



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA



Rebeca Durço Coelho

**A RELAÇÃO ENTRE A ESPESSURA E GRANULOMETRIA DOS SOLOS NO
DESENVOLVIMENTO DOS ESCORREGAMENTOS RASOS**

Trabalho de Graduação Individual

São Paulo

2016

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Rebeca Durço Coelho

**A RELAÇÃO ENTRE A ESPESSURA E GRANULOMETRIA DOS SOLOS NO
DESENVOLVIMENTO DOS ESCORREGAMENTOS RASOS**

Trabalho de Graduação Individual apresentada
ao Departamento de Geografia da Faculdade de
Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Bacharela em Geografia

Orientadora: Profa. Dra. Bianca Carvalho Vieira

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Coelho, Rebeca Durço

Título: A relação entre a espessura e granulometria dos solos no desenvolvimento dos escorregamentos rasos. / Rebeca Durço Coelho. São Paulo, 2016.

Trabalho de Graduação Individual (Monografia) – Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, 2016. 56p.

Orientadora: Bianca Carvalho Vieira

1. Granulometria. 2. Escorregamentos rasos. 3. Solos.

I. Vieira, Bianca Carvalho. II. Universidade de São Paulo – Departamento de Geografia. III Título de Bacharel.

COELHO, R.D. A relação entre a espessura e granulometria dos solos no desenvolvimento dos escorregamentos rasos. Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharela em Geografia.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Bianca Carvalho Vieira

Prof. (a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. (a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. (a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

*Aos meus pais, Solange e Braz, e
à minha irmã Lídia, por todo amor.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais Solange e Braz e minha irmã Lídia, vocês são a base da minha vida e do meu ser, obrigada por todo amor, apoio e compreensão durante esta jornada.

À minha amada tia Regina, por todo incentivo nos estudos e por me apresentar a Universidade de São Paulo como uma possibilidade em minha vida.

À Prof^a Dr^a Bianca Carvalho Vieira, por me aceitar como orientanda, por toda paciência e por acreditar no meu trabalho!

À Vivian, Helen, Carol, Bianca e Tiago meu eterno obrigado pelo auxílio durante os trabalhos de campo, sem a ajuda de vocês esta etapa de trabalho seria praticamente impossível e menos divertida!

Ao Marcos, obrigada pelo auxílio durante os procedimentos de laboratório, suas dicas também foram muito valiosas. Obrigada por todas as conversas e também por todos os docinhos!

À Prof^a Dr^a Sidneide Manfredini, à Sid, por todos ensinamentos que adquiri durante minhas monitorias da disciplina Solos Tropicais e um obrigado especial também por me proporcionar as melhores experiências gastronômicas de minha graduação.

Às minhas super queridas: Denise Dias, Bruna Paixão, Ana Marília, Letícia de Paula, Gabriela Mazza, Natacha Soares, Milla Oliveira e Jéssica Costa obrigada por todos os momentos maravilhosos e engraçados que a Geografia nos possibilitou.

Aos meus queridos Felipe, Maria, Erick e Kaline, amizade construída na época do Objetivo Pompéia e que até hoje nos rende muitas risadas. Obrigada por sempre estarem na torcida por mim!

À Larissa, obrigada por me fazer enxergar as outras versões de mim mesma e ficar em paz com cada uma delas.

A todos os professores do Departamento de Geografia que contribuíram para minha formação.

A todos meus colegas que de alguma forma participaram desta etapa em minha vida!

RESUMO

A deflagração dos escorregamentos rasos está relacionada a diversos fatores geológicos, pedológicos e geomorfológicos, dentre eles às propriedades físico-mecânicas do solo. Na Serra do Mar, grande parte das rupturas ocorreram no contato entre o solo residual/solo saprolítico, no qual encontramos diferenças pedológicas significativas. Deste modo, a presente pesquisa teve como objetivo principal identificar se há uma relação entre a espessura e a granulometria dos solos e o desenvolvimento de escorregamentos rasos na bacia do Rio Guaxinduba, em Caraguatatuba (SP), área que foi fortemente atingida por escorregamentos durante a intensa chuva de março de 1967. Para tal, foram executados: a) Sondagens e coletas de amostras em dois pontos: P1 (estável) e P2 (instável); b) Granulometria e c) Confecção de mapas e análise dos dados. Os resultados mostraram que o P2 é mais propenso a instabilização durante eventos pluviométricos intensos por se encontrar numa área côncava associada à presença de descontinuidades texturais abruptas.

Palavras-Chave: Bacia do rio guaxinduba, propriedades físicas dos solos, e Caraguatatuba

ABSTRACT

The shallow landslides triggering is relationship to many geological, pedological and geomorphological factors including the physical and mechanical soil properties. In the Serra do Mar mountain range, much of the rupture occurred in the contact between residual and saprolite soil, in which we find significant differences. Thus, the goal of this research was identify the relationship between the thickness and grain size soil and the shallow landslides rupture in Rio Guaxinduba basin in the municipality of Caraguatatuba (SP), an area that was heavily affected by landslides during rainfall on March 1967. In order to carry out it: a) Surveys and sample collection at two points: P1 (stable) and P2 (unstable); b) texture and c) maps and data analysis. The results showed that for P2 is in a concave area associated with the abrupt textural discontinuities is more prone to destabilization during intense rainfall events.

Keywords: River guaxinduba basin, physical properties of soil and Caraguatatuba

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: a) Deslizamentos nas vertentes no município de Caraguatatuba em 1967; b) Deslizamentos na Serra das Araras em 1967.....	12
Figura 2: a) Esquema de escorregamento planar; e b) Cicatrizes de escorregamentos planares na região serrana do Rio de Janeiro em 2011.....	17
Figura 3: a) Esquema de escorregamento rotacional b) Escorregamento rotacional em Jaraguá do Sul, SC	18
Figura 4: a) Esquema de escorregamento em cunha; b) Área com escorregamento em cunha.....	18
Figura 5: Perfil típico de intemperismo na região Sudeste do Brasil, em rocha granítica.....	20
.....	20
Figura 6: Localização da bacia do rio Guaxinduba.....	23
Figura 7: Mapa de cicatrizes da bacia do rio Guaxinduba e localização dos pontos de coleta.....	28
Figura 8: a) Uso do trado na coleta das amostras; b) Diferenças de cor e textura nas coletas	29
Figura 9: a) Secagem das amostras; b) Provetas de 1000 ml; c) Dessecadores; d) Banco de areia.....	30
Figura 10: Mapa geológico digitalizado da bacia do rio Guaxinduba.	36
Figura 11: Mapa hipsométrico da bacia do rio Guaxinduba	37
Figura 12: Mapa de Curvatura. Nota-se que o P1 encontra-se numa área convexa e o P2 numa área côncava	39
Figura 13: Mapa de ângulo da encosta. Nota-se que o P1 e P2 se encontram na mesma classe declividade de 20 a 30°.	41
Figura 14: Vegetação do tipo Mata Atlântica no ponto de coleta P1.....	42
Figura 15: a) Amostras superficiais; b) Presença de fragmentos de quartzo; c) Coleta a partir dos 1,2m.	43
Figura 16: Argila floculada.....	44
Figura 17: Granulometria P1	45
Figura 18: Variação da areia em profundidade do P1.....	46
Figura 19: a) Área da cicatriz; b) amostra mais superficial; c) amostra mais profunda.	47
Figura 20: Argila floculada.....	48
Figura 21: Granulometria P2.	49
Figura 22: Variação de areia em profundidade P2.....	50
Figura 23: Comparação entre P1 e P2.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais tipos de movimento de massa em vertentes.	16
Tabela 2: Influência das frações (areia, silte e argila) em algumas propriedades e comportamento dos solos	21
Tabela 3: Tipos de solos encontrados na Serra do Mar	25
Tabela 4: Tempo necessário, a diferentes temperaturas para sedimentação de partículas de solo	31
	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2. OBJETIVOS	14
3. MOVIMENTOS DE MASSA E PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS	15
4. ÁREA DE ESTUDO.....	22
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1 – SELEÇÃO DA BACIA E DOS PONTOS DE CAMPO	27
5.2 – LEVANTAMENTOS DE CAMPO	29
5.3 – GRANULOMETRIA EM LABORATÓRIO.....	29
5.4 – MAPAS E ANÁLISE DOS DADOS	33
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6.1 - MAPAS GEOLÓGICO E HIPSOMÉTRICO.....	34
6.2 - MAPAS DE CURVATURA E ÂNGULO DA ENCOSTA	38
6.2. - ÁREA ESTÁVEL - P1	42
6.3 - ÁREA INSTÁVEL - P2.....	47
6.4 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS PONTOS	50
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os escorregamentos são importantes processos na evolução do relevo, especialmente em regiões montanhosas e/ou escarpadas, sendo sua compreensão, sobretudo em relação aos mecanismos de deflagração, importante devido à frequência que leva a grandes perdas econômicas, sociais e ambientais. Neste contexto, a Serra do Mar possui áreas densamente ocupadas e, devido às suas características naturais (altas declividades e altos índices pluviométricos), constitui-se num ambiente de alto risco à ocorrência de escorregamentos. No último século, grandes eventos catastróficos ligados a escorregamentos aconteceram nas áreas escarpadas da Serra do Mar, com destaque para aqueles ocorridos em 1967 na região de Caraguatatuba - São Paulo (Figura 1a) e na Serra das Araras - Rio de Janeiro (Figura 1b).

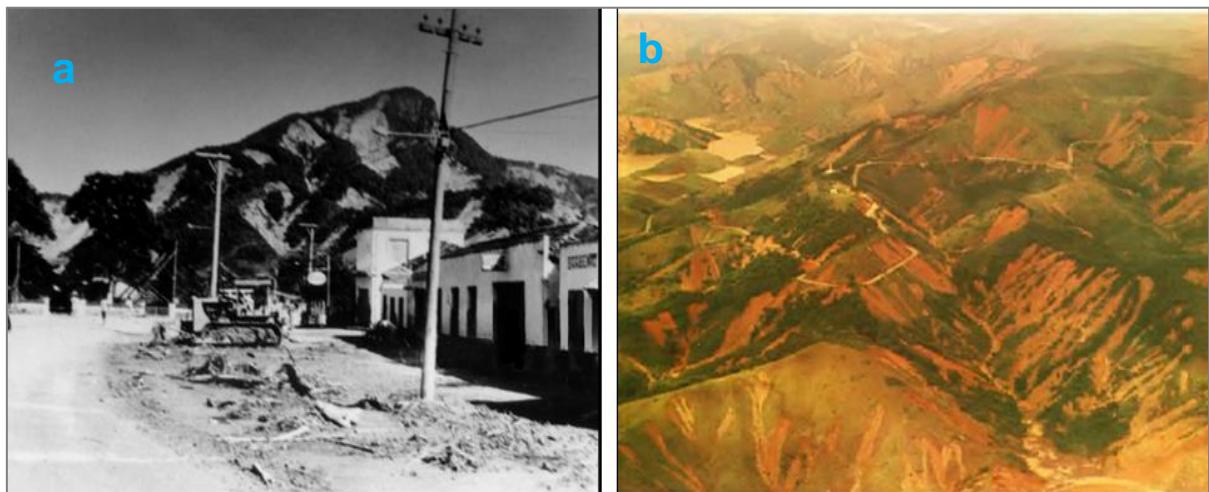


Figura 1: a) Deslizamentos nas vertentes no município de Caraguatatuba em 1967 (Fonte: Prefeitura Municipal de Caraguatatuba); b) Deslizamentos na Serra das Araras em 1967. (Fonte: JONES, 1973)

Mesmo sendo considerada uma área de alta suscetibilidade, a Serra do Mar possui ocupações de diferentes tipos em quase toda a sua extensão, sobretudo núcleos urbanos, gerando inúmeras áreas de risco. Diante deste cenário, desde a década de 1960, estudos geológico-geotécnicos (ex. COSTA NUNES, 1969; JONES, 1973; IPT, 1986; VARGAS JR *et al*, 1986; LACERDA, 1997), e geomorfológicos (ex. MEIS e SILVA 1968; CRUZ, 1974; DE PLOEY e CRUZ, 1979 e etc.) vêm sendo

desenvolvidos de forma sistemática nesta área, para fins de entender os processos de deflagração dos escorregamentos..

Há diversos métodos de análises para a definição de áreas instáveis a escorregamentos, dentre eles os modelos matemáticos em bases física(LOPES, 2006; VIEIRA, 2007; NERY, 2011) e as cartas de risco (CERRI, 1993; AUGUSTO FILHO, 1994 entre outros), mas nem sempre esses trabalhos contemplam dados físico-mecânicos do solo. Considerando que, na Serra do Mar, parte dos escorregamentos rasos se inicia no contato solo residual/solo saprolítico, a compreensão variação das propriedades do solo, como a textura, é de extrema importância para entender parte dos fatores condicionantes dos escorregamentos.

Os solos ou manto de alteração são produto da ação de diversos fatores, tais como o relevo, a litologia, o clima, os organismos e o tempo (JENNY, 1941). Uma das principais características morfológicas do solo é sua estrutura, que é a propriedade que reflete visualmente o arranjo e a disposição de suas partículas através da agregação. Esse processo ocorre em duas etapas, sendo a primeira relacionada com a aproximação das partículas e a segunda com a sua estabilização por agentes cimentantes. O produto final desse processo resulta na formação de unidades estruturais que, em conjunto, definem a estrutura do solo (BAVER et al., 1972). A estrutura, juntamente com a textura do solo, é essencial para compreensão da dinâmica hidrológica, e por consequência na gênese dos escorregamentos. Por exemplo, em solos mais arenosos a água tende a percolar mais rápido, diferentemente do que ocorreria em solos mais argilosos nos quais teria mais dificuldade para infiltrar (BRADY e WEIL, 2013).

A espessura do solo também é um parâmetro importante para a compreensão dos escorregamentos, pois, por meio deste, é possível mensurar o volume de material que poderá ser mobilizado durante um evento, além de permitir compreender as relações entre a morfogênese e pedogênese na área (FURIAN et al. 1999). Como exemplo, temos as áreas das altas vertentes e interflúvios da escarpa da Serra do Mar que por efeito da alta declividade, do material de origem e dos altos índices pluviométricos, a morfogênese acaba por reduzir o espessamento dos solos, demonstrado pelos afloramentos rochosos e pelas cicatrizes de escorregamentos rasos (QUEIROZ NETO e ROSSI, 2001).

