



Número: 86/2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Área Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

**GÉSSIKA POLLON PUERTA SABIO**

**Cálculo de Volume de Manto Intempérico de Encostas de Regiões Tropicais Úmidas: o caso da bacia do rio Tavares, Ubatuba - SP.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira

**CAMPINAS - SÃO PAULO**

Agosto - 2008

**Catlogação na Publicação elaborada pela Biblioteca  
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

Sa13c	<p>Sabio, Gessika Pollon Puerta Sabio. Cálculo de Volume de Manto Intempérico de Encostas de Regiões Tropicais Úmidas: o caso da bacia do rio Tavares, Ubatuba-SP. / Gessika Pollon Puerta Sabio-- Campinas,SP.: [s.n.], 2008.</p> <p>Orientador: Francisco Sérgio Bernardes Ladeira. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.</p> <p>1.Escorregamentos. 2. Intemperismo (geografia). 3. Ubatuba (SP). I. Ladeira, Francisco Sérgio Bernardes. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.</p>
-------	---

Titulo em inglês Calculation of Volume of Weathering Mantle of Slopes of Humid Tropical  
Regions: the case of Tavares river basin, Ubatuba-SP.

Keywords: - Landslides;  
- Weathering mantle;  
- Ubatuba (SP).

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia.

Banca examinadora: - Francisco Sergio Bernardes Ladeira;

- Antonio Carlos Vitte;

- Cenira Maria Lupinacci Cunha.

Data da defesa: 28/08/2008

Programa de Pós-graduação em Geografia.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ÁREA ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTORA: GÉSSIKA POLLON PUERTA SABIO

**Cálculo de Volume de Manto Intempérico de Encostas de Regiões Tropicais  
Úmidas: o caso da bacia do rio Tavares, Ubatuba - SP.**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira

Aprovada em: 28 / 8 / 08

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira

 - Presidente

Profª. Dra. Cenira Maria Lupinacci Cunha



Prof. Dr. Antonio Carlos Vitte



Campinas, 28 de agosto de 2008

*À minha família.*

## **Agradecimentos**

Aos meus pais Maria Iolanda e Sergio e meu irmão Serginho por todo amor, e por sempre acreditarem em mim.

Ao Prof. Dr. Francisco Sergio Bernardes Ladeira, pela orientação, paciência e amizade.

Ao Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias, por toda disponibilidade, sugestões e ajuda com o ArcGis.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Cenira Maria Lupinacci Cunha, pelo apoio quando decidi vir para a UNICAMP, pela ajuda e sugestões dadas na Qualificação.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Vitte pelas sugestões na prova de Qualificação.

Ao meu companheiro Osmar de Sousa Santos, por sempre acreditar em minha capacidade, pelo carinho e apoio.

À Estefano Seneme Gobbi e Carolina Verbicaro Perdomo por toda a ajuda nos trabalhos de campo e por toda a descontração e animação nos corredores do IG.

Às funcionárias da Secretaria de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da UNICAMP: Valdirene Pinotti e Edinalva de Novaes Schultz por toda ajuda, atenção e dedicação, com TODOS os alunos ligados ao Programa de Pós Graduação do Instituto de Geociências.

À minha querida amiga Marta Minussi Franco, por todo apoio, ajuda com o trabalho, pelos inúmeros momentos de incentivo e pela linda amizade que cultivamos.

Ao meu amigo-irmão Davi Silvestre Fernandes Martins, por estar sempre presente e por sempre me lembrar de perseverar.

Aos meus amigos de graduação: Ana Paula Fernandes, Vivian Quibao Pretti, Sara Cristina Pastro, Guilherme Rodrigues Reis e Alberto dos Santos Dudena, por todo o incentivo, apoio e carinho.

Aos meus primos: Juninho, Carol, Vanessa e Marcelo, por sempre estarem ao meu lado, mesmo que por pensamento.

Aos queridos Flávia e Álvaro Cannellini, por sempre me apoiarem e pelo imenso carinho.

Aos amigos e agregados da República do Victor: Alex, Antonio, Paula, Rodrigo, Dayse, Denise e Gustavo por todos os risos, choros, festas, enfim por tudo o que vivemos enquanto

estivemos juntos.

Aos meus grandes amigos de Osasco: Daini, Kléo, Karla, Galego, Waldir, Alberto, Cléber, Baiano, Magno, Julierme, Carla Felici e Amanda, por fazerem parte da minha caminhada.

Aos super queridos da Moradia da UNESP – Rio Claro: Cauby, Evandro (Zé), Pixote, Pac (Tati), Deco, Ronald, Djalma, Luís Natividade, Duque Pedrinho e Banana. Galera animada, pronta pra qualquer parada e que me apoiaram muito durante o período de desenvolvimento desta pesquisa.

Ao colega do IG, Édson Luis Bolfe, pela ajuda com a Análise Geoestatística.

Às funcionárias da biblioteca da UNESP – Rio Claro: Mônica, Meire e Nilza, que desde a graduação, sempre foram extremamente atenciosas e prestativas.

À todos os funcionários do Instituto de Geociências que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desta pesquisa.

*"É melhor tentar e falhar,  
que preocupar-se e ver a vida passar;  
é melhor tentar, ainda que em vão,  
que sentar-se fazendo nada até o final.  
Eu prefiro na chuva caminhar,  
que em dias tristes em casa me esconder.  
Prefiro ser feliz, embora louco,  
que em conformidade viver ..."*

*Martin Luther King*



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**Área Análise Ambiental e Dinâmica Territorial**

**Cálculo de Volume de Manto Intempérico de Encostas  
de Regiões Tropicais Úmidas: o caso da bacia do rio Tavares, Ubatuba - SP.**

**RESUMO**

**Dissertação de Mestrado  
Géssika Pollon Puerta Sabio**

A realização de pesquisas voltadas à obtenção de dados qualitativos e quantitativos do manto intempérico de encostas de ambientes tropicais úmidos, é extremamente escassa. O conhecimento de dados de profundidade e de volume do manto intempérico, principalmente, nas áreas de risco de escorregamentos de massa, podem ser muito úteis para o estabelecimento de ações preventivas e de monitoramento de caráter estrutural. A presente pesquisa objetivou realizar o cálculo do volume do manto intempérico, nas encostas da bacia do rio Tavares, no município de Ubatuba – SP. Para tal foram utilizados procedimentos de campo, basicamente através da realização de tradagens, unidos às rotinas e análises geoestatísticas de um Sistema de Informação Geográfica, com o fim de obter como resultado um Modelo Digital de Elevação que representasse a profundidade do manto intempérico da área de estudo e, conseqüentemente, revelasse o volume de material compreendido entre a superfície e o contato manto/rocha. Após a realização de todas as etapas necessárias para a elaboração do Modelo Digital de Elevação, foram elaboradas diversas hipóteses que tentassem explicar o fato de que, após a validação, o modelo foi considerado inviável para aplicação.

Palavras – Chave: Volume do Manto Intempérico, Ubatuba e Rio Tavares.



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**Área Análise Ambiental e Dinâmica Territorial**

**Cálculo de Volume de Manto Intempérico de Encostas  
de Regiões Tropicais Úmidas: o caso da bacia do rio Tavares, Ubatuba - SP.**

**ABSTRACT**

**Master's Degree Dissertation  
Géssika Pollon Puerta Sabio**

The completion, implementation or realization of researches aimed to the qualitative and quantitative data of the weathering mantle of slopes of humid tropical environments is extremely scarce. Knowledge of thickness and volume data of the weathering mantle, mainly in the landslides risk areas, may be very useful for the establishment of preventive measures and monitoring of structural character. This research aimed to perform the calculation of the weathering mantle volume of the slopes of Tavares river basin, in Ubatuba - SP. For this, were used such field procedures and geostatistical analyses of a Geographic Information System in order to obtain as a result a Digital Elevation Model that represents the thickness of the weathering mantle of the study area and thus reveal the volume of material between the surface of soil and the mantle/rock contact. After of the completion of all this steps, were compiled some hypotheses that attempt to explain why, after the validation, the model was considered impracticable to apply.

Keywords: Weathering Mantle Volume, Ubatuba and Tavares River.

