

**AVALIAÇÃO DE PERIGO DE MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE ITATIAIA
(RJ) POR MEIO DE INVENTÁRIO DE CICATRIZES GERADO
COM A UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ADS-80**

Dissertação de Mestrado n° 55

Júlia Pera de Almeida

Orientadora:

Profa. Dra. Noris Costa Diniz

Brasília – DF

2013

JÚLIA PERA DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DE PERIGO DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE
MASSA NO MUNICÍPIO DE ITATIAIA (RJ) POR MEIO DE
INVENTÁRIO DE CICATRIZES GERADO COM A UTILIZAÇÃO DE
IMAGENS ADS-80**

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências Aplicadas, na área de concentração de Geoprocessamento e Análise Ambiental.

Orientadora:

Profa. Dra. Noris Costa Diniz

Examinadores:

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig (UnB)
Prof. Dr. Juan Antonio Altamirano Flores (UFSC)

Brasília, 2013

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de
Brasília. Acervo 1009740.

A447a Almeida, Júlia Pera de.
Avaliação de perigo de movimentos gravitacionais de
massa no município de Itatiaia (RJ) por meio de inventário
de cicatrizes gerado com a utilização de imagens ADS-80 /
Júlia Pera de Almeida. -- 2013.
xviii, 112 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação
em Geociências Aplicadas, 2013.

Inclui bibliografia.

Orientação: Noris Costa Diniz.

1. Geomorfologia. 2. Cartografia - Mecânica dos solos.
3. Tálus (Geologia). I. Diniz, Noris Costa. II. Título.

CDU 551.4(81)

AGRADECIMENTOS

À professora Noris Costa Diniz, pela orientação e ensinamentos, tanto acadêmicos quanto de vida, e por todo o apoio e amizade;

Ao professor José Elói Guimarães Campos, atual coordenador do programa de pós-graduação em Geociências Aplicadas do IG/UnB, por todo o apoio;

Ao professor Henrique Llacer Roig, pela oportunidade de participação em um projeto de pesquisa do REUNI;

Ao CENSIPAM, pela cessão das imagens ADS-80 e do MDE de alta resolução;

À Maristela Menezes de Araújo, secretária da pós-graduação do IG-UnB, sempre tão atenciosa e solícita;

Ao colega de orientação Fausto Batista Mendonça, pela cessão de materiais e dados importantes, e pelo compartilhamento de experiências;

À Talita Rocha, pela atenciosa revisão de textos;

Aos meus pais, Raquel Vinholes Pera e Vladimir Meireles de Almeida, por todo o carinho, apoio, infraestrutura, educação e oportunidades proporcionadas.

RESUMO

Com o fortalecimento da política nacional de redução de riscos e resposta a desastres naturais, foi promulgada a Lei 12.608, de abril de 2012, onde as cartas de suscetibilidade, cartas geotécnicas de aptidão urbana e cartas de risco passam a representar instrumentos de prevenção de riscos e gestão municipal. Desta maneira, mais do que nunca na história do Brasil o tema de cartografia geotécnica teve tanta importância, e cabe à comunidade científica o desenvolvimento e a discussão de técnicas e metodologias de mapeamento geotécnico e de risco que possam ser aplicadas para o planejamento territorial, extrapolando a esfera acadêmica e chegando até os planejadores e gestores.

O município de Itatiaia localiza-se na região do Vale do Rio Paraíba do Sul, no eixo Rio de Janeiro – São Paulo, e sua área se estende desde o vale do rio até o cimo da Serra da Mantiqueira, abrangendo as maiores amplitudes regionais, de aproximadamente 2000 m. Na escarpa da Serra da Mantiqueira, descendo em direção ao vale do Rio Paraíba do Sul, ocorre um expressivo depósito de tálus, logo acima da Rodovia Presidente Dutra (BR – 116) e do Reservatório do Funil, da hidrelétrica homônima.

No presente trabalho foi realizada uma avaliação de perigo de movimentos gravitacionais de massa para o município de Itatiaia, a partir da geração de um mapa de inventário de cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa utilizando imagens de altíssima resolução espacial obtidas com uma câmera do modelo ADS-80 da *Leica Geosystems*. Também se buscou estudar o depósito de tálus do Itatiaia, por meio do refinamento da delimitação de sua área, utilizando as imagens ADS-80, e da investigação de sua gênese, também por meio de fotointerpretação e de observações em campo.

As atuais áreas urbanizadas do município de Itatiaia podem ser consideradas seguras, desde que se preservem e atendam a medidas de segurança, e se mantenha a atenção para o tipo de ocupação. Cortes e aterros realizados em áreas de tálus e em regolitos de brechas e conglomerados do Membro Itatiaia da Bacia de Resende podem apresentar riscos, por se tratarem de materiais com baixa coesão, e apresentarem uma estruturação anisotrópica, o que torna estes depósitos instáveis em condições de precipitações extremas, com possibilidade de serem retrabalhados

por novos movimentos gravitacionais de massa. Assim, dependendo da maneira da ocupação, áreas com susceptibilidade baixa podem vir a apresentar riscos dependendo da maneira como forem ocupadas.

Uma interpretação para o gênese do depósito de tálus é que o mesmo seja fruto de um megadeslizamento em forma de cunha que evoluiu para corridas de detritos, associado à reativação neotectônica de uma falha transcorrente dextral, e ao acúmulo de água no material intemperizado na escarpa do maciço, relacionado ao fim do último período glacial e o consequente aumento de precipitações. A delimitação do tálus é importante, pois esses corpos, por apresentarem movimentos de rastejo, que puderam ser observados em campo, apresentam riscos para obras lineares, como rodovias, ferrovias, dutos, cabos de transmissão de rede elétrica.

ABSTRACT

With the strengthening of national policies for natural risks reduction and response to natural disasters, the Law 12,608 was promulgated in April 2012. Susceptibility maps, urban aptitude geotechnical maps and risk maps began to represent risk prevention and municipal management instruments. In that way, more than ever in the history of Brazil, geotechnical cartography had so much importance, and it fits to the scientific community the development and discussion of geotechnical and risk mapping techniques and methodologies that can be applied in territorial planning, extrapolating the academic sphere and reaching planners and managers.

The town of Itatiaia is located at the Vale do Rio Paraíba do Sul region, on the Rio de Janeiro - Sao Paulo axis, and its area extends from the Paraíba do Sul river valley to the top of the Serra da Mantiqueira, covering the major regional amplitudes, of approximately 2000 m. On the Serra da Mantiqueira's escarpment, descending into the valley of the Paraíba do Sul River is a significant talus deposit, just above the Presidente Dutra Highway (BR - 116) and the Funil reservoir and dam.

In the present work, a gravitational mass movements' hazard assessment for the city of Itatiaia was performed, from the generation of a gravitational mass movements scars' inventory map using very high spatial resolution images obtained with a Leica Geosystems' ADS-80 camera model. The Itatiaia's talus deposit was also studied, through the refinement of the definition of its area, using the ADS-80 images, and the investigation of its genesis, also through photo interpretation and field observations.

The actual urban areas can be considered safe, provided that security measures are taken and preserved, and that attention to the type of occupation is kept. Cuts and embankments made in the talus deposits and breccia and conglomerates' regoliths of Resende's Basin Itatiaia Member may present risks because they are low cohesion materials, with anisotropic structures, which makes these deposits unstable in conditions of extreme rainfall, with the possibility of being reworked by the new gravitational mass movements. Thus, depending on the ways the occupation is done, areas with low susceptibility may end up presenting risks.

An interpretation for the talus deposit's genesis is that it is the result of a wedge shaped giant landslide that evolved into debris flow, associated with

neotectonic reactivation of a dextral fault, and the accumulation of water in the weathered material on the Itatiaia's massif escarpment, related to the end of the last glacial period and the consequent increase in precipitation. The delineation of the talus is important because these bodies may present creeping movements, which can put linear works, such as roads, railways, pipelines, cables transmission grid, at risk.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------|
| Resumo..... | v |
| Abstract..... | vii |
| Lista de Figuras..... | xi |
| Lista de Fotografias..... | xiv |
| Lista de Quadros..... | xvi |
| Lista de Siglas e Abreviaturas..... | xviii |
| | |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 Apresentação..... | 1 |
| 1.2 Justificativas..... | 2 |
| 1.3 Objetivos..... | 3 |
| | |
| 2. Caracterização da Área de Estudo..... | 4 |
| 2.1 O Município de Itatiaia..... | 4 |
| 2.2 Definição da área de estudo..... | 5 |
| 2.3 Aspectos climáticos..... | 6 |
| 2.4 Geomorfologia Regional..... | 8 |
| 2.5 Geologia Regional..... | 10 |
| 2.5.1 Embasamento Cristalino Pré-Cambriano..... | 11 |
| 2.5.2 Rochas Alcalinas Neocretáceas..... | 14 |
| 2.5.3 Sedimentos Terciários..... | 17 |
| 2.5.4 Evolução Geológica Regional..... | 22 |
| | |
| 3. Movimentos Gravitacionais de Massa..... | 27 |
| 3.1 Tipos de Movimentos Gravitacionais de Massa..... | 28 |
| 3.2 Causas dos Movimentos Gravitacionais de Massa..... | 35 |
| 3.3 Feições Indicativas de Movimentos Gravitacionais de Massa..... | 40 |
| | |
| 4. Cartografia Geotécnica de Risco de Movimentos Gravitacionais de Massa..... | 43 |
| 4.1 Cartografia Geotécnica..... | 43 |
| 4.1.1 A Cartografia Geotécnica no Brasil..... | 45 |
| 4.1.2 Sistemas de Terreno..... | 46 |
| 4.2 Cartografia de Risco de Movimentos Gravitacionais de Massa..... | 48 |
| 4.2.1 Ferramentas..... | 52 |
| 4.2.2 Escala das Cartas de Risco..... | 55 |
| | |
| 5. Materiais e Métodos..... | 57 |
| 5.1 Etapa de Inventário..... | 58 |
| 5.1.1 Imagens da Câmera ADS-80..... | 59 |
| 5.2 Etapa de Análise..... | 60 |
| 5.2.1 Geoprocessamento..... | 60 |
| 5.2.2 Fotointerpretação..... | 61 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.3 Levantamento de Campo | 66 |
| 5.2.4 Análises de Difractometria de Raios-X da Matriz do Tálus do Itatiaia..... | 66 |
| 5.3 Etapa de Síntese..... | 67 |
| 5.3.1 Carta de Unidades de Terreno..... | 67 |
| 5.3.2 Cartas de Suscetibilidade..... | 67 |
| 5.3.3 Avaliação de Perigo..... | 68 |
| 6. Análise | 69 |
| 6.1 Unidades de Terreno..... | 69 |
| 6.1.1 Unidade de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul..... | 69 |
| 6.1.2 Unidade de Terreno Colinas Sedimentares..... | 71 |
| 6.1.3 Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus..... | 75 |
| 6.1.4 Unidade de Terreno Rampa Coluvionar..... | 77 |
| 6.1.5 Unidade de Terreno Mar de Morros..... | 78 |
| 6.1.6 Unidade de Terreno Degraus Escalonados..... | 80 |
| 6.1.7 Unidade de Terreno Topos e Escarpas Rochosos..... | 81 |
| 6.2 O Depósito de Tálus..... | 84 |
| 6.3 Avaliação de Suscetibilidade..... | 89 |
| 6.3.1 Inventário de Cicatrizes de Movimentos de Massa..... | 89 |
| 6.3.2 Avaliação de Suscetibilidade..... | 92 |
| 6.4 Avaliação de Perigo..... | 96 |
| 6.4.1 Mapeamento da Ocupação Consolidada..... | 96 |
| 6.4.2 Avaliação de Perigo..... | 99 |
| 7. Conclusão..... | 104 |
| 8. Referências Bibliográficas..... | 106 |
| Apêndices e anexo..... | 114 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização e delimitação do município de Itatiaia e do Parque Nacional do Itatiaia, sobre imagem do satélite ALOS de 04/10/2010, composição RGB 543.....5
- Figura 2 - Localização da área de estudo. A área está delimitada em vermelho, e consiste no perímetro do município de Itatiaia sobre imagem do satélite ALOS de 04/10/2010, composição RGB 543.....6
- Figura 3 - Média mensal de precipitação na estação Resende, nos anos de 2006 a 2010 com a normal climatológica do período de 1961 – 1990. Fonte: INMET.....7
- Figura 4 - Perfil geológico – geomorfológico entre Angra dos Reis (RJ) e Itamonte (MG).Fonte: Dantas et al., 2008.8
- Figura 5 - Contexto geológico regional da área de estudo. O perímetro do município de Itatiaia está delimitado em vermelho na figura. Fonte: Cordani & Teixeira, 2007.....11
- Figura 6 - Mapa tectônico da região Sudeste do Brasil - 1) Cráton do São Francisco; 2) Cinturão Brasília; 3) Terreno Cabo Frio; 4) Terreno Oriental - Domínio Costeiro; 5) Terreno Oriental - Arco Magmático Rio Negro; 6) Klippe Paraíba do Sul; 7) Terreno Ocidental; 8) Bacia do Paraná; 9) Corpos alcalinos do Cretáceo Superior a Eoceno; 10) Bacias do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB): A - São Paulo; B - Taubaté; C - Resende; D - Volta Redonda; E - Macacu; F - Itaboraí; G - Barra de São João; 11) Sedimentos cenozóicos indiferenciados; 12) Falhas reversas, nappes; 13) Alinhamento Magmático de Cabo Frio; 14) Limites de grábens do RCSB. Fonte: Modificado de Riccomini (1989), Ferrari (1990), Mohriak & Barros (1990), Heilbron et al. (2000) e Ferrari (2001) por Riccomini et al., 2004.....12
- Figura 7 - Perfil geológico do Maciço Alcalino do Itatiaia. Fonte: Ribeiro Filho, 1968.....16
- Figura 8 - Contexto geológico regional do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) 1) Embasamento pré-cambriano; 2) Rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná; 3) Rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) Rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico; 5) Bacias cenozóicas do rifte (1 - Bacia de Itaboraí, 2 - Gráben de Barra de São João, 3 - Bacia do Macacu, 4 - Bacia de Volta Redonda, 5 - Bacia de Resende, 6 - Bacia de Taubaté, 7 - Bacia de São Paulo, 8 - Gráben de Sete Barras, 9 - Formação Pariqüera-Açu, 10 - Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçaba, 11 - Bacia de Curitiba, 12 - Gráben de Cananéia); 6) Zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em parte reativadas durante o Mesozóico e Cenozóico. Fonte: Riccomini *et al.*, 2004.....18
- Figura 9 - Carta litoestratigráfica da Bacia de Resende. Fonte: Ramos *et al.*, 2006.....19

| | |
|---|----|
| Figura 10 - Mapa geológico da Bacia de Resende. Fonte: Ramos <i>et al.</i> , 2006..... | 21 |
| Figura 11 - Esboço geológico do rifte continental que gerou as serras da Mantiqueira e do Mar. Fonte: Teixeira & Cordani, 2007..... | 22 |
| Figura 12 - Fases da evolução tectônica do Rifte Continental do Sudeste do Brasil. Fonte: Riccomini, 1989..... | 24 |
| Figura 13 - Carta litoestratigráfica e fases tectônicas reconhecidas na região do alto estrutural de Queluz. Fonte: Salvador & Riccomini, 1995..... | 25 |
| Figura 14 - Ilustração esquemática de a) queda e b) tombamento. Fonte: Varnes, 1978 <i>apud</i> Highland & Bobrowsky, 2008..... | 30 |
| Figura 15 - Ilustração esquemática de a) escorregamento rotacional e b) escorregamento translacional. Fonte: Varnes, 1978 <i>apud</i> Highland & Bobrowsky, 2008..... | 32 |
| Figura 16 - Ilustração esquemática de a) corrida de detritos, b) corrida de detritos e c) corrida de terra. Fonte: Varnes, 1978 <i>apud</i> Highland & Bobrowsky, 2008..... | 34 |
| Figura 17 - Ilustração esquemática de rastejo. Fonte: Varnes, 1978 <i>apud</i> Highland & Bobrowsky, 2008..... | 34 |
| Figura 18 - Partes componentes de um escorregamento rotacional que originou uma corrida de massa. Fonte: Varnes, 1978 <i>apud</i> Highland & Bobrowsky,..... | 40 |
| Figura 19 – Modelagem da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, e sua relação com a cartografia geotécnica. Fonte: Fornasari Filho <i>et al.</i> (1992) <i>apud</i> Diniz (1998)..... | 44 |
| Figura 20 - Tipos de cartas geotécnicas. Fonte: Diniz, 1998..... | 44 |
| Figura 21 - Trecho de carta de suscetibilidade de deslizamentos elaborada para uma área na Califórnia (EUA). Fonte: Varnes,1984..... | 50 |
| Figura 22 – Fluxograma metodológico simplificado para a geração de cartas de risco de movimentos gravitacionais de massa. Fonte: modificado de Vallejo & Ferrer, 2011. | 51 |
| Figura 23 - Etapas metodológicas para a cartografia geotécnica proposta por Diniz (1998). Fonte: Mandai (2012) modificado de Diniz (1998)..... | 57 |
| Figura 24 - Etapas metodológicas do presente trabalho..... | 58 |
| Figura 25 – Localização da área do Projeto Paraíba do Sul. | 60 |
| Figura 26 - Detalhe de imagem ADS – 80, no qual se observa cicatriz de | |

| | |
|---|----|
| escorregamento rotacional inativo a antigo no Distrito de Penedo, com destaque para a área de arranque e para o depósito..... | 62 |
| Figura 27 - Perfil topográfico de AB (figura 27), gerado a partir do MDE com a extensão <i>Spatial Analyst</i> , para identificação da geometria da cicatriz. Pode-se observar na figura a forma convexa do depósito, sugerindo tratar-se de cicatriz de escorregamento rotacional..... | 63 |
| Figura 28 - Detalhe de imagem ADS-80 na qual se observam cicatrizes de escorregamento no distrito de Penedo. Na imagem à esquerda, pode-se observar uma área com vegetação verde clara, contrastante com as áreas adjacentes, sugerindo tratar-se de uma área movida. Sobre essa área, ocorrem áreas menores sem vegetação, interpretadas como reativações em menor escala e mais recentes. Na imagem à direita, observam-se os polígonos vetorizados sobre as cicatrizes, demarcando as áreas das mesmas e classificando quanto à idade/atividade..... | 63 |
| Figura 29 - Representação esquemática para a geração de mapa de densidade de cicatrizes em ambiente SIG. Fonte: Modificado de Irigaray & Chacón, 2003. | 68 |
| Figura 30 - Carta de Unidades de Terreno..... | 70 |
| Figura 31– Área atual do depósito de tálus do Itatiaia, cicatriz de arranque do movimento, direções de propagação do material, alcance máximo e falha dextral associada à ocorrência do deslizamento., sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE..... | 87 |
| Figura 32 - Perfil esquemático AB (Fig. 31)..... | 88 |
| Figura 33 - Mapa de Inventário de cicatrizes classificadas por tipo de movimento..... | 90 |
| Figura 34 - (A) Desenvolvimento de concavidades estruturais controladas por fraturas na rocha; (B) - Formação de canal e desenvolvimento inicial de uma concavidade suspensa em relação ao fundo de vale adjacente; (C) -Fase de aprofundamento e recuo de encostas;. (D) - Desenvolvimento de subunidades côncavas na interseção de duas famílias de fraturas. Fonte: Avelar & Coelho Netto, 1992..... | 91 |
| Figura 35 – Detalhe de imagem ADS -80 no qual se pode observar cicatriz de escorregamento associado à evolução de drenagem tipo cabeça - de – fósforo na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares..... | 91 |
| Figura 36 - Carta de suscetibilidade relativa de movimentos gravitacionais de massa..... | 94 |
| Figura 37 - carta de suscetibilidade de ocorrência de corridas de detrito de grande porte..... | 95 |
| Figura 38 - Mapa da ocupação consolidada para o município de Itatiaia..... | 98 |

Figura 39 – Carta de perigo de corridas de detrito de grande porte.....100

Figura 40 – Carta de suscetibilidade relativa com a ocupação consolidada.....101

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Vista da cidade de Itatiaia a partir do cume dos Três Picos (ponto 5.3), no Parque Nacional do Itatiaia, a 1800 m de altitude. Na fotografia estão delimitadas as Unidades de Terreno visualizadas, para ilustrar a Unidade de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul.....71

Fotografia 2 - relevo da Unidade de Terreno Colinas sedimentares, constituído por colinas pequenas a médias com topos arredondados. Fotografia tirada no ponto 3.9.....72

Fotografia 3 - Colina média da Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. Fotografia tirada no ponto 3.9.....72

Fotografia 4 - Afloramento de rochas do Membro Itatiaia da Bacia de Resende. Na base, camada de arenito arcoseano, e no topo, conglomerado oligomítico com clastos de sienito e matriz argilosa. Localização: ponto 1.3.....73

Fotografia 5 - Proto - vale na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. Fotografia tirada no ponto de 3.2.....74

Fotografia 6 - Erosões laminares à direita e pequeno escorregamento na base de anfiteatro na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. Fotografia tirada próxima ao ponto 1.3.....74

Fotografia 7 - Rampas da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Fotografia tirada no ponto 2.4.....75

Fotografia 8 - pasto com campo de matações em encosta de morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Fotografia tirada próxima ao ponto 2.1.....76

Fotografia 9 - Blocos de sienito no leito do Rio Campo Belo na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. As drenagens carregam o material fino nos depósitos de tálus e os blocos e matações permanecem no local. Localização: ponto 2.1.....76

Fotografia 10 - Postes entortados em bairro implantado sobre morro de tálus na Unidade de Terreno Rampas e Morros de tálus. O entortamento dos postes é uma feição característica da ocorrência de rastejo (*creeping*). Fotografia tirada no ponto 2.5.....77

Fotografia 11 - Unidade de Terreno Rampa Coluvionar embutida na Unidade de Terreno Degraus Escalonados, observadas a partir de trilha no Parque Nacional do Itatiaia a aproximadamente 1700 m de altitude (Ponto 5.2).....78

| | |
|--|----|
| Fotografia 12 - Relevo da Unidade de Terreno Mar de Morros, vista a partir do cume dos Três Picos, no Maciço Alcalino do Itatiaia, a aproximadamente 1800 m de altitude (ponto 5.3). Cicatrizes de escorregamentos translacionais rasos recentes podem ser observadas nas encostas..... | 79 |
| Fotografia 13 - Vale suspenso na Unidade de Terreno Mar de Morros. Fotografia tirada próxima ao ponto 2.1..... | 79 |
| Fotografia 14 - Morro com topo convexo na Unidade de Terreno Mar de Morros. À esquerda, observa-se cicatriz de escorregamento rotacional inativo com reativações na forma de escorregamentos translacionais. Tais feições se relacionam à evolução natural da paisagem, com vales suspensos, proto-vales e concavidades estruturais. (escorregamento rotacional), e ao desmatamento com plantio de pasto para o gado (escorregamentos translacionais). Fotografia tirada próxima ao ponto 1.2..... | 80 |
| Fotografia 15 - Relevo da Unidade de Terreno Escarpas e Topos Rochosos no Planalto do Itatiaia, no topo do maciço alcalino. Cristas e picos rochosos com topos desnivelados e campos de matacões são feições características da unidade..... | 81 |
| Fotografia 16 - escarpa rochosa de biotita-muscovita-gnaiss da Unidade Andrelândia na Unidade de Terreno Escarpas e Topos Rochosos, a oeste do Maciço Alcalino do Itatiaia, no Parque Nacional do Itatiaia. Ao fundo, observa-se a Serra Fina, no topo do Maciço Alcalino de Passa – Quatro..... | 82 |
| Fotografia 17 - Afloramentos de quartzo-sienito no topo do maciço do Itatiaia com caneluras , feições típicas do intemperismo físico-químico no Planalto do Itatiaia. Fotografia tirada próximo ao ponto 6..... | 83 |
| Fotografia 18 - Rampa coluvionar no Planalto do Itatiaia, no topo do maciço. Os solos lateríticos e os depósitos de material transportado no maciço apresentam a mesma textura argilo – arenosa e a coloração ocre-alaranjada típica do depósito de tálus da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Fotografia tirada próxima ao ponto 6..... | 83 |
| Fotografia 19 - Surgência de água em solo argiloso de coloração ocre-alaranjada, típico do depósito de tálus da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Localização: ponto 2.5..... | 85 |
| Fotografia 20 - Matacão de sienito na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus com caneluras, feições típicas do intemperismo diferencial que ocorre em quartzo-sienitos no topo do Maciço Alcalino do Itatiaia. Localização: ponto 3.3..... | 85 |
| Fotografia 21 - Fotomosaico do depósito de tálus com o Maciço Alcalino do Itatiaia ao fundo..... | 88 |
| Fotografia 22 – Ocupação consolidada distribuídas nas Unidades de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul e Colinas Sedimentares. | 97 |
| Fotografia 23 – Vista do relevo do município a partir da cidade de Itatiaia na Unidade de Terreno Planície do rio Paraíba do sul..... | 97 |

| | |
|---|-----|
| Fotografia 24 - Casas de alvenaria e barraco construídas em bairro sobre morro na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Ao fundo, pode-se observar rampas da mesma unidade de terreno. Fotografia tirada no ponto 2.7..... | 102 |
| Fotografia 25 - Casa construída em bairro assentado sobre morro de tálus, com feições erosivas muito expressivas e blocos a matacões de sienito, na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Localização: ponto 2.6..... | 102 |
| Fotografia 26 - Talude de corte em solo laterítico de rochas sedimentares do Membro Itatiaia da Bacia de Resende, acima de muro de quintal de casa em bairro da cidade de Itatiaia na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. Fotografia tirada próxima ao ponto 2.8..... | 103 |
| Fotografia 27 - Talude de corte em solo laterítico de rochas sedimentares do Membro Itatiaia da Bacia de Resende, em bairro da cidade de Itatiaia na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. O local também serve como entulho para materiais de construção, como canos, vasos sanitários, pedaços de azulejos, tijolos. Fotografia tirada próxima ao ponto 2.8..... | 103 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Compartimentos geomorfológicos regionais. Fonte: Adaptado de Ross e Moroz (1997) por Mendonça (2012)..... | 9 |
| Quadro 2 - Características das unidades morfoesculturais do Médio Vale do Paraíba do Sul..... | 9 |
| Quadro 3 - Características das unidades morfoesculturais do Cinturão Orogênico do Atlântico. Fonte: Adaptado de Ross e Moroz (1997) por Mendonça (2012)..... | 10 |
| Quadro 4 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa. Fonte: Varnes, 1978..... | 29 |
| Quadro 5 - Principais grupos de fatores que influenciam na ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Cruden e Varnes, 1996..... | 36 |
| Quadro 6 - Influência de diferentes fatores nas condições de materiais e encostas. Fonte: Vallejo & Ferrer, 2011..... | 39 |
| Quadro 7 - Feições características para a identificação de movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Soeters & Van Westen, 2006..... | 41 |
| Quadro 8 - Classificação dos movimentos gravitacionais de massa por atividade. Fonte: Keaton & De Graff, 1996..... | 42 |
| Quadro 9 – Exemplos de unidades de mapeamento por Sistemas de Terreno. Fonte: Mandai, 2012..... | 47 |
| Quadro 10 - Atributos para delimitação de Unidades de Terreno. Fonte: Diniz-Souza, 1992..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Quadro 11 - Comparação entre diferentes trabalhos de cartografia geotécnica e de risco. Fonte: Mendonça, 2012..... | 53 |
| Quadro 12- escalas de inventários de escorregamentos e de mapas de susceptibilidade, perigo e risco e aplicações. Fonte: Modificado de JTC -1, 2008..... | 55 |
| Quadro 13 -Metodologia para geração de inventário de cicatrizes. Fonte: JTC-1, 2008..... | 64 |
| Quadro 14 – Parâmetros utilizados para a descrição das formas de relevo. Fonte: IPT,1981..... | 65 |
| Quadro 15 - Critérios para caracterização das unidades de relevo. Fonte: IPT,1981..... | 66 |
| Quadro 16 - Densidade de cicatrizes por unidade de terreno e classificação quanto à suscetibilidade..... | 93 |
| Quadro 17 - Distribuição da ocupação consolidada no município de Itatiaia..... | 96 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABGE** - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
- 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
- CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- EESC/USP**: Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo
- FAB** – Força Aérea Brasileira
- IAEG** - *International Association for Engineering Geology and the Environment*
- IG / UnB** – Instituto de Geociências da Universidade de Brasília
- INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia
- ISRM** – *International Society for Rock Mechanics*
- ISSMGE** - *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*
- JTC** - *Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*
- MDE** – Modelo Digital de Elevação
- MGM** – Movimento Gravitacional de Massa
- PNI** – Parque Nacional do Itatiaia
- PNPDEC** - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
- RCSB** – Rifte Continental do Sudeste Brasileiro
- SIG** – Sistema de Informações Geográficas
- SR** – Sensoriamento Remoto
- SRTM** – *Shuttle Radar Topography Mission*
- UFRJ** - Universidade Federal do Rio de Janeiro
- USGS** – *United States Geological Survey*
- UT** – Unidade de Terreno

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Com o fortalecimento da política nacional de redução de riscos e resposta a desastres naturais, foi promulgada a Lei 12.608, de abril de 2012, onde as cartas de suscetibilidade, cartas geotécnicas de aptidão urbana e cartas de risco passam a representar instrumentos de prevenção de riscos e gestão municipal, sendo requisitos, dentre outros, à participação do cadastro nacional de municípios críticos com suscetibilidade a desastres, viabilizando o acesso ao fomento para obras de contenção e drenagem, como uma das principais medidas efetivas dessa política pública de prevenção de riscos (DINIZ, 2012). Desta maneira, mais do que nunca na história do Brasil o tema de cartografia geotécnica teve tanta importância, e cabe à comunidade científica o desenvolvimento e a discussão de técnicas e metodologias de mapeamento geotécnico e de risco que possam ser aplicadas para o planejamento territorial, extrapolando a esfera acadêmica e chegando até os planejadores e gestores.

O presente trabalho aborda temas relativos à utilização do conhecimento geológico – geotécnico e das geotecnologias no planejamento territorial, no tocante à prevenção de acidentes relacionados a processos geodinâmicos superficiais. A área de concentração é de Geociências Aplicadas, na linha de pesquisa de cartografia geotécnica e de riscos geológicos e ambientais.

O trabalho contém oito capítulos, estruturados da seguinte maneira: no capítulo 1, intitulado “Introdução”, são apresentados as justificativas da escolha do tema e os objetivos do trabalho; no capítulo 2, intitulado “Caracterização da Área de Estudo,” é definida a área de estudo e são aspectos geológicos e geomorfológicos regionais; o capítulo 3, intitulado “Movimentos Gravitacionais de Massa,” aborda conceitos sobre movimentos gravitacionais de massa; e o capítulo 4, intitulado “Cartografia Geotécnica de Risco,” apresenta definições e breves considerações sobre metodologias de cartografia geotécnica e de risco; o capítulo 5, intitulado “Materiais e Métodos,” resume os materiais e as técnicas utilizados na realização do trabalho, e a descrição das etapas executadas; no capítulo 6, intitulado “Análise”, são apresentados e discutidos os dados e resultados obtidos; o capítulo 7, intitulado

“Conclusão,” resume os resultados e apresenta considerações gerais sobre o trabalho; e, por fim, o capítulo 8 contém a lista das referências bibliográficas utilizadas e citadas ao longo do texto.

1.2 Justificativas

A metodologia de cartografia geotécnica de suscetibilidade, perigo e risco de movimentos gravitacionais de massa utilizando inventários de cicatrizes foi recomendada pela JTC – 1 (*Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*) em seu guia “Diretrizes para o Zoneamento da Suscetibilidade, Perigo e Risco de Deslizamento para Planejamento e Uso do Solo” (JTC-1, 2008), e vem sendo aplicada pela professora Dra. Noris Costa Diniz em redes íbero-americanas desde 2009.

O município de Itatiaia localiza-se na região do Vale do Rio Paraíba do Sul, no eixo Rio – São Paulo. Abrange as maiores amplitudes regionais, de aproximadamente 2000 m. O Pico das Agulhas Negras, ponto culminante do Estado do Rio de Janeiro com 2791 m de altitude, encontra-se em seu território, no Parque Nacional do Itatiaia. Na escarpa da Serra da Mantiqueira, descendo em direção ao vale do Rio Paraíba do Sul, ocorre um expressivo depósito de tálus, logo acima da Rodovia Presidente Dutra (BR – 116) e do Reservatório do Funil, da hidrelétrica homônima.

Além da diversidade e expressividade geológica e geomorfológica da área de estudo e sua importante localização, a professora Dra. Noris Costa Diniz atuou na região do Vale do rio Paraíba do Sul em: cartografia geotécnica, do Estado de São Paulo, na confecção de mapas dos condicionantes físico-ambientais para o GEROE-RJ e Fundação CIDE, pelo IPT, e no PPDC do Vale do Paraíba, também pelo IPT. A área de estudo apresenta aspectos de geodinâmica em regiões serranas atuais e como tal, há uma proposta de para criação de *Hot Spot* para monitoramento de riscos, no depósito de Tálus, pelo CEMADEN, com sede em Cachoeira Paulista (SP), município também localizado na região do Vale do Rio Paraíba do Sul, a aproximadamente 55 km de distância do município de Itatiaia..

A câmera ADS-80 consiste em uma câmera fotográfica digital para aerolevantamentos. Em 2010, o CENSIPAM (Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia) adquiriu um equipamento ADS-80 e, por meio de um acordo de

cooperação técnica, equipou uma aeronave da FAB. Ainda estão sendo realizados levantamentos de teste com o equipamento, porém os resultados são excelentes. As imagens apresentam altíssima resolução espacial e representam uma promessa para preencher a lacuna de documentação cartográfica de detalhe no país, que geralmente consistem de produtos caros e/ou de difícil aquisição.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo a avaliação de perigo de movimentos gravitacionais de massa por meio do inventário de cicatrizes no município de Itatiaia (RJ), utilizando imagens ADS – 80.

Os objetivos específicos consistem: na geração de uma Carta de Unidades de Terreno para a área de estudo; na geração de um Mapa de Inventário de Cicatrizes de Movimentos Gravitacionais de Massa em grande escala; na geração de uma Carta de Suscetibilidade de Movimentos Gravitacionais de Massa; na avaliação de perigo de movimentos gravitacionais de massa para o município de Itatiaia e no estudo do depósito de tálus de Itatiaia, buscando sua delimitação mais precisa e evidências para sua gênese.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 O Município de Itatiaia

O município de Itatiaia localiza-se na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, no extremo noroeste do estado do Rio de Janeiro, próximo à fronteira com o estado de São Paulo ,a oeste, e na fronteira com o estado de Minas Gerais a Norte (Fig. 1),. Foi criado pela Lei nº 1.330 de 6 de julho de 1988, por desmembramento do município de Resende. Sua sede foi elevada a cidade e teve sua primeira administração instalada em 1º de junho de 1989. A cidade sede localiza-se às margens da rodovia Presidente Dutra (BR – 116), entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.

O município e se estende desde o vale do Rio Paraíba do Sul até o cimo da Serra da Mantiqueira, com uma área total é de 204 Km². Localmente, a escarpa da serra é formada pelo Maciço Alcalino do Itatiaia, e no topo do maciço encontra-se o ponto culminante do Estado do Rio de Janeiro, o pico das Agulhas Negras, com 2791 m de altitude. Assim, o município de Itatiaia abrange a maior amplitude regional, com cerca de 2000 m, desde os aproximadamente 400 m de altitude no Vale do Rio Paraíba do Sul até o topo do maciço do Itatiaia.

O município é dividido em dois distritos, o de Itatiaia e o de Penedo. O primeiro abrange a cidade de Itatiaia e se localiza no vale do Rio Paraíba do Sul, e o segundo localiza-se na escarpa da Serra da Mantiqueira na porção leste do município. Atualmente, a população do município é de 35.494 habitantes, concentrados nos núcleos urbanos dos dois distritos.

A partir do século XVIII até o final do século XIX, a região do Vale do Rio Paraíba do Sul foi destinada ao cultivo de café. Com o fracasso da lavoura do café, a maioria dos fazendeiros de Itatiaia voltou-se para a pecuária de ponta e a leiteira, atividade ainda bastante comum no município.

Em 1934, foi criado o primeiro parque nacional do país, o Parque Nacional do Itatiaia. O parque abrange grande parte da área do município, incluindo praticamente toda a encosta da serra da Mantiqueira e todo o seu topo dentro dos limites do município.

Com a construção da Rodovia Presidente Dutra, por volta de 1950, ligando o Rio de Janeiro a São Paulo, e da Hidrelétrica do Funil, localizada no extremo sudoeste do município, a cidade iniciou um novo ciclo de atividades e desenvolvimento com a instalação de grandes indústrias, e o início da atividade turística que caracteriza de forma marcante a região.

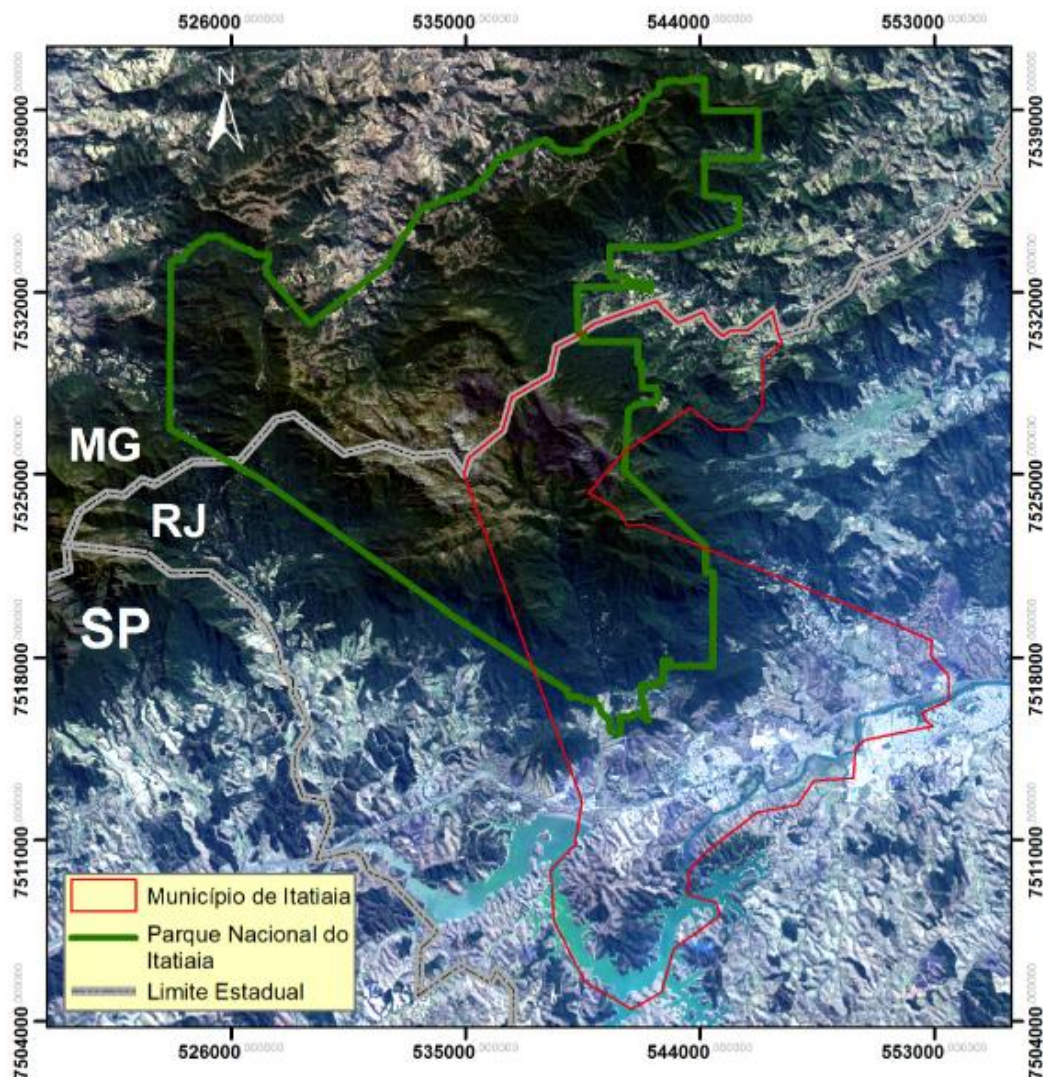


Figura 1 – Localização e delimitação do município de Itatiaia e do Parque Nacional do Itatiaia, sobre imagem do satélite ALOS de 04/10/2010, composição RGB 543.

2.2 Definição da área de estudo

A área do presente estudo inclui a área do município de Itatiaia que se estende da vertente da serra da Mantiqueira até o Vale do Rio Paraíba do Sul, delimitada na figura 2.

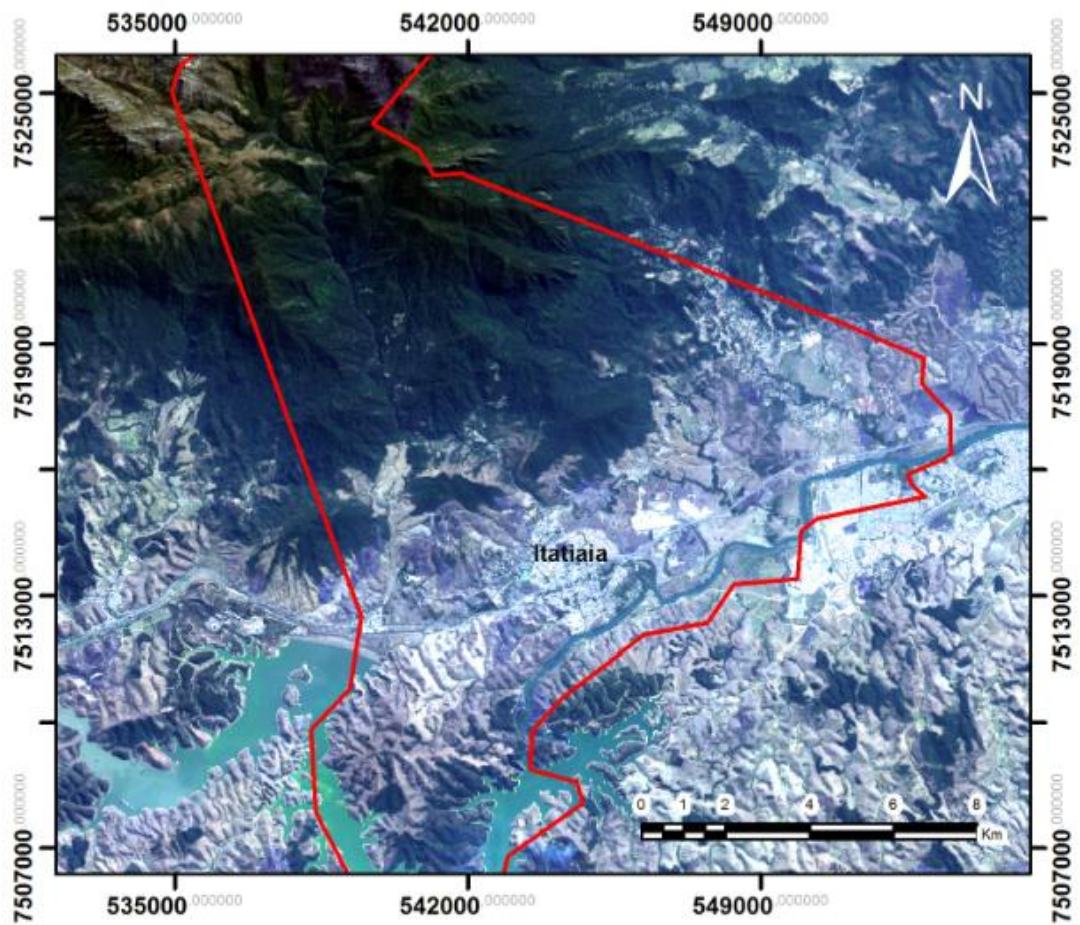


Figura 2 - Localização da área de estudo. A área está delimitada em vermelho, e consiste no perímetro do município de Itatiaia sobre imagem do satélite ALOS de 04/10/2010, composição RGB 543.

2.3 Aspectos climáticos

Nunes e Calbete (2000) e Silva e Leite (2000) relatam que a precipitação média da região do Médio Vale do Paraíba do Sul é de 1400 mm/ano, com concentração de cerca de 70% desse volume durante o período primavera-verão (setembro a fevereiro). As temperaturas variam de 16° C a 23° C em média.

A partir de dados pluviométricos da estação meteorológica de Engenheiro Passos, comunidade que pertence ao município de Resende (RJ), localizada na latitude -22° 45' 11" e longitude -44°44'47", foram obtidos os gráficos de pluviometria média mensal para os anos de 2006 a 2010 (Fig. 3). Observa-se um único regime na marcha estacional da precipitação nessa zona, com o máximo pluviométrico no verão, com valores que ultrapassam 250 mm mensais. O máximo geralmente se dá em dezembro ou janeiro, estando relacionado à conjunção das correntes de circulação perturbadas de Oeste e de Sul. Contrariamente, o mínimo pluviométrico

ocorre no inverno, quando entre junho e agosto a média não ultrapassa 30 mm, sendo que junho é o mês mais seco do ano.

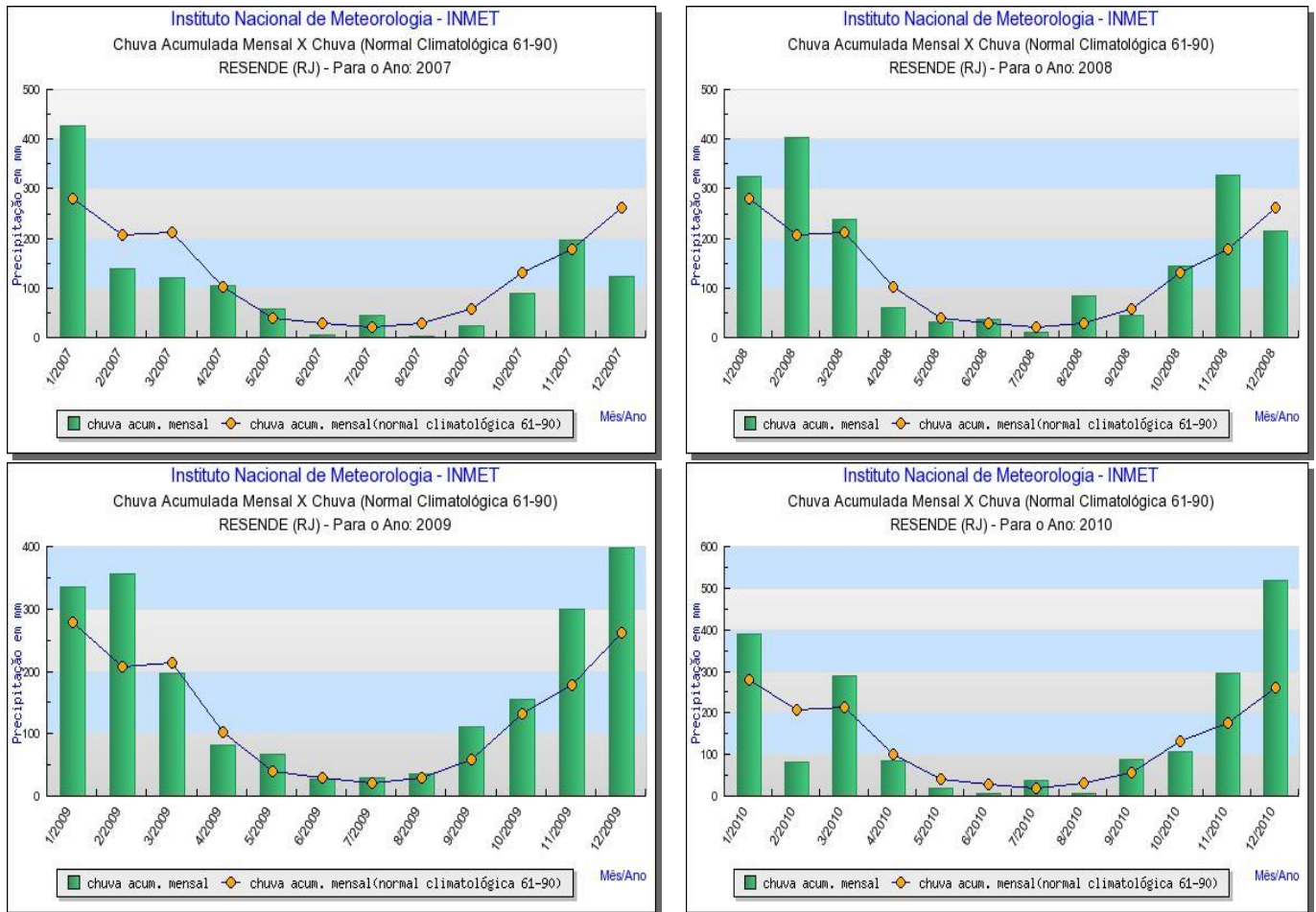


Figura 3 - Média mensal de precipitação na estação Resende, nos anos de 2006 a 2010 com a normal climatológica do período de 1961 – 1990.
Fonte: INMET.

