

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A
PROCESSOS DE DINÂMICA SUPERFICIAL EM UM
TRECHO DA SERRA DE CUBATÃO, SP**

João Paulo Roncolatto Olivito

Orientador: Lindolfo Soares
Co-orientador: Fábio Soares Magalhães

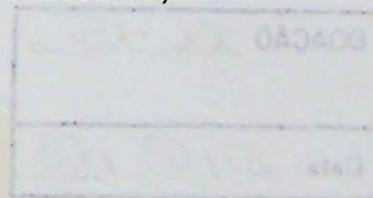


MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA (TF/2002-19)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900011613



SÃO PAULO
2002

049
JPR.C

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
SERVIÇO DE BIBLIOTECA

TF
049
JPR.C

18050

Autor: OLIVITO, J.P.R.
Título: Caracterização da suscep~~t~~ibilidade ...

DOAÇÃO IGC - USP
Data: 20/03/08

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meu eterno agradecimento a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que este trabalho de formatura fosse feito.

Agradeço a meus amigos e irmãos que estiveram no mesmo barco durante os últimos cinco anos, estudando juntos e aprendendo uns com os outros.

Agradeço a todos os professores do Instituto de Geociências que foram responsáveis pela minha formação acadêmica.

Meu agradecimento às pessoas que trabalharam comigo no Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo, e que me auxiliaram tecnicamente e me incentivaram. Agradeço ao apoio financeiro dado por este instituto para elaboração da minha monografia.

Quero agradecer principalmente ao Prof. Dr. Lindolfo Soares e ao Dr. Fábio S. Magalhães, ambos orientadores deste trabalho.

Sou plenamente grato a minha família que sempre me apoiou em todas as situações.

Agradeço às pessoas que convivem comigo e me ajudaram passando uma energia de vida.

Sou sempre grato a Deus por tudo.

ÍNDICE

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO	1
2. RESUMO	1
3. ABSTRACT	2
4. INTRODUÇÃO	3
5. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	4
6. OBJETIVOS	5
7. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	5
7.1. GEOLOGIA REGIONAL	5
7.2. GEOLOGIA DA ÁREA	7
7.3. GEOMORFOLOGIA DA ÁREA	9
7.4. PERFIL DE ALTERAÇÃO	11
7.5. PRINCIPAIS TIPOS DE INSTABILIZAÇÕES NA SERRA DO MAR	12
8. MATERIAIS E MÉTODOS	15
9. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	17
9.1. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	17
9.2. ANÁLISE DE FOTOLINEAMENTO	28
9.3. ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS	28
9.3.1. ELABORAÇÃO DAS CARTAS TEMÁTICAS	29
9.3.2. ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS	30
9.3.3. DETERMINAÇÃO DOS GRAUS DE SUSCETIBILIDADE DAS CLASSES RESULTANTES	34
9.3.4. CARTA DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS	35
9.4. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À CORRIDA DE MASSAS	36
10. CONCLUSÕES	42
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

O presente trabalho insere-se na disciplina interdepartamental 044-500 – Trabalho de Formatura, e corresponde ao relatório final do projeto nº19 do aluno João Paulo Roncolatto Olivito, cujo título é “Caracterização da suscetibilidade a processos de dinâmica superficial em um trecho da Serra de Cubatão”. O trabalho tem como orientador e co-orientador, respectivamente, o Prof. Lindolfo Soares da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, e o geólogo Fábio S. Magalhães da Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Agrupamento de Geologia Aplicada a Obras.

2. RESUMO

A utilização de métodos quantitativos de análise (avaliação) de risco geológico com auxílio do SIG (Sistema de Informação Geográfica) é uma tendência atual da cartografia geotécnica. Neste trabalho foram identificadas e quantificadas áreas com diferentes graus de suscetibilidade à processos de escorregamentos e corridas de massa nas encostas da Serra de Cubatão, importante região que interliga o pólo econômico-industrial de São Paulo ao Porto de Santos.

Na carta de suscetibilidade a escorregamentos foi empregada metodologia que utiliza as cicatrizes de escorregamentos para quantificar a suscetibilidade das classes resultantes do cruzamento das cartas temáticas (cartas com as características do meio físico que condicionam este tipo de instabilização). Foram determinadas quatro classes de grau de suscetibilidade: baixo, médio, alto e muito alto. Áreas com grau de suscetibilidade muito alto são cerca de 15 a 30 vezes mais susceptíveis que as áreas de baixo grau. Para a análise de suscetibilidade à corrida de massas foi empregada metodologia proposta por Kanji (2001) e Gramani (2001), na qual são atribuídos pesos e notas a fatores como pluviosidade, declividade da encosta, inclinação do canal de drenagem, área da bacia, altura da encosta, relação entre a vegetação e a ocupação do terreno e aspectos geológicos. A somatória destas notas ponderadas pelos respectivos pesos fornece uma estimativa do grau de suscetibilidade da bacia. Verificou-se que as bacias apresentam moderada a alta suscetibilidade à corrida de massas.

Os resultados obtidos neste trabalho servem como subsídio para o planejamento e gerenciamento da ação humana nesta região, visando a prevenção de acidentes geológicos.

3. ABSTRACT

The utilization of quantitative method for analysis (valuation) of geology hazard using the GIS (Geographic Information System) is a geotechnical cartographic actual tendency. In this paper was identified and quantified areas with distinct susceptibility of landslides and debris flows process in the slope of Serra de Cubatão, important region that interconnect the São Paulo economic-industrial center with the Santos port.

In the map of landslides susceptibility was utilized the landslides scars to quantify the susceptibility of the classes resulting by the thematic maps crossing (thematic maps = maps with characteristics of the physical environment that stipulate this kind of instability). Four susceptibility classes was determined: low, moderate, high and very high. Very high susceptibility areas are, approximately, 15-30 times more susceptible than low susceptibility areas.

To analyze the debris flows susceptibility was utilized methodology of Kanji (2001) and Gramani (2001), that attribute values with weights to factors like pluvial precipitation, slope declivity, canal stream inclination, basin area, slope height, % of occupied area and geology aspects. The sum of these pondered values gives the basin susceptibility estimation. Was verified that the basins are moderate to high susceptible to debris flows process.

The results obtained assists how subsidy in the planning and management of the human action in this region, aiming at the prevention of geologic disaster.

4. INTRODUÇÃO

A Serra do Mar abriga uma ocupação significativa, onde se observa um grande número de atividades econômico-sociais, algumas de caráter estratégico, como as obras de transposição (rodovias, ferrovias, polidutos e linhas de transmissão de energia elétrica), o pólo petroquímico de Cubatão, dentre outras.

Processos de movimentações de maciços terrosos e rochosos, de diferentes dimensões, ocorrem freqüentemente nessa região e fazem parte da própria evolução morfológica do terreno. Tais processos podem ser deflagrados por agentes naturais ou induzidos pelas atividades humanas, ou ainda, em decorrência da associação desses dois fatores.

Existem vários casos descritos na literatura, em especial da região de Cubatão, onde os problemas de instabilidade foram provocados pela intervenção inadequada nos terrenos. Pode ser citado como exemplo, o processo de instabilização que se desenvolveu na cota 95 da Via Anchieta, em 1948 durante a sua construção, decorrente de escavações realizadas na encosta para implantar o *greide* da rodovia. O corte provocou a abertura de fissuras no maciço a 200 m a montante do local da obra e a movimentação de um corpo de tálus com mais de 30 m de espessura. Outro exemplo de problema de instabilização, provocado pelo desconhecimento dos aspectos geológicos condicionantes da suscetibilidade dos terrenos, foi o corte na base do tálus situado nas proximidades da usina Hidroelétrica da Light, em 1947. O corte provocou um avanço do corpo de tálus de cerca de 20m, ameaçando um deslizamento envolvendo meio milhão de m³ (Vargas, 1999).

Vários outros relatos técnicos mostram que a conjunção dos fatores condicionantes naturais e ações antrópicas é responsável pela maioria dos acidentes de escorregamentos na Serra do Mar, apresentando, geralmente, uma relação inseparável de causa e efeito. No período chuvoso de 1974/75, fortes chuvas deflagraram inúmeros problemas de instabilidade nas encostas naturais e taludes de escavação localizados na área de influência das obras da pista ascendente da rodovia dos Imigrantes, afetando o andamento das obras. Dentre as rupturas mais significativas destaca-se aquela que ocorreu no emboque do lado de São Paulo do túnel TA-6, próximo à cota 500 m. Os estudos realizados indicaram que o colapso de uma massa de rocha e solo foi favorecido pela associação entre o corte realizado no emboque do túnel e o preenchimento com água das juntas de alívio existentes no maciço rochoso (IPT, 1976 *apud* Machado Filho, 2000).

Mais recentemente, final de 1999 e início de 2000, verificou-se corrida de material detritico e conseqüente assoreamento do leito do rio Pilões, onde foi mobilizado um volume de cerca de 200.000 m³ de material, devido aos processos violentos de instabilização de encostas do km 41 + 700 m da Via Anchieta – pista Sul (Sadowski, Kanji e Motidome, 2001).

Esses fatos ilustram a necessidade de unir esforços no sentido de tentar reduzir os impactos decorrentes de processos de instabilização de encostas, em relação às diversas

atividades humanas existentes ou a ser desenvolvidas na região da Serra do Mar. Nesse sentido, apresenta-se este Trabalho de Formatura, para que os estudos realizados e os produtos obtidos auxiliem na redução de imprevistos e acidentes de natureza geológico-geotécnica, na área que abrange o trecho serra do sistema Imigrantes-Anchieta.

5. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo localiza-se na porção sudeste do Estado de São Paulo (Figura 01), mais especificadamente nas encostas da Serra de Cubatão, denominação local para a Serra do Mar.

A área apresenta cerca de 50 Km² e está no limite entre os municípios de São Bernardo do Campo e São Vicente.

O acesso à área pode ser feito através das rodovias estaduais SP-150 e SP 160, que correspondem, respectivamente, a Via Anchieta e a Rodovia dos Imigrantes.



Figura 01: Localização da área de estudo no estado de São Paulo.

6. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é identificar e caracterizar áreas suscetíveis aos processos de instabilização nas encostas de uma região da Serra do Mar, denominada de Serra de Cubatão, principalmente em relação aos processos de corrida de massas e escorregamentos translacionais, pois são os processos predominantes na área de estudo (Wolle, 1988).

O trabalho está inserido num projeto maior de pesquisa que engloba toda a região do território paulista da Serra do Mar, a ser realizado pela equipe técnica do IPT, denominado Programa Serra do Mar, com o objetivo principal de conhecer a suscetibilidade a processos de dinâmica superficial da Serra e os riscos a ela relacionados.

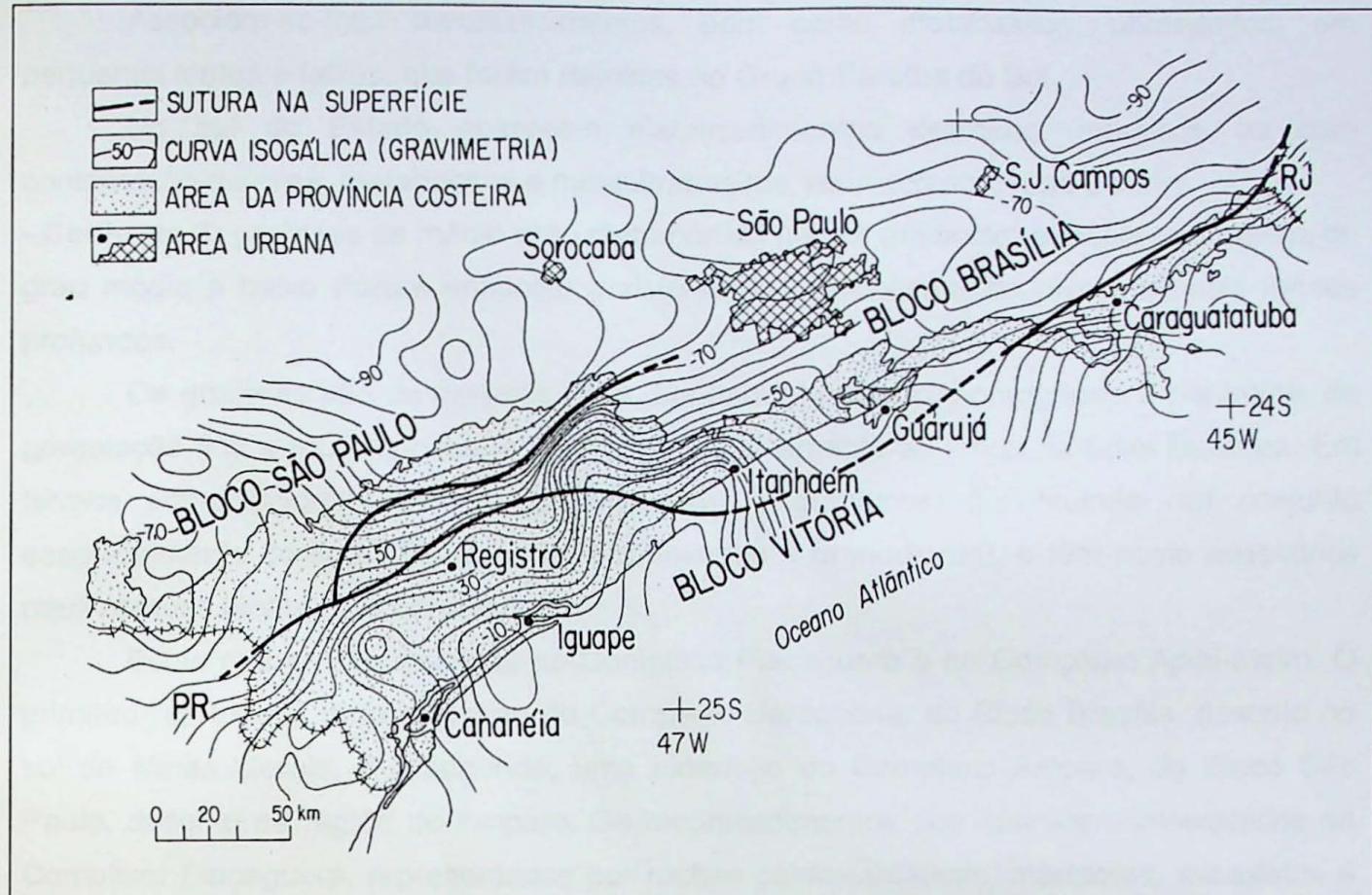
Os trabalhos buscaram um reconhecimento da potencialidade dos processos de instabilização, seguindo uma tendência nacional e mundial da utilização de métodos quantitativos de análise (avaliação) de risco geológico com auxílio do SIG (Sistema de Informação Geográfica).

7. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Objetivando um melhor entendimento dos processos de dinâmica superficial da Serra do Mar, foi feito um levantamento bibliográfico que abordou os aspectos geológicos, geomorfológicos, os tipos de processos de instabilização de encosta e seus condicionantes.

7.1. GEOLOGIA REGIONAL

Em relação a compartimentação geotectônica regional, dados gravimétricos têm sido explorados para definir grandes blocos crustais (Hasui, 1982; Hasui et al. 1989, 1993 a, b; *apud* Hasui et al. 1994). As anomalias Bouguer marcam grandes descontinuidades (suturas) distinguindo três blocos, designados Brasília, Vitória e São Paulo (Figura 02), que se colidiram pelo deslocamento para oeste do Bloco Vitória, sobrepondo-se aos outros. Na faixa de contato, as rochas de um e de outro lado da sutura foram fortemente deformadas. Através dessa colisão e cavalgamento, o Bloco Vitória chegou a expor porções mais profundas da crosta representadas por rochas de alto grau metamórfico definindo cinturões granulíticos.



Fonte: Hasui et al. (1994)

Figura 02: Mapa gravimétrico que identifica suturas (estruturas de primeira ordem), definindo blocos crustais: Brasília, Vitória e São Paulo.

Uma compartimentação tectônica mais antiga, mas ainda bastante utilizada nos trabalhos atuais foi proposta com base nos trabalhos de Hasui (1973), Coutinho (1971) e Hasui & Sadowski (1976), sendo estes trabalhos compilados em IPT (1986). Estes autores subdividem a área em dois grandes blocos separados pela zona de falha transcorrente de Cubatão, de direção NE-SW, na qual a norte se encontra o Bloco Juquitiba (Hasui, 1973 *apud* IPT, 1986), onde predomina o Grupo Açungui, e a sul o Bloco Costeiro (Coutinho, 1971 *apud* IPT, 1986) onde predominam rochas do Complexo Costeiro.

Em trabalhos mais recentes, têm-se proposto sistematizar os litotipos em termos de tipos de conjuntos litológicos vinculados a entidades geotectônicas (Hasui et al, 1993a *apud* Hasui, 1994). Deste modo, o mesmo autor reconhece dois tipos de conjuntos litológicos ao longo da faixa litorânea paulista:

- **Conjunto 1:** gnaisses e metassedimentos de alto grau metamórfico (fácies granulito), representando níveis crustais mais profundos alçados por processos tectônicos; associam-se-lhes metassedimentos de graus metamórficos inferiores.

Estas rochas ocorrem no Bloco Vitória (Figura 02), de modo marcante na faixa Maranduba-Picinguaba, em São Sebastião e na região de Serra Negra e Serra dos Itatins, sendo representadas principalmente por gnaisses charnockíticos, enderbíticos, optalíticos, máficos e ultramáficos, e enfeixadas no Complexo Ubatuba-Itatins (Hasui et al., op. cit).

Associam-se-lhes metassedimentos, bem como metabasitos, ultrabasitos, em pequenas lentes e faixas, que foram reunidas no Grupo Paraíba do Sul.

No sul do Estado aparecem metassedimentos detriticos, químicos ou com contribuição química, metabasitos e metaultrabasitos, reunidos no Grupo Setuba.

- **Conjunto 2:** gnaisses de médio grau metamórfico (fácies anfibolito) e metassedimentos de grau médio a baixo (fácies anfibolito a xisto-verde), representando níveis crustais menos profundos.

Os gnaisses são de diversos tipos, bandado, laminado, homogêneo e porfiróide, de granulação fina a muito grossa, e ocorrem extensivamente ao longo da faixa litorânea. Em termos compostionais variam de tonalíticos a graníticos, constituindo um conjunto essencialmente do tipo TTG (tonalito, trondjemito e granodiorito), e têm como acessórios mais comuns biotita e/ou hornblenda.

Estas rochas são reunidas no Complexo Piaçaguera e no Complexo Apiaí-Mirim. O primeiro representa uma extensão do Complexo Barbacena, do Bloco Brasília, descrito no sul de Minas Gerais, e o segundo, uma extensão do Complexo Amparo, do Bloco São Paulo, descrito na região de Amparo. Os metassedimentos que aparecem intercalados no Complexo Piaçaguera, representados por rochas cálcio-silicáticas, mármore, micaxistas e quartzitos, além de metabasitos e metaultramafitos, são enfaixados no Grupo Paraibuna. Na área de estudo ocorrem tanto as rochas do Complexo Piaçaguera como as rochas do Grupo Paraibuna, que serão descritos detalhadamente mais adiante.

Ainda neste conjunto, ocorre uma extensa faixa de rochas do Grupo Ribeira, na qual enquadram-se rochas derivadas de sedimentos detriticos pelíticos e psamíticos, e de origem química ou com contribuição química. As rochas dessa faixa foram reunidas anteriormente no Grupo Açuengui, mas ao se distinguir no Vale do Ribeira duas unidades de idades distintas, esta designação foi reservada para a seqüência mais jovem e se resgatou a designação Grupo Ribeira para a unidade mais antiga e mais expressiva, cujo embasamento é representado pelo Complexo Apiaí-Mirim.

7.2. GEOLOGIA DA ÁREA

Na área de estudo, segundo Hasui (1994), ocorrem as rochas do conjunto 2 referido anteriormente, ou seja , gnaisses de médio grau (fácies anfibolito), representados pelo Complexo Piaçaguera, intercalados por metassedimentos de grau médio a baixo (fácies anfibolito a xisto-verde) do Grupo Paraibuna, de idade proterozóica e/ou arquena (ainda não bem determinadas). Estas rochas representam níveis crustais menos profundos quando comparadas às rochas do conjunto 1.

As unidades litológicas podem ser vistas no mapa geológico apresentado no Anexo 01, cuja base foi compilada do mapa geológico na escala 1:10.000 apresentado por IPT (1994), além dos mapas geológicos na escala 1:50.000 das folhas de Santos e Riacho Grande apresentados em IPT (1986).

COMPLEXO PIAÇAGUERA

O Complexo Piaçaguera é composto pelas seguintes unidades litoestratigráficas:

Biotita gnaisses e micaxistas migmatizados com lentes de quartzitos e anfibolitos (Cgx).

Essas rochas constituem porções neossomáticas de migmatitos estromatíticos, apresentando foliação bastante evidente, textura granonematoblástica com porfiroblastos de granada e sillimanita dispersos em uma matriz constituída por quartzo, biotita, muscovita e plagioclásio, sendo que a proporção de plagioclásio no neossoma dos migmatitos define dois tipos litológicos, sendo que abaixo de 25% constituem termos xistosos e acima desse valor gnáissicos. Ocorrem na borda do Planalto Paulistano e nas escarpas da Serra de Cubatão em uma faixa que progressivamente diminui de largura de SW para NE.

Pequenas lentes de rochas quartzíticas, e anfibolíticas com espessuras inferiores a 2 m e poucos metros de extensão, ocorrem como lentes entremeadas aos migmatitos.

Migmatitos Homogêneos (Cgm)

Os migmatitos homogêneos com neossoma gnáissico e lentes de quartzitos cálcio-silicáticos ocorrem parte no planalto e parte nas porções altas da escarpa serrana, ao longo de uma faixa contínua alongada segundo a direção ENE.

Esses migmatitos homogêneos ou nebulíticos tem granulação média, coloração cinza clara a escura, granada e sillimanita como minerais acessórios e foliação marcada pela orientação planar de minerais como biotita e muscovita, sendo esta foliação localmente pouco desenvolvida, tendo a rocha aspecto granítico. São freqüentes *boudins* de quartzitos puros a cálcio-silicáticos.