As características geológicas, geotécnicas e geomorfológicas tornam a Serra do Mar uma área extremamente suscetível aos diferentes tipos de movimentos de massa, sobretudo escorregamentos rasos e corridas de detritos, tais como vertentes íngremes, solos com descontinuidades hidrológicas e texturas mais arenosas, e o total pluviométrico elevado, que pode alcançar 4.500mm/ano em algumas regiões.

A ruptura dos escorregamentos deflagrados nos dias 17 e 18 de março de 1967 ocorreu, segundo Cruz (1974), no contato entre o solo bem desenvolvido (residual maduro) e o material saprolítico (residual jovem) abaixo. Em outros locais tal ruptura se deu entre este solo bem desenvolvido e um material mais heterogêneo abaixo, mostrando a presença de blocos de diferentes diâmetros envolvidos por uma matriz mais fina (CRUZ, 1974). Assim, esses materiais, que contêm mais areia e menos argila, atingem rapidamente o limite de liquidez, que por sua vez, estão presos à plasticidade das argilas que dependem das formas e do teor de água (SHOAEI e SIDLE, 2009).

Pode-se considerar que, os principais tipos de movimentos de massa ocorridos nas Serras de Caraguatatuba e na Serra das Araras em 1967 foram os escorregamentos rasos e corridas de detritos que, mesmo sendo de caráter catastrófico, ainda são escassos os trabalhos, em âmbito nacional, com levantamentos em campo sobre as diferentes propriedades dos solos (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como principal objetivo identificar a relação entre a espessura e granulometria dos solos e os escorregamentos que ocorreram no município de Caraguatatuba (SP) em 1967. Para isso, os seguintes objetivos específicos foram selecionados:

- Selecionar uma bacia onde ocorreram escorregamentos de grande magnitude e com acesso a áreas das cicatrizes;
- Obter a espessura e a granulometria de áreas com e sem escorregamentos;

3. MOVIMENTOS DE MASSA E PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS

Movimentos de massa são processos naturais de evolução do relevo assim como a erosão e o intemperismo, sendo suas causas e consequências bastante complexas e variadas, necessitando um estudo interdisciplinar (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Sua ocorrência se dá principalmente em regiões montanhosas e íngremes envolvendo o deslocamento de solo, rocha ou qualquer outro material devido à influência direta da gravidade (SELBY, 1993).

Para estes processos existem diversas classificações, com enfoques diferentes aos parâmetros que caracterizam os movimentos de massa (FERNANDES e AMARAL, 1996). Dentre as classificações brasileiras destacam-se Guidicini e Nieble (1984), IPT (1991) e Augusto Filho (1992). Este último (Tabela 1) dividiu os movimentos de massa em quatro tipos principais: rastejo, escorregamentos (que podem ser subdivididos em planares; circulares e em cunha), quedas (rolamentos de matacões e tombamentos) e corridas. Esta classificação, também é a mais adequada para os fins desta pesquisa, pois de maneira abrangente e ao mesmo tempo sucinta, descreve os principais tipos de movimentos de massa que ocorrem na Serra do Mar. Augusto Filho (1992), em sua classificação, considera a geometria, a velocidade e a natureza dos materiais instabilizados, sendo assim os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: planar, rotacional e em cunha.

O termo escorregamento é definido como movimento rápido, de curta duração, com planos de ruptura bem definidos, permitindo a distinção entre o material mobilizado e aquele não movimentado. Geralmente possui feições alongadas, podendo apresentar uma relação comprimento-largura de cerca de 10:1 (SUMMERFIELD, 1991).

Tabela 1: Principais tipos de movimento de massa em vertentes.

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos (Creeps)	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes. • Solo, depósitos, rocha alterada/ fraturada. • Geometria indefinida
Escorregamentos (Slides)	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos) • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material • Geometria e materiais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Planares</i> – Solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; ✓ <i>Circulares ou rotacionais</i> – Solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas ✓ <i>Cunha</i> – Solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (Falls)	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento • Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matação Tombamento
Corridas (Flows)	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo de drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rocha, detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Augusto Filho (1992)

Os escorregamentos planares (Figura 2A e B) são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa, ocorrendo nos mais diversos ambientes e em praticamente todas condições (FERNANDES e AMARAL, 1996; HIGHLAND e

BOBROWSKY, 2008). Em território brasileiro encontram-se principalmente em toda a região da Serra do Mar, sendo responsável pela maioria dos movimentos de massa, especialmente nos trechos de alta e média escarpa (WOLLE e CARVALHO, 1989). Tais processos possuem feições alongadas e sua superfície de ruptura acompanha as descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas presentes no interior do solo, o plano de ruptura geralmente encontra-se em profundidades que variam entre 0,5m e 5,0m (FERNANDES e AMARAL, 1996).

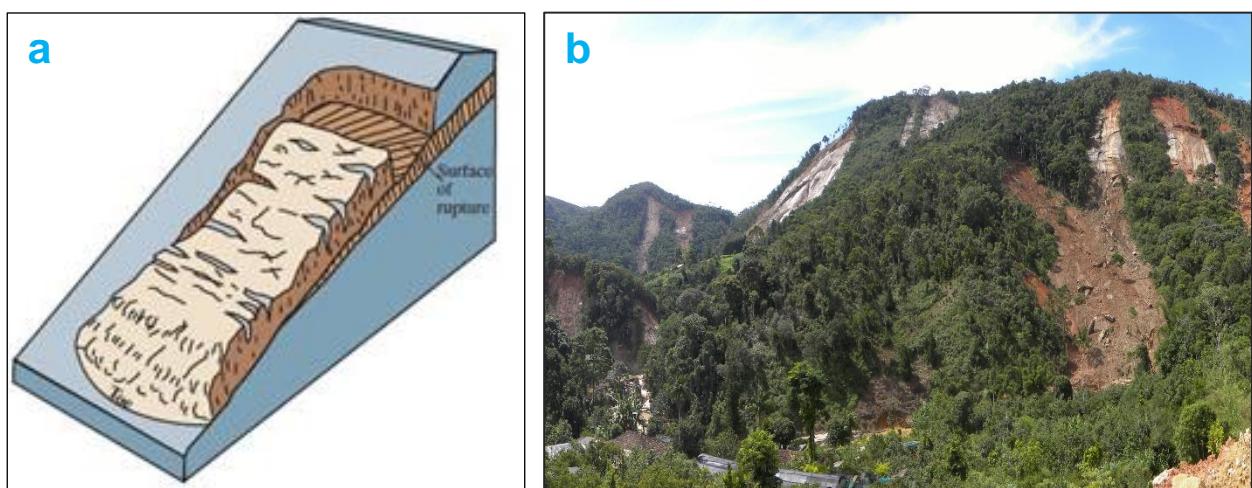


Figura 2: a) Esquema de escorregamento planar (Fonte: <http://geology.com/usgs/landslides/>); e b) Cicatrizes de escorregamentos planares na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 (Fonte: Arquivo GPmorfo¹¹).

Os escorregamentos rotacionais (Figura 3) apresentam superfície de deslizamento encurvada, movimentando grandes volumes de solos homogêneos. São comuns em áreas de vertentes originadas por rochas argilosas como argilitos e folhelhos (FERNANDES e AMARAL, 1996). Na Serra do Mar os escorregamentos rotacionais são raros devido à condição básica para sua existência: solos espessos e relativamente homogêneos (WOLLE e CARVALHO, 1994).

¹¹Grupo de Pesquisas de Processos Morfodinâmicos e Ambientais (GPmorfo). Coordenação Prof^a Dr^a Bianca Carvalho Vieira

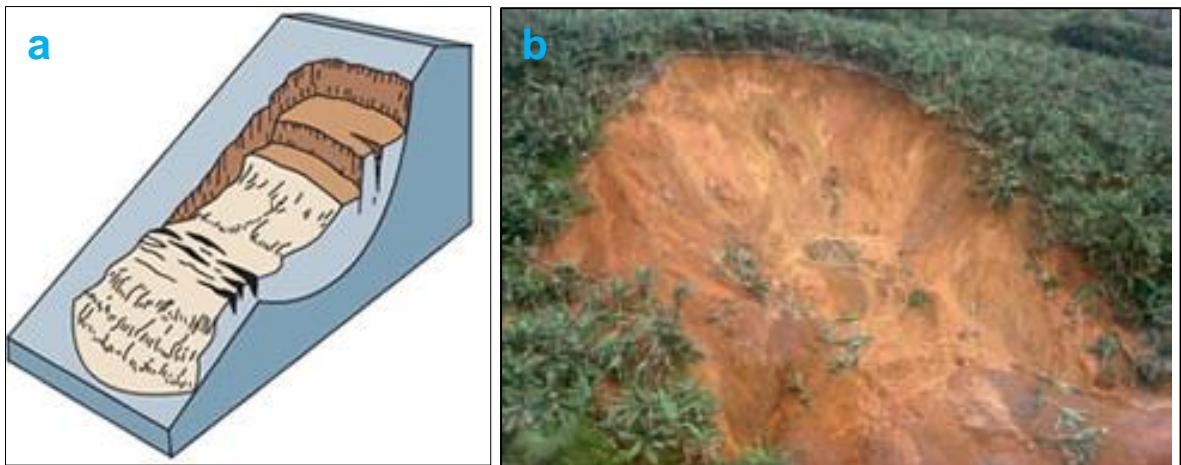


Figura 3: a) Esquema de escorregamento rotacional (Fonte: <http://geology.com/usgs/landslides/>); b) Escorregamento rotacional em Jaraguá do Sul, SC, (Fonte: Tominaga, 2009)

O escorregamento em cunha (Figura 4) é caracterizado pelos movimentos ao longo de um eixo formado pela intersecção de dois planos de fraqueza que geram deslocamento de material. Geralmente ocorrem devido ao desconfinamento de sua base (WOLLE e CARVALHO, 1994).

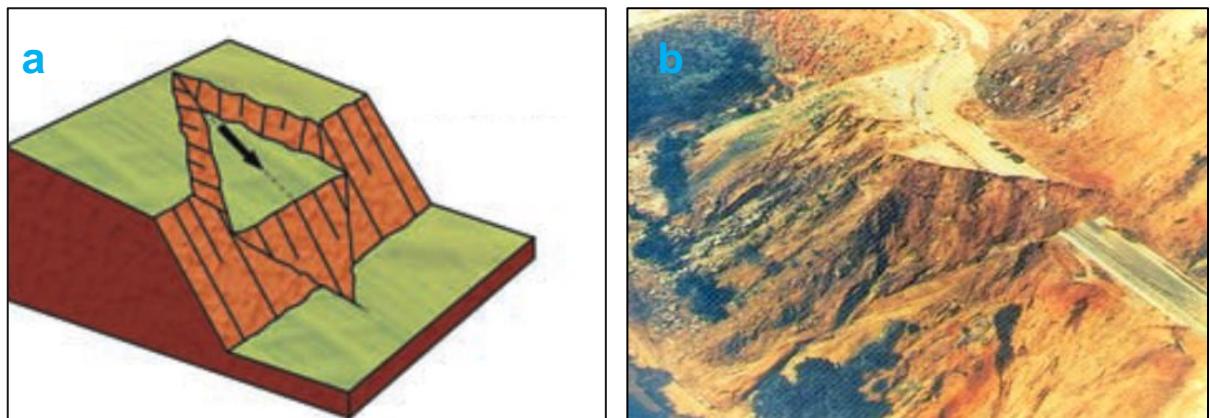


Figura 4: a) Esquema de escorregamento em cunha (Fonte: Tominaga, 2009); b) Área com escorregamento em cunha (Fonte:<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09d.html>)

Em relação aos fatores condicionantes dos escorregamentos rasos, as descontinuidades no interior dos mantos de alteração são um dos principais fatores condicionantes dos escorregamentos. Essas descontinuidades são geralmente causadas por feições estruturais pretéritas, como por exemplo: falhas, fraturas, bandamentos e horizontes de solo formados pela atuação dos processos pedogenéticos (FERNANDES e AMARAL, 1996). Ainda conforme estes autores, muitas vezes os planos de ruptura dos escorregamentos são causados por descontinuidades hidráulicas existentes no interior do saprolito, solo residual ou até mesmo no contato entre os dois. As rupturas também podem ocorrer em vertentes onde o solo saprolítico encontra-se recoberto por um manto coluvionar delgado.

Os saprolitos apresentam, geralmente, estruturas herdadas da rocha-mãe sendo estas características facilmente identificáveis a olho nu. Minerais como o quartzo, feldspato e biotita também são encontrados em seu interior, resultados do intemperismo da rocha subjacente (SILVEIRA, 1993).

Guidicini e Nieble (1984) destacam que, a princípio, um escorregamento planar poderia ocorrer dentro de qualquer horizonte (Figura 5). Este mesmo perfil estando inserido no ambiente tropical úmido (longos períodos chuvosos e ocasiões com fortes precipitações) somados ao fato da diferença de permeabilidade entre os horizontes (II e III mais permeáveis que o horizonte I) a superfície de ruptura se estabeleceria ao longo de horizontes mais arenosos e permeáveis, sendo o horizonte I totalmente removido junto com a massa deslocada.