2. 4 Geomorfologia Regional

O trecho do vale do Paraíba aonde se localiza o município de 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. Segundo IPT (1981) esta topografia é a mais abrupta da região, com desníveis da ordem de 2000 m do topo da Mantiqueira às planícies vale. A figura 4 compreende um perfil geológico – geomorfológico esquemático entre Angra dos Reis (RJ) e Itamonte (MG).

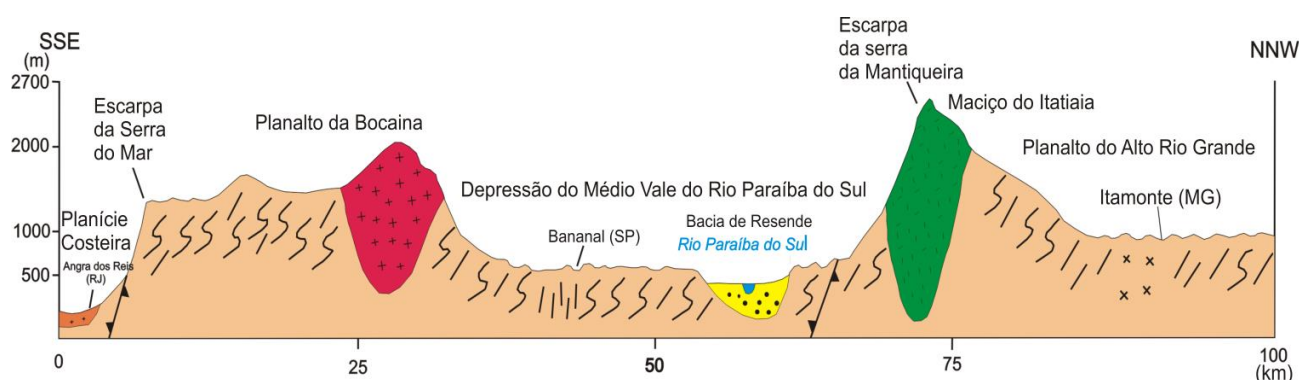


Figura 4 - Perfil geológico – geomorfológico entre Angra dos Reis (RJ) e Itamonte (MG).
Fonte: Dantas *et al.*, 2008.

Ross e Moroz (1997) incluem as serras do Mar e da Mantiqueira na Unidade Morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico. O relevo da unidade é escalonado em “degraus,” formando patamares, classificados de acordo com a altitude. O Médio Vale do Rio Paraíba do Sul 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 à morfoestrutura das Bacias Sedimentares Cenozóicas. O quadro 1 apresenta as Unidades Morfoestruturais e Morfoesculturais regionais área de estudo. Os quadros 2 e 3 apresentam as características das Unidades Morfoesculturais presentes na área de estudo.

Quadro 1 - Compartimentos geomorfológicos regionais.

| Unidades Morfoestruturais | Unidades Morfoesculturais |
|----------------------------------|--|
| Cinturão Orogênico do Atlântico | Planalto Atlântico Nível Alto (acima de 900m) Nível Médio (800-900m) Nível Baixo (700-800m) |
| Bacias Sedimentares Cenozóicas | Planalto de São Paulo Depressão do Médio Paraíba Planícies Litorâneas Planícies Fluviais |

Fonte: Adaptado de Ross e Moroz (1997) por Mendonça (2012).

Quadro 2 - Características das unidades morfoesculturais do Médio Vale do Paraíba do Sul.

| Quesito | Unidades do Médio Vale do Paraíba do Sul | |
|--|--|--|
| | Planalto | Depressão |
| Formas de relevo predominantes | Morros baixos com topos convexos. | Colinas com topos convexos. |
| Interflúvios | 250 a 750 m | 250 a 3.750 m |
| Altimetria | 600 a 800 m | 600 a 700 m |
| 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 dendrítico. Adaptado às estruturas geológicas da área. | |
| Fragilidade potencial a movimentos gravitacionais de massa | Nível médio de fragilidade, sujeito a fortes atividades erosivas. Apresenta média a alta Densidade de drenagem em vales entalhados com dissecação média. | - |

Fonte: Adaptado de Ross e Moroz (1997) por Mendonça (2012).

Quadro 3 - Características das unidades morfoesculturais do Cinturão Orogênico do Atlântico.

| Quesito | Unidades do Cinturão Orogênico do Atlântico | | |
|--|---|--|-------------|
| | Planalto e Serra da Mantiqueira | Serra do Mar | |
| Formas de relevo predominantes | Escarpas e morros altos com topos aguçados. | Escarpas e cristas com topos aguçados. | |
| Interflúvios | 250m a 3.750m | | |
| Altimetria | Nível alto | 1000m a 2000m | 20m a 1000m |
| | Nível Médio | 700m a 1000m | |
| Declividade | Nível alto | 30% a 60% | 40% a 60% |
| | Nível Médio | 20% a 30% | |
| Litologia | Gnaisses, migmatitos, granitos. Solos do tipo cambissolos, litólicos, argissolos e afloramentos rochosos. | Gnaisses, migmatitos, mica-xistos e granitos. Solos do tipo cambissolos, litólicos e afloramentos rochosos. | |
| Drenagem | Padrão dendrítico. Com frequência de padrão em treliça por adaptação a direções estruturais. | Padrão dendrítico adaptado às estruturas. | |
| Fragilidade potencial a movimentos gravitacionais de massa | Alta fragilidades, com processos erosivos intensos e alta probabilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Vertentes muito inclinadas, alta densidade de drenagem em vales muito entalhados e relevo muito dissecado. | Alta fragilidade, com processos erosivos pluvio-fluviais agressivos e movimentos de massa naturais e induzidos. Vertentes muito inclinadas, vales muito entalhados e relevo muito dissecado. | |

Fonte: Adaptado de Ross e Moroz (1997) por Mendonça (2012).

2.5. Geologia Regional

No contexto geológico regional da área de estudo, ocorrem rochas metamórficas proterozóicas/arqueanas, que constituem o embasamento cristalino regional (gnaisses, granitos e xistos), rochas alcalinas intrusivas neocretáceas (sienitos), rochas sedimentares terciárias e expressivos depósitos sedimentares quaternários (Fig. 5).

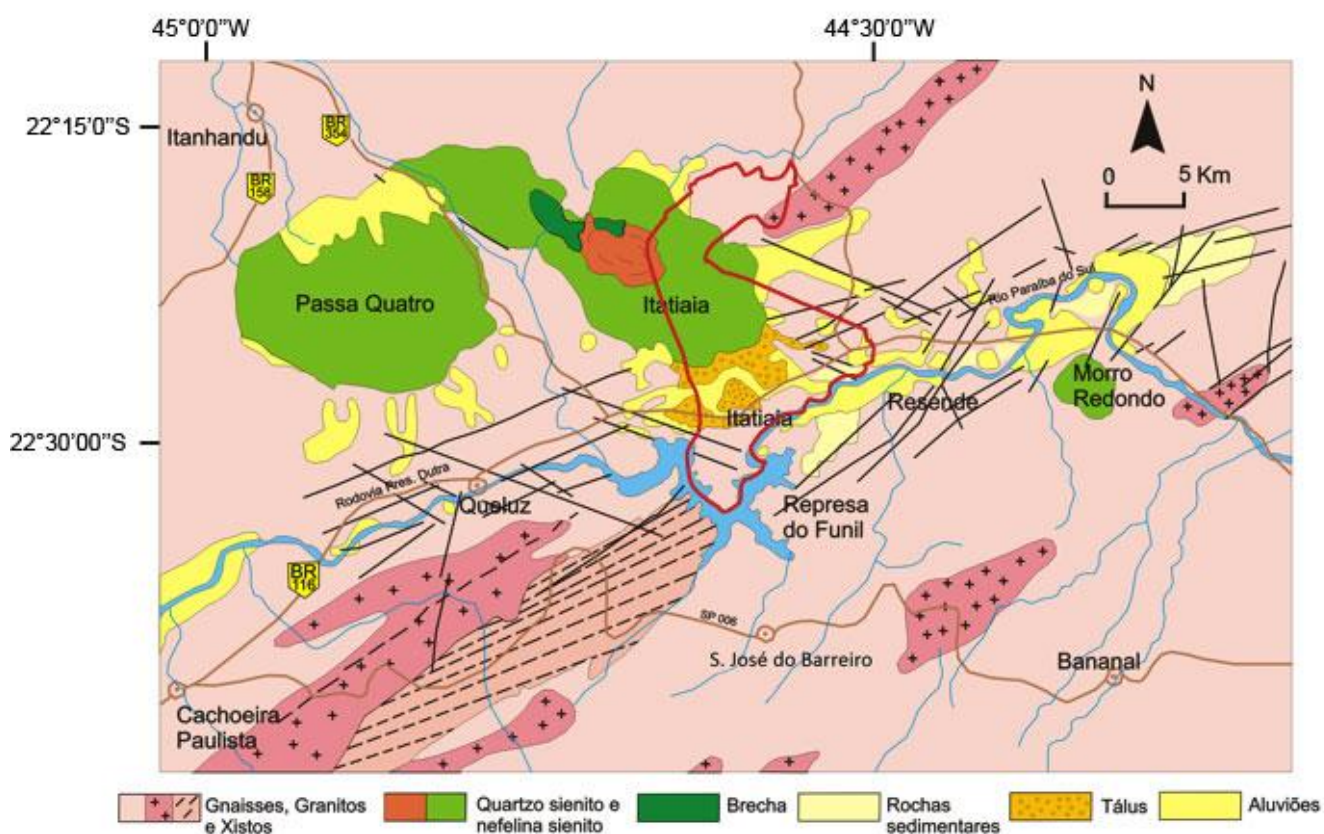


Figura 5 - Contexto geológico regional da área de estudo. O perímetro do município de Itatiaia está delimitado em vermelho na figura.

Fonte: Cordani & Teixeira, 2007.

2.5.1 Embasamento Cristalino Pré-Cambriano

A área de estudo faz parte do segmento central da Faixa Ribeira, composta por rochas arqueanas a neoproterozóicas metamorizadas e remobilizadas durante o ciclo Brasileiro (590 – 520 Ma) (HASUI *et al.*, 1975). Os contatos entre as unidades são tectônicos e ocorrem por meio de falhas de empurrão e zonas de cisalhamento transcorrentes com orientação principal NE-SW, segmentados por feixes de orientação NW- SE, configurando um padrão descontínuo. De acordo com Trouw *et al.* (2000), a Faixa Ribeira foi submetida a diversas fases orogênicas, resultando em um complexo padrão das unidades geológicas, individualizadas por descontinuidades tectônicas segundo ENE-WSW.

Segundo Sadowski & Campanha (2004), no médio vale do Rio Paraíba do Sul, a complexa rede de falhas transcorrentes neoproterozóicas é estruturada regionalmente em forma de leque aberto, em planta, com as porções centrais

verticalizadas. Tal organização estrutural seria característica de uma megaestrutura em flor positiva.

A Faixa Ribeira central é composta por terrenos, designados, de leste para oeste, de Cabo Frio, Terreno Oriental, *Klippe* do Paraíba do Sul e Terreno Ocidental. A área de estudo insere-se no domínio do Terreno Ocidental (HEILBRON & MACHADO, 2003) (Fig. 6).

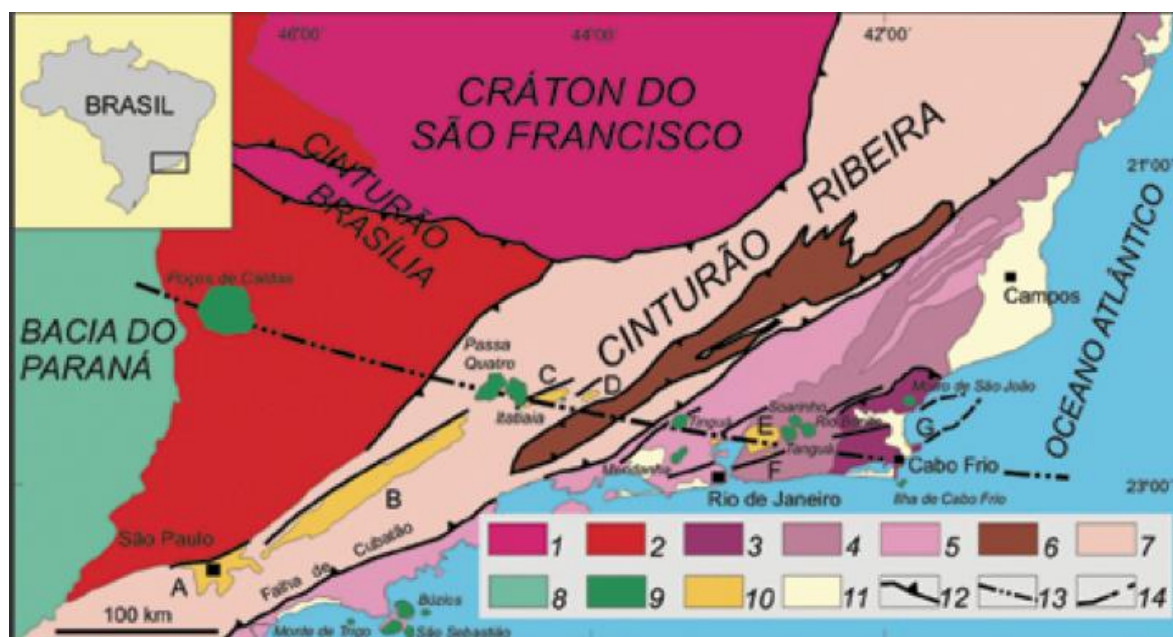


Figura 6 - Mapa tectônico da região Sudeste do Brasil - 1) Cráton do São Francisco; 2) Cinturão Brasília; 3) Terreno Cabo Frio; 4) Terreno Oriental - Domínio Costeiro; 5) Terreno Oriental - Arco Magmático Rio Negro; 6) Klippe Paraíba do Sul; 7) Terreno Ocidental; 8) Bacia do Paraná; 9) Corpos alcalinos do Cretáceo Superior a Eoceno; 10) Bacias do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB): A - São Paulo; B - Taubaté; C - Resende; D - Volta Redonda; E - Macacu; F - Itaboraí; G - Barra de São João; 11) Sedimentos cenozóicos indiferenciados; 12) Falhas reversas, *nappes*; 13) Alinhamento Magmático de Cabo Frio; 14) Limites de grábens do RCSB. Fonte: Modificado de Riccomini (1989), Ferrari (1990), Mohriak & Barros (1990), Heilbron *et al.* (2000) e Ferrari (2001) por Riccomini *et al.*, 2004.

O Terreno Ocidental, em parte resultante do retrabalhamento da margem sudeste do Cráton São Francisco, inclui: um domínio cratônico autóctone, com gnaisses arqueanos a paleoproterozóicos recobertos por sequências supracrustais proterozóicas; e uma porção alóctone, com gnaisses paleoproterozóicos recobertos por sequências metassedimentares clásticas.

De acordo com Heilbron *et al.* (2004), na região da área de estudo ocorrem as seguintes unidades:

- Complexo Juiz de Fora: composto por ortogranulitos paleoproterozóicos e coberturas proterozóicas, com sucessões de paragneisses, quartzitos e xistos pelíticos, que gradam para uma associação de micaxistos e gnaisses. Rochas deste complexo correspondem ao embasamento da porção alóctone do Terreno Ocidental na região da área de estudo;

- Complexo Embu: corresponde a uma sequência metassedimentar com micaxistos e quartzitos imaturos, e rochas calcissilicáticas com intercalações de gnaisses, anfibolitos e mármore restritos. As rochas da unidade, em sua porção leste, ocorrem em faixas estreitas intercaladas no Complexo Paraíba do Sul. A norte, a unidade acunha-se no Terreno Juiz de Fora, e, a sul, no Terreno Apiaí-Guaxupé;

- Grupo Andrelândia: corresponde a uma megassequência com sucessões metassedimentares e meta-ígneas máficas. A unidade é subdividida em duas sequências que gradam lateralmente para sucessões distais semelhantes, com intercalações de fácies pelágicas: Sequência Carrancas (composta por paragneisses bandados com intercalações de anfibolitos, quartzitos, xistos e filitos acinzentados) e Sequência Serra do Turvo (recobrimo as unidades da Sequência Carrancas, compreende clorita-biotita filitos e plagioclásio-biotita xistos/gnaisses de granulação fina a média, biotita xisto a gnaisse de granulação grossa, com intercalações de anfibolito, gondito, quartzito e rochas calcissilicáticas).

Na área de estudo, rochas de sequências distais do Grupo Andrelândia recobrem as rochas do Complexo Juiz de Fora, compondo o embasamento da Bacia de Resende.

Ainda segundo Heilbron *et al.* (2004), granitóides neoproterozóicos sintectônicos são bastante comuns no segmento central da Faixa Ribeira.

De maneira geral, de acordo com IPT (1983) *apud* Salvador (1994), nas rochas pré-cambrianas da área de estudo, a foliação metamórfica é a estrutura mais notável, entre elas o bandamento dado pela alternância de melanossoma e leucossoma em gnaisses migmatíticos, a foliação de transposição e a foliação cataclástica com direção predominante ENE.

2.5.2 Rochas Alcalinas Neocretáceas

Na região da área de estudo, incrustados na Serra da Mantiqueira, encontram-se os maciços alcalinos do Itatiaia e de Passa Quatro, inclusos na província magmática do Alinhamento Cabo Frio (Fig. 6). Essa província teria se desenvolvido em uma zona de fraqueza litosférica de direção WNW-ESE, criando condições favoráveis para a formação de magma alcalino e fusão parcial do manto, resultando na formação de corpos alcalinos intrusivos, sob a forma de *stocks* e maciços, ocorrências efusivas e um número expressivo de diques (ALMEIDA, 1991). Tais rochas afloram desde Poços de Caldas (MG), incluindo o maciço homônimo, até Cabo Frio (RJ).

Os contatos dos maciços do Itatiaia e de Passa Quatro com as encaixantes correspondem a zonas com precisão variável entre 20 e 100 m, devido ao intenso intemperismo a que as rochas estão sujeitas e à densa cobertura vegetal. Mesmo nessas zonas, a foliação regional dos gnaisses persiste, indicando que, se a intrusão causou deformações nas rochas encaixantes do embasamento, não há evidências delas (RIBEIRO FILHO, 1963).

O Maciço Alcalino de Passa Quatro aflora em uma área aproximada de 149 m², nos municípios de Itanhandu e de Passa Quatro (MG), Lavrinha e Queluz (SP) e Resende (RJ). Segundo Ribeiro Filho (1963) e Penalva (1963), o Maciço de Passa Quatro está isolado do Maciço do Itatiaia pela Garganta do Registro, um corredor gnáissico com largura mínima de 1 km. Sua composição petrográfica é uniforme, constituindo um nefelina-sienito de granulação centimétrica, rico em piroxênio, titanita e nefelina. Este feldspatóide constitui a principal diferença macroscópica com relação às rochas do maciço do Itatiaia, pois são de um cinza escuro característico, sendo que no Itatiaia predominam nefelinas rosadas. Rochas alcalinas de granulação fina ocorrem na forma de diques.

O Maciço Alcalino do Itatiaia aflora em uma área aproximada de 220 km² inserida nos municípios de Itatiaia e Resende, no Rio de Janeiro, e Itamonte e Bocaina de Minas, em Minas Gerais. Penalva (1963) afirma que na periferia do maciço, onde predominam altitudes mais modestas, as rochas podem ser classificadas como nefelina-sienito. A presença de titanita euédrica nestas rochas é constante e a variabilidade textural é grande, com variações desde a fácies pegmatóide até a microcristalina. De maneira geral, a granulação varia de fina a

grossa, a textura é granular ou granular-traquitóide e as cores são claras e acinzentadas, predominando um tom cinza característico. A paragênese é composta por micropertita, albita, nefelina e sodalita, tendo como acessórios hornblenda, biotita, titanita, apatita, magnetita e, raramente, zircão. São incluídos nesta unidade os seguintes tipos petrográficos: sodalita-nefelina sienito, nefelina-microsienito, hornblenda-nefelina sienito, aegirina-sienito, sienito porfirítico, nefelina-sienito bandado, tinguaito, pulaskito, foiaito e microfoiaito. (RIBEIRO FILHO, 1963; PENALVA, 1963). As rochas desta unidade encontram-se intensamente diaclasadas e fraturadas e são recortadas por diques de composições semelhantes às das rochas intrusivas. Os diques também estão presentes nas rochas encaixantes próximas e possuem direções em geral concordantes com os traços estruturais regionais, predominando a direção N-NE.

Na parte superior do maciço, ocorrem outros dois tipos petrográficos: quartzo-sienito de composição variada e brecha magmática.

Os quartzo-sienitos afloram na porção central da área do maciço, em uma área de contorno aproximadamente circular, com deslocamentos gerados por sistemas de falhas e com a presença de diques de composição quartzo-traquítica. Formam imponentes e extensos maciços rochosos, compondo as serras das Prateleiras e do Itatiaia e compreendendo as maiores altitudes do maciço. Este fato está relacionado à presença do quartzo, sendo a área na qual se localiza o Pico das Agulhas Negras, ponto culminante do Estado do Rio de Janeiro com 2791 m de altitude, a zona de maior concentração do mineral. A concentração diminui radialmente a partir desta zona (RIBEIRO FILHO, 1963). As rochas desta unidade são claras, de granulação grossa a média e de textura hipidiomórfica granular. A composição mineralógica básica é de quartzo e micropertita, com titanita, magnetita e apatita como acessórios. Os tipos petrográficos inclusos na unidade são: quartzo-sienitos e nordmarkito porfirítico, equigranular e de granulação grossa.

Os quartzo-sienitos encontram-se intensamente fraturados, diaclasados e sulcados (RIBEIRO FILHO, 1963; PENALVA, 1963). Os sulcos são resultado da ação diferencial do intemperismo sobre os minerais, sendo o quartzo mais resistente que os feldspatos. Estes últimos, quando em contato com a água, primeiramente se expandem, fraturando cristais de outros minerais que estejam a sua volta. Com o tempo, transformam-se em argilominerais e são lixiviados.

As brechas magmáticas do Itatiaia formam dois corpos distintos, com características geológicas e petrográficas semelhantes, com fragmentos muito variados, com tamanhos de diâmetros variando desde microscópicos até 20 a 50 cm, predominando os fragmentos com 1 a 5 cm. São angulosos ou subangulosos e aproximadamente equidimensionais. Os fragmentos mais comuns são de grandes cristais de ortoclásio ou de anortosito e de rochas alcalinas traquitóides ou afaníticas. A matriz é constituída por uma massa fina microcristalina, podendo apresentar textura granular, traquitóide ou ainda fluidal de natureza feldspática, e contém ainda clorita, pirita, magnetita, calcita, sericita, apatita e biotita (RIBEIRO FILHO, 1963; PENALVA, 1963).

É admitida uma origem comagmática para os maciços do Itatiaia e de Passa Quatro. Ribeiro Filho (1963) e Penalva (1963) levantaram esta hipótese baseando-se em similaridades petrográficas e geomorfológicas. Datações geocronológicas posteriores revelaram idades próximas para os maciços. Lauar (1988) obteve idade média K/Ar de 73 Ma para rochas do Itatiaia e idade média Rb/Sr de $70,3 \pm 0,5$ Ma para rochas de Passa Quatro.

Localmente, a área de estudo relaciona-se intimamente com o Maciço do Itatiaia, incluindo sua escarpa Sul que se direciona para o vale do Rio Paraíba do Sul. A figura 7 a seguir ilustra o perfil geológico do Maciço Alcalino do Itatiaia.

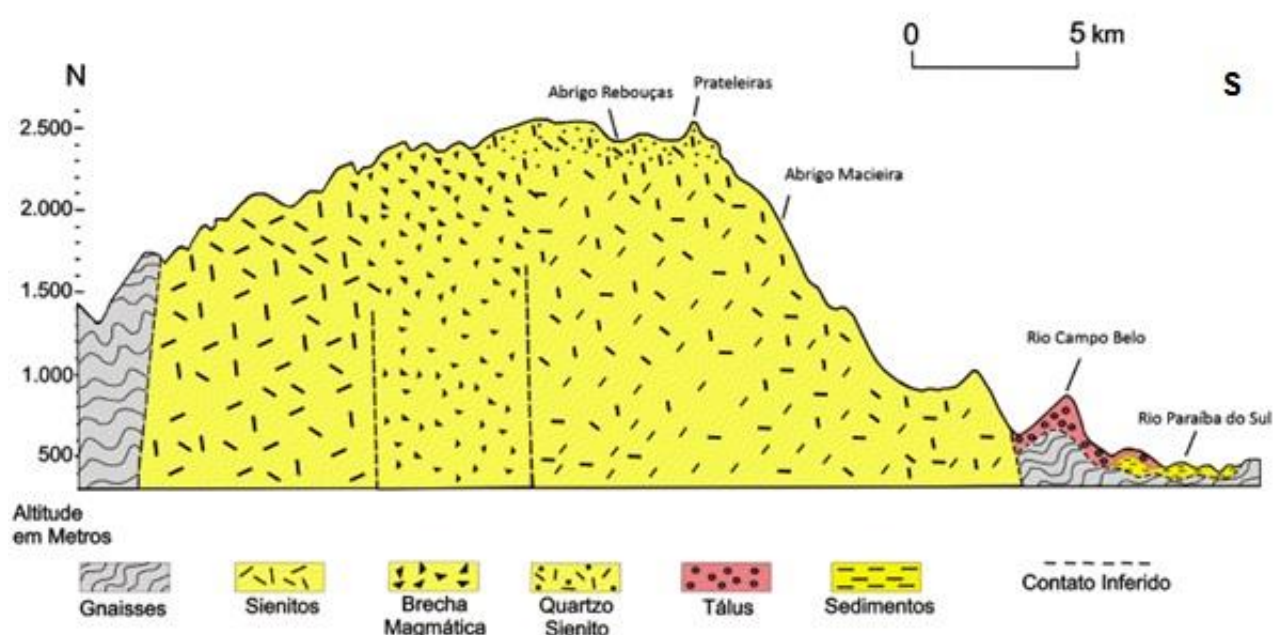


Figura 7 - Perfil geológico do Maciço Alcalino do Itatiaia.
Fonte: Ribeiro Filho, 1968.

2.5.3 Sedimentos Terciários

As rochas sedimentares terciárias presentes na área de estudo pertencem à porção oeste da Bacia de Resende.

A Bacia de Resende insere-se no Rifte Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB) (RICCOMINI, 1989), anteriormente denominado Sistema de Riftes da Serra do Mar (ALMEIDA, 1976). O RCSB é uma feição tectônica cenozóica, com extensão aproximada de 900 km, que se estende entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ) como uma faixa estreita e deprimida, alongada segundo a direção ENE - WSW, paralelamente à linha de costa. Segundo Riccomini *et al.* (2004), o RCSB pode ser dividido em três segmentos: ocidental, que engloba a Bacia de Curitiba, a área de ocorrência da Formação Alexandra, os grábens de Guaraqueçaba, Sete Barras e Cananéia e a área de ocorrência da Formação Pariquera Açú; central, que compreende as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda, além das ocorrências menores de Bonfim e do Cafundó; e oriental, que encerra o Gráben da Guanabara, alojando as bacias do Macacu, Itaboraí e o Gráben de Barra de São João (Fig. 8).

A Bacia de Resende localiza-se no extremo oeste do Estado do Rio de Janeiro e abrange os municípios de Barra Mansa (Distrito de Floriano), Quatis, Porto Real, Resende e Itatiaia. Possui 47 km de comprimento, alongando-se no sentido ENE-WSW, com seu eixo na direção N75E. Sua largura média é de 4,5 km, sendo a máxima de 7,3 km a oeste da cidade de Resende e a mínima de 1,2 km a oeste da cidade de Itatiaia. A superfície de afloramento das rochas sedimentares terciárias e dos sedimentos quaternários é de cerca de 240 km². Ramos *et al.* (2006) realizaram uma revisão da estratigrafia da Bacia de Resende, definindo três unidades principais, denominadas, da base para o topo, de Formação Ribeirão dos Quatis, Formação Resende e Formação Floriano (Fig. 9).

A Formação Ribeirão dos Quatis ocorre restritamente e em inconformidade com o embasamento, sendo considerada o registro sedimentar mais antigo da bacia. Esta unidade apresenta configuração típica de ambiente de canais fluviais entrelaçados efêmeros e é constituída por ortoconglomerados de granulometria média a grossa, com seixos ovoidais de quartzo de veio e escassos clastos de gnaiss; arenitos quartzosos a arcoseanos com estratificações cruzadas; e escassos pelitos (RAMOS, 1997). De acordo com Ramos *et al.* (2006), a Formação Ribeirão

dos Quatis teria sido depositada antes do evento principal de formação da bacia, em uma fase denominada “calha de estiramento”, conforme o modelo de evolução de riftes de Rosendahl (1987 *apud* RAMOS *et al.*, 2006).



Figura 8 - Contexto geológico regional do Rifting Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) - 1) Embasamento pré-cambriano; 2) Rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná; 3) Rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) Rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico; 5) Bacias cenozóicas do rifte (1 - Bacia de Itaboraí, 2 - Gráben de Barra de São João, 3 - Bacia do Macacu, 4 - Bacia de Volta Redonda, 5 - Bacia de Resende, 6 - Bacia de Taubaté, 7 - Bacia de São Paulo, 8 - Gráben de Sete Barras, 9 - Formação Pariqüera-Açu, 10 - Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçaba, 11 - Bacia de Curitiba, 12 - Gráben de Cananéia); 6) Zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em parte reativadas durante o Mesozóico e Cenozóico.
 Fonte: Riccomini *et al.*, 2004.

A Formação Resende engloba a maior parte dos depósitos paleogênicos da Bacia de Resende. É constituída por orto e paraconglomerados, gerados em ambientes de leques aluviais na borda norte da bacia, e lamitos intercalados a areias nas porções medianas e distais dos leques aluviais, gerados por meio de fluxos gravitacionais e em ambientes fluviais axiais à bacia. A norte, a Formação Resende faz contato com o embasamento cristalino, bem evidenciado por falhas, e, a sul, os contatos da formação são erosivos (MELO *et al.*, 1983; RICCOMINI *et al.*, 2004; RAMOS *et al.*, 2006).

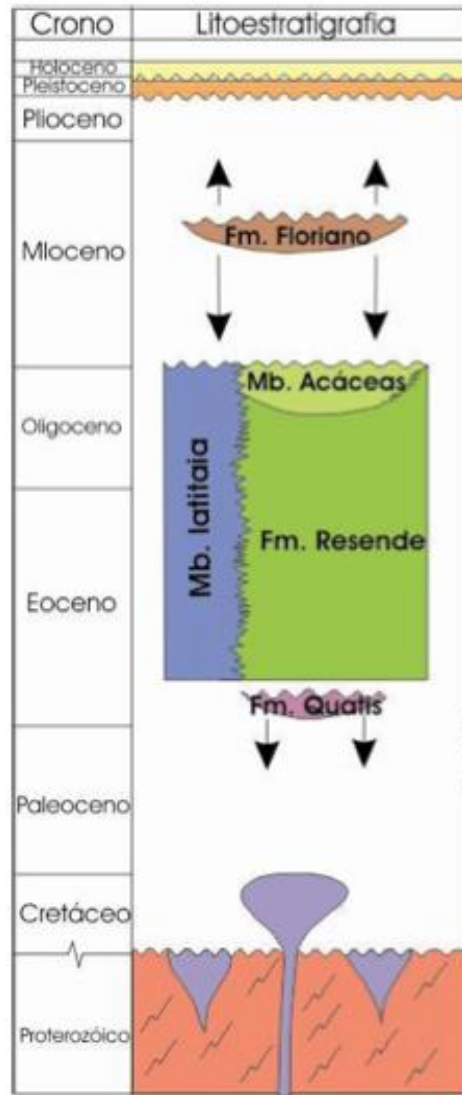


Figura 9 - Carta litoestratigráfica da Bacia de Resende.
 Fonte: Ramos *et al.*, 2006.

De maneira geral, a Formação Resende costuma ser subdividida, seja em porção distal e proximal (RICCOMINI *et al.*, 2004), membros rudáceos e de materiais finos (MELO *et al.*, 1983) ou ainda marginal e axial (RAMOS, 1997). Ramos *et al.* (2006) subdividem a Formação Resende em dois membros, Itatiaia e Acácias.

Lima & Melo (1994) e Melo (1997) incluíram todas as rochas geradas em ambiente de leques proximais da bacia de Resende, inclusive os situados a leste do maciço do Itatiaia, em uma “Formação Itatiaia”. As porções distais dos leques da Formação Itatiaia foram denominadas por esses autores como Formação Resende. Para Ramos *et al.* (2006), a denominada “Formação Itatiaia” corresponde a um membro da Formação Resende e engloba as rochas geradas em ambiente de leques aluviais proximais e médios adjacentes aos maciços do Itatiaia e suas partes

distais.

O Membro Itatiaia ocupa posição estratigráfica lateral e apresenta contatos gradacionais e/ou interdigitados com rochas dos depósitos típicos da Formação Resende. Adjacente à borda sul do maciço alcalino de Itatiaia, ocorrem os depósitos de fácies proximal e média de leques aluviais mais expressivos da Bacia de Resende. Nestes, as camadas rudíticas e areníticas apresentam geometria lenticular estendida e tabular. Os fanglomerados são constituídos por blocos subangulosos a subarredondados de rochas alcalinas e matriz areno-lamosa, com quantidades variadas de seixos e grânulos de feldspato e quartzo. Foram registradas camadas de arenitos com estratificações cruzadas, já descritas por Lima & Melo (1994), que as interpretaram como representativas de processos de tração, provavelmente em canais fluviais (RAMOS *et al.*, 2006).

Os depósitos típicos da Formação Resende são formados na base por conglomerados finos a médios, maciços ou com estruturas cruzadas acanaladas, com intraclastos pelíticos; acima, ocorrem arenitos arcoseanos finos a grossos com estratificações cruzadas acanaladas agrupadas e, no topo, camadas maciças ou gradadas de lamitos ou siltitos. Os depósitos proximais são formados por camadas com geometria lenticular a lenticular estendida de brechas clasto e matriz suportadas, bem como arenitos lamosos e lamitos arenosos com proporções variadas de seixos e grânulos. Cada uma dessas camadas representa um episódio de fluxo gravitacional individual, não canalizado, originado de área-fonte bastante próxima.

Entre os fluxos gravitacionais que contribuíram significativamente para o preenchimento da bacia, predominam as corridas de lama, sendo os fluxos de detritos restritos às partes mais proximais dos leques aluviais, perto da falha principal da bacia ou do maciço alcalino (RAMOS *et al.*, 2006).

O Membro Acácias foi proposto por Ramos *et al.* (2006) para rochas sedimentadas em ambiente de sistema fluvial entrelaçado, no topo da Formação Resende. A unidade é caracterizada pela superposição de ciclos granodecrescentes, com espessura em torno de 2-3 m, formados na base por conglomerado fino maciço, imaturo, sendo comuns intraclastos pelíticos. Acima, ocorrem arenitos arcoseanos médios a grossos com estruturas acanaladas agrupadas de médio porte, constituindo a litofácies predominante do Membro

Acácias. No topo desses ciclos, são registradas camadas pelíticas maciças ou gradadas com espessuras desde centimétricas até métricas, geometria lenticular a tabular e cores esverdeadas a avermelhadas. Os autores consideram que tal sistema tenha se tornado mais intenso com a evolução da depressão tectônica, que teria aumentado a largura da área de aporte, condicionando assim o surgimento de uma planície fluvial suficientemente distante das bordas da bacia e com capacidade de retrabalhar integralmente esses sedimentos. Os contatos desta subunidade com as rochas típicas da Formação Resende se dão por aparentes gradações verticais e laterais.

A Formação Floriano compreende uma associação de arenitos e pelitos, com espessura inferior a 20 m, depositada em sistema fluvial meandrante, representando o preenchimento final da bacia. Ocorre sobre depósitos da Formação Resende e sobre o embasamento proterozóico, no alto estrutural de Resende e na borda sul da bacia.

A figura 10 abaixo corresponde ao mapa geológico da Bacia de Resende na escala 1:25.000.

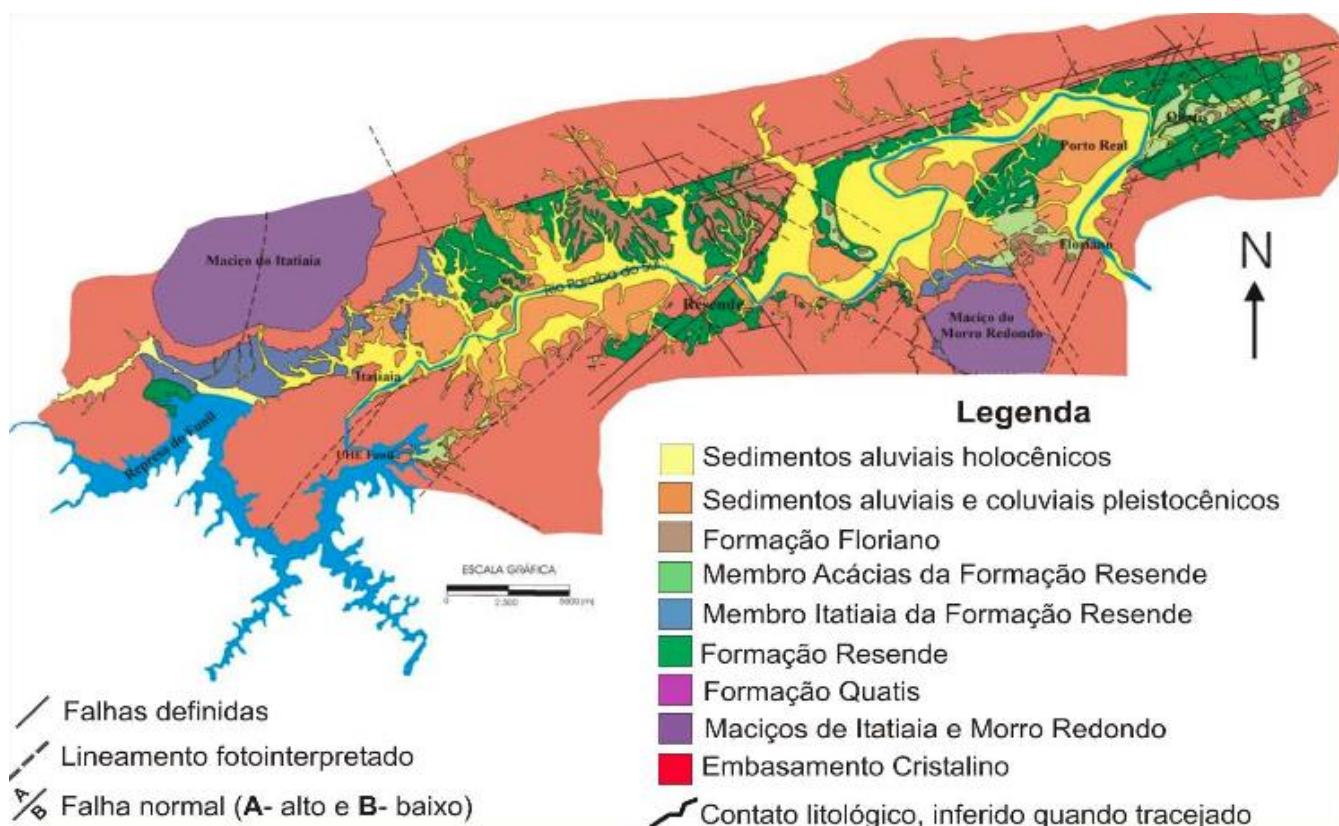


Figura 10 - Mapa geológico da Bacia de Resende.
 Fonte: Ramos *et al.*, 2006.

2.5.4 Evolução Geológica Regional

A partir do Jurássico Superior, teriam ocorrido na região da área de estudo fenômenos relacionados à Reativação Waldeniana (ALMEIDA, 1967) ou Sul-Atlântica (SCHOBENHAUS *et al.*, 1981), ou ainda ativação pós-paleozóica (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998), coincidente com a abertura do Oceano Atlântico. Um arqueamento crustal inicial seria sucedido pelo processo de rifteamento, com consequente sedimentação da Bacia de Santos, acompanhado de magmatismo basáltico, do Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior (AMARAL *et al.*, 1966).

Com a acentuação dos movimentos verticais opostos entre a região continental emersa e a Bacia de Santos, ocorreria magmatismo alcalino e grandes falhamentos normais que gerariam as Serras do Mar e da Mantiqueira (ASMUS & FERRARI, 1978) (Fig. 11). Tais movimentos de caráter normal estariam condicionados por falhas pré-cambrianas e cambro-ordovicianas, resultando num conjunto de blocos alongados segundo ENE, escalonados e basculados no sentido NNW (HASUI & PONÇANO, 1978), formando hemigrábens. Estes seriam preenchidos por sedimentos depositados a partir do Paleógeno, em uma calha inicialmente contínua, ao menos entre as áreas das atuais bacias de São Paulo e Volta Redonda (RICCOMINI, 1989).

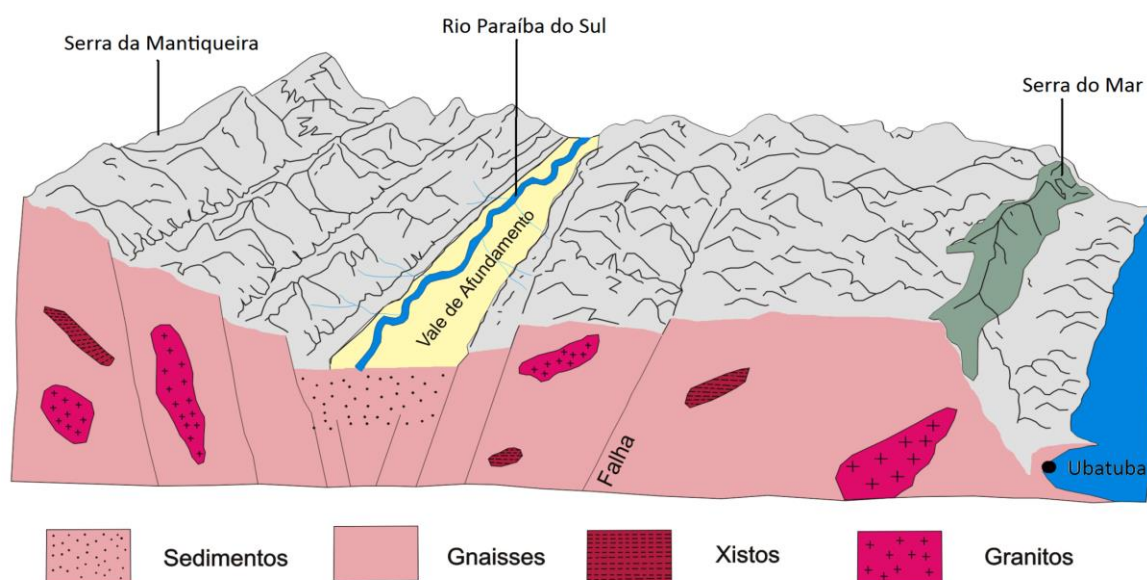


Figura 11 - Esboço geológico do rifte continental que gerou as serras da Mantiqueira e do Mar.
Fonte: Teixeira & Cordani, 2007.

O tectonismo cenozóico atuante na área central do Rift Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB), individualizado em fases por Riccomini (1989), teve papel crucial na evolução morfoгенética na região da área de estudo, condicionando formas do relevo como direções de escarpas e de drenagens, e atuando na liberação de blocos de rochas e materiais de alteração que se acumularam, dentre outras formas, como depósitos de tálus.

Riccomini (1989) estabeleceu a seguinte cronologia regional de eventos tectônicos cenozóicos responsáveis pela geração e deformação do segmento central do RCSB (Fig. 12):

- 1) Extensão NNW-SSE: corresponde à fase principal de desenvolvimento do RCSB, no Eoceno – Oligoceno, reativando estruturas pretéritas como falhas normais de orientação ENE–NE. É marcada pelo desenvolvimento da depressão de direção geral ENE – WSW, contínua ao longo do segmento central do RCSB;
- 2) Transcorrência sinistral E-W: evento tectônico ocorrido no Neógeno relacionado a falhas normais NE – SW e reversas NW – SE. Foram identificadas falhas transcorrentes WNW – ESE sinistrais, inseridas no contexto de faixas transpressionais, originando soerguimentos locais, e falhas NW – SE, dextrais, antitéticas ao binário principal. Este evento seria o responsável pela origem das soleiras de Arujá, que separa as bacias de São Paulo e Taubaté, e de Queluz, que separa as bacias de Taubaté e Resende;
- 3) Transcorrência dextral E – W: de idade pleistocênica, se relaciona a falhas normais NW – SE e reversas NE – SW. Falhas transcorrentes NNE – SSW, com características de faixas transpressionais, foram associadas à exumação dos altos de Caçapava e Resende, que segmentam as bacias de Taubaté e Resende, respectivamente. Movimentos com componentes transpressionais ao longo de linhas ENE – WSW foram associados à exumação da Soleira de Floriano – Barra Mansa, que separa as bacias de Resende e Volta Redonda;
- 4) Extensão NW (WNW) – SE (ESE): de idade holocênica, responsável pela atual distribuição dos sedimentos nas bacias.

Salvador & Riccomini (1995), identificaram mais uma fase tectônica deformadora holocênica (Fig. 13), de caráter compressivo de direção E – W,

caracterizada por famílias de juntas conjugadas de direção ENE e WNW que afetam sedimentos inconsolidados na região do alto estrutural de Queluz.

