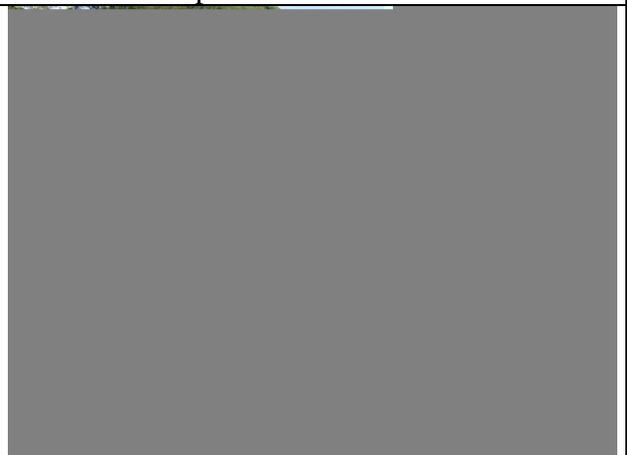


Foto 70 - Campo de blocos e matacões

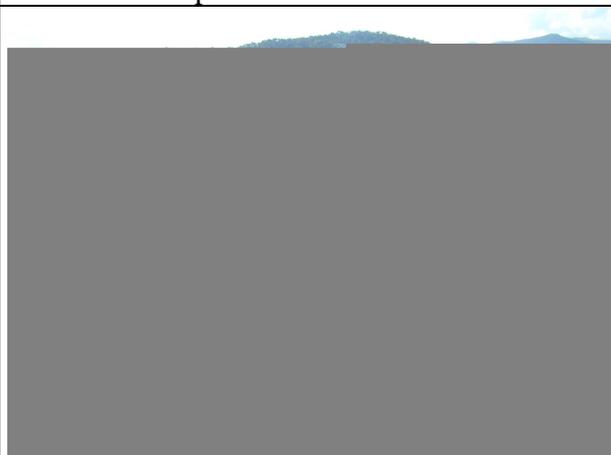


Foto 71 - Campo de blocos e matacões



Foto 72 - Matacões marcando a linha de colúvio no perfil



Foto 73 - Matacões marcando a linha de colúvio no perfil

Ponto 47. (22°29'55,394"S 44°34'27,904"W)



Foto 74 - Vista para área do traçado (SW para SE)



Foto 75 - Vista para área do traçado (SW para SE)



Foto 76 - Vista para área do traçado (SW para SE)



Foto 77 - Vista para área do traçado (SW para SE)



Foto 78 - Vista para área do traçado (SW para SE)



Foto 79 - Vista para área do traçado (SW para SE)



Foto 80 - Vista para a área do traçado (NE para W)



Foto 81 - Vista para a área do traçado (NE para W)



Foto 82 - Vista para a área do traçado (NE para W)



Foto 83 - Vista para a área do traçado (NE para W)



Foto 84 - Afloramento da formação Resende



Foto 85 - Afloramento da formação Resende



Foto 86 - Afloramento da formação Resende
Ponto 48. (22°29'24,644"S 44°36'31,363"W)

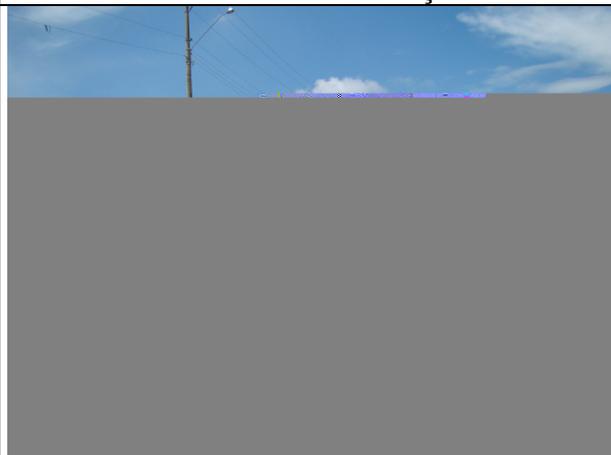


Foto 87 - Afloramento da formação Resende



Foto 88 - Talude junto ao caminho mostrando
matacões e solo coluvionar



Foto 89 - Talude junto ao caminho mostrando
matacões e solo coluvionar



Foto 90 - Erosão junto à drenagem



Foto 91 - Perfil do solo

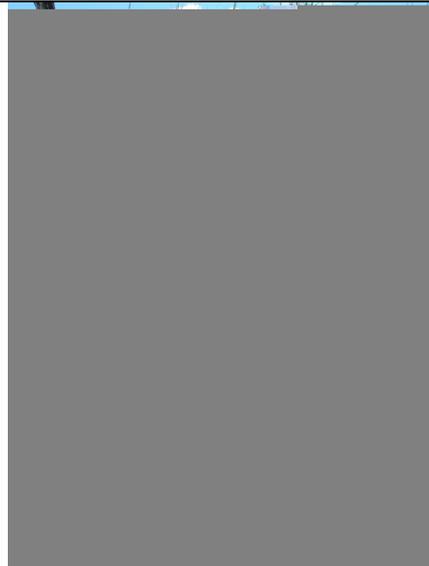


Foto 92 - Perfil do solo

Ponto 49. (22°30'04,983"S 44°36'43,985"W)



Foto 93 - Matação mostrando fraturas preenchidas por material feldspático alterado



Foto 94 - Talude de corte na estrada (Formação Resende)



Foto 95 - Talude de corte na estrada (Formação Resende)



Foto 96 - Afloramento do membro Rudácio da Formação Resende - (conglomerado polimítico com intercalações de argila)



Foto 97 - Afloramento do membro Rudácio da Formação Resende - (conglomerado polimítico com intercalações de argila)



Foto 98 - Afloramento do membro Rudácio da Formação Resende - (conglomerado polimítico com intercalações de argila)



Foto 99 - Afloramento do membro Rudácio da Formação Resende - (conglomerado polimítico com intercalações de argila)



Foto 100 - Afloramento do membro Rudácio da Formação Resende - (conglomerado polimítico com intercalações de argila)



Foto 101 - Afloramento do membro Rudácio da Formação Resende - (conglomerado polimítico com intercalações de argila)



Foto 102 - Afloramento do membro Rudácio da Formação Resende - (conglomerado polimítico com intercalações de argila)



Foto 103 - Afloramento do membro Rudácio da Formação Resende - (conglomerado polimítico com intercalações de argila)

Ponto 50. (22°29'35,337"S 44°38'58,58"W)



Foto 104 - Vista do anfiteatro (de SW para NE)



Foto 105 - Vista do anfiteatro



Foto 106 - Vista do anfiteatro



Foto 107 - Vista do anfiteatro



Foto 108 - Vista do anfiteatro



Foto 109 - Vista do anfiteatro



Foto 110 - Vista do anfiteatro



Foto 111 - Vista do anfiteatro



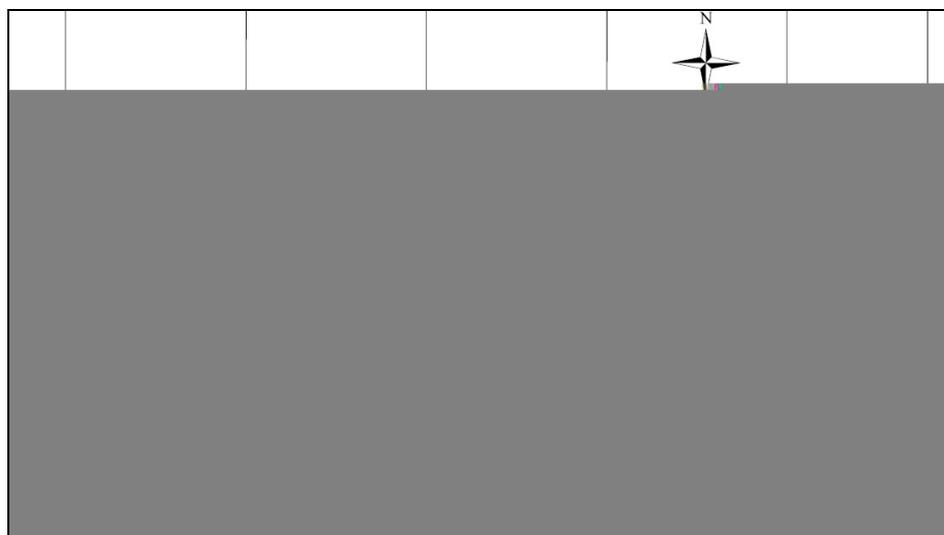
Ponto 51. (22°29'55,037"S 44°39'45,492"W)

Foto 112 - Vista de anfiteatro

ANEXO B - Recorte dos mapas geotécnicos de 1:20.000 produzidos pela CPRM.
Disponível em www.tavbrasil.gov.br, acessado em 11 de março de 2011.
MAPA DE CONSULTA.