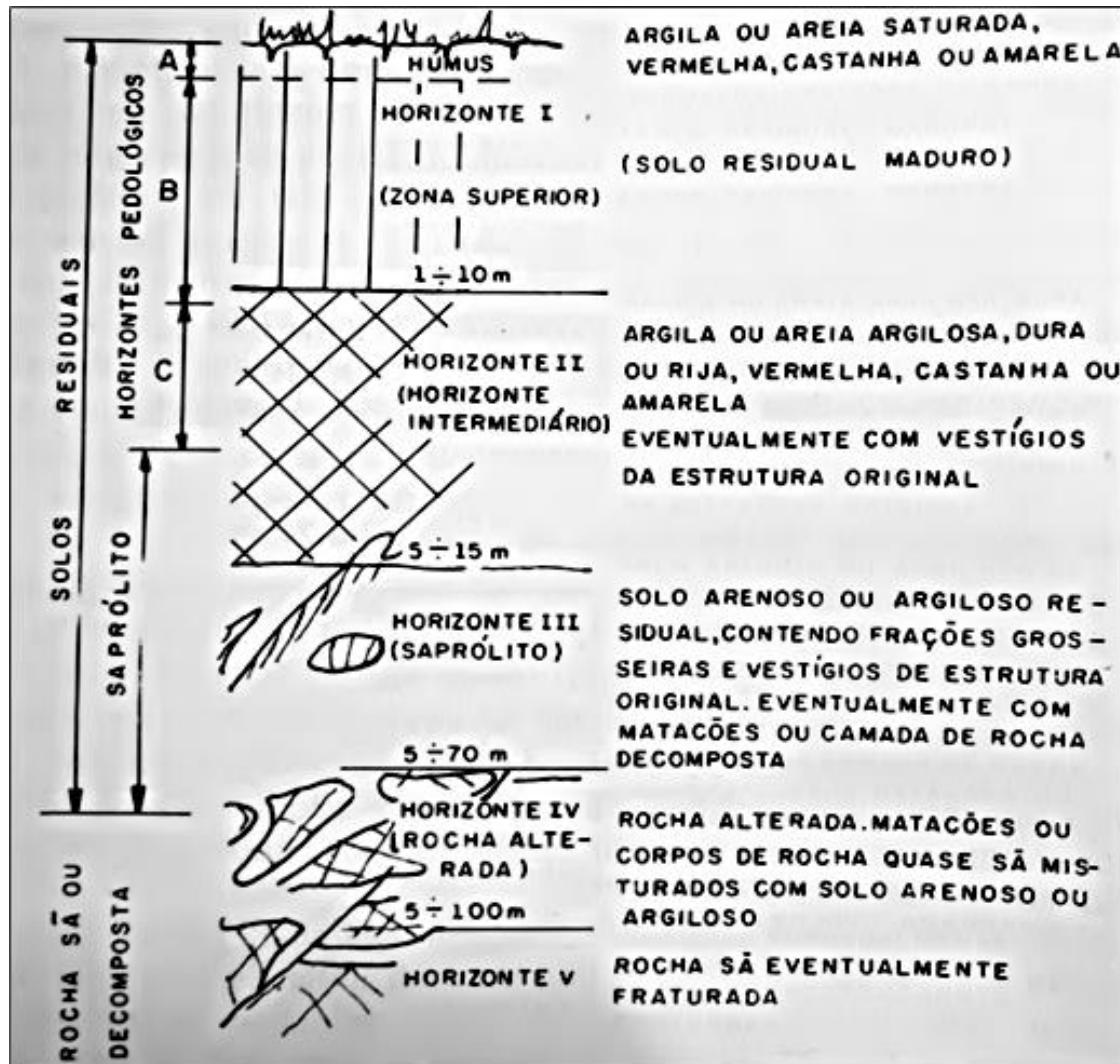


Figura 5: Perfil típico de intemperismo na região Sudeste do Brasil, em rocha granítica.

Fonte: Vargas (1974) apud Guidicini e Nieble (1984).

A granulometria é uma das características mais estáveis presentes no solo, sendo uma das propriedades essenciais para entender o seu comportamento. Com o auxílio de dados granulométricos é possível mensurar suas frações (areia, silte e argila) e como estas influenciam diretamente o comportamento do solo (Tabela 2).

Solos arenosos possuem uma baixa capacidade de retenção de água devido ao tamanho dos grãos, que faz com que ocorra macroporos entre os espaços dos grãos individuais de areia. Por esta razão a água percola mais rapidamente do que em solos com um alto teor de argila e sem uma estrutura estável onde a água tem dificuldade de se movimentar e fica retida por tempo maior em seu interior (BRADY e WEIL, 2013).

Tabela 2: Influência das frações (areia, silte e argila) em algumas propriedades e comportamento dos solos

Propriedade/comportamento	Classificação das propriedades associadas às frações do solo		
	Areia	Silte	Argila
Capacidade de retenção de água	Baixa	Média a alta	Alta
Aeração	Boa	Média	Pouca
Taxa de drenagem	Alta	Lenta a média	Muito lenta
Teor de matéria orgânica no solo	Baixo	Médio a alto	Alto a médio
Decomposição da matéria orgânica	Rápida	Média	Lenta
Aquecimento na primavera	Rápido	Moderado	Lento
Suscetibilidade à compactação	Baixa	Média	Alta
Suscetibilidade à erosão eólica	Moderada (alta, se a areia for fina)	Alta	Baixa
Suscetibilidade à erosão hídrica	Baixa (a menos que a areia seja fina)	Alta	Baixa, se agregado; alta, quando não
Potencial de expansão e contração	Muito baixo	Baixo	Moderado a muito alto
Impermeabilização de barragens, represas e aterros	Restrita	Restrita	Boa
Aptidão para cultivo logo após chuva	Boa	Moderada	Restrita
Potencial de lixiviação de poluentes	Alto	Médio	Baixo (a menos que seja fendilhada)
Capacidade de armazenamento de nutrientes	Pouca	Média a alta	Alta
Resistência à mudança de pH	Baixa	Média	Alta

*Exceções a essas generalizações ocorrem devido à estrutura do solo e à mineralogia das argilas.

Fonte: Brady e Weil (2013).

4. ÁREA DE ESTUDO

A Serra do Mar é um conjunto de escarpas de alta declividade com cerca de 1.500 km de extensão que se estende do Rio de Janeiro ao norte de Santa Catarina. Suas altitudes médias atingem 800-900 metros, mas há pontos em que chega a 1200 metros na porção paulista e até 1800 metros nos cumes mais elevados existentes no Paraná e no Rio de Janeiro (CRUZ, 1990).

A área de estudo desta pesquisa se localiza no litoral norte do Estado de São Paulo (Figura 6), constituída principalmente por escarpas costeiras tropicais úmidas da Serra do Mar, que são compostas por uma grande quantidade de vertentes alongadas com grandes desníveis topográficos entre o topo e o fundo de vale (CRUZ, 1986). Estas características geológico-geomorfológicas, sobretudo, à presença de solos pouco desenvolvidos (essencialmente arenosos), juntamente com altos índices pluviométricos, são componentes favoráveis para o desenvolvimento de escorregamentos como os ocorridos em 1967.

A Litologia da região de Caraguatatuba revela presença de rochas ígneas (granitos) e metamórficas como o leptitos e gnaisses facoidais, sendo que os leptitos possuem uma maior resistência e no geral afloram nos morros mais altos, já os gnaisses facoidais possuem uma maior vulnerabilidade ao ataque químico se alterando mais facilmente (CRUZ, 1974).

No que diz respeito à geomorfologia de Caraguatatuba, Cruz (1974) a divide em três unidades geomorfológicas compartimentadas: 1) Planaltos Serranos: Possuem formas mameilonadas e um espesso manto de regolito, apresentam uma drenagem dentrítica nas cabeceiras; 2)Escarpas Costeiras: São áreas com o predomínio de declives mais íngremes e alta influência estrutural também há uma grande dinamização geomorfológica, a drenagem apresenta um escoamento violento com formação de corredeiras e cachoeiras; 3) Planícies Costeiras: São áreas com maior ocupação humana e acentuação dos processos antrópicos. Apresentam um maior predomínio da deposição e uma menor dinamização geomorfológica, a drenagem apresenta-se divagante.

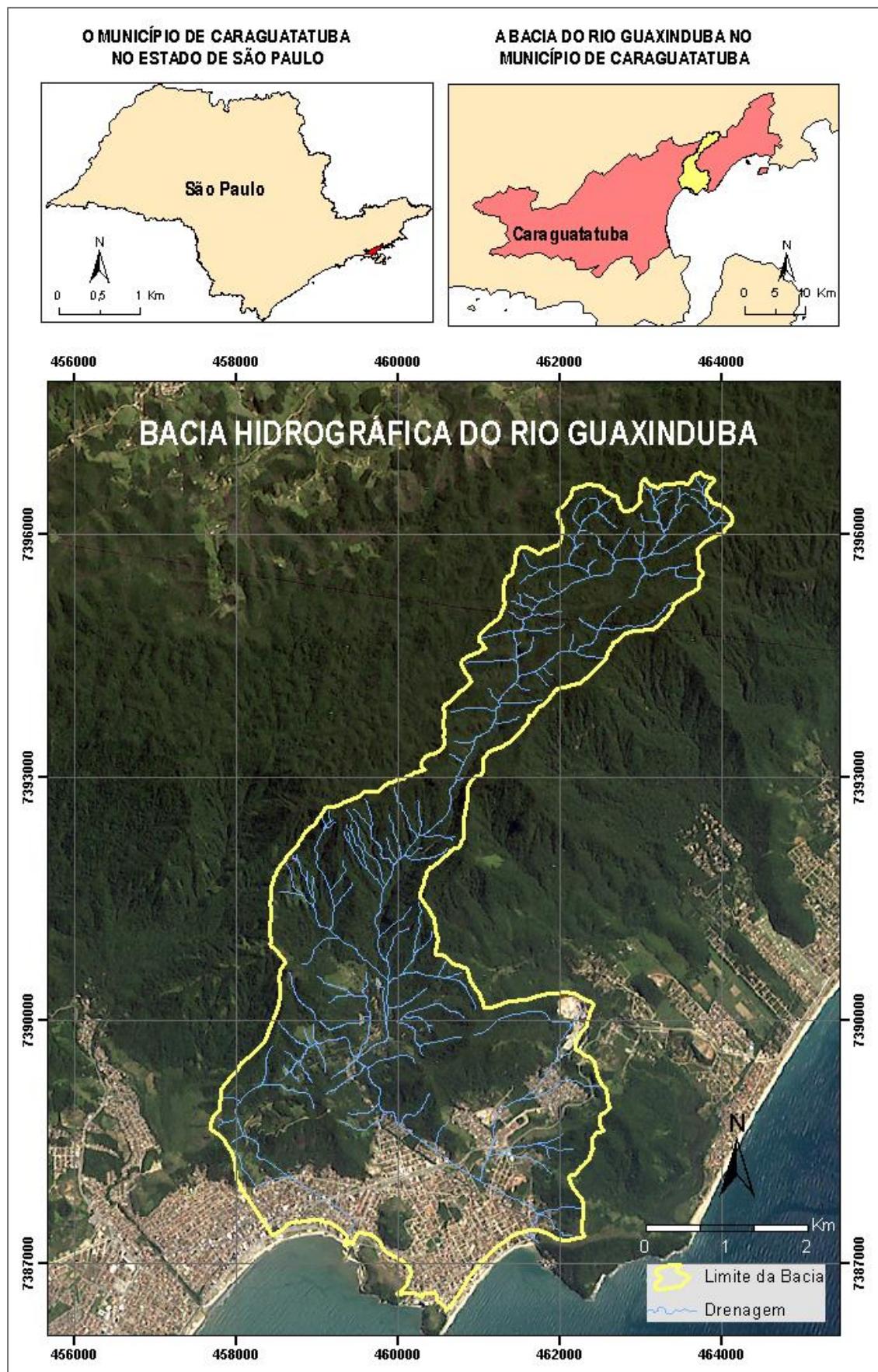


Figura 6: Localização da bacia do rio Guaxinduba

Os solos da Serra do Mar diferenciam-se em função do compartimento da paisagem em que se encontram. No geral, na região da escarpa pode-se dizer que os solos são mais rasos, principalmente nas altas e médias vertentes, no planalto pouco profundos a profundos, sobre gnaisses e na planície litorânea são mais profundos e encontram-se sobre sedimentos predominantemente marinhos e fluviais (SMA/IF, 2006).

Quanto aos solos mais frequentes na área da escarpa temos os: Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos. Segundo (SMA/IF,2006), Latossolos e Argissolos encontram-se no planalto e nas escarpas, sendo o primeiro presente principalmente nas baixas vertentes e o segundo em vertentes com declives variados, ambos se encontram em frequente associação com os Cambissolos. Os Cambissolos são os mais comuns em toda área, ocorrendo associados a relevos que variam de ondulado a escarpado, no planalto e em toda a escarpa, e nas planícies fluviais dos principais cursos d'água e colúvios das médias e baixas vertentes da escarpa. Os Neossolos Litólicos são encontrados em pendentes bem inclinadas no relevo de morros paralelos com alto grau de fraturamento, nas altas vertentes e topes, em relevo de morros altos e topes angulosos, da baixa vertente ao topo, todos no planalto, isoladamente ou em associação com Argissolos. Na escarpa e nos morros isolados da planície, os Neossolos Litólicos situam-se nas altas vertentes, interflúvios e topes, em associações mais frequentes com os Cambissolos (Tabela 3).

No que diz respeito à cobertura vegetal, segundo o levantamento realizado pela SMA/IF (2006), para o município de Caraguatatuba encontra-se três tipos principais: *Floresta Ombrófila Densa Montana*, *Floresta Ombrófila Densa Submontana*, *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas*.

A *Floresta Ombrófila Densa Montana* é uma floresta perenifólia que se inicia na crista da Serra do Mar e estende-se para o interior do Planalto Atlântico. Situa-se entre as Florestas Estacionais Semideciduais, típicas do interior do Estado, e as Florestas Ombrófilas que recobrem a Serrania Costeira. O gradiente entre uma ou outra formação depende das variações na precipitação, regime pluviométrico e substrato, (SMA/IF, 2006).

A *Floresta Ombrófila Densa Submontana* está presente na vertente da Serra do Mar e nos morros e serrinhas isolados, que surgem na planície litorânea ou no oceano. São florestas perenes e estão sujeitas a uma pluviosidade e umidade relativa

do ar mais elevada quando comparada às florestas sempre verdes do Planalto Atlântico. Os solos são geralmente argilosos, oriundos da erosão das rochas do complexo cristalino, variando de rasos a muito profundos. Essa condição ambiental permite o desenvolvimento de uma floresta alta, com dossel de 25-30 m. A alta umidade relativa do ar e a boa penetração de luz permitem o desenvolvimento de uma rica flora de epífitas, não superada por nenhuma outra formação vegetal brasileira, (SMA/IF, 2006).