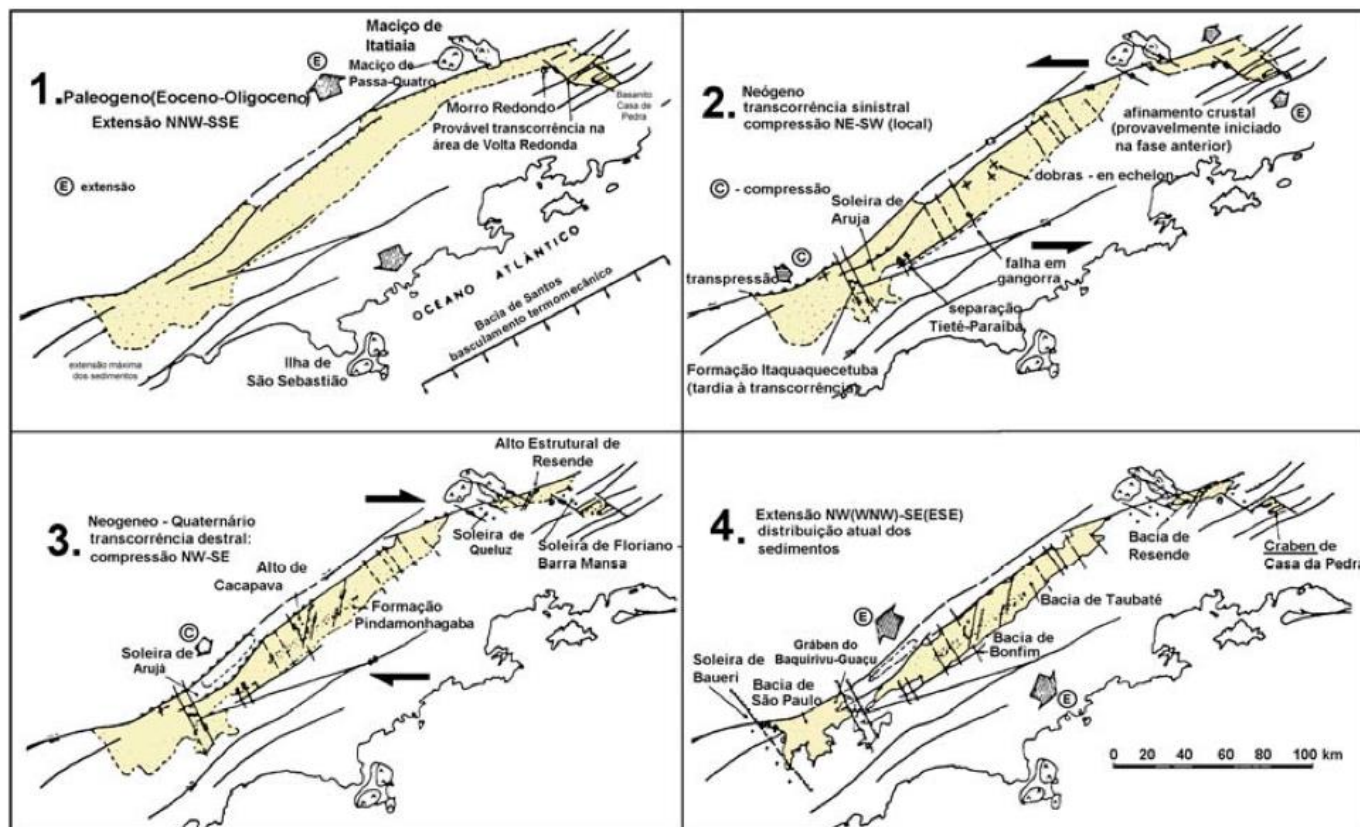


Figura 12 - Fases da evolução tectônica do Rift Continental do Sudeste do Brasil.
Fonte: Riccomini, 1989.

Quando da geração do RCSB e soerguimento das Serras do Mar e da Mantiqueira, no eoceno – oligoceno, o edifício vulcânico do vulcão Itatiaia – Passa Quatro já havia sido erodido e os atuais maciços alcalinos homônimos permaneciam como relevos residuais. Quando foram alçados às atuais altitudes, a atuação seletiva do intemperismo sobre o gnaisse, que é menos resistente à decomposição química, acentuou a posição de destaque das rochas alcalinas em relação às encaixantes (RICCOMINI *et al.*, 2004; PENALVA, 1963). Concomitantemente ao surgimento da Serra da Mantiqueira, houve uma primeira etapa de liberação em grande escala de materiais decompostos e blocos provenientes do Maciço do Itatiaia, que hoje se encontram solidificados na forma de conglomerados na Bacia de Resende (RICCOMINI *et al.*, 2004).

Além da tectônica, variações climáticas desempenharam, e continuam desempenhando, importante papel no modelado da superfície. No Pleistoceno

Superior, durante o último máximo glacial (18.000 anos BP), é admitido um resfriamento da ordem da 4 a 6° C para esta área da América do Sul. O processo de retropicalização, após a era glacial, associados a uma fase de tectonismo transcorrente dextral E-W, podem ter sido responsáveis pela liberação de um sem-fim de blocos e matacões e de grande volume de material alterado, originando expressivos depósitos de tálus. Os blocos e matacões de rochas alcalinas liberados, que recobrem as vertentes no maciço do Itatiaia, se espalharam a grandes distâncias. Na região de Mauá, por exemplo, há blocos com 3 a 4 m de diâmetro, a mais de 8 km do contato do Maciço do Itatiaia com as encaixantes, num desnível aproximado de 1000m. (PENALVA, 1963; MODENESI, 1992; SALVADOR, 1994).

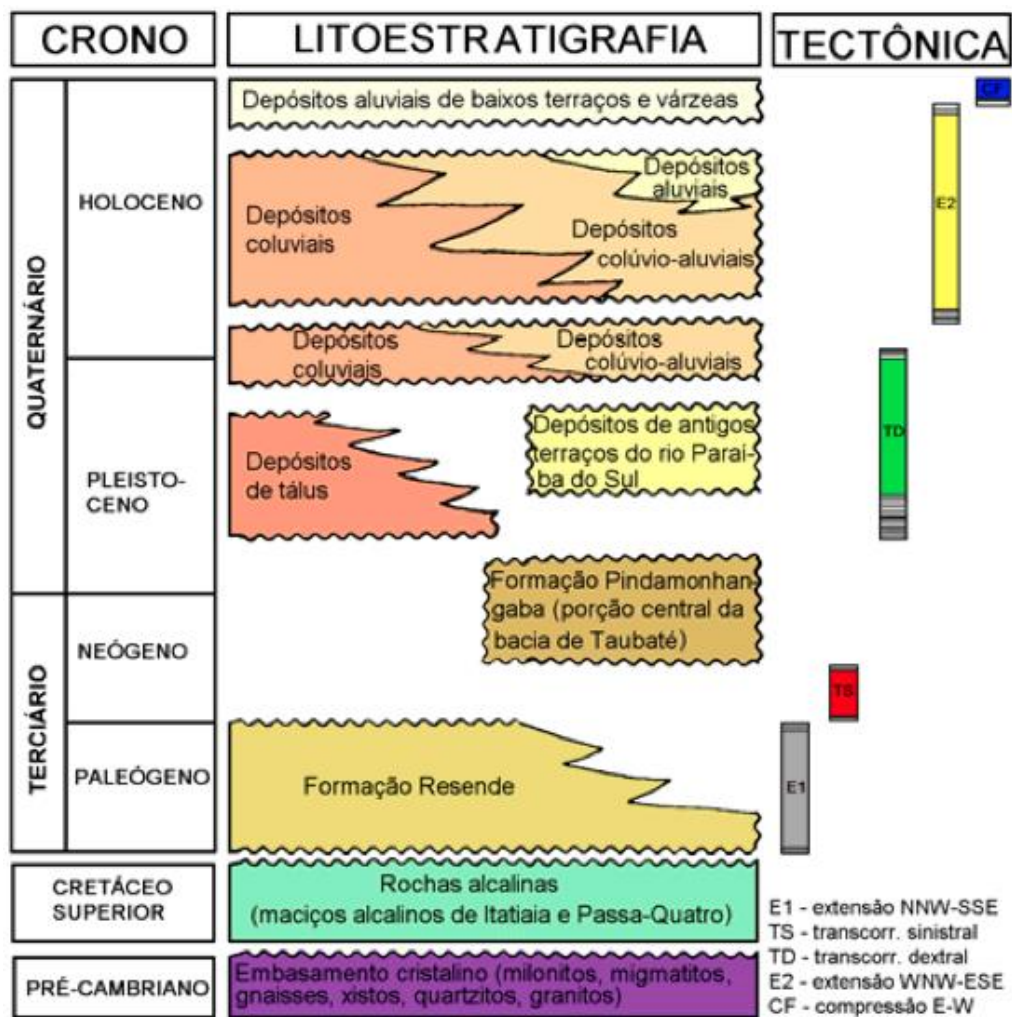


Figura 13 - Carta litoestratigráfica e fases tectônicas reconhecidas na região do alto estrutural de Queluz.

Fonte: Salvador & Riccomini, 1995.

Durante essa fase de tectônica transcorrência dextral E – W, de acordo com Riccomini, teriam sido exumados o alto de Resende, que segmenta a bacia homônima, e a soleira de Floriano – Barra Mansa, que separa as bacias de Resende e Volta Redonda. Essa movimentação possivelmente gerou mudanças bruscas no nível freático regional, condicionando o soerguimento de vales, o aparecimento de depressões fechadas (proto – vales). e de concavidades estruturais suspensas ou ajustadas topograficamente aos fundos de vales principais, com origem associada a abertura destes proto-vales.

A partir do Holoceno, os processos de liberação de blocos e matacões foram substituídos por processos de menor intensidade erosiva, como corridas de terra ou lama e erosão laminar, capazes de retrabalhar apenas os materiais produzidos em fases erosivas anteriores, acarretando na diminuição da atividade morfodinâmica e em mudanças nos processos atuantes nas vertentes (MODENESI, 1992).

No Holoceno, entre aproximadamente 8.200 BP e 1000 BP, o clima na região era semelhante ao atual, com pequenas variações de temperatura e pluviosidade, correspondente à retropicalização ocorrida nas terras baixas do Sudeste do Brasil. Uma fase tectônica extensional holocênica NW(WNW)-SE(ESE) afetou depósitos de baixos terraços e foi responsável pela sedimentação de depósitos colúviais e colúvio-aluviais, refletindo um período de intenso entulhamento das drenagens. Os processos atuantes nesse período foram predominantemente movimentos de massa e escoamentos, ambos superficiais. (MODENESI, 1992; RICCOMINI, 1989; SALVADOR, 1994).

O processo erosivo atual é influenciado principalmente pelo sistema de drenagens que se instalou após a estabilização dos grandes fluxos gravitacionais. Os rios estão atualmente escavando ravinas profundas na superfície dos depósitos de talus, removendo as frações mais finas de material.

Outro agente morfogenético atual corresponde às atividades antrópicas, que intensificam a ocorrência dos processos erosivos em geral, tais como: movimentos gravitacionais de massa provocados por meio de desmatamentos e cortes de taludes em encostas; erosões lineares geradas pelo compactamento dos solos e consequente aumento do escoamento superficial; e assoreamento de drenagens pelo material erodido.

3. MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Os processos geológicos e climáticos que atuam na superfície terrestre criam e modificam o relevo e assim definem a morfologia das vertentes. Em geral, as encostas apresentam ângulos naturais de declividade próximos à condição de equilíbrio, e, quando as condições ambientais mudam, a morfologia é modificada. Neste contexto, movimentos gravitacionais de massa podem ser entendidos como ajustes do terreno para restabelecer o equilíbrio em condições de mudança e consistem no deslocamento gravitacional de massas de solo e/ou rocha encosta abaixo (VALLEJO & FERRER, 2011).

Movimentos de massa ocorrem por todo o planeta, sob praticamente todas as condições climáticas e de terreno (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), e podem envolver diversos materiais e apresentar mecanismos, tamanhos e velocidades muito variados. O reconhecimento dos tipos de movimentos, bem como suas classificações e descrições, é de vital importância para considerar, planejar ou adotar ações apropriadas para diminuir o risco de perdas e danos. Em razão disso, os movimentos gravitacionais de massa têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores ao longo do tempo.

Segundo Fell *et al.* (2000), Baltzer (1875) foi um dos primeiros pesquisadores que considerou quedas, deslizamentos e escoamentos de solos e rochas como os principais mecanismos de movimentos de massa. Posteriormente, avanços nessa classificação foram apresentados por Heim (1932), Sharpe (1938) e Terzagui (1950).

As classificações de Varnes (1958, 1978) e Hutchison (1968, 1988) foram as que realmente se consagraram no meio científico, sendo as mais utilizadas desde então em programas de pesquisas e também como base para outras classificações, principalmente no ocidente ou em regiões de domínio da língua inglesa (PIERSON & COSTA, 1987; HUNGR *et al.*, 2001 *apud* AHRENDT, 2005). Essas classificações foram posteriormente revisadas por Cruden & Varnes (1996).

Corominas *et al.* (2008) citam as definições da *International Union of Geological Science* (IUGS) listadas abaixo para alguns dos termos mais relevantes relativos ao estudo de movimentos gravitacionais de massa:

- Deslizamento: 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;
- Suscetibilidade: 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 suscetibilidade 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, infraestruturas em geral e valores do meio ambiente com potencialidade para ser afetado por um movimento gravitacional de massa;
- Vulnerabilidade: grau de perda de um elemento ou parte de um elemento afetada por um deslizamento. Adota-se uma escala de 0 (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 movimento gravitacional de massa; e
- Zoneamento: divisão do terreno por regiões homogêneas, classificando cada uma delas quanto ao grau de suscetibilidade a deslizamentos atuais ou potenciais.

3.1 Tipos de Movimentos Gravitacionais de Massa

As descrições e classificações dos movimentos gravitacionais de massa a seguir são baseadas principalmente em Varnes (1978) e Crudens & Varnes (1996).

A classificação de Varnes (1978) se baseia nos seguintes atributos: tipo de material, taxa de movimentação, geometria da área de ruptura e do depósito resultante, idade, causa, grau de ruptura da massa deslocada, relação ou não da geometria do deslizamento com as estruturas geológicas, localização geográfica dos exemplos tipo e o seu estado de atividade, sendo os dois primeiros critérios os principais. O autor subdivide os movimentos gravitacionais de massa nas classes apresentadas no quadro 4. No quadro, estão destacados os tipos de movimentos abordados no presente trabalho.

Quadro 4 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa.

| Tipo de Movimento | Tipo de Material | | |
|-------------------------------|--|----------------------------------|-------------|
| | Substrato Rochoso | Solo para engenharia civil | |
| | | Grosso | Fino |
| Quedas | de rocha | de detritos | de terra |
| Tombamentos | de rocha | de detritos | de terra |
| Deslizamentos | Rotacionais | de rocha | de detritos |
| | Translacionais | | de terra |
| 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 | | |

Fonte: Varnes, 1978.

Nas quedas (Fig. 14 a), uma massa de solo e/ou rocha é destacada de uma encosta íngreme ou escarpa, ao longo de uma superfície na qual ocorre pouco ou nenhum deslocamento cisalhante. O deslocamento ocorre principalmente por queda livre, rolamento ou salto do material, em movimentos rápidos a extremamente rápidos. As quedas podem ser subdivididas em duas categorias: quedas envolvendo destacamento de material intacto da rocha-mãe e quedas de rocha ou matacões que se encontram destacados da rocha-mãe. No primeiro caso, o mecanismo que propicia a sua ocorrência é a pressão gerada pela penetração da água em fraturas ou discontinuidades existentes dentro do maciço rochoso. Quando as fraturas encontram-se preenchidas por algum outro material, o intemperismo químico pode gerar o desgaste do mesmo e o consequente desprendimento de uma das partes do maciço. No segundo caso, a queda ocorre em geral pelo enfraquecimento do material de sustentação do bloco.

O tombamento (Fig 14 b) consiste na rotação do material para fora da encosta e ocorre quando o vetor resultante das forças atuantes se situa fora ou abaixo do

centro de gravidade, em geral, na base do bloco afetado. Estas forças são oriundas da gravidade, exercidas por unidades adjacentes ou por fluidos presentes nas descontinuidades.

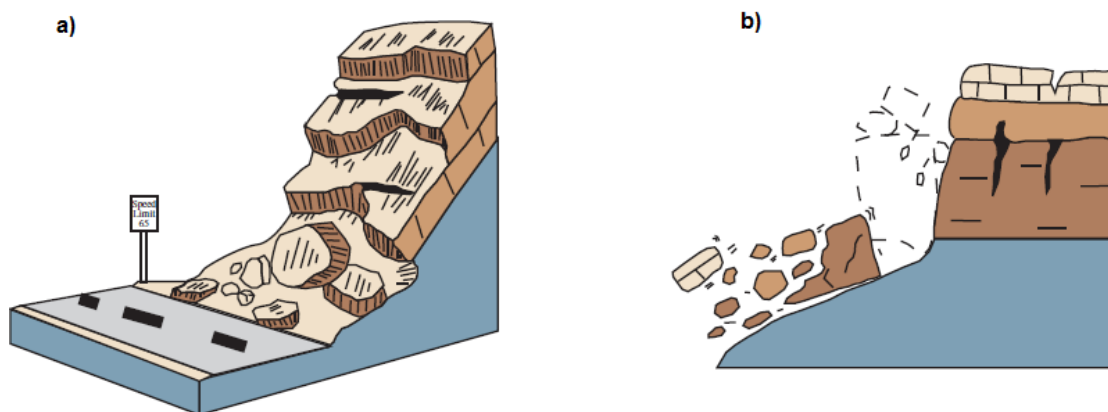


Figura 14 - Ilustração esquemática de a) queda e b) tombamento.
Fonte: Varnes, 1978 *apud* Highland & Bobrowsky, 2008.

Deslizamentos são movimentos de massas de solo ou rocha que deslizam, movendo-se em relação ao substrato em uma ou mais superfícies de ruptura, como consequência de deformações cisalhantes. A massa de material deslocado geralmente se move como um todo, comportando-se como uma unidade, e pode apresentar volumes de até milhões de metros cúbicos. As taxas de movimento podem variar consideravelmente, porém tendem a ser altas, atingindo velocidades consideráveis. Quando o material em movimento não atinge o equilíbrio no sopé da encosta (com a perda de força e do *momentum*), a massa continua a se mover por até centenas de metros e pode atingir velocidades muito altas, dando origem a uma corrida de massa.

Deslizamentos também podem ocorrer em detritos, como colúvios, ao longo do contato com o substrato ou em vertentes rochosas muito intemperizadas e geralmente produzem corridas de detritos, que tendem a ocorrer quando o material está saturado em água. O termo detritos (*debris*) compreende materiais inconsolidados e soltos, com proporção significativa de material grosseiro (VARNES, 1988).

Nos deslizamentos rotacionais (Fig. 15 a), o material em movimento sofre pouca deformação, é composto geralmente por uma ou poucas unidades litológicas e se move preferencialmente ao longo de superfícies de deslizamento internas. A ruptura pode ser superficial ou profunda e ocorre ao longo de uma superfície curva

com a concavidade voltada para cima, apresentando fraturas concêntricas em planta e côncavas na direção do movimento. As dimensões do movimento normalmente variam de dezenas a centenas de metros, tanto no comprimento quanto na largura. A parte inferior da massa deslocada se acumula no sopé da encosta formando um depósito em forma de lobo, com fraturas transversais.

O mecanismo de ruptura para este tipo de deslizamento está relacionado principalmente à infiltração da água da chuva. No caso de materiais homogêneos ou com pequenas variações e com grandes espessuras, a perda de equilíbrio ocorre por infiltração constante de água, a qual atua diminuindo a resistência do solo ao cisalhamento. A perda do equilíbrio é função do tipo de material, de suas propriedades hidráulicas e da relação entre a quantidade de água infiltrada e a resistência do material ao cisalhamento. No caso de materiais heterogêneos, tanto pela sobreposição de vários tipos de materiais como pela presença de estruturas, como fraturas, foliações, zonas de cisalhamento e outras, a superfície de ruptura estará condicionada às descontinuidades.

Nos deslizamentos translacionais (Fig. 15 b), a ruptura acontece ao longo de um plano de ruptura bem definido, e o material mobilizado movimenta-se paralelamente à inclinação da encosta, apresentando grande deformação e abrangendo várias unidades semi-independentes. A massa se rompe por cisalhamento e progride sobre uma superfície plana, e, por este motivo, deslizamentos translacionais também são denominados deslizamentos planares. A superfície de ruptura é comumente condicionada por planos de fraqueza pré-existent, como falhas, juntas, planos de acamamento com variação de resistência ao cisalhamento entre as camadas ou ainda pelo contato entre o substrato rochoso e a camada superficial de solo, residual ou transportado. Por apresentarem geometria mais simples em seus mecanismos de ruptura em relação aos deslizamentos rotacionais, os materiais em movimento em deslizamentos translacionais tendem a atingirem maiores velocidades relativas.

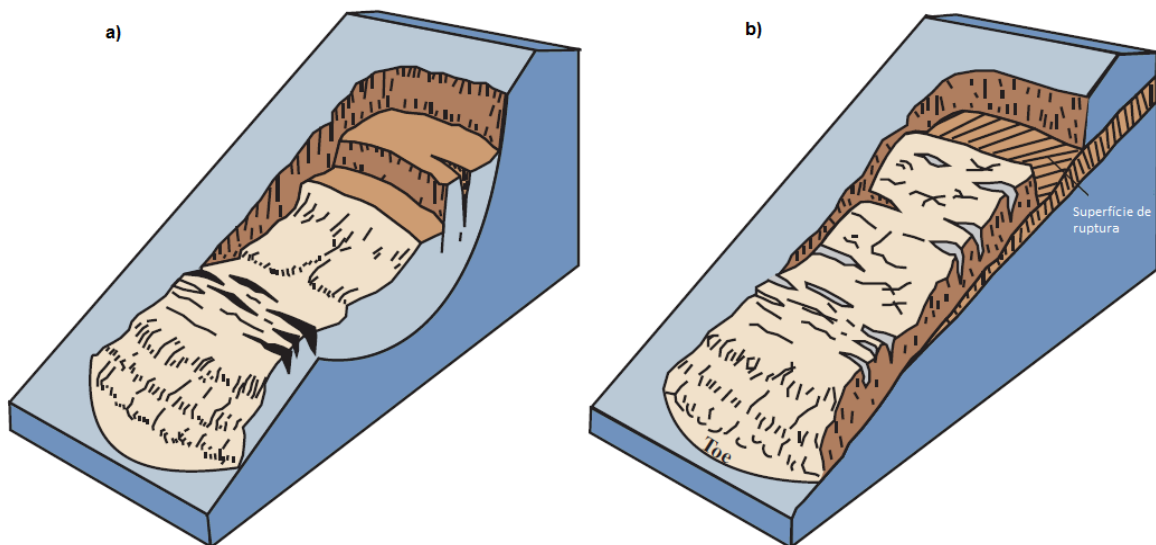


Figura 15 - Ilustração esquemática de a) deslizamento rotacional e b) deslizamento translacional.
 Fonte: Varnes, 1978 *apud* Highland & Bobrowsky, 2008.

Escoamentos ou corridas são movimentos de solos, detritos, blocos de rocha, frequentemente com grande conteúdo de água. O material deslocado se comporta como um fluido, passando por deformações contínuas e sem apresentar superfícies de ruptura bem definidas. A água é o principal fator desencadeador dos escoamentos e corridas porque sua presença diminui a resistência dos materiais que possuem baixa coesão, porém esses movimentos de massa também ocorrem por movimentação a seco de partículas muito finas de argila e areia.

Os escoamentos em geral não são movimentos profundos, mas podem ser bastante extensos, e as massas mobilizadas podem alcançar vários quilômetros de distância em relação à área-fonte. Também podem ocorrer em vertentes com baixos gradientes de declividades (às vezes menores do que 10°) (VALLEJO & FERRER, 2011).

As corridas podem ser derivadas de deslizamentos ou podem ser desencadeadas por quedas de rochas. Junto com os deslizamentos, os escoamentos e corridas são os movimentos gravitacionais de massa mais comuns e podem afetar materiais amplamente diferentes.

Varnes (1978) subdivide os escoamentos em dois grandes grupos, sendo o segundo subdividido em 11 diferentes tipos, os quais são diferenciados principalmente pela velocidade de movimentação e quantidade de finos.

a) Escoamentos em substrato rochoso: são movimentos extremamente lentos, e o material aparenta estar relativamente parado ou não apresentar deslocamento.

b) Escoamentos em materiais inconsolidados: estes são mais facilmente reconhecidos do que os anteriores, sendo que ocorre um maior movimento relativo entre as massas de solo. Normalmente a superfície de deslizamento é pouco visível, pois o limite entre a massa deslizante e o material local é uma fina superfície de movimento diferencial ou zona de distribuição de tensões.

Escoamentos ou corridas de detritos (Fig. 16 a e b) são movimentos complexos, que incluem fragmentos de rochas, blocos, seixos e grânulos imersos em uma matriz de granulometria fina, que pode ser composta por areias, siltes e argilas. Esses movimentos ocorrem em vertentes cobertas por materiais soltos ou não consolidados e especialmente em áreas sem cobertura vegetal. De acordo com Corominas *et al.* (1996), as declividades em áreas-fonte variam entre 20° e 45° e em áreas de depósito entre 5° e 15°. As velocidades dos movimentos variam de menos de 1 m/s até 12 – 15 m/s.

Escoamentos ou corridas de terra (Fig. 16 c) ocorrem em materiais predominantemente finos e homogêneos e podem atingir velocidades de muitos metros por segundo. A perda de coesão é geralmente causada pela saturação do material em água.

Quando o escoamento se dá em movimentos lentos e contínuos, tem-se o rastejo (Fig. 17). O movimento pode ser tão imperceptível que em alguns casos somente métodos sofisticados podem identificá-lo.

O conceito de rastejo é ainda bastante discutido entre os pesquisadores. Varnes (1978) considera rastejo como sendo uma simples deformação contínua influenciada por tensões constantes. Guidicini e Nieble (1976) o define como sendo movimento lento e contínuo de material de encostas com limites indefinidos. Para Guimarães e Spada (1997), o rastejo significa a deformação de um material por uma tensão constante (muitas vezes por uma carga fixa) durante longos períodos de tempo. A estabilização pode durar ou não e em caso negativo pode dar lugar a deslizamentos.

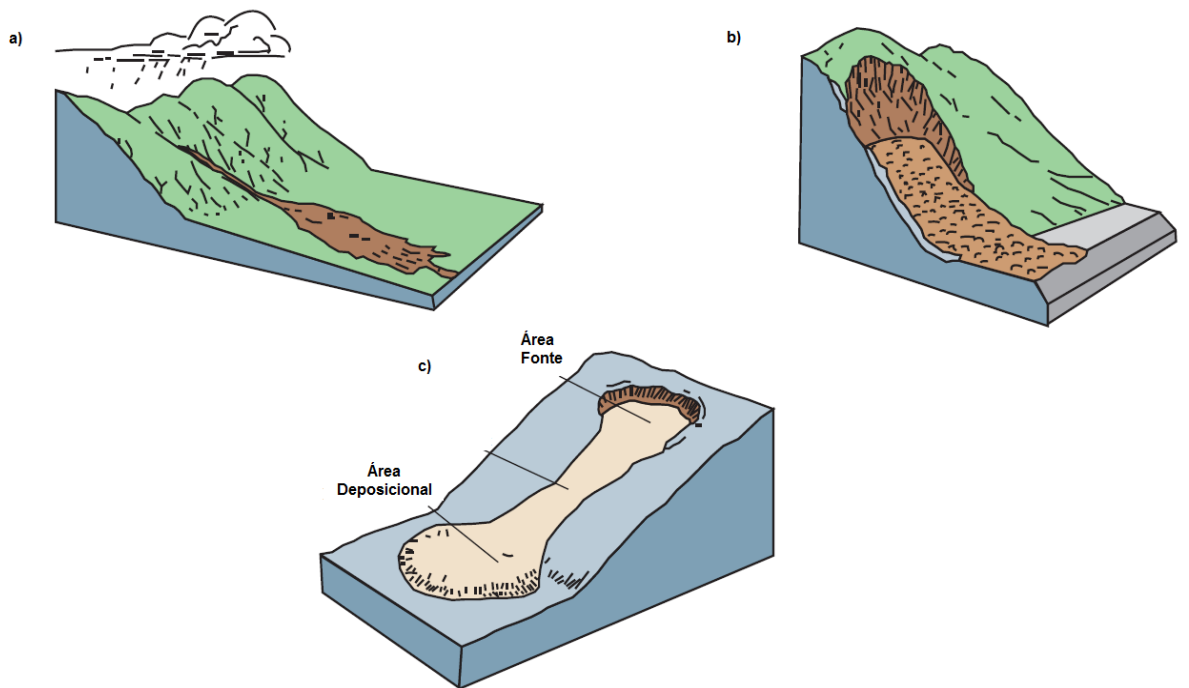


Figura 16 - Ilustração esquemática de a) corrida de detritos, b) corrida de detritos e c) corrida de terra.
 Fonte: Varnes, 1978 *apud* Highland & Bobrowsky, 2008.

O rastejo ocorre em solos e materiais intemperizados, causando deformações contínuas que se tornam progressivamente perceptíveis nas vertentes com o tempo, por meio de evidências indiretas, como cercas, paredes e postes inclinados e árvores curvadas.

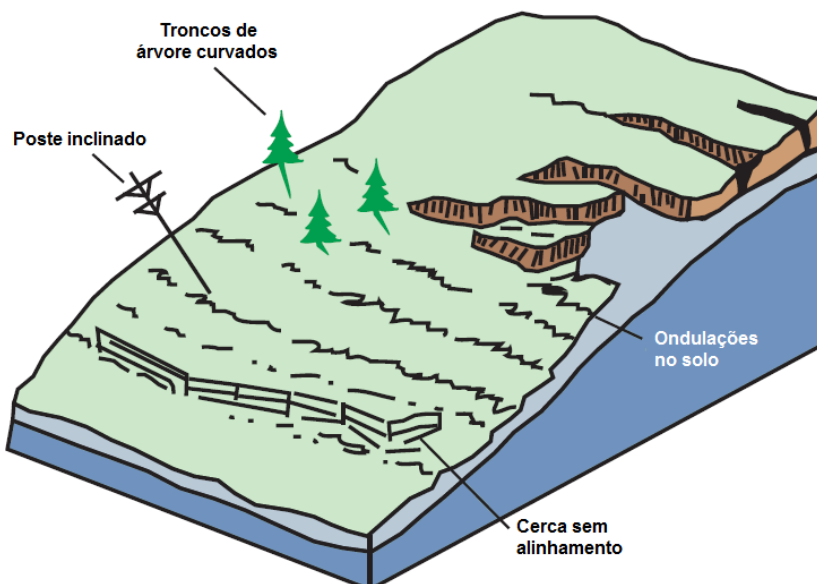


Figura 17 - Ilustração esquemática de rastejo.
 Fonte: Varnes, 1978 *apud* Highland & Bobrowsky, 2008.

3.2 Causas dos Movimentos Gravitacionais de Massa

As causas básicas da instabilidade de encostas são bem conhecidas a partir de uma série de estudos de caso específicos. Em uma determinada área, a maioria dos fatores que influenciam na estabilidade das encostas pode ser reconhecida e os seus efeitos ranqueados ou pesados. Em alguns locais, tais fatores podem ser mapeados e correlacionados uns com os outros e com rupturas já ocorridas (AHRENDT, 2005).

Cruden e Varnes (1996) apresentam uma subdivisão dos principais fatores que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa, diferenciados em quatro grandes grupos de principais “agentes” de ação (Quadro 5).

Os fatores que influenciam na ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa podem ser divididos em condicionantes e desencadeadores.

Os condicionantes dependem da natureza intrínseca do material e são responsáveis geralmente pelo tipo de movimento. Entre os fatores condicionantes estão as características físicas e a resistência do material (diretamente relacionadas à litologia e à natureza), as características morfológicas e geométricas da encosta, as estruturas geológicas e descontinuidades, as condições hidrogeológicas e o estado de stress na encosta. O relevo tem uma participação fundamental, pois certo ângulo de declividade é necessário para que os movimentos gravitacionais aconteçam. De maneira geral, regiões montanhosas são as mais suscetíveis à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

Estruturas geológicas, estratigrafia e litologia determinam o movimento potencial de diferentes tipos de rochas e solos. Composição, resistência, deformabilidade, grau de intemperismo, porosidade e permeabilidade determinam se o terreno é suscetível a rupturas. Em massas rochosas com juntas e zonas intemperizadas, esses fatores se sobrepõem à litologia.

O comportamento hidrogeológico dos materiais está associado com as características estruturais e litológicas e com o grau de intemperismo, que por sua vez pode estar intimamente relacionado às condições climáticas regionais. Em regiões chuvosas, uma grossa camada de material intemperizado e o lençol freático raso têm influência decisiva sobre as condições de estabilidade.

Quadro 5 - Principais grupos de fatores que influenciam na ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

| | |
|-----------------------------|--|
| Agentes Geológicos | Materiais alterados, enfraquecidos ou intemperizados Materiais cisalhados, fissurados ou fraturados (descontinuidades) Contrastes na permeabilidade Contrastes na espessura (material espesso e denso sobreposto a materiais plásticos) |
| Agentes Morfológicos | Tectonismo ou vulcanismo Qualquer tipo de erosão Deposição no topo ou na base da encosta |
| Agentes Físicos | Chuva intensa ou excepcionalmente prolongada Degelo repentino Intemperismo por congelamento e degelo Abalo sísmico Erupção vulcânica Intemperismo de material expansivo |
| Agentes Antrópicos | Escavação da encosta ou da sua base (remoção do suporte) - Urbanização Sobrecarga no topo ou na encosta Diminuição do nível dos reservatórios Desmatamento Irrigação Mineração Vibração artificial Vazamentos |

Fonte: Cruden e Varnes, 1996.

As propriedades geomecânicas controlam a resistência ao cisalhamento dos materiais e seus mecanismos de ruptura. Solos, em geral, são mais homogêneos e isotrópicos e, assim, menos complexos de serem caracterizados do que rochas. Em rochas com graus muito diferentes de faturamento, as propriedades das rochas são, descontinuidades ou a massa rochosa como um todo podem determinar a resistência e o comportamento mecânico.

Os desencadeadores são fatores externos que provocam ou desencadeiam instabilidades e são responsáveis, no geral, pelo tamanho e pela velocidade dos movimentos. Os fatores desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa mais importantes são: precipitação, mudanças na hidrogeologia da vertente, mudanças na forma da vertente, erosão e terremotos. Alguns desses fatores, como

mudanças nas condições hidrogeológicas e na geometria da vertente, podem ser resultado de atividades antrópicas.

O desencadeamento de movimentos de massa por fatores meteorológicos e climáticos é condicionado pelo volume, pela intensidade e pela distribuição das precipitações. Assim, é importante entender a resposta do terreno a precipitações intensas que duram horas ou dias, bem como a flutuações sazonais (períodos secos e chuvosos ao longo do ano) e a flutuações ao longo de muitos anos (ciclos secos e úmidos).

A água subterrânea gera pressão que modifica as condições de tensão e intemperismo. Aumento da poro pressão, aumento no peso, erosão externa e transformações mineralógicas modificam as propriedades e a resistência dos materiais, principalmente em solos. A infiltração de água de precipitações produz fluxos subterrâneos, aumenta o conteúdo de água na zona não saturada e eleva o lençol freático. A quantidade de água que infiltra no solo depende da intensidade e da duração da precipitação, do conteúdo prévio de água (a posição do lençol freático e o grau de saturação do solo), da permeabilidade e da transmissividade, da topografia e de outras características da encosta, como, por exemplo, a cobertura vegetal.

Precipitações intensas que duram horas ou dias podem desencadear movimentos como deslizamentos e corridas de lama ou detritos, que afetam materiais intemperizados e solos, e causar quedas de blocos de rocha soltos. A rápida infiltração da água, a saturação das camadas mais superficiais do solo e o aumento da poro pressão desencadeiam movimentos superficiais. A ausência de vegetação na encosta, a presença de materiais não consolidados e processos de instabilidade pré-existentes podem aumentar a capacidade de infiltração e contribuir para a mobilização dos materiais. Durante prolongados períodos de precipitação (semanas ou meses), normalmente há um importante aumento de ocorrências de movimentos gravitacionais em vertentes.

O desencadeamento de novos deslizamentos profundos ou de grandes proporções não tem relação direta com fenômenos meteorológicos sazonais e sim com condições climáticas de longa data, com regimes meteorológicos e condições de umidade capazes de modificar substancialmente a profundidade do lençol freático e a quantidade total de água no solo. Em termos gerais, quanto menos

permeável for o material, menor é a influência do regime de precipitação de curto prazo e maior a influência do regime climático e das variações anuais ou condições sazonais.

A erosão na base de vertentes por atividade fluvial e outros fatores aumenta a perda de resistência do material e modifica o estado de tensão que, adicionado à presença de materiais inconsolidados na parte superior da encosta, pode causar instabilidade e desencadear deslizamentos ou quedas de rocha.

Terremotos podem desencadear todos os tipos de movimentos gravitacionais de massa em vertentes, dependendo das condições do terreno, da magnitude e da distância do epicentro.

A ação antrópica é um dos fatores mais importantes que podem modificar as condições e forças que agem em vertentes naturais. As principais causas de instabilidade são mudanças na geometria, declividade e condições hidrogeológicas e a aplicação externa de cargas estáticas. Em menor extensão, cargas dinâmicas e escavações subsuperficiais abaixo da vertente também podem afetar a estabilidade.

Escavações, construção de barragens e reservatórios, carga de prédios, cortes de taludes, preenchimentos, aterros de resíduos em vertentes e atividades explosivas próximas podem modificar os estados de tensão no terreno e suas propriedades geotécnicas e conseqüentemente gerar instabilidades.

Em encostas naturais em áreas urbanas, vazamentos de água de reservatórios ou a partir das redes de abastecimento de água e de coleta de efluentes também podem provocar instabilidades.

O quadro 6 abaixo apresenta os principais fatores condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa e suas influências e efeitos.

Quadro 6 - Influência de diferentes fatores nas condições de materiais e encostas.

| Fatores | | Influências e efeitos |
|------------------------|---|---|
| Condicionantes | Relevo (gradientes, geometria) | Distribuição do peso do solo |
| | Litologia (composição, textura) | Peso da unidade, resistência Comportamento hidrogeológico |
| | Estruturas geológicas e estado de tensão | Resistência, deformabilidade Comportamento descontínuo e anisotrópico Zonas de fraqueza |
| | Propriedades geomecânicas dos materiais | Comportamento hidrogeológico Geração de poro pressão |
| | Desmatamentos | Alteração do balanço hidráulico Erosão |
| | Intemperismo | Mudanças físicas e químicas, erosão interna e externa, geração de zonas de fraqueza |
| Desencadeadores | Precipitação e infiltração | Variações na poro pressão e no peso do solo |
| | Mudanças nas condições hidrogeológicas | Saturação do solo Erosão. |
| | Aplicação de cargas dinâmicas ou estáticas | Mudanças na distribuição do peso do material e do estado de tensão Aumento da poro pressão |
| | Mudanças na morfologia e/ou geometria da vertente | Variação de forças devido ao peso Mudanças no estado de tensão |
| | Erosão ou escavação na encosta ou em sua base | Mudanças na geometria da vertente Mudanças na distribuição do peso do material e do estado de tensão |
| | Ações climáticas (degelos, congelamentos, secas) | Mudanças no conteúdo de água no solo Geração de fraturas de tensão e planos de fraqueza Diminuição da resistência dos materiais |

Fonte: Vallejo & Ferrer, 2011.

3.3 Feições Indicativas de Movimentos Gravitacionais de Massa

A identificação de movimentos gravitacionais de massa ativos ou já ocorridos é realizada principalmente pelo reconhecimento de feições características dos processos (VALLEJO & FERRER, 2011). A figura 18 ilustra as partes componentes de um deslizamento rotacional que se transformou em uma corrida de massa e, desta maneira, ilustra feições que podem ser observadas para o reconhecimento dos processos. O quadro 7, de Soeters & Van Westen (1996), apresenta algumas feições características para a identificação de diferentes tipos de movimentos gravitacionais de massa. Já a quadro 8 apresenta uma classificação dos movimentos gravitacionais de massa baseada na atividade do movimento e as evidências para reconhecimento dos mesmos.

Feições características de movimentos gravitacionais de massa podem ser reconhecidas em campo, obtidas por meio de mapas temáticos, como os topográficos ou geomorfológicos, em fotos aéreas e em imagens orbitais de alta resolução.

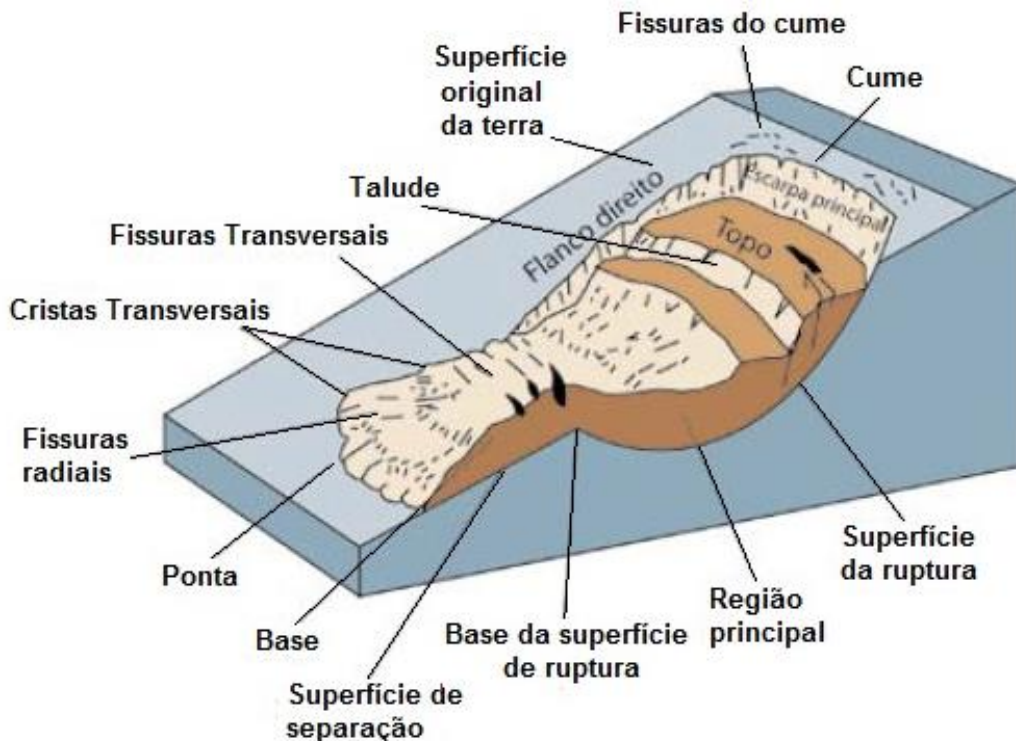


Figura 18 - Partes componentes de um deslizamento rotacional que originou uma corrida de massa. Fonte: Varnes, 1978 *apud* Highland & Bobrowsky, 2008.

Quadro 7 - Feições características para a identificação de movimentos gravitacionais de massa.

| Tipo de Movimento | Parte superior da encosta | Parte inferior da encosta | Geometria |
|---|--|---|---|
| Queda de rocha | Encostas íngremes e irregulares cobertas por material solto ou detritos em suas partes superiores Blocos de rocha separados por descontinuidades ou fraturas Fraturas de tensão no topo da encosta Vegetação escassa | Acúmulo de blocos e fragmentos de rocha | Declividades altas > 50° |
| Deslizamento Rotacional | Fraturas de tensão côncavas Escarpas curvas com estrias que podem ser verticais Vegetação contrastante Superfícies inclinadas de acúmulo de água Condições de drenagem ruins e presença de depressões de acúmulo de água | Depósitos convexos e em forma de lobos Divergências em canais de drenagem | Declividades entre 20° e 40° $D/L < 0,3 - 0,1$ |
| Deslizamento translacional de rocha ou solo | Fraturas de tensão verticais e paralelas à encosta Escarpas rasas e verticais Material dividido em blocos separados por largas fraturas Ausência de água acumulada no topo Drenagem desordenada ou ausente | Divergências em canais de drenagem Ocasionalmente acúmulos de material em forma de lobos | Declividades uniformes $D/L < 0,1$ |
| Escoamento de lama | Escarpa principal côncava e rasa Poucas fraturas Vegetação contrastante com zonas estáveis Ausência de irregularidades significativas nas drenagens | Presença de lobos Morfologia irregular e ondulante dos depósitos | Declividades de 15 – 25% $D/L = 0,05 - 0,01$ |
| Escoamento de terra e de detritos | Concavidades e lobos na área fonte Várias escarpas Ausência de vegetação Drenagens irregulares e perturbadas em meio à massa mobilizada | Presença de lobos, depósitos convexos e com morfologia irregular | Declividades > 25° D/L muito pequena |

$D/L = \text{profundidade/distância (depth/length) do material deslocado.}$

Fonte: Soeters & Van Westen

Quadro 8 - Classificação dos movimentos gravitacionais de massa por atividade.

| Classificação e idade estimada | Descrição | Evidências |
|---|---|--|
| Ativo <100 anos | Em movimento Possível reativação | Topografia irregular e em forma de lobos Escarpa principal bem definida e comumente sem vegetação Depressões com acúmulo de água Córregos nos flancos Depósitos no sopé da encosta Divergências em canais de drenagem Surgências de água |
| Inativo 100 – 5.000 anos (Holoceno Superior) | Sem movimentação atual | Relevo lobado Escarpas vegetadas Depressões drenadas ou não Vegetações diferentes em zonas adjacentes A ponta do depósito pode estar escavada por cursos de água |
| Fóssil ou antigo 5.000 – 10.000 (Holoceno Inferior) | Inativo por milhares de anos Identificado por feições do relevo | Declividades suaves Escarpas vegetadas Rede de drenagem modificada Vegetações diferentes em zonas adjacentes Terraços de rios encobertos por depósitos de material deslocado Leitos de rios atuais nos depósitos Planícies de inundação mais amplas a montante |
| Reliquiaries > 10.000 anos | Inativo por milhares de anos Pode não ser identificado por feições do relevo | Topografia suavemente ondulada Ausência de escarpas Terraços escavados nos depósitos Planícies de inundação uniformes |

Fonte: Keaton & De Graff, 1996.

4. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE RISCO DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

4.1 Cartografia Geotécnica

A cartografia geotécnica pode ser considerada genericamente como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para a execução de obras e para o planejamento e gestão territorial (DINIZ, 2012). As cartas geotécnicas sintetizam o conhecimento sobre o meio físico e seus processos atuantes (*geo*) em uma determinada área, de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para a adequada ocupação do solo (*técnica*). São compostas geralmente por uma carta síntese, um quadro-legendas e textos explicativos (FREITAS, 2000; BITAR *et al.*, 2012).

A figura 19 representa a integração entre os diversos componentes do meio ambiente, e como as relações entre os processos do meio físico e tecnológico (conjunto de técnicas aplicadas em operações de atividades de uso e ocupação do solo) interferem na identificação de atributos relevantes para um modelo preliminar de compartimentação dos terrenos na cartografia geotécnica.

O meio físico condiciona, em um primeiro estágio (1), as características do meio biótico e socioeconômico, os quais, por retroalimentação, nos estágios (2) e (3), influenciam o meio físico, alterando seus processos naturais. Os fluxos (4) e (5) decorrem da interação entre os meios biótico e socioeconômico. Dos condicionantes do meio físico e das alterações provocadas pelos empreendimentos, extraem-se os atributos relevantes a serem considerados na elaboração das cartas geotécnicas.

A partir dos problemas resultantes da alteração do meio, como impactos ambientais e conflitos de uso, determina-se a finalidade e a escala da carta geotécnica. As cartas geotécnicas podem ser classificadas em três tipos gerais de acordo com sua finalidade de aplicação: de ordenamento territorial, de avaliação de processos do meio físico e de estudos de implantação de empreendimentos. As primeiras são cartas de planejamento do uso do solo, voltadas para o planejamento regional e urbano; as segundas correspondem às cartas de suscetibilidade, perigo e riscos geológicos; e as terceiras são cartas geológico-geotécnicas para estudos de viabilidade de implantação de empreendimentos de infraestrutura (DINIZ, 1998) (Fig. 20).