Recorte da Folha 15



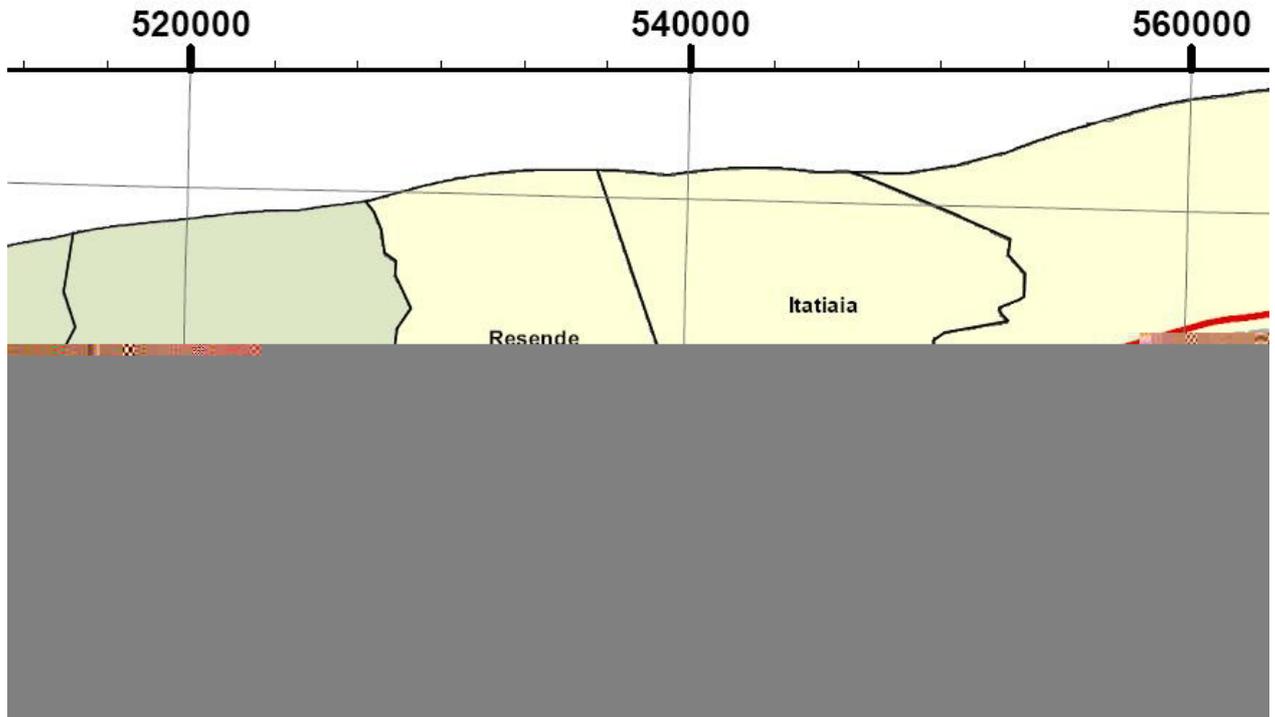
Recorte da Folha 16

ANEXO C - Tabela da metodologia JTC-1 para inventariar cicatrizes de MGM.
Adaptado de JTC-1 (2008).

Classificação	Atividades
Básica	Inventário de MGM por fotos aéreas ou imagens satelitais. Localizando e quantificando eventos e áreas.
	Identificar relação entre topografia, geologia e geomorfologia.
	Apresentação dos resultados em forma de mapas contendo dados como: grids, drenagem, vias, topografias e outras informações que se tenha da área.
Intermediária	As mesmas atividades da fase básica mais
	Distinguir diferentes partes do deslizamento.
	Mapear feições de deslizamento e contornos.
	Levantar informações sobre o histórico de deslizamentos na região.
Avançada	Analisar a evolução do uso da terra e como as interações do homem com o solo poderiam ter influenciado as ocorrências.
	As mesmas atividades da fase intermediária mais
	Preparar um inventário de dados geotécnicos.
	Implementar investigações para uma melhor definição das condições geotécnicas.
	Análises geotécnicas para compreender os processos de instabilização.
Catálogo de reativações de risco e informações dos períodos de atuação dos agentes desencadeadores para a geração de um inventário de períodos de ocorrência podendo aplicar em validações de aproximações mais avançadas.	

ANEXO D - Sondagens mecânicas da área estudada no trecho 4.

Recorte do mapa disponível em www.tavbrasil.gov.br. Acessado em 15/09/2011.



PROJETO TREM DE ALTA VELOCIDADE -TAV Investigações Geotécnicas

Traçado Referencial
Abril 2009

Sondagens mecânicas

Convenções:

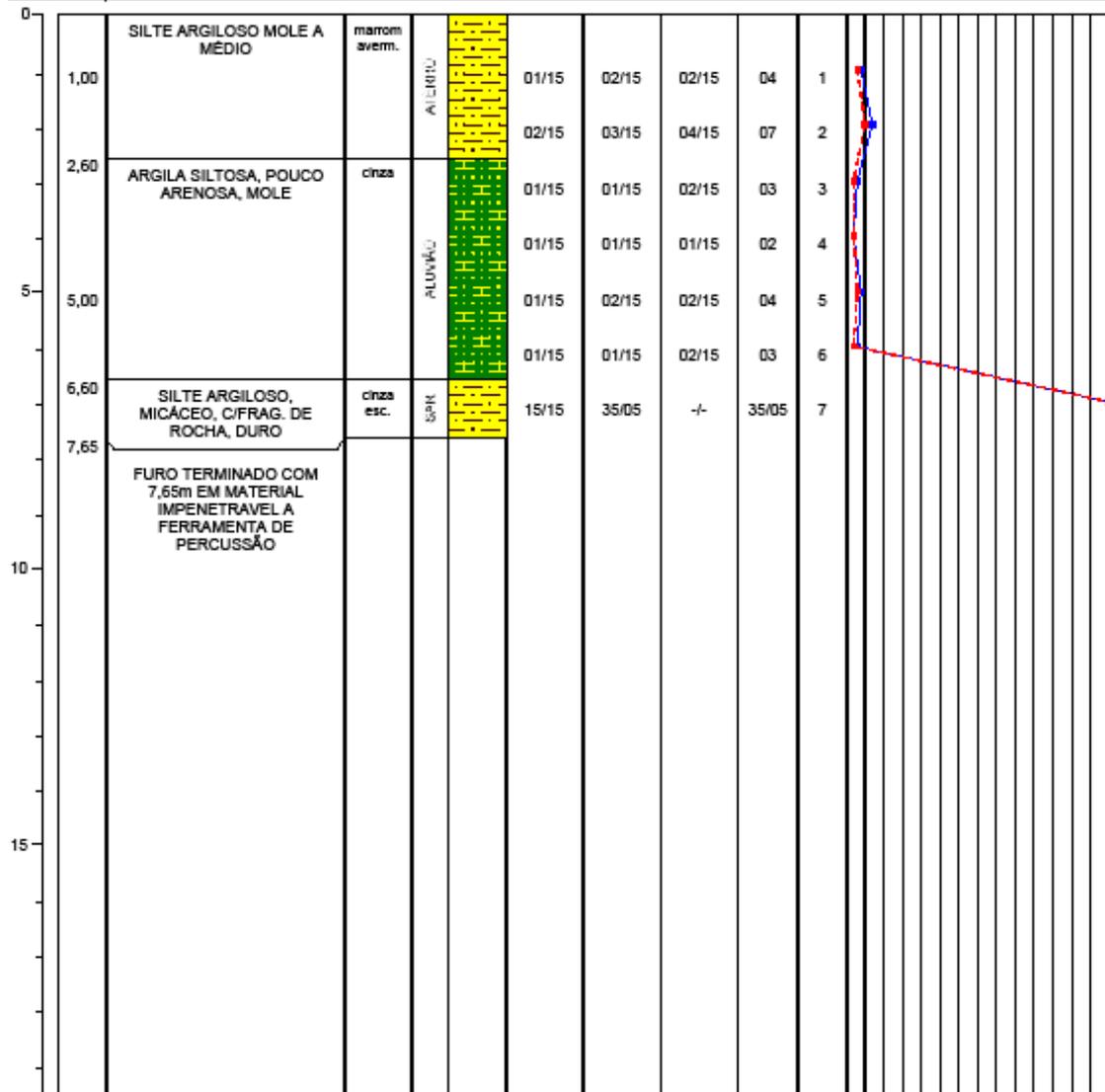
■ SM Sondagem Mista

■ Baía de Guanabara

== Pontes

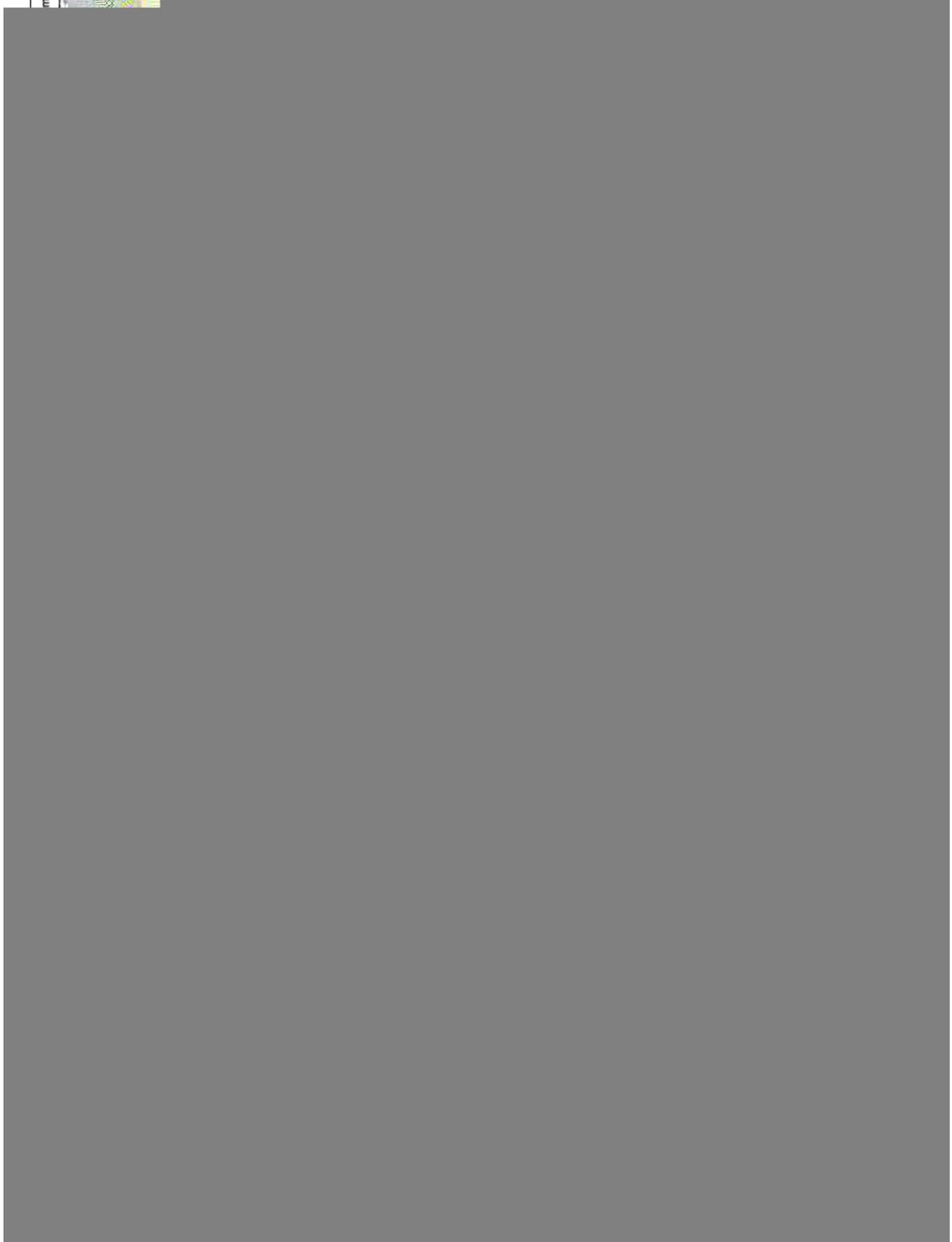


				LOCAL: Resende - RJ		PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAEM		SP-11		
OBRA: TAV - TREM DE ALTA VELOCIDADE										
Ø DO FURO: 2½"		HASTE: Ø e=66mm Ø i=52mm	TIPO DE AMOSTRADOR: TERZAGHI & PECK	PERÍODO DE EXECUÇÃO: DE: 26/03/2009 ATÉ: 26/03/2009		CONTRATO Nº -- OS. Nº: --	ESTACA:	COTA:	COORDENADAS	
								N 7.511.405	E 545.804	
PROF. (m)	COTA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL		COR	INTERPRETAÇÃO	PERFIL	Nº DE GOLPES		AMOS.	
							PENETRAÇÕES	SPT	SPT	
							GRAFICO DE SPT (30cm)			
							SPT — Primeiros 30cm - - - - -			
							10 20 30 40 50 60			