GRUPO PARAIBUNA

As unidades litoestratigráficas que compõem o Grupo Paraibuna são descritas a seguir:

Xistos e gnaisses migmatizados (Axm)

Os xistos e gnaisses migmatizados afloram no Planalto Paulistano, numa faixa nordeste que se estende nas imediações da interligação Anchieta-Imigrantes.

Muscovita biotita xistos e gnaisses com granada e sillimanita constituem porções mesossomáticas de migmatitos estromatíticos. Por vezes ocorrem alternâncias rítmicas de níveis mesossomáticos pelíticos e psamíticos.

Micaxistas e filitos (Ax)

Os micaxistas ocorrem em faixa ao longo do vale do rio Cubatão. Apresentam teores variáveis de quartzo, podendo ser diferenciados em granada-biotita-quartzo xistos ou granada-biotita xistos, com foliação bem desenvolvida.

Quartzitos e quartzitos impuros (Aq)

Ocorrem em faixas (lentes) relativamente estreitas e descontínuas nas escarpas da serra. São constituídos essencialmente por quartzo de granulometria fina com textura granoblástica e com proporções variáveis de biotita e muscovita.

Rochas calciosilicáticas – anfibólio xistos (Ac)

As rochas calciosilicáticas, ocorrem em uma estreita faixa ao longo da encosta da serra e são representadas por uma seqüência constituída por frações anfibolíticas, biotíticas e camadas ricas em epídoto e quartzo. Apresentam cor verde escura a preta, por vezes com acamamento reliquiar preservado (milimétrico a centimétrico). Possuem foliação pouco desenvolvida e granulação fina. Petrograficamente são anfibólio xistos ou anfibólio gnaisses.

ESTRUTURAS

A principal estrutura regional presente na área de estudo é a zona de cisalhamento dúctil a dúctil-rúptil transcorrente dextral de alto ângulo, com direção geral NE-SW (IPT, 1994), paralela à foliação regional e a direção da escarpa da Serra do Mar. Seu desenvolvimento é expresso pela intensa milonitização das rochas em toda a área, formando uma foliação milonítica, imbricando e lenticularizando os corpos rochosos.

A atitude média da xistosidade foi calculada por Sadowski (1974) para as diferentes rochas da região de estudo, sendo a dos filitos N25E/30NW, N54E/85NW para os xistos calciosilicáticos, N70E/70NW para os biotita gnaisses e N65E/60NW para os migmatitos homogêneos.

As fraturas, outra importante estrutura presente na área que tem forte influência na configuração do perfil de alteração e nos processos de instabilizações de massas, apresentam-se estreitamente relacionadas à geometria da foliação, como citado por IPT (1994). Neste estudo, foram identificadas duas famílias subortogonais à foliação: uma de baixo ângulo, e outra subvertical; duas famílias oblíquas subverticais, e uma paralela a foliação. As fraturas paralelas à foliação (N40-60E) e as perpendiculares subverticais (N30-60NW) caracterizam-se como os principais sistemas.

7.3. GEOMORFOLOGIA DA ÁREA

Na região sudeste do Estado de São Paulo são reconhecidos 3 compartimentos geomorfológicos: o Planalto Paulistano, a Serrania Costeira e a Baixada Litorânea. A área de estudo está situada no trecho serrano, caracterizado por um notável relevo de transição entre o Planalto Paulistano e a Planície Costeira, apresentando seus cimos nivelados entre as altitudes de 700 a 750 m, e desniveis topográficos da ordem de 700 m, ocasionado por vertentes com alta declividade, cujos valores médios estão entre 35° a 55°.

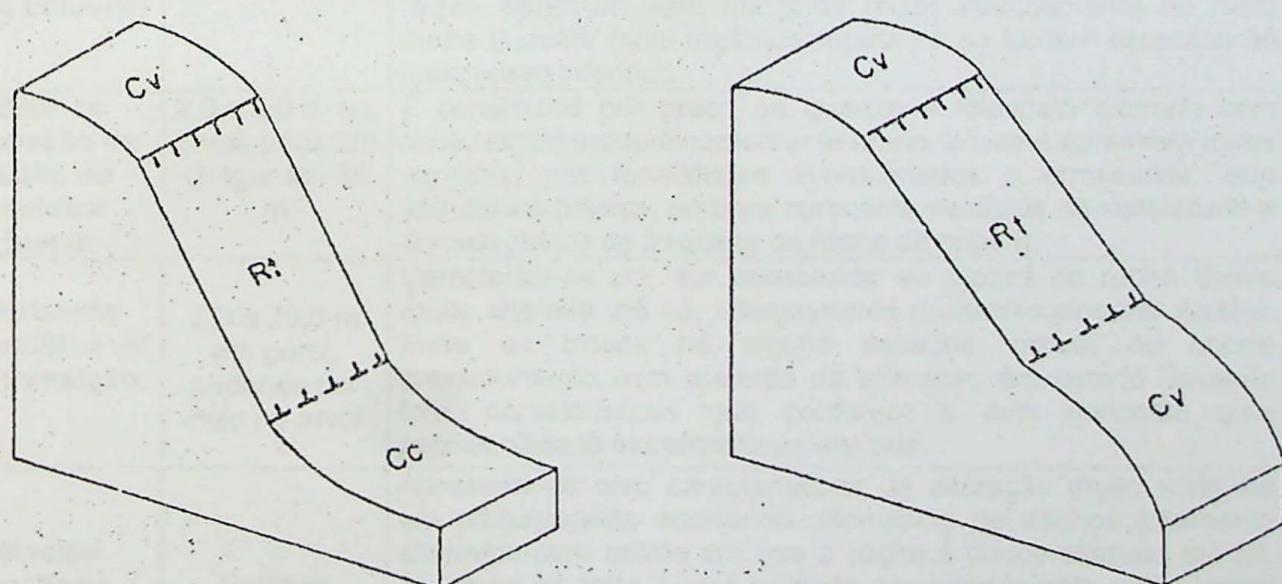
Ponçano *et al.*(1981) distinguiram dois sistemas de relevo na Serra: as Escarpas Festonadas, que correspondem a escarpa da Serra do Mar propriamente dita; e as

Escarpas com Espigões Digitados, que correspondem a espigões suportados por maciços rochosos que estão, localmente, interligados ao planalto e foram separados e dissecados pelo forte entalhe fluvial. Estes sistemas de relevo foram detalhados posteriormente pelo IPT (1986), que subdividiu as escarpas festonadas em Escarpas Festonadas em Anfiteatro, Escarpas Festonadas Complexas e Escarpas Festonadas em Vales Subparalelos. Ocorrem na área de estudo os dois primeiros subsistemas de relevo, como pode ser observado no mapa geomorfológico (Anexo 02), sendo estes melhor definidos abaixo:

- Escarpas Festonadas em Anfiteatro: compreendem trechos da Serra onde as bacias de drenagem subdendríticas a dendríticas de terceira e quarta ordens desenvolvem anfiteatros típicos e bem definidos por interflúvios, que comumente se aproximam no sopé, estreitando a saída de drenagem;
- Escarpas Festonadas Complexas: compreendem trechos da Serra onde as características das bacias de drenagem não distintamente separáveis, uma vez que apresentam formas de anfiteatros associados com vales subparalelos, e os processos de deposição ao longo do vale podem ou não ocorrer.

Os perfis de encostas definidos neste trabalho são constituídos por porções com características geométricas definidas, denominadas de unidades morfológicas geométricas (Young, 1972 *apud* IPT, 1986; Figura 03), que são classificadas em:

- retilíneas: quando a porção do perfil da encosta tem seus ângulos aproximadamente constantes;
- convexas: no caso de uma porção do perfil da encosta apresentar curvatura positiva com ângulos que aumentam continuamente para baixo;
- côncavas: quando a porção do perfil da encosta apresenta curvatura negativa com ângulos decrescentes para baixo.



Legenda: Cv - convexa, Cc – côncava e Rt – retilínea.

Fonte: IPT (1986)

Figura 03: Unidades morfológicas geométricas da encosta.

7.4. PERFIS DE ALTERAÇÃO

A caracterização do perfil de alteração é fundamental para o entendimento dos processos de instabilidade na Serra do Mar, e junto com outros fatores, que serão discutidos no item 7.5., podem ocasionar em um ou outro tipo de instabilidade.

O capeamento de solo nas encostas da Serra é geralmente pouco espesso, com uma dinâmica evolutiva marcada pela remoção dos materiais de alteração das encostas basicamente pela ação do rastejo, escorregamento e queda de blocos, sendo que a ação do escoamento laminar e concentrado é dificultada pela ação da cobertura vegetal (IPT, 1986).

A distribuição dos solos não é uniforme ao longo da encosta. Hessing (1976 *apud* Machado Filho, 2000) descreve que os perfis de alteração são bem mais espessos no Planalto, decrescendo gradativamente conforme se desce a escarpa, sendo que a partir da cota 350 m tornam-se sistemáticos os afloramentos rochosos juntos aos talvegues.

O perfil de alteração no trecho escarpado é basicamente representado pela seqüência: solo coluvial, solo de alteração de rocha, que passa transicionalmente para rocha alterada e rocha sã, além de diversas ocorrências de tálus.

Os principais horizontes presentes nestas encostas podem ser descritos, de uma maneira geral, conforme resumido na Tabela 01.

Tabela 01: Resumo das principais características dos horizontes de alteração das encostas da área de estudo

HORIZONTES	ESPESSURA	CARACTERÍSTICAS
Solo superficial (solo residual maduro ou solo coluvial)	0,0 a 1,0 m	Solo de extensão generalizada apresentando entretanto diferenciações de local para local. Constituído por argila silto arenosa, muito porosa, coloração geralmente castanha, amarelada ou avermelhada. O solo apresenta-se com elevada freqüência de fendas abertas, resultantes da ação do rastejo, dos micro-escorregamentos ou de tombamento de árvores. As raízes penetram este horizonte muito intensamente no meio metro superior (solo orgânico-vegetal) e se tornam escassas no meio metro inferior.
Solo de alteração de rocha ou residual jovem	2,0 a 3,0 m em geral, podendo chegar até 23 m	É constituído por grãos de quartzo e feldspato alterado com mica, sendo predominantemente areno-siltoso e apresenta cores variadas, nas tonalidades avermelhadas e arroxeadas. Sua estrutura é maciça, embora apresente vestígios de xistosidade e demais planos de fraqueza da rocha de origem.
Horizonte saprolítico ou de transição	5,0 a 20,0 m em geral, podendo ser nulo no perfil	Caracteriza-se por ser constituído de blocos de rocha desde muito alterada até sã, intensamente movimentados por rastejo. Entre os blocos há alguns espaços vazios, ou ocorre preenchimento com material de alteração em estado bastante fofo, características que conferem a este horizonte uma permeabilidade extremamente elevada.
Maciço rochoso	Variável	Apresenta-se com características de alteração muito variáveis em profundidade, ocorrendo alternância de trechos totalmente alterados com outros em que a rocha é pouco alterada até sã. Ao longo de toda a profundidade pesquisada pelo autor (cerca de 50m) notou-se um intenso fraturamento do maciço. As fissuras, diaclases e juntas apresentam-se em geral abertas e interligadas, de modo a conferir ao maciço uma elevada condutividade hidráulica.

Fonte: adaptado de Wolle (1981) e Hessing (1976)

7.5. PRINCIPAIS TIPOS DE INSTABILIZAÇÕES NA SERRA DO MAR.

As instabilizações nas encostas da Serra do Mar são denominadas de maneira mais abrangente como processos de dinâmica superficial, ou seja, são processos que agem na interface entre a hidrosfera, a atmosfera e a litosfera, e que são responsáveis por modificar e modelar a superfície da Terra.

Os movimentos de instabilizações em encostas são condicionados por uma série muito grande de fatores, englobados nos chamados condicionantes geológicos, geomorfológicos, climáticos e antrópicos. Um resumo destes fatores, baseados em Wolle (1988) e Augusto Filho & Virgili (1998), é apresentado na Tabela 02.

Há diversas classificações de instabilizações de encostas na Serra do Mar. Conforme citado por Wolle e Carvalho (1994), estas classificações podem ser mais gerais e abrangentes, como as propostas por Freire (1965) e Guidicini e Nieble (1976), ou mais específicas, como a de Vargas (1966 e 1985), Barata (1969) e Costa Nunes (1969).

Wolle e Carvalho (op.cit), utilizam uma classificação com enfoque de caráter regional, apresentada na Tabela 03, e abrangendo todos os tipos de processos observados na região da Serra do Mar.

Os escorregamentos translacionais (planares) em solo predominam amplamente nas encostas da Serra do Mar, os quais ocorrem principalmente nos perfis retilíneos que caracterizam as porções média e alta dessas encostas (acima da cota 300), conforme Wolle (1988).

Este tipo de escorregamento apresenta sempre espessuras bem reduzidas de massa rompida, com valores médios mais comuns de 1,0m a 1,5m, devido aos sucessivos processos de instabilização que impedem o espessamento do solo superficial neste tipo de encosta. As larguras das cicatrizes geralmente estão na faixa de 10 a 20m, com algumas atingindo até 60m. Já os comprimentos destas cicatrizes são sempre muito grandes, atingindo às vezes mais de 200m, resultados geralmente provocados pela ação da massa rompida em sua trajetória encosta abaixo.

Tabela 02: Resumo dos principais fatores condicionantes dos escorregamentos.

PRINCIPAIS FATORES CONDICIONANTES DOS ESCORREGAMENTOS	
GEOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> - Características intrínsecas da rocha/solo, tais como mineralogia, feições estruturais (falhas, diaclases, xistosidade, etc), coesão e ângulo de atrito; - Estado de tensão do maciço; - Hidrogeológicos: movimento de água no maciço, podendo gerar pressões neutras, redução da resistência do material, etc; - Perfil de alteração (espessura e características dos horizontes de alteração).
GEOMORFOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> - Inclinação e amplitude das encostas; - Forma dos perfis das encostas (retilínea, côncava e convexa).
CLIMÁTICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Regime pluviométrico; - Efeito das variações térmicas; - Intemperismo.
AÇÃO ANTRÓPICA	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção da cobertura vegetal; - Lançamento e concentração de águas servidas; - Execução de cortes com geometria inadequada; - Execução deficiente de aterro (compactação, geometria, fundação); - Lançamento de entulhos e lixos nas encostas; - Vibração produzida por tráfego pesado, explosão, etc.
VEGETAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Efeito alavanca: ação do vento na copa das árvores, transferindo uma força cisalhante no terreno; - Efeito cunha: pressão causada pelo crescimento das raízes; - Sobrecarga vertical: causado pelo peso das árvores

Tabela 03: Classificação dos fenômenos de instabilidade de encostas.

	CLASSES	MODO	OCORRÊNCIA
Movimentos "plásticos" ou "viscosos" lentos	Rastejo ("creep")	Movimentos lentos mobilizando apenas parte da resistência ao cisalhamento	Movimento constante ou intermitente, acelerado durante períodos de chuvas
	Movimento de tálus	Movimentos contínuos ou intermitentes em acumulações detriticas	Movimentos detonados por escavações no pé ou sobrecargas no topo, na época das chuvas
Escorregamento em solo	Escorregamentos translacionais (planares)	Deslizamento de delgados horizontes de capas superficiais de solos residuais	Rupturas súbitas durante chuvas intensas com precipitações > 100mm/dia, durante períodos chuvosos
	Escorregamentos rotacionais	Idem, porém mais espessos, às vezes contendo matacões	
Escorregamentos estruturados em rocha e saprolito	Deslizamento de cunhas e lascas	Deslizamentos ao longo de descontinuidades	Rupturas súbitas durante ou após chuvas com precipitações > 100mm/dia, durante períodos chuvosos
	Escorregamentos estruturados	Idem aos escorregamentos rotacionais, mas envolvendo rocha muito fraturada	
	Queda de blocos	Queda de blocos e rolamento de matacões	
Avalanches e corridas	Avalanches	A partir de escorregamentos ou deslocamentos de blocos nas encostas	Podem ocorrer durante chuvas intensas > 50mm/hora, nos períodos chuvosos dos anos mais chuvosos
	Corridas de massas (lama, blocos...)	Escoamentos rápidos de massas ao longo das drenagens	

Fonte: (Wolle e Carvalho, 1994).

As corridas de massas, outro processo enfocado neste trabalho, podem ser definidas como movimentos gravitacionais de massas de grandes dimensões, que se deslocam na forma de escoamento rápido. Caracterizam-se por uma dinâmica híbrida, regida pela mecânica dos sólidos e dos fluidos, pelo grande volume de material que mobilizam e pelo raio de alcance que possuem (até alguns quilometros), resultando num grande potencial destrutivo (Infanti Jr & Fornasari Filho, 1998).

Os mesmos autores citam que podem ser identificados dois mecanismos básicos de geração de corridas de massa:

- origem primária: formação de corridas a partir da desestruturação total do material mobilizado de escorregamentos nas encostas, como foi o caso de Caraguatatuba, em 1967;
- origem secundária: formação das corridas nas drenagens principais a partir da remobilização de detritos acumulados no leito e por barramentos naturais, acrescidos do material de escorregamentos nas encostas e de grandes volumes de águas gerados em picos de cheias nas drenagens.

8. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Cartas topográficas na escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): folhas Riacho Grande e Santos;
- Cartas topográficas na escala 1:10.000 da Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S.A. (EMPLASA): folhas Bernadino de Campos, Bairro dos Fincos, Reservatório Rio das Pedras e Rio Cubatão;
- Cartas topográficas na escala 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC): Rio Passareúva, Caminho do Mar e Rio Itutinga;
- Fotos aéreas na escala 1:60.000 da Missão AST-10-USAF (United States Air Force), 1963:

Faixa 93 - fotos 53951 a 53954;

Faixa 94 - fotos 50802 a 50805;

- Fotos aéreas na escala 1:25.000 do levantamento da VASP Aerofotogrametria S/A – Secretaria da Agricultura / Instituto Brasileiro do Café (1972/73):

Faixa: 300H - fotos 33059 a 33061;

Faixa 300J - fotos 39998 a 40002;

Faixa 301H - fotos 34003 a 33005;

Faixa 301J - fotos 37161 a 37166;

Faixa 302G - fotos 37170 a 37175.

Programas de computador utilizados:

- Autocad (Autodesk): entrada de dados georreferenciados e edição de cartas temáticas;
- MicroStation: digitalização e georreferenciamento de dados;
- Idrisi32 (Clark Labs): elaboração de cartas temáticas, cruzamento de cartas e análise de dados;
- Stereonet: análise de dados estruturais;
- Rosac: diagrama de rosáceas para análise de freqüência de direções de foto lineamentos;

Os métodos adotados em cada etapa são descritos a seguir:

Estudo geológico-geotécnico

Para este estudo foram realizados levantamentos de campo no qual observou-se os padrões e condicionantes geomecânicos de importância para posterior identificação de áreas mais suscetíveis aos processos de movimentação de massas.

Foram levantados dados como tipo de rocha, estruturas (foliação e juntas), grau de alteração da rocha, perfil de alteração (espessura dos horizontes) e feições de instabilização das encostas.

O estudo geológico-geotécnico de semidetalhe utilizou as cartas topográficas 1:10.000 do IGC eEMPLASA que foram digitalizadas pela equipe técnica do IPT.

Carta de suscetibilidade a escorregamentos

A carta de suscetibilidade a escorregamentos consiste em definir áreas homogêneas quanto à suscetibilidade a estes processos. Para isto, é feito o cruzamento de cartas temáticas com as características do meio físico que condicionam este tipo de instabilização.

A metodologia adotada baseou-se na mesma utilizada para a elaboração da carta geotécnica da Serra do Mar, apresentada no trabalho de Augusto Filho *et al.* (1990), com algumas modificações que serão detalhadas mais adiante. De uma forma geral, os procedimentos adotados foram:

- definição dos condicionantes e elaboração das cartas temáticas;
- análise da freqüência de escorregamentos para cada tipo de parâmetro condicionante nas cartas temáticas;
- cruzamento das cartas temáticas e determinação de áreas homogêneas a suscetibilidade, ou seja, determinação dos graus de suscetibilidade das classes resultantes.

Análise da suscetibilidade à corrida de massas

Para a análise da suscetibilidade à corrida de massas nas bacias dos rios afluentes do rio Cubatão foi empregada metodologia de estimativa proposta por Kanji (2001) e Gramani (2001). Essa metodologia atribui notas e pesos a fatores como pluviosidade, declividade da encosta, inclinação do canal de drenagem, área da bacia, altura da encosta, relação entre a vegetação e a ocupação do terreno e aspectos geológicos, que quando somados, fornece uma estimativa do grau de vulnerabilidade da bacia. Para atribuir nota a estes fatores foram utilizadas as cartas topográficas já mencionadas, dados do levantamento geológico-geotécnico e dados compilados na bibliografia.

9. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

O escopo do trabalho está centrado em quatro atividades: (1) Levantamento geológico-geotécnico; (2) Análise de fotolineamentos; (3) Análise de suscetibilidade a escorregamentos; (4) Análise de suscetibilidade à corrida de massas. Estas atividades foram realizadas segundo o cronograma abaixo:

ATIVIDADES	MÊS 3	MÊS 4	MÊS 5	MÊS 6	MÊS 7	MÊS 8	MÊS 9	MÊS 10	MÊS 11
Levantamento Bibliográfico									
Levantamento geológico-geotécnico									
Análise de fotolineamentos									
Análise da suscetibilidade à corrida de massas									
Carta de suscetibilidade à escorregamentos									
Elaboração do relatório final									

9.1. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

O levantamento geológico-geotécnico de semidetalhe tem como objetivo caracterizar os padrões e condicionantes geomecânicos de importância para posterior identificação de áreas mais suscetíveis aos processos de movimentação de massas.