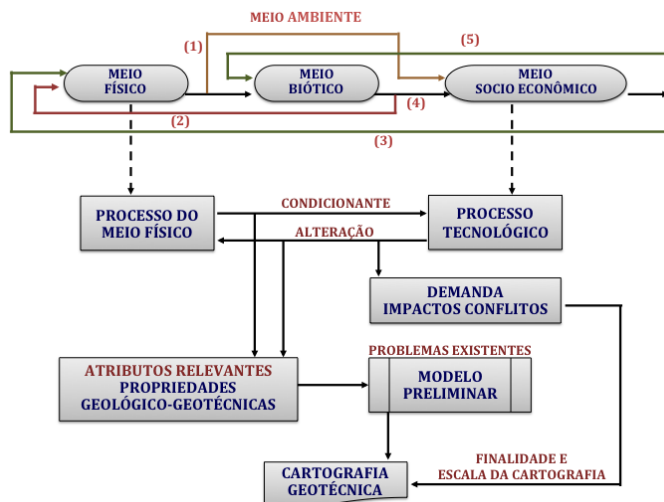


Figura 19 – Modelagem da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, e sua relação com a cartografia geotécnica.
 Fonte: Fornasari Filho *et al.*(1992) *apud* Diniz (1998).

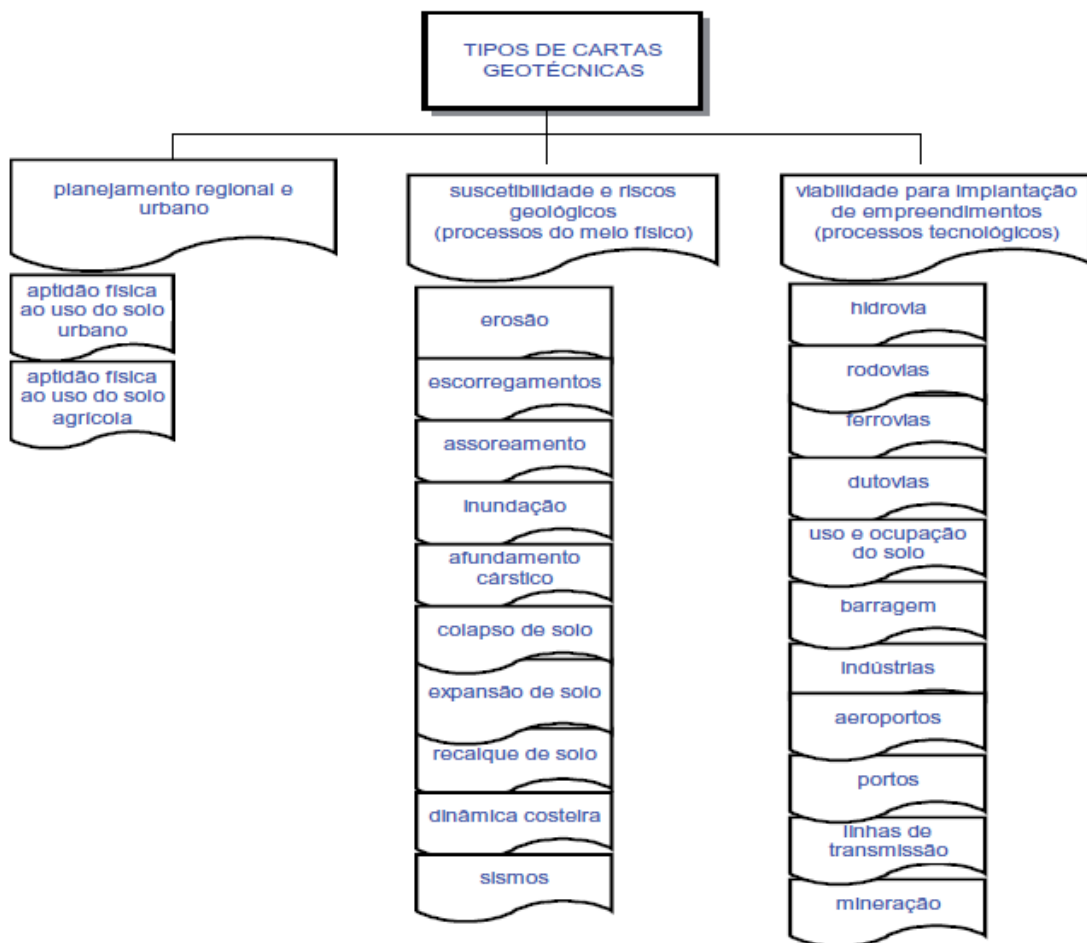


Figura 20 - Tipos de cartas geotécnicas.
 Fonte: Diniz, 1998.

4.1.1 A cartografia geotécnica no Brasil

A elaboração de trabalhos de cartografia geotécnica no Brasil teve início nos anos de 1965-1966 com o professor Haberlehner, da UFRJ. Em um trabalho publicado no 20º Congresso Brasileiro de Geologia, realizado em Porto Alegre, o professor discute os princípios da cartografia geotécnica (HABERLEHNER, 1966). Logo em seguida Heine (1966) realizou um levantamento geotécnico no Estado da Guanabara na escala 1:5000, e GREHS (1967) abordou a importância da geologia na prevenção de deslizamentos mapeando a cidade de Santa Cruz do Sul, no Rio Grande do Sul.

Nos anos 1970 seguiram publicações de cartas geotécnicas e trabalhos discutindo metodologias e áreas de aplicação voltadas para o planejamento de ocupação dos terrenos. Como exemplo pode-se citar as publicações de PRANDINI (1976) e PRANDINI *et al.* (1979a, 1979b).

Em 1980, 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, o que resultou no trabalho de Prandini *et al.* (1980). Diversas universidades e instituições públicas de pesquisa iniciaram o desenvolvimento do estudo da Cartografia Geotécnica nessa década. Neste contexto, destaca-se o IPT e o Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

Na Escola de Engenharia de São Carlos, o trabalho de Zuquette (1987) se destaca. O autor propõe uma metodologia de mapeamento geotécnico para as condições brasileiras, que se tornou um marco para a evolução da cartografia geotécnica nacional.

Atualmente, a cartografia geotécnica vem ganhando reconhecimento como ferramenta de planejamento territorial, especialmente no tocante à prevenção de desastres naturais. O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (PNPDEC), lançado no dia 8 de agosto de 2012, institui investimentos do Governo Federal brasileiro em ações articuladas de prevenção e redução do tempo de resposta a ocorrências.

No âmbito do PNPDEC, o governo está investindo no mapeamento de áreas de risco de deslizamentos e enxurradas em municípios com histórico de danos humanos causados por desastres envolvendo deslizamentos, enxurradas e

inundações. Além disso, o Governo Federal está realizando a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão urbana, que permitirão o estabelecimento de diretrizes urbanísticas para o projeto de novos loteamentos em alguns desses municípios.

4.1.2 Sistemas de Terreno

No desenvolvimento da cartografia geotécnica no Brasil, há uma convergência entre as diversas metodologias quanto à aplicação do critério de Sistemas de Terreno para a compartimentação de unidades homogêneas em diversas escalas. Segundo Diniz (1998), um Sistema de Terrenos corresponde a sistema hierárquico de classificação de terrenos de acordo com seus componentes do meio físico, sendo a análise compatível com a sua escala, baseando-se essencialmente na obtenção de atributos de formas de relevo (geoformas). O quadro 9 apresenta diferentes Sistemas de Terreno e a descrição de suas unidades de mapeamento.

Pires Neto & Yoshinaga (1995) definem Terreno como uma área diferenciada pela similaridade do arranjo de seus componentes e atributos, bem como pela recorrência destes arranjos. Para Diniz (1998), Unidades de Terreno são áreas ou domínios relativamente homogêneos quanto aos componentes do meio ambiente na escala do mapeamento.

O quadro 10 apresenta os atributos para a individualização das Unidades de Terreno segundo Diniz-Souza (1992).

Quadro 9 – Exemplos de unidades de mapeamento por Sistemas de Terreno.

| Unidades de Mapeamento | Autor(es) | Características |
|--------------------------------------|---|--|
| Geoformas* | Diniz-Souza (1992) | Representa um conjunto de atributos relacionados pelos mesmos processos genéticos e, portanto, permitem prever seu comportamento geotécnico potencial enquanto meio físico. |
| <i>Landform*</i> | Zuquette (1993) | Possuem composição litológica e variações das características visuais e físicas definidas, tais como: forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia. É o reflexo dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, Devem refletir as mesmas condições de evolução (gênese). |
| Unidade Geotécnica | Gwinner, (1956); Peter, (1966); <i>apud</i> Pejón, 1992 | Comportamento homogêneo, independente da variação litológica, de solos ou estruturas. |
| Unidades de Terreno* | Lollo (1995) | Características geomorfológicas tais como forma topográfica, amplitude de relevo, inclinação de vertentes, e características de organização da drenagem em termos de frequência e estruturação da rede de canais. |
| Unidades de Paisagem | Guerra (2010) | Características funcionais, morfológicas e dinâmicas bastante semelhantes, que individualizam padrões homogêneos de paisagem. |
| Unidades Geoambientais | Riche & Tonneau (1989) | Entidade espacializada, na qual o substrato (material de origem do solo), a vegetação natural, o modelado e a natureza e distribuição dos solos, em função da topografia, constituem um conjunto de problemática homogênea, cuja variabilidade é mínima, de acordo com a escala cartográfica. |
| | Trentin (2007) | Representam áreas com heterogeneidade mínima quanto aos atributos e, em compartimentos com respostas semelhantes frente aos processos de dinâmica superficial. |
| Unidades Básicas de Compartimentação | Vedovello (2000) | Zonas homogêneas com propriedades texturais constantes. |
| | Freitas (2000) | Subdivididas de acordo com o grau de suscetibilidade aos processos predominantes. |

Fonte: Mandai, 2012.

Quadro 10 - Atributos para delimitação de Unidades de Terreno.

| Meio Físico | Atributos |
|------------------------|--|
| Geomorfologia | Feições de relevo, cicatrizes, depósitos Sistemas de formas de relevo. |
| Material Inconsolidado | Perfil de alteração Processo de alteração Textura Origem Rocha original Espessura |
| Litologia - Estrutura | Litotipo geotécnico |
| Morfometria | Declividade Amplitude de relevo Densidade de drenagem Forma da encosta |

Fonte: Diniz-Souza, 1992.

4.2 Cartografia de Risco de Movimentos Gravitacionais de Massa

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. 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 pelo autor 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).

Em 2008, o JTC1 - Comitê Técnico de Deslizamentos e Encostas Artificiais das Associações Internacionais ISSMGE (Associação Internacional de Mecânica dos solos e engenharia Geotécnica), IAEG (Associação Internacional de Geologia de Engenharia e Ambiental) e ISRM (Associação Internacional de Mecânica das

Rochas) publicou um "Manual para o zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para o planejamento do uso do solo", objetivando atender à necessidade de uma terminologia unificada em zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco para que o zoneamento em qualquer área possa ser comparado de forma semelhante a zonas de áreas adjacentes e para assegurar que passos fundamentais de avaliação sejam propriamente considerados e aplicados no gerenciamento de áreas propensas a deslizamentos.

O Zoneamento de Susceptibilidade de Deslizamentos envolve a classificação (nomenclatura), área ou volume (magnitude) e distribuição espacial de escorregamentos existentes ou potenciais na área de estudo (JTC-1).

Em diversas metodologias de zoneamento, incluindo a preconizada pelo manual da JTC-1, um dos dados de entrada mais importantes para a valoração da suscetibilidade é o mapa de inventário de cicatrizes de deslizamentos. Este mapa é obtido a partir da interpretação de fotografias aéreas relativamente recentes e em escala adequada, com posterior valoração em campo.

A densidade de movimentos (áreas movidas) representa a porcentagem de uma determinada unidade de terreno afetada por movimentos de massa. Na realização do zoneamento de suscetibilidade o objetivo normalmente é incluir o maior número de cicatrizes de escorregamentos em classes de suscetibilidade mais altas, enquanto tenta-se alcançar a área espacial mínima para estas classes. Ou seja, as classes de suscetibilidades mais altas devem ter maior densidade de escorregamentos, ainda que a densidade não seja analisada na metodologia utilizada. (IRIGARAY & CHACÓN, 2003; JTC-1, 2008).

O zoneamento de perigo de movimentos gravitacionais de massa considera os resultados do mapeamento da susceptibilidade e estabelece uma frequência determinada para os escorregamentos potenciais; esta frequência está relacionada aos fatores deflagradores, enquanto a suscetibilidade está relacionada aos fatores condicionantes, às propriedades intrínsecas do terreno. O zoneamento de perigo inclui ainda a definição e localização dos elementos em exposição (JTC-1, 2008; VALLEJO & FERRER, 2011).

Por fim, o zoneamento de risco de movimentos gravitacionais de massa considera os resultados de mapeamento de perigo e inclui análises de danos em potencial a pessoas (probabilidade anual de perda de vidas), a propriedades (valor

anual de perda de propriedades) e fatores de meio ambiente (valor anual de perda) para elementos em risco, levando em consideração a probabilidade e vulnerabilidade espaço-temporais. Nas avaliações de risco, têm-se uma quantificação das perdas potenciais. (JTC-1, 2008).

A figura 21 apresenta um trecho de uma carta de suscetibilidade de deslizamentos de Varnes (1984) elaborada para uma área na Califórnia (EUA), e a figura 22 apresenta de forma esquemática e simplificada a metodologia para a geração de cartas de risco de movimentos gravitacionais de massa.

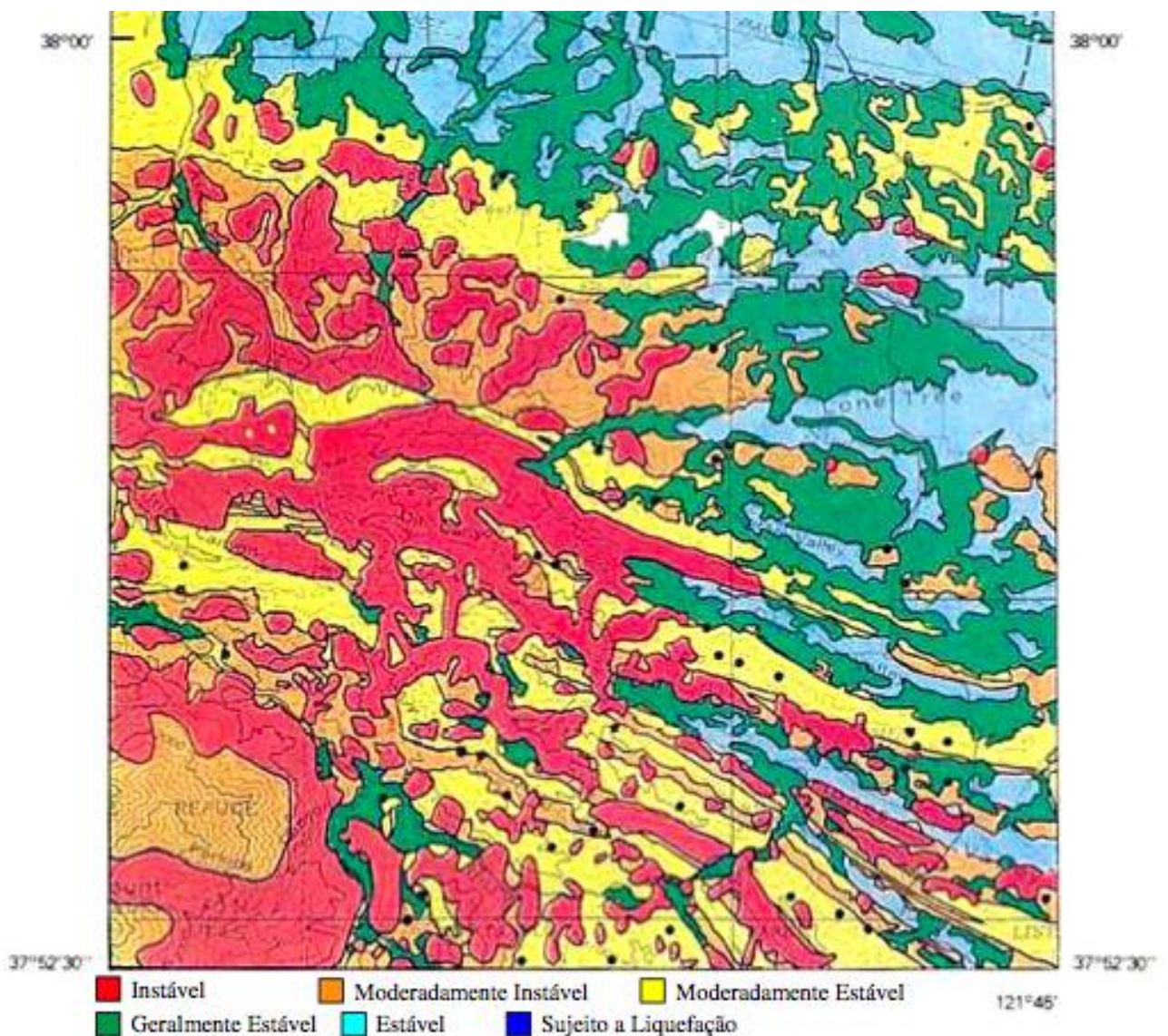


Figura 21 - Trecho de carta de suscetibilidade de deslizamentos elaborada para uma área na Califórnia (EUA).
Fonte: Varnes, 1984.

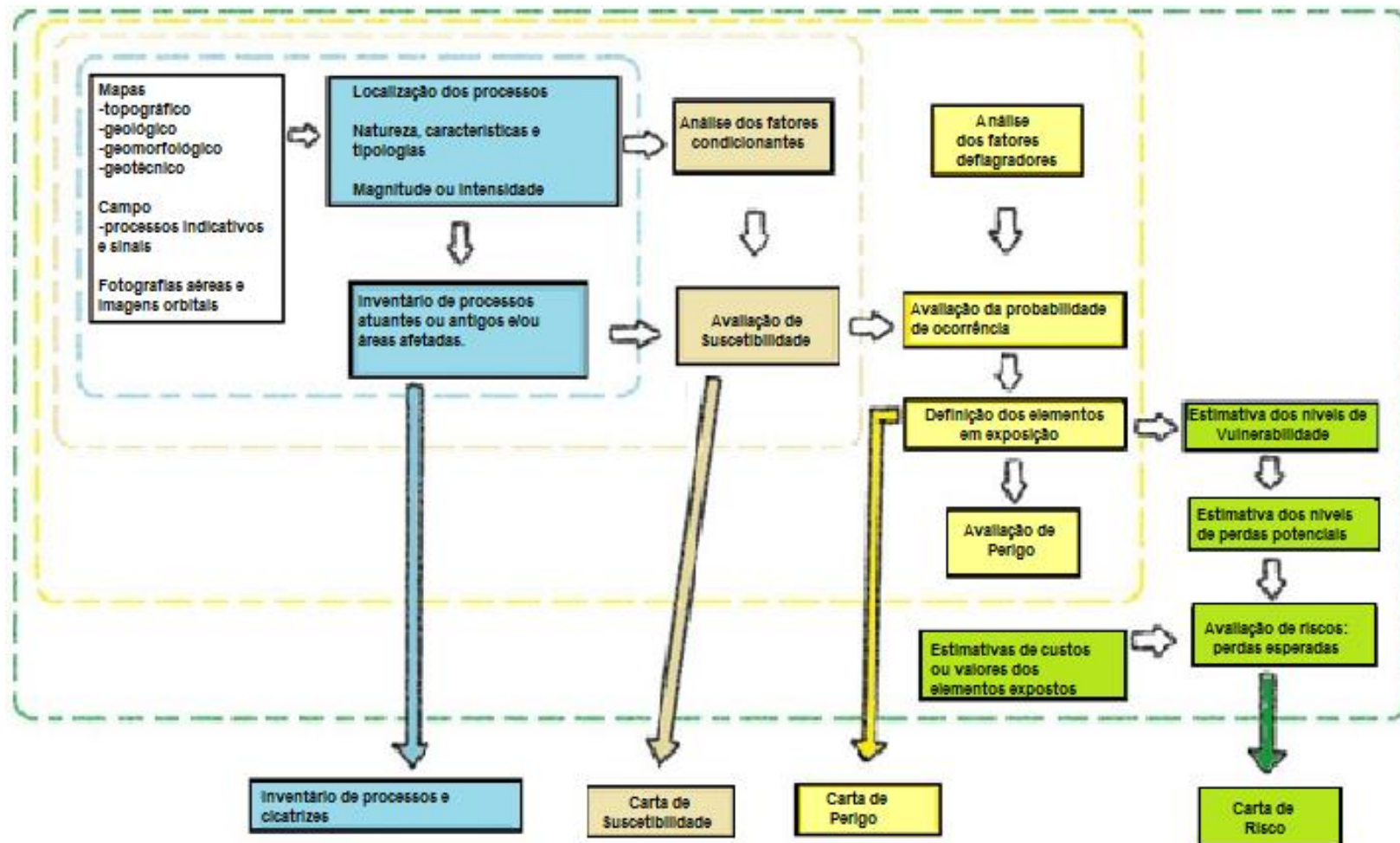


Figura 22 – Fluxograma metodológico simplificado para a geração de cartas de risco de movimentos gravitacionais de massa. Fonte: modificado de Vallejo & Ferrer, 2011.

4.2.1 Ferramentas

Com a evolução tecnológica, e a atual e crescente facilidade de acesso a computadores, os sistemas de informação geográfica (SIGs) se tornaram uma ferramenta básica e essencial para a geração de cartas de risco e para a cartografia de maneira geral. Neste sistema, as variáveis de interesse no terreno são representadas em forma de mapa; ao superporem-se as áreas compostas pelas variáveis, são simuladas interações para criar novas informações.

O uso de imagens orbitais, em substituição às fotografias aéreas, cresceu bastante a partir da década de 1990, à medida que as imagens dos sensores começaram a ser difundidas a custos mais baixos ou nenhum, e as ferramentas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens começaram a ser mais exploradas (PRESSINOTTI *et al.*, 2009).

A fotografia aérea voltou a ser mais frequentemente utilizada com o aparecimento 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 (MENDONÇA, 2012).

O quadro 11 apresenta uma compilação de trabalhos relativamente recentes abordando temas relacionados à cartografia geotécnica e de risco de movimentos gravitacionais de massa, a título de comparação entre as ferramentas e técnicas utilizadas e os produtos gerados. Pode –se observar que o uso de ferramentas de SIGs, sensoriamento remoto e a realização de fotointerpretação são constantes, o que indica que atualmente são procedimentos básicos para a realização de trabalhos dessas linhas temáticas.

Quadro 11 - Comparação entre diferentes trabalhos de cartografia geotécnica e de risco.

| Autor(es) | Ano | Insumos | Aspectos avaliados | Técnicas abordadas | Produtos gerados |
|--|------------|--|--|--|--|
| Abreu A. E. S. e 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 (<i>ArcGis</i>); - 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 suscetibilidade. |
| 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 suscetibilidade. |
| Yalcin A. Bulut F. | 2007 | - Lev. aerofotogramétrico visível e IR; - Folhas topográficas; - MDE. | - Uso do solo; - Cicatrizes de MGM; - Litologia; - Hidrogeologia; - Aspecto. | - Fotointerpretação; - TIN (<i>ArcView</i>); - Interpretação visual de campo; - Álgebra de Mapas. | - Mapa de suscetibilidade. |
| 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; - Folhas topográficas; - Mapa geomorfológico. | - Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM. - Folhas topográficas; - Mapa geomorfológico. | - Fotointerpretação; - Digitalização; - Matriz magnitude/frequência | - Mapa de Perigo. |
| Guzzetti F., Carrara A., Cardinalli M., Reichenbach P. | 1999 | - Lev. aerofotogramétrico; - Mapa geomorfológico; | - Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM | - Fotointerpretação; - Interpretação visual de campo; - Álgebra de mapas. | - Mapa de perigo. |
| Barredo J. I. <i>et al.</i> | 2000 | - Lev. aerofotogramétrico. | - Litologia; - Geomorfologia; - Cicatrizes de MGM. | - Fotointerpretação; - Álgebra de Mapas. | - Mapa de risco de MGM. |

Fonte: Mendonça, 2012.

4.2.2 Escala das cartas de risco

As escalas das cartas de risco 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.

O quadro 12 resume as escalas de inventários de escorregamentos e de mapas de suscetibilidade, perigo e risco, e para quais finalidades de aplicação são indicadas. A escala deve ser selecionada levando em consideração os objetivos do mapa. Na prática, no entanto, a escala do mapeamento pode ser definida pela escala dos mapas topográficos disponíveis.

Quadro12 - escalas de inventários de escorregamentos e de mapas de susceptibilidade, perigo e risco e aplicações.

| Descrição da Escala | Varição Indicativa das Escalas | Exemplos da Aplicação do Zoneamento | Área Típica de Zoneamento |
|---------------------|--------------------------------|--|---|
| Regional | < 1:100.000 | Inventários de deslizamentos e suscetibilidade para informar tomadores de decisões e público em geral | > 10.000 km ² |
| Intermediária | 1:100.000 a 1:25.000 | Inventário de deslizamento e zoneamento de suscetibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande porte. Mapeamento de perigo de nível preliminar para áreas locais. | 1.000 a 10.000 km ² |
| Detalhe | 1:25.000 a 1:5000 | Inventário de deslizamentos, zoneamento de perigo e suscetibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo de nível intermediário a avançado para obras de desenvolvimento regional. Zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançados de planejamento de projetos de engenharia de grande porte, como estradas e ferrovias. | 10 a 1000 km ² |
| Local | > 5.000 | Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário e avançado para áreas locais e sítios específicos e para a fase de <i>design</i> da construção de estruturas de grande porte, estradas e ferrovias. | Muitos hectares ou dezenas de km ² |

Fonte: Modificado de JTC -1, 2008.

Alheiros (1998) afirma que o nível de detalhamento exigido para a execução de um projeto de engenharia visando à estabilização de encostas, por exemplo, exige o conhecimento direto de toda a área e implica em metodologias específicas para o trabalho de detalhe (1:5.000 ou maiores). A área deve ser minuciosamente descrita, determinadas as suas características físicas, condições topográficas e

medidos os principais vetores envolvidos nos processos deflagradores do evento.

Para a gestão de problemas causados pela ocupação dos morros urbanos, onde a área de interesse deve ser bem conhecida e os parâmetros de controle estabelecidos de modo a contemplar os diferentes aspectos do ambiente (físico-biótico-antrópico), as escalas de trabalho mais adotadas ficam entre 1:10.000 e 1:25.000.

No caso das escalas intermediárias e regionais (1:25.000 ou menores) esses estudos são de caráter indicativo e têm como principal papel, subsidiar o planejamento urbano e regional.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de execução do presente trabalho foi baseada no fluxo metodológico para a cartografia geotécnica proposto por Diniz (1998) (Fig. 23), e está representada na figura 24. Consiste de três etapas básicas: etapa de inventário, etapa de análise e etapa de síntese, descritas a seguir.

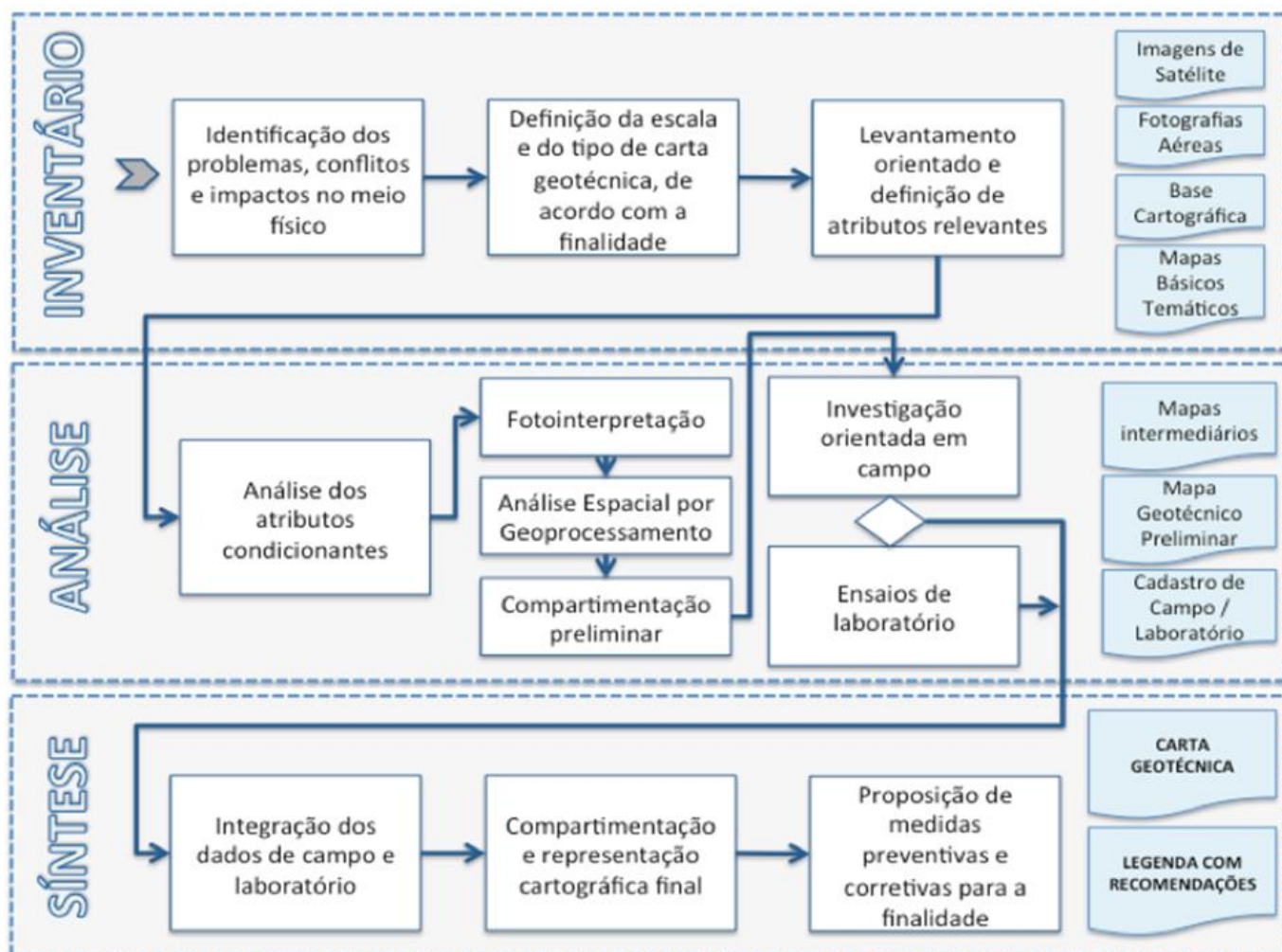


Figura 23 - Etapas metodológicas para a cartografia geotécnica proposta por Diniz (1998).
 Fonte: Mandai (2012) modificado de Diniz (1998).

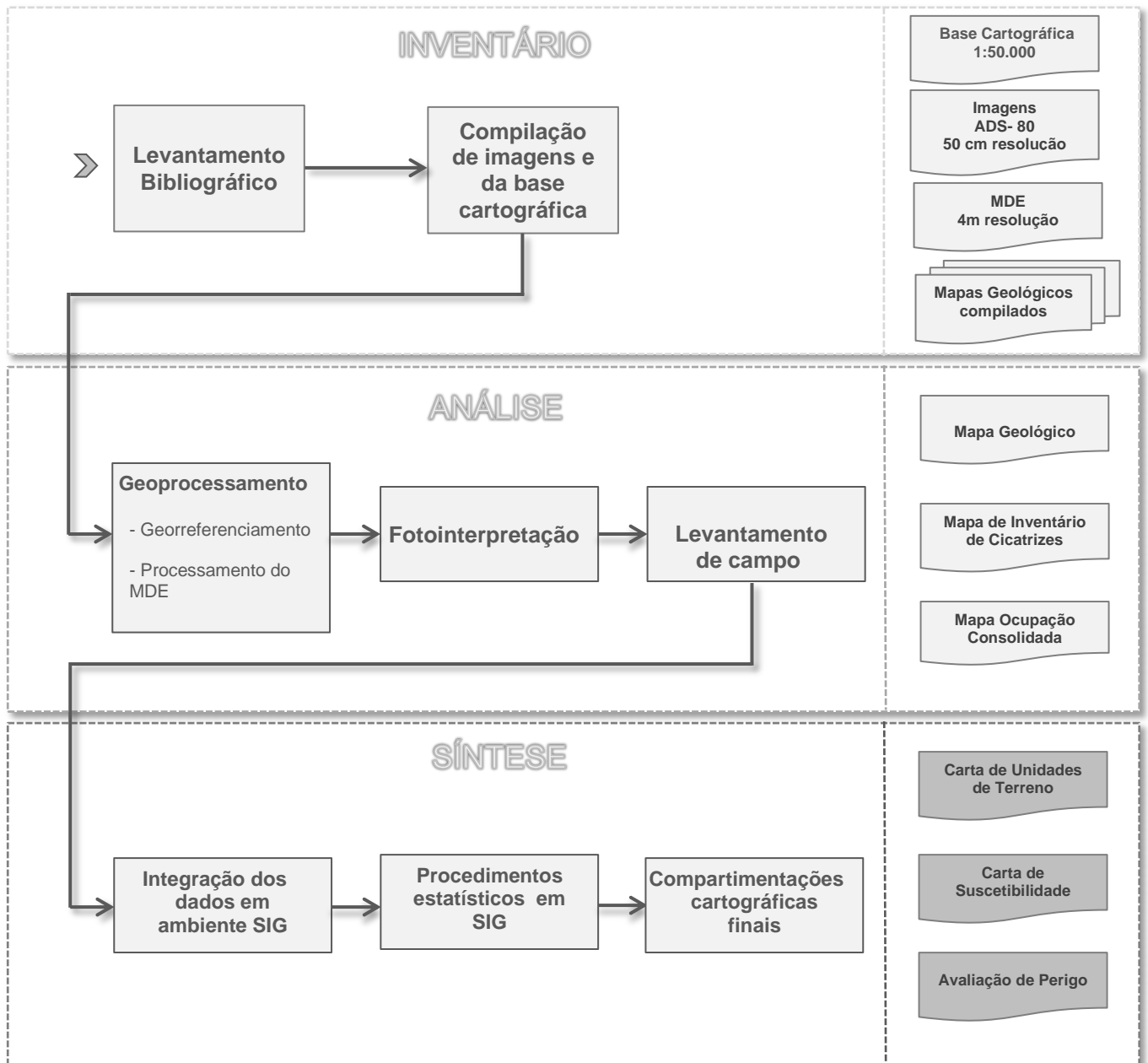


Figura 24 – Etapas metodológicas do presente trabalho.

5.1 Etapa de Inventário

Nesta etapa foi realizado o levantamento bibliográfico, a compilação de imagens digitais e da base cartográfica de área de estudo.

Pela equipe do PNI (Parque Nacional do Itatiaia), foram cedidas para a execução deste trabalho a base cartográfica, na escala 1:50.000, contendo drenagens, vias, e localidades, e imagens do satélite ALOS do sensor AVNIR-2.

Pelo CENSIPAM (Centro Gestor do Sistema de Proteção da Amazônia), por meio de convênio de cooperação técnica com a UnB, foram cedidos imagens ADS –

80 e um MDE (Modelo Digital de Elevação) com 4 metros de resolução, por meio de um convênio de cooperação técnica com o IG-UnB.

5.1.1 Imagens da Câmera ADS – 80

As câmeras do modelo ADS – 80, da *Leica Geosystems*, capturam imagens com altíssima resolução espacial, utilizando matrizes CCD (*Charge-Coupled Device* - detector por carga acoplada), que transformam radiações eletromagnéticas em pulsos elétricos, que por sua vez têm suas intensidades medidas para a geração das imagens. O sensor acoplado na câmera é o Head – SH 82, do tipo *Push Brum*, que gera imagens nas bandas do visível e infravermelho próximo.

Uma câmera ADS-80 foi adquirida pelo CENSIPAM em dezembro de 2010 e foi instalada em uma aeronave R-35A *Learjet* da FAB (Força Aérea Brasileira) em abril de 2011, por meio um termo de cooperação técnica. O primeiro voo com o equipamento foi realizado em 25 de maio de 2011.

No dia 30 de agosto de 2011 foi realizado o aerolevanteamento do denominado Projeto Vale do Paraíba, no qual foi contemplada uma área de 510 km² (Fig. 25), incluindo a área do presente estudo. Foram obtidas imagens na faixa do visível e NIR, nas resoluções espaciais de 40, 50 e 75 cm.

A partir das imagens obtidas no Projeto Vale do Paraíba, em uma parceria entre o CENSIPAM e a *Leica Geosystems*, foi gerado um MDE (Modelo Digital de Elevação) com resolução espacial de 4m.

Para a realização deste trabalho foram cedidos pelo CENSIPAM imagens ADS-80 do Projeto Vale do Paraíba em formato geotiff, com resolução espacial de 50 cm, e o MDE gerado em parceria com a *Leica Geosystems*, ambos georreferenciados utilizando o sistema de coordenadas UTM.

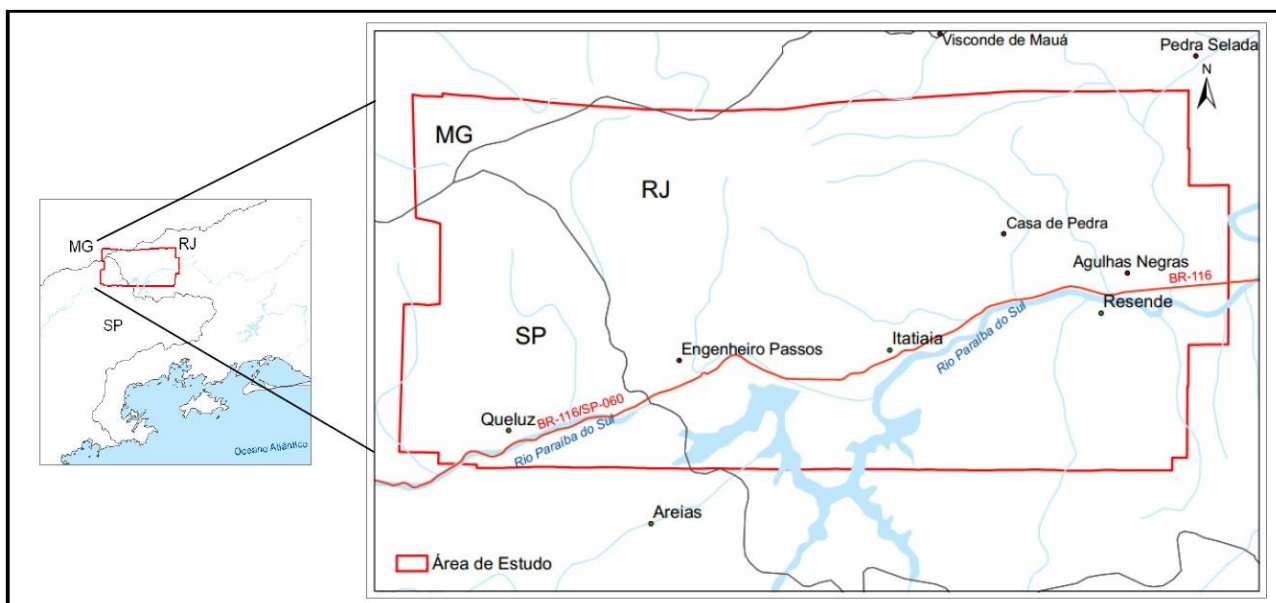


Figura 25 – Localização da área do Projeto Paraíba do Sul.

No final de 2011, o IBGE tomando conhecimento do Projeto Paraíba do Sul, solicitou ao CENSIPAM a cessão das imagens para que se promovessem avaliações de qualidade posicional.

A avaliação da qualidade posicional dos conjuntos de ortoimagens foi realizada em conformidade com as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da cartografia nacional, estabelecidas no Decreto-lei nº. 89.817 de 1984. No Capítulo II do referido Decreto-lei são estabelecidos os valores de tolerância para o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro Padrão (EP) para a planimetria e altimetria dos documentos cartográficos.

De acordo com os resultados dos testes, as imagens obtidas com a câmera ADS-80 no Projeto Paraíba do Sul, com resoluções de 40, 50 e 75 cm possuem classificação PEC B para a escala de 1:25.000.

5.2 Etapa de Análise

Na etapa de análise foram realizados o geoprocessamento dos dados, uma etapa de fotointerpretação e o levantamento de campo.

5.2.1 Geoprocessamento

O geoprocessamento dos dados foi realizado com o *software* ArcGis 10. A partir do MDE disponibilizado pelo CENSIPAM foram extraídos os valores de

declividade e altimetria para a área de estudo. Também foram geradas imagens de relevo sombreado e de aspecto (direção das vertentes). Todos esses produtos foram gerados com as ferramentas da extensão *Spatial Analyst*.

Também foi realizado o georreferenciamento dos dados tendo como base as imagens ADS-80, por meio da extensão *Georeferencing*. Foram georreferenciados a base cartográfica e os mapas geológicos compilados da bibliografia. Os parâmetros cartográficos das imagens utilizados neste trabalho são o sistema de coordenadas projetadas, com a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o datum WGS 1984.

5.2.2 Fotointerpretação

Nesta etapa foram gerados o mapa geológico (Apêndice C), o inventário de cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa (Apêndices E e F) e o mapa de ocupação consolidada (apêndice I). Também foi realizada uma identificação das formas de relevo presentes na área, baseada nos parâmetros geomorfométricos obtidos com o MDE.

O mapa geológico foi gerado a partir da compilação de mapas geológicos obtidos durante o levantamento bibliográfico. Os trabalhos utilizados foram os de Salvador (1994), Ramos *et al.* (2006) e CPRM (2009). Os mapas foram cruzados em ambiente SIG, com o *software* ArcGis 10, e complementados por fotointerpretação. Os contatos foram ajustados à luz do MDE. A maior contribuição do presente trabalho foi a delimitação mais precisa do depósito de tálus do Maciço do Itatiaia.

O inventário de cicatrizes foi gerado utilizando-se as imagens ADS-80, com apoio do MDE por meio das ferramentas da extensão *3D Analyst*. Foram inventariadas 431 cicatrizes de deslizamentos para a área de estudo, vetorizadas na forma de polígonos, que incluem a área total da cicatriz. Também foram identificadas as áreas de arranque, os depósitos, além da observação de feições características para reconhecimento dos tipos de movimento baseando-se no quadro 7. A figura 26 é um exemplo da confecção do inventário de cicatrizes, e apresenta uma cicatriz de deslizamento rotacional inativo a antigo no Distrito de Penedo, com a identificação da área de arranque e do depósito. A figura 27 é um exemplo da utilização da extensão *3D Analyst*, que permite gerar perfis topográficos a partir do MDE. A figura representa o perfil topográfico correspondente à linha AB da figura 27. Esses perfis

foram utilizados principalmente para identificação da geometria da cicatriz, buscando-se diferenciar suas diferentes partes componentes.

As cicatrizes foram classificadas quanto ao tipo de movimento e quanto à atividade, utilizando-se os parâmetros dos quadros 4, 7 e 8. Para a definição de idade/grau de atividade foram considerados ativos movimentos muito recentes, com nítido contraste entre a área movida e não movida, sendo a ausência de vegetação o principal indício. A figura 28 é um exemplo de cicatrizes de deslizamento no Distrito de Penedo e de suas classificações quanto à atividade

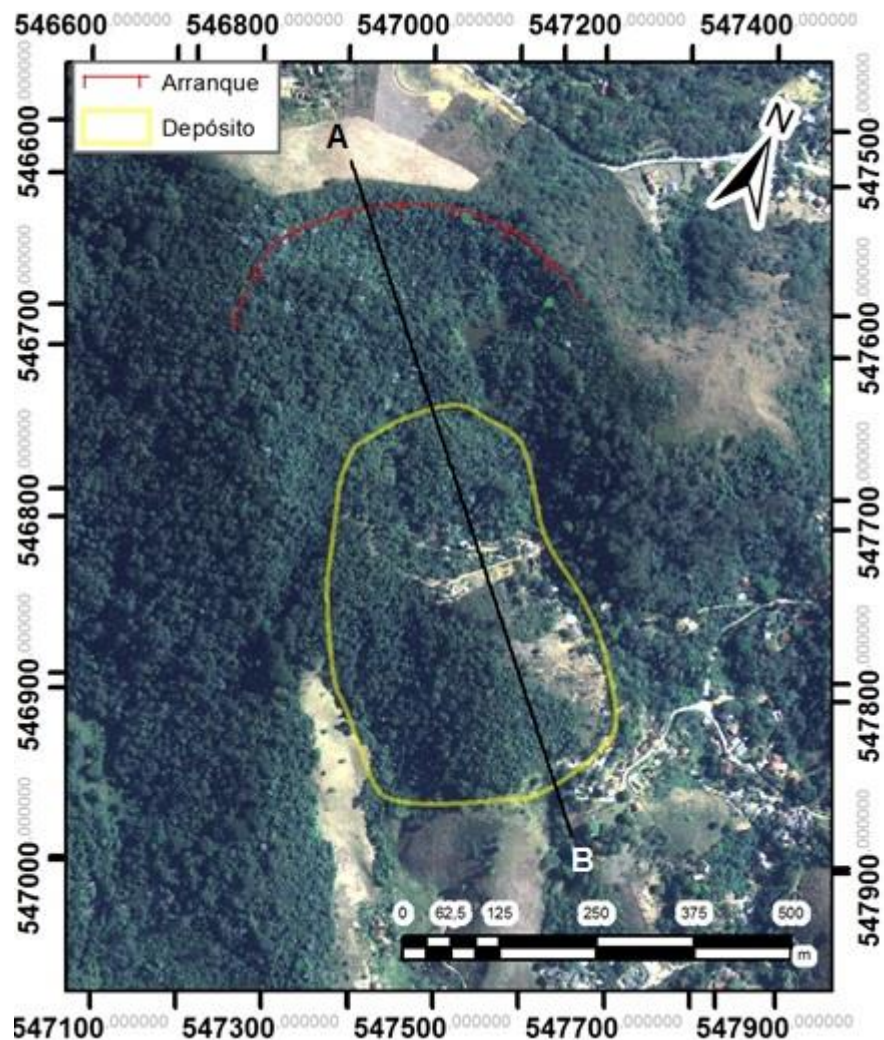


Figura 26 - Detalhe de imagem ADS – 80, no qual se observa cicatriz de deslizamento rotacional inativo a antigo no Distrito de Penedo, com destaque para a área de arranque e para o depósito.

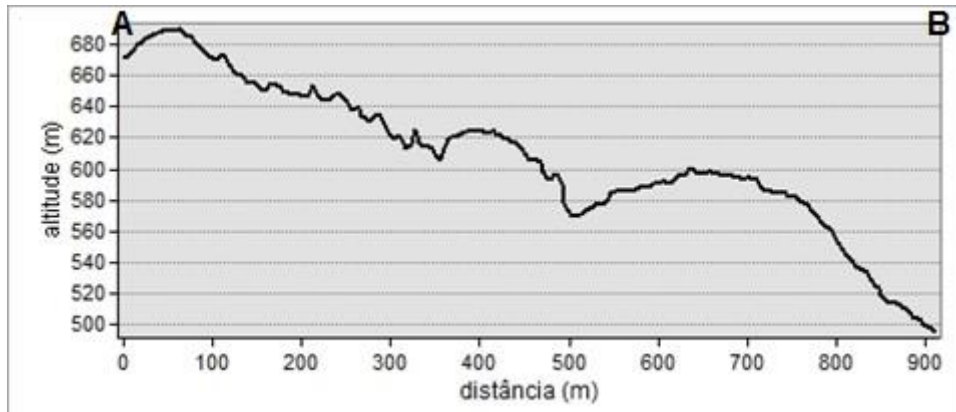


Figura 27 - Perfil topográfico de AB (Fig. 26), gerado a partir do MDE com a extensão *Spatial Analyst*, para identificação da geometria da cicatriz. Pode-se observar na figura a forma convexa do depósito, sugerindo tratar-se de cicatriz de deslizamento rotacional.