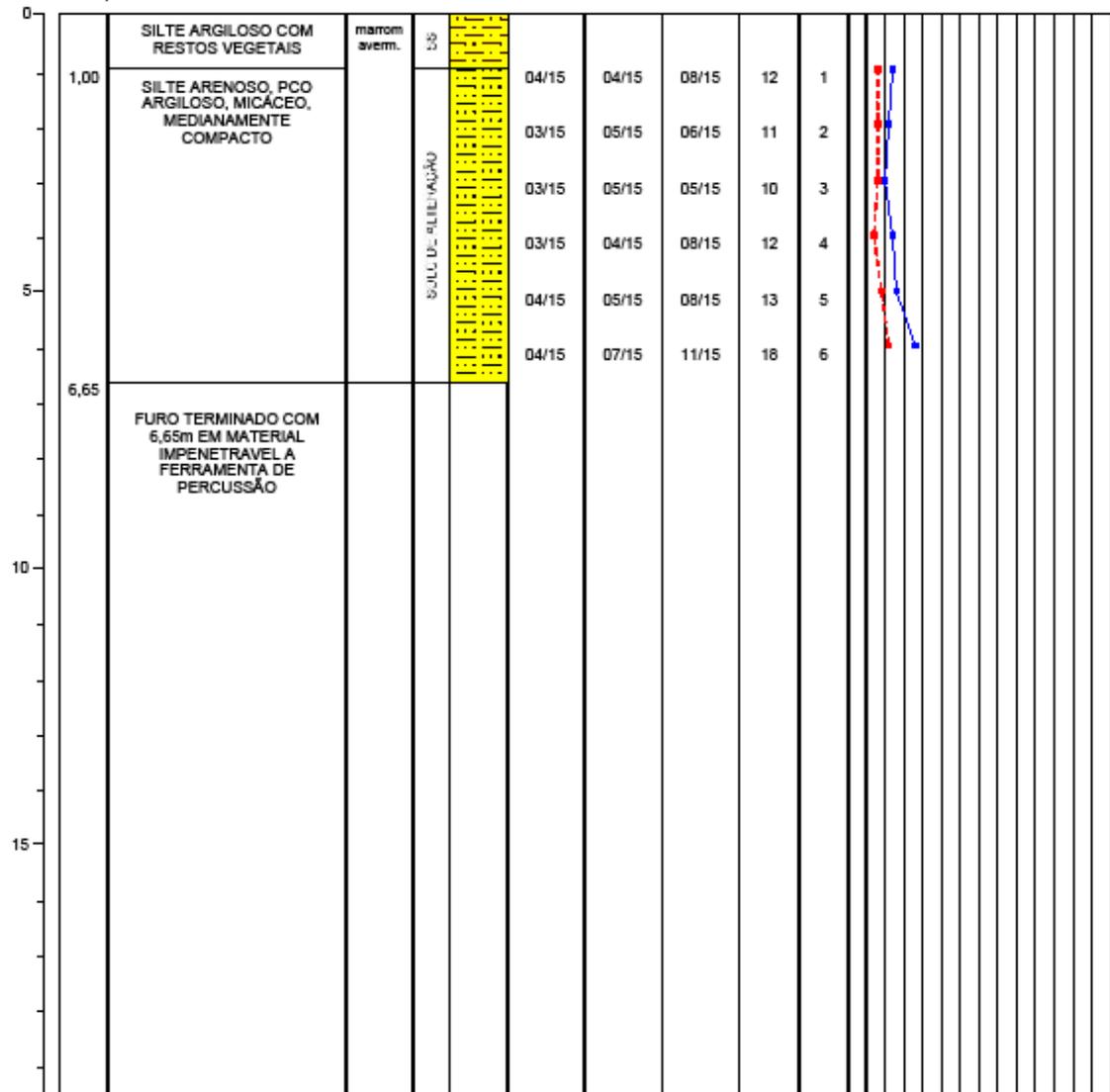


ENSAIO DE LAVAGEM POR TEMPO (min./m)				AVANÇO (m):		copyright © Alphageos Tecnologia Aplicada S.a.	
TRECHO ENSAIADO: --	Tempo (min.): Avanço (m):	10 --	10 --	10 --	TRADO: 7,65	LAVAGEM: --	REVESTIMENTO (m): --
EXECUTORA: 		RESPONSÁVEL TÉCNICO (NOME E CREA): EDEMIR AUGUSTO DO COUTO - CREA 0800301773		ASSINATURA RESP.: 		DESENHO Nº: S/2390-11	NÍVEL D'ÁGUA SECO
		EXECUTADO POR: Miguel		VISTO:	DATA: 23/05/2009	SONDAEM Nº: SP-11	REV.: Ø

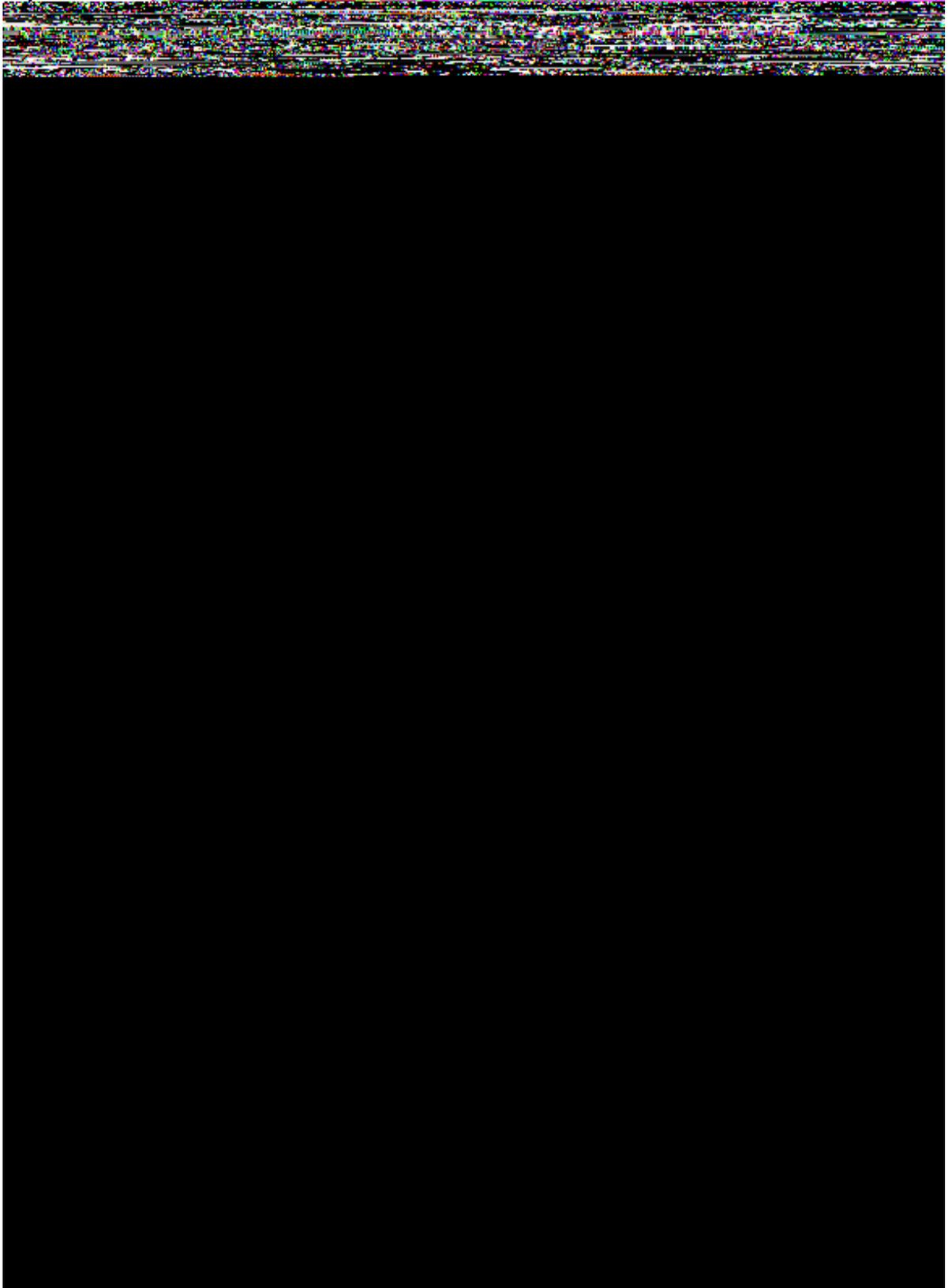
				LOCAL: Volta Redonda - RJ		PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM		SM-12							
				OBRA: TAV - TREM DE ALTA VELOCIDADE											
Ø DO FURO: HW 9,20 a 14,20 NW 14,20 a 19,20		HASTE: Ø e=55mm Ø i=52mm		TIPO DE AMOSTRADOR: TERZAGHI & PECK BARRILETE DUPLO LIVRE		PERÍODO DE EXECUÇÃO: DE: 10/06/09 ATÉ: 12/06/09		CONTRATO Nº: OS Nº:		ESTACA:		OBS:		COORDENADAS N 7.503.434 E 595.824	
		CLASSIFICAÇÃO		DICA		LAVAGEM		ENSAIO DE PENETRAÇÃO (SPT)							



				LOCAL: Resende - RJ		PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAAGEM SP-13								
OBRA: TAV - TREM DE ALTA VELOCIDADE														
Ø DO FURO: 2 1/2"	HASTE: Ø e=66mm Ø i=52mm	TIPO DE AMOSTRADOR: TERZAGHI & PECK	PERÍODO DE EXECUÇÃO: DE: 26/03/2009 ATÉ: 27/03/2009	CONTRATO Nº --	ESTACA:	COTA:	COORDENADAS							
				OS. Nº: --			N 7.511.885	E 537.374						
PROF (m)	COTA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	COR	INTERPRETAÇÃO	PERFIL	Nº DE GOLPES		AMOS.	GRAFICO DE SPT (30cm)					
						PENETRAÇÕES	SPT		SPT	Primeiros 30cm	---			
									10	20	30	40	50	60



ENSAIO DE LAVAGEM POR TEMPO (min./m)				AVANÇO (m):		<small>copyright © Alphageos Tecnologia Aplicada S.a.</small>		
TRECHO ENSAIADO: --	Tempo (min.): Avanço (m):	10 --	10 --	10 --	TRADO: 6,45	LAVAGEM: --	REVESTIMENTO (m): --	NÍVEL D'ÁGUA SECO
EXECUTORA: 	RESPONSÁVEL TÉCNICO (NOME E CREA): EDEMIR AUGUSTO DO COUTO - CREA 0800301773		ASSINATURA RESP.:			DESENHO Nº: S/2390-13	REV.: Ø	
	EXECUTADO POR: Miguel		VISTO:	DATA: 23/05/2009	SONDAGEM Nº: SP-13			