## SUMÁRIO

<b>Índice</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de Fotos</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xiv</b>

## ÍNDICE

1. Introdução	01
2. Objetivo	03
3. Justificativa	04
4. Revisão Bibliográfica	06
4.1 Mantos Intempéricos em Regiões Tropicais Úmidas	06
4.2 Movimentos de Massa Gravitacionais	08
4.2.1 Definições e Agentes Deflagradores	08
4.2.2 Classificação de Movimentos de Massa Gravitacionais	10
5. Definição da Técnica Proposta	14
6. Procedimentos	16
6.1 Tradagens	16
6.2 Correção de Dados de Campo	17
6.3 Elaboração de Documentos Cartográficos	20
6.3.1 Carta Topográfica	20
6.3.2 Mapa de Pontos de Tradagem em Campo	21
6.3.3 Mapa de Declividade	21
6.3.4 Perfis Topográficos	21
6.3.5 Elaboração do MDE do Manto intempérico	22
6.3.6 Mapa de Pontos de Profundidade Extrapolados	22
6.3.7 Mapa de Tendência de Profundidade do Manto	23
6.3.8 MDE do Manto Intempérico	24
6.3.9 MDE dos Pontos Extrapolados	24
7. Caracterização da Área de Estudo	25
8. Resultados e Discussão	30
8.1 Trabalhos de Campo: coleta de dados e observação da área de estudo	30
8.2 Documentação Cartográfica	33
8.3 Validação do Modelo	50
9. Conclusão	52
10. Referências Bibliográficas e Bibliografia	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1: Tipos de movimentos de massa: A – diagonais; B – laterais e C – verticais	12
Figura 5.1: Fluxograma com etapas da técnica proposta	16
Figura 6.1: Esquema de perfurações por tradagens nas vertentes	17
Figura 7.1: Localização do município de Ubatuba e da bacia do rio Tavares	25
Figura 7.2: Unidades geológicas da folha Rio de Janeiro/ Vitória/ Iguape, no estado de São Paulo	27
Figura 8.1: Carta topográfica da bacia do rio Tavares	35
Figura 8.2: MDE da bacia do rio Tavares	36
Figura 8.3 :Carta topográfica da área de estudo	37
Figura 8.4: Mapa de pontos de tradagem em campo	38
Figura 8.5: Mapa de declividade	39
Figura 8.6: Mapa de declividade e pontos de tradagem	40
Figura 8.7: Perfis topográficos das sub-bacias	42
Figura 8.8: Mapa de pontos de profundidade extrapolados	44
Figura 8.9: MDE pontos extrapolados	45
Figura 8.10: Mapa de profundidade do manto (análise por krigagemordinaria)	46
Figura 8.11: Perfil de profundidade do manto intempérico no corte A-B, baseado no mapa de profundidade por krigagemordinaria	47
Figura 8.12: Perfil de profundidade do manto intempérico no corte C-D, baseado no MDE de pontos extrapolados	47
Figura 8.13: MDE de profundidade (baseado no mapa de krigagem ordinária)	49
Figura 8.14: Mapa de Validação	51

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 6.1: Curso d'água correndo sobre rocha fresca	23
Foto 8.1: Ponto de tradagem 14. Profundidade alcançada: 5,20m (observar trado)	31
Foto 8.2: Cicatriz de escorregamento à jusante da bacia	31
Foto 8.3: Cicatriz de escorregamento rotacional ao lado do ponto 06	32
Foto 8.4: Presença de blocos de rocha em superfície	32

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1: Principais tipos de movimentos de massa gravitacionais, associados à encostas	13
Tabela 4.2: Comparação entre algumas propostas brasileiras de classificação de movimentos de massa	14
Tabela 8.1: Dados coletados em campo e corrigidos para aplicação da técnica	30

## 1. Introdução

Os movimentos de massa são processos naturais, modeladores da paisagem da superfície externa, que se caracterizam pelo movimento gravitacional de solo e/ou material rochoso, descendente e para fora da encosta, sem a ajuda da água *corrente* como agente de transporte, resultantes de condições instáveis da vertente estabelecidas, principalmente, pela infiltração das águas pluviais. (Costa e Baker, 1984; Crozier, 1986; Fernandes *et al*, 2001; Fernandes e Amaral, 2000; Sestini, 1999)

No Brasil uma das principais regiões afetadas por tais eventos é a Serra do Mar, na qual, durante o período de altas precipitações, é comum a ocorrência de escorregamentos de massa, devido à pré-disposição ambiental da área e às ocupações irregulares ali estabelecidas. As populações residentes nestas áreas são diretamente afetadas por estes eventos, uma vez que as ocupações antrópicas desordenadas e a implantação de obras de infra-estrutura, tais como rodovias, ferrovias, dutovias e linhas de transmissão, nas encostas da Serra do Mar, trazem complicações de ordem social e econômica à estas sociedades na ocorrência de um evento de tal natureza.

Ao longo de todo o processo histórico de ocupação e exploração da Serra do Mar, foram e são registrados inúmeros casos de movimentos de massa gravitacionais, os quais normalmente tiveram repercussões negativas, ou seja, causaram acidentes que colocaram em risco o bem-estar das populações que ali se estabelecem (sendo registradas muitas vezes a ocorrência de óbitos), bem como a infra-estrutura estabelecida na região.

Segundo Felicíssimo Jr. (1967, citado em Cruz, 1974, pg. 156), em 1805 já eram registrados deslizamentos nos rios das Minas e ribeirão Mandira, na Serra do Itapitangui e Mandira (Oeste de Cananéia, respectivamente). Cruz (1974), ainda destaca os deslizamentos ocorridos em 1928 e 1956 em Santos (Mont Serrat – ocorrência de movimento rotacional, fato incomum na Serra do Mar, onde predominam os movimentos translacionais), o de 1956 em São Sebastião, os de 1942, 1943 e 1949 em Ubatuba e os eventos ocorridos em 1967 e 1969 em Caraguatatuba, sendo o último o mais expressivo, pela enorme quantidade de material mobilizado.

Deve-se destacar também dois eventos expressivos ocorridos na década de 1980: o primeiro, em 1984, nas encostas da Serra do Mar na região de Cubatão ocasionando o rompimento de um duto de gasolina, causando cerca de 500 vítimas, sendo 93 fatais (CETESB, 12/06/07); e o segundo em 1985, no vale rio Mogi onde ocorreram inúmeros movimentos translacionais devido ao fencimento da vegetação arbórea provocada pela poluição do Pólo Industrial de Cubatão.

A partir de tais considerações faz-se necessária a realização de pesquisas que visem a investigação de tais eventos, para que seja possível o desenvolvimento de sistemas voltados a prevenção e ao monitoramento das áreas susceptíveis.

Como área de estudo para a realização desta pesquisa, foi selecionada a bacia hidrográfica do rio Tavares, que abrange uma área de 6,52 km<sup>2</sup> e está situada no município de Ubatuba (SP), setor Norte da Serra do Mar, o qual se caracteriza por apresentar uma grande quantidade de escorregamentos de encostas, especialmente em períodos de altas precipitações.

## 2. Objetivo

O objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento de uma técnica que possibilite calcular o volume do manto intempérico, de encostas de regiões tropicais úmidas, que possa ser aplicada de forma simples e rápida em grandes áreas, utilizando-se de dados de campo (profundidade do manto intempérico) e um SIG (Sistema de Informação Geográfica). Esta informação pode ser fundamental para o estabelecimento de ações preventivas mais eficazes nas áreas de risco. Tal objetivo será alcançado através do estudo do setor NW da bacia do rio Tavares, localizada no município de Ubatuba – SP.

Faz-se necessário ressaltar de que a pesquisa em questão **não** abordará quaisquer outros dados relativos ao manto intempérico, uma vez que a proposta requer somente a utilização de dados quantitativos, *especificamente*: profundidade e volume do manto.

### 3. Justificativa

No decorrer do levantamento bibliográfico para esta pesquisa verificou-se a deficiência de pesquisas que contemplassem dados (qualitativos e, principalmente, quantitativos) relativos ao manto intempérico de encostas de regiões tropicais úmidas situadas em áreas de risco de escorregamento de massa.

Wolle & Carvalho (1989), abordam em sua pesquisa dados qualitativos do material pedológico e a infiltração de águas pluviais provenientes de precipitações rápidas e intensas neste material. Os autores não utilizam dados quantitativos, como a profundidade por exemplo.

Fernandes *et al* (2001) afirmam que as características do material pedológico são de extrema importância para o desencadeamento de movimentos de massa gravitacionais, e colocam como principais mecanismos de ruptura das vertentes: o aumento da poro-pressão positiva do material pedológico da vertente, a perda de sucção e da coesão aparente, a queda de lascas rochosas e a ocorrência de abalos sísmicos. Apesar de se referirem à parte do manto intempérico em suas considerações, os autores desprezam dados quantitativos do mesmo.

Ko. *et al* (2004) destacam a necessidade de se conhecer dados referentes à geotecnia, à geologia e à geomorfologia da área, sempre referindo-se à questão da estabilidade, porém desconsideram os dados quantitativos relativos ao manto intempérico.

Fell *et al* (2007), ressaltam a importância do conhecimento das características do manto intempérico (principalmente do solo), porém enfatizam em sua pesquisa somente a geometria e os mecanismos de ruptura do manto.

Claessens *et al.* (2007), utilizam um modelo para representar a distribuição espacial de material mobilizado no caso de um evento. Kanji *et al* (2008), empregam equações matemáticas para estimar o volume de material mobilizado em um evento ocorrido, utilizando como dados amostras de material depositado em cursos de água. Em ambos os casos tratam-se de dados pretéritos ao movimento, não havendo interesse pelo material passível a mobilização no caso de ocorrência de um escorregamento.

Uma vez admitida a escassez de pesquisas voltadas à abordagem de dados quantitativos do manto intempérico, dentro da temática dos escorregamentos de massa, outro fator fundamental para a delimitação do tema dessa dissertação e da escolha da área de estudo, foi a participação no II Workshop do Grupo Serra do Mar (realizado em agosto de 2006), financiado pela FAPESP (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo), constituído por pesquisadores do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – SP), ITA (Instituto Tecnológico da

Aeronáutica) e UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), e que tem como principal objetivo desenvolver um sistema de monitoramento e previsão de riscos (destacando-se o risco de escorregamentos de massa) para a região da Serra do Mar. Neste evento, observou-se a necessidade da realização de pesquisas que visassem a proposição de técnicas voltadas à realização de medidas estruturais na prevenção de escorregamentos em áreas de risco.