O levantamento geológico-geotécnico concentrou-se nas proximidades das vias de acesso do trecho serrano, abrangendo toda a estrada de serviço da Rodovia dos Imigrantes, a pista sul da Via Anchieta, além de parte da pista norte. A localização dos trechos levantados pode ser observada na Figura 04. Foram reservadas as siglas ESI para os trechos da estrada de serviço, S e N para os trechos da pista sul e norte da Via Anchieta, respectivamente.

Foram levantados dados como tipo de rocha, estruturas (foliação e juntas), grau de alteração da rocha, perfil de alteração (espessura dos horizontes) e feições de instabilização, conforme apresentados no Anexo 03.

As rochas presentes na área podem ser subdivididas em dois grupos: gnaisses com porções migmatíticas intercalados com porções mais xistosas, e filito com lentes de quartzito.

Os gnaisses ocorrem na porção média-alta da Serra do Mar, enquanto o filito com lentes de quartzito é observado nas partes baixas da serra, em geral abaixo da cota altimétrica de 200m.

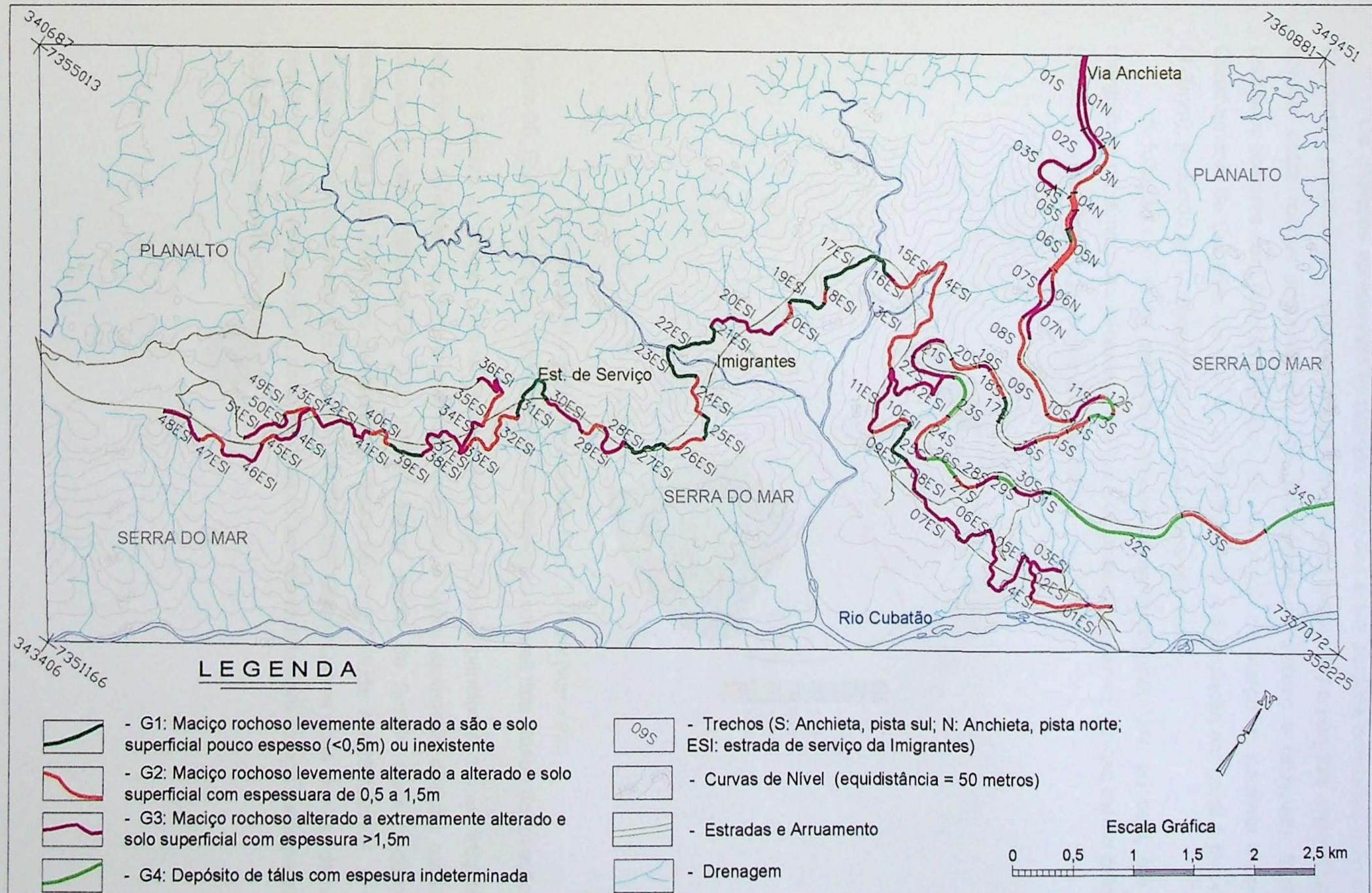
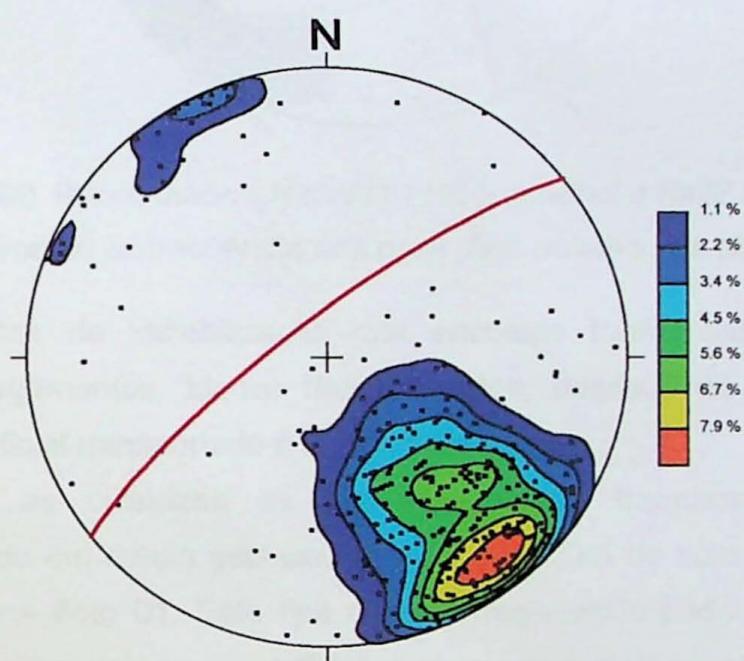


Figura 04: Localização e classificação geológico-geotécnica dos trechos

Os gnaisses apresentam freqüentes variações entre porções bandadas a finamente bandadas, porções de gnaisse granítico (bandamento incipiente) e porções migmatíticas. É comum estas rochas apresentarem forte estiramento do quartzo e feldspato, formando gnaisses ocelares com foliação milonítica de alto ângulo de mergulho, paralela a Zona de Cisalhamento de Cubatão, ou seja, NE-SW/subvertical. A granulação em geral é fina-média (1-3mm), podendo ser um pouco maior nos gnaisses graníticos.

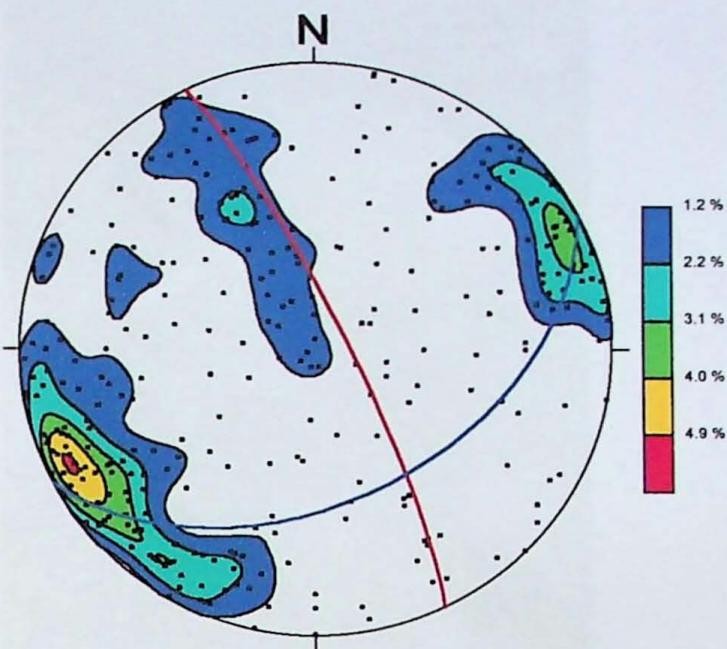
A foliação apresenta mergulhos predominantemente para NW, ou seja, em geral mergulha para dentro das encostas. Na Figura 05 pode-se observar o plano médio calculado (plano em vermelho), cuja atitude é N52E/79NW.



Foliação (N = 356). Plano médio: N52E / 79 NW (vermelho)

Figura 05: Estereograma de isofreqüência das projeções polares dos planos de foliação.

Quanto às juntas, nota-se que existem duas famílias principais: a mais freqüente é ortogonal a foliação, de alto ângulo de mergulho; a outra apresenta direção paralela à foliação, porém mergulhando para SE. O plano médio da família mais freqüente é representada pelo plano em vermelho da Figura 06, cuja atitude é N26W/81NE. A outra família de juntas apresenta o plano médio N42E/46SE (azul). Outras duas famílias de menor freqüência e não verificadas no estereograma foram observadas em campo: uma paralela a foliação e outra subhorizontal.



Juntas ($N = 324$). Planos médios: N26W / 81 NE (vermelho) e N42E / 46 SE (azul)

Figura 06: Estereograma de isofreqüência das projeções polares dos planos de juntas.

Diversas feições de instabilização das encostas foram observadas, tais como cicatrizes de escorregamentos, blocos desarticulados, degraus de abatimento, árvores inclinadas, solo superficial transportado e sulcos erosivos.

São comuns as cicatrizes de escorregamentos translacionais de pequenas dimensões, envolvendo em média espessuras de 0,5 a 1,0m de solo superficial, conforme pode ser observado na Foto 01. Este tipo de escorregamento pode envolver espessuras maiores, removendo além do solo superficial, o solo saprolítico ou até mesmo o saprolito Fotos 01 a 04.

Foram observadas também cicatrizes de um outro tipo de escorregamento muito menos freqüente na Serra do Mar, o rotacional. Como exemplo, cita-se o ocorrido a montante do km 42+700 da pista norte, de grandes dimensões, envolvendo solo saprolítico e saprolito de um biotita gnaisse extremamente alterado (Foto 05). Deve-se salientar, que o vale na qual ocorreu este escorregamento apresenta um forte estrangulamento na sua porção mais baixa (Foto 06), o que pode ter contribuído para uma elevação local do lençol freático. Fato semelhante pode ter ocorrido no escorregamento do km 41+700 da pista sul.

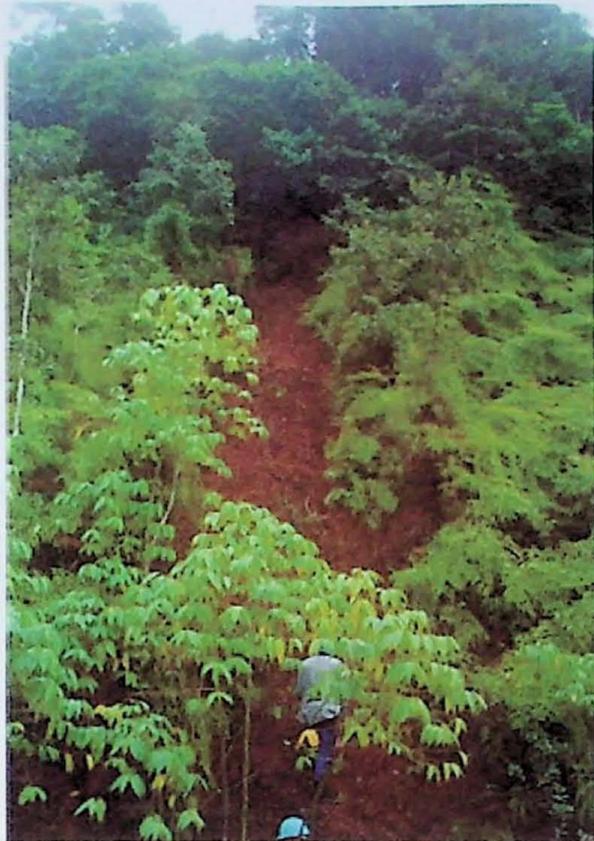


Foto 01 – Cicatriz de escorregamento translacional envolvendo delgada espessura de solo superficial (< 0,5m). Localiza-se no trecho 01 da Estrada de Serviço da Imigrantes (ESI).



Foto 02 – Cicatriz de escorregamento translacional de cerca de 10m de altura e 12m de largura, protegida superficialmente com concreto projetado. A espessura de material escorregado é de aproximadamente 4m, envolvendo tanto o solo superficial como parte do saprolito. Localiza-se no fim do trecho 04 ESI.

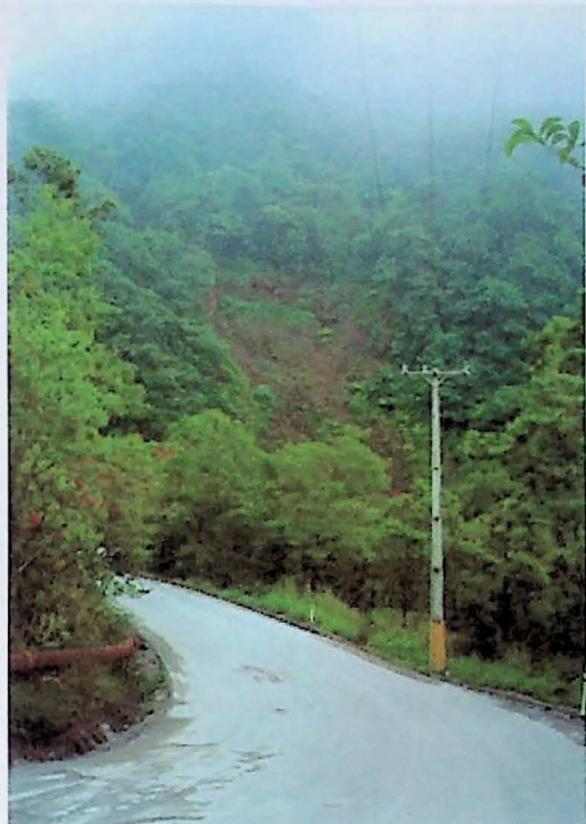


Foto 03 – Cicatriz de escorregamento translacional de grandes dimensões envolvendo parte do saprolito, localizado no fim do trecho 19 ESI.



Foto 04 – Detalhe da cabeceira da cicatriz do trecho 19 ESI. Notar que a espessura de solo superficial é centimétrica e que a ruptura desenvolveu-se principalmente no maciço rochoso extremamente alterado a saprolito.

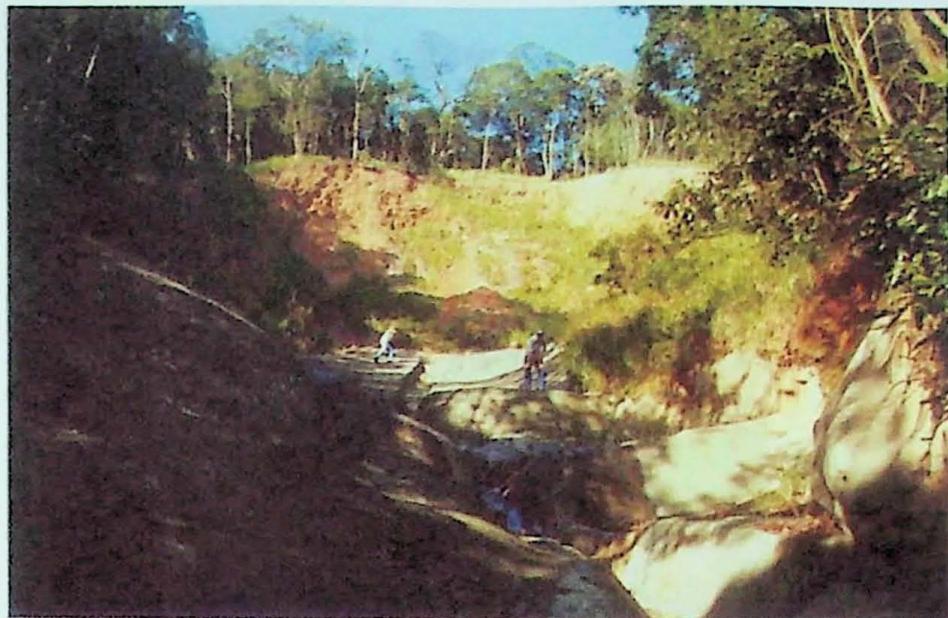


Foto 05 – Cicatriz de escorregamento rotacional localizado a montante do km 42+700 da pista norte da Via Anchieta (final do trecho 06 N). Notar o revestimento da cicatriz com calda de cimento.

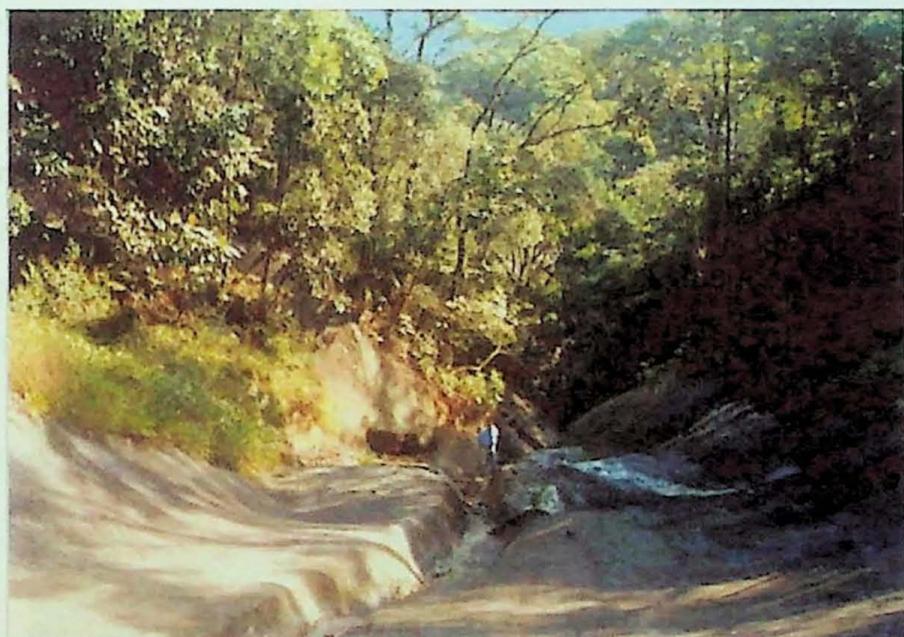


Foto 06 - Mesma cicatriz vista de montante para jusante, ressaltando o estrangulamento do vale na parte mais baixa.

Cicatrizes de escorregamentos estruturados costumam ocorrer na área de influência das rodovias. Próximo ao km 41+150 da pista sul, trecho 02 S, observa-se cicatriz de pequenas dimensões (2,5m de largura, 4m de extensão e 1m de profundidade média) de um escorregamento em cunha formado pela intersecção dos planos da foliação e de fratura, e desconfinado pelo corte da rodovia (Foto 07).



Foto 07 – Cicatriz de escorregamento estruturado.

Na área vegetada ao lado da cicatriz do escorregamento do km 41+700 da pista sul (Foto 08), foram observados diversos indícios de pequenas movimentações, como por exemplo degraus de abatimento de pequeno porte (decimétricos) e árvores inclinadas. Degraus de abatimento maiores, com deslocamentos de até 2m (Foto 09), e trincas de até 0,5m de profundidade foram observados próximos à borda da cicatriz do Km 41+700.



Foto 08 - Área vegetada ao lado cicatriz do escorregamento do km 41+700, pista sul da Via Anchieta.



Foto 09 – Degrau de abatimento próximo à borda da cicatriz.

O perfil de alteração é bastante variável ao longo Serra do Mar, mas em termos gerais, é freqüente uma espessura de 0,5m de solo superficial residual ou transportado sobre o maciço rochoso alterado ou sobre um solo saprolítico e/ou saprolito com espessura variável (Foto 10). Nas cotas mais elevadas, próximo ao planalto, o perfil de alteração tende a ser mais espesso.



Foto 10 – Leito rochoso de uma das drenagens mostrando em sua margem a espessura em torno de 1,5 m de saprolito e 0,5 m de solo coluvial.

Depósitos de tálus foram identificados na "Curva da Onça", trechos 12 e 13S, e em toda área de declividade suave onde estão localizadas as moradias dos "Bairros Cota" (trechos 32 e 34S). A Foto 11 ilustra um corte em encosta do Bairro Cota 200, na qual pode-se observar sedimentos com má seleção granulométrica (blocos decimétricos a métricos dispersos em matriz silte-arenosa ou silte-argilosa), característica típica dos depósitos de tálus.



Foto 11 – Talude em depósito de tálus do Bairro Cota 200. Notar a má distribuição granulométrica dos sedimentos e a disposição caótica dos mesmos.

São diversos os casos relatados de processos de instabilização envolvendo os depósitos de tálus na Serra do Mar. Na Foto 12 pode-se verificar uma árvore inclinada localizada sobre corpo de tálus do Bairro Cota 95, evidenciando movimentação lenta do corpo (rastejo).