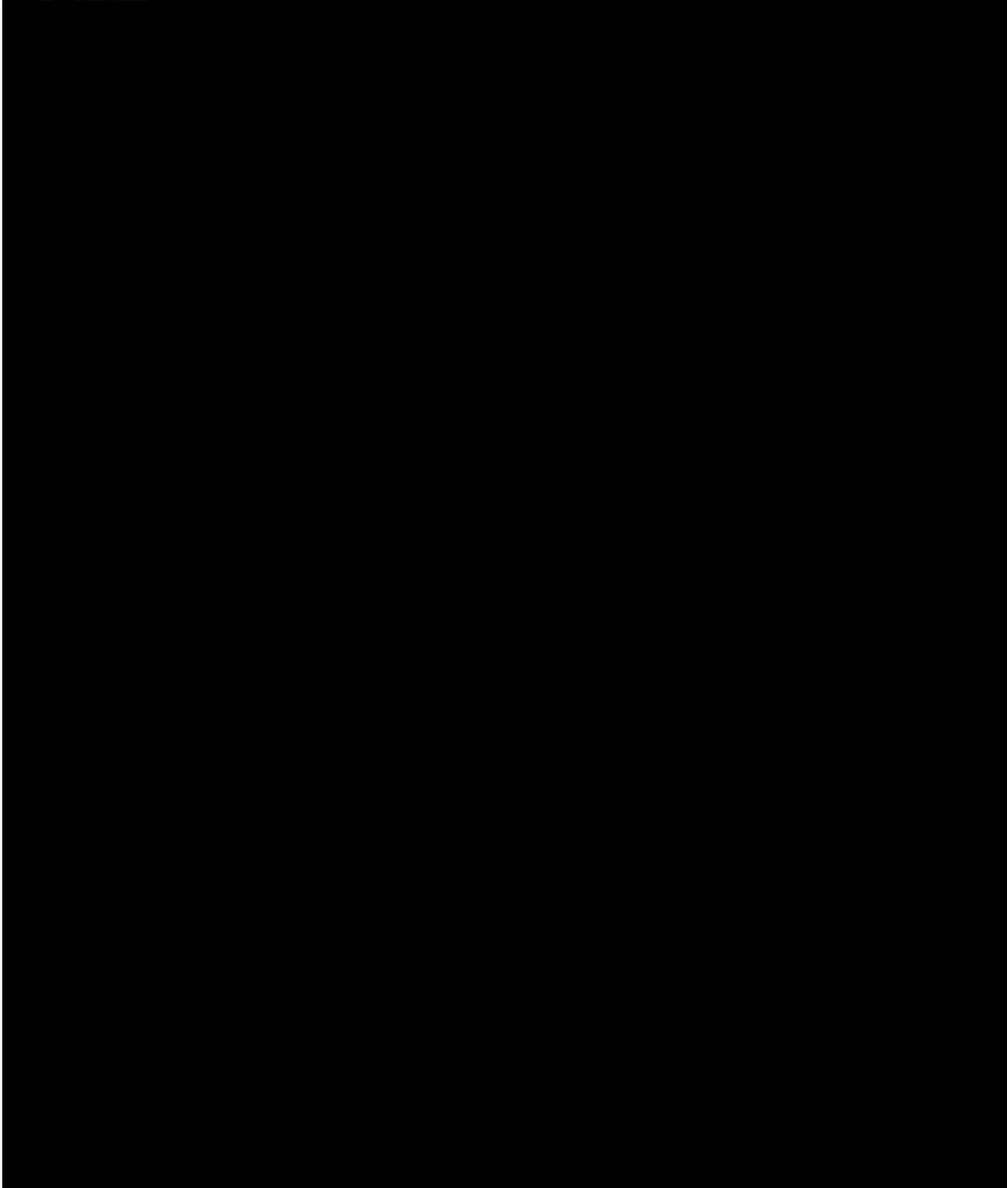




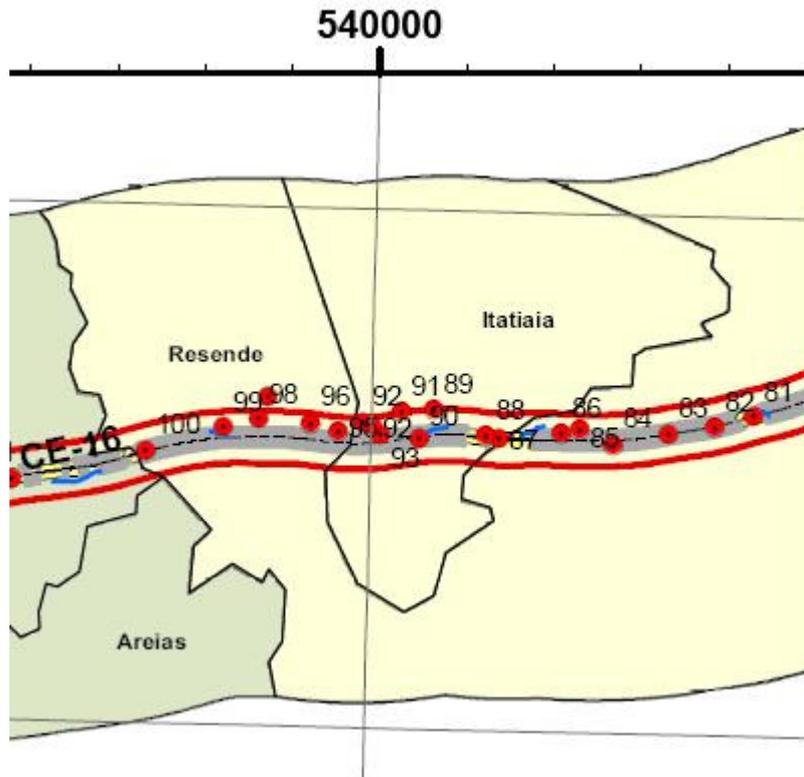
LOCAL:
Queluz - SP

PERFIL INDIVIDUAL
DE SONDAJEM

SP-15



Sondagem elétrica vertical e caminhamento elétrico. Recorte do mapa disponível em www.tavbrasil.gov.br. Acessado em 15/09/2011.



PROJETO TREM DE ALTA VELOCIDADE -TAV Investigações Geotécnicas

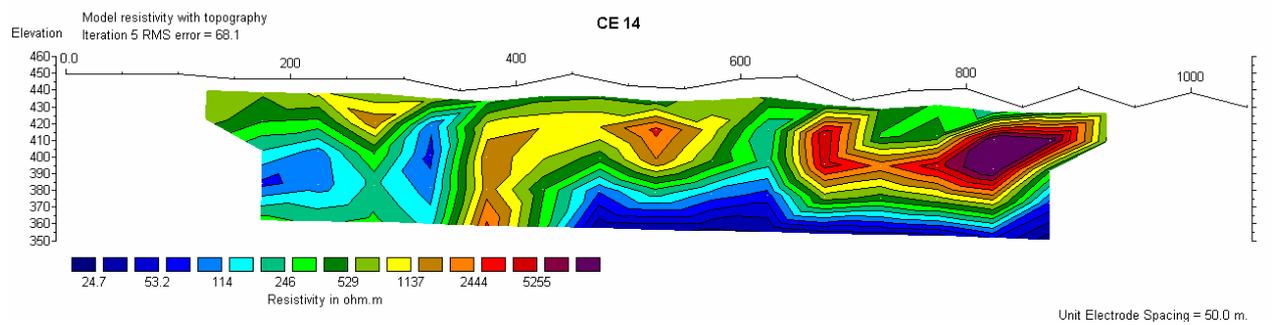
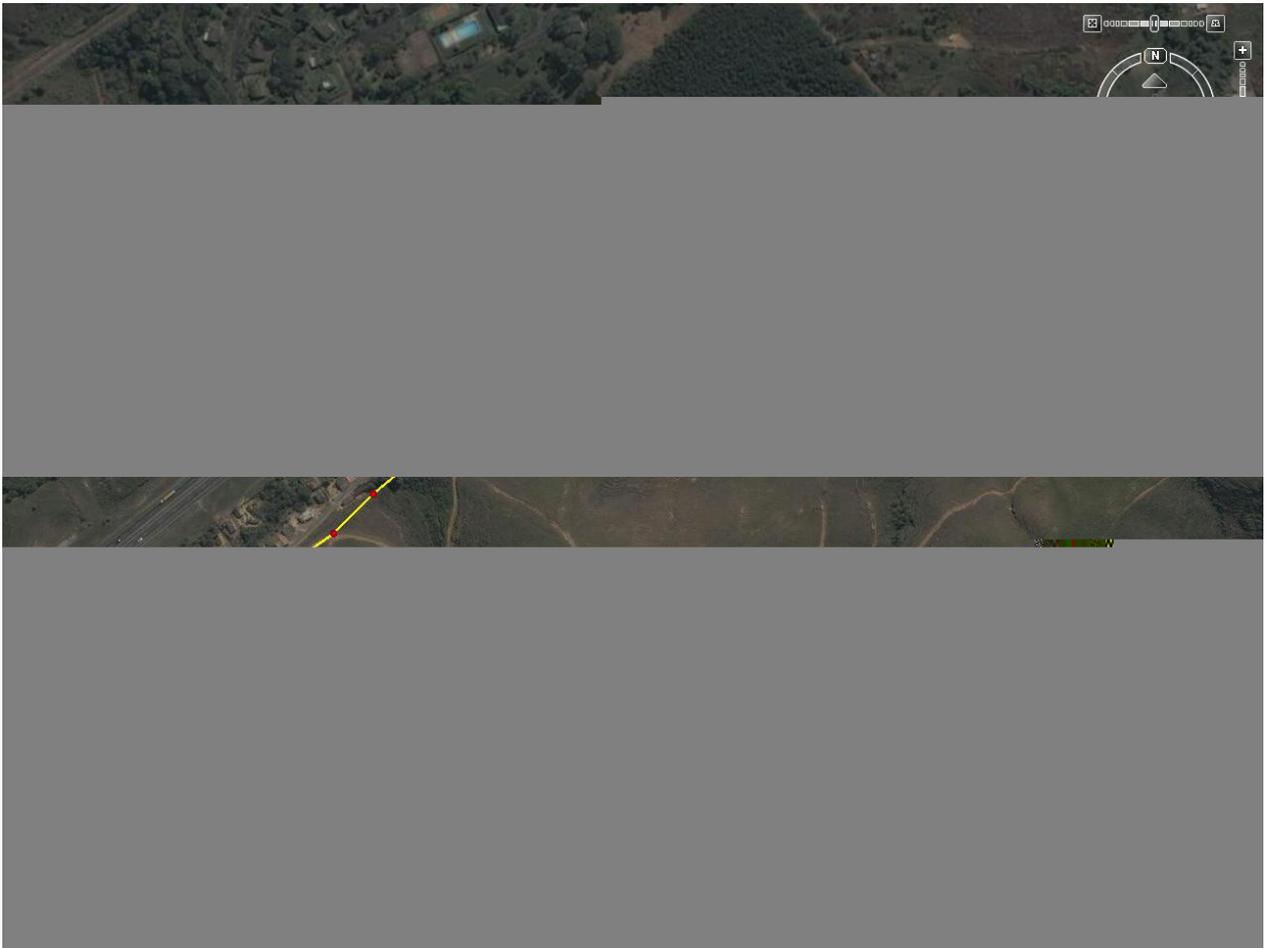
Traçado Referencial
Abril 2009