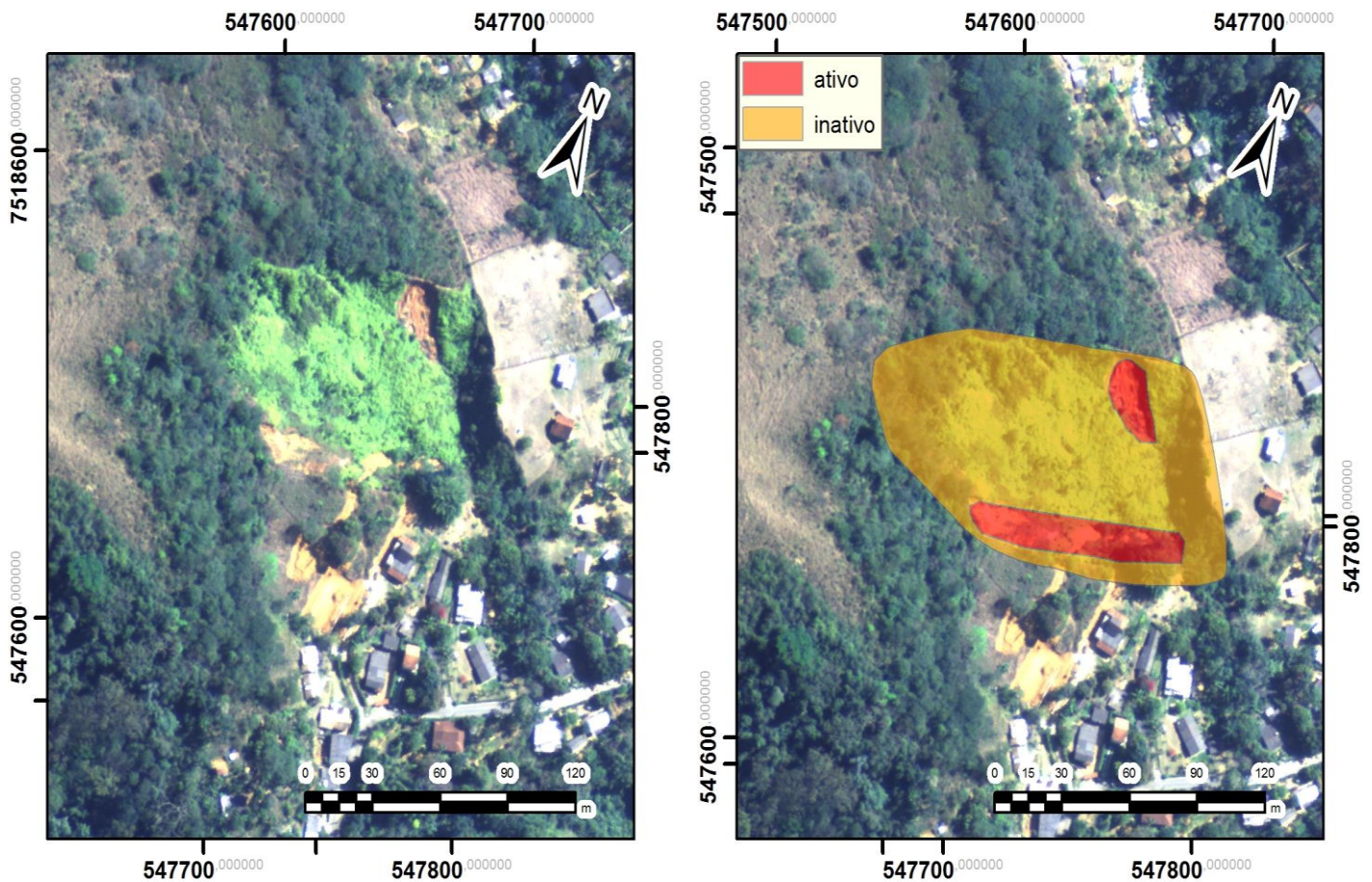


Figura 28 - Detalhe de imagem ADS-80 na qual se observam cicatrizes de deslizamento no distrito de Penedo. Na imagem à esquerda, pode-se observar uma área com vegetação verde clara, contrastante com as áreas adjacentes, sugerindo tratar-se de uma área movida. Sobre essa área, ocorrem áreas menores sem vegetação, interpretadas como reativações em menor escala e mais recentes. Na imagem à direita, observam-se os polígonos vetorizados sobre as cicatrizes, demarcando as áreas das mesmas e classificando quanto à idade/atividade.

De acordo com a metodologia da JTC-1 (2008), o inventário de cicatrizes gerado é do tipo intermediário. O quadro 13 apresenta as atividades necessárias para gerar inventários básicos, intermediários e avançados.

Para a geração do mapa de ocupação consolidada foram vetorizadas na forma de polígonos as áreas com construções como casas e fábricas. Em alguns locais com baixa densidade de ocupação foram delimitados polígonos que abrangem somente uma casa.

Para a descrição e classificação das formas de relevo foram utilizados os parâmetros de IPT (1981), descritos nos quadros 14 e 15.

Quadro 13 - Metodologia para geração de inventário de cicatrizes.

| Classificação | Atividades |
|----------------------|--|
| Básico | Inventário de MGM por fotos aéreas e |
| | Identificar relação entre topografia, geologia e geomorfologia. |
| | Apresentação dos resultados em forma de cartas contendo dados como: grids, drenagens, vias, topografia. |
| Intermediário | 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. |
| | Analisar a evolução do uso da terra e como as interações antrópicas com o solo podem ter influenciado as ocorrências. |
| Avançado | 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 compreensão dos processos de instabilidade. |
| | Catálogo das reativações de risco e informações dos períodos de atuação dos fatores desencadeadores para a geração de um inventário de períodos de ocorrência. |

Fonte: JTC-1, 2008.

Quadro 14 – Parâmetros utilizados para a descrição das formas de relevo.

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

Fonte: IPT, 1981.

Quadro 15 - Critérios para caracterização das unidades de relevo.

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

Fonte: IPT , 1981.

5.2.3 Levantamento de Campo

A etapa de campo foi realizada com os objetivos de validar as feições observadas nas imagens durante a etapa de fotointerpretação, e de levantar informações acerca do depósito de tálus. Foi utilizado um GPS manual da marca Garmin para a obtenção das coordenadas dos pontos de observação. O mapa de pontos e a tabela com as coordenadas encontram-se nos apêndices A e B respectivamente.

Foram observadas feições de relevo e os processos erosivos atuantes na área de estudo. Também foram coletadas duas amostras da matriz do depósito de tálus, nos pontos 4.3 e 4.10. As amostras foram submetidas à análise de difratometria de raios-x no Laboratório de Difratometria de Raios –X do IG-Unb para determinação da composição mineralógica.

5.2.4 Análises de Difratometria de Raios-X da Matriz do Tálus do Itatiaia

As análises de difratometria de raios-x das amostras da matriz do depósito de tálus foram realizadas com um equipamento Geigerflex da Rigaku, que dispõe de dois goniômetros e filtro em linha, ambos controlados por computador. Este equipamento dispõe de programas de tratamentos de dados (procura automática de picos, suavização da curva, correção de background, cálculo da largura a meia altura, procura dos possíveis minerais, análise qualitativa).

As condições de operação para análise rotineira foram padronizadas, utilizando-se tubo de Cu-K α , em: voltagem de 40 kv, corrente de 20 mA, 2θ de 2 a 70°, com aquisição contínua de 2° por minuto. Os difratogramas (Apêndice L) gerados permitiram caracterizar qualitativamente as fases minerais presentes. As interpretações dos difratogramas foram realizadas pela equipe do Laboratório de Difractometria de Raios -X do IG-Unb.

5.3 Etapa de Síntese

Na etapa de síntese foram geradas as cartas de Unidades de Terreno, de Suscetibilidade e feitas as avaliações de perigo. Nesta etapa foi seguida a metodologia proposta por Diniz (2012) que afirma que:

“Para elaborar a carta geotécnica e evitar-se a inconsistência gerada pela superposição de mapas, o ideal é a compartimentação por geomorfometria, que permite compor, a partir de um MDE (modelo digital de Elevação), de ortofotocartas e de imagens de satélite de alta resolução, sejam óticas ou multiespectrais, a análise de declividade, amplitude, curvatura da vertente (encosta), densidade de drenagem, padrão de drenagem, tipo de geoforma, padrão de geoforma. A interpretação de geoformas, associada à análise da densidade em área de cicatrizes de feições erosivas e deposicionais, permitirá a classificação do grau da suscetibilidade, do perigo e do risco e da aptidão.”

5.3.1 Carta de Unidades de Terreno

As Unidades de Terreno da área de estudo foram definidas a partir da delimitação de áreas homogêneas quanto às formas de relevo presentes, ao substrato litológico e as coberturas. Assim, a geração da Carta de Unidades de Terreno (Apêndice E) consistiu basicamente do cruzamento dos parâmetros geomorfométricos obtidos com o MDE e do mapa geológico.

5.3.2 Cartas de suscetibilidade

Para a geração da Carta de Suscetibilidade de Movimentos Gravitacionais de Massa (Apêndice G) foi utilizada a metodologia de densidade de cicatrizes em ambiente SIG descrita por Irigaray & Chacón (2003) e ilustrada na figura 29. Os dados de entrada foram a Carta de Unidades de Terreno e o inventário de cicatrizes. Foram calculadas no *software ArcGis 10* as áreas de cada Unidade de Terreno, a

área total de cicatrizes em cada unidade e a porcentagem da área de cada unidade de terreno correspondente às cicatrizes. Baseando-se nos resultados em porcentagem, as unidades de terreno foram classificadas como de alta, moderada e baixa suscetibilidade à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

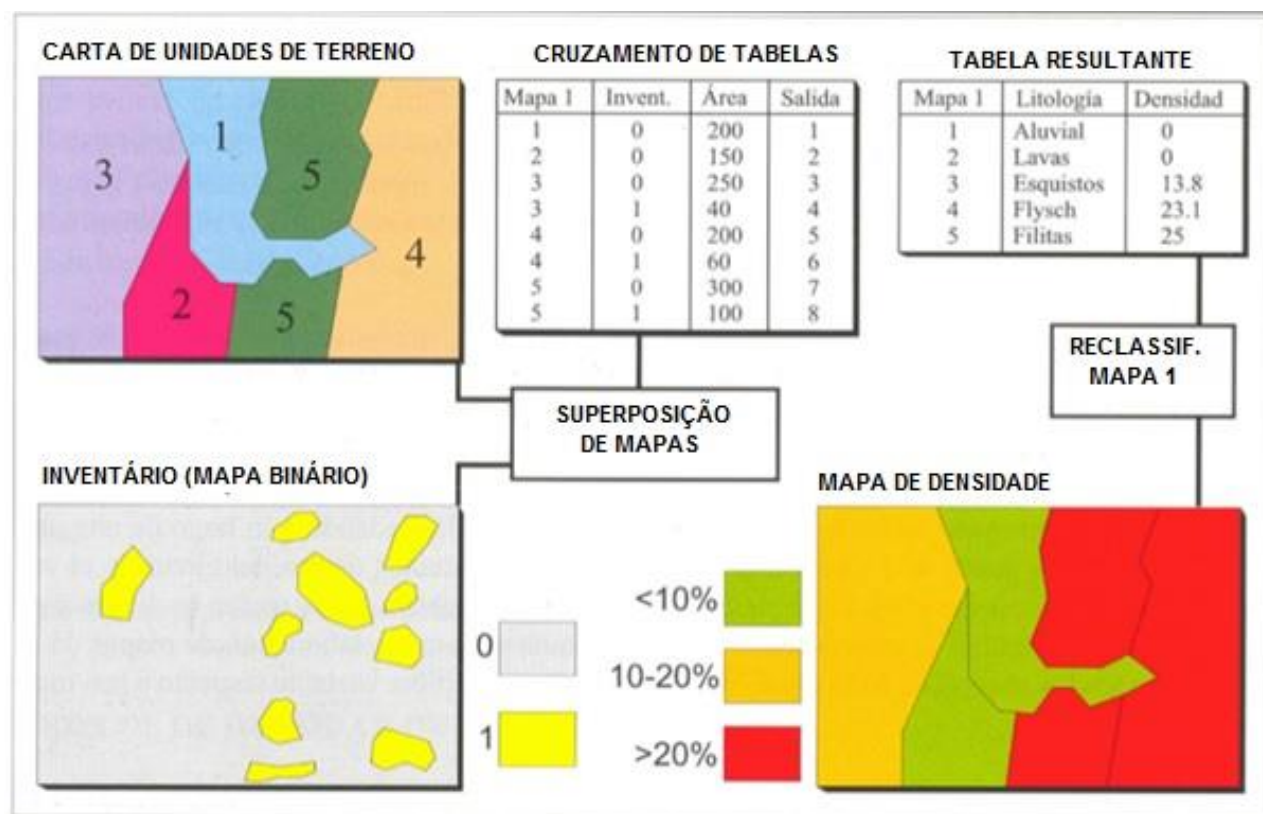


Figura 29 - Representação esquemática para a geração de mapa de densidade de cicatrizes em ambiente SIG.

Fonte: Modificado de Irigaray & Chacón, 2003.

Também foi gerada uma carta de suscetibilidade de corridas de detritos (Apêndice H). Essa carta foi gerada por meio de fotointerpretação e observações em campo.

5.3.3 Avaliação de Perigo

Para a avaliação de perigo foram cruzadas as cartas de suscetibilidade e o inventário de cicatrizes com o mapa de ocupação consolidada.

Por meio da sobreposição da carta de suscetibilidade de corrida de detritos com o mapa de ocupação consolidada foi gerada uma carta de perigo de corridas de detritos. Por meio da sobreposição do mapa de ocupação consolidada com a carta de suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa e com o inventário de cicatrizes foram realizadas as avaliações de perigo (capítulo 6).

6. ANÁLISE

6. 1 Unidades de Terreno

Foram definidas sete Unidades de Terreno para a área de estudo (Fig. 30): Planície do Rio Paraíba do Sul, Colinas Sedimentares, Morros e Rampas de Tálus, Rampa Coluvionar, Mar de Morros, Degraus Escalonados e Topos e Escarpas Rochosos, descritas a seguir.

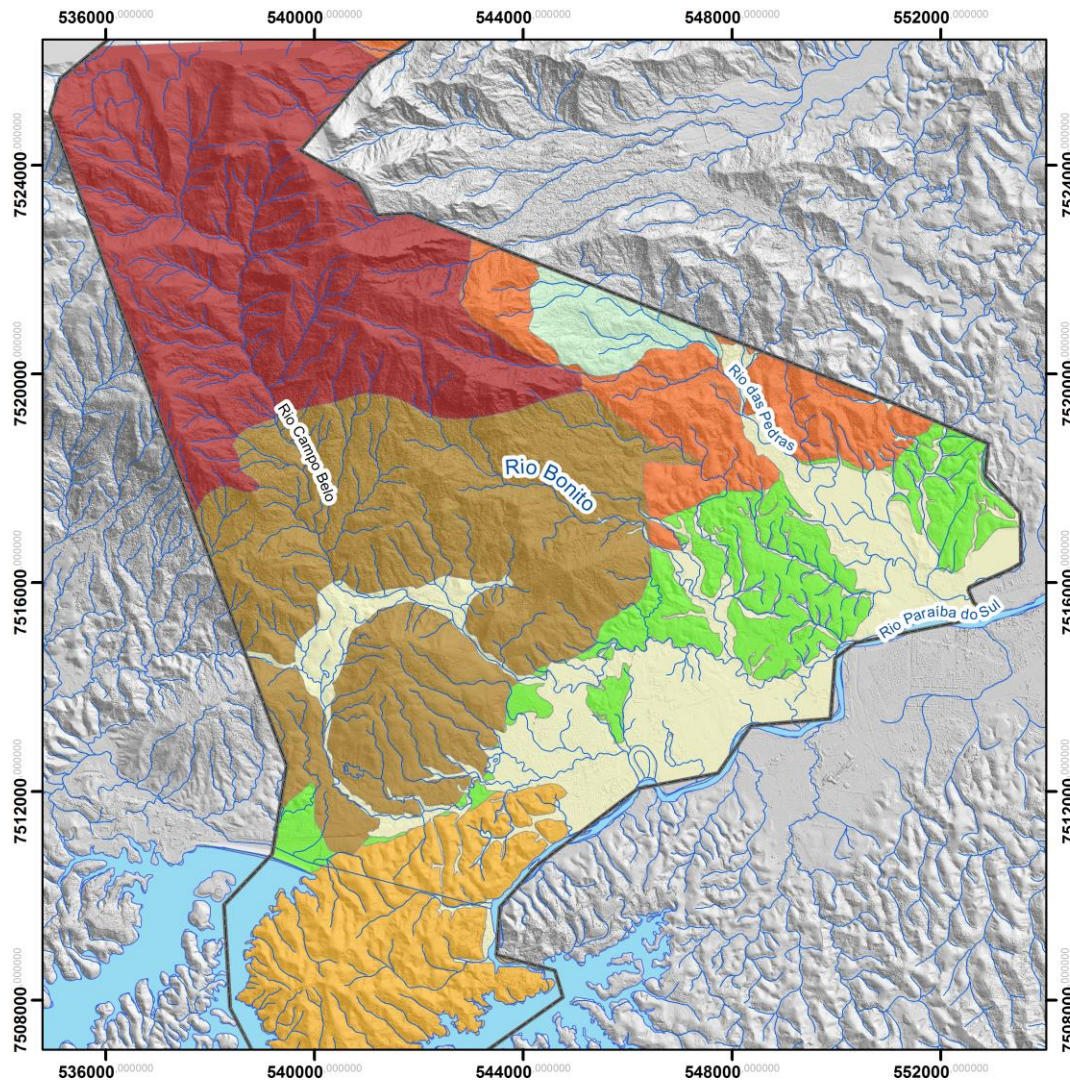
6. 1. 1 Unidade de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul

A unidade possui 29,03 km², aproximadamente 12,90% da área do município de Itatiaia. Engloba a planície do Rio Paraíba do Sul e as de seus principais afluentes na área de estudo, na forma de terraços antigos e atuais, constituídos por sedimentos colúvio-aluviais pleistocênicos interdigitados e sedimentos aluviais holocênicos. De acordo com CPRM (2009), os depósitos da unidade são predominantemente espessos, com espessuras da ordem de 10 a 20m. As texturas dos sedimentos são arenosa e/ou argilosa, com cascalheiras.

As declividades na unidade são muito baixas a baixas, e predominam amplamente valores no intervalo de 0 a 3 ° (0 a 3,33 %). A declividade média é de 1,95° (2,17%). As altitudes variam entre 382 m e 750m, sendo a altitude média de 432,08 m. As amplitudes variam em torno de 5 a 10m, podendo atingir 20m localmente.

A densidade de drenagens é média, com padrões meandrante e dendrítico. Vales entulhados na atual calha do Rio Paraíba do Sul e de drenagens contribuintes são comuns.

Os rios mais importantes que atravessam a unidade são o Paraíba do Sul, Campo Belo, Bonito e das Pedras. O Rio Paraíba do Sul é o mais importante do Estado do Rio de Janeiro, e sua bacia é a principal fonte de abastecimento da região metropolitana da capital, além de desempenhar importante papel na produção de energia elétrica do estado. Como exemplo tem-se a hidrelétrica do Funil no município de Itatiaia (CALDAS, 2005). o Rio Campo Belo, considerado o mais importante da região da área de estudo, nasce no topo do Maciço do Itatiaia, acompanha o vale dos Lírios e desce até a cidade de Itatiaia, sendo a principal fonte de abastecimento de água do município.



Carta de Unidades de Terreno
 Carta de Unidades de Terreno da área de estudo representada sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE de 4m de resolução.

Unidades de Terreno

- Planície do Rio Paraíba do Sul** - terraços antigos e atuais do Rio Paraíba do Sul e de seus afluentes mais expressivos, compostos por sedimentos colúvio - aluviais pleistocênicos e holocênicos. As declividades são baixas, sendo a média de 2%. As altitudes variam entre 380 e 750 m e as amplitudes variam em torno de 5 a 10 m.
- Colinas Sedimentares** - colinas pequenas a médias com topos arredondados e encostas convexas. As altitudes variam de 390m a 560m e as amplitudes variam entre 20 e 50m. A declividade média é de 14,8% e os solos são lateríticos, com espessuras variáveis, predominando latossolos-vermelho amarelos.
- Rampas e Morros de Tálus** - rampas e morros constituídos por depósitos de tálus, com matriz argilo-arenosa e blocos a matacões de sienito. As altitudes variam de 400 m a 1350m. As declividades predominantes são médias, sendo a média de 17%, e as amplitudes variam entre 100 e 300 m.
- Rampa Coluvionar** - extensa rampa coluvionar com altitudes entre 480m e 1460 e com declividade média de 22%.
- Mar de Morros** - morros com encostas côncavo-convexas e topos arredondados. As altitudes variam de 390m a 750m e as declividades são médias a altas, sendo a média de 34,6%. As amplitudes variam em torno de 100 e 150m.
- Degraus Escalonados** - serras com amplitudes em torno de 200 m, podendo alcançar 300m localmente. A altitude varia entre 410 e 1800m, as declividades são médias a altas, sendo a média de 31,7%.
- Escarpas e Topos Rochosos** - relevo montanhoso e escarpado como topos rochosos desnivelados na forma de cristas e picos. As altitudes variam entre aproximadamente 900m e 2791m. As declividades são médias a altas, sendo a média de 33%. As amplitudes chegam a ultrapassar 400 m.

Convenções Cartográficas

- Limite da área de estudo
- Reservatório do Funil e Rio Paraíba do Sul
- Hidrografia

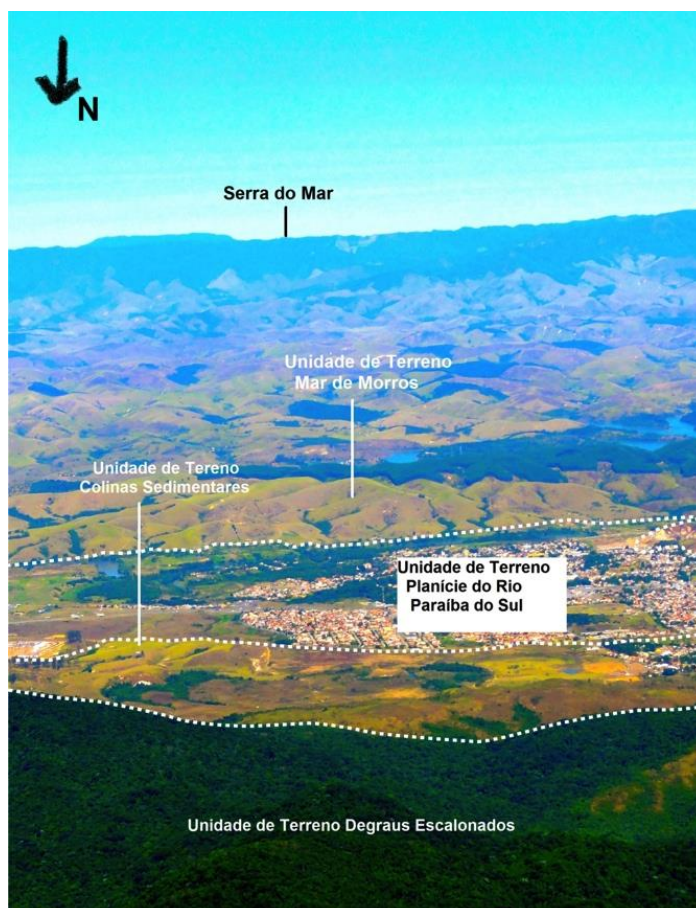
A presente carta é parte integrante da dissertação de mestrado de **Júlia Pera de Almeida** sob a orientação da **Profa. Dra. Noris Costa Diniz**.

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

N
 1 0,5 0 1 2 3 4 Km
 Escala 1:25.000
 Projeção UTM - Zona 23 Sul
 Datum WGS 1984

Figura 30 - Carta de Unidades de Terreno.

O território da unidade é destinado principalmente à ocupação urbana, industrial, e para a implantação de vias, como a rodovia Presidente Dutra e a ferrovia. Os processos erosivos consistem em restritas ravinas que se desenvolvem em margens de drenagens (Fotografia 1).



Fotografia 1 – Vista da cidade de Itatiaia a partir do cume dos Três Picos (ponto 5.3), no Parque Nacional do Itatiaia, a 1800 m de altitude. Na fotografia estão delimitadas as Unidades de Terreno visualizadas, para ilustrar a Unidade de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul.

6. 1. 2 Unidade de Terreno Colinas Sedimentares

A unidade ocupa 15,78km², aproximadamente 7,01% da área do município de Itatiaia. É formada por colinas pequenas a médias (Fotografias 2 e 3), que se desenvolvem sobre rochas do Membro Itatiaia (conglomerados oligomíticos, arenitos) (Fotografia 4) e da Formação Resende (arenitos arcoseanos, siltitos). As áreas dos interflúvios variam entre aproximadamente 0,08km² a 1,5 km², os topos são extensos e arredondados e as encostas são predominantemente convexas. As altitudes na unidade variam em uma faixa entre 390 e 560 m, com valor médio de

422,95 m, e as amplitudes variam entre 20 e 50 m aproximadamente. Predominam declividades médias, sendo a média para a unidade de $13,35^\circ$ (14,83%).



Fotografia 2 - relevo da Unidade de Terreno Colinas sedimentares, constituído por colinas pequenas a médias com topos arredondados. Fotografia tirada no ponto 3.9.



Fotografia 3 - Colina média da Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. Fotografia tirada no ponto 3.9.



Fotografia 4 - Afloramento de rochas do Membro Itatiaia da Bacia de Resende. Na base, camada de arenito arcoseano, e no topo, conglomerado oligomítico com clastos de sienito e matriz argilosa. Localização: ponto 1.3.

Os solos presentes são lateríticos, dos tipos cambissolos, argissolos e latossolos vermelho-amarelos predominantemente. As espessuras dos perfis são variáveis, e a do saprolito e da rocha sã chegam a atingir 30 m (CPRM, 2009).

A densidade de drenagens é média, em padrões em treliça e dendrítico e com controle estrutural. Ocorrem vales suspensos, depressões fechadas (proto – vales) (Fotografia 5) e drenagens tipo cabeça de fósforo. Estas últimas, para Xavier & Coelho Neto (2006) seriam uma evolução dos proto – vales, na forma de concavidades com a abertura para um dos lados da vertente.

A área da unidade é destinada principalmente à pecuária, com pastos para a criação de gado bovino, e subordinadamente à ocupação urbana. Os processos erosivos atuantes consistem em ravinamentos nas encostas (Fotografia 6) e nas margens de drenagens, que podem evoluir para pequenos escorregamentos translacionais, e escorregamentos rotacionais restritos, associados à evolução das drenagens tipo cabeça de fósforo.



Fotografia 5 - Proto - vale na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. Fotografia tirada no ponto de 3.2.



Fotografia 6 - Erosões laminares à direita e pequeno escorregamento na base de anfiteatro na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. Fotografia tirada próxima ao ponto 1.3.

6. 1. 3 Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus

A unidade ocupa uma área de 47,13km², aproximadamente 20,95% da área do município de Itatiaia, sobre a escarpa sul do maciço alcalino, a partir de uma altitude aproximada de 1350 m, até o vale do Rio Paraíba do Sul, a uma altitude aproximada de 400 m.

O relevo da unidade é composto por expressivos depósitos de tálus na forma de extensas rampas (Fotografia 7), na encosta do Maciço Alcalino do Itatiaia, e em morros com vertentes predominantemente retilíneas. O material dos depósitos é bastante homogêneo, e consiste em uma matriz argilo-arenosa de coloração ocre alaranjada, com blocos e matacões de sienitos em diferentes estágios de alteração, sendo a bauxitização um processo muito comum. Os matacões chegam a atingir volumes da ordem de dezenas de m³ e campos de matacões são muito comuns (Fotografia 8). Há o predomínio de declividades médias na unidade, sendo que a declividade média é de 15° (16,67%). As amplitudes variam aproximadamente entre 100 e 300 m.



Fotografia 7 - Rampas da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Fotografia tirada no ponto 2.4



Fotografia 8 - pasto com campo de matações em encosta de morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Fotografia tirada próxima ao ponto 2.1.

A densidade de drenagens é média a alta, com padrões radial e retilíneo. O Principal rio da Unidade é o Campo Belo, que atravessa sua área de norte a sul. As drenagens são comumente entulhadas de blocos a matações, como ilustrado na fotografia 9, tirada no leito do Rio Campo Belo no ponto 2.1.



Fotografia 9 - Blocos de sienito no leito do Rio Campo Belo na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. As drenagens carregam o material fino nos depósitos de tálus e os blocos e matações permanecem no local. Localização: ponto 2.1.

As áreas são destinadas para ocupação urbana e para a pecuária. Os depósitos apresentam movimento de rastejo, evidenciado pela inclinação de postes de iluminação (Fotografia 10) e de árvores de pequeno porte.



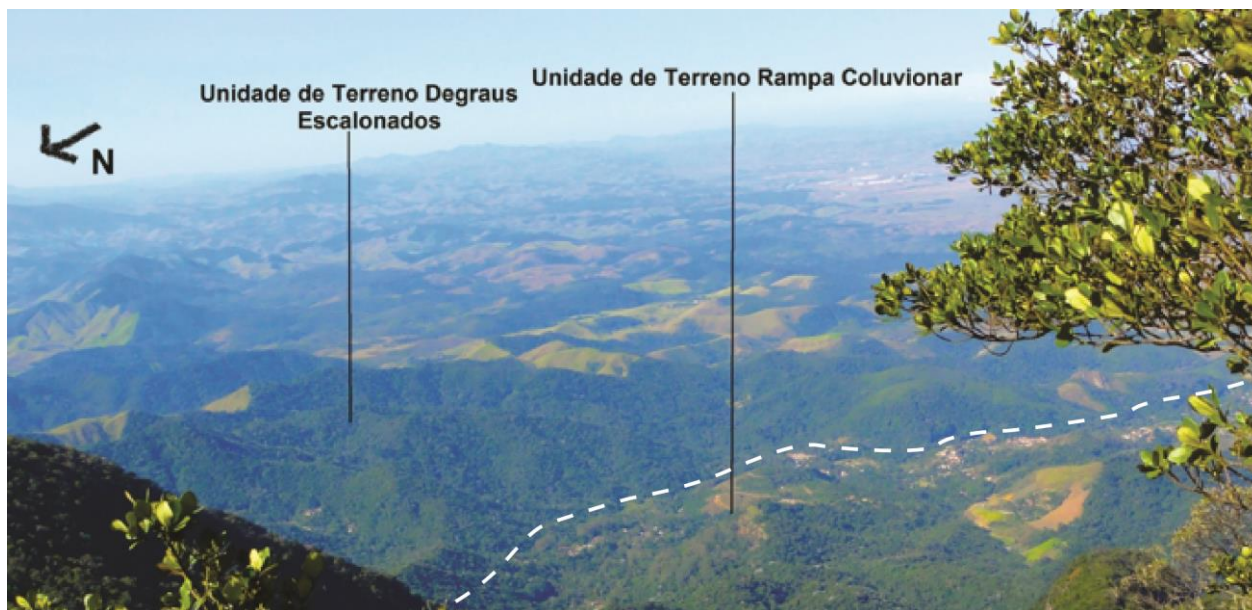
Fotografia 10 - Postes entortados em bairro implantado sobre morro de tálus na Unidade de Terreno Rampas e Morros de tálus. O entortamento dos postes é uma feição característica da ocorrência de rastejo (*creeping*). Fotografia tirada no ponto 2.5.

6. 1.4 Unidade de Terreno Rampa Coluvionar

A área da unidade é de 4,07 km², aproximadamente 1,81% da área do município de Itatiaia. A unidade corresponde a uma extensa rampa coluvionar com aproximadamente 3 km de comprimento, embutida na Unidade de Terreno dos Degraus Escalonados (Fotografia 11). As altitudes variam de 483,22m até aproximadamente 1461,39m, sendo o valor médio de 851,50. A declividade média na unidade é de aproximadamente 20° (22%).

A densidade de drenagens na unidade é alta, e o principal rio é o das Pedras, que se forma em sua área por meio da junção de afluente provenientes do maciço alcalino. É possível que grande parte dos sedimentos presentes na unidade tenham sido depositados por meio corridas de detritos de grande porte oriundas do maciço alcalino.

A área da unidade é destinada para a ocupação urbana, porém a maior parte da é recoberta por densa vegetação de floresta tropical. Os principais processos erosivos atuantes estão relacionados às drenagens, que contornam os depósitos de sedimentos e os escavam, transportando o material mais fino até a Unidade de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul, adjacente, aonde o mesmo se deposita em depósitos aluvionares.



Fotografia 11 - Unidade de Terreno Rampa Coluvionar embutida na Unidade de Terreno Degraus Escalonados, observadas a partir de trilha no Parque Nacional do Itatiaia a aproximadamente 1700 m de altitude (Ponto 5.2).

6.1.5 Unidade de Terreno Mar de Morros

A unidade compreende 23,57 km², aproximadamente 10,48% da área do município de Itatiaia. O relevo é constituído por morros com encostas côncavo-convexas e topos arredondados (Fotografia 12). As altitudes na unidade variam de 390,10 m a 748,92, sendo a altitude média de 533,46m. As declividades predominantes são médias a altas, e a declividade média é de 31,20° (34,67%). As amplitudes variam em torno de 100 a 150 m

Os solos são lateríticos, e ocorrem principalmente latossolos vermelho – amarelos e cambissolos. O substrato rochoso da unidade compreende gnaisses variados do Complexo Embu e granitos sintectônicos brasileiros, como o Granito Quebra – Cangalha.

A densidade de drenagens na unidade é alta, com padrão dendrítico e controle estrutural por falhas e fraturas. Os vales são encaixados, e ocorrem vales suspensos (Fotografia 13), depressões fechadas em topos (proto – vales), e concavidades estruturais nas vertentes, com gêneses associadas ao cruzamento de fraturas e à evolução dos proto-vales.



Fotografia 12 - Relevo da Unidade de Terreno Mar de Morros, vista a partir do cume dos Três Picos, no Maciço Alcalino do Itatiaia, a aproximadamente 1800 m de altitude (ponto 5.3). Cicatrizes de escorregamentos translacionais rasos recentes podem ser observadas nas encostas.



Fotografia 13 - Vale suspenso na Unidade de Terreno Mar de Morros. Fotografia tirada próxima ao ponto 2.1.

Os processos erosivos presentes consistem em erosões lineares rasas nas encostas, que podem evoluir para pequenos escorregamentos translacionais; deslizamentos rotacionais associados à evolução das drenagens nos vales suspensos, dos proto-vales e das concavidades estruturais; e escorregamentos

translacionais rasos como reativação de escorregamentos rotacionais (Fotografia 14).



Fotografia 14 - Morro com topo convexo na Unidade de Terreno Mar de Morros. À esquerda, observa-se cicatriz de escorregamento rotacional inativo com reativações na forma de escorregamentos translacionais. Tais feições se relacionam à evolução natural da paisagem, com vales suspensos, proto-vales e concavidades estruturais. (escorregamento rotacional), e ao desmatamento com plantio de pasto para o gado (escorregamentos translacionais). Fotografia tirada próxima ao ponto 1.2

A área da unidade é destinada principalmente para a pecuária, com pastos para criação do gado bovino. Um grande parcela da unidade não apresenta ocupação urbana pois pertence ao terreno da hidrelétrica do Funil, às margens do seu reservatório.

6.1.6 Unidade de Terreno Degraus Escalonados

A unidade possui 14,111km², abrangendo aproximadamente 6,27% da área do município de Itatiaia. A altitude varia entre aproximadamente 410 m e 1800, sendo a altitude média de 710,10m. As declividades são médias a altas, sendo a média de 28,61° (31,7%). O relevo é composto por serras, com amplitudes da ordem de 200 m, podendo ultrapassar os 300 m localmente.

De maneira geral, os topos são desnivelados, com seções convexas, pontualmente rochosos, com picos e cristas, e o perfil das vertentes é descontínuo, variando de retilíneo a convexo

Predominam vertentes assimétricas. Vertentes voltadas para sul são mais abruptas, com declividades e amplitudes maiores, e vertentes voltadas para norte apresentam declividades mais suaves e com acúmulo de material coluvionar em meias-encostas.

Predominam solos rasos, como cambissolos, Solos mais espessos ocorrem nas vertentes mais baixas, gerados a partir do acúmulo de material coluvionar. O substrato rochoso é composto por gnaisses finos da Unidade Andrelândia.

A densidade de drenagem é alta, com padrão subdendrítico. Os vales são tectônicos, encaixados, estreitos e erosivos. O principal rio da unidade é o Palmital, afluente do Rio das Pedras.

A área da unidade é destinada para a ocupação urbana, que se concentra nas altitudes inferiores, próximas ao vale do Rio dos Pedras, onde as amplitudes são menores, as declividades mais suaves. O restante da unidade apresenta vegetação densa de floresta.

Os processos erosivos atuantes consistem em escorregamentos translacionais em margens de drenagens, relacionados à evolução natural do relevo e da própria rede de drenagens, e restritamente em escorregamentos rasos em encostas nas áreas ocupadas associados à ação antrópica.

6.1.7 Unidade de Terreno Topos e Escarpas Rochosas

A área da unidade é de 46,671 km², aproximadamente 20,75% da área do município de Itatiaia. A unidade é formada por serras e maciços acidentados, com topos rochosos desnivelados na forma de cristas e picos (Fotografias 15 e 16). Seu modelado é essencialmente erosivo, com dissecação intensa. As amplitudes chegam a ultrapassar os 400 m no topo do Maciço do Itatiaia. As altitudes variam entre aproximadamente 900m a exatamente 2791m no Pico das Agulhas Negras. A altitude média na unidade é de 1875, 6 m. As declividades predominantes são médias a altas, e predominam declividades com valores entre 16° e 40°, sendo o valor médio para a unidade de 31,2° (33%).



Fotografia 15 - Relevo da Unidade de Terreno Escarpas e Topos Rochosos no Planalto do Itatiaia, no topo do maciço alcalino. Cristas e picos rochosos com topos desnivelados e campos de matacões são feições características da unidade.



Fotografia 16 - escarpa rochosa de biotita-muscovita-gnaiss da Unidade Andrelândia na Unidade de Terreno Escarpas e Topos Rochosos, a oeste do Maciço Alcalino do Itatiaia, no Parque Nacional do Itatiaia. Ao fundo, observa-se a Serra Fina, no topo do Maciço Alcalino de Passa – Quatro.

O Maciço do Itatiaia possui estruturação concêntrica, com altitudes crescentes em direção ao centro. No topo do maciço, há o denominado “Planalto do Itatiaia”. Apesar de consagrado pelo uso, o termo planalto não define a realidade do relevo, caracterizado por morros de encostas abruptas e picos rochosos, como o das Agulhas Negras, que contrastam com setores planos. A área do Planalto do Itatiaia foi incluída na Unidade de Terreno Topos e Escarpas Rochosas.

As rochas no Planalto do Itatiaia, no topo do maciço, são intensamente fraturadas e diaclasadas. Diáclases com altos mergulhos são abundantes, e um sistema de grandes diáclases horizontais a sub-horizontais é nitidamente observável. Sobre rochas pouco diaclasadas, as cristas na unidade têm aspecto maciço, bordas arredondadas e seção convexa. Sobre rochas muito diaclasadas, principalmente onde se cruzam sistemas de juntas ortogonais, os topos têm aspecto ruiniforme, com grandes matacões de arestas subarredondadas, dispostos segundo as direções de diaclasamentos. As diáclases ainda facilitam o aparecimento de grande quantidade de matacões (que formam verdadeiros campos de matacões), o controle do aparecimento de marmitas e a formação de expressivas caneluras nas rochas (Fotografia 17).



Fotografia 17 - Afloramentos de quartzo-sienito no topo do maciço do Itatiaia com caneluras, feições típicas do intemperismo físico-químico no Planalto do Itatiaia. Fotografia tirada próximo ao ponto 6.

Os solos na unidade são rasos, predominando neossolos litólicos, e cambissolos, a restritas áreas de acúmulo de material coluvionar. Os depósitos são compostos por material argilo – arenoso com coloração ocre – alaranjada, e o material é todo derivado do intemperismo dos sienitos do maciço (Fotografia 30). Sobre os solos rasos, desenvolvidos entre os afloramentos rochosos, ocorre vegetação de campos de altitude.



Fotografia 18 - Rampa coluvionar no Planalto do Itatiaia, no topo do maciço. Os solos lateríticos e os depósitos de material transportado no maciço apresentam a mesma textura argilo – arenosa e a coloração ocre-alaranjada típica do depósito de tálus da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Fotografia tirada próxima ao ponto 6.

Os fenômenos de alteração física e química são importantes, condicionando a produção de detritos. Os processos predominantes são as quedas de blocos, e subordinadamente pequenos escorregamentos. A esfoliação é comum nos blocos e matacões expostos.

A densidade de drenagem é alta, com padrão subdendrítico. Os vales são tectônicos, encaixados, estreitos e erosivos, com frequentes cachoeiras e comumente entulhados de blocos e matacões dos mais variados tamanhos, que são carregados encosta abaixo pela força das águas.

Por compreender um relevo muito movimentado, a unidade é altamente sujeita a ocorrência de processos erosivos, como reentalhe de drenagens, ravinamentos e movimentos de massa. Destes, os mais frequentes são quedas de blocos e escorregamentos planares.

A maior parte da área da unidade se encontra dentro dos limites do Parque Nacional do Itatiaia, sendo destinada para a preservação ambiental e o ecoturismo. As ocupações permanentes consistem em postos localizados de equipes de funcionários do parque que se revezam em plantões e abrigos para montanhistas.

6. 2 O Depósito de Tálus

Durante o presente estudo, foram identificados indícios que permitem suscitar a hipótese de que os depósitos de tálus que ocorrem associados ao maciço alcalino teriam sido gerados a partir de um grande evento, que teria gerado um megadeslizamento.

O depósito apresenta forma de leque ocorrendo a partir de uma altitude aproximada de 1200 metros na escarpa do maciço e possui área aproximada de 61,250km².

Os resultados das análises de difratometria de raios-x (apêndice L) realizadas para duas amostras da matriz do tálus, recolhidas nos pontos 4.3 e 4.10, mostram uma associação mineralógica de: quartzo, caulinita, gibbsita e magnesita, indicando um estágio avançado de intemperismo para o material. A semelhança mineralógica das amostras sugere a homogeneidade da matriz.

Em toda a área do depósito o solo apresenta uma coloração ocre – alaranjada característica, com textura argilo-arenosa (Fotografia 19). Os solos no Planalto do Itatiaia apresentam as mesmas características (Fotografia 18).



Fotografia 19 - Surgência de água em solo argiloso de coloração ocre-alaranjada, típico do depósito de tálus da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Localização: ponto 2.5.

As rochas do Planalto do Itatiaia apresentam expressivas caneluras, características do intemperismo de altitude (Fotografia 17). Na área do depósito, a altitudes aproximadas de 700 m, ocorrem matacões com caneluras (Fotografia 20). O fato de tais feições estarem preservadas é um forte indício de que os blocos matacões vieram transportados em meio à matriz.



Fotografia 20 - Matakão de sienito na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus com caneluras, feições típicas do intemperismo diferencial que ocorre em quartzo-sienitos no topo do Maciço Alcalino do Itatiaia. Localização: ponto 3.3.

Salvador e Riccomini (1995) interpretam os depósitos de tálus como pleistocênicos (Figura 14), associados a uma fase neotectônica de transcorrência dextral, que teria ocorrido no Pleistoceno Superior até o início do Holoceno. Salvador (1994) delimita uma falha que atravessa o maciço na direção NW – SE, que teria caráter predominante transcorrente dextral, associada à fase neotectônica citada. Concomitantemente, o último máximo glacial ocorreu no Pleistoceno Superior, e assim, no limite Pleistoceno/Holoceno, estaria ocorrendo na área um período de aquecimento e de aumento de chuvas, propiciando a ocorrência de intemperismo nas rochas do maciço alcalino, acelerando os processos pedogenéticos.

Uma interpretação para o gênese do depósito é que o mesmo seja fruto de um megadeslizamento em forma de cunha que evoluiu para corridas de detritos, associado à atividade de uma falha transcorrente dextral durante a fase neotectônica de Transcorrência Dextral (RICCOMINI, 1989), e ao acúmulo de água no material intemperizado na escarpa do maciço, relacionado ao fim do último período glacial e o conseqüente aumento de precipitações. A figura 31 ilustra a área atual do depósito, a cicatriz de arranque, o alcance máximo do leque e as direções de movimentação do material durante o evento, bem como a falha cuja atividade pode ter influenciado na ocorrência do movimento.

O raio de alcance máximo do movimento seria de aproximadamente 10 km, representado pela linha AB. A figura 32 apresenta um perfil esquemático de AB. Pode-se estimar que o volume de material mobilizado durante o movimento seja da ordem de muitas dezenas de m³

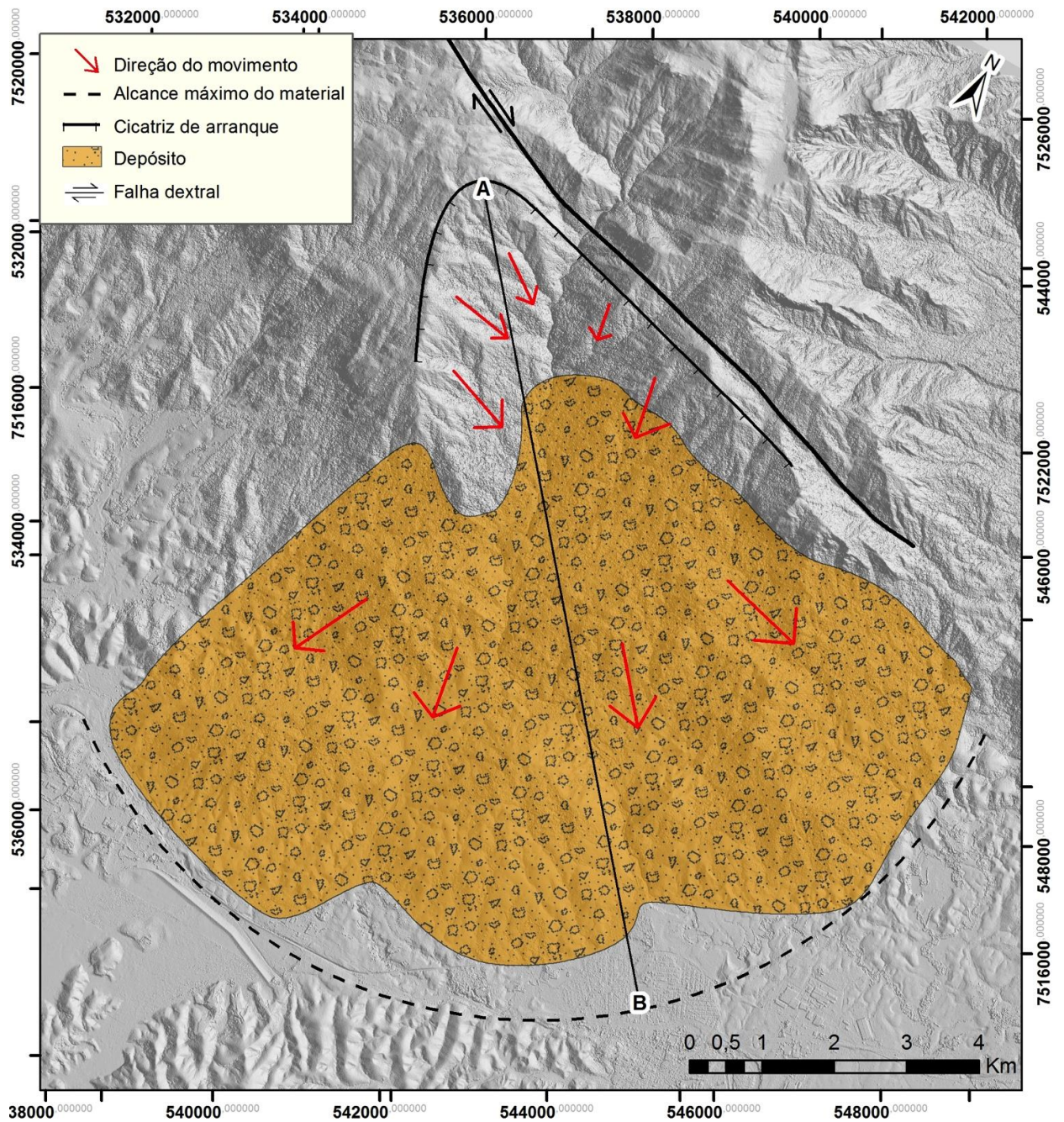


Figura 31 – Área atual do depósito de tálus do Itatiaia, cicatriz de arranque do movimento, direções de propagação do material, alcance máximo e falha dextral associada à ocorrência do deslizamento, sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE.