A observação de tais questões, as problemáticas e deficiências das mesmas, fizeram com que a presente pesquisa se voltasse à contemplação dos dados **quantitativos**, sobretudo ***profundidade e volume***, de mantos intempéricos de encostas susceptíveis a escorregamentos de massa, visando à adição de dados de tal natureza na realização de medidas estruturais preventivas em áreas de risco de deslizamentos.

#### 4. Revisão Bibliográfica

O início de qualquer tipo de pesquisa depende da realização de uma revisão bibliográfica básica, para que o pesquisador esteja envolvido com a temática proposta da pesquisa a ser desenvolvida. Desta forma, no estudo proposto, procurou-se, inicialmente, buscar bibliografias voltadas à temática dos Mantos Intempéricos em Regiões Tropicais Úmidas, já que a área de estudo se enquadra nas características deste tipo de material. Além da temática principal, considerou-se importante realizar uma breve revisão a cerca dos movimentos de massa gravitacionais de maneira geral, buscando a compreensão de alguns dos aspectos envolvidos na deflagração de escorregamentos.

##### 4.1 Mantos intempéricos em regiões tropicais úmidas

Quando as rochas da litosfera sofrem ação direta do calor do sol, da umidade das chuvas e do crescimento de organismos, dá-se início a processos que levam a modificações nos aspectos físicos e químicos dos minerais. Tais processos são denominados *intemperismo*, e resultam na formação de material semiconsolidado próximo à superfície (Lepsch, 2002).

Os processos intempéricos, que levam a formação dos mantos intempéricos, são resultado de alterações físicas e químicas nas rochas e minerais situados em superfície (Bigarella, 1994; Birkeland, 1999).

Ollier (1975) afirma que: “*Intemperismo é a quebra e alteração de materiais nas proximidades da superfície da terra para produtos que estão mais em equilíbrio com as novas condições físicas e químicas impostas pelo ambiente*”.

Existem dois tipos de processos intempéricos: o físico (também denominado mecânico ou desintegração) e o químico (ou decomposição). O intemperismo físico ocorre quando há a desintegração da rocha original em material de tamanho reduzido, devido ao estabelecimento de uma força que leve o material ao rompimento por *stress*, não havendo alterações na composição mineralógica e química. Os principais processos que levam ao intemperismo físico são: a erosão, expansão e contração da rocha devido a alterações de temperatura e cristalização de sais (Moniz, 1972; Bigarella, 1994).

O intemperismo químico, por sua vez, é resultado da alteração química e/ou mineralógicas do material subsuperficial (rochas e minerais), tendo como principais agentes de decomposição a água e o

ar. A ação de tais agentes leva a formação de resíduos, que permanecem *in situ*, e componentes solúveis, que são transportados pela água (Moniz, 1972; Bigarella, 1994).

Segundo Bigarella (1994), a alteração química da rocha se dá através de várias reações químicas, que são responsáveis pela alteração da composição químico-mineralógica das rochas e minerais, levando a formação de silicatos hidratados, óxidos hidratados, carbonatos, etc. Segundo Bigarella (1994) e Lepsch (2002) as reações envolvidas no intemperismo químico são:

- *Hidrólise*: reação entre íons  $H^+$  e  $OH^-$  da água, com os elementos da rocha ou mineral;
- *Oxidação*: decomposição química que envolve perda de elétrons. Esta reação é muito comum em minerais que possuem ferro mais solúvel ( $Fe^{2+}$ ) e móvel;
- *Redução*: o oposto da oxidação. Neste tipo de reação, o ferro no estado menos solúvel ( $Fe^{3+}$ ), é dissolvido;
- *Carbonatação*: combinação do íon carbonato,  $CO_3^{2-}$ , ou bicarbonato,  $HCO_3^-$ , com o cálcio, magnésio e ferro dos minerais, alterando-os;
- *Hidratação*: combinação de água e alguns compostos. Esse processo ocorre junto com os processos de carbonatação, hidrólise e oxidação.
- *Solubilização*: dissolução completa dos minerais;
- *Quelação*: retenção de um íon, usualmente, metálico, dentro de uma estrutura, em forma de anel, de um composto químico, com propriedade quelante (ou complexante). O íon fica impedido de se ligar, ou combinar, com outras substâncias em solução.

A ação dos intemperismos físico e químico sobre as rochas ocorre simultaneamente, porém as condições climáticas do ambiente farão com que um se imponha sobre o outro. No caso das regiões tropicais úmidas, o intemperismo químico se sobressai sobre o físico, principalmente em rochas que apresentam maior permeabilidade e intenso fraturamento, originando, de forma geral, um material areno-siltico-argiloso. (Bigarella, 1994)

Mousinho e Bigarella (1965), afirmam que o manto intempérico de regiões climáticas úmidas, especialmente aqueles formados nas regiões cristalinas florestadas do Brasil SE e meridional, apresenta grande importância da decomposição química no desenvolvimento das feições geomorfológicas, uma vez que a velocidade do aprofundamento de tal processo é função da natureza da rocha e do sistema de diaclasamento.

Bigarella (1994), afirma que a alteração intempérica das rochas, bem como a ação de processos

erosivos, ocorrem em velocidades diferentes, condicionadas pelas diferenças de relevo e de composição litológica, e que a resistência ao intemperismo varia de acordo com a decomposição mineral e com a textura do material a ser alterado.

Ainda segundo Bigarella (1994), a alteração química nos Granitos se dá ao longo das estruturas e se faz de maneira diferencial, originando inúmeros blocos e matacões, situação similar ocorre com os granulitos de composição quartzo-feudspática e textura equigranular. Já nos Gnaisses, a presença de xistosidade faz com que a alteração da rocha esteja menos associada ao diaclasamento, o que resulta em um “ataque” mais homogêneo sobre a rocha, no qual as gradações mineralógicas e estruturais apresentam-se em faixas mais espessas, dificultando a ocorrência de um contato abrupto com a rocha fresca.

Com relação à textura do regolito, o mesmo autor, afirma que a ação intempérica sobre os granitos resultam em partículas com granulometria média de grão de areia, enquanto que nos gnaisses, o material é mal selecionado e é constituído por partículas de diferentes granulometrias.

## 4.2 Movimentos de Massa Gravitacionais

### 4.2.1. Definições e Agentes Deflagradores

Crozier (1986), afirma que os movimentos de massa são processos que se caracterizam pelo movimento gravitacional, descendente e para fora da encosta, de material sem a ajuda da água *corrente* como agente de transporte. Fernandes et al (2001), acrescentam que em muitas paisagens tais feições representam o resultado de processos naturais importantes no condicionamento da evolução do relevo ao longo tempo geológico.

Hutchinson (1968, citado em Lopes, 2006, pp.32), destaca que os movimentos gravitacionais de massa são definidos como movimentos induzidos pela aceleração gravitacional, com exceção daqueles onde o material é carregado diretamente por um meio de transporte como água, gelo, neve ou ar.

Segundo Sestini (1999) e Costa e Baker (1984), movimentos de massa envolvem o desprendimento e transporte de solo e/ou material rochoso vertente abaixo (espraiando-se em direção a jusante), devido a condição de instabilidade, resultado da atuação da gravidade, podendo ser acelerada pela ação de outros agentes, como por exemplo, a água infiltrada no manto de alteração.

Fernandes e Amaral (2000), afirmam que os movimentos de massa são fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície externa. Os autores ainda destacam a existência de diversos tipos de movimentos de massa, que envolvem variados materiais, processos e fatores condicionantes.

Araújo (2004), afirma que os condicionantes dos movimentos de massa são os elementos do meio físico ou biótico que contribuem para o desencadeamento do processo, fazendo parte da própria dinâmica dos processos naturais. O mesmo autor ressalta que os principais agentes dos movimentos de massa, de maneira geral, são aspectos relacionados à geologia, geomorfologia, clima, vegetação e ação antrópica. Casagli et al (2005), acrescentam histórico tectônico, intemperismo, histórico deposicional e uso da terra no conjunto dos principais condicionantes de movimentos gravitacionais de massa.

Sestini (1999) apresenta de forma resumida qual a importância de tais agentes condicionantes, como é colocado abaixo:

- a) *Geologia*: condicionantes geológicas consideram a litologia da área e as suas características estruturais. O tipo de rocha define a permeabilização e, portanto, o tipo de drenagem e textura, além da resistência ao intemperismo;
- b) *Geomorfologia*: as condicionantes geomorfológicas incluem as formas de vertentes, as variáveis morfométricas (dissecação, declividade, amplitude de relevo, etc.), a orientação da vertente e o tipo de drenagem estabelecido na bacia;
- c) *Vegetação*: é o fator que protege o solo de outros fatores condicionantes de movimentos gravitacionais de massa, através da redução da compactação do solo pelo impacto de gotas de chuva, favorece a infiltração de água no solo e a diminuição do escoamento superficial. Alguns tipos de sistemas radiculares caracterizam-se por conterem a erosividade pelo fato de manterem a agregação do solo.
- d) *Ação Antrópica*: as principais atividades antrópicas causadoras da instabilização das encostas são as atividades agrícolas e a urbanização, já que tratam-se de ações que promovem o desmatamento e podem acarretar a geração ou a aceleração de processos geomorfológicos de degradação.
- e) *Clima*: a principal forma de atuação do clima, dentro da temática em questão, se dá através da precipitação, uma vez que, nos domínios morfoclimáticos tropicais, a elevada umidade é responsável pela saturação do solo (devido à infiltração contínua de águas pluviais) levando à redução da coesão do material do manto intempérico e, conseqüentemente, favorecendo a ocorrência de movimentos de massa.