Tabela 3: Tipos de solos encontrados na região das escarpas da Serra do Mar

Tipo de solo	Ocorrência
Latossolos	Concentram-se nas baixas vertentes das escarpas, no planalto e coluviões, frequentemente encontram-se em associação com Cambissolos
Argissolos	Encontram-se no planalto, em declives variados, na escarpa, em vertentes de relevo forte ondulado e montanhoso e nos cones de deposição (colúvios);
Cambissolos	São os mais comuns em toda a área, ocorrendo associados a relevos que variam de ondulado a escarpado, no planalto e em toda a escarpa
Neossolos Litólicos	Situam-se nas altas vertentes, interflúvios e topos, em associações mais frequentes com os Cambissolos. Em pendentes bem inclinadas no relevo de morros paralelos com alto grau de fraturamento, nas altas vertentes e topos, em relevo de morros altos e topos angulosos, da baixa vertente ao topo, todos no planalto, isoladamente ou em associação com Argissolos

Adaptado de SMA/IF (2006)

Já a *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas* forma-se nas planícies litorâneas, que se desenvolvem de modo descontínuo, subordinadas às reentrâncias do front serrano. A vegetação ocorre em diferentes substratos sedimentares, porém sempre associada a fatores limitantes, como alta salinidade, oligotrofia, instabilidade de solo e forte influência hídrica. Assim, quando mais próxima da vertente, encontra-se uma floresta alta, com árvores de 10-15 m, instaladas sobre aluviões provenientes das serras ou em terraços fluviais, reconhecidos pelo relevo plano e ligeiramente mais elevado do que os arredores. Essa formação é popularmente conhecida como Floresta Alta de Restinga (SMA/IF, 2006).

O clima do litoral norte é controlado por massas equatoriais e tropicais e a posição da Serra do Mar bem próxima à costa é responsável pela acentuada pluviosidade mesmo no inverno. A presença da escarpa disposta paralelamente a linha da costa, provoca a ascensão das massas de ar, contribuindo para elevar os índices pluviométricos (efeito orográfico) (SMA/IF, 2006).

Tatizana *et al* (1987) destacam que as chuvas mais longas e frequentes estão associadas com frentes frias vindas do polo sul. Segundo os autores, estas frentes quando estacionam na serra permanecem por 2 ou 4 dias em regime de chuva contínua ou intermitente provocando a saturação do solo. Cruz (1974) também enfatiza que os altos índices pluviométricos da região são muitas vezes responsáveis pela deflagração dos escorregamentos como os ocorridos no verão de 1967 devido à forte saturação do solo.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho foram definidas quatro etapas metodológicas: Seleção da bacia e dos pontos de campo (4.1), Levantamentos de campo (4.2), Granulometria em laboratório (4.3) e Mapas e Análise dos dados (4.4).

5.1 – Seleção da bacia e dos pontos de campo

A bacia do Guaxinduba foi escolhida pois possui evidências de eventos de escorregamentos pretéritos (cicatrizes) e trata-se de uma área experimental com trabalhos já realizados sob diferentes parâmetros de análise de escorregamentos, como por exemplo, Ferreira (2013a) que analisou a influência das propriedades mecânicas do solo (coesão, ângulo de atrito e etc.) na deflagração dos escorregamentos e Gomes (2012) que avaliou o papel da condutividade hidráulica saturada dos solos.

Para avaliação dos escorregamentos e sua relação com as propriedades dos solos, foi utilizado o mapa de cicatrizes (Figura 7) gerado pelo Grupo de Pesquisas de Processos Morfodinâmicos (GPMorfo) que mapeou cerca de 55 cicatrizes de escorregamentos na bacia do evento de 1967. Assim, foi possível observar que as cicatrizes se concentraram na área escarpada da bacia (área com maior declividade).

Foram selecionados, a partir do mapa de cicatrizes, dois pontos, sendo o P1 que se encontra numa área mais próxima ao divisor de águas e o P2 que se localiza no limite de uma cicatriz, dados que foram confirmados em campo. No campo foram selecionados dois pontos para coleta das amostras, sendo que uma corresponde a uma cicatriz de escorregamento e a outra consiste num trecho sem escorregamento. Ressalta-se que para a escolha da cicatriz (P2), além do uso do mapa de cicatrizes, os seguintes critérios também foram utilizados: (i) área sem intervenção antrópica direta, (ii) limites bem preservados e (iii) facilidade de acesso para estudos de campo.

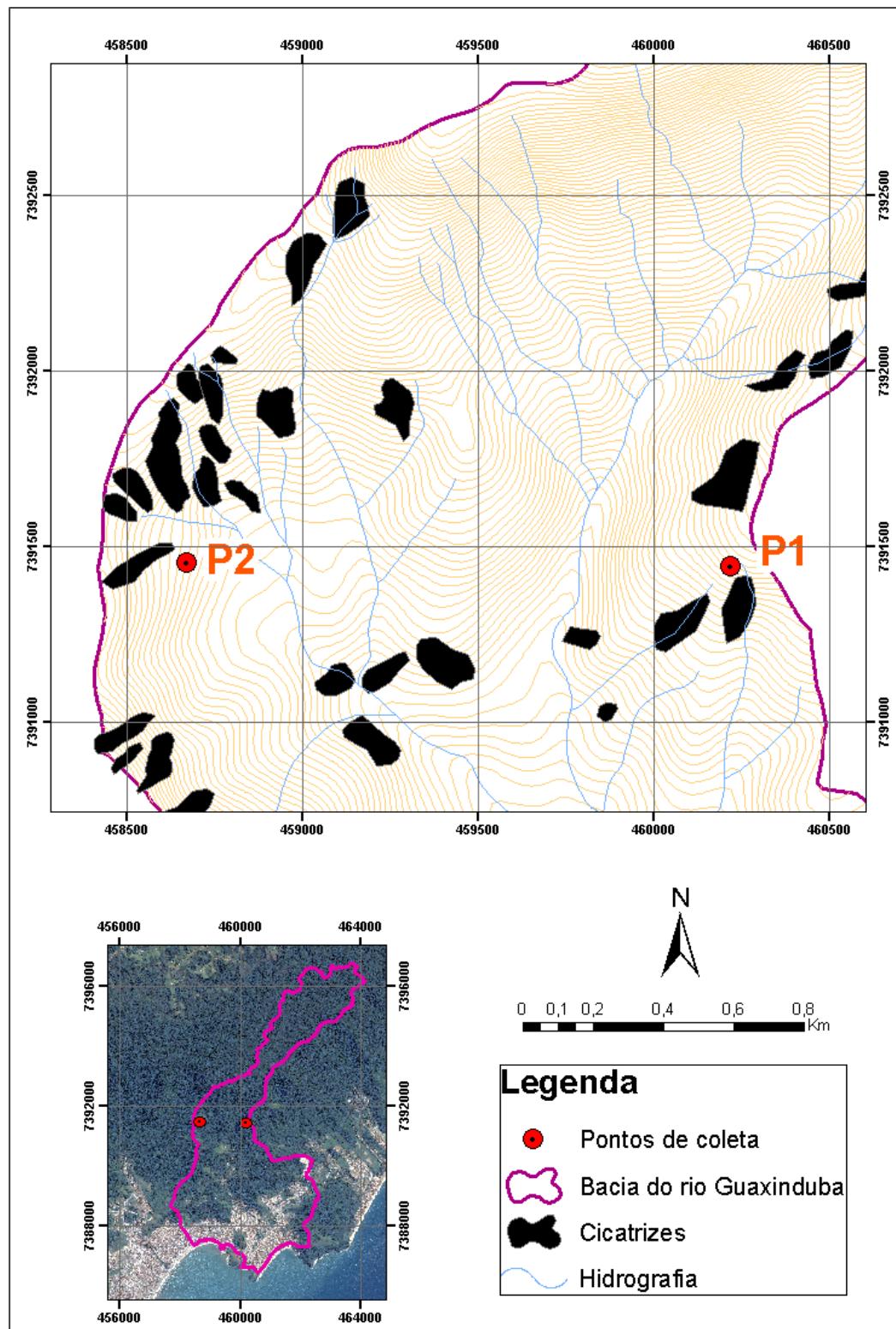


Figura 7: Mapa de cicatrizes da bacia do rio Guaxinduba e localização dos pontos de coleta.

5.2 – Levantamentos de campo

Em cada um dos pontos foram feitas sondagens com um trado holandês (Figura 8A) ao longo de diferentes profundidades (0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,8; 2,1; 2,4; 2,7; e 3m). As coletas foram realizadas à medida que foram observadas alterações de cor e textura do solo (mais friáveis, presença de minerais primários, cascalho, resistência ao tradar e etc.) (Figura 8B). Um total de 20 amostras foram coletadas para análise.



Figura 8: a) Uso do trado na coleta das amostras; b) Diferenças de cor e textura nas coletas
Foto: Rebeca Coelho, 2014.

5.3 – Granulometria em Laboratório

Para as análises granulométricas foram utilizados os seguintes métodos: o da pipeta, para a separação dos finos (silte e argila), e a tamisagem para a separação das diferentes frações de areia. O método da pipeta tem como princípio a velocidade de decantação das partículas numa proveta com água. Por meio da desagregação mecânica e auxílio de dispersante químico, as partículas ficam dispersas na solução do solo, permitindo assim sua separação por sedimentação e análise das porcentagens relativas de areia, silte e argila (Camargo *et al.* 2009).

Primeiramente as amostras foram deixadas para secar ao ar por aproximadamente 3 dias (Figura 9 a), sendo posteriormente esboroadas com uma rolha de borracha para a destruição dos agregados. Em seguida, as amostras foram peneiradas (malha de 2mm) para a retirada das partículas maiores que 2mm.

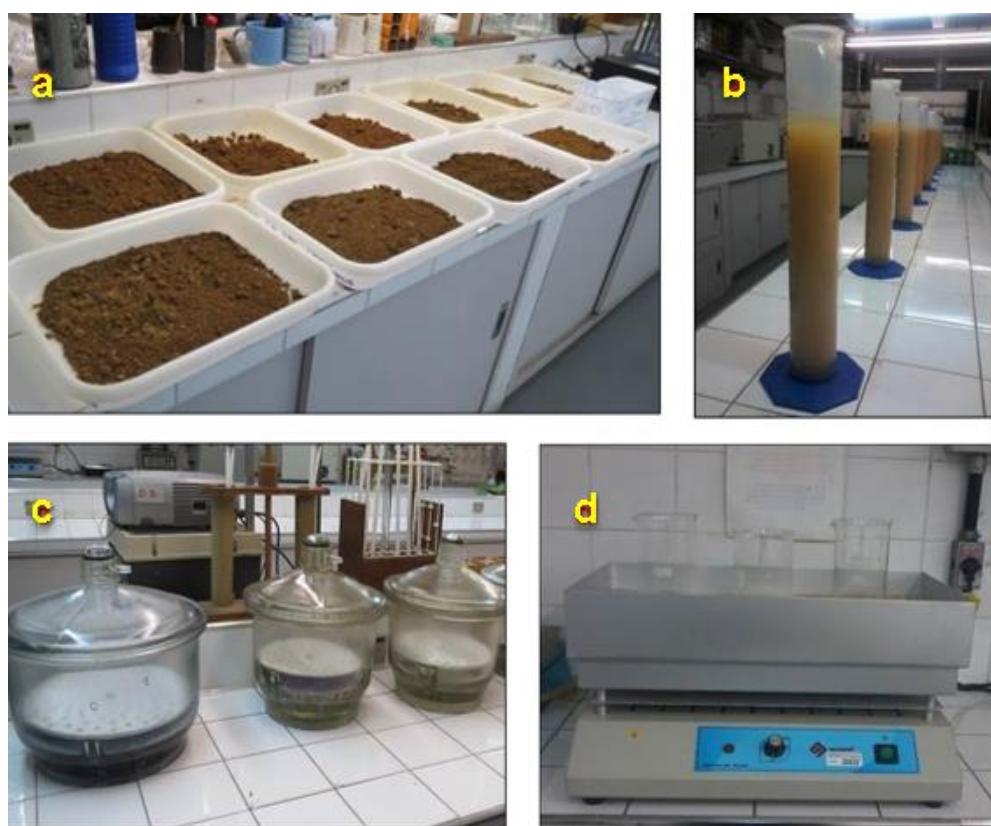


Figura 9: a) Secagem das amostras; b) Provetas de 1000 ml; c) Dessecadores; d) Banho de areia. Foto: Rebeca Coelho, 2015.

Para a análise granulométrica foi utilizada a marcha analítica do Laboratório de Pedologia da USP (LABOPED). Para esta etapa foram usados 50g de TFSA (terra fina seca ao ar), 2 g de Pirofosfato de Sódio e 200 ml de água destilada que foram colocados em Erlemeyers, os quais permaneceram em repouso por 12 horas. Posteriormente, esses recipientes foram agitados por 4 horas na mesa agitadora. O Pirofosfato de Sódio foi o dispersante utilizado a fim de se evitar que a argila não fique retida na superfície dos grãos, alterando seu diâmetro e comportamento modificando assim as análises granulométricas.

Após o período de agitação, as amostras foram transferidas para provetas de 1000 ml. Em seguida, adicionou-se água destilada até completar o volume de 1000

ml (Figura 9 b) em cada uma. A temperatura da água foi verificada com termômetro digital e a partir disto os tempos de pipetagem do silte e argila foram determinados utilizando uma tabela que relaciona temperatura com o tempo de decantação, baseada na Lei de Stokes (Tabela 4). Posteriormente, agitou-se a amostras nas provetas com um êmbolo por 30 segundos, deixando, em seguida, as amostras em repouso para a coleta do silte e argila nos respectivos tempos determinados (Tabela 4). As coletas foram realizadas com uma pipeta de 20 ml, respeitando as diferentes profundidades de pipetagem para cada fração granulométrica: 10 cm para a alíquota de silte+argila e 5 cm para a argila.

Em seguida as amostras foram transferidas para bêckers de vidro de 50 ml, previamente identificados e pesados em uma balança analítica, e colocadas em uma estufa por 24 horas para retirar a umidade das partículas. Após o período na estufa, as amostras foram transferidas por 30 minutos para um dessecador (Figura 9c) para esfriarem num ambiente livre da umidade da atmosfera.

Por fim, as amostras foram novamente pesadas e, para a obtenção do peso da argila, subtraiu-se o peso do recipiente e do dispersante; para o peso do silte, extraiu-se o peso da argila e do dispersante. Esses valores correspondem à quantidade de silte e argila de uma amostra com 20 ml, que é o volume da pipeta, sendo assim, a partir desses dados calculou-se qual seria a proporção da ocorrência dessas frações numa amostra de 1000 ml (volume da proveta), que é onde estavam os 50 g de solo analisados em cada amostra.