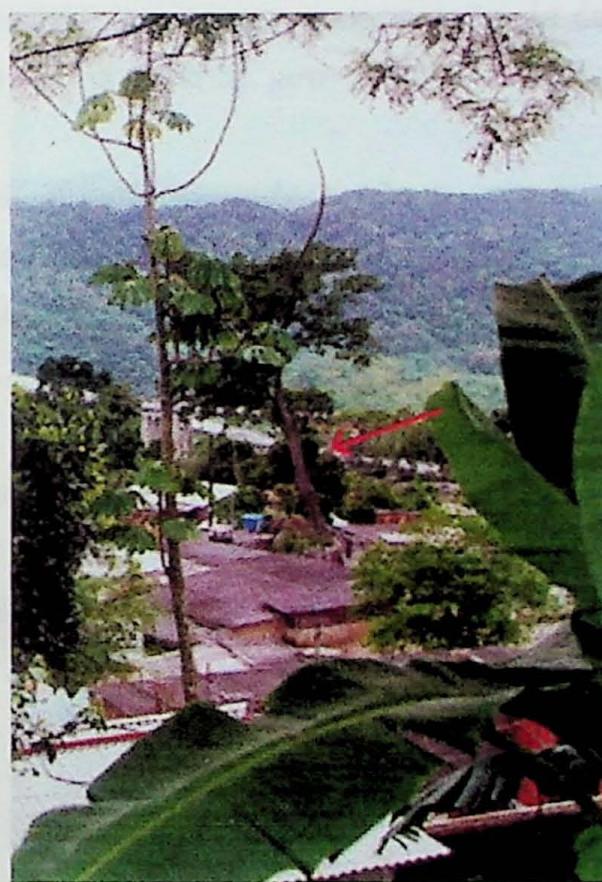


Foto 12 – Árvore inclinada localizada sobre depósito de tálus.

Outro tipo de instabilização observada foi a queda de blocos desarticulados das encostas. Este processo ocorre em geral onde o maciço rochoso é aflorante e bastante fraturado, podendo instabilizar blocos métricos, como verificado no trecho 24ESI (Foto 13).

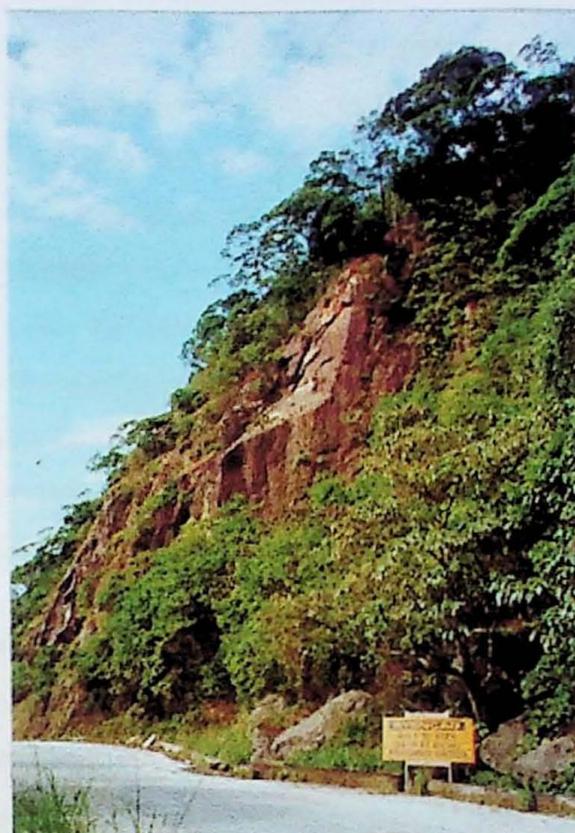


Foto 13 – Maciço rochoso com blocos desarticuláveis da encosta íngreme (trecho 24ESI).

Com o objetivo de cruzar as informações obtidas no levantamento geológico-geotécnico com os outros condicionantes para a elaboração da carta de suscetibilidade a escorregamentos, classificou-se os trechos em grupos com características geológico-geotécnicas semelhantes:

- G1: Maciço rochoso levemente alterado a são e solo superficial em geral pouco espesso (< 0,5m) ou inexistente;
- G2: Maciço rochoso levemente alterado a alterado e solo superficial com espessuras médias de 0,5 a 1,5m;
- G3: Maciço rochoso alterado a extremamente alterado e solo superficial com espessuras em geral maiores que 1,5m;
- G4: Depósitos de tálus com espessura indeterminada.

A Figura 04 apresenta a localização dos trechos e a sua classificação geológico-geotécnica.

9.2. ANÁLISE DE FOTOLINEAMENTOS

A análise de lineamentos morfoestruturais objetivou identificar as grandes estruturas da área, bem como correlacioná-las com as estruturas observadas em campo. Foram utilizadas fotos aéreas nas escalas 1:25.000 e 1:60.000.

Verificou-se, na área de estudo e arredores, a presença de uma forte estruturação (trends) na direção N45-60, e subordinadamente na direção N315-330, conforme mostram os diagramas de rosáceas apresentando tanto o número de lineamentos, como o comprimento dos lineamentos acumulados para cada intervalo de direção (Anexo 04).

As direções NE-SW coincidem com as estruturas de foliação e uma família de juntas das rochas pré-cambrianas, além de serem paralelas à direção das escarpas da Serra do Mar, e à Zona de Cisalhamento de Cubatão. As direções NNW-SSE correspondem a uma família de juntas, de alto ângulo de mergulho, ortogonais a foliação das rochas. Esta direção reflete morfologicamente, a principal direção de entalhe das drenagens tanto ao longo das escarpas, como adentrando em direção ao planalto, como é o caso da bacia do rio pilões.

9.3. ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

A análise de suscetibilidade a escorregamentos consiste em identificar áreas homogêneas quanto à suscetibilidade a estes processos. Para isto, é feito o cruzamento de cartas temáticas com as características do meio físico que condicionam este tipo de instabilização.

A suscetibilidade de uma área com relação a determinado fenômeno geológico caracteriza a possibilidade de sua ocorrência, enquanto que risco envolve a possibilidade de que o fenômeno seja acompanhado de danos e perdas. Cerri e Palmeiro do Amaral (1998) relacionam a suscetibilidade e o risco com a seguinte equação:

$$R = S \times C ,$$

sendo:

R = risco;

S = possibilidade de ocorrência de um fenômeno geológico;

C = consequências sociais e/ou econômicas potenciais.

Existe uma certa confusão entre as características dos diferentes produtos cartográficos elaborados internacionalmente, porém está se consolidando uma diferenciação mais clara entre as cartas de suscetibilidade, de perigo e de risco de escorregamentos (Augusto Filho, 2001).

As cartas de suscetibilidade a escorregamentos classificam os terrenos quanto à tipologia e à potencialidade de deflagração destes processos, expressando esta potencialidade em termos qualitativos ou quantitativos na forma determinística.

As cartas de perigo expressam estes níveis de suscetibilidade em termos de probabilidades absolutas de ocorrência e respectivos raio de alcance. Estas probabilidades

podem ser obtidas por métodos clássicos (distribuição de freqüência), híbridos, ou mesmo através de técnicas de probabilidade subjetiva, baseada na opinião de especialistas.

As cartas de risco indicam os níveis de danos sociais e econômicos potenciais em determinados períodos de tempo, em geral, expressos na forma de montantes monetários por ano.

Neste trabalho, para o desenvolvimento da carta de suscetibilidade, numa primeira etapa foram elaboradas as cartas temáticas e analisadas as freqüências de escorregamentos para cada condicionante, obtendo-se intervalos de classes de comportamento semelhante. Numa segunda etapa, foram cruzadas as cartas temáticas e quantificado e definido o grau de suscetibilidade das classes geradas.

9.3.1. ELABORAÇÃO DAS CARTAS TEMÁTICAS

Os condicionantes adotados para a elaboração da carta de suscetibilidade são: tipo ou perfil de encosta, declividade e sentido de mergulho das encostas. Esses condicionantes possibilitam uma representação cartográfica na escala de trabalho adotada (1:10.000). Os dados obtidos do levantamento geológico-geotécnico foram sobrepostos posteriormente com a carta de suscetibilidade pois são informações lineares restritas às vias de acesso, diferenciando-se dos outros condicionantes que apresentam uma representação de toda área.

O mapa geomorfológico (Anexo 02), contendo as informações relativas ao perfil das encostas, foi elaborado a partir da digitalização do mapa geomorfológico (escala 1:25.000) apresentado por IPT (1986). Desta mapa foram também digitalizadas as cicatrizes de diversos eventos de escorregamentos ocorridos na área de estudo, que foram posteriormente empregadas na etapa de análise de freqüência dos escorregamentos.

O mapa de declividades (Anexo 05) e o de sentido de mergulho das encostas (Anexo 06) foram gerados no software Idrisi 32, a partir da digitalização de curvas de nível e pontos cotados das cartas topográficas na escala 1:10.000 já citadas. As classes de declividades definidas são de 0 a 15°, 15 a 30°, 30 a 45°, e 45 a 90°, escolhidas a partir da análise de freqüência de escorregamentos, e as classes de sentido de mergulho das encostas são NNE, ENE, ESE, SSE, SSW, WSW, WNW e NNW.

A geologia, apesar de ser um importante condicionante nos processos de instabilização, não foi utilizada diretamente no cruzamento das cartas temáticas, pois se observa que as cicatrizes dos escorregamentos apresentam um controle muito grande pela declividade e pelo tipo de perfil de encosta, o que, de forma indireta, estão sendo condicionados pela geologia. A maioria das cicatrizes encontram-se na unidade dos biotita gnaisses e xistos migmatizados (Cgx), que coincide com as porções média-altas das encostas da Serra do Mar.

9.3.2. ANÁLISE DE FREQÜÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS

Esta etapa consistiu em definir a freqüência de escorregamentos ocorridos em função de cada tipo de parâmetro dos três condicionantes analisados, e teve como objetivo identificar intervalos de classes de comportamento semelhante, possibilitando a partir disso, o cruzamento dos diferentes parâmetros condicionantes, e quantificação dos graus de suscetibilidade a escorregamentos das classes geradas.

Este tipo de análise foi usado por Augusto Filho *et al.* (1990) e IPT (1994), calculando a freqüência a partir do número de escorregamentos ocorridos em um determinado parâmetro condicionante, em uma região piloto, sendo estes resultados posteriormente regionalizados. Neste caso, a freqüência foi calculada utilizando-se a área dos escorregamentos por parâmetro condicionante, na tentativa de discriminar as cicatrizes de diferentes dimensões. Além disso, a determinação de freqüência foi estabelecida para toda área devido o seu pequeno tamanho, não sendo utilizada uma área piloto.

Para os cálculos de freqüência de escorregamentos foram utilizadas cerca de 110 cicatrizes de diferentes eventos, sendo a maioria delas resultante dos escorregamentos generalizados do evento ocorrido nos dias 22 e 23 de Janeiro de 1985. Estas cicatrizes foram obtidas a partir do mapa geomorfológico na escala 1:25.000, apresentado por IPT (1986). Outras cicatrizes utilizadas na determinação do cálculo de freqüência foram obtidas durante a etapa de levantamento geológico-geotécnico.

Os três parâmetros condicionantes analisados são: tipo de perfil de encosta, declividade e sentido de mergulho das encostas.

As encostas retilíneas festonadas em anfiteatro são as que apresentam a maior porcentagem de área escorregada (46,2%), conforme pode ser visto na Figura 07. As encostas retilíneas festonadas complexas e as encostas convexas apresentam porcentagem de escorregamento bem menores, respectivamente 28,3% e 25,5%.

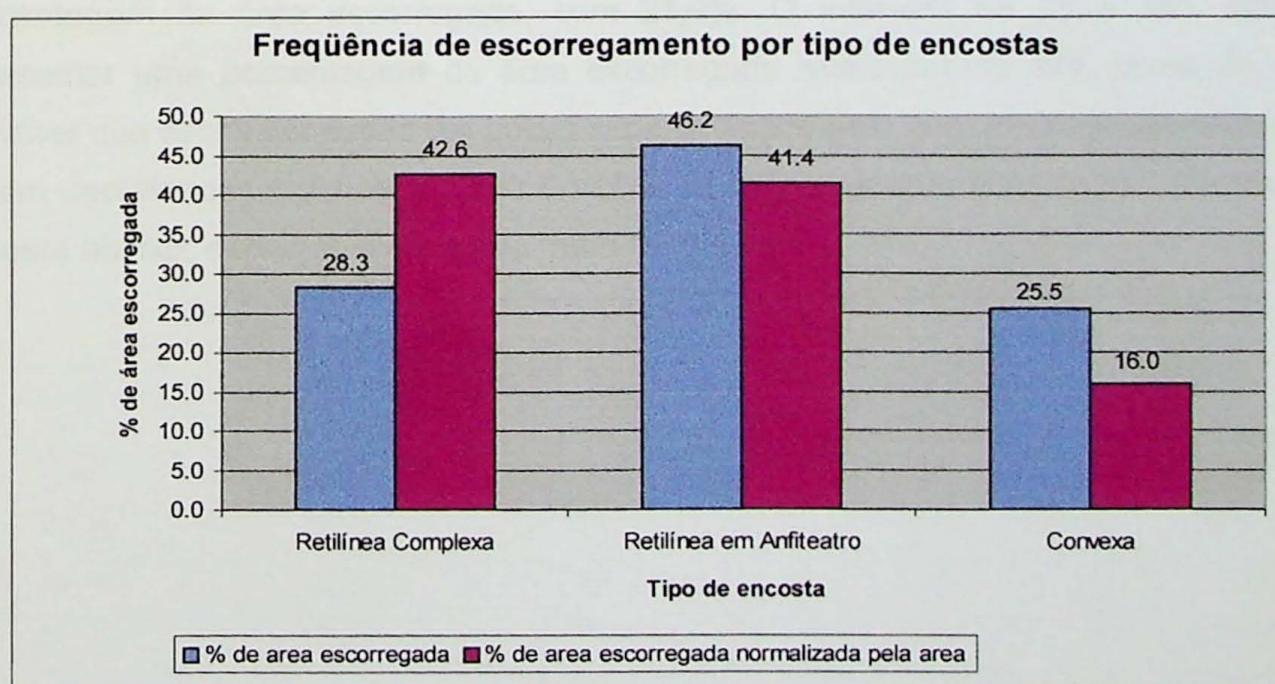


Figura 07: Freqüência de escorregamento por tipo de encosta.

Porém, quando normalizada a % de área escorregada pela % de área de cada classe de tipo de encosta, observa-se que a freqüência de escorregamentos nas encostas retilíneas é cerca de 2,5 vezes maior que nas encostas convexas (Figura 07 e Tabela 04).

Tabela 04: Freqüência de escorregamentos pelas classes de tipo de encosta.

Classes de Tipo de encosta	% de área escorregada	% de área total	% de área escorregada normalizada	Índice de suscetibilidade relativo
Retilínea Fest. Complexa	28,3	19,7	42,6	2,7
Retilínea Fest. em Anfiteatro	46,2	33,1	41,4	2,6
Convexa	25,5	47,3	16,0	1,0

* % de área escorregada normalizada = % da área escorregada x (área média / % da área da classe)

A Tabela 04 permite concluir que, as encostas retilíneas festonadas complexas e em anfiteatro, por apresentarem aproximadamente o mesmo índice de suscetibilidade relativo, podem ser tratadas como indivisas no cruzamento com os outros parâmetros condicionantes. Além disto, pode-se concluir que na região de estudo, as encostas retilíneas são mais suscetíveis aos escorregamentos, diferentemente do que ocorre, por exemplo, nos escorregamentos das bacias dos rios Quitite e Papagaio, município do Rio de Janeiro, onde as encostas convexas são as mais suscetíveis (Guimarães, 2000 *apud* Vieira, 2001).

Em relação à declividade, foi feita uma análise da distribuição das áreas escorregadas para diversos intervalos de declividade, com o objetivo de identificar quais os intervalos de declividade apresentam maior porcentagem de área escorregada. Entre 25 e 55° foram divididos intervalos de maior detalhe (5°), pois era esperado que dentro deste intervalo ocorreriam as maiores porcentagens de áreas escorregadas.

A Figura 08 permite identificar que mais de 70% do total de área escorregada está entre os intervalos de 25 a 45°, sendo o intervalo de 30 a 35° o que apresenta a maior porcentagem de área escorregada, com 21,9%. O intervalo de 15 a 25°, apesar de apresentar uma porcentagem de área escorregada relativamente alta, cerca de 12%, é provável que este valor esteja um pouco superestimado pelo fato do escorregamento iniciar-se em declividades maiores e erodir porções de menor declive durante seu deslocamento encosta abaixo, deixando o chamado “rabo de cicatriz”.

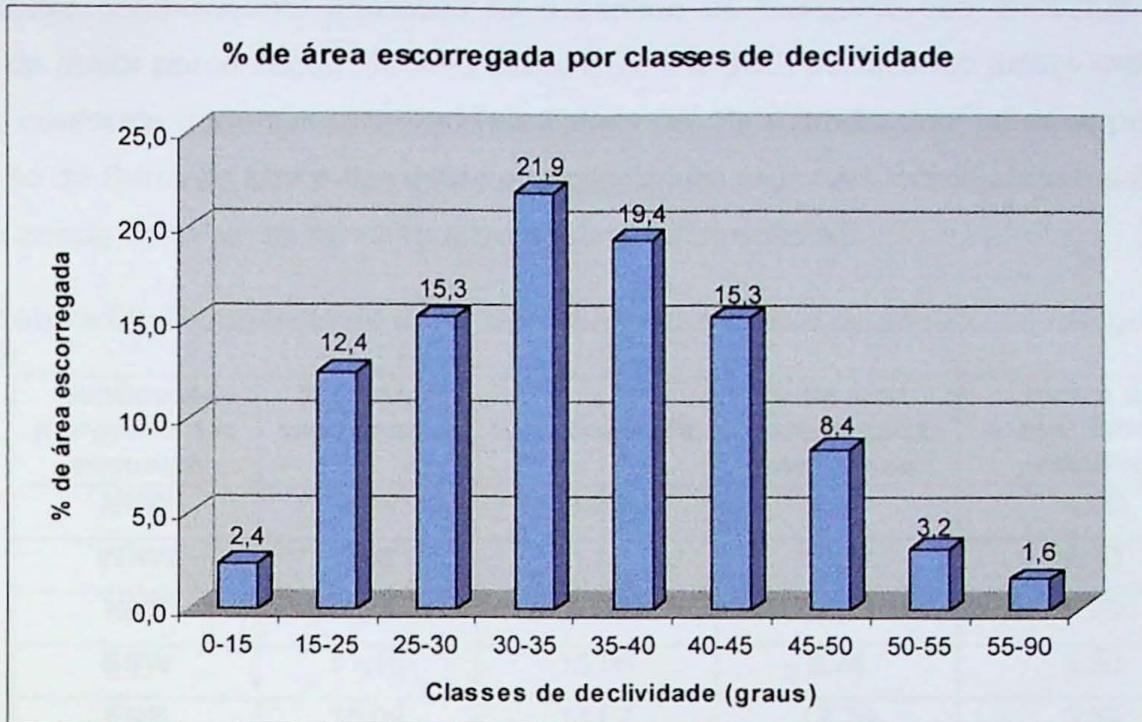


Figura 08: Porcentagem de áreas escorregadas por classes de declividade.

Acima de 50°, a porcentagem de área escorregada é muito pequena, cerca de 5%, o que é explicado devido estas encostas apresentarem manto de intemperismo geralmente delgado, e também por serem raras as áreas que apresentam declividades acima de 50° (menos que 2% do total da área). Estas áreas são principalmente suscetíveis a um outro tipo de instabilização: a queda de blocos.

Com base na distribuição das áreas escorregadas para as diversas classes de declividade apresentadas na Figura 08, pode-se então agrupar as classes que apresentam porcentagens semelhantes, com o objetivo de cruzá-las com as classes dos outros condicionantes para gerar a carta de suscetibilidade. Desta forma, as classes de declividade resultantes são: 0 a 15°, 15 a 30°, 30 a 45° e 45 a 90°.

Calculando-se a freqüência de escorregamentos para estas classes de declividade, observa-se que apesar da porcentagem da área escorregada ser maior na classe de 30-45° (56,47%), é a classe de declividade de 45° a 90° que apresenta a maior freqüência de escorregamentos por área, com um índice de suscetibilidade relativo cerca de 30 vezes superior ao da classe de declividade de 0-15°, conforme exposto na Tabela 05.

Tabela 05: Freqüência de escorregamentos por classes de declividade.

Classes de declividade (°)	% da área escorregada	% da área total	% de área escorregada normalizada *	Índice de suscetibilidade relativo
0-15	2,40	26,27	1,73	1,00
15-30	27,81	39,03	13,47	7,80
30-45	56,47	29,52	36,16	20,93
45-90	13,32	5,18	48,65	28,16

* % de área escorregada normalizada = % da área escorregada x (área média / % da área da classe)

Outro condicionante analisado foi o sentido de mergulho das encostas. As duas classes de maior porcentagem de área são a ESE e a SSE, perfazendo juntas mais de 50% da área, conforme pode ser observado na Tabela 06. Este predomínio se deve pela própria orientação da Serra do Mar e das estruturas geológicas regionais, como contatos litológicos, foliação, zonas de falha, todos orientados segundo a direção NE.

Tabela 06: Freqüência de escorregamentos por classe de sentido de mergulho das encostas.

Sentido de mergulho das encostas	% da área escorregada	% da área total	% de área escorregada normalizada *	Índice de suscetibilidade relativo
NNW	0,64	3,29	2,31	1,00
WNW	3,62	3,19	13,51	5,86
NNE	4,78	4,65	12,21	5,29
SSW	11,10	15,05	8,76	3,80
ENE	15,09	14,07	12,74	5,52
SSE	21,66	26,06	9,87	4,28
ESE	29,62	27,97	12,57	5,45
WSW	13,48	5,71	28,04	12,16

* % de área escorregada normalizada = % da área escorregada x (área média / % da área da classe)

Analizando os dados da Tabela 06, pode-se observar que há uma variação muito pequena do índice de suscetibilidade relativo entre as classes, quando comparada aos outros condicionantes como a declividade e o tipo de encosta. Com exceção das classes NNW e WSW, que representam menos de 10% da área total, todas as outras classes apresentam índice de suscetibilidade relativo próximos ao valor 5. Isto indica que a influência do sentido de mergulho das encostas nos processos de escorregamentos translacionais rasos não é tão importante quanto os outros dois condicionantes analisados, provavelmente por este processo de instabilização estar associado com pequenas espessuras de solos transportados ou residuais maduros, onde as estruturas das rochas não têm influências.