Sondagens Geofísicas

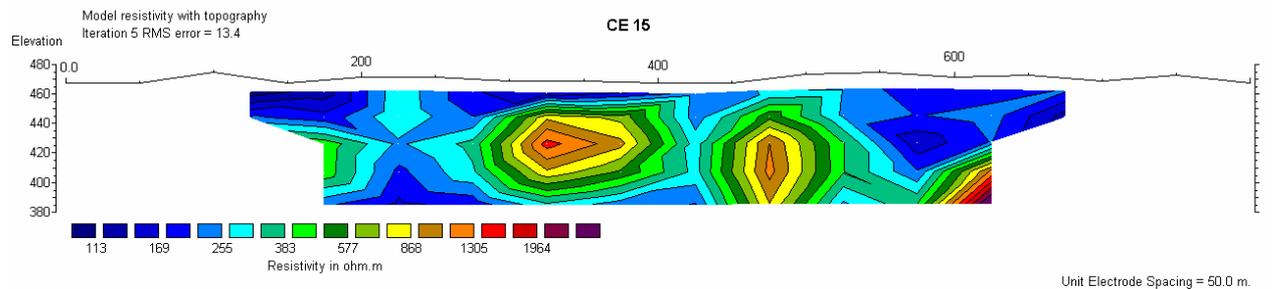
Convenções:

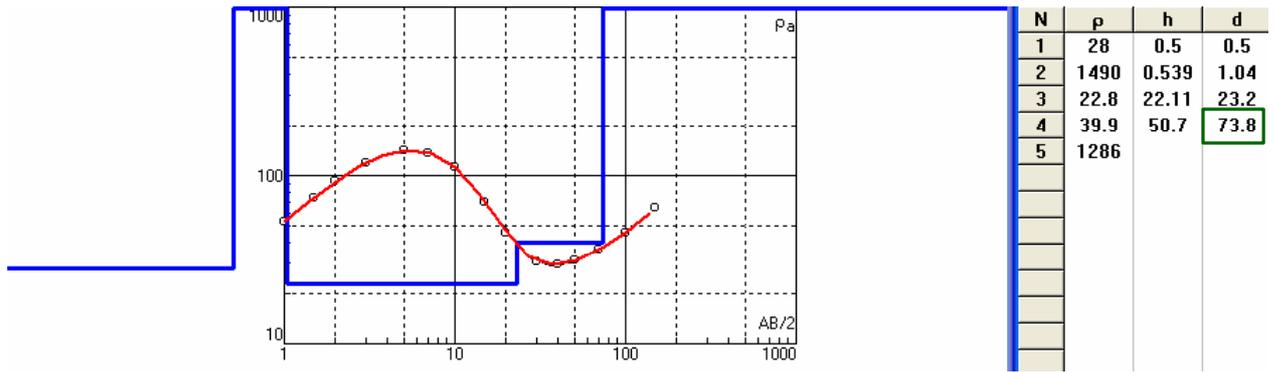


CE 14

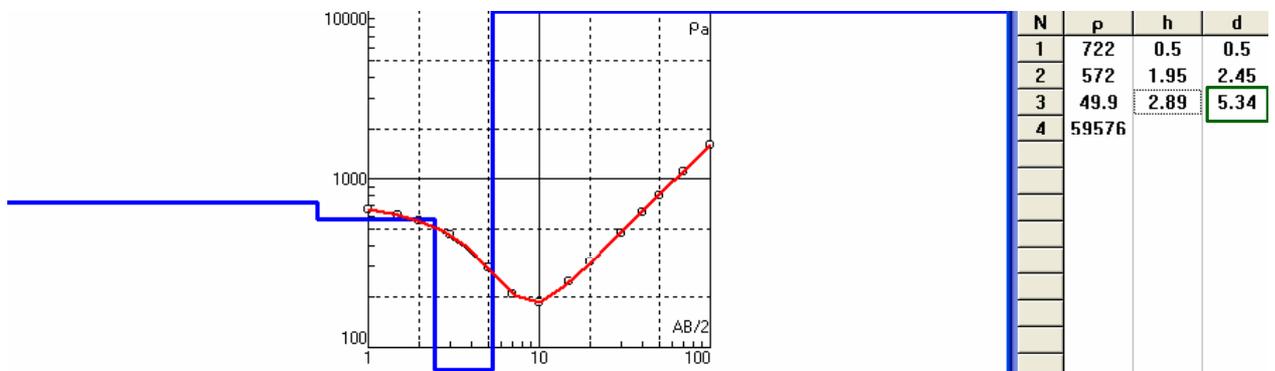


CE 15

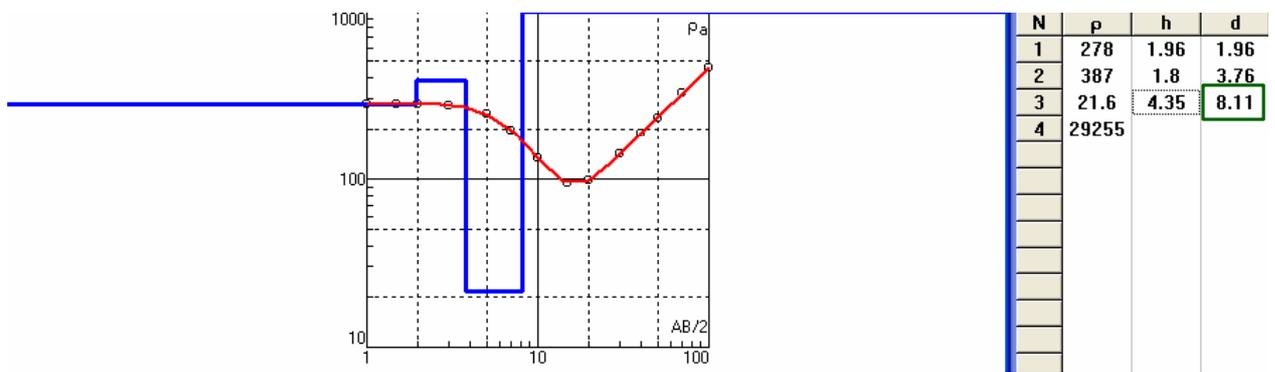




SEV 93 - Schlumberger. UTMSAD 69.540340 m E. 7511326 m N

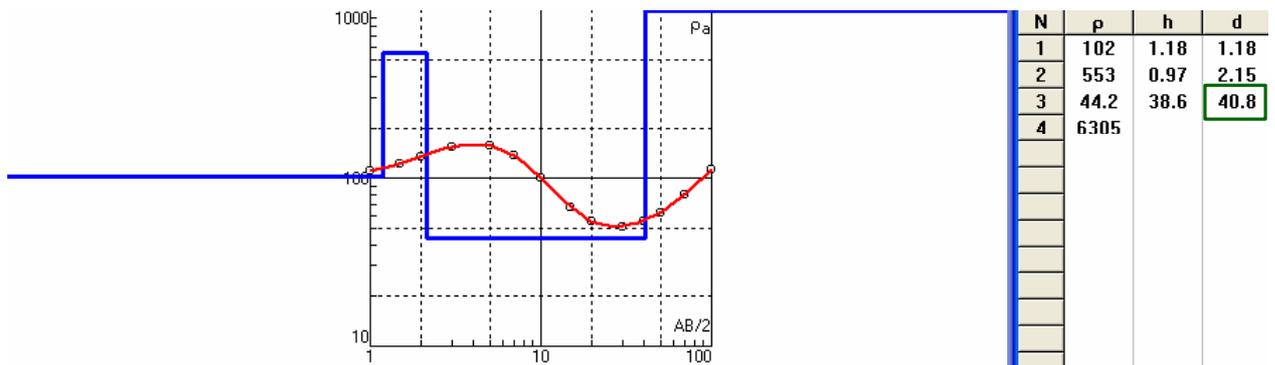


SEV 94 - Schlumberger. UTMSAD 69.539650 m E. 7511791 m N

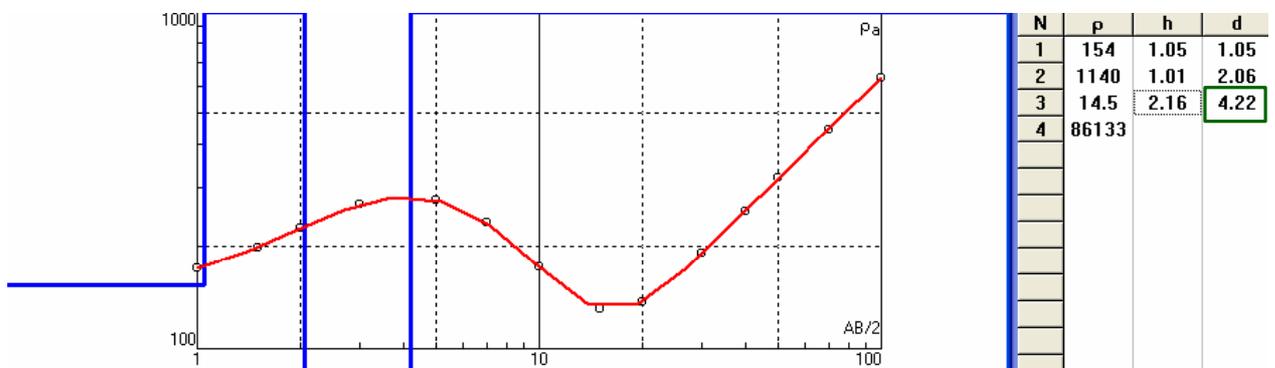


SEV 95 - Schlumberger. UTMSAD 69.538727 m E. 7511369 m N

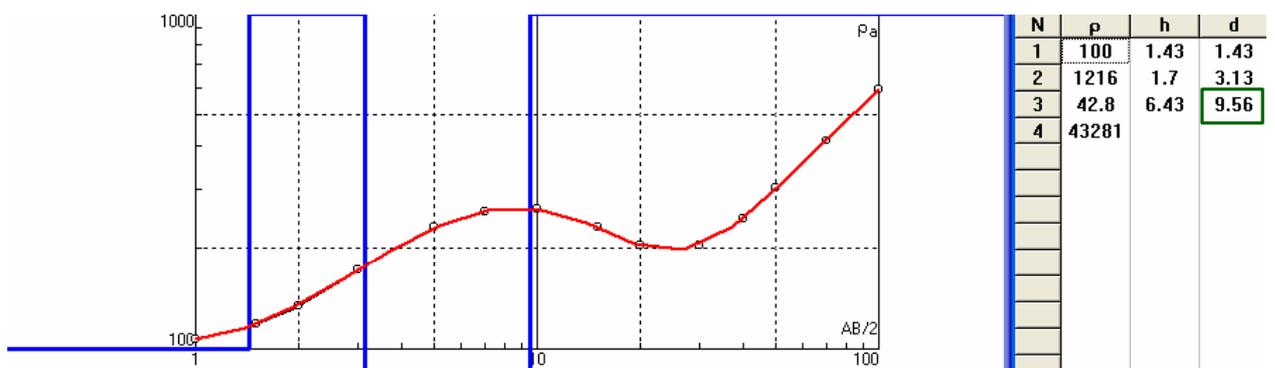
LEGENDA	
○	Dados de Campo
—	Curva de melhor ajuste
—	Espessura e resistividade das camadas geolétricas
N	Número de camadas
ρ	Resistividade das camadas (ohm.m)
h	Espessura das camadas (m)
d	Profundidade do topo das camadas (m)
	Profundidade do topo da rocha sã (m)