Tabela 4: Tempo necessário, a diferentes temperaturas para sedimentação de partículas de solo

Temp. °C	Argila (5 cm)		Argila+Silte (10 cm)	
	horas	minutos	minutos	segundos
10	5	13	6	14
11	5	05	6	03
12	4	55	5	54
13	4	48	5	44
14	4	40	5	35
15	4	33	5	27
16	4	25	5	19
17	4	18	5	10
18	4	13	5	03
19	4	05	4	55
20	4	00	4	48
21	3	55	4	41
22	3	50	4	34
23	3	43	4	28
24	3	38	4	22
25	3	33	4	15
26	3	28	4	10
27	3	23	4	04
28	3	20	3	59
29	3	15	3	54

Fonte: Camargo *et al.* (2009)

Para a análise da areia, foi feita uma lavagem, em água corrente, dos materiais restantes na proveta. Esta etapa foi realizada com o auxílio de uma peneira com malha de 0,053 mm, para a retenção das partículas maiores que 0,053mm, que constituem a fração areia. Após a lavagem, os materiais foram transferidos para bêckers de vidro e colocados no banho de areia (Figura 9d) para serem secos.

Com as amostras já secas, os materiais foram transferidos para uma sequência de peneiras com malhas de 1 mm, 0,5mm, 0,250mm, 0,125mm, 0,0625mm e tampão (frações < 0,0625mm) que foram agitadas num agitador de peneiras durante 10 minutos. Posteriormente, cada fração retida nas peneiras foi colocada em pequenos sacos plásticos identificados e pesados.

5.4 – Mapas e Análise dos dados

Para a confecção dos mapas de curvatura, hipsometria e ângulo foi utilizado o Modelo Digital de Terreno (MDT) da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. (EMPLASA) com o auxílio da ferramenta *Spatial Analyst* do software ArcGis 10.4.

As características geológicas da bacia foram obtidas do mapa geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) que foi escaneado e georreferenciado por meio da ferramenta *Georeferencing* do ArcGis10.4. Os pontos de coleta (P1 e P2) foram plotados em cada mapa gerado e posteriormente analisados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos em campo e laboratório foram sistematizados servindo de base a algumas considerações sobre a relação entre a textura e a espessura dos solos num ponto “estável” P1 (sem cicatrizes) e “instável” P2 (com cicatrizes).

6.1 - Mapas geológico e hipsométrico

A bacia possui um forte controle estrutural devido à presença de falhas e fraturas que podem influenciar a hidrografia gerando vales entalhados. A litologia da área revela presença de rochas ígneas (granitos) e metamórficas como o leptitos e gnaisses facoidais, sendo os leptitos mais resistentes em relação ao intemperismo aflorando geralmente nos morros mais altos. Já os gnaisses facoidais mostram-se mais vulneráveis ao ataque químico e, mesmo muito alterados e friáveis, conservam sua estrutura (CRUZ, 1974).

Os pontos (Figura 10) encontram-se no embasamento geológico indicado como “Plyg” (Granitoides Caraguatatuba). Segundo o mapa geológico da CPRM, a região indicada corresponde aos augen-gnaisses ou migmatitos-oftálmicos, com associação subordinadas de granitos gnáissicos, exibindo por vezes restitos granulíticos e metabásicos. O ponto 2 encontra-se adjacente de um contato geológico aproximado “Acq”, constituídos de rochas parametamórficas.

Em relação à Hipsometria, na Figura 11 é possível observar que os pontos se encontram próximos da mesma faixa altimétrica, sendo que o P1 é mais próximo do interflúvio com a bacia do Massaguaçu e o P2 localizado no terço médio da escarpa. O P1 está na faixa dos 300m-400m, enquanto que o P2 se localiza no limítrofe entre a faixa dos 200m-300m e 300m-400m. Ambos os pontos, devido à sua posição podem sofrer influência do efeito orográfico que, associado a outras variáveis (declividade, curvatura e etc.), torna algumas áreas mais instáveis que outras.

Pellegatti e Galvani (2008) ao estudarem a influência da orografia na distribuição da precipitação ao longo do perfil da escarpa da serra do mar mostraram que há uma relação entre a altitude e os totais de precipitação pluviométrica, sendo que os pontos mais elevados da escarpa apresentam totais pluviométricos mais expressivos.

Devido ao efeito orográfico, a altitude também pode influenciar na distribuição dos escorregamentos, pois o volume pluviométrico varia conforme a altimetria da área. Vieira (2007), indicou que para a bacia da COPEBRÁS (Cubatão- SP) as classes altimétricas 400m-600m e 600m-800m concentraram cerca de 70% de cicatrizes. A menor concentração de cicatrizes ocorreu entre entre 0m e 200m. Tais dados podem ser explicados pelo comportamento orográfico da precipitação, mais intensa no terço médio da escarpa da Serra do Mar e também pela redução do ângulo das vertentes.

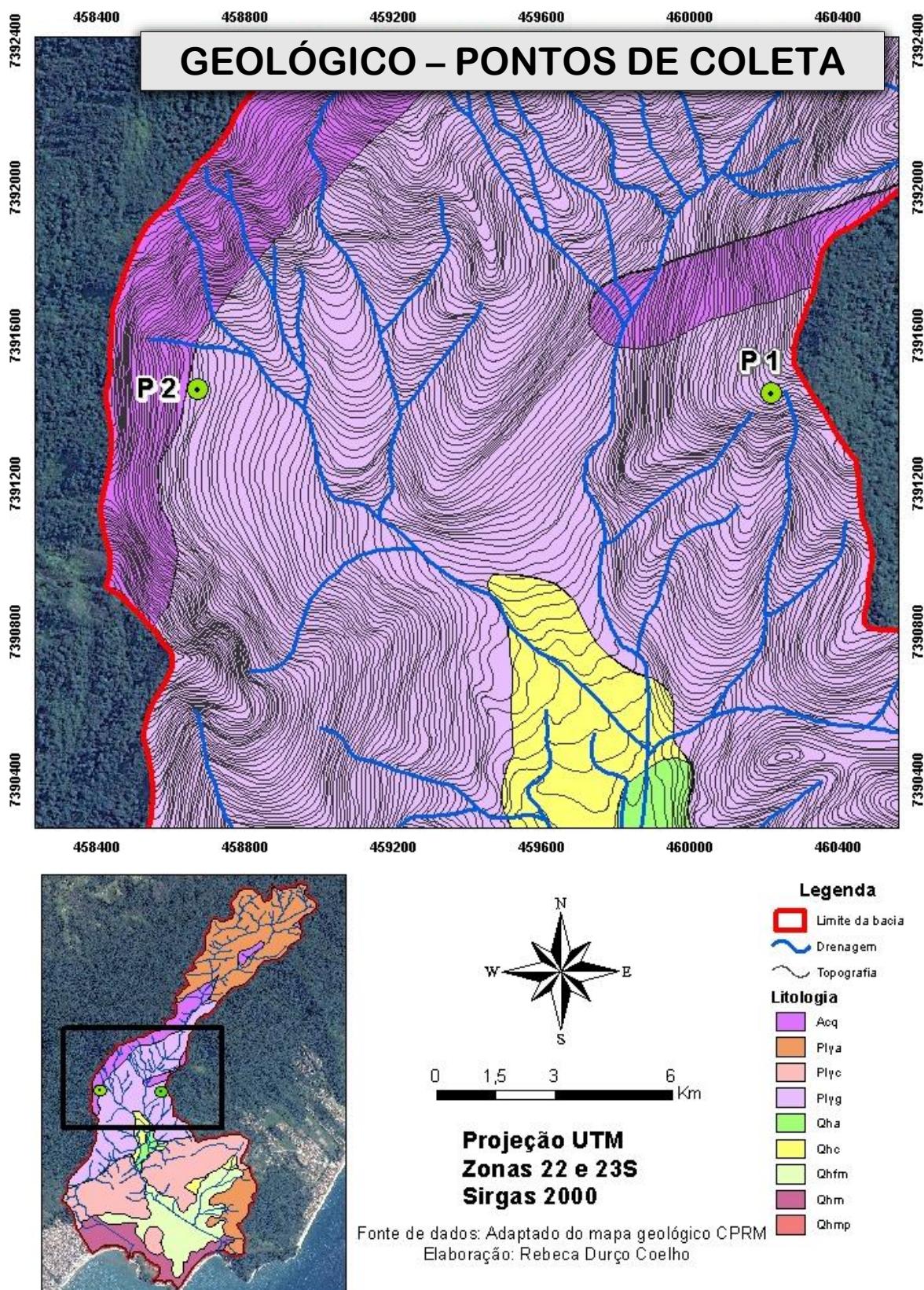


Figura 10: Mapa geológico digitalizado da bacia do rio Guaxinduba. Fonte: Adaptado de CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Naturais

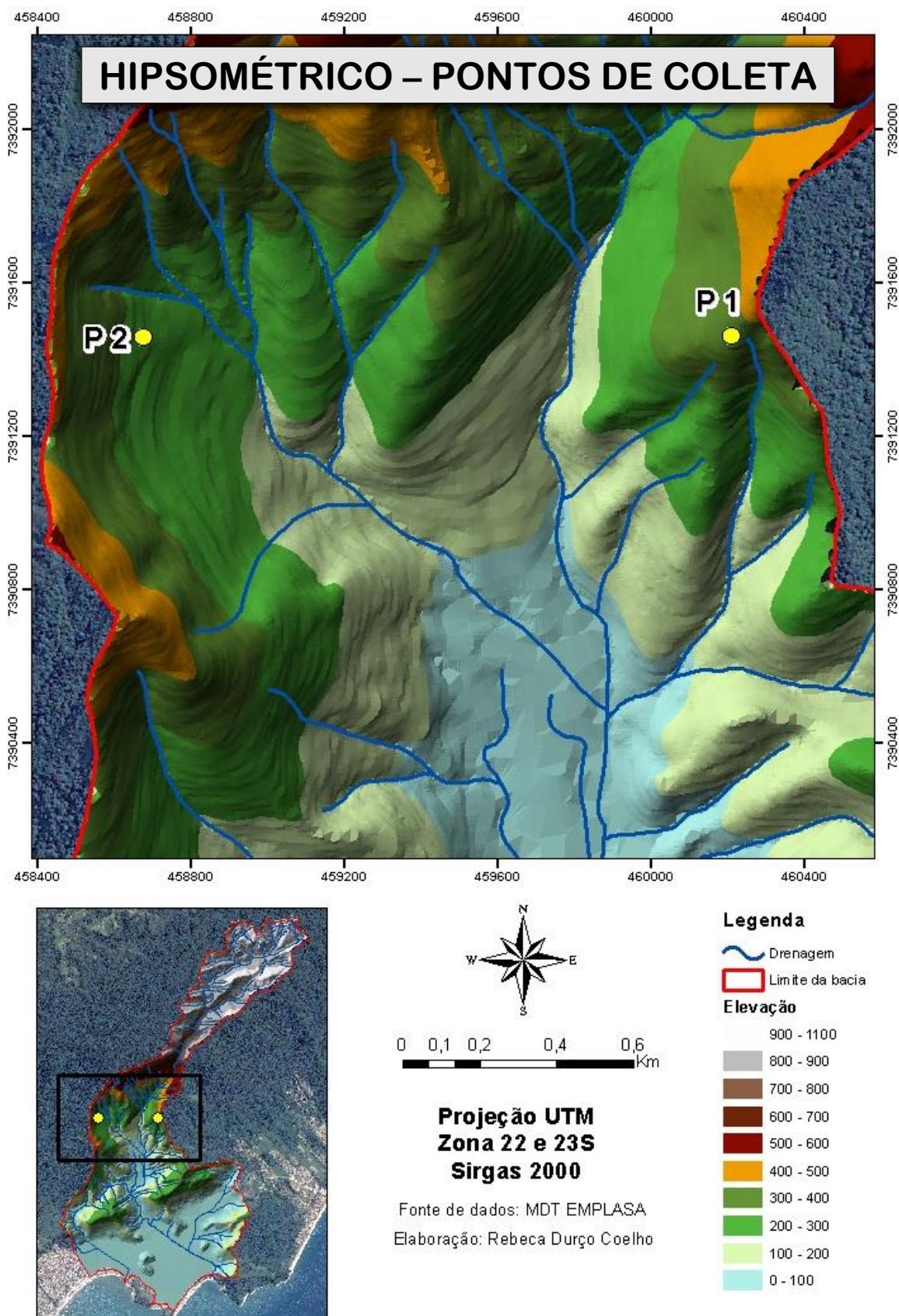


Figura 11: Mapa hipsométrico da bacia do rio Guaxinduba

6.2 – Mapas de Curvatura e Ângulo da encosta

A Figura 12 mostra o mapa de curvatura das encostas, em que é possível analisar que o P1 se encontra numa área com o predomínio de vertentes mais convexas enquanto que o P2 está numa área entre o côncavo e o retilíneo. O ponto 2 por se localizar numa área de convergência de fluxos, tende a ser mais propenso a instabilização. Conforme o trabalho de Ferreira (2013b), as formas retilíneas nesta bacia possuem a maior frequência com 45% do total, seguida das de formas convexas com 30% e côncavas com 25%.

A curvatura determina o sentido dos fluxos superficiais e subsuperficiais nas vertentes, logo é uma variável que também influencia a predisposição de uma área ser susceptível a escorregamentos. Fernandes e Amaral (1996) destacam que as formas convexas são áreas de dissipaçāo de fluxos, enquanto que as áreas côncavas convergem fluxos, recebendo água e materiais de montante. Deste modo, as concavidades das vertentes acumulam sedimentos de menor coesão e atingem níveis de saturação mais rapidamente que as outras partes do sistema, ou seja, podem ser áreas mais suscetíveis a movimentos de massa.

Vieira (2007), em uma bacia na serra do mar paulista, encontrou uma maior concentração de cicatrizes para as formas retilíneas (44%), seguido das formas convexas (41%) e côncavas (15,4%). Segundo a autora, a menor concentração de cicatrizes em áreas côncavas pode estar relacionada à localização mais frequente destas em vales fluviais sendo que o oposto acontece com as demais formas, retilínea e convexa.

As áreas côncavas, por vezes, constituem depósitos de materiais oriundos da montante, que quando acumulados podem gerar descontinuidades entre os diferentes materiais, o originado *in situ* e o depositado, influenciando assim no comportamento geotécnico e hidrológico (NERY, 2011).