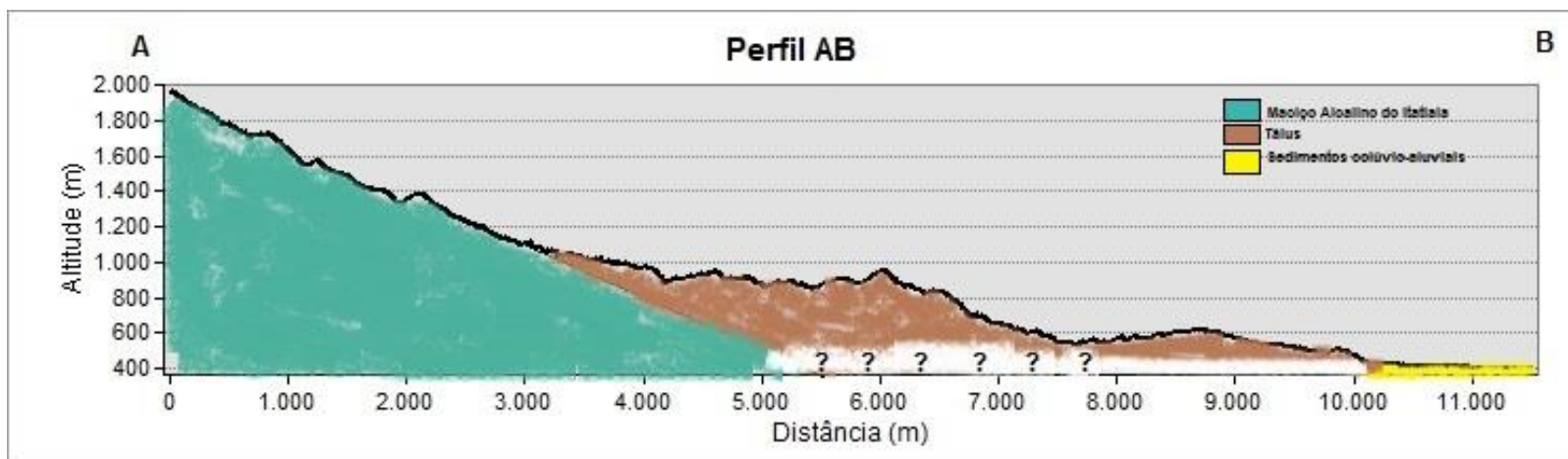


Figura 32 - Perfil esquemático AB (Fig. 31).



Fotografia 21 - Fotomosaico do depósito de tálus com o Maciço Alcalino do Itatiaia ao fundo.

6.3 Avaliação de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa

6.3.1 Inventário de Cicatrizes de Movimentos Gravitacionais de Massa

Foram inventariadas 431 cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa no total. Optou-se por não inventariar cicatrizes na Unidade de Terreno Topos e Escarpas Rochosos, pois toda a área da unidade encontra-se inserida no Parque Nacional do Itatiaia. A área total das cicatrizes inventariadas é de 6,463km². A figura 33 corresponde ao mapa de inventário de cicatrizes gerado, com as cicatrizes classificadas quanto à tipologia do movimento gerador.

De acordo com a gênese e os fatores deflagradores dos movimentos gravitacionais de massa, as cicatrizes presentes na área de estudo podem ser agrupadas em três grandes grupos:

- Cicatrizes inativas a antigas cujos fatores deflagradores dos movimentos estão associados a movimentações neotectônicas nas fases de Transcorrência dextral E – W, pleistocênica, e de Extensão NW (WNW) – SE (ESE), holocênica, estabelecidas por Riccomini (1989). O tipo predominante de movimento gravitacional é o escorregamento rotacional, seguido de corrida de detritos. As cicatrizes desse grupo são as que possuem maiores expressões em áreas individualmente, chegando a atingir 1,5 km². Um exemplo de cicatriz desse grupo pode ser observado na figura 27. As cicatrizes desse grupo ocorrem nas unidades de terreno Degraus Escalonados, Rampas e Morros de Tálus e Rampa Coluvionar;
- Cicatrizes cujos fatores deflagradores dos movimentos estão associados à evolução hidrológica de proto-vales e de concavidades estruturais.

Segundo Avelar & Coelho Netto (1992), a subsidência geoquímica seria o mecanismo principal na origem das concavidades fechadas ou proto –veles, e sua distribuição estaria relacionada aos lineamentos estruturais que favorecem a percolação vertical de água através do sistema de falhas, principalmente nas interseções dos falhamentos. A figura 34 ilustra a evolução das concavidades estruturais e proto-vales. Principalmente durante as etapas ilustradas em (C) e (D), podem ocorrer movimentos gravitacionais de massa, na forma de escorregamentos rotacionais e translacionais. A figura 35 é um exemplo de

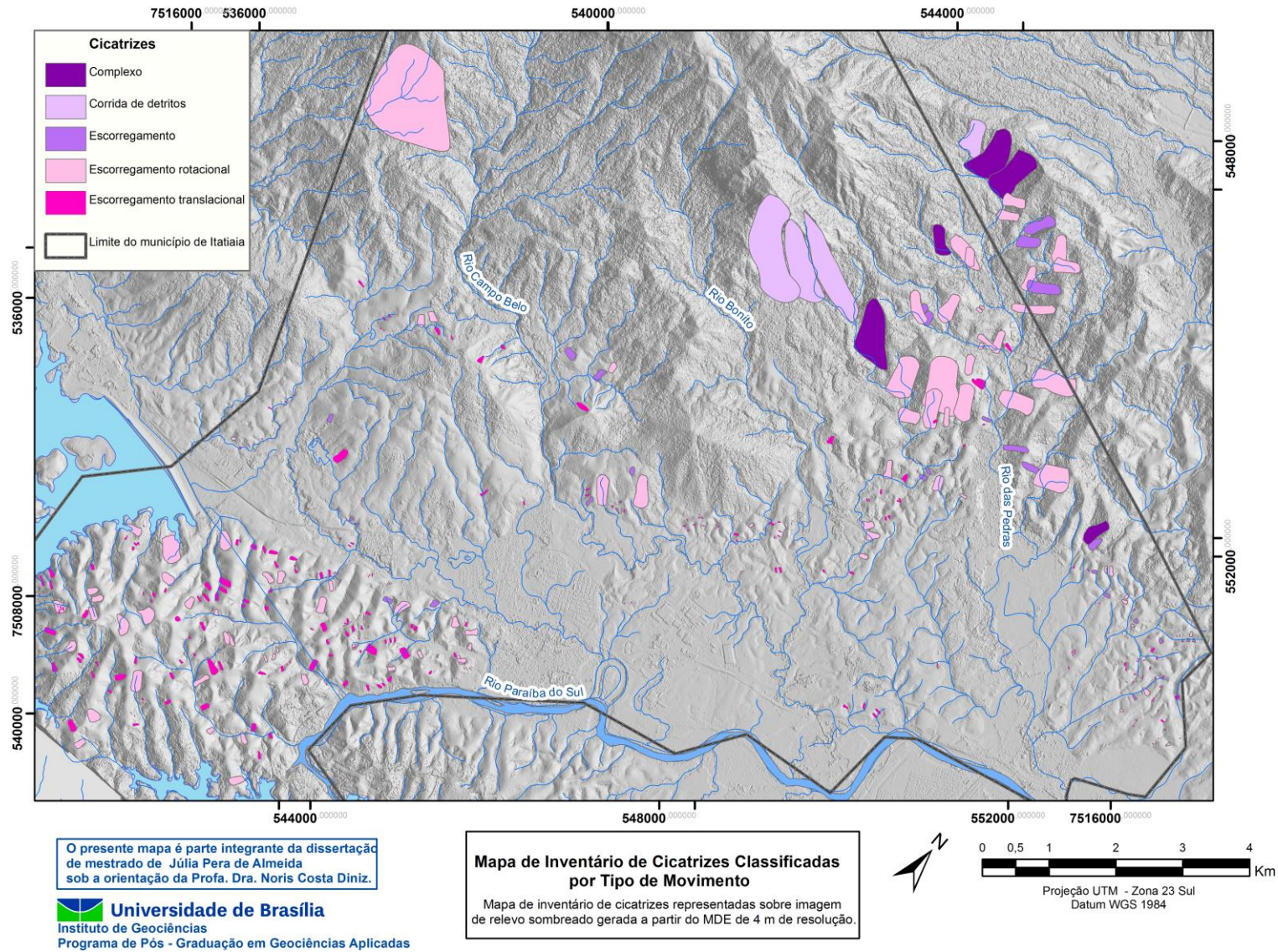


Figura 33 - Mapa de Inventário de cicatrizes classificadas por tipo de movimento.

cicatriz de escorregamento associado à evolução de um proto – vale (ou drenagem cabeça – de fósforo) na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares.

As cicatrizes desse grupo ocorrem predominantemente na Unidade de Terreno Mar de Morros, seguida da Unidade de Terreno Colinas Sedimentares, e mais raramente na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus;

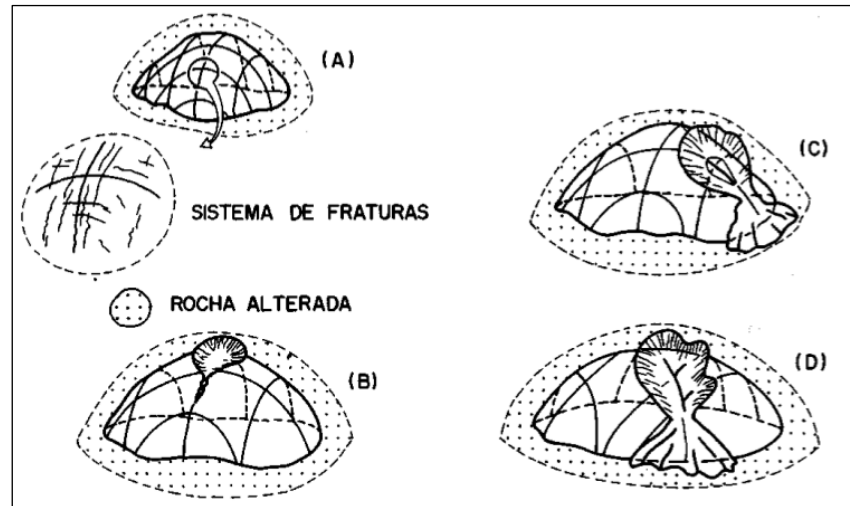


Figura 34 - (A) Desenvolvimento de concavidades estruturais controladas por fraturas na rocha; (B) - Formação de canal e desenvolvimento inicial de uma concavidade suspensa em relação ao fundo de vale adjacente; (C) - Fase de aprofundamento e recuo de encostas; (D) - Desenvolvimento de subunidades côncavas na interseção de duas famílias de fraturas.

Fonte: Avelar & Coelho Netto, 1992.

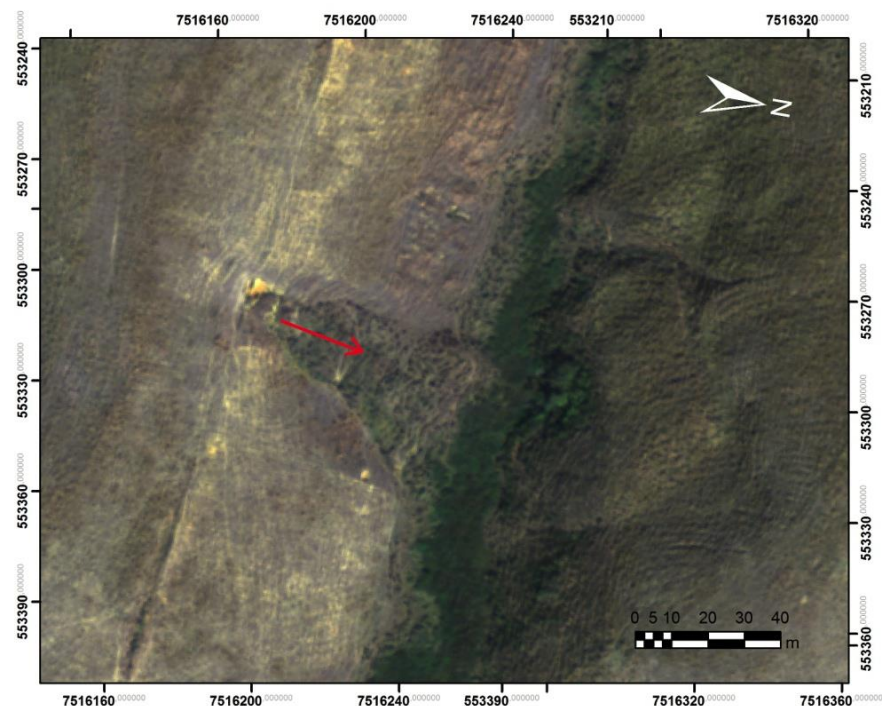


Figura 35 – Detalhe de imagem ADS -80 no qual se pode observar cicatriz de escorregamento associado à evolução de drenagem tipo cabeça - de – fósforo na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares.

- Cicatrizes com gênese associada à atividade antrópica. Nesse grupo predominam cicatrizes de escorregamentos translacionais geralmente rasas. As ocorrências desses movimentos são condicionadas principalmente pelo desmatamento e implantação de pastos. As cicatrizes desse grupo se concentram majoritariamente nas margens de drenagens. Mais restritamente, as cicatrizes desse grupo podem estar relacionadas à ocupação urbana e a talude de corte. Exemplos de cicatrizes desse grupo podem ser observadas na figura 29. As cicatrizes desse grupo ocorrem em quase todas as Unidades de Terreno, com exceção da Unidade de Terreno Rampa Coluvionar.

6.3.2 Avaliação de Suscetibilidade

A avaliação de suscetibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa se deu de maneira relativa à porcentagem em área ocupada por cicatrizes nas unidades de terreno, com exceção da Unidade de Terreno Escarpas e Topos Rochosos, a qual não foi inventariada.

O quadro 16 apresenta os resultados obtidos com a análise de densidade de cicatrizes por Unidade de Terreno. A Unidade de Terreno Degraus Escalonados é a que apresenta maior densidade, de 13,68%. Este valor foi admitido como de alta suscetibilidade para fins de análise relativa. As unidades de terreno Mar de Morros, Rampas e Morros de Tálus e Rampa Coluvionar apresentam densidades entre 5% e 7%, em torno da metade da densidade obtida para a Unidade de Terreno Degraus Escalonados, e assim foram classificadas com grau moderado de suscetibilidade. Por fim, as unidades de terreno Colinas Sedimentares e Planície do Rio Paraíba do Sul apresentam densidades inferiores a 1%, e foram classificadas como de baixo grau de suscetibilidade. A figura 36 é a carta de suscetibilidade relativa de movimentos gravitacionais de massa gerada para a área de estudo.

A avaliação de suscetibilidade de ocorrência de corridas de detritos de grande porte se deu por meio de fotointerpretação. Foram observadas áreas de arranque pronunciadas nas cabeceiras das drenagens e depósitos de grande porte em áreas a jusante. Esses depósitos ocorrem geralmente após quebras de relevo e mudanças nas declividades, e suas presenças obrigam as drenagens a desviarem

seus cursos, contornando-os. A figura 37 apresenta a carta de suscetibilidade de ocorrência de corridas de detrito de grande porte gerada para a área de estudo.

Quadro 16 - Densidade de cicatrizes por unidade de terreno e classificação quanto à suscetibilidade.

| Unidade de Terreno | Área (km²) | Área Total de Cicatrizes (km²) | % | Classificação Quanto à Suscetibilidade |
|--------------------------------|------------------------------|--|----------|---|
| Degraus Escalonados | 14,111 | 1,930 | 13,681 | Alta |
| Mar de Morros | 19,682 | 1,165 | 5,919 | Moderada |
| Rampas e Morros de Tálus | 47,127 | 2,998 | 6,320 | Moderada |
| Rampa Coluvionar | 4,072 | 0,231 | 5,673 | Moderada |
| Colinas Sedimentares | 15,779 | 0,156 | 0,980 | Baixa |
| Planície do Rio Paraíba do Sul | 29,031 | 0,196 | 0,676 | Baixa |

Na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus foi observada a ocorrência de movimentos de rastejo, evidenciada pela inclinação de postes de eletricidade e de árvores de pequeno porte observadas em campo. O movimento de apresenta deslocamentos com velocidades muito baixas a baixas e decrescente com a profundidade. A influência hidrológica nestes depósitos é de grande importância, pois a elevação do nível do lençol freático também pode acelerar o movimento de massa. À medida que o seu peso aumenta, por acúmulo de material ou de água, a encosta começa a se deslocar lentamente.

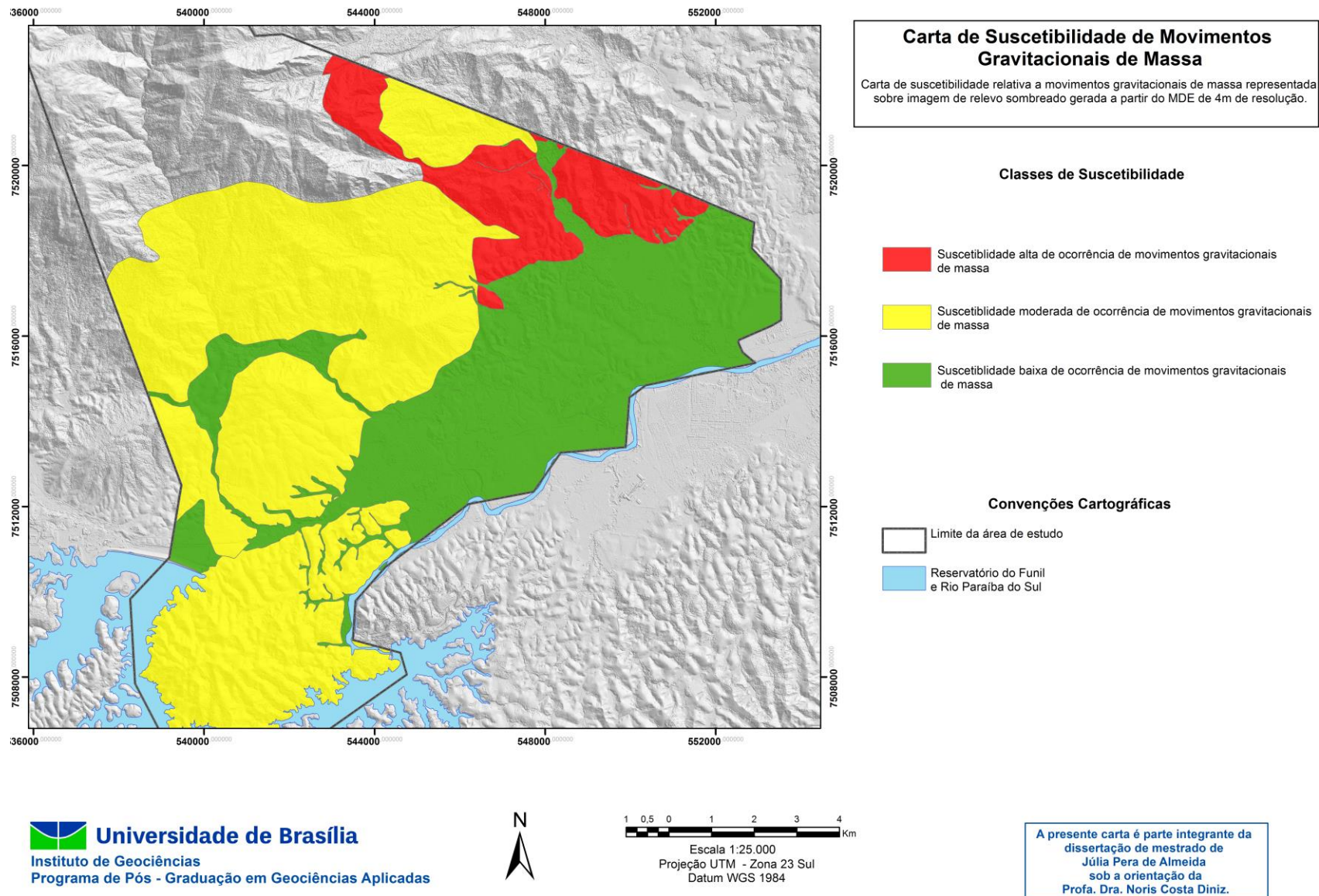


Figura 36 - Carta de suscetibilidade relativa de movimentos gravitacionais de massa.

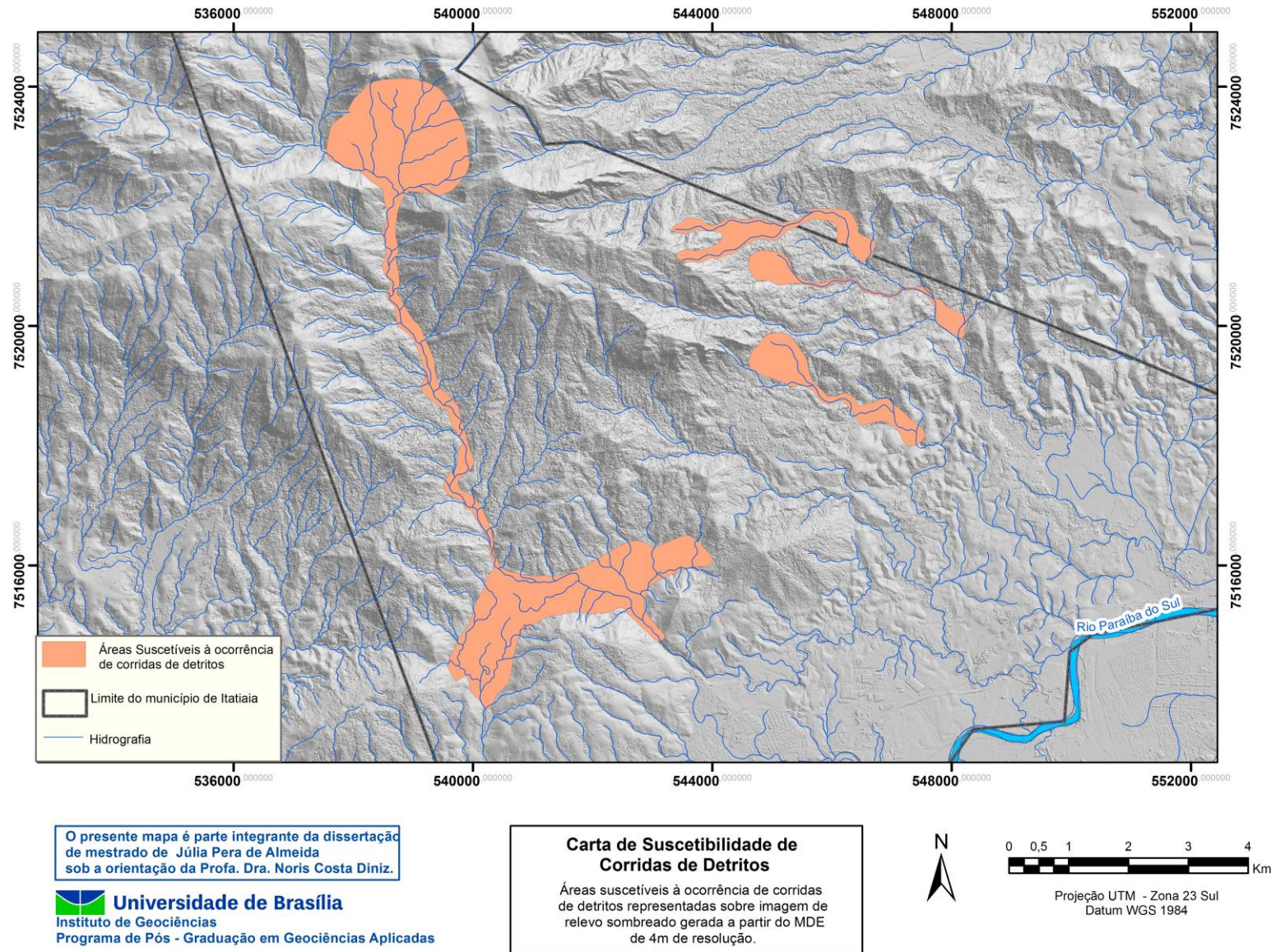


Figura 37 - carta de suscetibilidade de corridas de detrito de grande porte.

6.4 Avaliação de Perigo

6.4.1 Mapeamento da Ocupação Consolidada

O município de Itatiaia é dividido em dois distritos, o Distrito de Itatiaia e o Distrito de Penedo, além de possuir um Distrito Industrial e de parte do município estar inserido dentro do Parque Nacional do Itatiaia.

Os maiores núcleos de adensamento de ocupação se dão em torno da cidade de Itatiaia, no Distrito de Itatiaia, e no Distrito de Penedo, em torno da Vila de Penedo. A área total de ocupação consolidada no município é de 13,686 km². O quadro 17 resume a distribuição de ocupação consolidada no município.

A ocupação no Distrito de Itatiaia consiste de maioria urbana que vive na cidade. De maneira geral as casas são de alvenaria e bem construídas, e não há ocupações extremamente irregulares que configurem favelas. A maior parte da cidade e da ocupação no Distrito de Itatiaia se localiza na Unidade de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul, subordinadamente na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares e há uma tendência de expansão para cima da Unidade de Rampas e Morros de Tálus.

A ocupação no Distrito de Penedo se concentra majoritariamente na Unidade de Terreno Planície do rio Paraíba do Sul e na Unidade de Terreno Degraus Escalonados, e minoritariamente e com baixa densidade de ocupação na Unidade de Rampa Coluvionar.

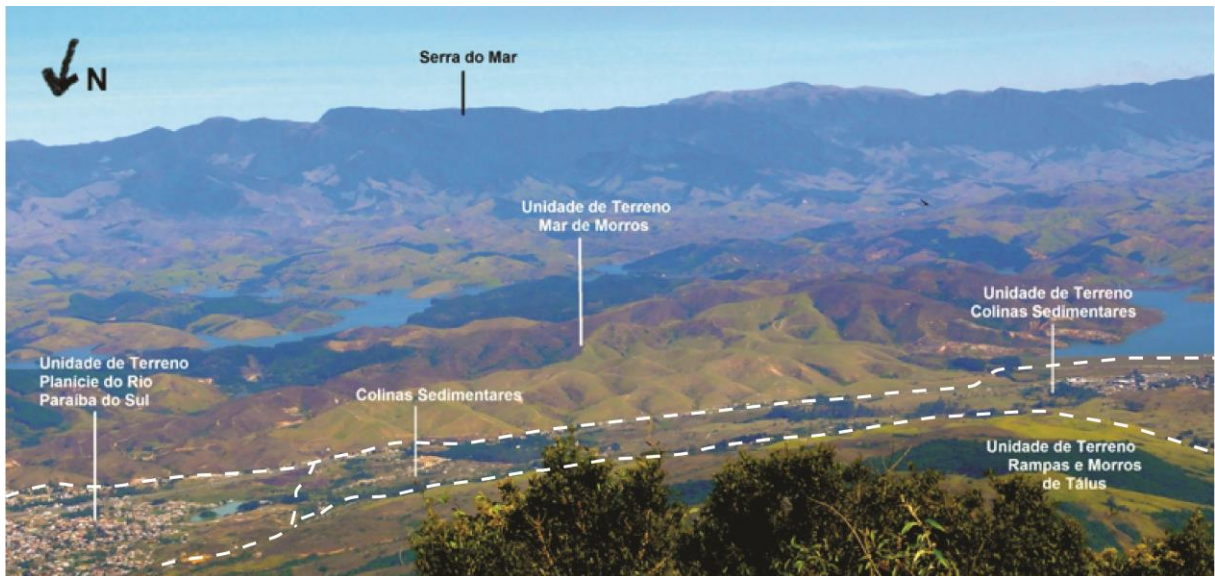
O Distrito Industrial se encontra totalmente instalado na Unidade de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul e a ocupação do Parque Nacional do Itatiaia se dá na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus.

Quadro 17 - Distribuição da ocupação consolidada no município de Itatiaia

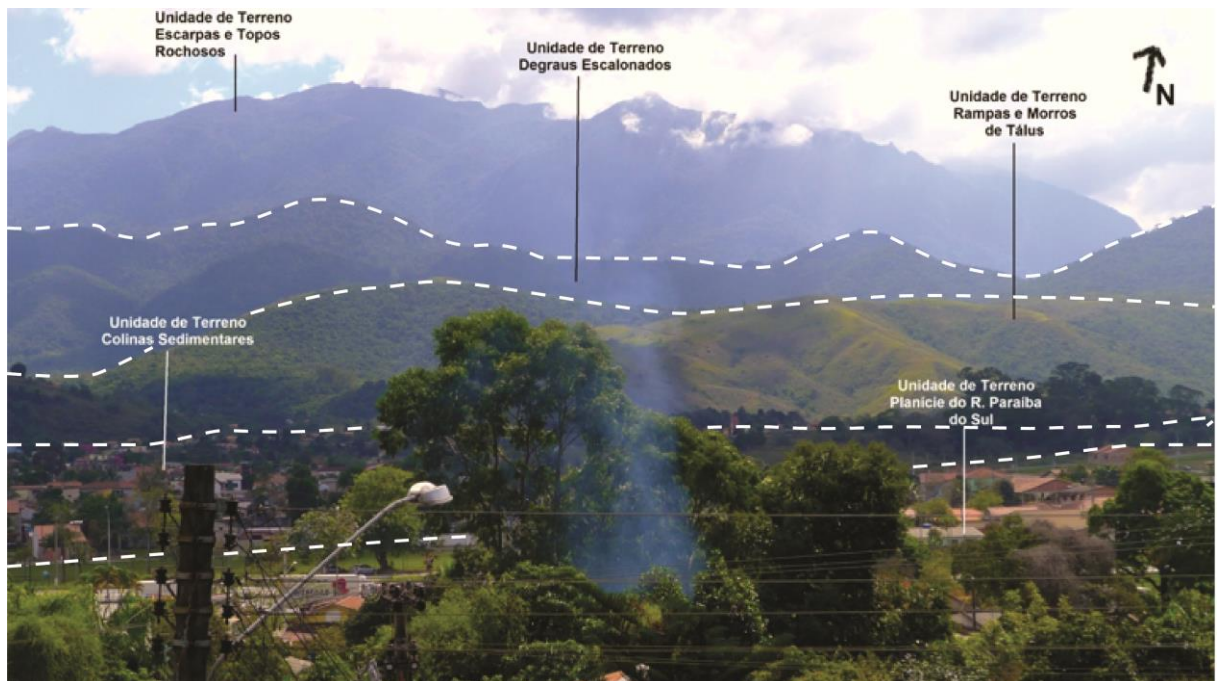
| Localidade | Área Ocupada (km ²) | % da Área Ocupada Total |
|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Distrito de Itatiaia | 6,750 | 49,32 |
| Distrito de Penedo | 4,605 | 33,65 |
| Distrito Industrial | 1,623 | 11,86 |
| Parque Nacional do Itatiaia | 0,708 | 5,17 |

A fotografia 22 ilustra a distribuição da população nas Unidades de Terreno Colinas Sedimentares e Planície do Rio Paraíba do Sul., e a fotografia 23 é apresenta o relevo no município visto a partir da Cidade de Itatiaia.

A figura 38 apresenta o mapa de ocupação consolidada gerado para o município de Itatiaia.



Fotografia 22 – Ocupação consolidada distribuídas nas Unidades de Terreno Planície do Rio Paraíba do Sul e Colinas Sedimentares.



Fotografia 23 – Vista do relevo do município a partir da cidade de Itatiaia na Unidade de Terreno Planície do rio Paraíba do sul.

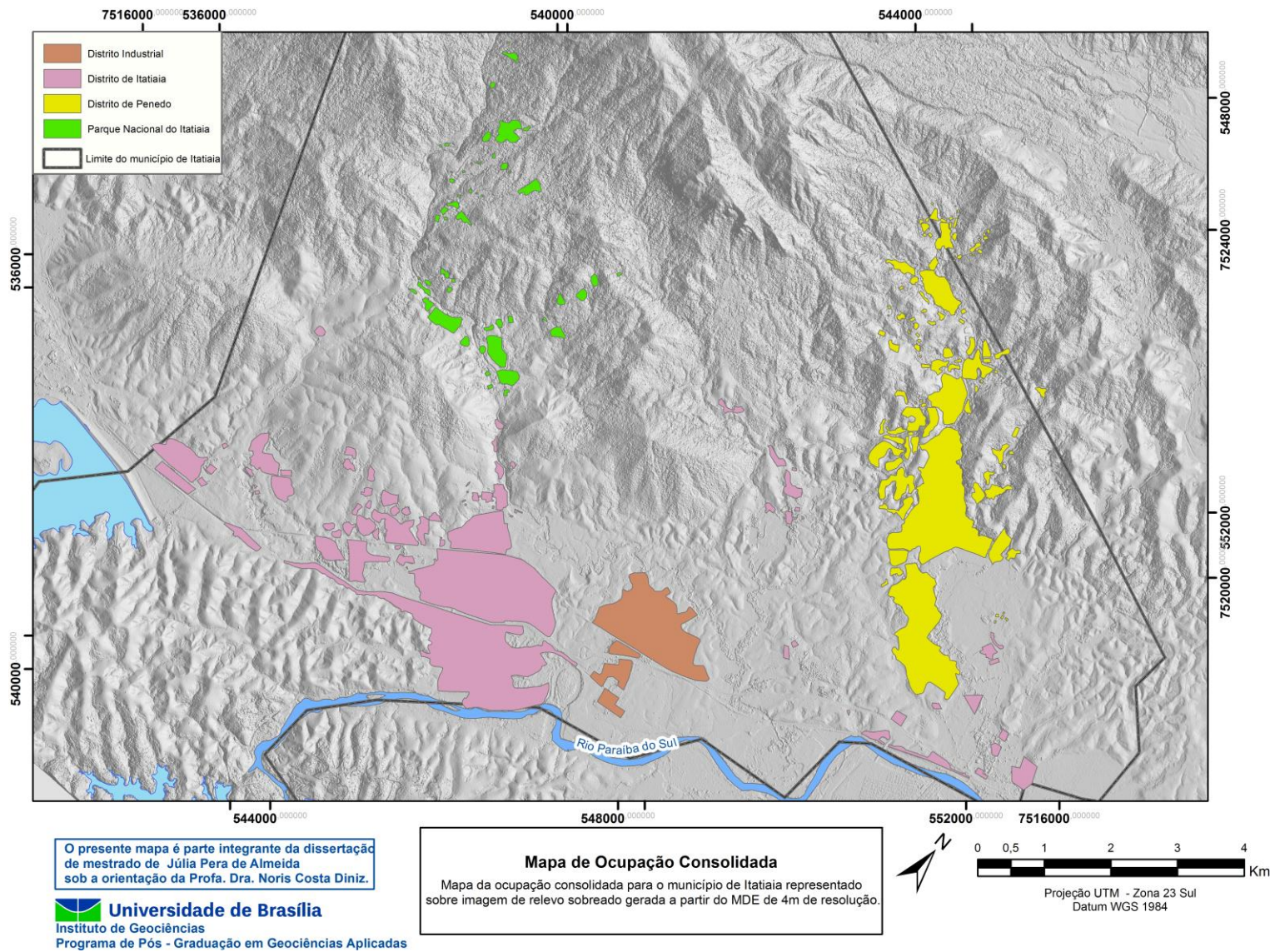


Figura 38 - Mapa da ocupação consolidada para o município de Itatiaia.

6.4.2 Avaliação de Perigo

A partir do cruzamento do mapa de ocupação consolidada com o mapa de suscetibilidade de corridas de detritos obteve-se o mapa de perigo de corrida de detritos (Fig. 39). Vale ressaltar que, caso ocorram grandes corridas essas áreas estão em perigo, porém os fatores deflagradores de tais movimentos geralmente são episódios de chuvas muito intensas e concentradas, como as que ocorrem na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Apesar de na região de Itatiaia o regime climático sazonal ser o mesmo, não se observam eventos de precipitação extrema como os que costumam ocorrer na Região Serrana.

A partir do cruzamento do mapa de ocupação consolidada com a carta de suscetibilidade (Fig. 40), pode-se perceber que a maior parte da ocupação consolidada se dá sobre áreas de baixa suscetibilidade, totalizando 9,563km², aproximadamente 69% da ocupação consolidada total. Na área de suscetibilidade moderada ocorrem 2,404 km² da ocupação consolidada, aproximadamente 18%, e na área de suscetibilidade alta estão 1,5 km², aproximadamente 11% da área total de ocupação consolidada.

Porém, a área de alta suscetibilidade não significa que seja a de maior perigo, pois se trata na Unidade de Terreno Degraus Escalonados. A maioria das cicatrizes inventariadas na unidade são inativas antigas e estão associadas à movimentação neotectônica, e além disso o padrão de ocupação no Distrito de Penedo é de alto nível.

O mais preocupante no município é a expansão de um bairro no distrito de Itatiaia sobre a Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Observa-se que é um bairro que está sendo construído sem planejamento (Fotografias 24 e 25).

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.

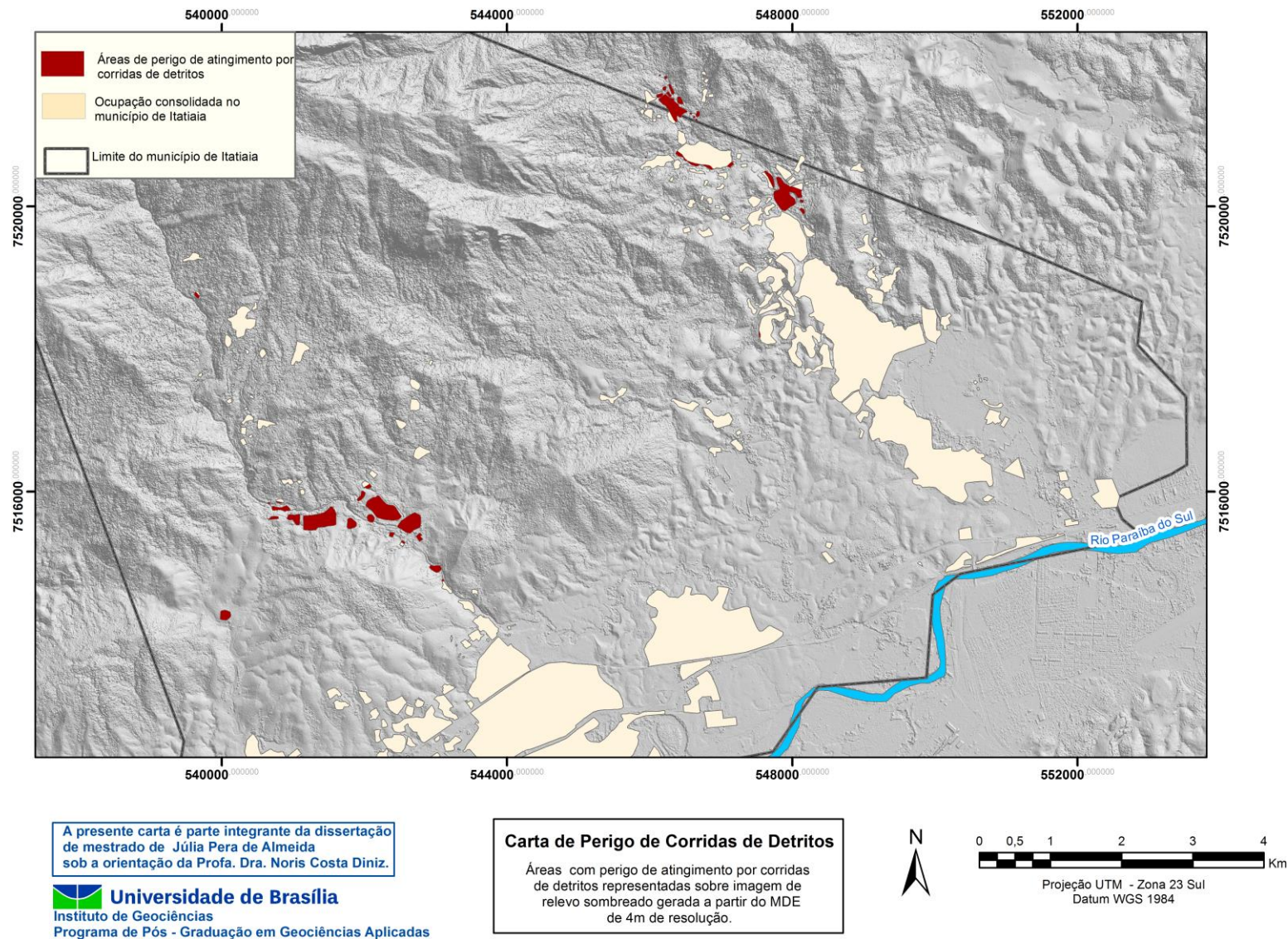


Figura 39 – Carta de perigo de corridas de detrito de grande porte.

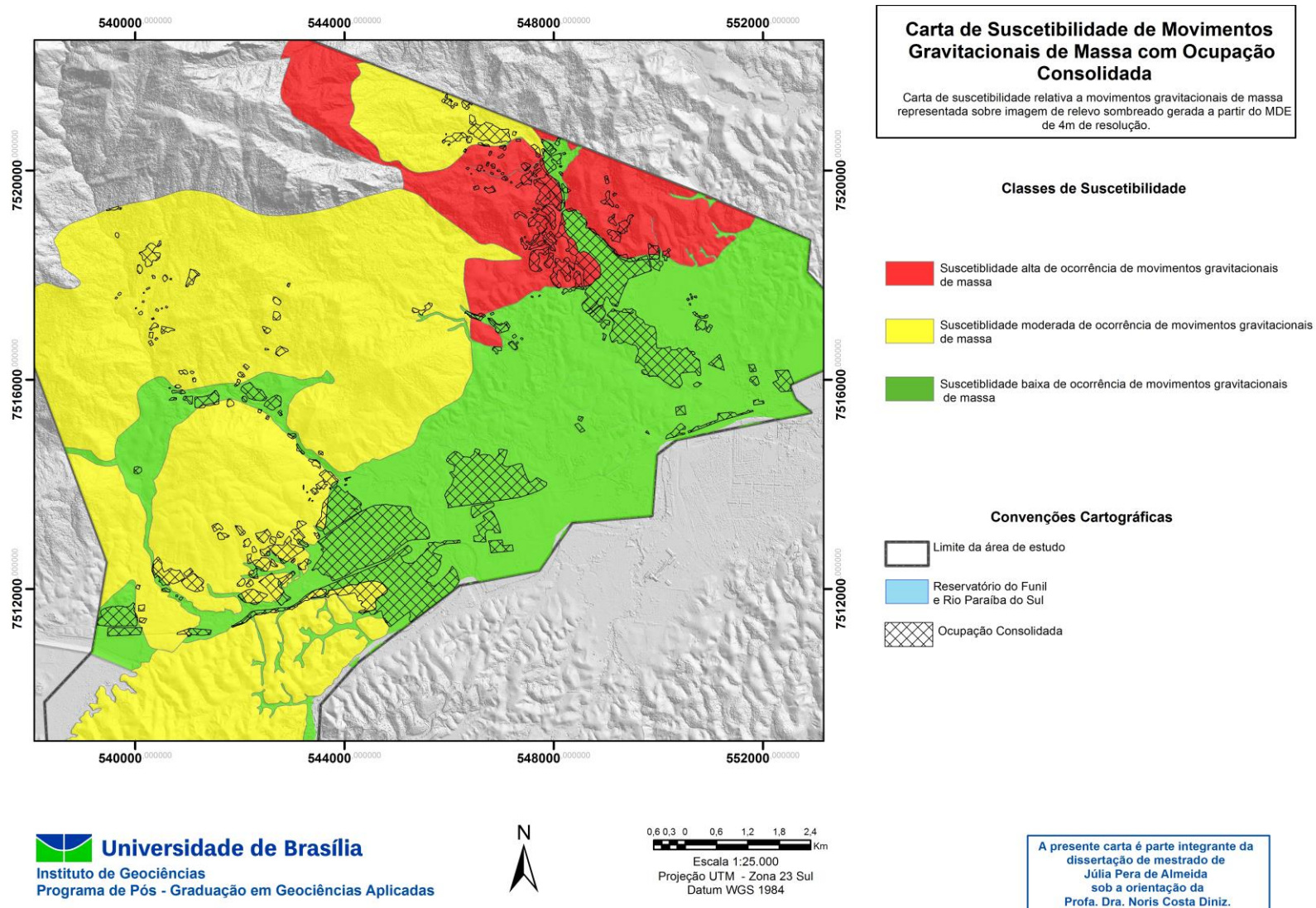


Figura 40 – Carta de suscetibilidade relativa com a ocupação consolidada.



Fotografia 24 - Casas de alvenaria e barraco construídas em bairro sobre morro na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Ao fundo, pode-se observar rampas da mesma unidade de terreno. Fotografia tirada no ponto 2.7



Fotografia 25 - Casa construída em bairro assentado sobre morro de tálus, com feições erosivas muito expressivas e blocos a matações de sienito, na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Localização: ponto 2.6.

Assim, cortes e aterros realizados no depósito de tálus, regolitos e solos lateríticos de brechas e conglomerados do Membro Itatiaia podem apresentar problemas, por se tratarem de materiais com baixa coesão devido a sua heterogeneidade. Tais propriedades associadas a intensas chuvas de verão, pode originar movimentos rápidos de massa. Assim, dependendo da maneira da

ocupação, áreas com inicialmente baixa susceptibilidade podem vir a apresentar riscos dependendo da maneira como forem ocupadas (Fotografias 26 e 27).



Fotografia 26 - Talude de corte em solo laterítico de rochas sedimentares do Membro Itatiaia da Bacia de Resende, acima de muro de quintal de casa em bairro da cidade de Itatiaia na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. Fotografia tirada próxima ao ponto 2.8.



Fotografia 27 - Talude de corte em solo laterítico de rochas sedimentares do Membro Itatiaia da Bacia de Resende, em bairro da cidade de Itatiaia na Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. O local também serve como entulho para materiais de construção, como canos, vasos sanitários, pedaços de azulejos, tijolos. Fotografia tirada próxima ao ponto 2.8.

7. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como resultado um melhor entendimento dos aspectos geomorfológicos e geológicos do município de Itatiaia. O entendimento dos processos do meio-físico e da intervenção antropogênica sobre os mesmos é o objeto de estudo da cartografia geotécnica, com a finalidade de dirigir o uso do solo de maneira a evitar riscos às populações e prejuízos econômicos.