A orientação das encostas torna-se um condicionante significativo nos casos de escorregamentos estruturados profundos, que envolvem a rocha alterada e o saprolito. Nestes casos, as encostas mais suscetíveis a escorregamentos estruturados são aquelas com direção paralela à direção das principais descontinuidades. As encostas com sentido de mergulho para ESE e SSE apresentam direção paralela à foliação e a uma família de juntas, e as encostas com sentido de mergulho para WSW apresentam direção paralela a uma família de juntas bastante freqüente, sendo, portanto as encostas com maior potencialidade de ocorrência de escorregamentos estruturados.

9.3.3. DETERMINAÇÃO DOS GRAUS DE SUSCETIBILIDADE DAS CLASSES RESULTANTES

Nesta segunda etapa foram sobrepostas as cartas temáticas de declividade e de tipologia de encosta, pois como visto no item anterior, são os condicionantes predisponentes analisados que mais influenciam nos processos de instabilização.

Desta sobreposição de cartas foram geradas oito novas classes cartográficas que cruzadas com o mapa das cicatrizes permitiu definir o índice de suscetibilidade de cada classe, conforme pode ser visto na Tabela 07.

Tabela 07: Freqüência de escorregamentos pelas classes resultantes do cruzamento das cartas de tipo de encosta e declividade.

Classe	% de área escorregada	% de área total	% de área escorregada normalizada *	Índice de suscetibilidade relativo	Grau de Suscetibilidade
Convexa / 0-15°	0,52	6,57	0,99	1,00	BAIXO
Retilínea / 0-15°	0,48	3,43	1,74	1,76	
Convexa / 15-30°	5,48	24,24	2,82	2,86	
Convexa / 30-45°	12,61	14,86	10,58	10,73	MÉDIO
Retilínea / 15-30°	22,68	20,70	13,66	13,85	
Convexa / >45°	3,12	2,20	17,63	17,87	ALTO
Retilínea / 30-45°	44,93	23,60	23,74	24,07	
Retilínea / >45°	10,18	4,40	28,85	29,25	MUITO ALTO

* % de área escorregada normalizada = % da área escorregada x (área média / % da área da classe)

A classe retilínea / >45° foi a que apresentou o maior índice de suscetibilidade relativo, sendo quase 30 vezes mais suscetível a escorregamentos que a classe convexa / 0-15°. Esta foi definida como a única classe de grau de suscetibilidade muito alto.

A classe retilínea / 30-45° possui a maior porcentagem de área escorregada (44,93%), fato que deve ser colaborado por apresentar uma área muito grande (23,60%). Quando a porcentagem de área escorregada é normalizada pela área, este valor diminui para 23,74%, mas mesmo assim, é a segunda classe com maior índice de suscetibilidade.

As classes com declividade inferior a 15° (Convexa / 0-15 e Retilínea 0-15), e ainda a classe convexa / 15 a 30° apresentaram índices de suscetibilidade bem inferiores aos das outras classes, sendo portanto definidas como de baixo grau de suscetibilidade.

Um outro grupo, definido por médio grau de suscetibilidade, enquadrou as classes convexa / 30-45° e retilínea / 15-30°, cujos índices de suscetibilidade foram cerca de 5 a 10 vezes superior aos do grupo de baixo grau de suscetibilidade. O grupo de alto grau de suscetibilidade, representado pelas classes convexa / > 45° e retilínea / 30-45°, apresenta índices de suscetibilidade bem maiores que o grupo de baixa suscetibilidade.

De maneira geral, verifica-se que os graus de suscetibilidade mais altos estão relacionados com declividades acima de 30°, e de preferência em encostas com perfil retilíneo.

A vantagem de trabalhar com SIG é que ele permite o cruzamento de inúmeras cartas temáticas, gerando dezenas ou centenas de classes, o que antes era praticamente impossível de se fazer manualmente. Porém, verificou-se na metodologia adotada, que quanto maior o número de classes, e maior as diferenças de áreas entre estas classes, pode-se induzir a um erro no cálculo de freqüência de escorregamentos, pois como o universo amostral de áreas escorregadas é muito pequeno em relação à área total, há uma tendência das classes com áreas muito pequenas apresentarem freqüência igual a zero, o que não significa que estas classes possuem baixo grau de suscetibilidade. O inverso pode ocorrer com classes de áreas muito grandes, e mesmo normalizando estas freqüências em função da área de ocorrência da classe, os resultados podem ser distorcidos, mascarando os condicionantes realmente importantes.

Estes problemas foram percebidos, quando inicialmente se trabalhou com cerca de 130 classes resultantes dos cruzamentos das cartas temáticas, o que se mostrou inviável pelo menos segundo esta metodologia de cálculo de freqüências e de grau de suscetibilidade.

9.3.4. CARTA DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

A carta de suscetibilidade a escorregamentos (Anexo 07) apresenta quatro classes de grau de suscetibilidade a escorregamentos: baixo, médio, alto e muito alto, conforme definidos no item anterior.

As informações do levantamento geológico-geotécnico foram sobrepostas na carta de suscetibilidade a escorregamentos, possibilitando verificar áreas mais suscetíveis a escorregamentos onde o maciço rochoso apresenta condições mais favoráveis à geração de escorregamentos mais espessos.

Áreas com depósitos de tálus (G4), por exemplo, ou com maciço rochoso alterado a extremamente alterado com desenvolvida espessura de solo superficial (G3), localizadas sobre a classe de suscetibilidade a escorregamento muito alta, apresentam grande probabilidade de ocorrência de escorregamentos que mobilizem uma espessura maior de material das encostas.

Já as áreas onde o maciço rochoso é sôlo a levemente alterado, pouco fraturado, com solo superficial pouco espesso a inexistente (G1), é baixa a probabilidade de ocorrência de escorregamentos envolvendo maiores espessuras de material das encostas, mesmo em áreas de grau de suscetibilidade muito alto. Observou-se nestas áreas escorregamentos de espessuras decimétricas, que pouco afetam as estradas.

9.4 ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À CORRIDA DE MASSAS

Para a análise da suscetibilidade à corrida de massas, foi aplicada a metodologia proposta por Kanji (2001) e Gramani (2001), na qual são atribuídos pesos e notas a fatores como pluviosidade, declividade da encosta, inclinação do canal de drenagem, área da bacia, altura da encosta, relação entre a vegetação e a ocupação do terreno, e aspectos geológicos. A somatórias destas notas ponderadas pelos respectivos pesos fornece uma estimativa do grau de suscetibilidade da bacia.

Neste trabalho foram analisadas nove bacias hidrográficas, todas elas afluentes do rio Cubatão, conforme pode ser visto na figura 09.

Os principais fatores intervenientes na ocorrência de corrida de massas estão apresentados na Tabela 08 e são resumidos por Kanji (2001) como se segue:

- Geomorfológicos: as corridas de massas somente ocorrem quando há uma acentuada inclinação das encostas e dos canais de drenagem, sendo que quanto mais inclinado, maior é a probabilidade de ocorrência. As corridas de massas ocorrem em inclinações da ordem de 25 a 30°, ou mais. A amplitude das encostas também influencia, sendo que maiores amplitudes são mais favoráveis para a sua ocorrência;

- Geológicos: o principal fator geológico é a disponibilidade de material inconsolidado, como depósitos aluviais e coluviais, ou capas de grande espessura de solos residuais, que podem ser removidos e contribuindo assim para a formação da corrida de massas;

- Precipitação pluvial: a chuva é o principal agente deflagrador das corridas de massa quando as encostas não sofrem influências significativas de sismos, atividades vulcânicas, ou avalanches de neves. Os casos reportados indicam que uma intensidade de chuva de cerca de 1 mm/min, ocorrida durante vários minutos, podem gerar uma corrida de massas, uma vez que seja precedida por alguns dias de chuva de menor intensidade.

- Atividade antrópica: aspectos como degradação da vegetação, cortes, escavações inadequadas, drenagem natural desarranjada, são fatores geralmente agravantes que contribuem para a erosão e desenvolvimento de deslizamentos, e ainda para a saturação dos solos e alimentação dos materiais para a corrida de massas.

Figura 09: Localização das bacias hidrográficas analisadas quanto a suscetibilidade à corrida de massas.

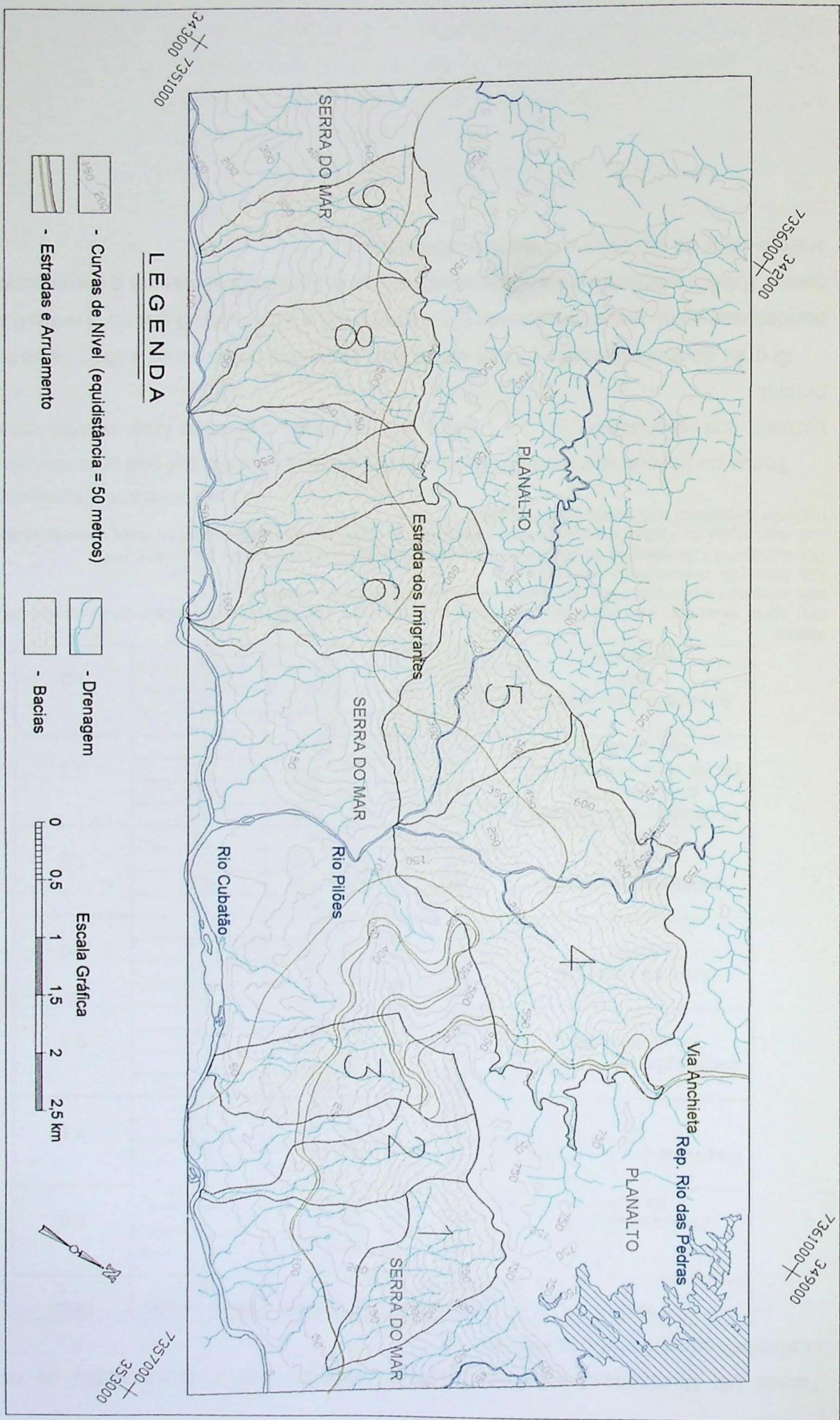


Tabela 08: Descrição dos fatores, pesos e atributos para a determinação do grau de suscetibilidade à corrida de massas.

Fatores	Classe de atributo	Atributos	Nota parcial (NP)	Peso
Pluviosidade (R) (mm/h)	R1	> 80	10	3,0
	R2	60 – 80	6,6	
	R3	30 – 60	3,3	
	R4	< 30	0	
Declividade da encosta (S) (°)	S1	> 45	10	2,5
	S2	30 – 45	6,6	
	S3	15 – 30	3,3	
	S4	< 15	0	
Inclinação do canal de drenagem (D) (°)	D1	> 25	10	0,5
	D2	15 – 25	6,6	
	D3	10 – 15	3,3	
	D4	< 10	0	
Área da bacia (A) (km²)	A1	< 5	10	1,0
	A2	5 – 10	6,6	
	A3	10 – 20	3,3	
	A4	> 20	0	
Amplitude da encosta (H) (m)	H1	> 750	10	1,0
	H2	500 – 750	6,6	
	H3	200 – 500	3,3	
	H4	< 200	0	
Vegetação e Ocupação do terreno (V) (% da área ocupada ou desmatada)	V1	90 – 100	10	0,5
	V2	50 – 90	6,6	
	V3	30 – 50	3,3	
	V4	< 30	0	
Aspectos geológicos (G) (ver notas)	G1	G1	10	1,5
	G2	G2	6,6	
	G3	G3	3,3	
	G4	G4	0	

Notas:

G1: solos residuais; colúvios e aluviões espessos; depósitos glaciais e piroclásticos; muito material disponível nas encostas e nos leitos dos rios para a mobilização durante as chuvas.

G2: condição intermediária entre G1 e G3.

G3: depósitos coluvionares de pequena expressão; solos residuais e aluviões pouco espessos.

G4: exposição de rochas e solos de boa resistência ao corte; ausência de depósitos coluvionares; muito pouco material disponível nos canais de drenagem.

Fonte: Kanji (2001) e Gramani (2001)

Todos os fatores são subdivididos em quatro classes de atributos que apresentam notas parciais correspondentes (0; 3,3 ; 6,6 e 10), de modo que cada fator recebe uma nota parcial.

O grau de suscetibilidade (GS) é obtido pela soma das notas parciais (NP) de cada fator ponderadas pelos respectivos pesos (P), ou seja, $GS = \Sigma(NP \times P)$. O GS varia entre 0 a 100, sendo 100 a situação de mais alta suscetibilidade. A Tabela 09 apresenta a correspondência entre o valor do GS calculado e a suscetibilidade.

Tabela 09: Valores calculados de grau de suscetibilidade e a suscetibilidade correspondente

Grau de suscetibilidade (GS)	Suscetibilidade
80 – 100	Muito Alta
60 – 80	Alta
40 – 60	Moderada
20 – 40	Baixa
0 – 20	Muito Baixa

Fonte: Kanji (2001) e Gramani (2001)

Os atributos dos fatores considerados na análise de suscetibilidade à corridas de massa foram obtidos com auxílio do SIG (Sistema de Informação Geográfica) e estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Valores calculados ou adotados para os fatores considerados na análise de suscetibilidade à corrida de massa nas bacias hidrográficas.

Fatores	Bacia 1	Bacia 2	Bacia 3	Bacia 4	Bacia 5	Bacia 6	Bacia 7	Bacia 8	Bacia 9
Pluviosidade (R) - (mm/h)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Declividade da encosta (S) - (°)	27,9	25,2	22,2	29,9	32,1	29,2	30,0	28,8	24,6
Inclinação do canal de drenagem (D) - (°)	16,70	14,11	13,53	12,08	16,72	12,58	15,61	15,17	14,68
Área da bacia (A) - (Km ²)	1,292	0,997	1,433	4,797	1,742	2,139	0,891	1,631	0,977
Amplitude da encosta (H) - (m)	668	696	695	633	633	662	656	642	623
Vegetação e ocupação do terreno (V) (% da área ocup. ou desmatada)	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
Aspectos geológicos * (G)	G2								
% de área com inclinação > 30°	43,5	34,2	26,0	52,0	59,3	50,2	50,4	32,6	32,6
Inverso da circularidade	0,792	0,609	0,754	0,648	0,836	0,730	0,730	0,783	0,604

* Ver notas da Tabela 08

Segundo Massad et al. (2000), a corrida de massa ocorrida na bacia do Córrego das Pedras, Cubatão, em fevereiro de 1994, que envolveu um volume de cerca de 300.000 m³ de argila, areia, cascalho, blocos de rocha e árvores, iniciou-se após um máximo de precipitação pluvial de 60 mm/h. Devido a escassez de dados horários de precipitação pluvial na área estudada, considerou-se, para efeitos de estimativa da suscetibilidade à corrida de massas, o valor de 60 mm/h para as 9 bacias hidrográficas.

Com relação ao aspecto geológico, verificou-se que há consideráveis espessuras de solos superficiais nas encostas, sejam eles transportados ou residuais, que variam em geral de 0,5 m até 2,0 m, e que podem contribuir para a geração de corrida de massas. Desta forma, para efeitos de estimativa da suscetibilidade à corrida de massas, foi definido o atributo G2 (ver notas da Tabela 08) para todas as bacias.

Em relação ao aspecto de ocupação do terreno, as Bacia 1 e 3 são as que apresentam a maior porcentagem de área ocupada ou desmatada, devido às ocupações dos Bairros Cota 95 e 200, porém este valor não é superior a 30%, o que significa que todas as bacias apresentam baixa porcentagem de área desmatada e enquadram-se todas na classe de atributo V4 (Tabela 08).

Para melhor compreensão de como calcular o grau de suscetibilidade, pode-se tomar como exemplo os atributos da Bacia 4: $R2 = 60 \text{ mm/h}$; $S3 = 29,9^\circ$; $D3 = 12,08^\circ$; $A1 = 4,797 \text{ Km}^2$; $H2 = 633 \text{ m}$; $V4 = <30\%$; $G = G2$. Somando as notas parciais ponderadas obtém-se um valor de grau de suscetibilidade igual a 56,2, o que corresponde a uma alta suscetibilidade.

Aplicando-se os mesmos cálculos para todas as bacias, observa-se que há uma variação muito pequena no valor do grau de suscetibilidade das bacias, sendo os menores valores obtidos para as bacias 2, 3, 4, 6, e 9, iguais a 56,2 (suscetibilidade moderada), e os maiores valores obtidos para as bacias 5 e 7, iguais a 66,1 (suscetibilidade alta). As bacias 1 e 8 apresentaram valores intermediários, iguais a 57,8.

Um dos problemas deste método é classificar atributos que estão próximos ao limite entre duas classes. Analisando novamente o exemplo da bacia 4, pode-se notar que a declividade da encosta ($S3 = 29,9^\circ$) está praticamente no limite entre as classes S3 e S2. Se esta declividade fosse $30,0^\circ$, o valor do grau de suscetibilidade passaria de 56,2 para 64,4, ou seja, de suscetibilidade moderada para alta. Outro problema verificado foi a pequena variação no valor do grau de suscetibilidade, de modo que 5 bacias apresentaram o mesmo valor. Portanto este método dificulta a comparação entre a suscetibilidade de bacias que apresentam características semelhantes.

Objetivando uma melhor comparação entre as bacias, foi feita uma transformação dos atributos dos fatores analisados em índices adimensionais, dividindo-se os atributos de cada fator pelos respectivos atributos de menor valor. Esta "adimensionalização" dos atributos permite que os diferentes fatores analisados sejam relacionados entre si.

Este tipo de análise qualitativa foi utilizado por IPT (2002), que hierarquizou bacias hidrográficas na região da Serra do Mar quanto a suscetibilidade aos processos de corridas de massa.

A Tabela 11 apresenta os atributos das bacias já transformados em índices adimensionais relativos. A soma destes valores, considerando os seus respectivos pesos, fornece um índice relativo entre as bacias, na qual quanto maior for a soma, mais suscetível à corridas de massa é a bacia.

Os pesos utilizados são baseados nos pesos adotados na metodologia de Kanji (2001) e Gramani (2001). Alguns parâmetros foram considerados de maneira diferente da metodologia acima citada, com intuito de se obter uma maior diferenciação e melhor comparação entre as bacias. Ao invés de utilizar a declividade média da bacia, usou-se a %

de área com inclinação maior que 30°, que representa as áreas mais suscetíveis a escorregamentos e que podem mobilizar materiais das encostas.

Outro parâmetro considerado foi a circularidade da bacia, que expressa o quanto a bacia se aproxima da forma circular, e portanto, o tempo de concentração de águas superficiais da mesma. Bacias mais circulares apresentam menor tempo de concentração, sendo mais críticas para a geração de cheias e corridas de massa (IPT, 2002). Quanto mais próximo da unidade, maior a circularidade da bacia, por isso, adotou-se o inverso da circularidade, para manter uma relação direta entre o valor do fator e o grau de suscetibilidade. A fórmula do índice de circularidade é dada por :

$$C = P/2\pi r \quad (\text{Villela \& Matos, 1975})$$

onde:

C = índice de circularidade

P = perímetro da bacia

$2\pi r$ = circunferência de um círculo de área igual à área da bacia

Tabela 11: Soma dos índices adimensionais ponderados e ordem de suscetibilidade.

Fatores	Peso	Bacia 1	Bacia 2	Bacia 3	Bacia 4	Bacia 5	Bacia 6	Bacia 7	Bacia 8	Bacia 9
% de área com inclinação > 30°	2,5	4,193	3,296	2,500	5,012	5,711	4,830	4,850	3,142	3,142
1/Area total	0,5	1,853	2,403	1,672	0,500	1,375	1,120	2,441	1,468	2,451
Amplitude da bacia	1	1,072	1,117	1,116	1,016	1,016	1,063	1,053	1,030	1,000
Inclinação do canal de drenagem	0,5	0,701	0,587	0,562	0,500	0,702	0,521	0,653	0,633	0,612
Inverso da circularidade	0,5	0,656	0,504	0,624	0,536	0,692	0,604	0,604	0,648	0,500
Soma dos índices		8,475	7,907	6,474	7,564	9,496	8,138	9,600	6,922	7,704
Índices relativos		1,31	1,22	1,00	1,17	1,47	1,26	1,48	1,07	1,19
Ordem de suscetibilidade		7	5	1	3	8	6	9	2	4

Analizando os índices relativos de suscetibilidade (Tabela 11), verifica-se que as bacias 5 e 7 são as mais suscetíveis a processos de corrida de massas, sendo cerca de 50% mais suscetível que a bacia 3, de menor suscetibilidade. Comparando-se os resultados obtidos pelos dois métodos, fica clara a diferença entre estas duas bacias, que correspondem à suscetibilidade alta calculada pelo método anterior, das outras bacias que correspondem à suscetibilidade moderada (Tabela 12).