SEV 96 - Schlumberger. UTM SAD 69.537681 m E. 7511715 m N

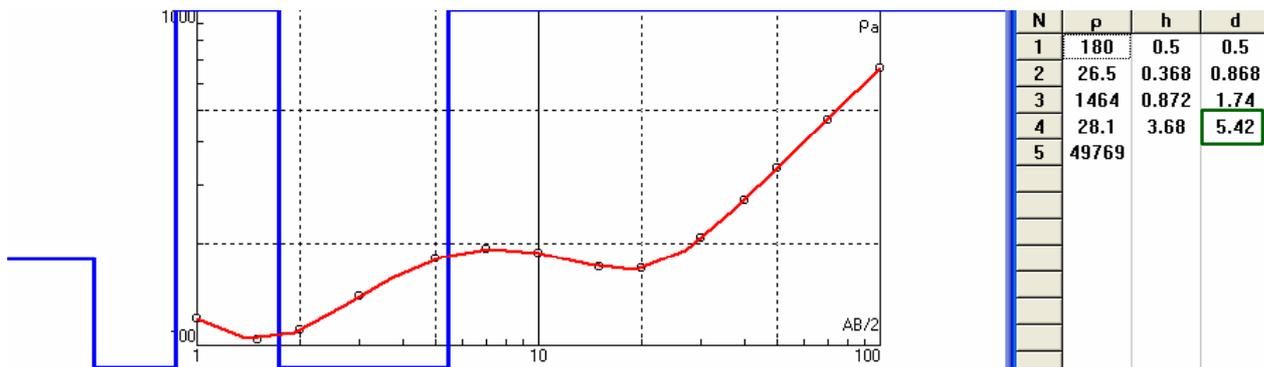


SEV 97 - Schlumberger. UTM SAD 69.536011 m E. 7512672 m N

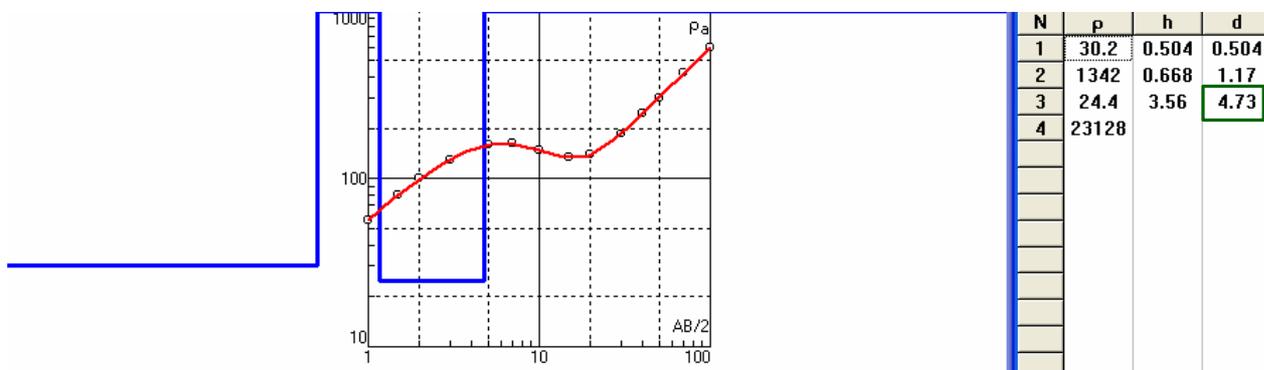


SEV 98 - Schlumberger. UTM SAD 69.535656 m E. 7511811 m N

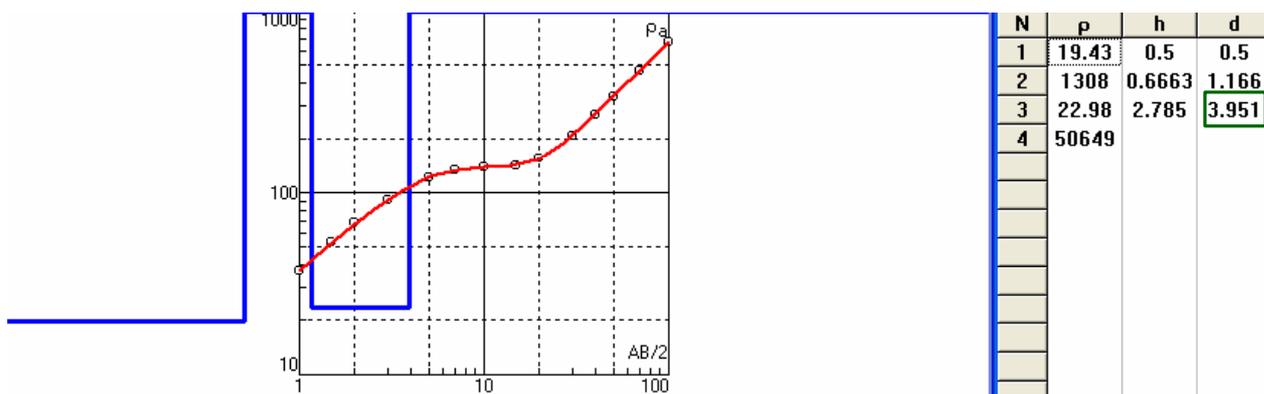
LEGENDA	
○	Dados de Campo
— (red)	Curva de melhor ajuste
— (blue)	Espessura e resistividade das camadas geológicas
N	Número de camadas
ρ	Resistividade das camadas (ohm.m)
h	Espessura das camadas (m)
d	Profundidade do topo das camadas (m)
□ (green)	Profundidade do topo da rocha sã (m)



SEV 99 - Schlumberger. UTM SAD 69.534305 m E. 7511486 m N



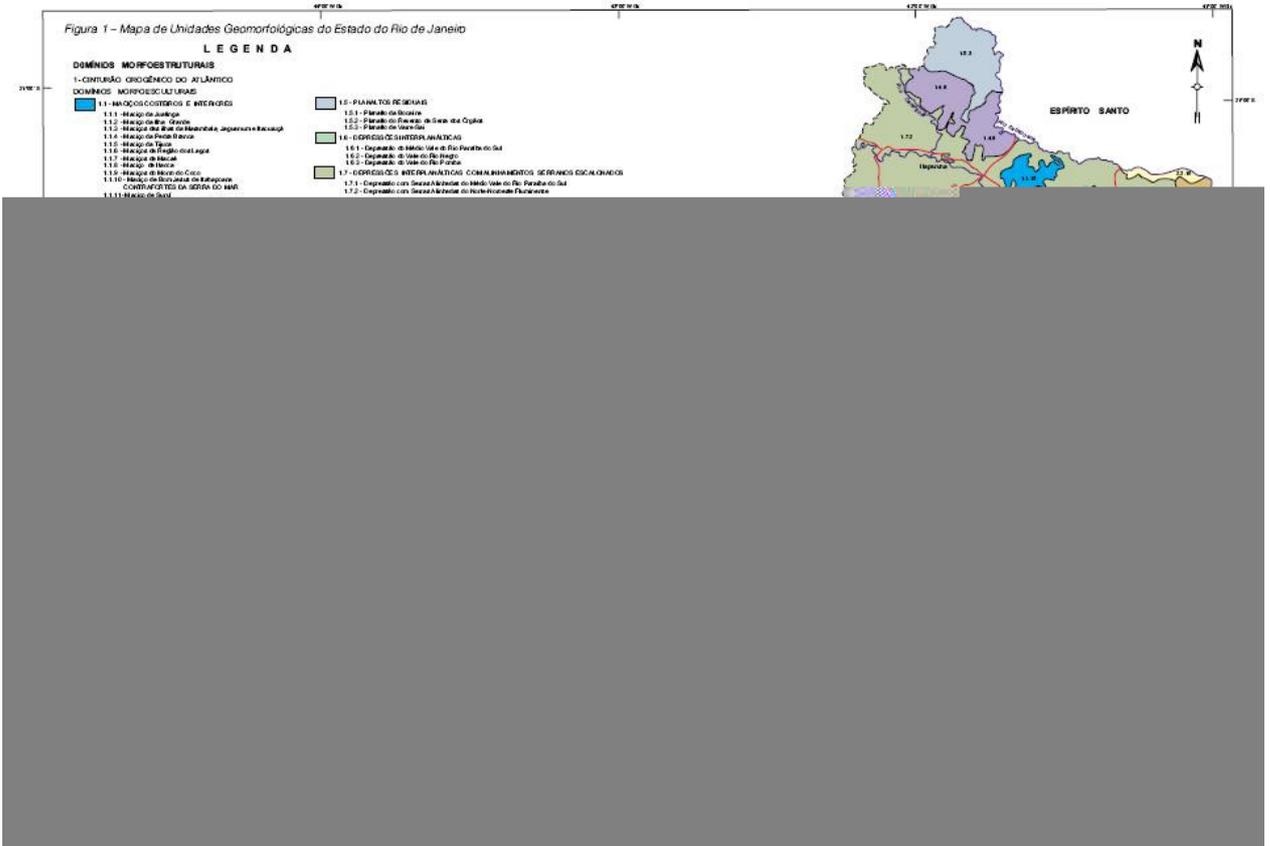
SEV 100 - Schlumberger. UTM SAD 69.531399 m E. 7510502 m N



SEV 101 - Schlumberger. UTM SAD 69.526296 m E. 7509299 m N

LEGENDA	
○	Dados de Campo
— (red)	Curva de melhor ajuste
— (blue)	Espessura e resistividade das camadas geolétricas
N	Número de camadas
ρ	Resistividade das camadas (ohm.m)
h	Espessura das camadas (m)
d	Profundidade do topo das camadas (m)
□ (green)	Profundidade do topo da rocha sã (m)

ANEXO E – Mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro (CPRM).
 Disponível em www.cprm.gov.br, acessado em 10 de dezembro de 2010.
 MAPA DE CONSULTA.



LEGENDA

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS

1- CINTURÃO OROGÊNICO DO ATLÂNTICO

DOMÍNIOS MORFOESCULTURAIS

1.1 - MACIÇOS COSTEIROS E INTERIORES

- 1.1.1 - Maciço da Juatinga
- 1.1.2 - Maciço da Ilha Grande
- 1.1.3 - Maciço das Ilhas da Marambaia, Jaguanum e Itacuruçá
- 1.1.4 - Maciço da Pedra Branca
- 1.1.5 - Maciço da Tijuca
- 1.1.6 - Maciços da Região dos Lagos
- 1.1.7 - Maciço de Macaé
- 1.1.8 - Maciço de Itaoca
- 1.1.9 - Maciço do Morro do Corvo

1.5 - PLANALTOS RESIDUAIS

- 1.5.1 - Planalto da Bocaína
- 1.5.2 - Planalto do Reverso da Serra dos Órgãos
- 1.5.3 - Planalto de Varre-Sai

1.6 - DEPRESSÕES INTERPLANÁLTICAS

- 1.6.1 - Depressão do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul
- 1.6.2 - Depressão do Vale do Rio Negro
- 1.6.3 - Depressão do Vale do Rio Pomba