A área do município de Itatiaia é importante. Além de se localizar no Vale do Rio Paraíba do Sul, o principal rio do Estado do Rio de Janeiro, dentro de seu território há uma área de estreitamento da planície do rio, entre os depósitos de tálus do Maciço do Itatiaia e o Reservatório do Funil. Ao longo deste eixo, no Vale do Paraíba, a urbanização está em ritmo de crescimento, há a tendência de que ocorra a conurbação das cidades do Vale. Assim, se a ocupação não se der de maneira adequada, é possível que a área do município de Itatiaia venha apresentar riscos geológicos.

A utilização das imagens da câmera ADS-80 foi crucial, pela altíssima resolução (máxima de 50 cm) que apresentam. O trabalho de campo foi satisfatório para o reconhecimento de feições visualizadas nas imagens, que puderam ser reconhecidas em campo, e vice-e-versa, ou seja, feições visualizadas em campo também puderam ser reconhecidas nas imagens.

O MDE de alta resolução gerado a partir das imagens facilitou a interpretação de feições estruturais e texturas do relevo, possibilitando a geração de mapas bastante precisos, e a análise das feições geomorfométricas de movimentos gravitacionais de massa em escalas compatíveis.

A fotointerpretação possibilitou a delimitação do corpo de tálus com precisão e a visualização das estruturas que podem estar envolvidas no movimento que deu origem ao depósito. As feições observadas corroboraram a hipótese de ocorrência de um megadeslizamento.

A delimitação do tálus é importante, pois esses corpos, por apresentarem movimentos de rastejo, que puderam ser observados em campo, apresentam riscos para obras lineares, como rodovias, ferrovias, dutos, cabos de transmissão de rede elétrica.

É recomendada a execução de estudos geofísicos para determinação da espessura, estratigrafia, contato solo – rocha, nível freático, e outras propriedades

do depósito. É recomendável a instalação de aparelhagem de monitoramento, como inclinômetros, no corpo de tálus, visto que na área há um estreitamento na planície do Rio Paraíba do Sul.

Sobre o perigo de movimentos gravitacionais de massa no município de Itatiaia, pode-se concluir que as áreas urbanizadas podem ser consideradas seguras desde que se preservem e atendam a medidas de segurança, e se mantenha a atenção para o tipo de ocupação. Cortes e aterros realizados nas áreas de tálus e em regolitos de brechas e conglomerados do Membro Itatiaia da Bacia de Resende podem apresentar riscos, por se tratarem de materiais com baixa coesão, e apresentarem uma estruturação anisotrópica, o que torna estes depósitos instáveis em condições de precipitações extremas, com possibilidade de serem retrabalhados por novos movimentos gravitacionais de massa. Assim, dependendo da maneira da ocupação, áreas com susceptibilidade baixa podem vir a apresentar riscos dependendo da maneira como forem ocupadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A.E.S.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico para gestão municipal. **Revista Luso-Brasileira de Geotecnia**, v. 115, p. 45-80, 2009.

AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais - proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP**. 2005. 360 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ALHEIROS, M.M. **Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. 129 p. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.

ALMEIDA, F.F.M. O alinhamento magmático de Cabo Frio. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., 1991, São Paulo. **Atas...** São Paulo: SBG, 1991, p. 423-428.

ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. **Boletim do DNPM-DGM**, Rio de Janeiro, n. 241, p. 1-36, 1967.

ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AS MARGENS CONTINENTAIS DO TIPO ATLÂNTICO, 1975, São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências (Supl.)**, v. 48. Rio de Janeiro: 1976. p. 15-26.

ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium-argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Oxford, v. 30, n. 2, p. 159-189, 1966.

ASMUS, H.E.; FERRARI, A.L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozoico na região sudeste do Brasil. In: PROJETO REMAC. **Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1978. v. 4, p. 75-88. (Série Projeto REMAC, 4)

AVELAR, A.S.; COELHO NETTO, A.L. Fraturas e desenvolvimento de unidades geomorfológicas côncavas no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 222-227, 1992.

BARREDO, J.I.; BENAVIDES, A.; HERVÁS, J.; VAN WESTEN, C.J. 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, p. 9-23, 2000.

BITAR, O.Y.; FREITAS, C.G.L.; SEPE, P.M. Cartografia Geotécnica, Plano Diretor e prevenção de desastres. **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 180, ano 20, mar. 2012.

CERRI, L. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6/ CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador: ABGE. v.1, p.309-317.

COPONS, R.; VILAPLANA, J.M. Rockfall susceptibility zoning at a large scale: from geomorphological inventory to preliminary land use planning. **Engineering Geology**, v. 102, p. 142-151, 2008.

CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W. As Modificações Recentes na Paisagem. In: TEIXEIRA, W.; LINSKER, R. (Orgs.). **Itatiaia: Sentinela das Alturas**. São Paulo: Terra Virgem Editora, 2007.

COROMINAS, J.; REMONDO, J.; FARIAS, P.; ESTEVAO, M.; ZÉZERE, J.; Debris Flow. In: DIKAU, R.; BRUNSDEN, D.; SCHROTT, L.; IBSEN, M. (Eds.). **Landslide Recognition. Identification, movement and causes**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. cap.7, p. 161-180.

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**. Rio de Janeiro, 2009. 205p.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslide types and processes. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R.L. (Eds.). **Landslides - Investigation and mitigation**. Transportation Research Board, Special report no.247, National Research Council. Washington D.C.: National Academy Press, 1996. cap 3.

DANTAS, M.E.; ARMESTO, R.C.G.; ADAMY, A. Origem das Paisagens. In: SILVA, C.R. (Ed.) **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**, 3. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 33-56.

DINIZ, N.C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, Cidade, v. 2, n. 2, p. 29-77, 2012.

DINIZ, N.C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental**. 1998. 2v. Tese (Doutorado) - Departamento de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1998.

DINIZ-SOUZA, N.C.C. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguaí: com base na compartimentação por forma de relevo e perfis típicos de alteração**. 1992. 207p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1992.

FELL, R.; HUNGR, O.; RIEMER, W.; LEROUEIL, S. Stability of natural and cuts and fills in soil. In: GeoEng 2000 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOTECHNICAL AND GEOLOGICAL ENGINEERING – Keynote Lecture, 2000, Melbourne. **Proceedings**. Melbourne: 2000. v.1, p. 21-120.

FORNASARI FILHO, N. (coord.) et al. **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992. 165p.

FREITAS, C.G.L. **Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica**. 2000. 238 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000.

GREHS, S.A. A importância do geólogo no estudo preventivo de escorregamentos, deslizamentos e outros aspectos correlatos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, 1967. Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG, 1967. p. 119-123.

GUIDICINE, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais de escavação**. 2ª edição. São Paulo: Edgar Blücher, 1976. 170p.

GUIMARÃES, R.B.; SPADA, J.L.G. Creep and the prediction of slides in soils. In: PANAMERICAN SYMPOSIUM OF LANDSLIDES & COBRAE, 2, 1997, Rio de Janeiro. **Anais**. São Paulo: ABGE, 1997. v.1, p. 353-362.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, n.1, p. 181-216, 1999.

HABERLEHNER. Princípios de mapeamento geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, 1966, Rio de Janeiro. **Resumos**. Rio de Janeiro: SBG, 1966. p. 37-39 (Boletim 1).

HEINE, D. Levantamento Geotécnico do Estado da Guanabara. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, 1966, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1966. p. 41.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira Folded Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 257-266, 1975.

HASUI, Y.; PONÇANO, W.L. Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...** v.1. Recife: SBG, 1978. p. 368-381.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic – Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 125, n. 1-2, p. 87-112, 2003.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Orgs.). **Geologia do Continente Sul Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004, p. 203-235.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129p.

HUTCHINSON, J.N. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrology. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 5, 1988, Lausanne. **Resumos**. Rotterdam: Balkema, 1988. p. 3-29.

IIPT - NSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. V. 1. São Paulo, 1981. 94p.

IRIGARAY, C.; CHACÓN, J. Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G. In: AYALA-CARCEDO, F.J.; COROMINAS, J. (Eds.) **Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas de SIG**, 2. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2002. p. 21-36.

JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineering Slopes. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**, New York, v. 102, 3-4: 85-98, 2008.

KEATON, J.R.; DE GRAFF, J.V. Surface Observation and geologic mapping. In: TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. (Eds.). **Landslides - Investigation and mitigation**. Transportation Research Board, Special report no.247, National Research Council, Washington D.C.: National Academy Press, 1996. cap. 9.

LAUAR, C.R.M. **Paleomagnetismo e correlações com idades radiométricas: alguns exemplos**. In: Seminário apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo: 1988, 29 p.

LIMA, M.R.; MELO, M.S. Palinologia de depósitos rudáceos da região de Itatiaia, Bacia de Resende – RJ. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p. 12-21, 1994.

LOLLO, J.A.O. **Uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração de mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na Quadricula de Campinas (SP)**. 1995. 267 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MANDAI, P.R. **Avaliação da Aptidão Urbana com Uso de Inferência Fuzzy em Dados Geomorfométricos: Subsídios para o Planejamento Físico-Territorial no entorno do Anel Viário do DF**. 2012. 175 p. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MELO, M.S. Sedimentos fanglomeráticos da Bacia de Resende, RJ – A Formação Itatiaia. **Revista da Universidade de Guarulhos**, v. 2, n. 6, p. 33-38, 1997.

MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; CAMPANHA, G.A.C.; MIOTO, J.A.; ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; GIMENEZ, A.F. **Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro – SP)**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Relatório, n. 17.737, 124 p., 1983.

MENDONÇA, F.B. **Análise de suscetibilidade, perigo e risco de movimentos gravitacionais de massa, por meio de inventário de cicatrizes de deslizamentos em trecho do trem de alta velocidade brasileiro.** 2012. 191 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MODENESI, M.C. Depósitos de vertente e evolução quaternária do Planalto do Itatiaia. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 13 (1), p. 31-46, 1992.

NUNES, H.L.; CALBETE, N.O. Variabilidade pluviométrica no Vale do Paraíba paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XI, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET.

PEJÓN, O.J. **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba – SP (Escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos.** 2v. 1992. 224 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PENALVA, F. **Geologia da região do Itatiaia (sudeste do Brasil): Morfologia e Tectônica.** 1963. 66 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1963.

PIRES NETO, A.G.; YOSHINAGA, S. O planejamento territorial no Instituto Geológico: revisão e avaliação da experiência. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, volume especial, p. 37-43, 1995.

PONÇANO, W.L. et al. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1979, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979. v. 2, p. 253-262.

PRANDINI, F.L.; CARNEIRO, C.D.R.; NETO, A.G.P.; IWASA, O.Y.; PONÇANO, W.L.; SANTOS, A.R.; OLIVEIRA, A.M.S.; PEDROSA, J.A.; SANTOS, M.C.S.R. **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, 1980. Escala: 1:20.000.

PRESSINOTTI, M.M.N.; GUEDES, A.C.M.; FERNANDES DA SILVA, P.C. Sistema gerenciador de informações do Instituto Geológico voltado à gestão de risco. In: PRESSINOTTI, M. M. N. & AMARAL, R. (Eds.) **O Instituto Geológico na prevenção de desastres naturais**, 6. Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo, 2009, p. 33-41.

RAMOS, R.R.C. **Estratigrafia da Sucessão Sedimentar Terciária da Bacia de Resende, entre Resende e Quatis (RJ), com Ênfase na Caracterização de Litofácies, Ciclicidade e Paleocorrentes.** 1997. 209 p. Dissertação (Mestrado) Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 1997.

RAMOS, R.R.C.; MELLO, C.L.; SANSON, M.S.R. Revisão estratigráfica da bacia de Resende, Rifte Continental do Sudeste do Brasil, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 25, n. 1, p. 59-69, 2006.

RIBEIRO FILHO, E. **Maçãos alcalinos do Itatiaia e de Passa Quatro (sudeste do Brasil): Contribuição à Geologia e Petrologia**. 1963. 58 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1963.

RICCOMINI, C. **O Rifte Continental do Sudeste Brasileiro**. 1989. 256 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1989.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L.G.; FERRARI, A.L. A Evolução Geológica do Rifte Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Orgs.). **Geologia do Continente Sul Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004, p. 383-406.

RICHÉ, G.R.; TONNEAU, J.P. Stratification du milieu: l'exemple de Ouricuri. **Les Cahiers de la Recherche Développement**. n.24, p.57-76, 1989.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. Coleção Repensando a geografia. São Paulo: Contexto, 1990. 85p.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo, Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, FFLCH – USP / Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT / FAPESP, 1997. 63p. Escala 1:500.000.

SADOWSKI, G.R.; CAMPANHA, G.A.C. Grandes Falhas no Brasil Continental. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Orgs.). **Geologia do Continente Sul Americano Geologia do Continente Sul Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004, p. 407-421.

SALVADOR, E.D. **Análise Neotectônica da região do Vale do Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)**. 1994. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
SALVADOR, E.D.; RICCOMINI, C. Neotectônica da Região do Alto Estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 3, p. 151-164, 1995.

SCHOBENHAUS FILHO, C.F.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. **Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais**. Brasília, MME-DNPM-DGM, 1981. Escala 1: 2.500.000.

SILVA, J.U.L.; LEITE, W.C.A. Distribuição do coeficiente de variação da pluviosidade na região “oriental” paulista – Brasil. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, XXVII, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES. p.1-8.

SOETERS, R.; VAN WESTEN, C.J. Slope stability: recognition, analysis and zonation. In: TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. (Eds.) **Landslides - Investigation and mitigation**. Transportation Research Board, Special report no.247, National Research Council, Washington D.C.: National Academy Press, 1996. cap. 8.

TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G. A ruptura do alicerce continental e o surgimento do Vale do Paraíba. In: TEIXEIRA, W.; LINSKER, R. (Orgs.). **Itatiaia: Sentinela das Alturas**. São Paulo: Terra Virgem Editora, 2007.

TRENTIN, R. **Definição de Unidades Geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Itu, Oeste do Rio Grande do Sul**. 2007. 140 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M.; ANDREIS, R.R. The central segment of the Ribeira belt. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.). **Tectonic Evolution of South America**. 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro. p. 287- 310.

VALLEJO, L.I.G.; FERRER, M. Landslides and other mass movements. In: VALLEJO, L.I.G.; FERRER, M. (Eds.) **Geological Engineering**. Londres: CRC Press/Balkema, 2011. cap. 13.

VAN WESTEN, C.J.; CASTELLANOS, E.; KURIAKOSE, S.L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview. **Engineering Geology**, New York, v. 102, 3-4: 112-131, 2008.

VARNES, D.J. **Landslides hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: UNESCO Press, 1984. 63

VARNES, D.J. Slope movement, types and processes. **Special Report 29: Landslides and engineering practice**. (Ed. ECKEL, E.B.), Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., 20-47, 1958.

VARNES, D.J. Slope movement, types and processes. **Special Report 176: Landslides: Analysis and Control**. (Eds. SCHUSTER, R.L. & KRIZEK, R.J.), Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D.C., 11-33, 1978.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs**. 2000. 154 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

VILAPLANA, J. M.; PALLÁS, R.; GUINAU, M.; FALGÁS, E.; ALEMANY, X.; MUÑOZ, A. Propuesta para una cartografía de peligrosidad geológica asociada a los movimientos de ladera en el noroeste de Nicaragua. **Serie Geográfica**, v. 10, p. 109-119, 2002.

XAVIER, R.A.; COELHO NETTO, A.L. Ocorrências de depressões fechadas em divisores de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Geografias**, Belo Horizonte , v.4, n 1, p.61-68, 2008.

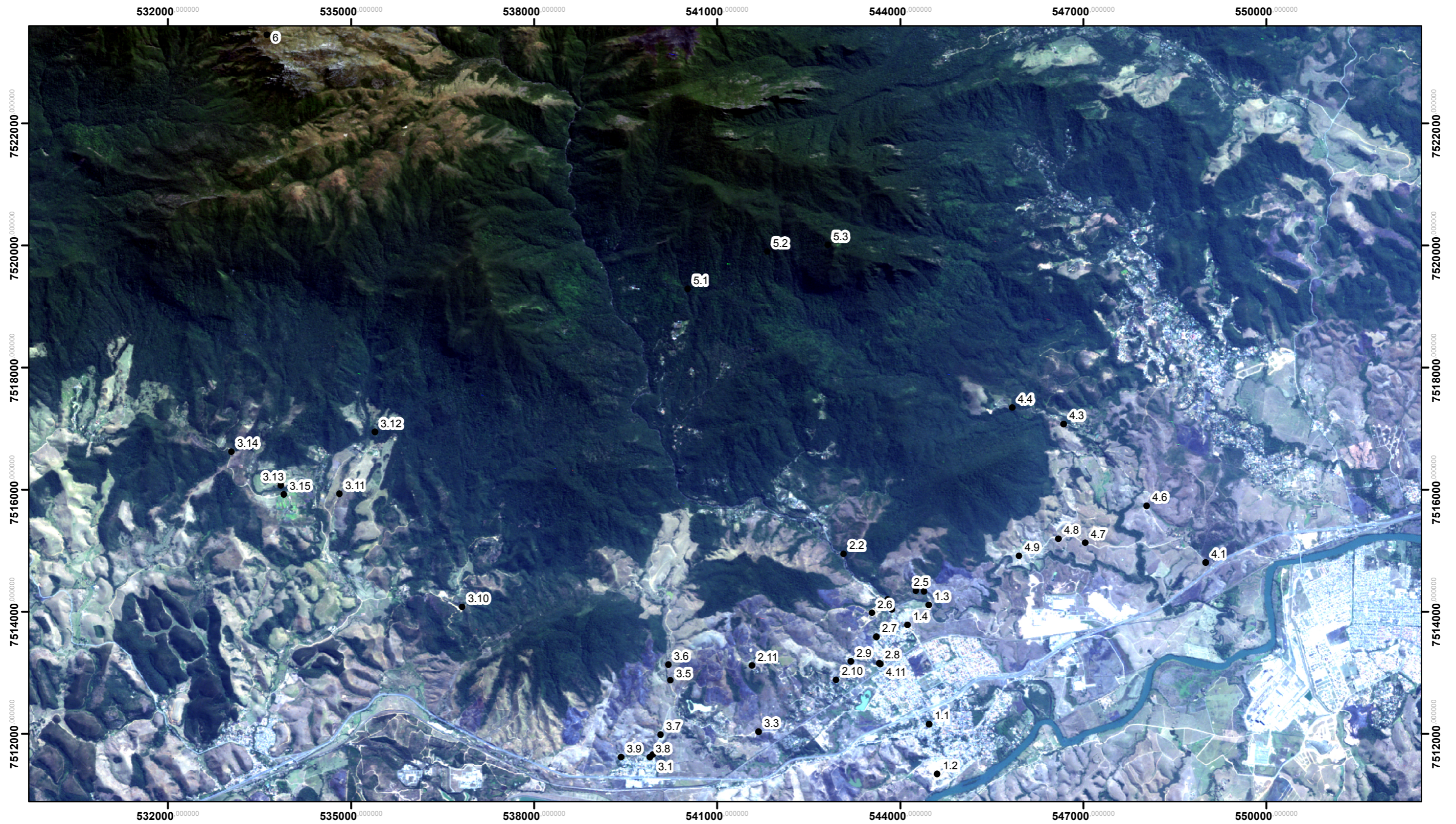
YALCIN, A.; BULUT, F. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardesen (NE – Turkey). **Natural Hazards**, v. 41 (1), p. 201-226, 2007.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: Fundamentos e guia para elaboração**. 1993. 368 p. Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras**. 1987. 673 p. Tese (Doutoramento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L.V.; AHRENDT, A. Triggering factors of landslides in Campos do Jordão City, Brazil. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 62, p. 231-244, 2003.

APÊNDICE A – MAPA DE PONTOS



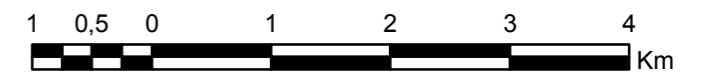
O presente mapa é parte integrante da dissertação de mestrado de Júlia Pera de Almeida sob a orientação da Profa. Dra. Noris Costa Diniz.

Programa de Pós - Graduação em Geociências Aplicadas
Instituto de Geociências

 **Universidade de Brasília**

Mapa de Pontos de Campo

Pontos visitados em campo plotados sobre composição RGB 543 de imagem obtida com o satélite ALOS em 04/10/2010.



Escala de Visualização 1:60.000
Projeção UTM - Zona 23 Sul
Datum WGS 1984

APÊNDICE B – TABELA DE PONTOS DE CAMPO

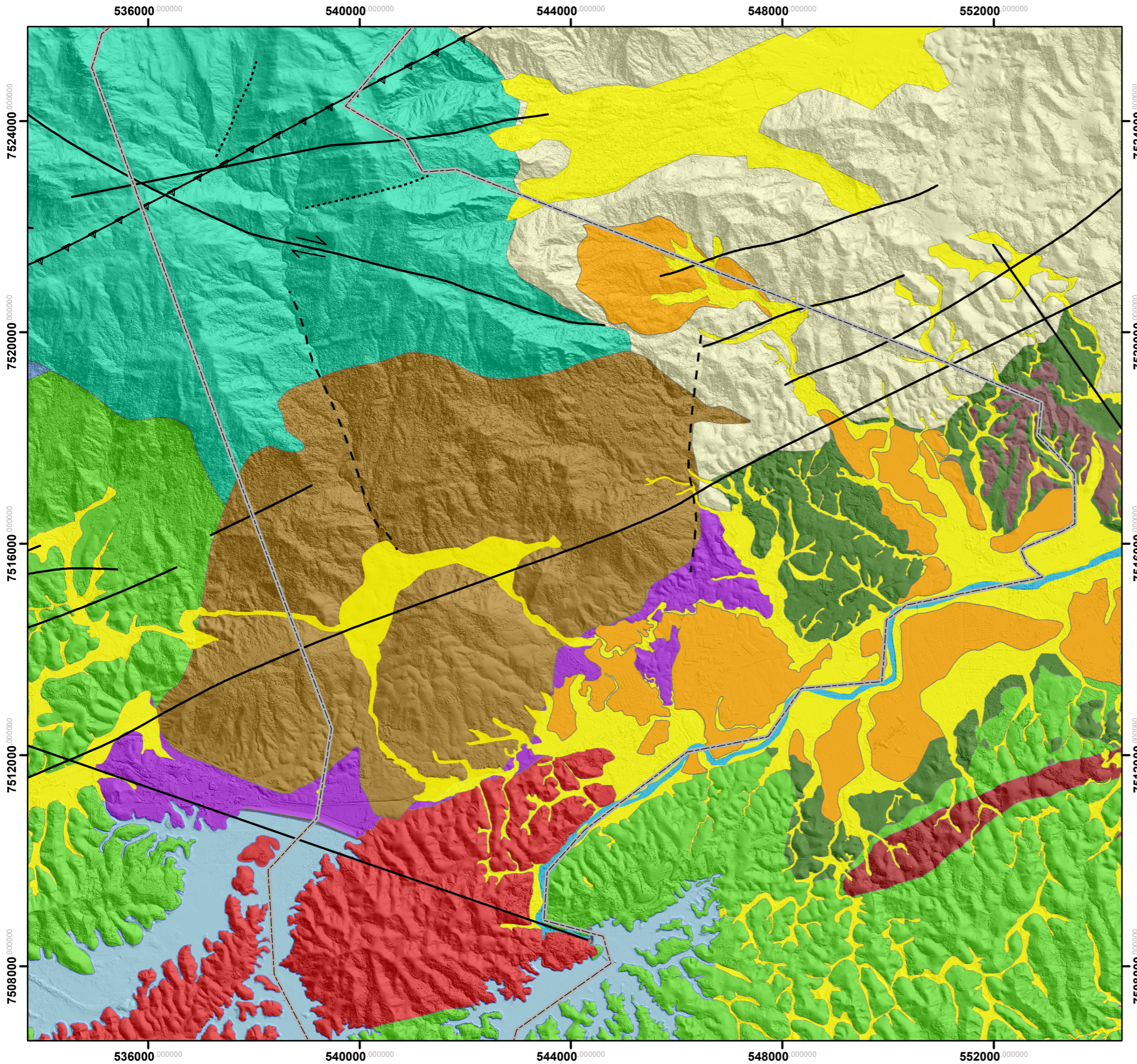
| Ponto | UTM N | UTM E | Comentário |
|--------------|--------------|--------------|---|
| 1.1 | 751215 | 054447 | Bairro residencial no centro de cidade de Itatiaia com casas populares em meia – encosta de morro, na Unidade de Terreno Mar de Morros. |
| 1.2 | 751133 | 054461 | Caixa de empréstimo na cidade de Itatiaia expondo regolitos do Granito Quebra Cangalha. Unidade de Terreno Mar de Morros. |
| 1.3 | 751410 | 054447 | Afloramento no Rio Campo Belo de conglomerados oligomíticos e arenitos arcoseanos do Mb. Itatiaia da Bacia de Resende. |
| 1.4 | 751377 | 054412 | Pequena saibreira em propriedade rural, expondo solos coluvionares. Unidade de Terreno Rampas e Morros de tálus. |
| 2.1 | 751419 | 054379 | Rio Campo Belo, com leito entulhado de blocos a matacões de sienito. Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. |
| 2.2 | 751494 | 054307 | Quintal de pousada com inúmeros matacões de sienito e densa vegetação arbórea em rampa da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus, na estrada que vai da cidade de Itatiaia ao parque nacional. |
| 2.3 | 751403 | 054386 | Trilha em meia-encosta de morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Ocorrência de surgências d'água no solo e árvores de pequeno porte com troncos inclinados. |
| 2.4 | 751433 | 054439 | Trilha em meia-encosta de morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Observação de erosões lineares (ravinas), solo ocre característico do tálus e exposição de blocos de sienito no solo exposto. |
| 2.5 | 751434 | 054426 | Trilha em meia-encosta de morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. Observação de erosões lineares (ravinas), solo ocre característico do tálus e exposição de blocos de sienito no solo exposto. |
| 2.6 | 751397 | 054353 | Casa em bairro construído em encostas e no topo de morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. A casa se localiza na encosta, quase no topo, e ao lado da mesma, na encosta, processos erosivos expõem solo ocre característico e inúmeros blocos de sienito em meio ao solo. |
| 2.7 | 751358 | 054361 | Em rua de bairro residencial em área plana no sopé de um morro na Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. |
| 2.8 | 751315 | 054366 | Talude de corte em meia encosta de morro, expondo regolito de rochas do Mb. Itatiaia recobertos por material inconsolidado do depósito de tálus |
| 2.9 | 751318 | 054319 | Em um bairro da cidade de Itatiaia, no topo de um morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. |

| | | | |
|------|--------|--------|--|
| 2.10 | 751288 | 054295 | Meia encosta de morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. |
| 2.11 | 751311 | 054157 | Topo de morro da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. |
| 3.1 | 751287 | 053994 | Em bairro afastado do centro, talude de corte de aproximadamente 5 m, expondo regolito de conglomerado oligomítico com matriz argilosa e clastos centimétricos de sienito alterados, bauxitizados. |
| 3.3 | 751312 | 054168 | Matacão de sienito com volume métrico, com sulcos, em pasto ao lado de estrada não pavimentada. |
| 3.5 | 751198 | 054023 | Em estrada de terra não pavimentada. No corte de estrada observam-se blocos decimétricos de sienitos bem preservados em meio à matriz argilo-arenosa de coloração ocre-alaranjada. |
| 3.6 | 751161 | 054020 | Na porteira fechada de uma fazenda, em um vale na Unidade de Terreno Rampas e Morros de tálus, no sopé de um morro. O território é destinado para a pastagem do gado, e em meio ao pasto na encosta podem ser observados muitos matacões de sienito. |
| 3.7 | 751161 | 054007 | Em estrada não pavimentada. Na encosta dos morros observam-se matacões de sienito. |
| 3.8 | 751407 | 053990 | Corte de estrada não pavimentada expondo regolitos de arenitos. |
| 3.9 | 751592 | 053942 | Em estrada não pavimentada em meia – encosta de colina da Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. |
| 3.10 | 751694 | 053682 | Em argileiro de fazenda, com exploração de argilas de depósitos coluvionares na encosta do Maciço do Itatiaia. |
| 3.11 | 751606 | 053481 | Perfil em corte de estrada não pavimentada. O material consiste de matriz argilo-arenosa de coloração ocre-alaranjada com blocos decimétricos de sienitos bem preservados. |
| 3.12 | 751661 | 053539 | Em estrada não pavimentada. |
| 3.13 | 751606 | 053385 | Em estrada não pavimentada. O material exposto nos cortes é o mesmo do ponto 3.11. |
| 3.14 | 751161 | 053304 | Em estrada não pavimentada, o relevo é movimentado com rampas e morros, e nos morros, em meio ao pasto, observam-se matacões de sienito. |
| 3.15 | 751591 | 751591 | Matacão de sienito com dezenas de metros de volume em rampa da Unidade de Terreno Rampas e Morros de tálus. |
| 4.1 | 751480 | 054900 | Em estrada pavimentada, em meio a área rural. O relevo adjacente é composto por colinas, e a vegetação original foi substituída por pastos. Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. |
| 4.3 | 751707 | 054668 | Em corte de estrada não pavimentada, expondo matriz do tálus da Unidade de Terreno Rampas e Morros de tálus, com blocos de sienito decimétricos preservados em meio a matriz. |
| 4.4 | 751734 | 054583 | Em porteira de fazenda. Atrás da porteira, matacões em |

| | | | |
|------|--------|--------|--|
| | | | meio ao pasto podem ser observados. |
| 4.6 | 751573 | 054804 | Em estrada não pavimentada em fazenda, em meio a colinas da Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. |
| 4.7 | 751512 | 054703 | Vista de rampa da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. |
| 4.8 | 751519 | 054659 | Em meia-encosta de colinas, como solo residual claro. Unidade de Terreno Colinas Sedimentares. |
| 4.9 | 751491 | 054595 | Em saibreira de fazenda, com exposição de material do depósito de tálus da Unidade de Terreno Rampas e Morros de Tálus. |
| 4.11 | 751314 | 054367 | Talude de corte em meia encosta de morro, expondo regolito de rochas do Mb. Itatiaia, recobertos por material inconsolidado do depósito de tálus |
| 5.1 | 751926 | 054060 | Em trilha para o cume dos Três Picos no Parque Nacional do Itatiaia. Vegetação densa de floresta tropical da Mata Atlântica. |
| 5.2 | 751986 | 054189 | Em trilha para o cume dos Três Picos no Parque Nacional do Itatiaia. Vegetação densa de floresta tropical da Mata Atlântica. |
| 5.3 | 751995 | 054289 | No cume dos Três Picos, a 1800 m de altitude, no Parque Nacional do Itatiaia. |
| 6 | 752343 | 053368 | No Planalto do Itatiaia, no topo do maciço homônimo. Relevo escarpado, com picos e cristas rochosos, campos de matacões, vegetação predominantemente gramínea de altitude. |

Observação: Sistema de coordenadas UTM, zona 23 S, *Datum* WGS 1984.

APÊNDICE C – MAPA GEOLÓGICO






Mapa Geológico

Mapa geológico da área de estudo, compilado de Salvador (1994), Ramos (2006) e CPRM (2009) e complementado no presente trabalho, representado sobre MDE gerado a partir de imagens ADS-80.




Unidades Geológicas

Quaternário

-  Sedimentos holocênicos - areias, argilas, cascalhos.
-  Sedimentos pleistocênicos - areias, argilas, cascalhos, blocos de rochas.
-  Tálus - blocos a matacões de sienito em matriz argilosa.

Paleógeno / Neógeno



Bacia de Resende

-  Formação Floriano - arenitos e lamitos.
-  Membro Itatiaia - conglomerados oligomíticos com clastos de sienito, arenitos arcoseanos.
-  Formação Resende - conglomerados, arenitos, lamitos.



Cretáceo Superior

-  Maciço Alcalino do Itatiaia - Nefelina sienitos e sienitos.







Neoproterozóico

-  Granito Quebra-Cangalha - Granada granito a duas micas, granulação grossa.
-  Complexo Granítico Taquaral - Hornblenda biotita granito e leucogranito.



Paleo / Mesoproterozóico

-  Complexo Embu - Biotita paragneisses e xistos localmente migmatíticos.
-  Unidade Andrelândia - Paragneisses finos bandados e biotita xistos.

Estruturas Geológicas

-  Escarpa de falha
-  Lineamento fotointerpretado
-  Falha indiscriminada
-  Falha de caráter predominante dextral
-  Fratura
-  Falha de caráter predominante sinistral

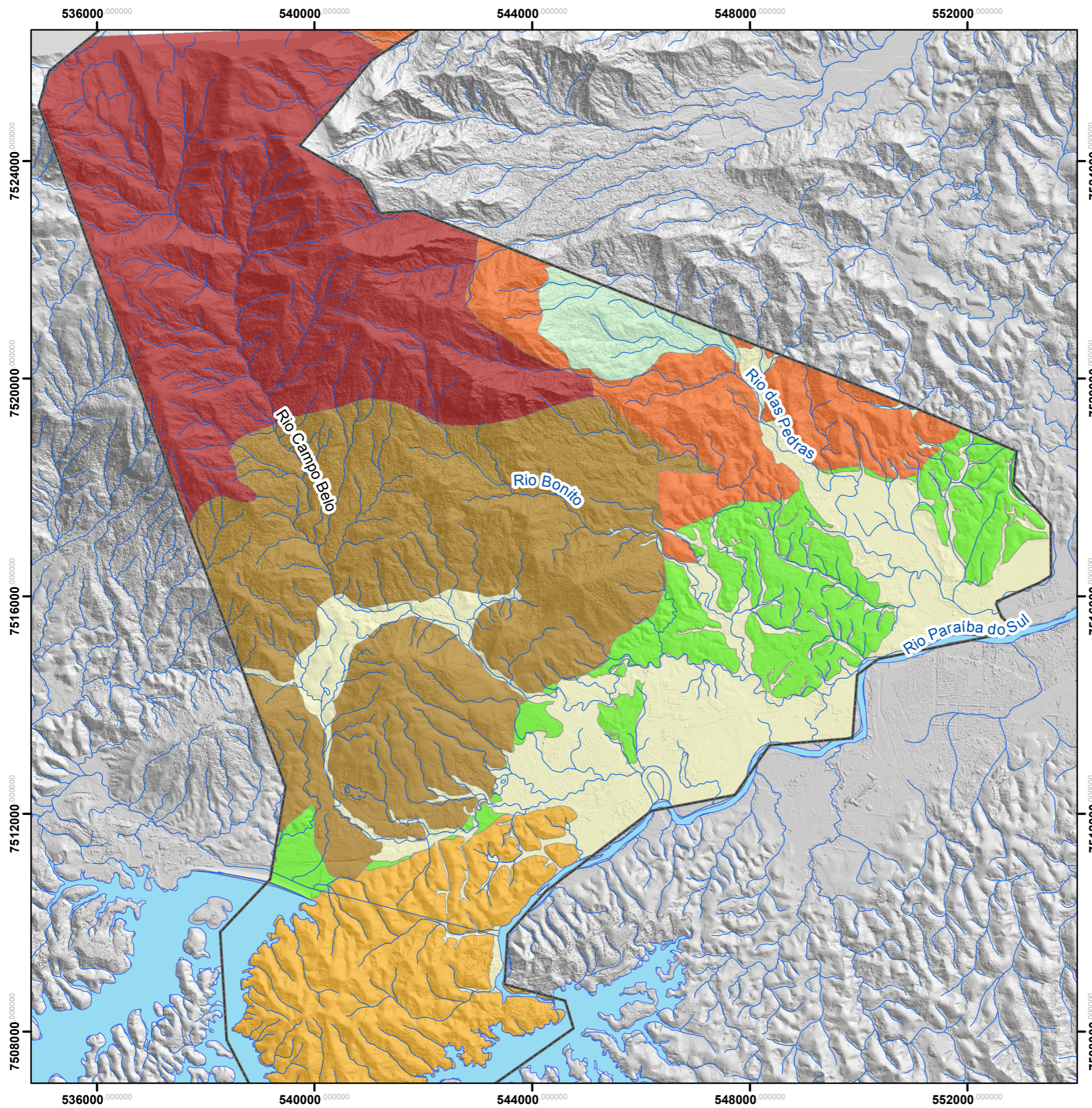
Convenções Cartográficas

-  Limite da área de estudo
-  Reservatório do Funil



Escala 1:25.000
 Projeção UTM - Zona 23 Sul
 Datum WGS 1984








APÊNDICE D – CARTA DE UNIDADES DE TERRENO






Carta de Unidades de Terreno

Carta de Unidades de Terreno da área de estudo representada sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE.

Unidades de Terreno

- 
Planície do Rio Paraíba do Sul - terraços antigos e atuais do Rio Paraíba do Sul e de seus afluentes mais expressivos, compostos por sedimentos colúvio - aluviais pleistocênicos e holocênicos. As declividades são baixas, sendo a média de 2%. As altitudes variam entre 380 e 750 m e as amplitudes variam em torno de 5 a 10 m,
- 
Colinas Sedimentares - colinas pequenas a médias com topos arredondados e encostas convexas. As altitudes variam de 390m a 560m e as amplitudes variam entre 20 e 50m. A declividade média é de 14,8% e os solos são lateríticos, com espessuras variáveis, predominando latossolos-vermelho amarelos.
- 
Rampas e Morros de Tálus - rampas e morros constituídos por depósitos de tálus, com matriz argilo-arenosa e blocos a matações de sienito. As altitudes variam de 400 m a 1350m. As declividades predominantes são médias, sendo a média de 17%, e as amplitudes variam entre 100 e 300 m.
- 
Rampa Coluvionar - extensa rampa coluvionar com altitudes entre 480m e 1460 e com declividade média de 22%.
- 
Mar de Morros - morros com encostas côncavo-convexas e topos arredondados. As altitudes variam de 390m a 750m e as declividades são médias a altas, sendo a média de 34,6%. As amplitudes variam em torno de 100 e 150m.
- 
Degraus Escalonados - serras com amplitudes em torno de 200 m, podendo alcançar 300m localmente. A altitude varia entre 410 e 1800m, as declividades são médias a altas, sendo a média de 31,7%.
- 
Escarpas e Topos Rochosos - relevo montanhoso e escarpado como topos rochosos desnivelados na forma de cristas e picos. As altitudes variam entre aproximadamente 900m e 2791m. As declividades são médias a altas, sendo a média de 33%. As amplitudes chegam a ultrapassar 400 m.

Convenções Cartográficas

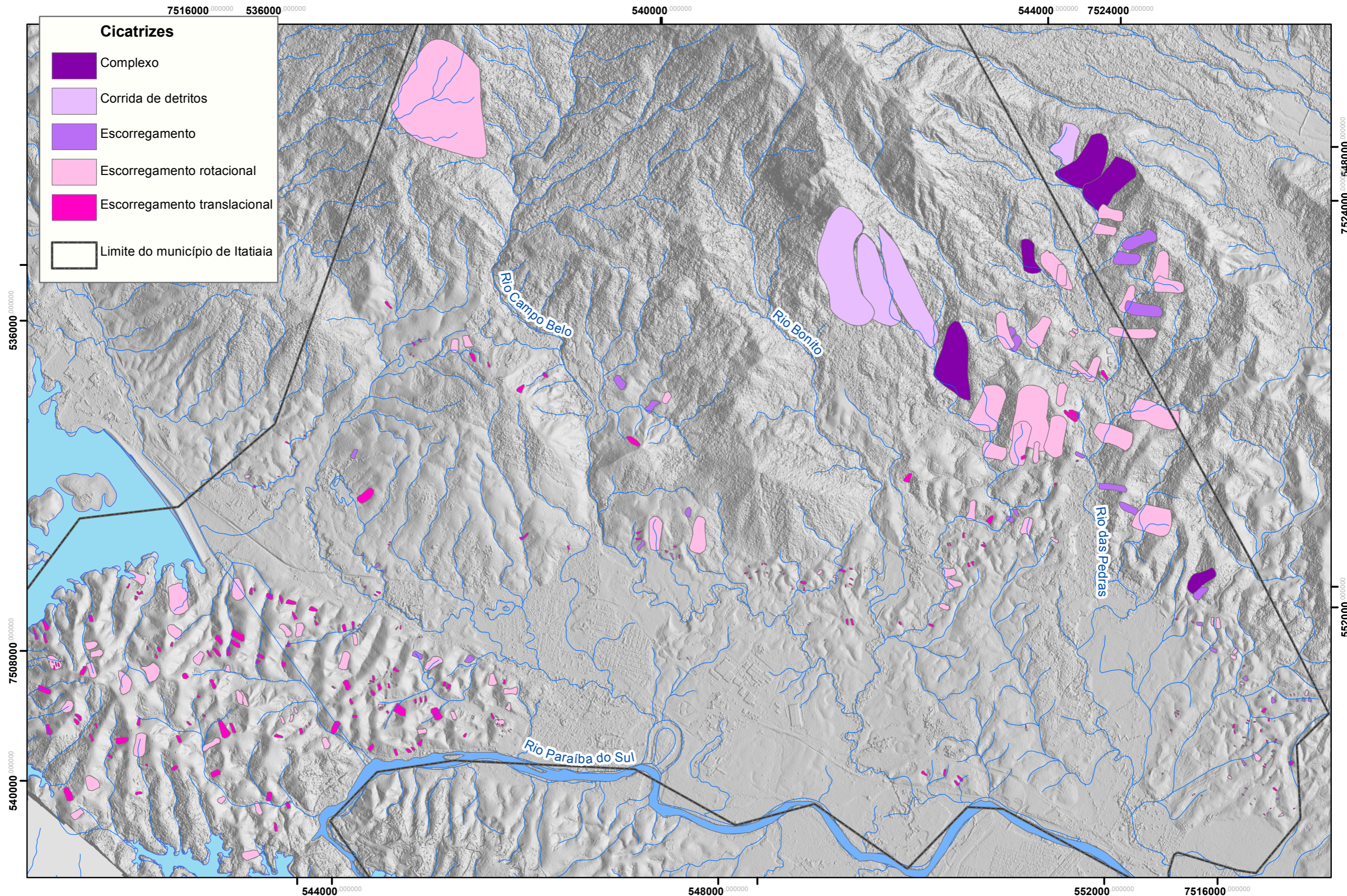
-  Limite da área de estudo
-  Reservatório do Funil e Rio Paraíba do Sul
-  Hidrografia



Escala 1:25.000
 Projeção UTM - Zona 23 Sul
 Datum WGS 1984

A presente carta é parte integrante da
 dissertação de mestrado de
Júlia Pera de Almeida
 sob a orientação da
Profa. Dra. Noris Costa Diniz.

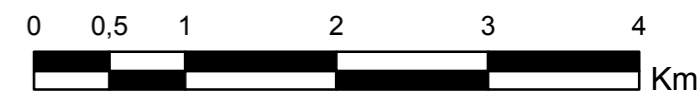
APÊNDICE E – MAPA DE INVENTÁRIO DE CICATRIZES CLASSIFICADAS POR TIPO DE MOVIMENTO



O presente mapa é parte integrante da dissertação de mestrado de Júlia Pera de Almeida sob a orientação da Profa. Dra. Noris Costa Diniz.

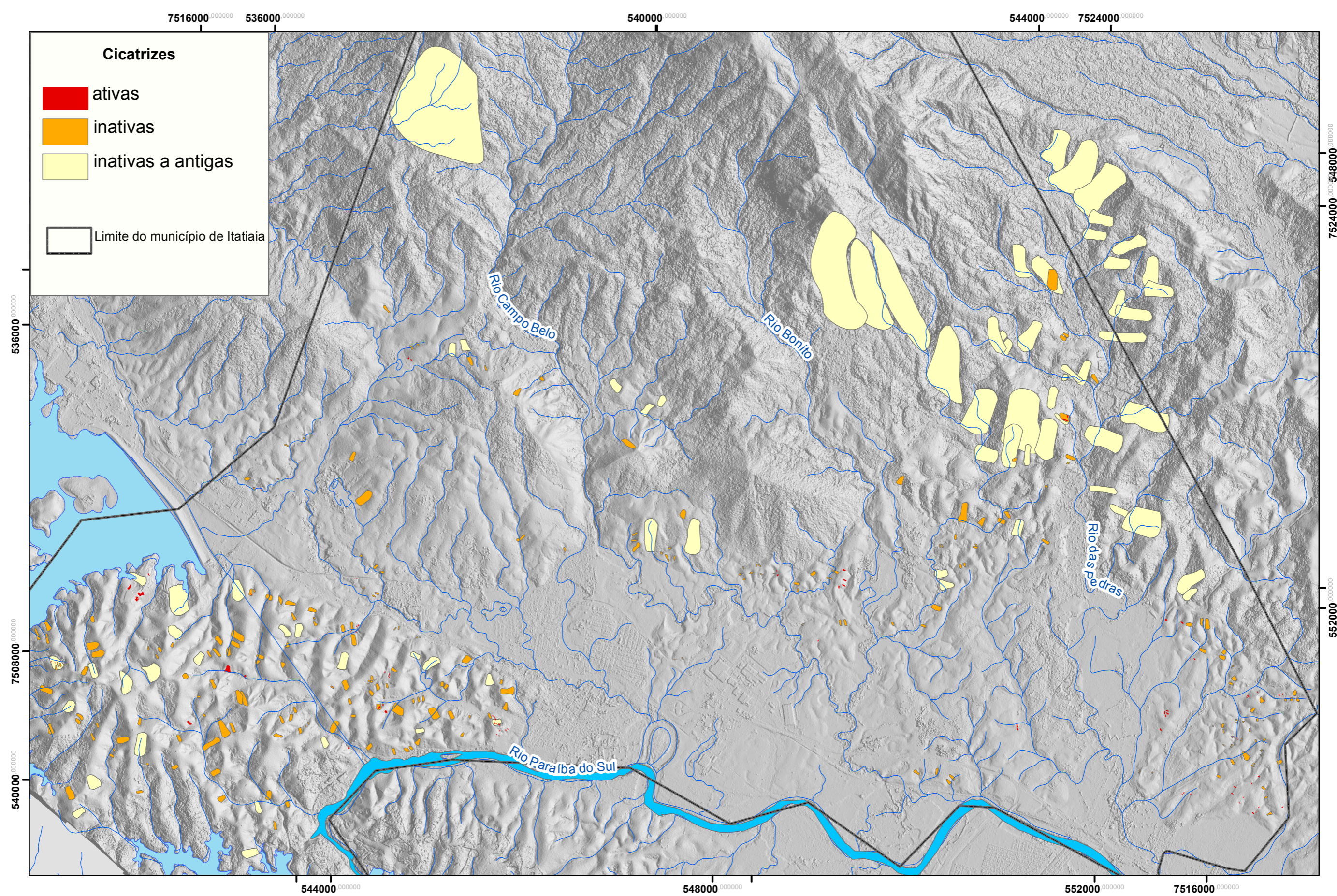
Universidade de Brasília
 Instituto de Geociências
 Programa de Pós - Graduação em Geociências Aplicadas

Mapa de Inventário de Cicatrizes Classificadas por Tipo de Movimento
 Mapa de inventário de cicatrizes representadas sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE.



Escala de Geração 1:2.000
 Projeção UTM - Zona 23 Sul
 Datum WGS 1984

**APÊNDICE F – MAPA DE INVENTÁRIO DE CICATRIZES CLASSIFICADAS POR
IDADE/ATIVIDADE**



O presente mapa é parte integrante da dissertação de mestrado de Júlia Pera de Almeida sob a orientação da Profa. Dra. Noris Costa Diniz.