Tabela 12: Comparação entre os resultados obtidos pelos dois métodos

Bacias	Grau de Suscetibilidade	Índice Relativo de Suscetibilidade	Suscetibilidade
Bacia 7	66,1	1,48	Alta
Bacia 5	66,1	1,47	
Bacia 1	57,8	1,31	Moderada
Bacia 6	56,2	1,26	
Bacia 2	56,2	1,22	
Bacia 9	56,2	1,19	
Bacia 4	56,2	1,17	
Bacia 8	57,8	1,07	
Bacia 3	56,2	1,00	

Desta forma, pode-se concluir destas análises que ambos os métodos se completam, sendo que o primeiro fornece uma boa estimativa do grau de suscetibilidade das bacias, e o segundo permite um refinamento dos dados possibilitando uma comparação mais detalhada entre as bacias e uma hierarquização destas quanto ao grau de suscetibilidade.

10. CONCLUSÕES

O SIG revelou-se como uma excelente ferramenta na quantificação dos diferentes graus de suscetibilidade a escorregamentos. Seu uso permitiu que a análise fosse feita nas classes resultantes dos cruzamentos dos condicionantes, e não em cada condicionante isoladamente. Este procedimento evitou que as influências de cada condicionante fossem sobrepostas, ou seja, consideradas mais de uma vez, o que pode induzir a conclusões errôneas quanto à suscetibilidade total da classe ou área real do terreno.

Foram definidas quatro classes de grau de suscetibilidade a escorregamento: baixo, médio, alto e muito alto. As áreas com grau de suscetibilidade muito alto são cerca de 15 a 30 vezes mais suscetível que as áreas de baixo grau de suscetibilidade. As áreas com alto grau de suscetibilidade são cerca de 10 a 20 vezes mais suscetíveis que as áreas de menor suscetibilidade. Já a classe de grau médio apresenta índices de suscetibilidade 5 a 10 vezes superior à classe de grau baixo.

Ressalta-se que apesar do SIG ser uma ótima ferramenta na análise de dados e cruzamento das cartas temáticas, deve-se sempre ter como fundamento o entendimento da dinâmica dos processos de instabilidade para obtenção de bons resultados. Como exemplo disto, cita-se que o condicionante sentido de mergulho da encosta não foi utilizado no cruzamento das cartas temáticas para elaboração da carta de suscetibilidade, pois se verificou que este condicionante não é significativo para processos de escorregamentos translacionais em decorrência destes envolverem delgadas espessuras de material, onde as estruturas da rocha não têm influências.

Verificou-se na metodologia adotada, que quanto maior o número de classes geradas a partir do cruzamento das cartas temáticas, e maior as diferenças de áreas entre estas classes, pode-se induzir a um erro no cálculo de freqüência de escorregamentos, pois

como o universo amostral de áreas escorregadas é muito pequeno em relação à área total, há uma tendência das classes com áreas muito pequenas apresentarem freqüência igual a zero, o que não significa que estas classes possuem baixo grau de suscetibilidade.

A sobreposição dos dados geológico-geotécnicos na carta de suscetibilidade a escorregamentos foi uma maneira de utilizar informações de representação linear (restritas às vias de acesso). Ressalta-se que a carta de suscetibilidade a escorregamentos pode evoluir quando tais informações forem cruzadas com os outros condicionantes e quantificadas em relação ao grau de suscetibilidade.

As nove bacias hidrográficas analisadas apresentaram moderada a alta suscetibilidade à corrida de massas em virtude de suas características físicas, na qual se destacam encostas com acentuadas declividades, disponibilidade de materiais para serem removidos e alta pluviosidade.

A adaptação ao método de Kanji (2001) e Gramani (2001), a qual transformou-se os atributos dos fatores analisados em valores adimensionais, permitiu uma quantificação relativa do grau de suscetibilidade à corrida de massas entre as bacias. As bacias 5 e 7, de alta suscetibilidade, são cerca de 50% mais suscetível que a bacia 3, cuja suscetibilidade à corrida de massas é moderada.

Apesar das bacias 1 e 3 apresentarem moderada suscetibilidade à corrida de massas, ressalta-se que são as bacias com maior porcentagem de área ocupada em decorrência dos Bairros Cota 95 e 200, logo são as que apresentam maiores riscos de perdas ou danos à sociedade.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que a carta de suscetibilidade a escorregamentos e a análise de suscetibilidade à corrida de massas possam servir como subsídio para o planejamento e o gerenciamento das intervenções antrópicas na região.

Dentre as aplicações dos resultados obtidos, podem ser citadas as seguintes atividades:

- identificar áreas de risco já instalados, além de priorizar áreas mais suscetíveis para a formulação e proposição de medidas de prevenção de acidentes;
- evitar a instalação de novas áreas de risco;
- escolha de áreas sujeitas a serem ocupadas de maneira mais segura;
- escolha de áreas para a execução de obras de transposição da escarpa da Serra do Mar.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTO FILHO, O; CERRI, L.E, MACEDO, E.S. (1990). Carta geotécnica da Serra do Mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990. Anais...São Paulo: ABGE V.1, P.297-307.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. (1998). Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) - Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, SP. Cap. 15. p. 243 - 270.
- AUGUSTO FILHO, O. (2001). Carta de risco de escorregamentos quantificadas em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP). Dissertação de doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 196p.
- BARATA, F.E. (1969). *Landslides in the Tropical Region of Rio de Janeiro*. In: ICSMFE, 7., México. Proceedings, v.2., p. 507-516.
- COSTA NUNES, A.J. (1969). Landslides in Soils of Decomposed Rock Due to Intense Rainstorms. In: ICSMFE, 7., México. Proceedings, v.2, p. 547-554.
- CERRI, L.E.; PALMEIRO DO AMARAL, C. (1998). Riscos Geológicos. In: In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) - Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, SP. Cap. 18. p. 301 - 310.
- FREIRE, E.E.M. (1965). Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática. In: Rev. Construção, Rio de Janeiro, Março 1965, p.10-18.
- GRAMANI, M. G. (2001). Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos ("Debris Flows") no Brasil e comparação com alguns casos internacionais. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, USP, 372p.
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C.M. (1976). Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. In: Editora da USP/Ed. Edgard Blucher. 170 p., il.
- HASUI, Y. et al. (1994). Geologia do Pré-Cambriano. Solos do Litoral de São Paulo, cap.2, ABMS. p. 41-68.
- HESSING, J.M. (1976). Estudos geológicos geotécnicos no trecho serra da Rodovia dos Imigrantes. In: Seminário DERSA Rodovia dos Imigrantes, 1. São Paulo. Anais. São Paulo, DERSA, 1976. P.31-46.II.

INFANTE Jr., N.; FORNASARI FILHO, N. (1998). Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) - Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, SP. Cap. 9. p. 131 - 152.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1986). Levantamentos básicos nas folhas de Santos e Riacho Grande - IPT. Relatório n° 23.394.

_____. (1994). Estudos de viabilidade de construção de túneis longos para transposição da Serra do Mar, SP. IPT – Relatório n. 32.194.

_____. (2000). Reconhecimento e caracterização da potencialidade de instabilizações na Serra do Mar na área de influência do Sistema Anchieta-Imigrantes. Relatório Parcial 2. Relatório Técnico n. 58.396. 110 p.

_____. (2002). Reconhecimento, caracterização e monitoramento de locais potencialmente sujeitos a instabilizações na Serra do Mar na área de influência dos diversos sistemas de captação e abastecimento de água e de tratamento de esgoto. Relatório Técnico n. 59.123.

KANJI, M. A. (2001). *Metodología para estimativa de la vulnerabilidad del terreno com relación a flujos de detritos*. In: I Simpósio Internacional de Movimientos de Masa, Cuenca - Ecuador.

MACHADO FILHO, J.G. (2000). Estabilidade de encostas e condicionantes geológicos, geomorfológicos e estruturais, num trecho da Serra de Cubatão. Dissertação de mestrado apresentada no Instituto de Geociências da USP, 172p.

MASSAD, F.; CRUZ, P.T.; KANJI, M. A.; ARAUJO FILHO, M. A. (2000). *Characteristics and volume of sediments transport in debris flow in Serra do Mar, Cubatão, Brazil*. In: International Workshop on the debris flow disaster of December 1999. Venezuela, Caracas.

PONÇANO, W. L. et al. (1981). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. v.1. IPT. Monografias, 5.

SADOWSKI, G. (1974). Tectônica da Serra de Cubatão. Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências - USP, 131p

SADOWSKI, G. R.; KANJI, M. A.; MOTIDOME, M. J. (2001). Condicionamentos geológicos do escorregamento do km 42 da Via Anchieta, Pista Sul. In: III Conferência

Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, ABMS, Rio de Janeiro, RJ. p. 115 a 123.

VARGAS, M. (1966). Estabilização de Taludes em Encostas de Gnaisses Decompostos. In: COBRAMSEF, 3., Belo Horizonte. Anais, v.1, p. VI-32-VI-55. – Discussão: v.3., p.191-199 e 222-223.

VARGAS, M. (1985). *Discussion, Theme 3.2 – Slope Stability*. In: *Int. Conf. on Tropical Lateritic and Saprolitic Soils*, 1., Brasília, Proceedings, v. 3., p.379-381, 391-392.

VARGAS, M. (1999). Revisão histórico-conceitual dos escorregamentos da Serra do Mar. Revista Solos e Rochas, v. 22(1), p.53-83.

VIEIRA, B. C. (2001). Caracterização *in situ* da condutividade hidráulica dos solos e sua influência no condicionamento dos deslizamentos da bacia do rio Papagaio, Maciço da Tijuca (RJ). Tese de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 130p.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. (1975). Hidrologia Aplicada. São Paulo: Editora MacGraw-Hill do Brasil. 245p.

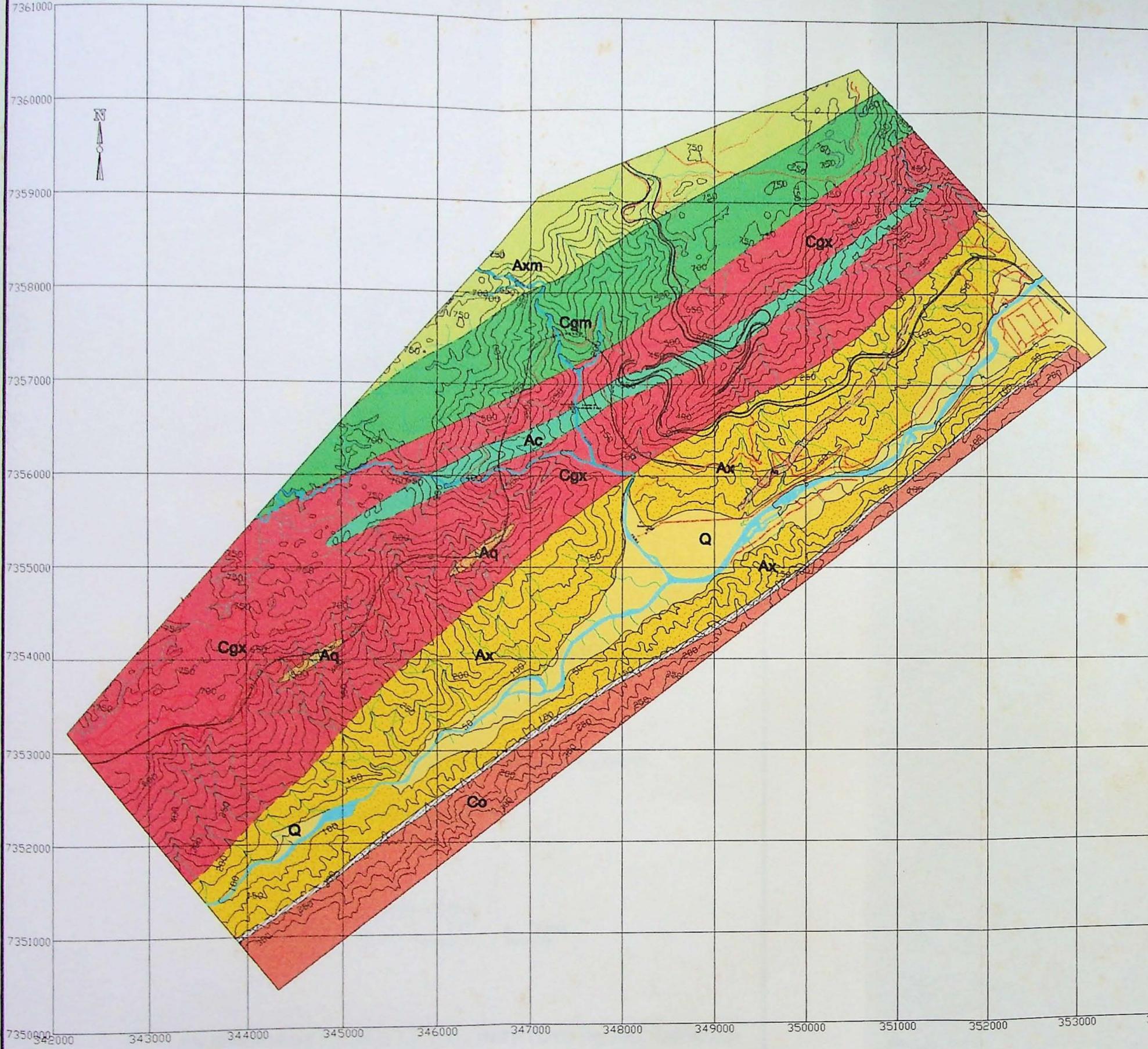
WOLLE, C.M. (1981), Microescorregimentos na Serra do Mar. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, Anais v.1., p. 773-785.

WOLLE, C. M. (1988). Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, USP, 300p.

WOLLE, C.M. & CARVALHO, C.S. (1994), Taludes Naturais. In: Solos do Litoral de São Paulo. ABMS, p.179-203.

ANEXOS

- 1. Mapa geológico**
- 2. Mapa geomorfológico**
- 3. Síntese dos dados obtidos no levantamento geológico-geotécnico**
- 4. Mapa de fotolineamentos**
- 5. Mapa de declividades**
- 6. Mapa de sentido de mergulho das encostas**
- 7. Mapa de suscetibilidade a escorregamentos**



LEGENDA

- Curvas de Nível (equidistância = 50 metros)
- Estradas e Arruamento
- Drenagem

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

QUATERNÁRIO

- Q** Sedimentos aluviais e de bacia litorânea

PRÉ-CAMBRIANO

- Brechas tectônicas, protomylonitos, milonitos e filonitos

Grupo Parabuna

- Ax Aq Ac Axm

Ax - Micaxistos e filitos com interlações de quartzitos e dolomitos

Aq - Quartzitos puros e quartzitos com moscovita e biotita

Ac - Rochas calcossilicáticas com amfíbolito, epidoto e biotita (amfíbolito xistos)

Axm - Xistos e gnaisses migmatizados

Complexo Piaçaguera

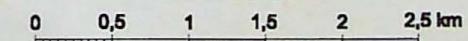
- Cgx Cgm Co

Cgx - Biotita gnaisses e micaxistos migmatizados, com lentes de quartzitos e amfíbolitos

Cgm - Migmatitos homogêneos com mesossoma gnássico e lentes de quartzitos calcossilicáticos

Co - Biotita gnaisses ocelares migmatizados

Escala Gráfica



Fonte: IPT (1986, 1994)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANEXO 01 - MAPA GEOLÓGICO

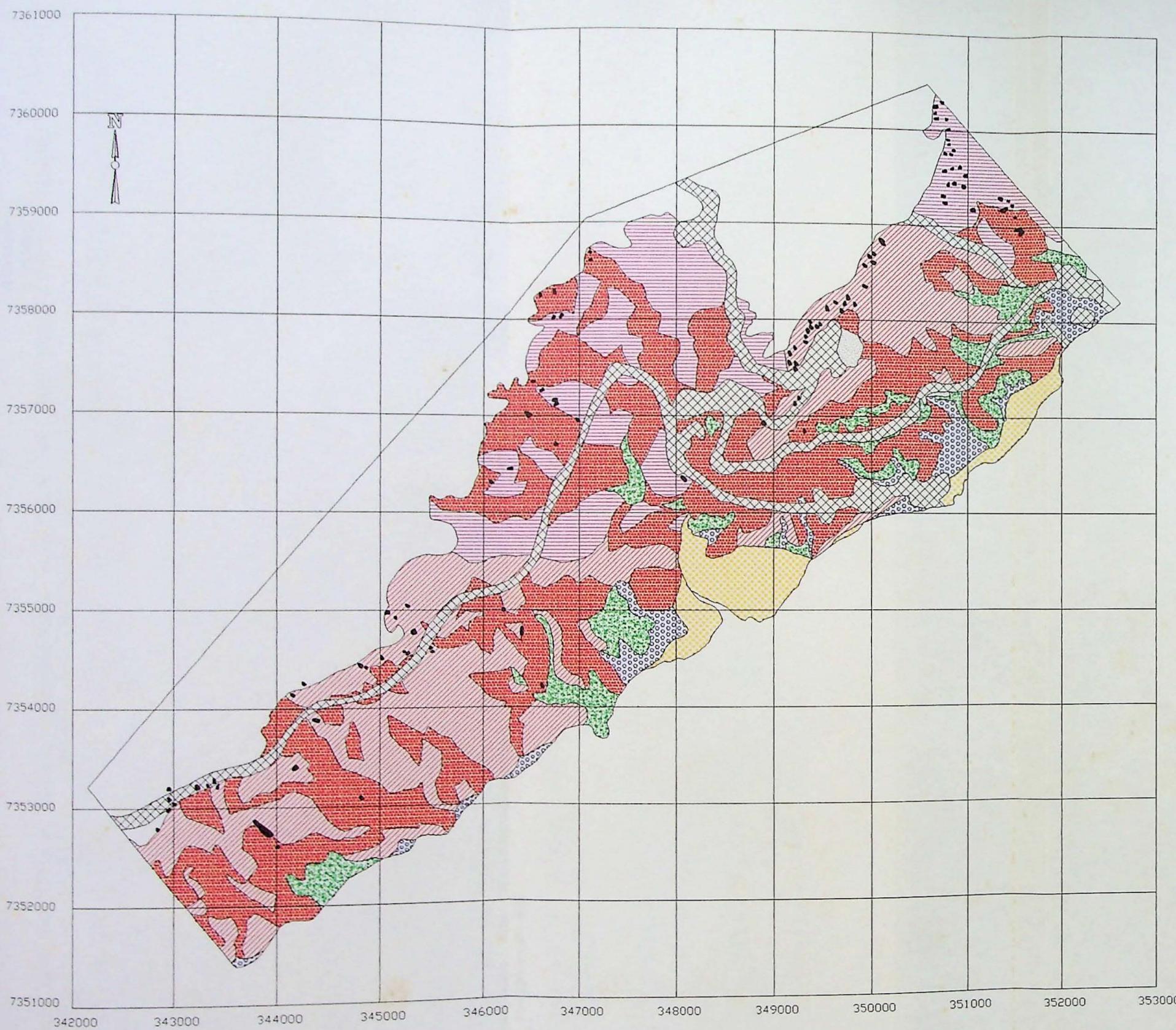
DATA: 23/07/2002

ESCALA: 1:50.000

FORMANDO: JOÃO PAULO R. OLIVITO

ORIENTADOR: LINDOLFO SOARES

COORIENTADOR: FABIO S. MAGALHÃES



LEGENDA

- PLANALTO - MORROTES PEQUENOS
- ENCOSTA RETILÍNEA FESTONADA COMPLEXA
- ENCOSTA RETILÍNEA FESTONADA EM ANFITEATRO
- ENCOSTA CONVEXA
- ENCOSTA CÔNCAVA
- CORPO DE TÁLUS
- CONE DE DEJEÇÃO ASSOCIADO A TERRAÇO E/OU PLANÍCIE ALUVIONAR
- PLANÍCIE ALÚVIO-COLUVIONAR
- ÁREA DE INTERFERÊNCIA DE OBRAS CIVIS E/OU MINERAÇÃO
- CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS

Escala Gráfica
0 0,5 1 1,5 2 2,5 km

Fonte: IPT (1986)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÉNCIAS	
ANEXO 02 - MAPA GEOMORFOLÓGICO	
DATA: 23/07/2002	ESCALA: 1:50.000
FORMANDO: JOÃO PAULO R. OLIVITO	
ORIENTADOR: LINDOLFO SOARES	COORIENTADOR: FABIO S. MAGALHÃES

Anexo 03: Síntese dos dados obtidos no levantamento geológico-geotécnico.