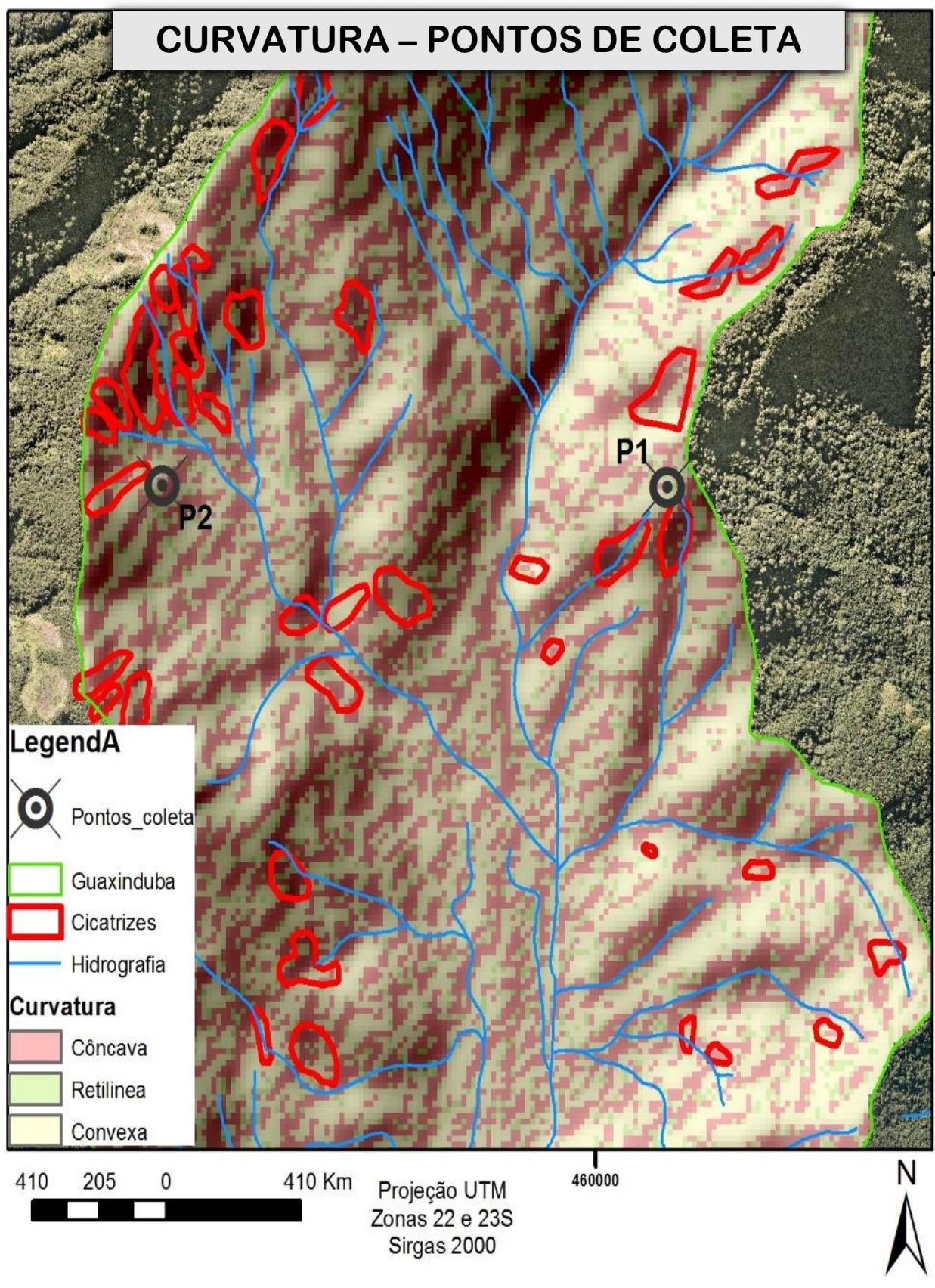


Figura 12: Mapa de Curvatura. Nota-se que o P1 encontra-se numa área convexa e o P2 numa área côncava

A Figura 13 mostra o mapa de ângulo das vertentes no qual foi possível observar que o P1 se localiza numa área entre 20º e 30º de inclinação nos limites com a classe entre 30º e 40º. Enquanto P2 se encontra também em encostas entre 20º a 30º, mas nas proximidades da classe entre 10º e 20º de inclinação. Portanto, os pontos de coleta, P1 e P2, encontram-se na mesma faixa de inclinação (20º a 30º) que segundo Ferreira (2013b) foi o intervalo que apresenta a maior quantidade de cicatrizes seguido pela classe de 30º a 40º.

Ramos (2012) em seu estudo na bacia indicou que a classe mais afetada pelos escorregamentos é a classe entre 30º e 40º, com cerca de 37% do total de escorregamentos seguido pela classe entre 20º a 30º que concentra cerca de 29% das cicatrizes. Vieira (2007) e Nery (2011) também apontaram que nesta faixa, entre 30º e 40º de inclinação, os escorregamentos são mais frequentes. Os autores encontraram respectivamente uma concentração de cicatrizes entre 50,7% e 51%

Ferreira (2013b) apontou que para a bacia do rio Guaxinduba os menores ângulos (até 20º e de 20º a 30º) se concentraram principalmente na parte planáltica, com respectivamente, 38% e 35% do total.

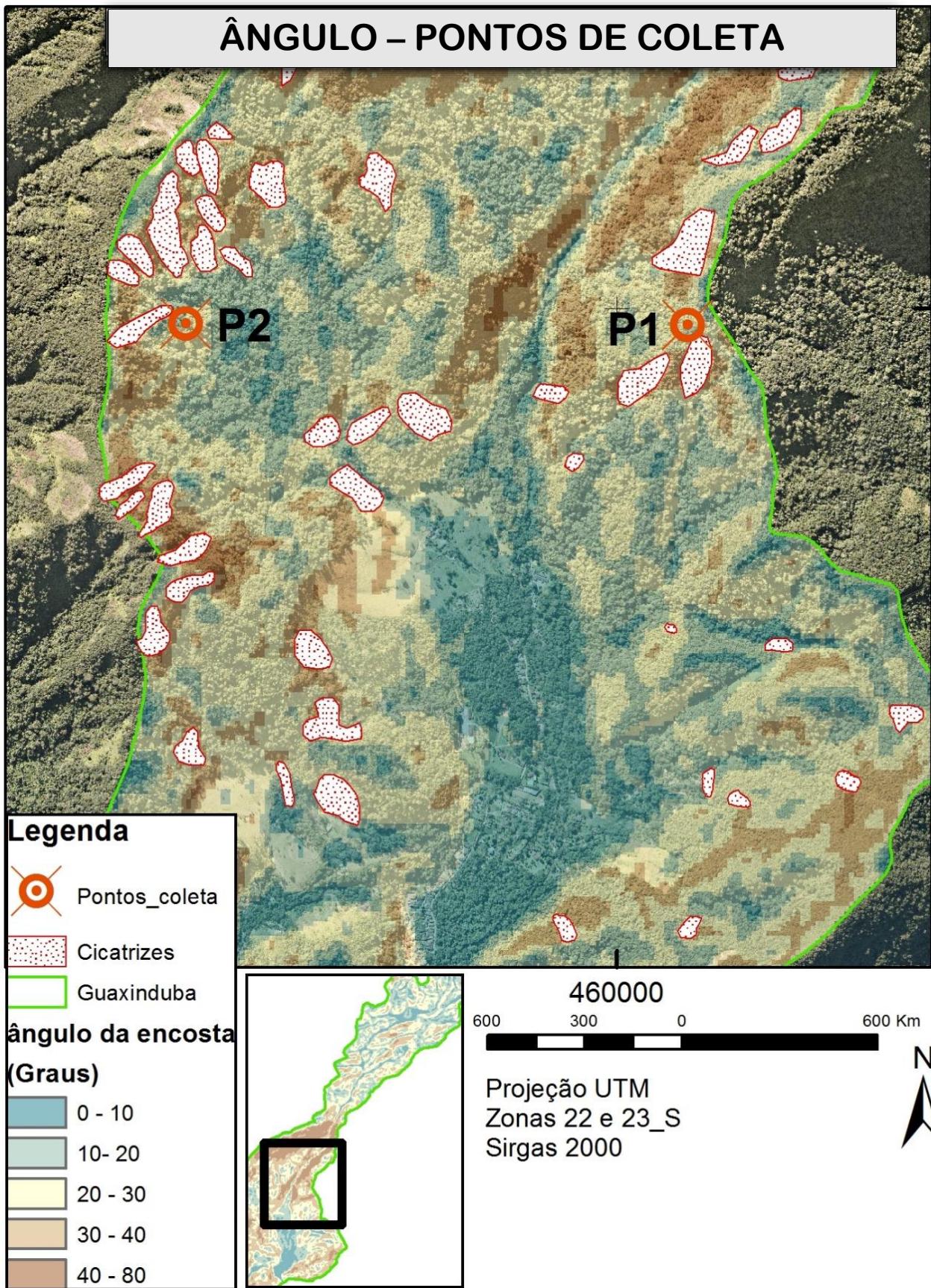


Figura 13: Mapa de ângulo da encosta. Nota-se que o P1 e P2 se encontram na mesma classe declividade de 20 a 30°.

6.2 - ÁREA ESTÁVEL - P1

Este ponto localiza-se próximo ao divisor de águas da bacia do Guaxinduba com a bacia do Massaguaçu e é constituído de um solo residual e sem a evidência de escorregamentos. Nas sondagens chegou-se a uma profundidade de 3,0m totalizando 10 amostras, o local apresentava uma vegetação preservada do tipo Mata Atlântica de alto porte (Figura 14).



Figura 14: Vegetação do tipo Mata Atlântica no ponto de coleta P1.

A tradagem nesta área apresentou 2 classes bem distintas de cores. Até aproximadamente 1,2m de profundidade as amostras mostraram cor bruno amarelada com fragmentos de minerais primários como o quartzo e feldspato (Figura 15 a e 15 b) e eram mais agregadas. Entre 1,2m e 3,0m as amostras mostraram-se mais claras do que as mais superficiais, além de apresentarem-se mais friáveis (Figura 15 C).



Figura 15: a) Amostras superficiais; b) Presença de fragmentos de quartzo; c) Coleta a partir dos 1,2m. Foto: Rebeca Coelho, maio 2014.

Durante os procedimentos de laboratório, as amostras mais superficiais [0,3 0,6 e 0,9m] apresentaram maior resistência ao destorroamento (principalmente as amostras 0,3m e 0,6m) sendo que estas características diminuíram com a profundidade e as demais amostras mostraram-se mais friáveis.

No decorrer das pipetagens, foi constatada a presença de argila floculada (Figura 16) que pode ter influenciado nos resultados finais, pois a argila se comporta como frações granulométricas maiores e acaba por decantar mais rápido. A presença de argila floculada também indica que a dispersão durante o procedimento de análise não foi completa.



Figura 16: Argila floculada, foto: Rebeca Coelho maio, 2014.

No geral, as concentrações de silte e argila diminuíram com a profundidade e de areia aumentaram (Figura 17), havendo um pico de concentração de argila na profundidade 0,6m e a partir da profundidade 0,9m as concentrações de silte superam de argila.

O teor de argila teve uma redução significativa com a profundidade (18,03% aos 0,3m e 3,69% aos 3m), enquanto o silte teve uma variação de 24,48% (0,3m) e 15,72% (3m). Já a fração areia aumentou progressivamente com a profundidade: (57,4% (0,3m) e 80,59% (3m).

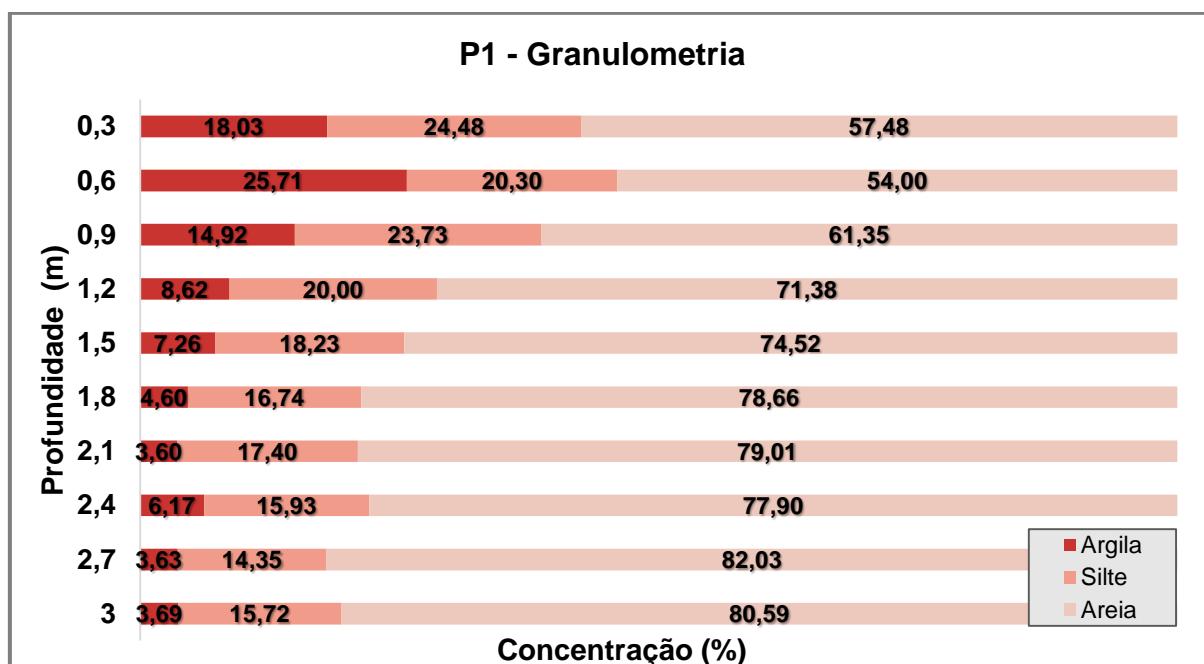


Figura 17: Granulometria P1. Nota-se a diminuição das frações silte e argila com a profundidade e o aumento da fração areia.

A fração areia teve um aumento gradativo com a profundidade, com predomínio fração areia média em todas as amostras deste ponto de coleta (Figura 18). As diferentes frações de areia do P1 não tiveram grandes variações de concentração com a profundidade.

A areia média pouco variou entre 0,3m e 3m (27% e 42,9%), tendo seu pico 44,1% aos 2,7m. Já a fração areia fina em 0,3m possuía 25,4% de concentração com um pico de 35,6% aos 2,4m. A areia grossa dos 5,1% aos 0,3m chegou aos 5% aos 3m com um pico de 10,1% a 1,5m de profundidade.