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

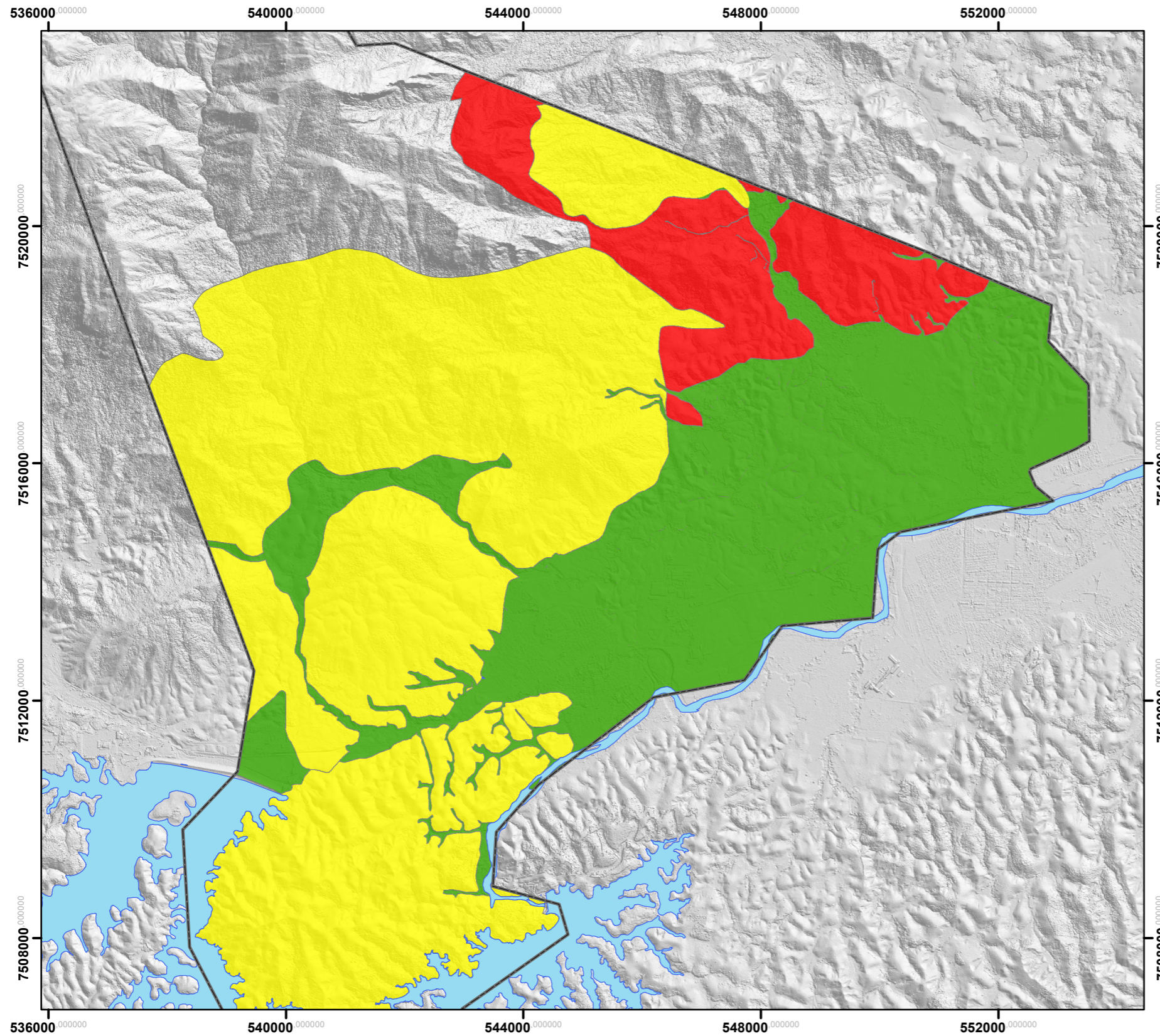
Mapa de Inventário de Cicatrizes Classificadas por Atividade

Mapa de inventário de cicatrizes representadas sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE.



Escala de Geração 1:2.000
 Projeção UTM - Zona 23 Sul
 Datum WGS 1984

**APÊNDICE G – CARTA DE SUSCETIBILIDADE RELATIVA DE MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA**



Carta de Suscetibilidade de Movimentos Gravitacionais de Massa

Carta de suscetibilidade relativa a movimentos gravitacionais de massa representada sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE

Classes de Suscetibilidade

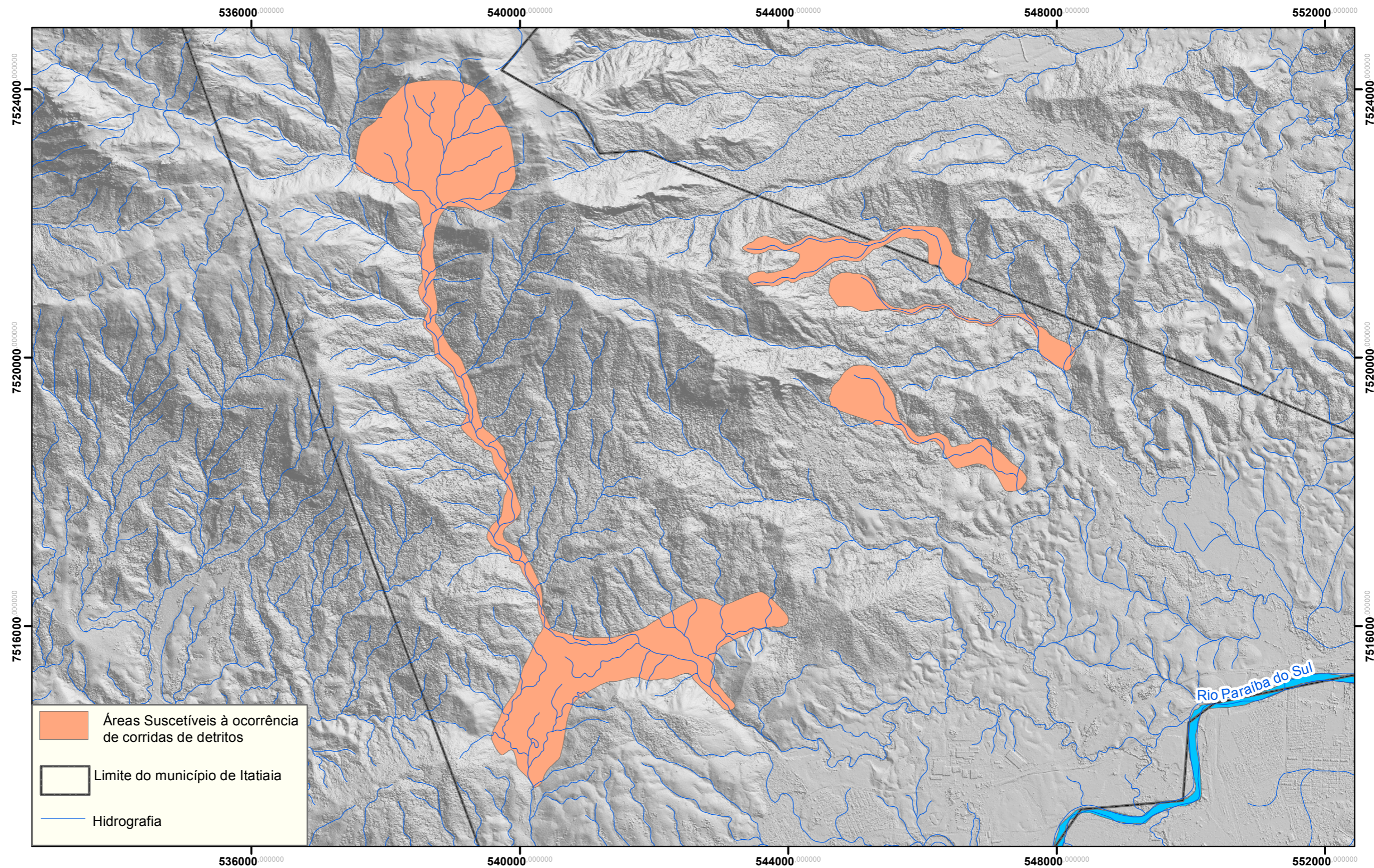
- Suscetibilidade alta de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa
- Suscetibilidade moderada de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa
- Suscetibilidade baixa de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa

Convenções Cartográficas

- Limite da área de estudo
- Reservatório do Funil e Rio Paraíba do Sul



APÊNDICE H – CARTA DE SUSCETIBILIDADE DE CORRIDAS DE DETRITO DE GRANDE PORTE



O presente mapa é parte integrante da dissertação de mestrado de Júlia Pera de Almeida sob a orientação da Profa. Dra. Noris Costa Diniz.

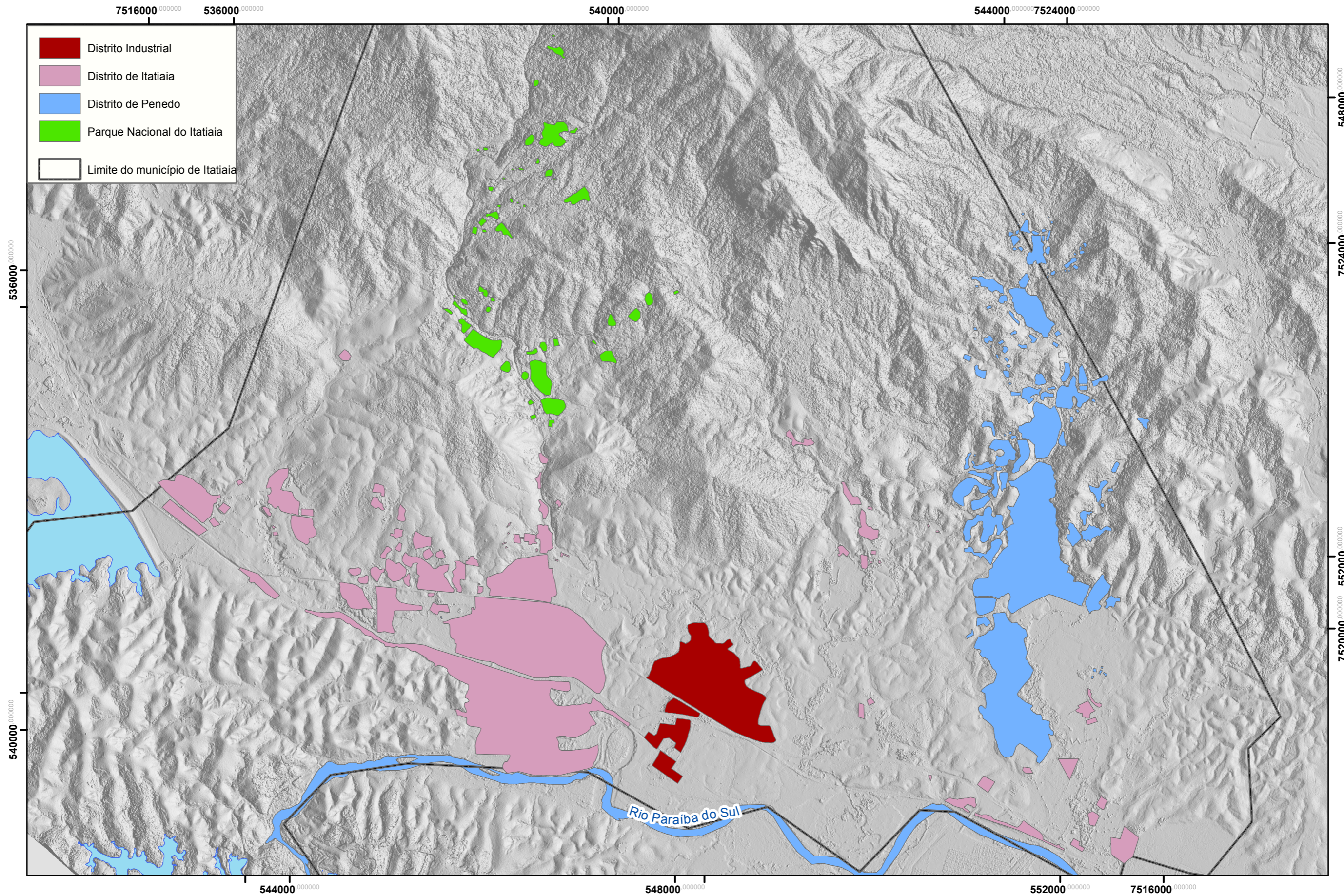
 **Universidade de Brasília**
 Instituto de Geociências
 Programa de Pós - Graduação em Geociências Aplicadas

Carta de Suscetibilidade de Corridas de Detritos
 Áreas suscetíveis à ocorrência de corridas de detritos representadas sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE.



Escala de Geração 1:2.000
 Projeção UTM - Zona 23 Sul
 Datum WGS 1984

APÊNDICE I – MAPA DE OCUPAÇÃO CONSOLIDADA



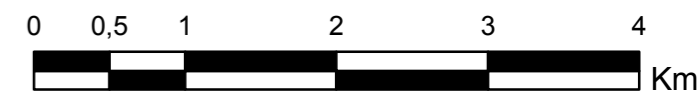
- Distrito Industrial
- Distrito de Itatiaia
- Distrito de Penedo
- Parque Nacional do Itatiaia
- Limite do município de Itatiaia

O presente mapa é parte integrante da dissertação de mestrado de Júlia Pera de Almeida sob a orientação da Profa. Dra. Noris Costa Diniz.

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

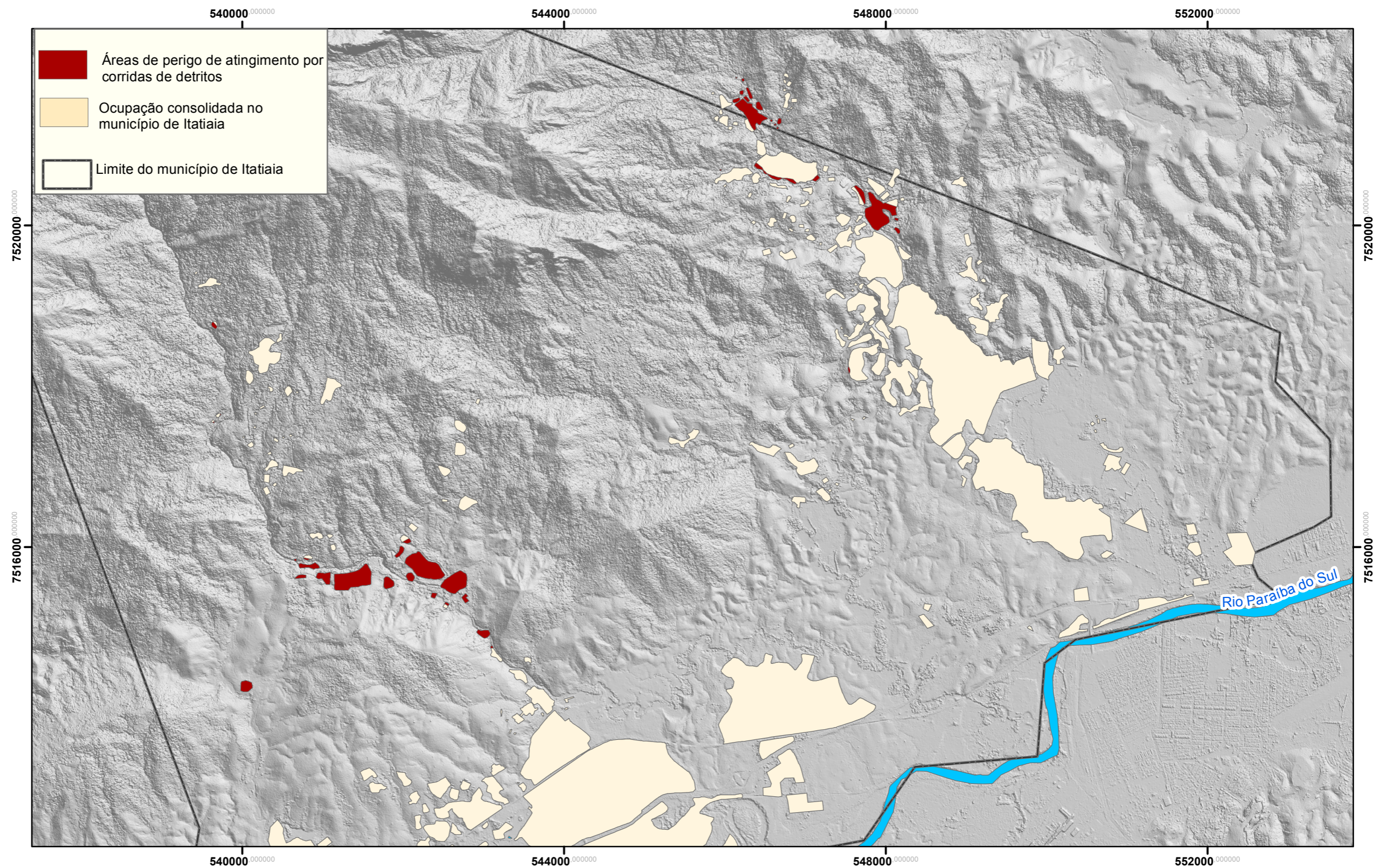
Mapa de Ocupação Consolidada

Mapa da ocupação consolidada para o município de Itatiaia representado sobre imagem de relevo sobreado gerada a partir do MDE.



Escala de Geração 1:2.000
 Projeção UTM - Zona 23 Sul
 Datum WGS 1984

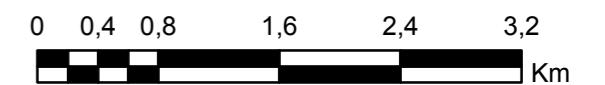
APÊNDICE J – CARTA DE PERIGO DE CORRIDAS DE DETRITO DE GRANDE PORTE



A presente carta é parte integrante da dissertação de mestrado de Júlia Pera de Almeida sob a orientação da Profa. Dra. Noris Costa Diniz.

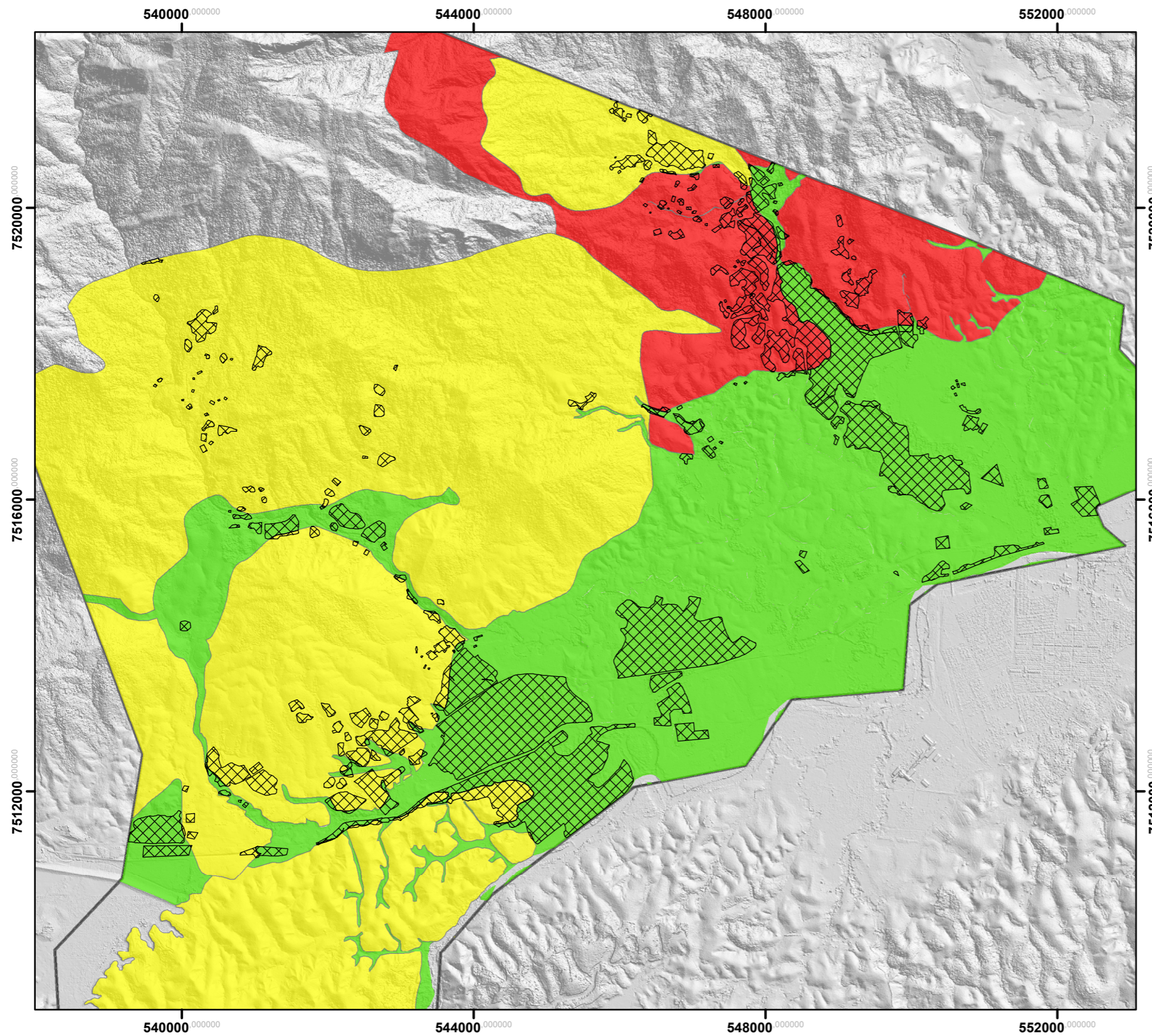

Universidade de Brasília
 Instituto de Geociências
 Programa de Pós - Graduação em Geociências Aplicadas

Carta de Perigo de Corridas de Detritos
 Áreas com perigo de atingimento por corridas de detritos representadas sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE.



Escala de Geração 1:2.000
 Projeção UTM - Zona 23 Sul
 Datum WGS 1984

APÊNDICE K – CARTA DE SUCETIBILIDADE COM OCUPAÇÃO CONSOLIDADA



Carta de Suscetibilidade de Movimentos Gravitacionais de Massa com Ocupação Consolidada

Carta de suscetibilidade relativa a movimentos gravitacionais de massa representada sobre imagem de relevo sombreado gerada a partir do MDE

Classes de Suscetibilidade

- Suscetibilidade alta de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa
- Suscetibilidade moderada de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa
- Suscetibilidade baixa de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa

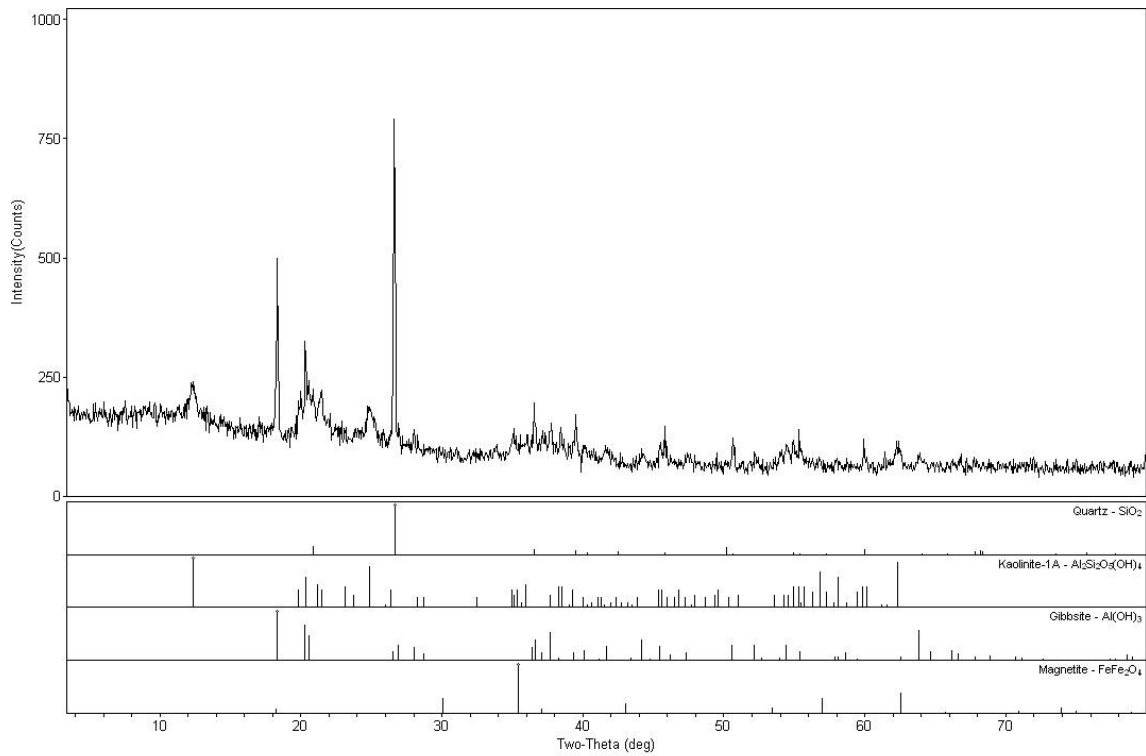
Convenções Cartográficas

- Limite da área de estudo
- Reservatório do Funil e Rio Paraíba do Sul
- Ocupação Consolidada

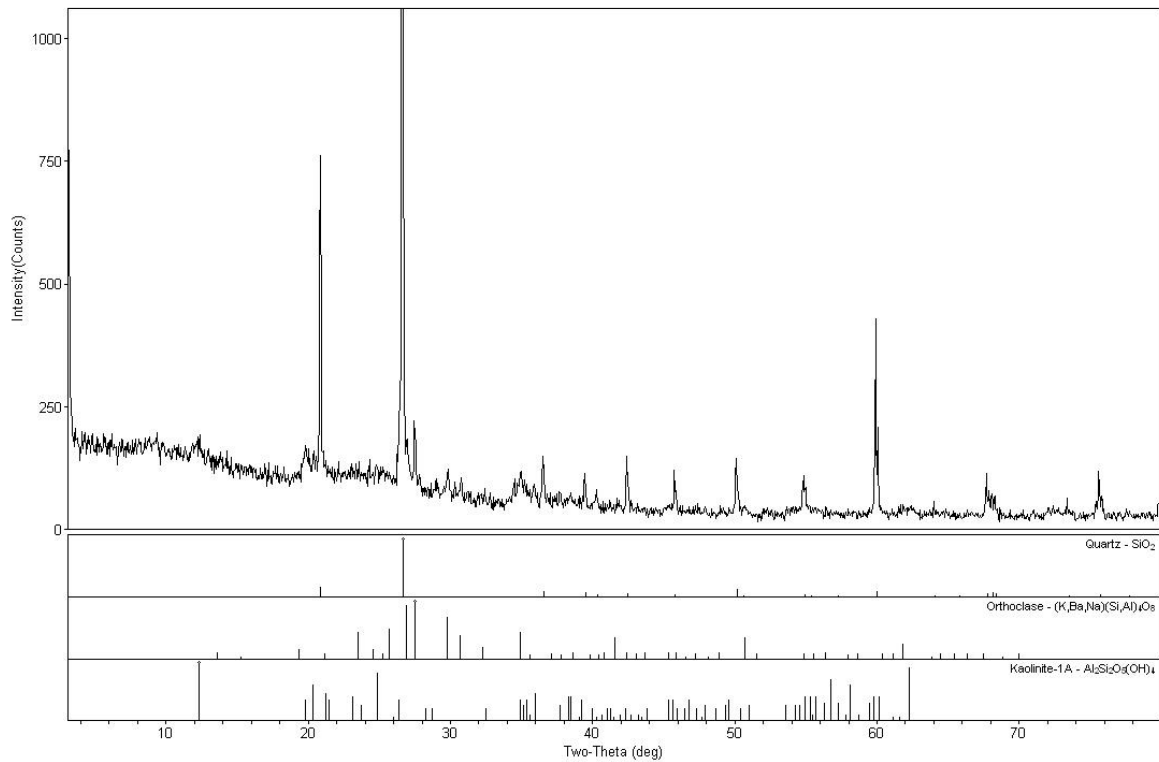


APÊNDICE L – DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X

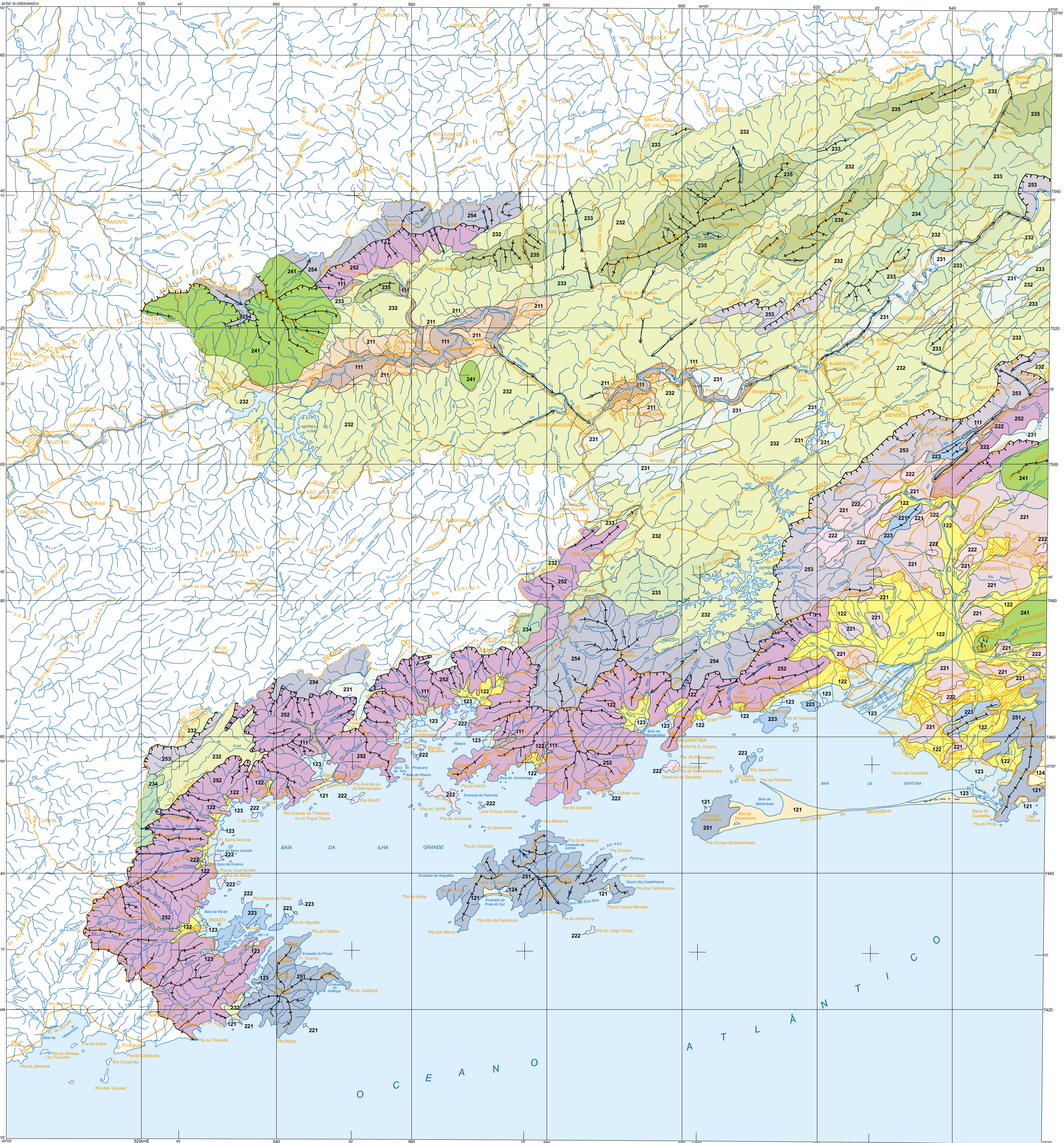
4-3



4-8



ANEXO – MAPA GEOMORFOLÓGICO – PROJETO RIO DE JANEIRO



SISTEMAS DE RELEVO
RELEVOS DE AGRADAÇÃO

- CONTINENTAIS**
111 Planícies Aluviais (Planícies de Inundação, Terraços Fluviais e Leques Alúvio-Cólicas)
Superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos canais-tronco.
- LITORÂNEOS**
121 Planícies Costeiras (Terrenos Arenosos de Terraços Marinhos, Cordeões Arenosos e Campos de Dunas)
Superfícies subhorizontais, com microrelevo ondulado de amplitudes topográficas inferiores a 20m, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados com padrão de drenagem paralelo, acompanhando as depressões interestaduais.
- 122 Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas (Terrenos Argilo-Arenosos das Baixadas)
Superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais (processos fluviais e de encosta) e Marinhos. Terrenos mal drenados com padrão de canais meandrante e divergente. Presença de superfícies de isolamento e perigosas ajustadas ao nível-base das Baixadas.
- 123 Planícies Flúvio-Marinhas (Terrenos Argilosos Orgânicos de Fundo de Baías ou Enseadas, ou Deltas dominados por Mar)
Superfícies planas, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais e Marinhos. Terrenos muito mal drenados com padrão de canais bastante meandrantes e divergentes, sob influência de refluxo de mares.
- 124 Planícies Flúvio-Lagunares (Terrenos Argilosos Orgânicos de Paleolagunas Costeiras)
Superfícies planas, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais e Lagunares. Terrenos muito mal drenados com lençol freático subsuperficial.

- RELEVOS DE DEGRADAÇÃO**
RELEVOS DE DEGRADAÇÃO SOBRE DEPÓSITOS SEDIMENTARES
- 211 Tabuleiros
Formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de gradientes extremamente suaves ou colinas tabulares, com topos planos e alinhados e vertentes retilhadas nos vales encaixados em "forma de U", resultantes da dissecação fluvial recente. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 50m e gradientes muito suaves, com sedimentação de colúvios e alúvios.

- RELEVOS DE DEGRADAÇÃO ENTREMEDIADOS NA BAIXADA**
- 221 Colinas Isoladas
Formas de relevo residuais, com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do alongamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. Estas também classificadas ilhas oceânicas. Densidade de drenagem muito baixa com padrão de drenagem dendrítico e drenagem imperfeita nos fundos de vales alongados. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100m e gradientes suaves.

- 222 Morrotes e Morros Baixos Isolados
Formas de relevo residuais, com vertentes convexas a retilhadas e topos aguçados ou arredondados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do alongamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. Estas também classificadas ilhas oceânicas. Densidade de drenagem muito baixa com padrão de drenagem dendrítico e drenagem imperfeita nos fundos de vales alongados. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100m e gradientes suaves.
- 223 Alinhamentos Serranos Isolados e "Pés-de-Açúcar"
Formas de relevo residuais, com vertentes retilhadas a côncavas e escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha. Predomínio de drenagem média a baixa com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 200m e gradientes médios a elevados.

- RELEVOS DE DEGRADAÇÃO EM PLANALTOS DISSECADOS OU SUPERFÍCIES APLAINADAS**
- 231 Domínio Suave Colinoso
Relevo de colinas muito pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com expressiva sedimentação de colúvios e alúvios. Ocorrência subordinada de morrotes alinhados. Densidade de drenagem baixa a média com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 50m e gradientes muito suaves.

- 232 Domínio Colinoso (zona típica do domínio de "mar de morros")
Relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Ocorrência subordinada de morrotes baixos. Densidade de drenagem média a alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100m e gradientes suaves a médios.

- 233 Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos
Relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexas e topos arredondados e/ou alongados e de morrotes e morros dissecados, com vertentes retilhadas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Densidade de drenagem média a alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas entre 100 e 200m e gradientes suaves a médios.

- 234 Domínio de Morros Elevados (com ocorrência de "Pés-de-Açúcar")
Relevo de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados ou aguçados, com sedimentação de colúvios, alúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus. Presença de "monadnocks". Ocorrência de compartimentos colinosos em seções alveolares nos vales principais. Densidade de drenagem média a alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas entre 200 e 400m e gradientes médios, com presença de formas residuais proeminentes e gradientes elevados.

- 235 Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais
Relevo de patamares litoestruturais, com vertentes predominantemente retilhadas a côncavas e escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus. Ocorrência de compartimentos colinosos em seções alveolares nos vales principais. Densidade de drenagem alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 300 e 700m e gradientes médios a elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.

- RELEVOS DE DEGRADAÇÃO SUSTENTADOS POR LITOLÓGICAS ESPECÍFICAS**
- 241 Maciços Intrusivos Alcalinos
Relevos típicos sustentados por Maciços Alcalinos, com vertentes predominantemente retilhadas a côncavas, escarpadas, com topos arredondados, por vezes, preservando uma borda circular (cratera vulcânica erodida). Densidade de drenagem alta com padrão de drenagem radial ou anelar. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes elevados a muito elevados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus e solos rasos.

- RELEVOS DE DEGRADAÇÃO EM ÁREAS MONTANHOSAS**
- 251 Maciços Costeiros e Interiores
Relevo montanhoso, extremamente acidentado, localizado em meio ao domínio das baixadas e planícies costeiras, ou em meio ao domínio colinoso, no caso dos maciços interiores. Vertentes predominantemente retilhadas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Densidade de drenagem alta a muito alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.

- 252 Escarpas Serranas
Relevo montanhoso, extremamente acidentado, transicional entre dois sistemas de relevo. Vertentes predominantemente retilhadas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Densidade de drenagem muito alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.

- 253 Escarpas Serranas Degradadas e Degraus em Borda de Planaltos
Relevo montanhoso, muito acidentado, transicional entre dois sistemas de relevo. Constituem-se em escarpas bastante dissecadas por erosão fluvial e/ou ablativo tectônico. Vertentes predominantemente retilhadas a côncavas, com feições escarpadas, recuadas e suavizadas com topos arredondados. Densidade de drenagem alta a muito alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.

- 254 Domínio Montanhoso
Relevo montanhoso, muito acidentado, localizado, em geral, no reverso da escarpa da serra do Mar. Vertentes predominantemente retilhadas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Ocorrência de compartimentos colinosos e/ou de morros, em seções alveolares nos vales principais. Ocorrência pontual de relevo suave ondulado, com elevações locais, localizado nos planaltos elevados das serras do Mar e da Mantiqueira. Densidade de drenagem alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a trelça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 400m e gradientes elevados a muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.

- FEIÇÕES DE RELEVO SUBORDINADAS**
- Limite Superior das Escarpas Serranas e Degraus Estruturais.
 - Cristas Indiferenciadas e principais interflúvios.
 - Estruturas Dômicas ou Anelares.
 - Vales Estruturais principais, controlados por Linhas de Falha ou Fratura.

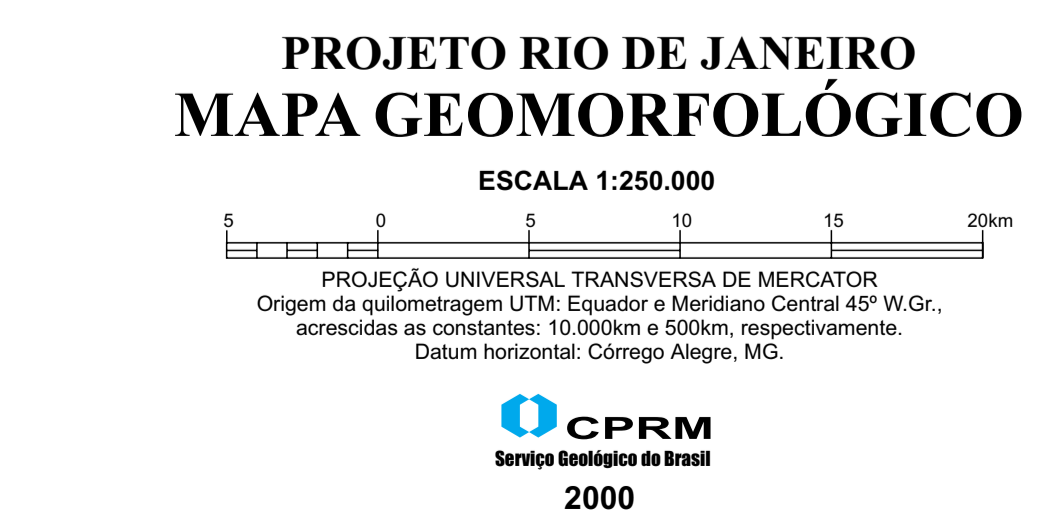
- LIMITE CONVENCIONAL**
- Delimitação dos Sistemas de Relevo

- LEGENDA**
- CIDADE
 - Estrada pavimentada
 - Estrada não pavimentada, tráfego permanente
 - Estrada de ferro
 - Limite intermunicipal
 - Curso de água
 - Lagoas, lago

UNIDADES MORFOESCULTURAIS E GEOMORFOLÓGICAS



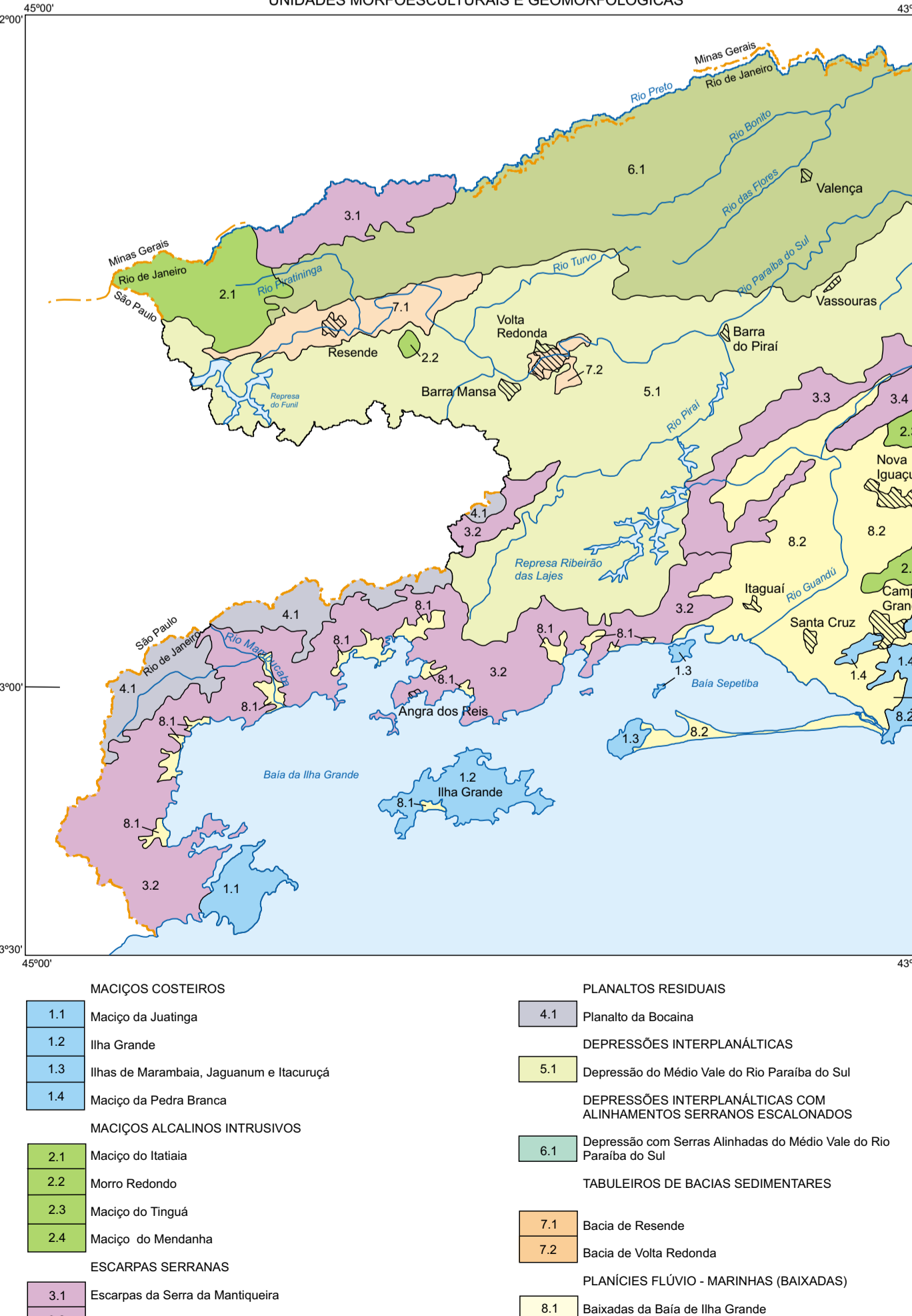
Base planimétrica digitalizada pela CONAGE - Consultoria Técnica Ltda., a partir das folhas SF-23-X-C Volta Redonda e SF-23-Z-C Ilha Grande, IBGE, 1a ed., 1976.
Compilação e orientação no DEGET: Marcelo Eduardo Dantas e Carlos Eduardo Osório Ferreira.
Digitalização do tema e restauração cartográfica sob a responsabilidade da Divisão de Cartografia - DICART (Departamento de Apoio Técnico-DEPAT) (Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento - DRI).
Diretor do DRI: Paulo Antônio Carneiro Dias.
Chefe do DEPAT: Gluséppina Gaiquinto de Araújo.
Chefe da DICART: Paulo Roberto Macedo Bastos.
Edição Cartográfica: Wilheim Peter de Friese Bernard e Maria José Cabral Cezar.
Supervisão da digitalização: Marilene Santos Salinas do Rosário.
Digitalização: Ivan Soares dos Santos, João Carlos de Souza Albuquerque, Carla Cristina Martins da Conceição e Elcio Rosa de Lima.



ARTICULAÇÃO DA FOLHA

| | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| VARGINHA SF-23-V-D | BARBACENA SF-23-X-C | JUZZ DE FORA SF-23-X-D |
| GUARATINGUETÁ SF-23-Y-B | VOLTA REDONDA SF-23-Z-A | RIO DE JANEIRO SF-23-Z-B |
| SANTOS SF-23-V-D | ILHA GRANDE SF-23-Z-C | |

Autor: Marcelo Eduardo Dantas (Geógrafo)
Colaboradores: Carlos Eduardo Osório Ferreira (Geólogo), Antônio Ivô de Menezes Medina (Geólogo), Regina Célia Gomes Armata (Geógrafa), Pedro de Paulo Osório Ferreira (Estatístico de Geografia), Adriana Gomes do Nascimento (Estatística de Geografia), Carla Verônica Pereira da Silva (Estatística de Geografia).
Coordenador: Cássio Roberto da Silva
O Projeto Rio de Janeiro é executado pelo CPRM-Serviço Geológico do Brasil, no âmbito do Programa Informações para Gestão Territorial-GATE, sob a coordenação do Departamento de Gestão Territorial-GEGET.
Para o Projeto Rio de Janeiro foram firmados convênios entre a CPRM e órgãos da Secretaria de Planejamento e de Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro, a saber: CIDE (Centro de Informações e Dados do Estado do Rio de Janeiro), DRM (Departamento de Recursos Minerais), SERLA (Secretaria Estadual de Rios e Lagos) e EMOP (Empresa de Obras Públicas).
Diretor da DHT: Thales de Queiroz Sampaio.
Chefe do DEGET: Cássio Roberto da Silva



- 1.1 Maciço de Juatunga
- 1.2 Ilha Grande
- 1.3 Ilhas de Marambaia, Jaguamem e Itacucaçu
- 1.4 Maciço da Pedra Branca
- 2.1 Maciço de Itatiaia
- 2.2 Morro Redondo
- 2.3 Maciço do Tinguá
- 2.4 Maciço do Mendanha
- 3.1 Escarpas da Serra da Mantiqueira
- 3.2 Escarpas das Serras da Bocaina, Maragabá e Mazomba
- 3.3 Escarpas das Serras das Araras e Paracambi
- 3.4 Escarpas das Serras do Couto e dos Órgãos
- 4.1 Planalto de Bocaina
- 5.1 Depressão do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul
- 6.1 Depressão com Serras Alinhadas do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul
- 7.1 Bacia de Resende
- 7.2 Bacia de Volta Redonda
- 8.1 Baixadas da Baía de Ilha Grande
- 8.2 Baixada da Baía de Sepetiba
- 8.3 Baixada de Jacarepaguá