Trecho / ponto	Localização	Rocha	Foliação	Fratura	Grau de Alteração e fratura *	Perfil de alteração	Observações
Trecho 01	Pista norte da Anchieta, do Km 41 ao 41+200.	Biotita gnaissé bandado, granulação fina-média (1-2mm).	160/sv, 150/sv, 15/80, 155/sv, 151/82, 325/81	60/70, 59/65, 192/87, 37/80, 38/80	A3/A4; F1	Saprolito	
Trecho 02	Pista norte da Anchieta, do Km 41+200 ao 41+630	Biotita gnaissé bandado com pegmatíticos de qz e felds no fim do trecho	328/82, 160/sv, 110/sv, 140/sv, 140/75, 112/73	66/73, 118/65, 72/78, 298/82	A2/A3; F1	Solo saprolítico local	
Trecho 03	...Km 41+630 ao 41+900	Biotita gnaissé bandado	300/83, 334/80, 138/70, 305/73	72/70, 350/50, 55/46	A2/A3; F1		
Trecho 04	...Km 41+900 ao 42 alterado	Biotita gnaissé bastante	120/65, 123/86, 160/70		A3/A4; F1		
Trecho 05	...Km 42 ao 42+450	Biotita gnaissé um pouco mais qz-feldspáttico	308/40, 335/55, 338/65, 306/82, 148/sv, 145/72, 344/50	00/74, 18/75, 50/80, 23/85, 42/82, 50/65	Predomina A2 e A3, com trechos A4; F1/F2	Solo coluvionar com blocos métricos decimétricos observados localmente	Cicatriz de escorregamento (rotacional) de grandes proporções. Fotos 05 e 06.
Trecho 06	:Km 42+450 ao 42+700	Biotita gnaissé mais qz-feldspáttico	08/86, 338/40, 160/sv	48/75, 88/88	A2/A3/A4; F1/F2		
Trecho 01	Pista sul da Km 40+875 ao 41+090	Biotita gnaissé bandado, com felds e qz bastante estirados	335/sv, 157/88, 334/80, 195/80, 162/88, 326/87, 212/sv	22/85, 30/sv, 280/20, 190/75, 300/30, 242/40, 70/78, 76/30, 211/55, 100/40	A4; F1	Saprolito	
Trecho 02	Pista sul da Km 41+090 ao 41+400	Biotita gnaissé bandado alterado	166/80, 312/59, 312/74, 170/78, 340/80	290/30, 146/45, 170/25, 44/77, 346/25, 112/85	A3/A4	Cicatriz de pequenas dimensões de escorregamento estruturado.	
Trecho 03	Pista sul da Km 41+400 ao 42	Biotita gnaissé bandado	324/74, 140/88, 313/75	288/61, 165/65	Predomina A3 com trechos A4; F1		Observam-se 3 cicatrizes, sendo duas de grandes dimensões. Falha - 170/15 com estria 128:38
Trecho 04	...Km 42+050	ao				Trecho sobre viaduto	
Trecho 05	...Km 42+050 ao 42+360	Gnaissé finamente bandado com porções de granulação maior (2-3mm)	332/75, 314/75, 265/73, 258/48, 149/88	332/75, 50/82, 03/20, 51/50	A3; F2	Solo superficial < 0,5 m observado no final do trecho	
Trecho 06	...Km 42+360 ao 42+740	Gnaissé finamente bandado mais porções com estrutura ocelar	302/61, 331/70, 144/85, 318/71, 314/84, 314/72	346/05, 306/81, 147/34, 347/9, 290/12	A2/A3; F1	Solo coluvionar no fim do trecho.	

Trecho 07	...Km 43+200	42+740	ao	Gnaisse de granulação fina a média	296/71 (// fratura), 297/78, 315/75, 314/76, 346/68, 322/69, 299/82	296/71 (// fratura), 297/78, 315/75, 346/68, 322/69, 299/82	A2/A3/A4; F1/F2	Solo superficial de 0,5 a 1,5 m localmente,	Observa-se abatimento
Trecho 08	...Km 43+600	43+200	ao	Gnaisse fino, gnaisse granítico e gnaisse ocelar (fim do trecho)	353/65, 350/60, 335/70, 320/70, 320/80, 312/50 (prov. Falha)	63/85, 270/60, 54/75, 235/20, 258/65, 268/85, 104/60 (prov. Falha)	A2/A3; F1	Solo superficial pouco espesso	Observa-se uma pequena ruptura estruturada no talude e blocos desarticuláveis localmente.
Trecho 09	...Km 43+600	43+600	ao Km 44	Gnaisse ocelar a finamente bandado, com lente de rocha calciosilicática no fim do trecho	315/50, 320/subv., 310/85	270/30, 60/80	A2/A3/A4; F2	A espessura do solo superficial varia de < 0,5 m até 2,0 m	
Trecho 10	Km 44	ao Km 44+300		Gnaisse (granítico/ bandado), com lentes de quartzito	340/85; 320/65; 320/80; 316/75; 305/80; 310/82; 155/55	100/60; 130/40; 35/72; 50/55; 30/80; 194/30; 06/32; 330/50; 325/30; 150/88; 144/25; 60/80	25/80; A2/A3; F2	Observou-se capreamento de solo coluvionar decímetrico, localmente, verificou-se até 2m de solo transportado.	Observou-se capreamento de solo coluvionar decímetrico a métrico
Trecho 11	Km 44	ao Km 44+550		Gnaisse finamente bandado	322/80; 310/75; 300/20; 320/40; 322/55; 320/45; 318/40; 318/50	226/70; 210/86; 242/80; 255/82; 154/50	170/35; A3/A4, localmente F3	Observou-se no inicio do trecho (anfiteatro), um capeamento de solo coluvionar decímetrico a métrico	Observou-se cicatriz com 10 m de largura por 15 m de comprimento e 1,5 m de espessura de solo coluvionar no inicio do trecho
Trecho 12	Km 44+550	44+700	ao Km 44+900	Gnaisse finamente bandado	320/15; 338/30; 300/20	148/65; 148/70; 240/60; 140/75; 226/75	A3; F1	Ocorrência de tálus (blocos m a dm), com pelo menos 2,0 metros de espessura	Cicatriz na altura do km 44 + 650, dimensão aproximada de 10 m de largura por 10 m de comprimento, proteção de concreto projetado (com drenos)
Trecho 13	Km 44+700	44+900	ao Km	Depósito de tálus				Ocorrência de tálus (blocos dm, com pelo menos 2 metros de espessura)	Cicatriz na altura do km 44 + 650, dimensão aproximada de 10 m de largura por 10 m de comprimento, proteção de concreto projetado (com drenos)
Trecho 14	Km 45+200	44+900	ao Km	Gnaisse bandado	330/75; 326/85; 334/75; 332/70	272/45; 252/80; 60/75; 154/40; 22/65; 58/85; 95/20; 152/25; 256/75; 212/65	A3; F1	Solo coluvionar com espessura < 0,5 m.	Cicatriz no inicio do trecho com proteção superficial asfáltica
Trecho 15	Km 45+200	45+550	ao Km	Gnaisse bandado	340/80; 328/50	258/50; 140/50	A2/A3; F1	Perfil de alteração não observado devido ao corte	Perfil de alteração não observado devido ao corte
Trecho 16	Km 45+550	45+900	ao Km	gnaisse finamente bandado	326/50; 340/75	244/17; 162/40; A4; F1		Cicatriz com proteção	

Trecho 17	Km 45+920 ao Km 46+070	Gnaisse bandado a maciço	337/80; 320/80; 320/85	140/20	Pouco espesso	asfáltica.
Trecho 18	Km 46+070 ao Km 46+400	Gnaisse bandado a maciço	340/85	36/80; 28/70; 105/85; 50/05; 330/65 (provável falha)	A2; F2	
Trecho 19	Km 46+400 ao Km 46+540	Gnaisse bandado com lentes calciosilicáticas	328/80; 340/85; 220/75	240/85; 60/85; A3/A4; F3	A2/A3; F2	Solo superficial pouco espesso
Trecho 20	Km 46+540 ao Km 46+820	Gnaisse bandado	330/45; 262/25; 290/25; 89/70; 300/80	256/89; 156/85; 55/65; 50/80; 300/80; 110/85; 192/88	A3	Solo espessura determinada
Trecho 21	Km 46+900 ao Km 47+200	Gnaisse migmatizado	320/20	207/83; 60/60; 54/80; 58/70	A4; F2	
Trecho 22	Km 47+200 ao Km 47+800	Gnaisse finamente bandado com alternância de gnaisse migmatítico	328/80; 322/40; 300/30; 300/45; 320/45	222/70; 15/75; 68/85	A4	Observaram-se aproximadamente 2,0 m de saprolito e 0,5 m de solo saprolítico.
Trecho 23	Km 47+800 ao Km 48	Depósito de tálus			Ocorrência de corpo de talus com blocos métricos, matriz argilosa e espessura superior (ou igual) a 5 metros. Maciço rochoso não observado.	Foram observadas duas rupturas em tálus no trecho, uma com proteção superficial de concreto projetado.
Trecho 24	Km 48 ao Km 48+400	Gnaisse bandado	345/55; 334/55; 290/75	264/90; 122/15; A2/A3; F2	Perfil não observado devido ao corte.	
Trecho 25	Km 48+400 ao Km 48+700	Gnaisse bandado	290/35; 310/55		A4; F1	
Trecho 26	Km 48+700 ao Km 49	Ocorrência de corpo de talus. Maciço rochoso não observado.				
Trecho 27	Km 49 ao Km 49+200	Biotita gnaisse finamente bandado	328/49; 335/60; 328/41; 308/69; 284/50	331/52; 186/50; 349/85; 320/84; 214/60; 13/69; 170/27	A2/A3/A4; F2	
Trecho 28	Km 49+200 ao Km 49+350	Biotita gnaisse finamente lentes de quartzito e xisto.	310/40; 298/65	225/62; 157/51; 18/55	A3/A4; F1/F2	Espessura determinada
Trecho 29	Km 49+350 ao Km 49+500	Ocorrência de corpo de talus. Maciço rochoso não observado.			Corpo de (anfiteatro), espessura maior ou igual a 3,0 m.	tálus com maior ou igual a 3,0 m.
Trecho 30	Km 49+500 ao Km	Biotita gnaisse finamente	335/70; 318/30; 331/36;	245/75; 80/85; A4; F1	Observou-se solo	solo

	49+800	bandado	303/25; 318/40	252/75; 165/80; 148/50, 225/88	saprol. maduro com cerca de 1,0 m e um capamento de solo coluvionar < que 0,5 m.
Trecho 31	Km 49+800 ao Km 49+850	Gnaissse finamente bandado quartzoso	304/55; 310/52	193/65; 160/70	A2; F1
Trecho 32	Km 49+850 ao Km 51+050	Depósito de talus			Depósito de talus com espessuras decamétricas.
Trecho 33	Km 51+050 ao Km 51+800	Filito grafitoso com intercalação de quartzito	312/60; 325/65; 304/40; 338/60; 322/50; 328/50; 321/65	221/75; 94/48; 234/89; 223/75; 30/71	A2/A3/A4; F1 Solo coluvionar com espessura média de 2,0 m
Trecho 34	Km 51+800 ao Km 52+800	Ocorrência de depósito de talus.			Ocorrência de depósito de talus.
Trecho 01	Estrada de serviço (ver localização na figura 04)	Filito, quartzo filito e localmente filito grafítoso	306/70, 310/85, 305/80, 278/72, 133/75	223/86, NS/79, N10/80, N20/78	A2/A3 Solo coluvionar em geral < 1 m, atingindo 1,5 m localmente
Trecho 02	Estrada de serviço	Filito			A3/A4 Solo coluvionar com espessura centímetrica
Trecho 03	Estrada de serviço	Filito com lentes de quartzito	305/66, 320/49	A3	Solo coluvionar no geral > 1 m, localmente > 2 m
Trecho 04	Estrada de serviço	Filito com lentes de quartzito	302/35, 312/30	A3	Espressura de 0,5 a 1,5 m de solo superficial, com blocos dc a m de quartzito
Trecho 05	Estrada de serviço	Filito com lentes de quartzito	310/37, 318/25, 157/35, 293/80 (Z. C), 296/58, 305/58	053/62, A3/A4 Cicatriz de escor. com translacional com dimensões de 20 m de alt., 8 m de larg. e 1,5 m de espessura	Foto 02. Cicatriz de escor. com translacional com dimensões de 20 m de alt., 8 m de larg. e 1,5 m de espessura
Trecho 06	Estrada de serviço	Filito	312/81; 334/40	A3	Perfil de alteração com espessura variando de 0,5 a 2 metros
Trecho 07	Estrada de serviço	Filito, quartzito, e quartzo filito	312/81; 334/40	A3/A4 No geral solo transportado	No observa-se cicatriz com pouca surgência

Trecho 08	Estrada de serviço	Quartzito					espesso (< 0,5 m). Solo saprolítico a saprolito, com espessura média de 1,5 m.
Trecho 09	Estrada de serviço	Gnaissé bandado; gnaisse granítico, lentes de quartzito intercaladas (contato gnaisse/filito)	320/80, 322/73, 315/75 310/70	215/30, 156/40, 060/90	252/85, 020/70,	A3/A4 A1/A2, F1	Observou -se solo coluvionar com espessura média de 2 m, com blocos dm a cm. Solo superficial pouco espesso (< 0,5 m)
Trecho 10	Estrada de serviço	Gnaissé bandado	300/65, 322/73, 315/75	180/10, 76/10	A2/A3, F1	Solo superficial pouco espesso (< 0,5 m)	Observa-se surgência de água no talude
Trecho 11	Estrada de serviço	Gnaissé finamente bandado com lentes de quartzito	300/85, 340/50, 300/70	072/20	A3/A4	Solo superficial no geral > que 0,5 m, chegando a 2,0 m	Cicatriz a jusante da pista protegida com concreto projetado, largura aproximada de 12 m
Trecho 12	Estrada de serviço	Gnaissé bandado	328/60		A4	Observou-se solo superficial, com espessura média de 1m, chegando localmente a > 2 metros e solo saprolítico + saprolito com espessura média de 1,5 m	Observa-se cicatriz (alt. de 8 m) em talude muito inclinado
Trecho 13	Estrada de serviço	Biotita bandado	finamente gnaisse	124/88, 338/78, 315/75, 087/70, 071/80	151/45, A1/A2, F1/F2	Solo coluvionar residual maduro com espessura média de 2 metros	Observa-se pequena cicatriz (alt. de 8 m) em talude muito inclinado
Trecho 14	Estrada de serviço	Gnaissé bandado	326/69, 318/50	55/84	F1	Solo superficial pouco espesso, atingindo no máximo 0,5 m	
Trecho 15	Estrada de serviço	Gnaissé bandado, com lentes de quartzito	290/70; 290/80	04/65; 200/85	A1/A2, F1	Observa-se até 2 m de perfil de alteração O solo coluvionar apresenta espessura média de 1 m,	4 cicatrizes, sendo a maior delas de 40 m de comp. e 4 m de largura, com surgência d'água
Trecho 16	Estrada de serviço	Biotita gnaissé de granulação grossa	346/65; 328/70; 350/60; 70/80; 68/75; 82/80; 80/80; 230/35		A1/A2	Solo coluvionar com espessura de 1 m	Degrado de 0,5 m de altura, na encosta, no inicio do trecho.
Trecho 17	Estrada de serviço	Gnaissé granítico	320/65, 360/55; 335/50	52/85; 120/89; A1/A2, F1	O	solo superficial	Observa-se três

			122/86; 144/25	apresenta espessura média de 1 m	cicatrizes de pequenas dimensões (a maior com 6 m de largura)
Trecho 18	Estrada de serviço	Gnaisse, com níveis de biotita gnaisse finamente bandado	320/80; 335/80; 335/85; 02/05; 52/85; 254/85; 06/10; 68/70; 248/85; 165/05; 86/88; 312/70	O solo apresenta média de 1 m	Blocos desarticuláveis na encosta. Observam-se pequenas cicatrizes.
Trecho 19	Estrada de serviço	Gnaisse ocelar intercalado com níveis de biotita gnaisse finamente bandado	338/80; 342/80; 342/82 50/70; 234/20; 70/70; 272/65; 20/85; 250/20	Solo coluvionar em geral pouco espesso	Cicatriz de grandes dimensões envolvendo uma espessura de 4 m do maciço rochoso alterado (Fotos 03 e 04)
Trecho 20	Estrada de serviço	Biotita gnaisse	112/85, 311/75, 326/87 226/85, 45/42	A3, F1 Solo coluvionar espesso (< 0,5 m)	Solo coluvionar espesso (< 0,5 m) superficial pouco
Trecho 21	Estrada de serviço	Gnaisse finamente bandado (localmente porções mais xistosas)	02/35, 306/55, 312/32	A4 Solo aparentemente espesso e saprolítico	Pequena cicatriz a montante da pista
Trecho 22	Estrada de serviço	Biotita gnaisse com porções migmatizadas e milonitizadas localmente	155/86, 312/52, 152/90, 34/85 (//frat)	34/80, 111/60, A1/A2/A4	Solo superficial pouco espesso
Trecho 23	Estrada de serviço	Gnaisse fino intercalações xistosas	304/54, 310/40, 318/81, 328/81, 330/90	122/30, 291/21, 67/84, 347/45	Solo coluvionar muito pouco espesso (aprox. 25 cm)
Trecho 24	Estrada de serviço	Gnaisse com porções finamente bandadas	322/82, 329/74, 294/78, 294/40, 328/50	331/65, 327/66, 182/03	Solo superficial pouco espesso
Trecho 25	Estrada de serviço	Gnaisse (granulação média), localmente mais biotítico	340/35, 309/54, 333/81, 318/64, 315/85, 325/62, 346/80, 333/72, 156/85, 126/84, 114/86	124/12, 60/69, 82/62, 251/81, 96/54, 14/50, 149/88 (// foliação)	Solo superficial em geral < 0,5 metro. Observou-se uma espessura de 0,5 a 1,0 m de saprolito no inicio do trecho
Trecho 26	Estrada de serviço	Gnaisse finamente bandado, com lentes feldspáticas mais localmente	132/70, 324/52	251/70	A2/A3, F1/F2 Solo superficial pouco espesso (< 0,5 m).
Trecho 27	Estrada de serviço	Gnaisse; quartzo			Observou-se saprolito localmente
Trecho 28	Estrada de Serviço	Biotita gnisse finamente bandado, localmente mais	326/85	NW/subvertical	Observou-se depósito de até 0,5 m de solo coluvionar, com blocos dm. No geral solo superficial pouco espesso

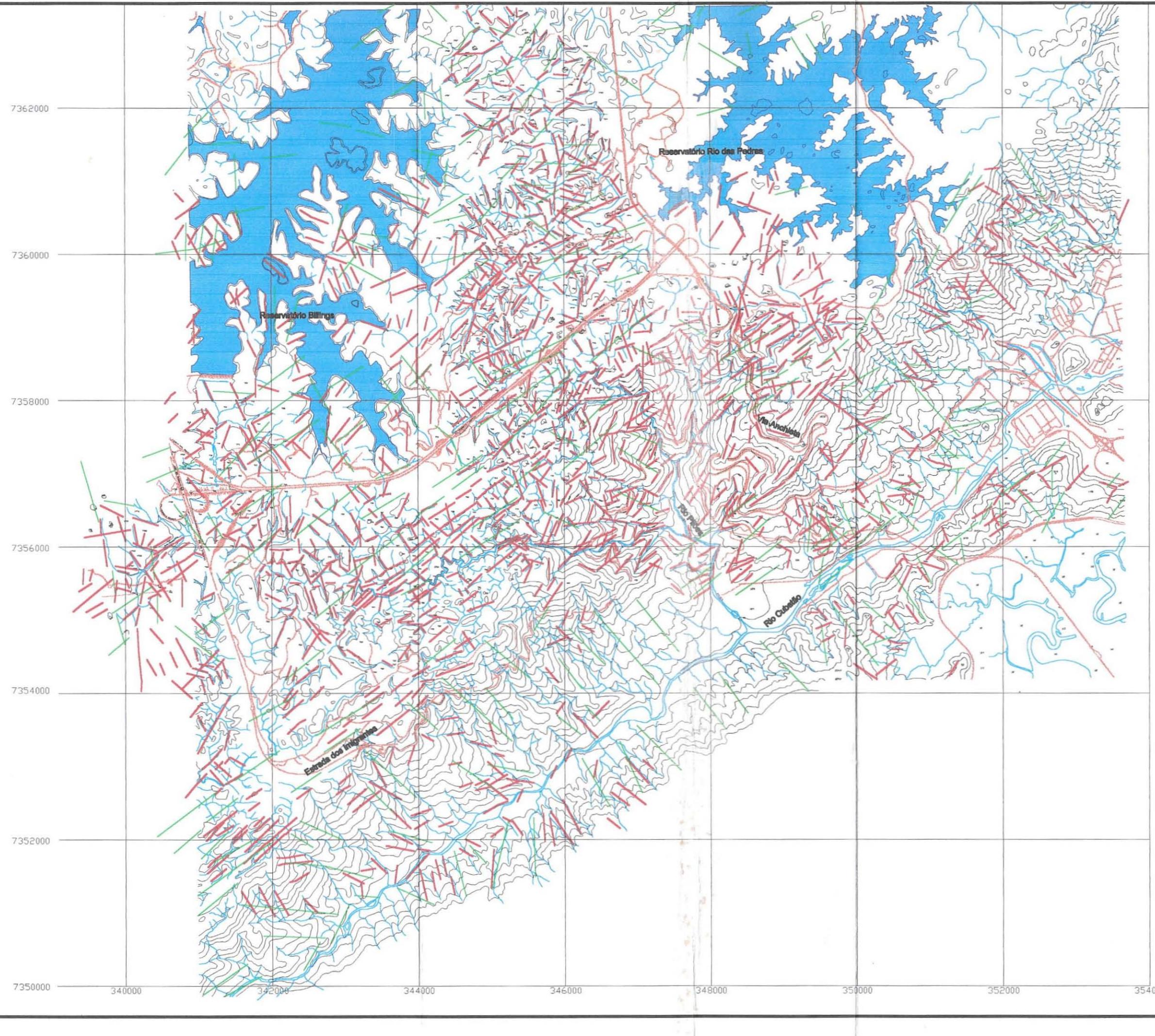
Trecho 29	Estrada de serviço	quartzo-feldspático mais granítico	Gnaisse bandado, localmente 328/70, 330/60, 290/20	12/55, 80/60	A2/A3, F1/F2	Solo coluvionar espesso (< 0,5 m)	superficial - translacional drenagem (Ponte 11), envolvendo solo e porção alterada do maciço - talude/paredão rochoso com possível queda de blocos (final do trecho).
Trecho 30	Estrada de serviço	Gnaisse porções mais graníticas	Gnaisse bandado, com 325/ 25; 328/ 65; 340/ 50	80/90, 360/90	A3/A4, F1	Solo superficial espessura < 0,5m	cicatrizes
Trecho 31	Estrada de serviço	Gnaisse bandado (aspecto migmatítico, bandamento irregular). Observou-se lente de quartzito localizada.	320/70, 300/50	310/subv, 220/65, 240/15, 250/90, (falha)	A1/A2, F1/F2	Solo coluvionar espesso (< 0,5 m). Observou-se localmente	Cicatrizes na encosta
Trecho 32	Estrada de serviço	Gnaisse bandado	320/ 80; 328/ 50	120/ 50			
Trecho 33	Estrada de serviço	Biotita finamente intercaladas com porções mais quartzo-feldspáticas de granulação grossa)	358/ 85; 164/62; 50/43	244/79; 154/78; 233/75; 09/31	283/75; 114/71;	Na parte inicial do trecho, o perfil de é representado por um solo coluvionar espesso (< 0,5m) sobrejacente ao maciço, sendo que do meio para o final do trecho, o perfil de alteração in situ é mais espesso	
Trecho 34	Estrada de serviço	Biotita gnaisse bandado com porções graníticas	294/40; 274/10; 248/31; 333/37; 348/41; 350/62	302/65; 250/45; 130/75	244/85;	Capeamento de solo coluvionar residual/saprolítico pouco espessos (< que 0,5 metro).	
Trecho 35	Estrada de serviço	Gnaisse bandado a finamente bandado e quartzito localmente	334/40; 318/35; 352/45; 352/49; 360/42; 340/40	240/85; 36/42; 286/55; 21/65	334/79; 268/60; 122/70;	Solo superficial espesso (< 0,5 m)	Maciço alterado (A3/A4) saprolito no inicio do trecho e A2/A3 no final, localmente fraturado
Trecho 36	Estrada de serviço	Biotita bandado	342/40; 350/35; 320/60; 325/25; 320/20	68/80; 154/70; 71/85; 138/80; 120/85; 192/60	A3/A4; F2	Observou-se coluvionar espessura e aprof., 0,5 m de solo saprolítico	solo com dimétrica, saprolítico