Para Alexander (1992), os movimentos de massa são o resultado de influências internas e externas. Para o autor, os fatores exógenos envolvidos na deflagração de movimentos de massa são: ângulos de vertentes altos, remoção do suporte lateral ou basal das vertentes, alterações nas condições normais das feições geomorfológicas e sobrecarga de construções nas vertentes. Já os fatores endógenos seriam: intemperismo, ação biológica (ação raízes e animais escavadores), aumento da infiltração de água no solo e saturação do mesmo, e pressão lateral causada por expansão e contração ou resfriamento e aquecimento do solo.

Fernandes e Amaral (2000) destacam como principais condicionantes geológicos e geomorfológicos dos movimentos de massa gravitacionais: fraturas, falhas, foliação e bandamento composicional, descontinuidade no solo, morfologia da encosta e depósitos de encosta.

Fernandes et al (2001) afirma que, além dos agentes citados acima, as características do material pedológico são de extrema importância para o desencadeamento de movimentos de massa gravitacionais, e colocam como principais mecanismos de ruptura das vertentes (processos que levam à ocorrência de movimentos de massa): o aumento da poro-pressão positiva do material pedológico da vertente, o que levaria à diminuição do fator segurança, que estaria relacionado à porosidade do solo; a perda de sucção e da coesão aparente, que estaria relacionada a umidade do solo decorrente da infiltração de água no mesmo fazendo com que haja a ruptura sem a saturação dos poros do manto de alteração pedológico; a queda de lascas rochosas; e a ocorrência de abalos sísmicos.

A partir de tais considerações vale destacar a importância das características pedológicas das vertentes, uma vez que a relação solo-vertente definirá a ocorrência ou não do desencadeamento de deslizamentos. Ellis e Mellor (1995) consideram que a relação relevo-solo reside, principalmente, nos movimentos de materiais da vertente; no fato das formas de relevo serem determinantes no controle da drenagem; e no ângulo e na posição das vertentes, fatores determinantes no desenvolvimento dos solos e, conseqüentemente, na profundidade do mesmo. Os autores colocam que vertentes com ângulos altos apresentam baixa taxa de infiltração, e, portanto, alteram o processo de formação prejudicando o desenvolvimento pedogenético. Vertentes com ângulos baixos, por sua vez, apresentam uma taxa de infiltração mais elevada, permitindo, desta forma um desenvolvimento pedogenético mais elaborado. Além destas questões, o ângulo das vertentes define o potencial de transporte de materiais vertente abaixo, no que diz respeito à quantidade de precipitação recebida por unidade de superfície, ou seja, quanto mais íngreme a vertente maior será a quantidade de material transportado.

#### 4.2.2. *Classificações de movimentos de massa gravitacionais*

A questão da classificação dos movimentos de massa gravitacionais torna-se muito discutível dentro da literatura acerca desta temática, uma vez que tal classificação deve considerar inúmeros fatores, dentre os quais podemos citar como principais: as características do movimento, as características do material mobilizado e a geometria do movimento. (Augusto Filho, 1992; Sestini, 1999; Fernandes e Amaral, 2000; Lopes, 2006).

Faz-se necessário esclarecer que, não faz parte da proposta desta pesquisa uma análise aprofundada relativa à classificação dos movimentos de massa. Assim optou-se pela apresentação dos principais enfoques e das principais classificações abordadas no Brasil.

Guidicini e Nieble (1976) colocam que a diversidade de enfoque, a complexidade dos processos e a multiplicidade de ambientes que apresentam movimentações gravitacionais de massa resultam na dificuldade de análise e síntese, ou seja, não há uma única classificação aceita devido a falta de uma nomenclatura padronizada. Os mesmos autores ainda afirmam que as classificações geralmente apresentam aplicabilidade regional (ambiente e interpretação do autor são os pontos chaves nessa definição) e colocam como principais critérios de classificação: a presença ou ausência de superfície de destaque preexistentes (mecanismos de ruptura progressiva); o tipo e velocidade da movimentação correlacionados com o tipo de material mobilizado; e as características físico-mecânicas do fenômeno.

Selby (1993) destaca que os critérios de diferenciação dos movimentos de massa se dão com base no tipo de material deslocado, na velocidade e no mecanismo do movimento, o tipo de deformação, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água. Chorley et al (1984), propõe uma classificação simplificada, na qual somente a direção do movimento é considerada. Os tipos de movimentos propostos em tal classificação são três: os **laterais**, originados por lubrificação de zonas de contato solo/rocha ou material plástico depositado sobre material não plástico; os **diagonais**, movimentos lentos, semelhantes aos laterais, porém apresentam maior participação da força gravitacional, já que ocorrem independente de zonas de contato ente materiais e de lubrificação, podendo ser observados pela inclinação de árvores e postes; e os **verticais**, que se caracterizam pela queda de blocos (movimentos rápidos) devido a ação da gravidade, não apresentando agente mobilizador (Figura 4.1).

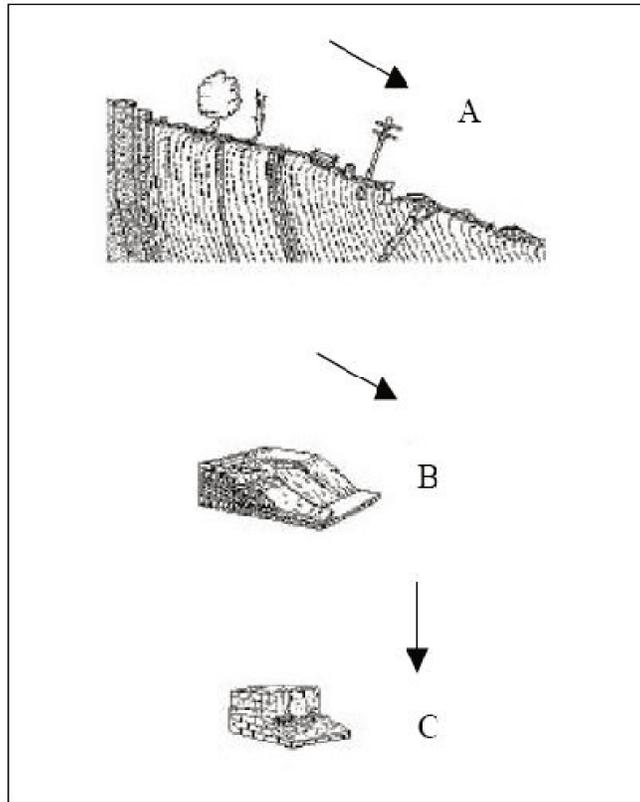


Figura 4.1: Tipos de movimentos de massa: A – diagonais; B – laterais e C – verticais.  
FONTE: Sestini (1999) – Adaptada de Chorley et al (1986, p. 236) e Christofolletti (1974, p. 28).

Augusto Filho (1992), Sestini (1999) e Lopes (2005), propõem uma classificação que considera, principalmente, as características dos movimentos, características do material mobilizado e a geometria do movimento, como é demonstrado na Tabela 4.1.

<b>Processos</b>	<b>Características do Movimento</b>
Quedas ( <i>falls</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sem planos de deslocamento;</li> <li>- Movimentos tipo queda livre ou plano inclinado;</li> <li>- Movimentos desenvolvidos em declives com ângulos próximos a 90°;</li> <li>- Velocidades muito altas;</li> <li>- Material rochoso (não há participação de água);</li> <li>- Pequenos a médios volumes;</li> <li>- Geometria variável: lascas, blocos, etc. <ul style="list-style-type: none"> <li>* Rolamento de matacão</li> <li>* Tombamento</li> </ul> </li> </ul>
Rastejos ( <i>creep</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vários planos de deslocamento;</li> <li>- Ocorre em declives acima de 35°;</li> <li>- Velocidade muito baixa (cm/ano) e decrescente com a profundidade;</li> <li>- Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;</li> <li>- Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada</li> </ul>
Escorregamentos ( <i>slides</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poucos planos de deslocamento (externos);</li> <li>- Velocidades médias a altas;</li> <li>- Pequenos a grandes volumes de material;</li> <li>- Geometria: <ul style="list-style-type: none"> <li>* Planares/Translacionais</li> <li>* Circulares/Rotacionais</li> <li>* Em Cunha</li> </ul> </li> <li>- Causado pela pluviosidade e antropismo.</li> </ul>
Corridas ( <i>flows</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muitas superfícies de deslocamento;</li> <li>- Movimento semelhante ao de um líquido viscoso;</li> <li>- Desenvolvimento ao longo das drenagens (participação intensa da água);</li> <li>- Velocidades médias a altas;</li> <li>- Mobilização de solo, rocha, detritos e água;</li> <li>- Transporte feito por suspensão ou saltação;</li> <li>- Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.</li> </ul>

Tabela 4.1: Principais tipos de movimentos gravitacionais de massa associados a encostas. Adaptada de Augusto Filho (1992), Sestini (1999) e Lopes (2005)

Segundo Fernandes e Amaral (2000) e Fernandes *et al* (2001), no Brasil, destacam-se os trabalhos de Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984) e a classificação do IPT (1991). Estas classificações estão representadas na Tabela 4.2.