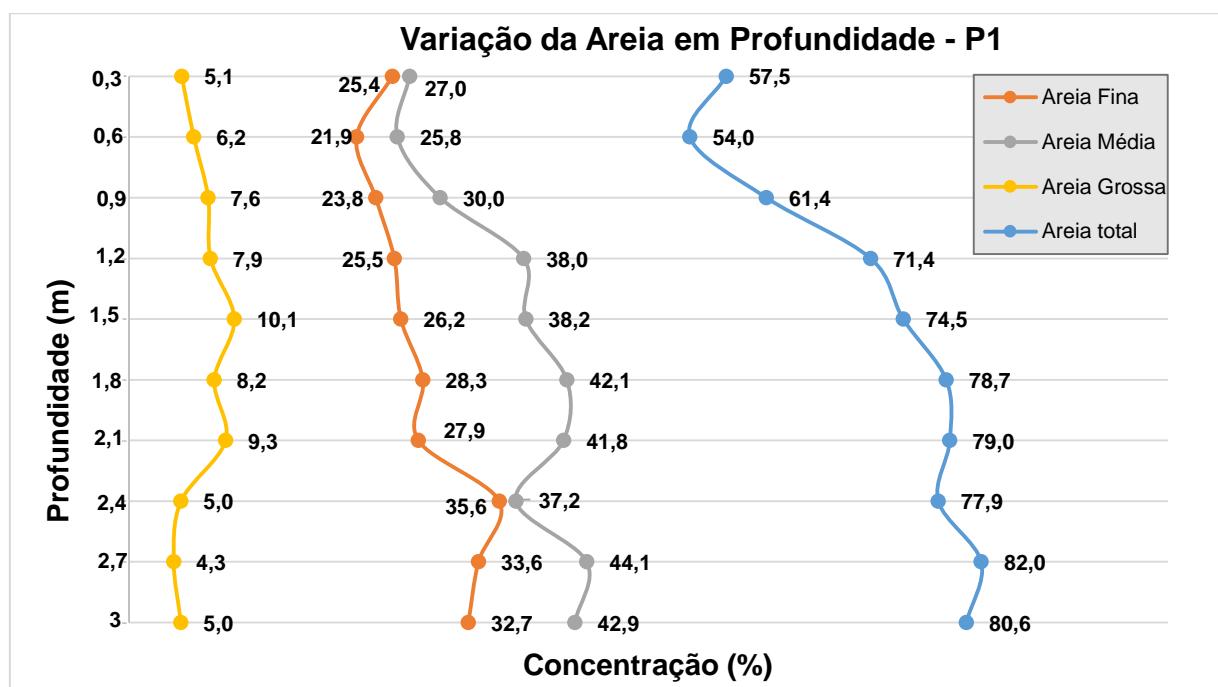


Figura 18: Variação da areia em profundidade do P1.

6.3 - ÁREA INSTÁVEL - P2

Neste ponto chegou-se a uma profundidade de 3m e um total de 10 coletas. Foram identificados tanto vegetação de alto porte do tipo Mata Atlântica como uma vegetação mais rasteira. No centro da clareira foi possível visualizar a predominância de vegetação rasteira, com bambus em suas bordas. O núcleo da clareira apresentava-se mais íngreme que a área do entorno (Figura 19a).

Foram 3 tentativas de coleta na área mais próxima (lateral) da clareira. A ordem das tentativas e profundidades máximas alcançadas foram: 0,6m, 0,9m e 1,2m, com um material retirado aparentemente era argiloso com fragmentos grosseiros de quartzo e forte presença de areia.

Na coleta do topo da clareira, além do alto porte, a vegetação possuía uma maior diversidade em espécies. Nesta área foi possível alcançar 3m de profundidade e o material assemelhava-se em cor com os coletados em menores profundidades. Neste, as amostras mais superficiais apresentaram-se mais amareladas (Figura 19b) que as coletas em maiores profundidades (Figura 19c). Ainda neste ponto, na profundidade 2,7m o material mostrava-se mais friável que o restante, e foi possível visualizar a presença de minerais primários, como feldspatos e quartzo, no material retirado.



Figura 19: a) Área da cicatriz; b) amostra mais superficial; c) amostra mais profunda, Foto: Rebeca Coelho, fevereiro 2015.

Durante os procedimentos de laboratório, assim como o P1, as amostras mais superficiais também se mostraram mais resistentes ao destorramento. A amostra 2,7m apresentou forte presença de feldspato em sua composição e o volume da fração grosseira ($>2\text{mm}$) diminuiu com a profundidade. Durante a pipetagem, tal qual ao P1, todas as amostras também apresentaram argila floculada (Figura 20) porém, esta se mostrou mais intensa nas amostras mais profundas [2,1m, 2,4m, 2,7m e 3m].

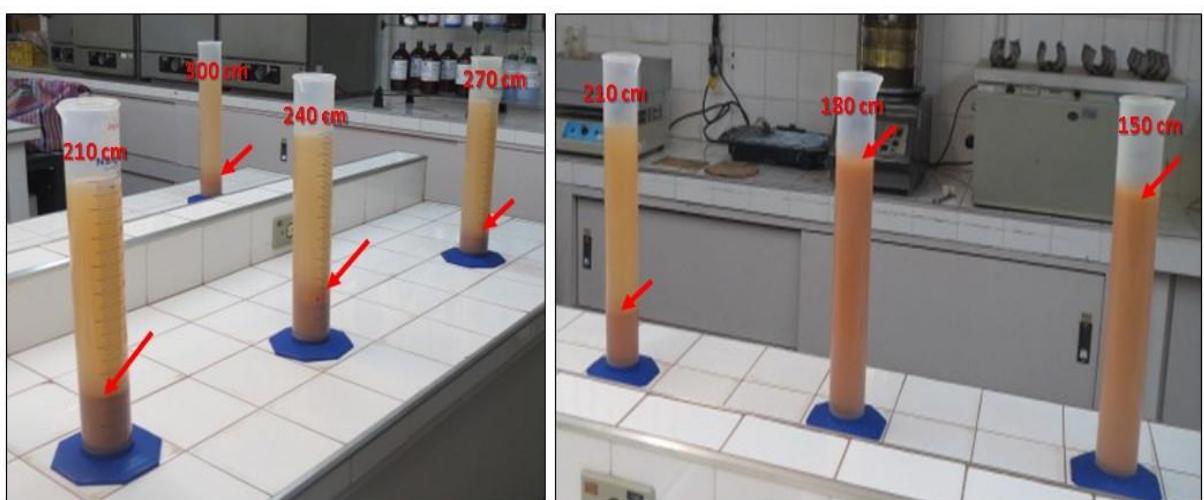


Figura 20: Argila floculada, foto: Rebeca Coelho, março 2015.

Os resultados das análises podem ter sido influenciados pela quantidade de silte, uma vez que superou 60% em algumas profundidades [2,1m, 2,4m e 3,0m] e a quantidade de argila apresentou-se muito baixa (próximas de 0%). Tal fato pode demonstrar que o método utilizado pode não ter sido eficaz para avaliar corretamente a granulometria quando as porcentagens de silte encontraram-se altas ($>60\%$).

Numa análise geral dos dados (Figura 21), as concentrações de silte aumentaram com a profundidade e o teor de areia pouco variou, matendo-se por volta dos 35%, com exceção da profundidade de 2,7m, que apresentou um aumento abrupto (66,72%). A concentração de argila, por sua vez, diminuiu progressivamente até 1,8m, e a partir desta profundidade os dados apresentaram valores baixos e permaneceram próximos de 0%.

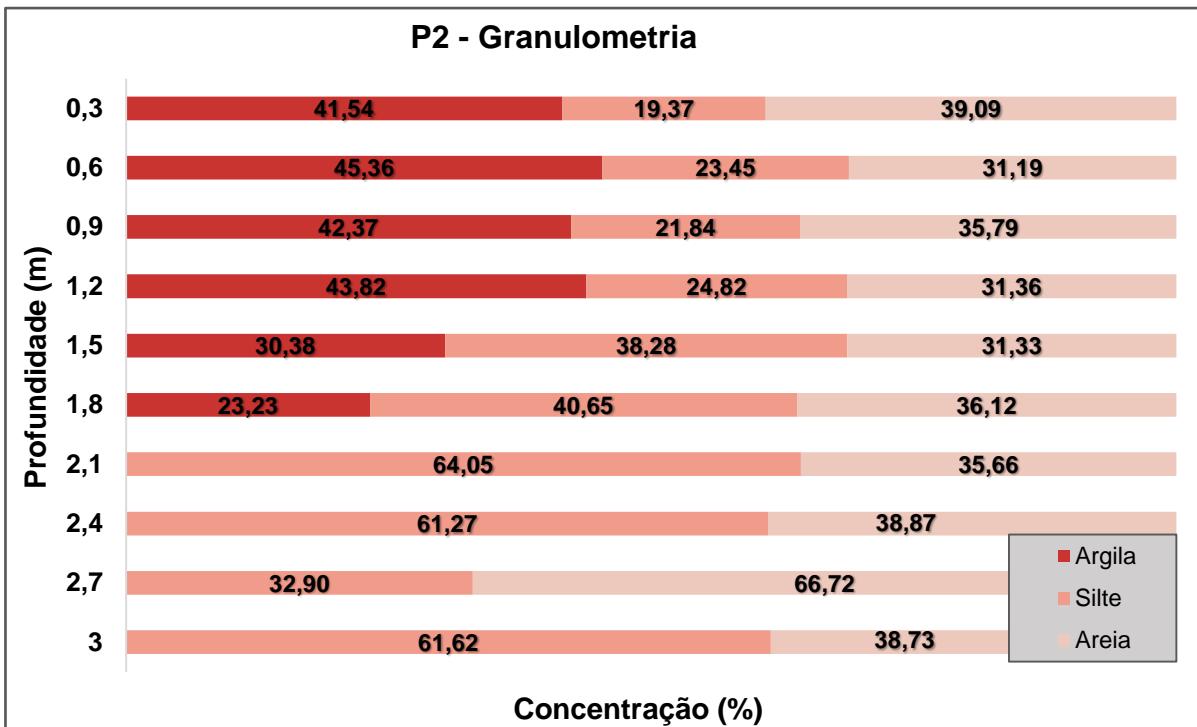


Figura 21: Granulometria P2. A partir dos 2,1m a fração argila apresentou valores próximos de zero e foi desconsiderada na confecção deste gráfico a partir desta profundidade.

Quanto as diferentes frações de areia (Figura 22), a areia média teve predominância até o ponto 1,8m, variando dos 20,2% (0,3m) e 16,5% (1,8m). Esta fração alcançou seu pico aos 2,7m de profundidade (28,3%). Enquanto isso a fração areia grossa pouco variou com a profundidade dos 8,8% aos 0,3m e 2,2% aos 3m de profundidade. A areia grossa juntamente com a areia média diminuiu sua concentração com a profundidade e o oposto ocorreu com a fração areia fina.

A areia fina foi a fração que teve mudanças de concentrações mais expressivas, 10,1% (0,3m) e chegando aos 29,8% (2,7m). As concentrações de areia fina tornaram-se dominantes nos horizontes mais profundos (a partir dos 2,1m) e isto associado aos altos índices de silte pode ter favorecido uma maior erodibilidade do solo e menor resistência ao ser transportado por fluxos.

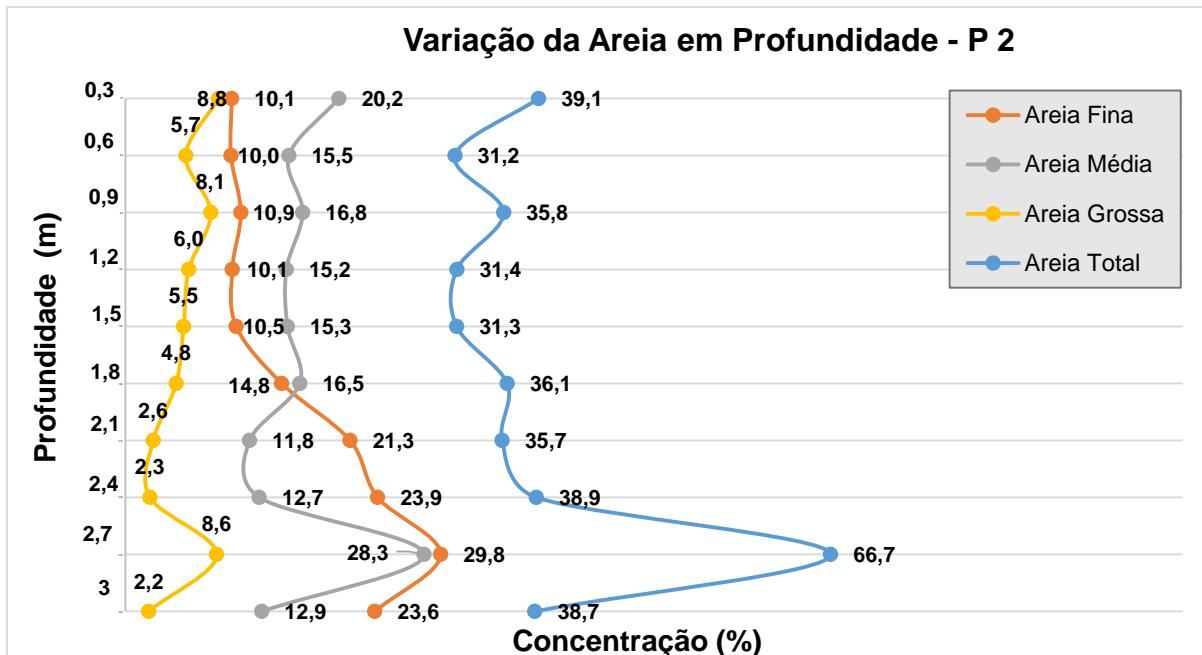


Figura 22:: Variação de areia em profundidade P2.

6.4 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS PONTOS

Com base nos resultados, pode-se notar que a característica comum nos dois perfis de alteração (P1 e P2) foi o aumento do teor de areia com a profundidade, confirmado o que alguns autores identificaram desde a década de 1980 a partir dos primeiros levantamentos *in situ* realizados na Serra do Mar (DE PLOEY e CRUZ, 1979; WOLLE e HACHICH, 1989).

Além do aumento do percentual de areia, a existência de um saprolito e da rocha muito alterada, ambos muito fraturados, podem ter permitido o avanço da frente de umedecimento, justificando as altas taxas de infiltração durante os eventos pluviométricos, como citado por Furian (1987).