Trecho 37	Estrada de serviço	Gnaisse finamente bandado	07/25; 327/60; 309/80; 321/80; 343/35; 300/57	163/65; 11/05; 21/35; 149/90; 198/70; 76/57; 331/80	A4	Solo coluvionar com blocos dm a m, espessura média 1,5 m	Degrau de abatimento na encosta, a montante da pista
Trecho 38	Estrada de serviço	Gnaisse finamente bandado	56/90; 337/80; 03/80; 334/80; 349/65; 341/55	157/30	A3/A4 a saprolito	Capeamento de solo superficial pouco espesso	Cicatriz, aprox. 15 m de largura, a jusante da pista, com superfície protegida por concreto projetado
Trecho 39	Estrada de serviço	Gnaisse	356/45; 15/60; 338/25; 338/35; 51/15	147/45; 68/85; 46/77	A1/A2 (inicio do trecho) e A2/A3 (fim do trecho)	Solo coluvionar pouco espesso (< 0,5 m)	Cicatriz rasa e de pequenas dimensões no corte
Trecho 40	Estrada de serviço	Gnaisse granítico	338/22; 345/50		A2/AA3; F2	Solo superficial (residual + coluvionar), com pelo menos 1,5 m de espessura	Perfil de alteração com espessura > 1,0 metro
Trecho 41	Estrada de serviço	Gnaisse			A3/A4		Ruptura condicionada por estruturas, com largura aprox. de 40 m e espessura de material movimentado aprox. 15 m, envolvendo solo superficial e porção alterada do maciço
Trecho 42	Estrada de serviço	Gnaisse finamente bandado	305/45; 334/75; 348/72; 20/26; 20/22	72/86		Solo coluvionar pouco espesso (cm a dm).	Foram observadas cicatrizes rasas na encosta a montante da pista
Trecho 43	Estrada de serviço	Gnaisse	350/40; 342/30; 315/55	144/72; 235/78; 242/80; 110/45; 60/70	A2/A3; F2	Solo superficial pouco espesso	
Trecho 44	Estrada de serviço	Gnaisse (granulação fina)	302/86; 304/74; 60/54; 326/30	238/56; 152/75	A3/A4	Solo superficial transportado, no geral pouco espesso	Maciço localmente muito fraturado e desarticulado.
Trecho 45	Estrada de serviço	Gnaisse bandado/ oscelar	300/35	110/60; 50/85	A3; F1/F2	Solo superficial pouco espesso (dm).	Ocorrem trechos de maciço extremamente alterado com horizonte de saprolito.
Trecho 46	Estrada de serviço	Gnaisse bandado (granulação média a grossa) com porções finamente bandadas	275/65; 236/35; 50/05; 295/36; 290/35	64/90; 110/85; 82/82; 335/70; 260/75; 260/90	A3/A4		Ruptura rasa no talude, de pequenas dimensões
Trecho 47	Estrada de serviço	Gnaisse	350/35	170/65; 74/54	A3; F2		de sapiroito.

Trecho 48	Estrada de serviço	Gnaisse	336/40	80/70; 160/57	A3/A4; F2	Capeamento de solo superficial dm
Trecho 49	Estrada de serviço	Gnaisse granítico	334/75; 342/70; 345/55	75/65; 100/30; 85/80; 145/15; 90/60; 92/75	A2/A3; F2	Solo superficial transportado com espessura decimétrica
Trecho 50	Estrada de serviço	Biotita gnaisse com porções graníticas	300/60; 310/40; 340/40	155/15; 96/80; 82/75	A4	Cicatriz condicionada por estruturas, no talude
Trecho 51	Estrada de serviço	Biotita gnaisse	340/85; 10/20; 05/50; 358/60; 20/60	pouco fraturado	A4; F1	

* Notas:

- A1: Rocha sá ou praticamente sá (apresenta minerais primários sem alteração ou com alterações físicas e químicas incipientes. A rocha é ligeiramente descolorida);
 - A2: Rocha medianamente alterada (apresenta minerais medianamente alterados e a rocha é bastante descolorida);
 - A3: Rocha muito alterada (apresenta minerais muito alterados, por vezes pulverulentos e friáveis);
 - A4: Rocha extremamente alterada (apresenta minerais totalmente alterados e a rocha é intensamente descolorida, passando gradativamente para cores de solo).
- F1: 1 a 5 fraturas/m
 F2: 6 a 20 fraturas/m
 F3: > 20 fraturas/m



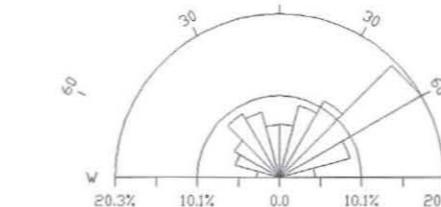
BAIRRO DOS FINCOS	
RESERVATÓRIO RIO DAS PEDRAS	CAMINHO DO MAR
BERNARDINO DE CAMPOS	RIO PASSAREÚVA RIO ITUTINGA
	RIO CUBATÃO

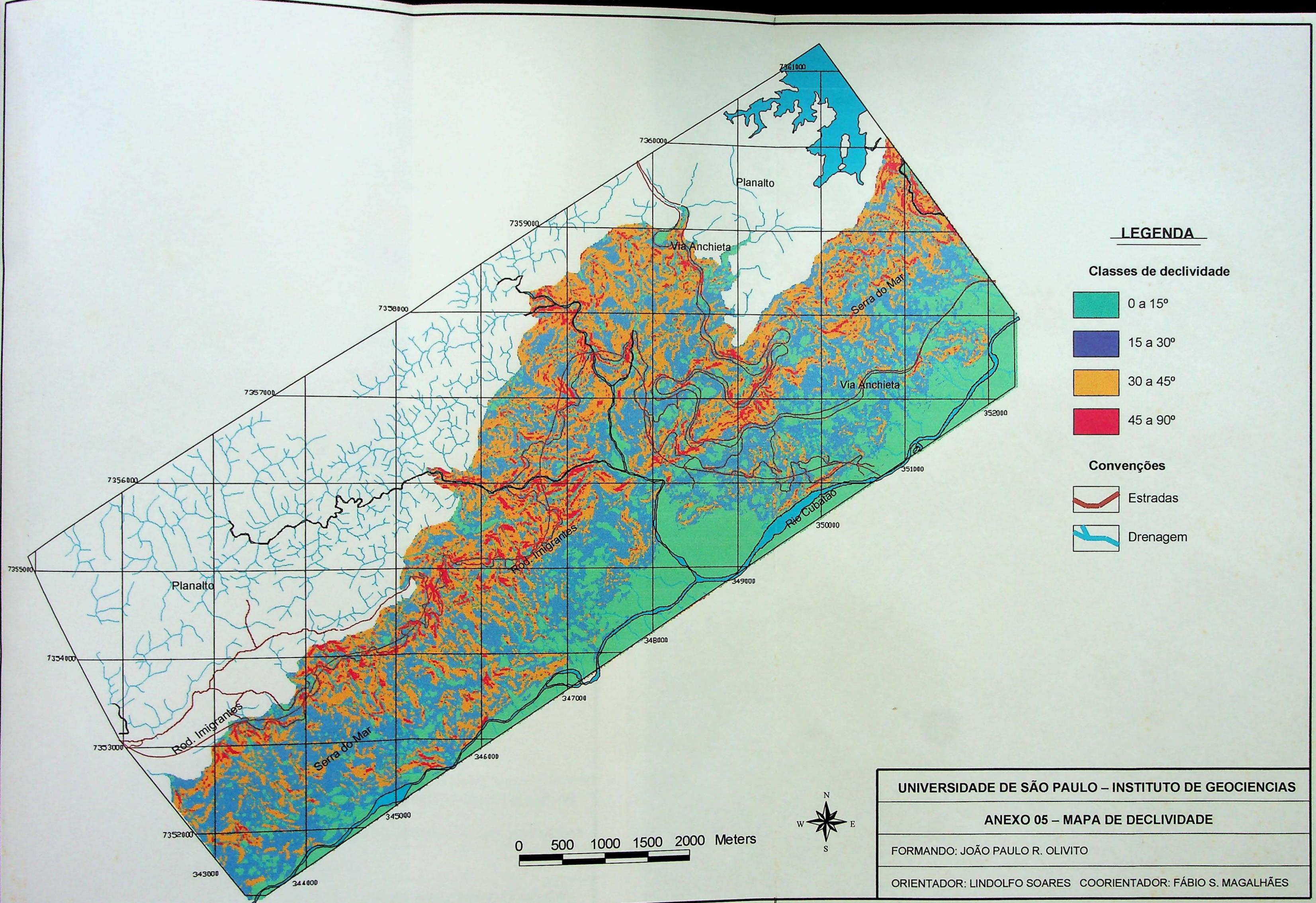
ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

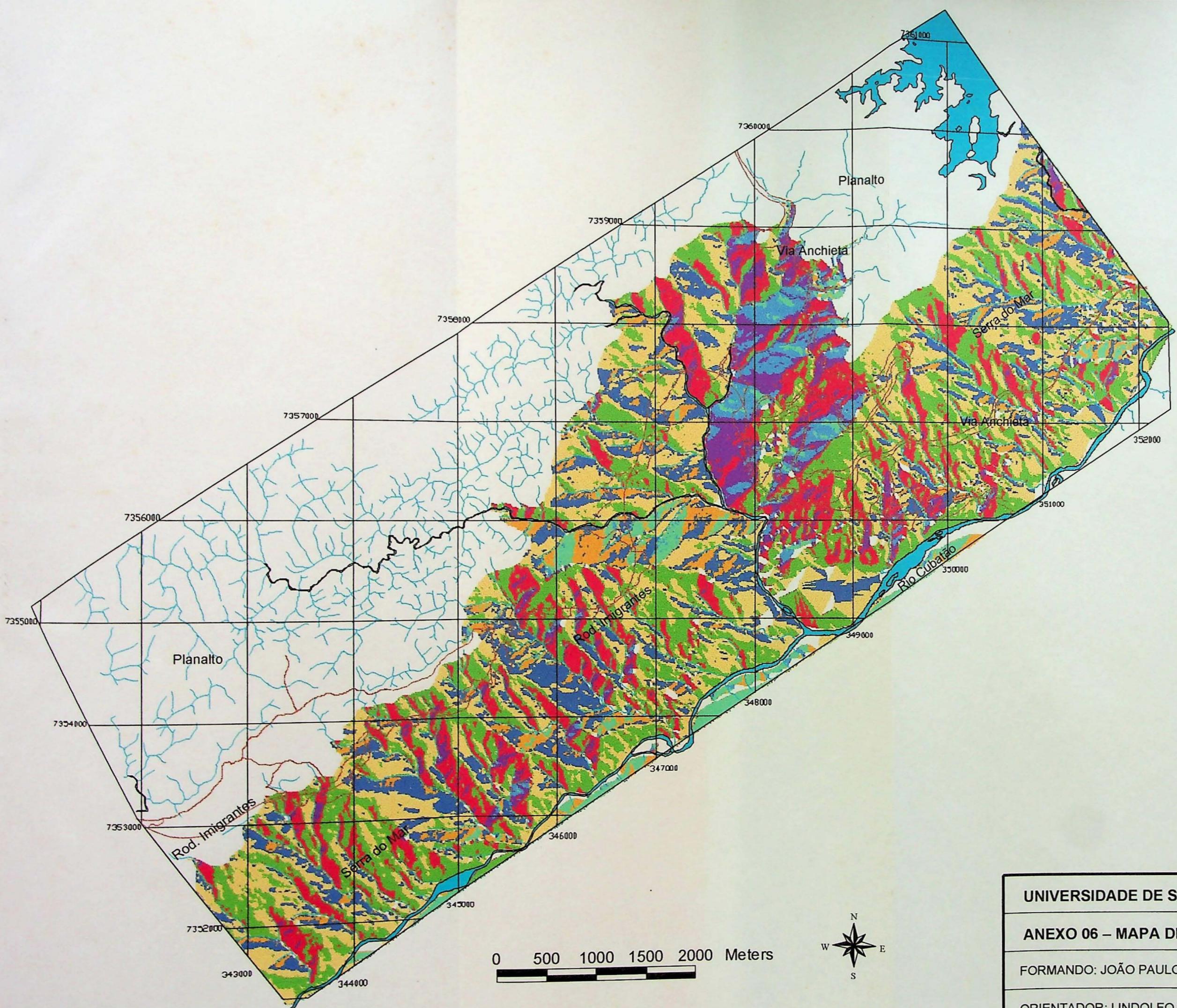
Fonte: Folhas IGC – escala 1:10.000
 SF-23-Y-C-VI-4-SE-B (Rio Passareúva)
 SF-23-Y-D-IV-3-NO-3 (Caminho do Mar)
 SF-23-Y-D-IV-3-SO-A (Rio Itutinga)

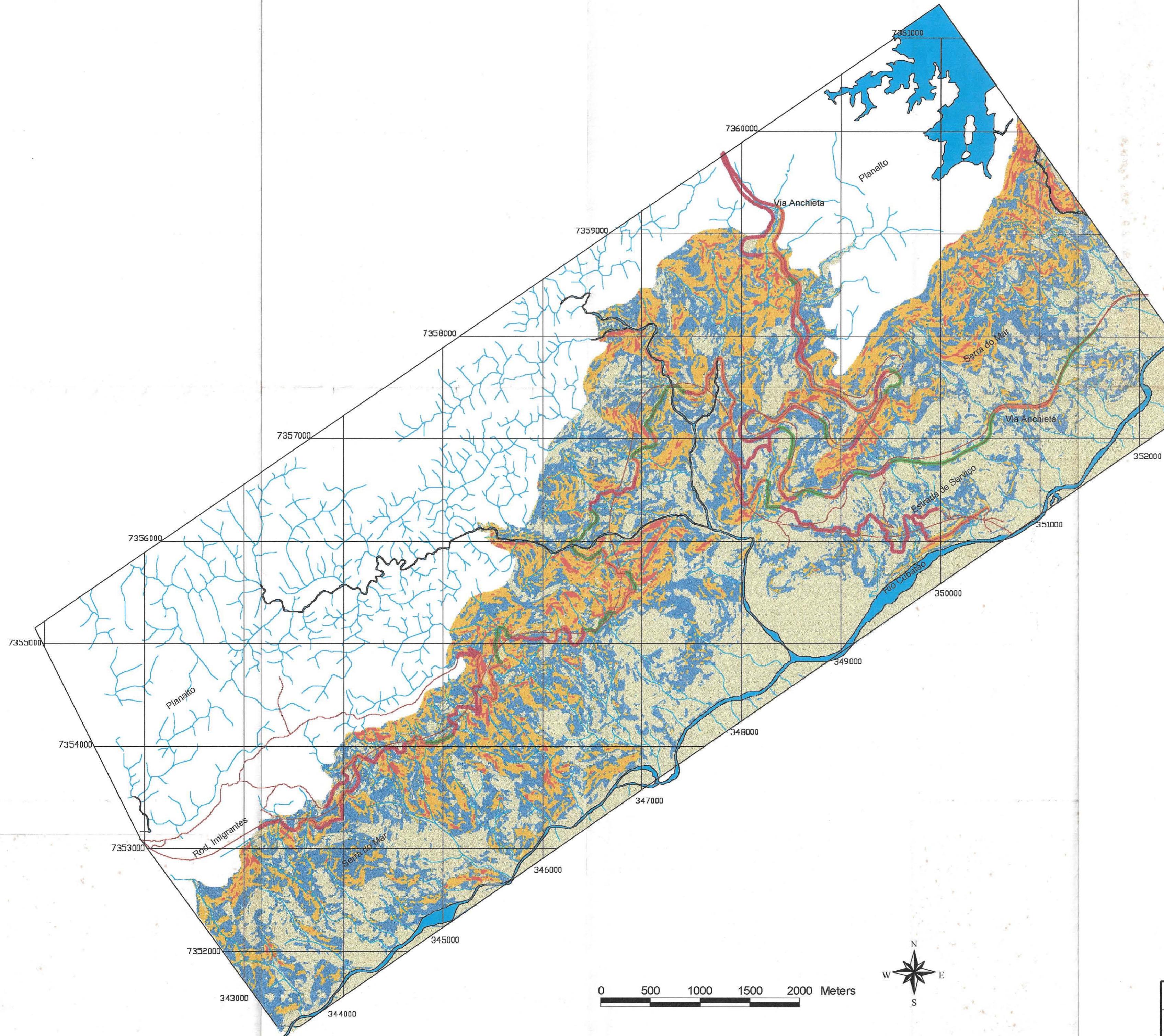
Folhas Emplasa – escala 1:10.000
 SF-23-Y-C-VI-4-SE-A (Bernardino de Campos)
 SF-23-Y-C-VI-4-NE-D (Bairro dos Fincos)
 SF-23-Y-C-VI-4-NE-F (Reservatório Rio das Pedras)
 SF-23-Y-C-VI-E-SE-D (Rio Cubatão)

ROSACEA - LINEAMENTOS 1:25.000
 TAMANHO DE LINEAMENTOS







**LEGENDA****Grau de suscetibilidade a escorregamentos**

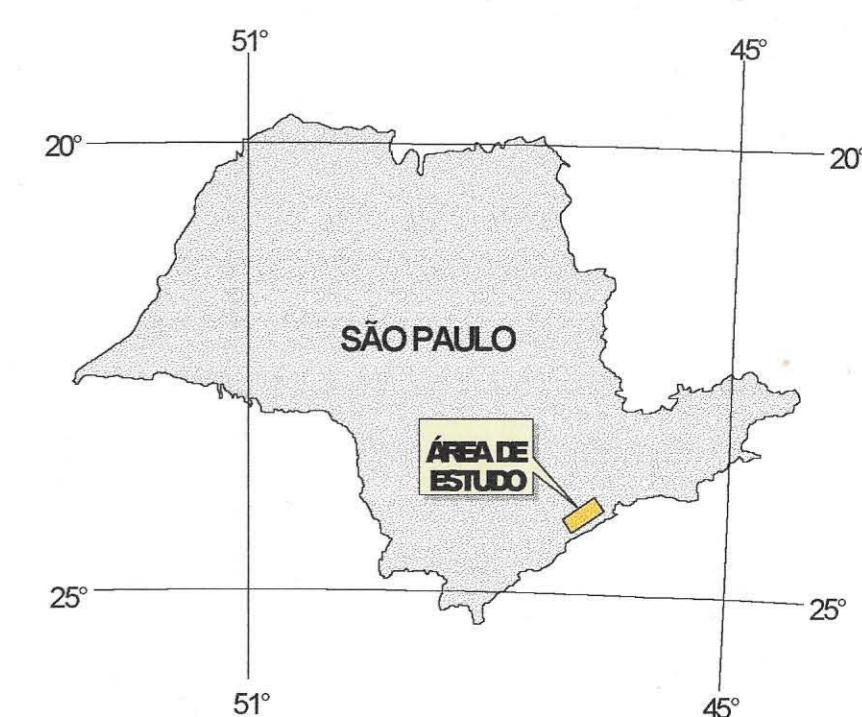
- MUITO ALTO (Red)
- ALTO (Yellow)
- MÉDIO (Blue)
- BAIXO (Grey)

Características geológico-geotécnicas do maciço

- G1 - Maciço rochoso levemente alterado a são e solo superficial em geral pouco espesso (< 0,5m) ou inexistente
- G2 - Maciço rochoso levemente alterado a alterado e solo superficial com espessuras média de 0,5 a 1,5m
- G3 - Maciço rochoso alterado a extremamente alterado e solo superficial com espessuras em geral maiores que 1,5m
- G4 - Depósitos de tálus com espessura indeterminada

Convenções

- Estradas (Brown line)
- Drenagem (Blue line)

LOCALIZAÇÃO NO ESTADO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

ANEXO 07 – MAPA DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

FORMANDO: JOÃO PAULO R. OLIVITO

ORIENTADOR: LINDOLFO SOARES COORIENTADOR: FÁBIO S. MAGALHÃES