<b>Freire (1965)</b>	<b>Guidicini e Nieble (1984)</b>	<b>IPT (1991)</b>
<p><b>Escoamentos:</b> Rastejos e Corridas</p> <p><b>Escorregamentos:</b> Rotacionais e Translacionais</p> <p><b>Subsidências e Desabamentos</b></p>	<p><b>Escoamentos:</b> Rastejos e Corridas</p> <p><b>Escorregamentos:</b> Rotacionais, Translacionais, Quedas de Blocos e Queda de Detritos</p> <p><b>Subsidências:</b> Subsidências, Recalques e Desabamentos</p> <p><b>Formas de Transição</b> <b>Movimentos Complexos</b> (combinação de dois ou mais tipos de movimentos de massa)</p>	<p><b>Rastejos</b> <b>Corridas de Massa</b></p> <p><b>Escorregamentos</b></p> <p><b>Quedas/Tombamentos</b></p>

Tabela 4.2: Comparação entre algumas propostas brasileiras de classificação de movimentos de massa. Fonte: Fernandes e Amaral (2000).

## 5. Definição da Técnica Proposta

A proposta da presente pesquisa baseia-se em técnicas de campo e análises espaciais (realizadas através do Sistema de Informação Geográfica – SIG – ArcGis), que possibilitem a obtenção de dados relativos à espessura do manto intempérico de encostas susceptíveis a deslizamentos na bacia do rio Tavares (Ubatuba – SP) .

A importância do conhecimento de tais dados está na obtenção de informações que contribuam para com as atividades voltadas à prevenção e monitoramento de áreas de risco de escorregamentos, uma vez que conhecendo a quantidade de material passível de transporte e/ou deslocamento é possível obter maior acurácia no cálculo e implantação de medidas estruturais nas áreas de risco.

O principal procedimento desta proposta reside na realização de tradagens (com um trado holandês com extensões) em diversos pontos de uma sub-bacia hidrográfica de tal forma que seja possível obter valores relativos à espessura do material compreendido entre a superfície do solo e a superfície de contato solo/rocha.

Após a realização de todas as tradagens os dados coletados são inseridos na carta base da bacia. Através de informações relativas às formas das vertentes da sub-bacia selecionada para a realização das tradagens (dados estes obtidos através da análise de perfis topográficos), é possível extrapolar os dados de espessura de uma sub-bacia para outra com características próximas. A extrapolação de dados de espessura por toda a bacia facilita o trabalho, uma vez que reduz o tempo de análise de dados e a quantidade de trabalhos de campo.

A partir desta etapa a pesquisa será baseada na geração de um modelo que possibilite uma aproximação da quantidade de material alterado que é passível de mobilização na ocorrência de um escorregamento de massa. Assim, serão confeccionados: a) um mapa temático que represente a profundidade média do manto intempérico das vertentes da bacia do rio Tavares; b) um MDE (modelo digital de elevação) que represente a superfície de contato solo-rocha, baseado nos dados de espessura coletados em campo. Cruzando essas duas fontes de dados, torna-se possível calcular o volume do manto de alteração da bacia hidrográfica analisada, ou seja, o volume de material possivelmente mobilizado em um escorregamento de massa.

A compreensão de todas as etapas necessárias para a obtenção de um resultado satisfatório ao objetivo da pesquisa, é melhor absorvido com a observação da figura 5.1.

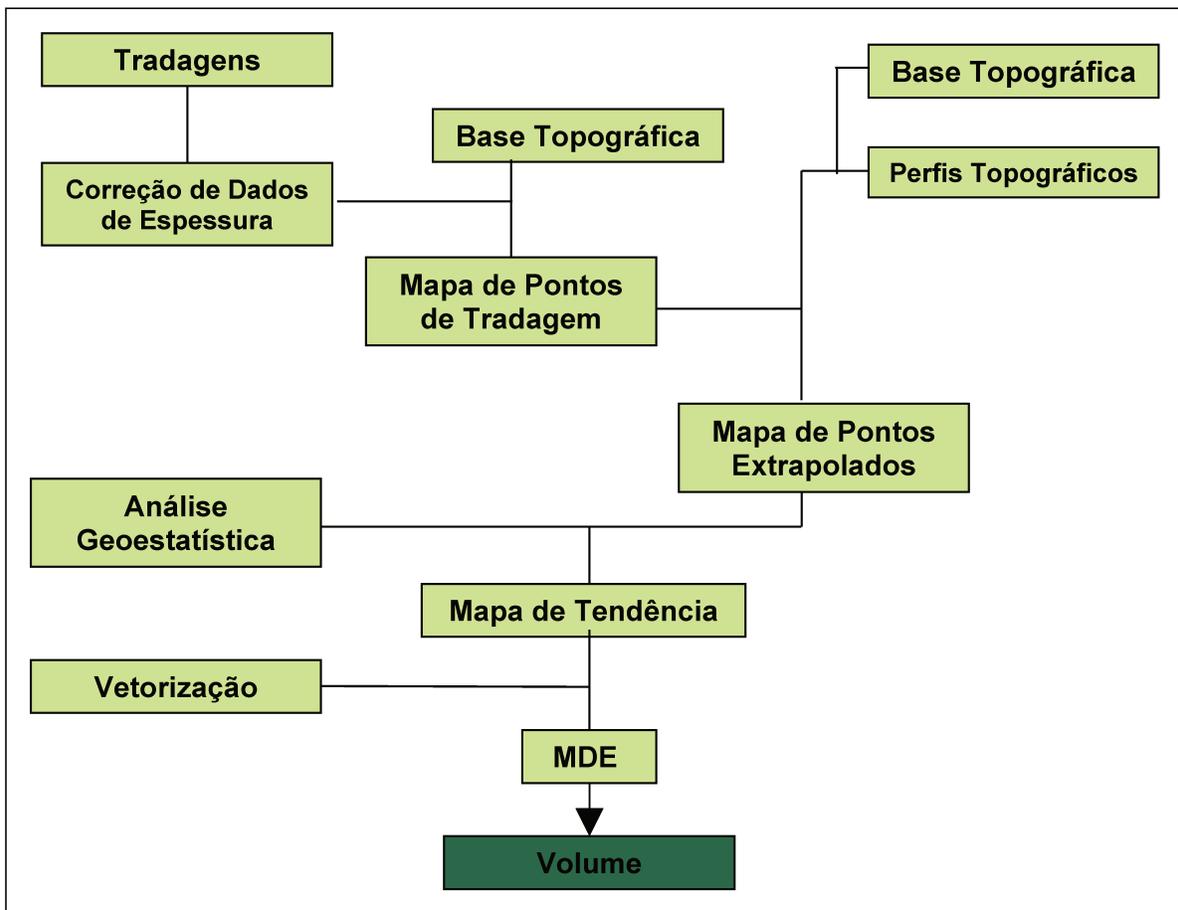


Figura 5.1: Fluxograma com etapas da técnica proposta.

## 6. Procedimentos

### 6.1 Tradagens

As tradagens foram realizadas com um trado holandês, com 6 metros de extensões, em diversos pontos de duas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Tavares, especificamente nas baixas, médias e altas vertentes (figura 6.1), de tal forma que fosse possível obter valores relativos à espessura do material compreendido entre a superfície do solo e a superfície de contato solo/rocha.