Quanto às análises granulométricas, Ferreira (2013a) também obteve resultados semelhantes, sendo os horizontes mais profundos formados predominantemente por materiais siltosos e/ou arenosos, enquanto os horizontes superficiais apresentaram-se mais argilosos.

No ponto 1 (Figura 23) no que se refere as classes texturais, verificou-se que, mesmo em situações de chuva intensa, a frente de infiltração poderia não encontrar obstáculos em seu avanço, uma vez que a textura do manto de alteração vai se

tornando progressivamente mais grosseira com a profundidade, sem a presença de descontinuidades texturais abruptas

No ponto 2 (Figura 23) embora também apresente um aumento gradual das frações areia e silte, ou seja, redução da argila com a profundidade, é constituído de uma grande quantidade de argila até 1,50m de aproximadamente 40% Este alto teor encontrado em uma espessura expressiva do perfil pode impedir o fluxo vertical da frente de infiltração. Consequentemente, pode haver o aumento do grau de saturação e o desenvolvimento de fluxos laterais na vertente. Soma-se a isso as características topográficas em que esse perfil se encontra, associado ao elevado ângulo da vertente (~30°), contribuindo para o aumento das forças solicitantes que induzem o movimento do material vertente abaixo.

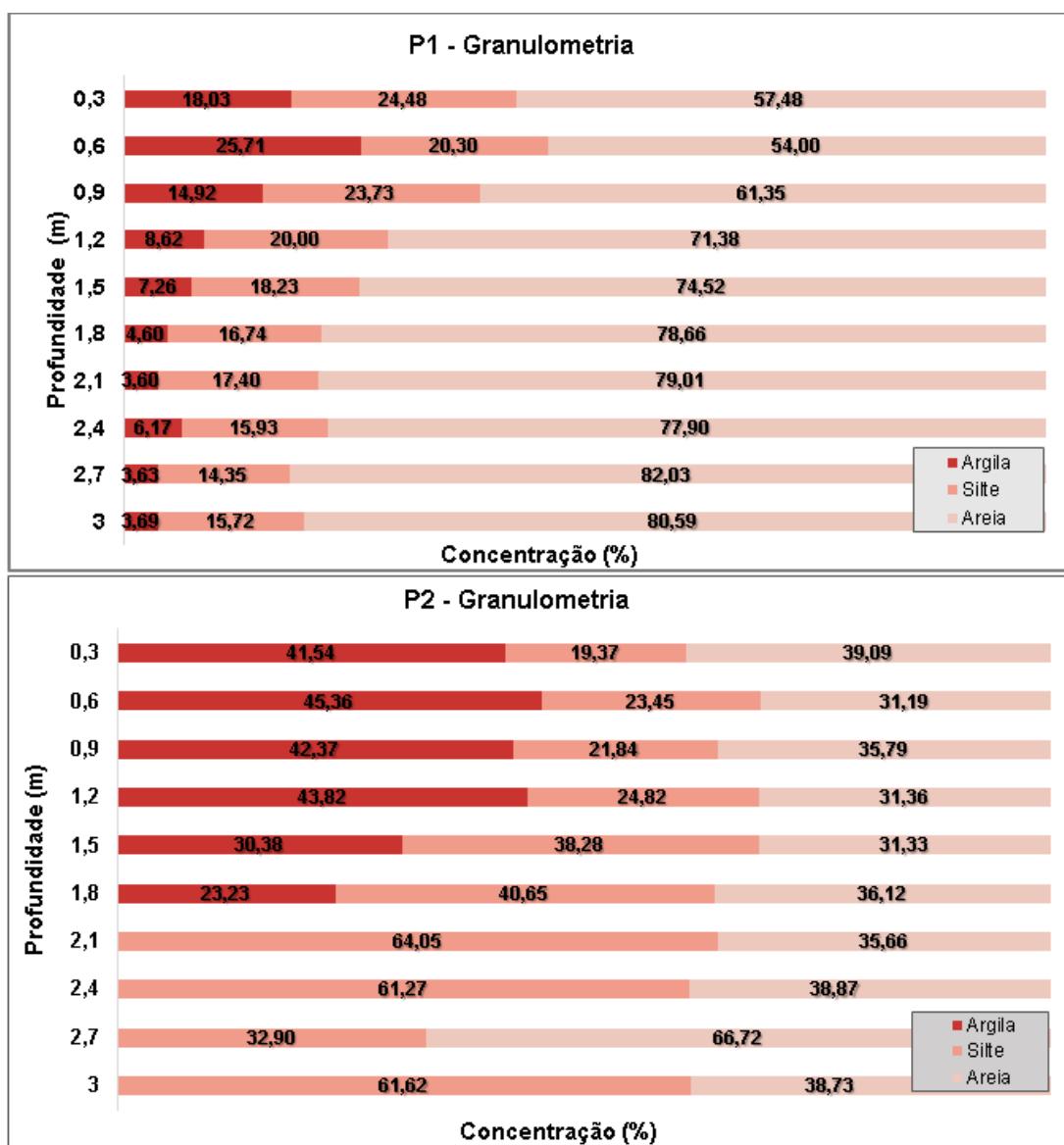


Figura 23: Comparação entre P1 e P2

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos resultados obtidos e da comparação entre os pontos foi possível concluir que o objetivo proposto para esta pesquisa foi alcançado, uma vez que o P2, área próxima a uma cicatriz, se mostrou mais propenso a instabilização.

O método utilizado para a granulometria mostrou-se eficaz para amostras com teores de areia maiores que 50%, porém pouco eficiente para teores de silte acima dos 60% de concentração. Sendo que as amostras mais profundas do P2 (2,1, 2,4, 2,7 e 3m) que possuíam concentrações de silte > 60% apresentaram teores de argila muito próximos de 0%, o que pode demonstrar uma possível ineficiência do método ao mensurar altos teores de silte.

Com a análise granulométrica, juntamente com o auxílio dos mapas (Geológico, hipsométrico, curvatura e ângulo), pode-se ter uma visão geral e individual de cada ponto. A comparação entre P1 e P2 mostrou que ambos apresentam características semelhantes no que diz respeito a geologia, hipsometria e ângulo. As descontinuidades texturais abruptas, associados a localização numa área côncava (convergente de fluxos) presentes no ponto 2 pode ser um indicador da maior suscetibilidade aos escorregamentos.

Espera-se que este trabalho possa auxiliar no entendimento das propriedades físicas do solo que possam influenciar no desenvolvimento dos escorregamentos rasos em uma paisagem geomorfológica como a Serra do Mar. Entretanto, estudos futuros em diferentes áreas, com outras coletas de solos e avaliações de demais propriedades, se faz necessário para uma maior acurácia e interpretação dos resultados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** 1^a Conf. Bras. Estabilização de. Encostas. ABMS/ABGE. Rio de Janeiro, v.2, .723p
- AUGUSTO FILHO, O. (1994) **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela (SP).** São Paulo. Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.
- BAVER, L. D., W. H. Gardner, and W. R. (1972) **The thermal regime of soils.** In Soil Physics, edited by Baver, L. D., Walter H. Gardner, and Wilford R. Gardner. 4th ed. (Jonh Wiley & Sons,Inc., New York), 253-283pp.
- BRADY, N.C; WEIL, R.R.(2013) **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos.** 3^a ed. Porto Alegre: Bookman, 685pp.
- CAMARGO, O.A; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.;VALADARES, J.M.A.S.(2009) **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física dos Solos do Instituto Agronômico de Campinas.** Campinas, Instituto Agronômico. 77pp. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada). [acesso em julho de 2014]. Disponível em:<<http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/Boletim106.pdf>>
- CERRI, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes.** São Paulo. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho: 1993. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente.
- COSTA NUNES, A.J. **Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms.** 7th Int. Confer. On Soil Mech. and Found. Eng. ISSMFE, London, pp. 547–554, 1969.
- CRUZ, O. **A Serra do Mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba – SP. Contribuição à Geomorfologia Litorânea Tropical.** Tese de Doutorado. IG – Série Teses e Monografias nº 11, 1974.181pp.
- CRUZ, O. **A Serra do Mar e a preservação de suas vertentes.** Orientação, São Paulo. (7):39-75pp, 1986
- CRUZ, O. **Contribuição geomorfológica ao estudo das escarpas da Serra do mar.** Revista do Instituto Geológico. São Paulo.v 8-10 e 11, n 1, pp 9-20, 1990.
- DE PLOEY, J; CRUZ, O. **Landslides in the Serra do Mar, Brazil.** Catena, 6:111-122. Doi: 10.1016/0341-8162(79)90001-8, 1979.
- FERNANDES, N.F; AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa: Uma abordagem Geológica- Geomorfológica** in: Geomorfologia e Meio ambiente. Rio de Janeiro. 10^a ed. Bertrand do Brasil, 1996. 394 pp.
- FERREIRA, F. S. **Análise da influência das propriedades físicas do solo na deflagração dos escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) [online].** São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade

de São Paulo, 2013a. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. [acesso junho de 2014]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-27032013-092838/>>.

FERREIRA, R.B. Inventário de escorregamentos rasos de 1967 e sua influência na análise de suscetibilidade na bacia do rio Guaxinduba, Caraguatatuba (SP). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Trabalho de Graduação Individual, 2013b.

FURIAN, S. Estudo Geomorfológico do escoamento superficial pluvial em parcelas experimentais no parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha, SP: Um esboço metodológico. Mestrado em Geografia, FFLCH-USP, São Paulo, 187pp. 1987.

FURIAN, S.; BARBIÉRO, L.; BOULET, R. Organization of the soil mantle in tropical southeastern Brazil (Serra do Mar) in relation to landslides processes. Revista CATENA, Amsterdam, v. 1, n. 38, 1999. pp 65-83.

GOMES, M. C. V. Análise da influência da condutividade hidráulica saturada dos solos nos escorregamentos rasos na bacia do rio Guaxinduba (SP) [online]. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2012. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. [Acesso junho de 2014]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-09112012-123744/>>.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. São Paulo: 2^a ed. Edgar Blücher, 1984.194p.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P, (2008). **O manual de deslizamento - Um Guia para a compreensão de deslizamentos.** Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p. Versão em português disponível em: <https://www.gfdrr.org/sites/gfdrr.org/files/publication/Deslizamentos_M5DS.pdf> acesso em abril de 2014.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo): **Indicação preliminar de áreas prioritárias para recomposição da cobertura vegetal na serra do mar na área de Cubatão**, Relatório, São Paulo, 1986.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Ocupação de Encostas.** Publicação IPT Nº 1831, 1991.216p.

JENNY, J. Factors of soil formation: A system of quantitative pedology. New York;London: McGraw Hill Book Company, 281pp. 1941.

JONES, F.O. Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras Escarpment, Brazil. US Geological Survey. Prof. Paper 697, 1973. 42 pp.

LACERDA, W.A. Stability of Natural Slopes Along the Tropical Coast of Brazil In: Proceeding of the International Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, M. Almeida, Brookfield, p.17–39, 1997.

LOPES, E. S. S. **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da serra do mar paulista, na escala de 1:10.000.** 2006. xx, 276 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2006. [Acesso novembro de 2014]. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/102962>>.

MEIS, M.R.M; Meis MRM, Silva JX. **Considerações geomorfológicas a propósito dos movimentos de massa ocorridos no Rio de Janeiro.** Revista Brasileira de Geografia, 30, 1: p.55-72, 1968.

NERY, T. D. **Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos Translacionais Rasos na Bacia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP).** [Online]. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2011. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. [Acesso outubro de 2014]. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-26082011-095230/pt-br.php>>

PELLEGATTI, Cesar Henrique Gonçalves, e GALVANI, E. **A influência da orografia na distribuição da precipitação ao longo do perfil da escarpa da Serra do Mar-SP.** In V Seminário Latino-Americanano de Geografia Física e I Seminário Ibero Americano de Geografia Física, Santa Maria, RS, 2008. Santa Maria, RS. [acesso maio de 2016]. Disponível em:<<http://www.ufsm.br/vslagf>>. 3366-3377pp

QUEIROZ NETO, J.P; ROSSI, M. **Relações Solo/Paisagem em regiões tropicais úmidas: O exemplo da Serra do Mar em São Paulo, Brasil.** Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, V. 14, p 11-23, 2001.

SMA/IF - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – INSTITUTO FLORESTAL. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Mar (Diagnóstico e Avaliação do Meio Físico).** São Paulo: SMA/IF, 2006.

SELBY, M. J. **Hillslope: materials and process.** Oxford, England: Oxford University Press, p 451, 1993.

SILVEIRA, G.C. **Características geomecânicas dos solos residuais e coluvionares do escorregamento na estrada do soberbo, Alto da Boa Vista (RJ).** Tese de doutoramento, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1993. [Online] Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/93-1993/1297-glauber-candia-silveira#download>>

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms.** Longman Scientific & Technical, 1991. 537p.

TATIZANA, C.; OGURA A. T.; CERRI L. E. S.; ROCHA M. C. M. **Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos – Serra do Mar, município de Cubatão.** In Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo. 1987. 225-236p.

TOMINAGA, L.K. **Escorregamentos** in: Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. São Paulo: 2ª ed. INSTITUTO GEOLÓGICO, 2009. 196p.

VARGAS JR, E; OLIVEIRA, A.R.B; COSTA FILHO, L.M; CAMPOS, T.P. **A study of the relationship between the stability of slopes in residual soils and rain intensity**, International Symposium on Environmental Geotechnology, Envo Publishing, Leigh, USA, 491–500, 1986.

VIEIRA, B.C. **Previsão de Escorregamentos Translacionais Rasos na Serra do Mar (SP) a partir de Modelos Matemáticos em Bases Físicas**. [Online]. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. Tese de Doutorado em Geografia Física [acesso em outubro de 2014]. Disponível em:<http://www.ppgg.igeo.ufrj.br/index.php?option=com_content&task=view&id=431&Itemid=49>

WOLLE, C. M.;CARVALHO, C. S. **Taludes Naturais**. In: FALCONI, F. F.; JUNIOR, A. N. (Org.), Solos do Litoral de São Paulo. São Paulo: ABMS, p. 180-203,1994.

WOLLE, C.M; HACHICH, W. **Rain-induced landslides in southeastern Brasil**. Proceedings 12th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering. Rio de Janeiro, Vol. 2: p.989-994, 1989.