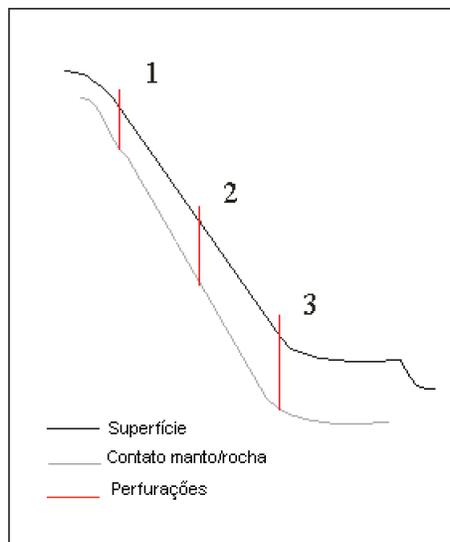


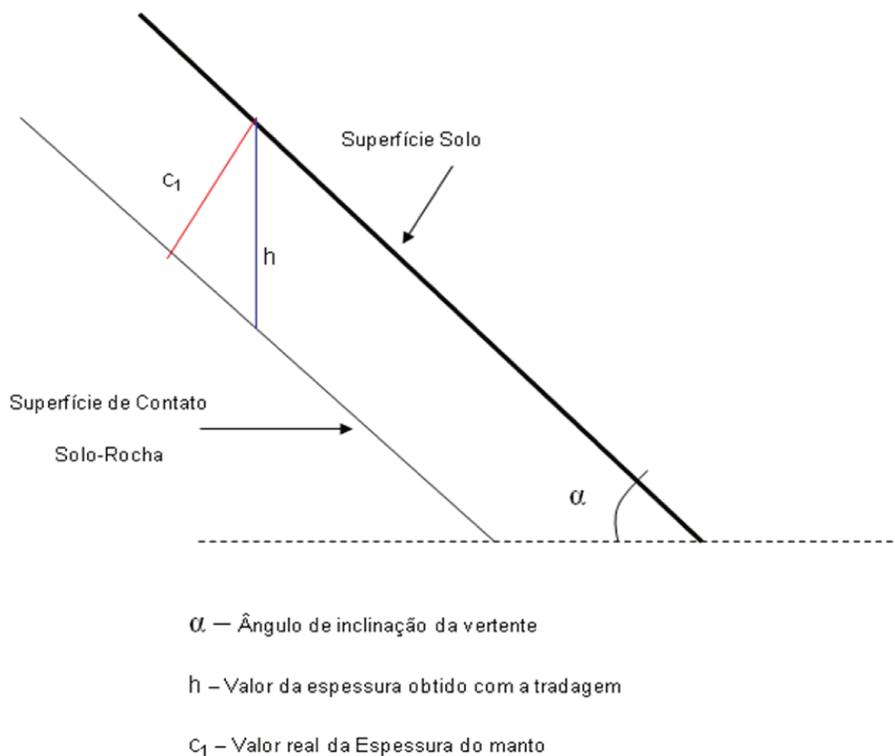
Figura 6.1:Esquema de perfurações por tradagens nas vertentes.

As perfurações foram realizadas com equidistância de 120m, objetivando criar uma malha de pontos na área de estudo para que as técnicas de extrapolação e interpolação dos pontos nas etapas seguintes fossem possíveis. Em cada ponto de tradagem foram anotados os seguintes dados: a profundidade obtida, as alterações do material tradado de acordo com a profundidade, a declividade da vertente (através de uma bússola Bruton, as coordenadas geográficas (utilizando-se um GPS) e algumas características da área, como a presença ou ausência de blocos em superfície e indícios de escorregamentos pretéritos.

Faz-se necessário nesta pesquisa esclarecer que as tradagens foram realizadas objetivando, *exclusivamente*, a obtenção dos dados de profundidade do manto intempérico da área escolhida para a aplicação da técnica proposta. Sendo assim, **NÃO** foram coletadas amostras do material retirado com as perfurações para análises laboratoriais posteriores.

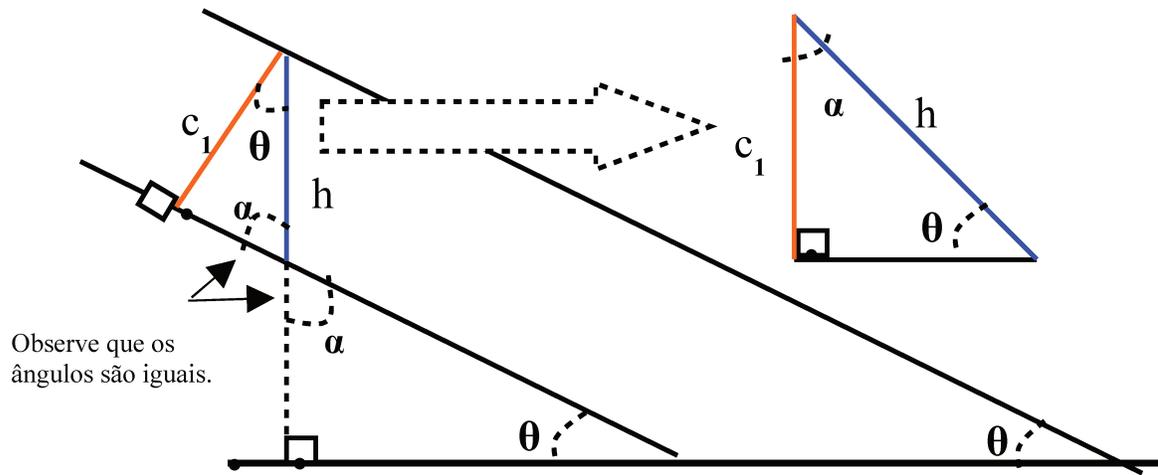
## 6.2 Correção de Dados de Campo

Quando as tradagens foram realizadas, para não danificar o trado, o ângulo de inserção deste foi maior que  $90^\circ$ , que seria o ângulo correto para a obtenção da profundidade real do manto intempérico. Dessa forma foi necessário utilizar-se de técnicas matemáticas para obter o valor real, as quais estão representadas abaixo:

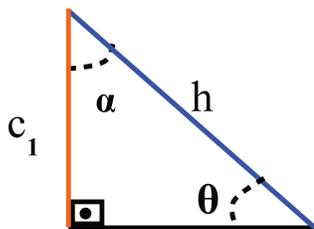


O valor de  $\alpha$  é obtido através da alteração do valor da declividade da vertente de porcentagem para graus. Este procedimento foi realizado a partir do seguinte raciocínio: se para calcularmos o valor da declividade de graus para porcentagem, pegamos a tangente do ângulo do declive e multiplicamos por 100 (cem), para descobrirmos o valor da declividade em graus a partir de um valor em porcentagem, dividimos este por 100 (cem) e consultamos a tabela de trigonometria (que contém os dados de seno, cosseno e tangente) para identificarmos o ângulo de inclinação da vertente.

Uma vez definido o ângulo de inclinação é possível descobrir o valor de  $c_1$ , como se observa no esquema abaixo:



Para todo triângulo retângulo a soma dos ângulos internos deve ser  $180^\circ$ , portanto nesse caso temos:



$$\alpha^\circ + \theta^\circ + 90^\circ = 180^\circ$$

Logo:  $\alpha^\circ = 180^\circ - (\theta^\circ + 90^\circ)$

Após identificarmos todos os ângulos, torna-se possível calcular o valor de  $c_1$  através do seguinte cálculo:

$$\cos \alpha^\circ = \textit{cateto adjacente} / \textit{hipotenusa}$$

logo:

$$\cos \alpha^\circ = c_1 / h \longrightarrow \mathbf{c_1 = h \cdot \cos \alpha^\circ}$$

É importante ressaltar que tais cálculos são válidos somente para descobrir o valor real da profundidade de cada **ponto** de tradagem, não sendo aplicados para a obtenção da profundidade de toda uma superfície, uma vez que se sabe que a superfície de contato solo/rocha é irregular.

### 6.3 Elaboração de Documentos Cartográficos

Para o desenvolvimento desta pesquisa optou-se por trabalhar com o software ArcGis para a elaboração da base cartográfica e dos mapas temáticos, bem como dos MDE's da área de estudo.

#### 6.3.1 Carta Topográfica

A base topográfica digital (georreferenciada) é derivada da Carta Topográfica UBATUBA I, Folha SF-23-Y-D-III-4-SE-C, escala 1:10.000, datada de 1978, Projeção UTM, elaborada pelo IGC. Os elementos cartográficos digitalizados correspondem: ao limite do setor NW da bacia do rio Tavares (delimitado a partir das curvas de nível da carta topográfica), as curvas de nível com equidistâncias equivalentes a 5m nas baixas vertentes (de 5 a 25 metros) e 25m nas médias e altas vertentes (25 a 525 metros), e a rede de drenagem (cursos d'água e reservatórios) da bacia do rio Tavares.

A Carta Topográfica com a área da bacia em questão foi escaneada e inserida em ambiente ArcMap, em seguida foi realizado o georreferenciamento da imagem, tendo como referência a própria grade UTM da carta original. Foram criados shapefiles no ArcCatalog para cada elemento a ser digitalizado. Para os shapes de limite de bacia, curvas de nível e cursos d'água atribuiu-se um *Feature Type* do tipo *polyline*, enquanto que para a representação dos reservatórios o *Feature Type* foi do tipo *polygon*.

### 6.3.2 Mapa de Pontos de Tradagem em Campo

O Mapa de Pontos de Tradagem foi elaborado com base em dados obtidos em trabalhos de campo realizados na área, nos quais foram realizadas diversas tradagens em duas sub-bacias no setor esquerdo da bacia.

Como já foi dito anteriormente, em cada ponto de tradagem foram anotados: a profundidade do manto, a declividade da vertente e as coordenadas UTM. Após a correção dos dados de profundidade, pelo método descrito anteriormente criamos uma tabela que foi adicionada ao banco de dados do ArcGis.

Com os dados tabulados foi criado, no ArcCatalog, um shapefile com *Feature Type* do tipo *point*. Com o shapefile criado, os pontos foram inseridos (com base nas coordenadas UTM registradas em campo) na base topográfica digital em ambiente ArcMap. Os atributos considerados para este shapefile foram: espessura correta e declividade.

### 6.3.3 Mapa de Declividade

O Mapa de Declividade da bacia do rio Tavares (setor NW), foi elaborado a partir da base topográfica digital da bacia, através de rotinas de geoprocessamento do ArcGis. Inicialmente gerou-se uma Modelo Digital de Elevação (MDE), o qual teve como dados de entrada as curvas de nível ( com equidistância de 5 metros nas baixas vertentes e de 25 nas médias e altas vertentes). Este procedimento foi realizado através da ferramenta *3D Analyst* do ArcGis.

A partir do MDE foi possível gerar uma grade retangular de declividade em graus, a qual seguiu a legenda de classes de declividade proposta por Tominaga (2007), que considera restrições ao uso e ocupação do solo e a ocorrência escorregamentos na Serra do Mar. As classes de declividade são: <5%, 5 a 12%, 12 a 30%, 30 a 45%, 45 a 70% e > 70%.

### 6.3.4 Perfis Topográficos

Os perfis topográficos também foram gerados a partir do MDE da bacia do rio Tavares. Para a elaboração dos perfis topográficos utilizou-se a ferramenta “*3D Analyst*” e as funções: *Interpolate Line*

e *Create Profile Graph*. Os locais escolhidos para a confecção dos perfis foram os divisores de água da bacia do rio Tavares.

### *6.3.5 Elaboração do Modelo de Profundidade do Manto Intempérico.*

Para que o Modelo Digital de Elevação (MDE) do manto intempérico fosse elaborado, foi necessário delinear uma linha de raciocínio que levasse a um resultado final satisfatório. Assim, foi necessário o estabelecimento e três etapas básicas que levassem a confecção do MDE: a confecção de um Mapa de Pontos de Profundidade Extrapolados; a elaboração de um Mapa de Tendência de Profundidade do Manto, baseado em técnicas geoestatísticas disponibilizadas pelo SIG ArcGis; e a confecção do Modelo Digital de Profundidade propriamente dito.

### *6.3.6 Mapa de Pontos de Profundidade Extrapolados*

A elaboração do MDE do manto intempérico baseou-se na extrapolação dos dados de profundidade, obtidos em campo com a realização das tradagens. A extrapolação de tais dados resultou da análise dos documentos cartográficos descritos acima (Mapa de Pontos de Tradagem em Campo, Perfis Topográficos, Mapa de Declividade e o Mapa de Formas de Vertente). Assim, foi confeccionado um Mapa de Profundidade de Pontos Extrapolados, no qual para cada ponto de tradagem em campo existem um ou mais pontos, com o mesmo valor de profundidade, de acordo com a similaridade das características do modelado da superfície. É importante ressaltar que durante os trabalhos de campo observou-se que, durante todo o percurso, os cursos d'água correm sobre a rocha (foto 3). Tal fato fez com que, a profundidade dos talvegues fosse atribuída com valor igual a zero.



Foto 6.1: Curso d'água correndo sobre rocha fresca.

As rotinas de geoprocessamento para a elaboração deste mapa foram bastante semelhantes às utilizadas na elaboração do Mapa de Pontos de Tradagem em Campo. Foi criado um shapefile no ArcCatalog, denominado Pontos Extrapolados, com o *Feature Type* do tipo *point*. Os atributos considerados para este shapefile foram: Profundidade e Ponto Base (ponto do qual foi extraído o dado de profundidade).

#### 6.3.7 Mapa de Tendência de Profundidade do Manto

O Mapa de Tendência de Profundidade do Manto teve como base análises geoestatísticas aplicadas ao Mapa de Pontos de Profundidade. Para tal recorreu-se à ferramenta *Geostatistical Analyst* do SIG ArcGis. O modelo de análise estatística escolhido para a elaboração deste documento cartográfico foi a Krigagem Ordinária.

Camargo (2000), afirma que:

*“O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (...) Portanto, a incorporação de procedimentos geoestatísticos em SIG's, baseados em técnicas de krigagem, é importante, porque essa associação melhora os procedimentos tradicionais de tais sistemas devido à*

*qualidade do estimador e, principalmente, pela informação de acurácia fornecida nesse modelo inferencial.”*

Segundo Valeriano (2002), a krigagem ordinária baseia-se em modelos estatísticos de variabilidade espacial, os quais são ajustados à realidade apresentada pelos pontos conhecidos, ou seja, possibilita estimar o valor de um atributo a partir de um conjunto de amostras vizinhas.

Os procedimentos realizados para gerar o mapa de tendência basicamente foram: em ambiente Geostatistical Analyst escolher o layer dos pontos de profundidade extrapolados, selecionando o atributo profundidade para a interpolação e definir o método de análise geoestatística, que no caso em questão foi a Krigagem Ordinária – Mapa de Predição.

#### *6.3.8 Modelo Digital de Elevação do Manto Intempérico*

Para que o Modelo Digital de Elevação do Manto Intempérico fosse elaborado foi necessário que o Mapa de Tendência de Profundidade Manto fosse convertido para uma imagem vetorial, na qual a profundidade do manto intempérico na área da bacia foi representada a partir de isolinhas.

A partir desta imagem vetorial, utilizou-se a ferramenta *3D Analyst* do ArcGis, para a geração de um MDE de Profundidade do Manto Intempérico.

#### *6.3.9 Modelo Digital de Elevação dos Pontos Extrapolados*

Com o intuito de se estabelecer uma comparação entre técnicas, considerou-se interessante a elaboração de um MDE tendo como base o Mapa de Pontos de Profundidade Extrapolados. Para tal utilizou-se as mesmas rotinas de geoprocessamento empregadas na elaboração do MDE gerado para a confecção do Mapa de Declividade, porém o layer de entrada foi o Mapa de Pontos de Profundidade Extrapolados.

## 7. Caracterização da Área

O município de Ubatuba está situado no litoral norte do estado de São Paulo localizado a latitude 23°15'/23°35'S e longitude 44°42'/45°15'W (figura 7.1). Os limites do município de Ubatuba se estabelecem a S, SE e E com o Oceano Atlântico, a N com os município de Cunha, a W com os municípios de Natividade da Serra e São Luís do Paraitinga, e a SW com o município de Caraguatatuba.

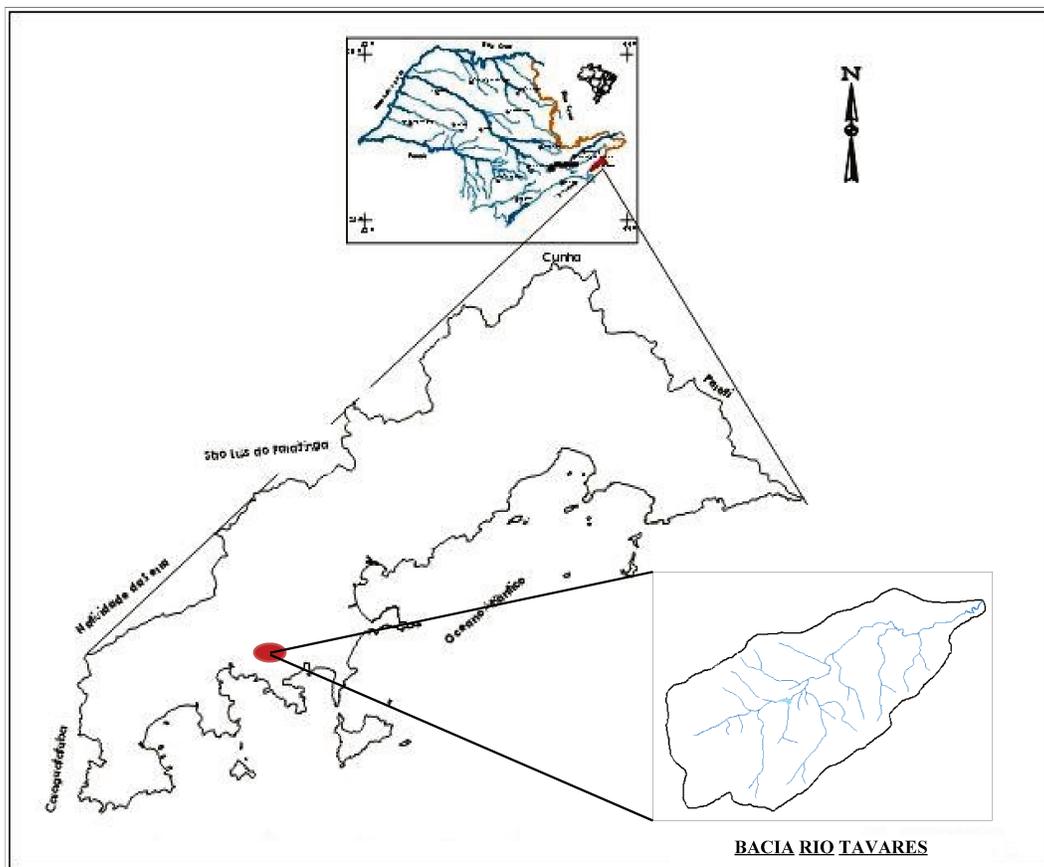


Figura 7.1: Localização Município de Ubatuba e Bacia Hidrográfica do rio Tavares. Figura sem escala e não georreferenciada. (Base: Jorge, 2004. Elaboração: Géssika P. P. Sabio)

Ubatuba está inserida em uma região de grande expressão geológica e geomorfológica do sudeste brasileiro, a Serra do Mar. Esta região é caracterizada pelo IPT (1981b), como Complexo Serra do Mar, o qual teve sua gênese entre o Cretáceo Superior e o Terciário, devido à ação de tectonismo paralelo à costa, caracterizado por flexuras monoclinais e falhamentos (que atualmente encontram-se sob ação do intemperismo).

Segundo o projeto RADAMBRASIL (1983), a Serra do Mar pode ser entendida como uma faixa de dobramentos remobilizados, com dissecação marcada pela drenagem e pelo controle estrutural com direções NE-SW e ENE-SSW. Este controle estrutural pode ser observado através das escarpas e do relevo alinhado presente na região, os quais coincidem com os dobramentos originais e os falhamentos mais recentes. (Almeida, 1964)

Segundo IPT (1981b) a área de estudo encontra-se em uma área denominada como Complexo Costeiro, a qual tem seus limites a N com o Grupo Açungui (através da Falha de Cubatão), a E pelo lineamento de Além-Paraíba e a S com o Complexo Turvo-Cajati, o qual encobre a unidade nas proximidades de Iguape (Figura 07).

Segundo Hasui (1976), o Complexo Costeiro representaria uma continuidade, para a região paulista, da Faixa Saquarema – Cabo-Frio – Macaé, e de parte da série Paraíba – Desengano, englobando, ainda, parte do Grupo Paraíba, além de partes mais antigas de unidades que receberam designações genéricas como Complexo Cristalino, Complexo Migmático e Complexo Migmático-Gnáissico. Trata-se, portanto, de uma unidade heterogênea, na qual as litologias não estabelecem relações de forma clara.

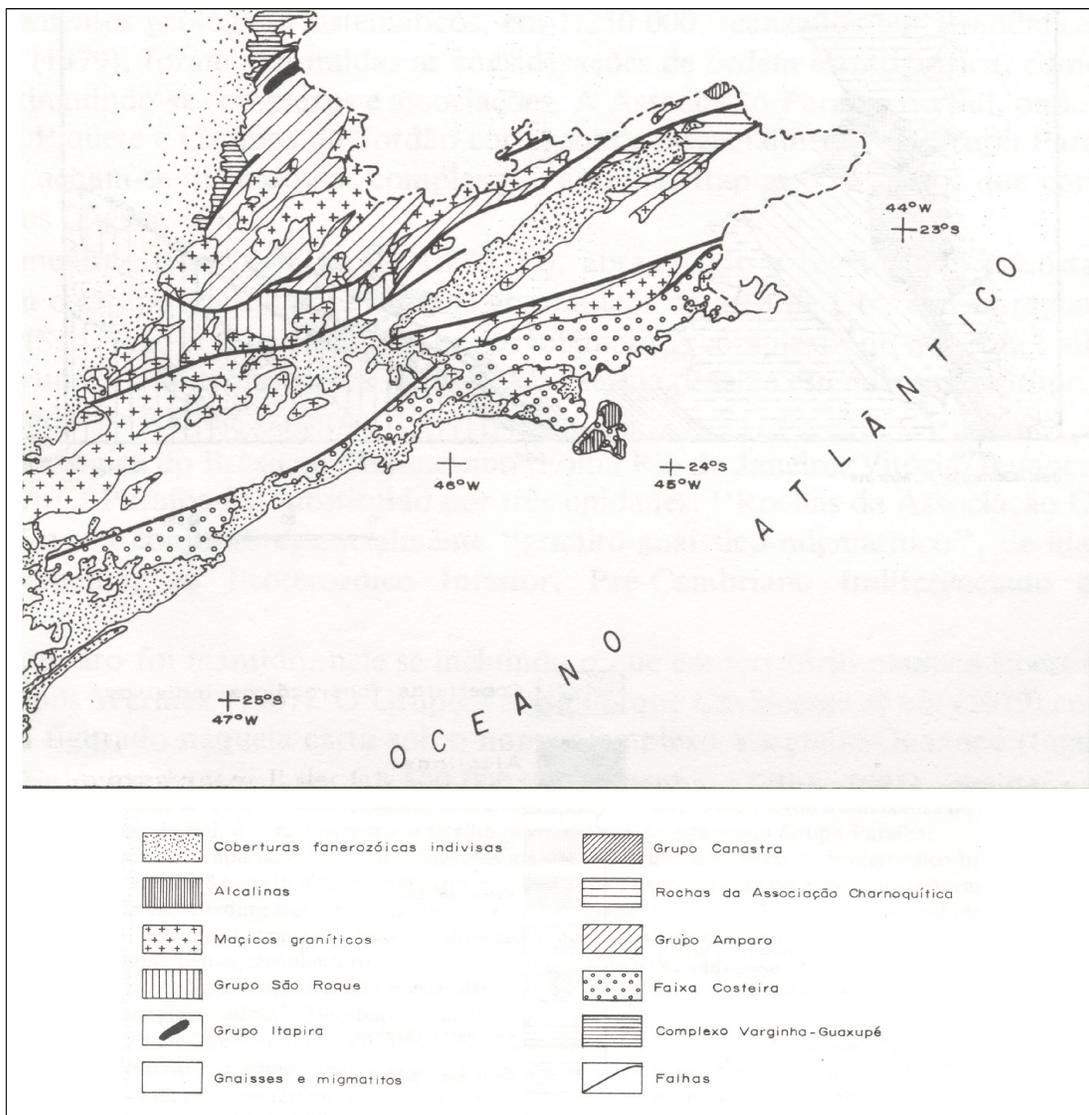


Figura 7.2: Unidades Geológicas da folha Rio de Janeiro/Vitória/Iguape, no estado de São Paulo, segundo Schobbenaus Filho, C., 1979. (Fonte: IPT, 1981a, pp20).

Segundo Silva (1995), o município de Ubatuba encontra-se no compartimento litorâneo delimitado pelas falhas de Cubatão e Taxaquara, área esta que se caracteriza pela presença do Grupo Paraíba (litologia de migmatitos complexos, rochas metalodioríticas e metabásicas e granulitos de quartzo-feudspático associados à piroxênio-granulitos), do Grupo Açungui (migmatitos e ocorrência de rochas granulitoides qualificadas), de Granitoides do Pré-Cambriano Superior, do Granito Parati e de Sedimentos Quaternários (aluvionares, coluviais e marinhos).

A área em questão caracteriza-se geomorfológicamente por estar situada na denominada Província Costeira. Segundo o Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo (IPT, 1981b), a Província Costeira, subdivide-se em: Serrania Costeira, Morraria Costeira e as Baixadas Litorâneas. Segundo

Almeida (1964), destas três subzonas as que correspondem às áreas referentes ao município de Ubatuba são: a Serrania Costeira, e as Baixadas Litorâneas.

O mesmo autor, afirma que, a Província Costeira é caracterizada como uma área na qual a drenagem ruma diretamente para o mar, constituindo, assim, o rebordo do Planalto Atlântico. Grande parte de sua extensão corresponde a uma região serrana contínua, que quando se defronta com os limites continentais passa a apresentar uma seqüência de planícies de variadas origens. O sistema de relevo encontrado nesta Região Serrana caracteriza-se pela presença de escarpas abruptas e festonadas, as quais podem se estender a uma largura média de 3 a 5 quilômetros, que se desenvolvem em anfiteatros sucessivos separados por espigões, apresentando um desnível médio de 800 á 1.200 metros entre as bordas do Planalto Atlântico e as Baixadas Litorâneas.

Jorge (2004), afirma que a Serra do Mar subdivide-se em dois sistemas de relevo: as Escarpas Festonadas e as Escarpas com Espigões Digitados. O primeiro sistema de relevo corresponderia à porção da serra em contato com a linha de borda do Planalto Atlântico, tendo como característica um padrão de drenagem de alta intensidade, bem como escarpas apresentando vertentes de perfis retilíneos que se separam por espigões de topos angulosos. Já o segundo sistema de relevo, as escarpas com espigões digitados, corresponderiam às terminações da Serra de Parati, onde as escarpas de alargam paralelamente à direção NE, e segundo o IPT (1981a), apresenta um relevo de vales fechados, drenagem de alta intensidade e padrão paralelo.

Segundo IPT (1981a), a Serra do Mar é caracterizada como uma região que delimita, de forma eficaz, as áreas referentes ao Planalto Atlântico e a Província Costeira, uma vez que suas escarpas representam relevos de transição marcantes.

Com relação às características pedológicas da área de estudo, segundo o Mapa de Solos da Embrapa (1999), a maior parte da área da pesquisa em questão apresenta solo do tipo Cambissolo Háplico, apresentando ainda, em menor expressão, solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo. Segundo o projeto RADAMBRASIL (1983), as áreas de escarpa e planalto, bem como os morros isolados da área em estudo, apresentam Cambissolos de textura argilosa e areno-argilosa, enquanto que nas baixadas há a presença de Espodossolo e Espodossolo Hidromórfico.

Segundo Oliveira et al (1992), os Cambissolos “compreendem solos não hidromórficos, com drenagem variando de acentuada até imperfeita, horizonte A seguido de B incipiente, não plíntico, de textura franco-arenosa ou mais fina”. São solos de profundidade variada, podendo ser rasos ou

profundos, tendo como seqüência de horizontes, geralmente, A-Bi-C, com diferenciação de horizontes modesta mas variável. Quando derivados de rochas como gnaisses, granitos, migmatitos, xistos e filitos, é comum a presença de teores superiores a 4% de fragmentos de rocha e minerais primários intemperizáveis na areia fina.

Os mesmos autores afirmam que os Argissolos Vermelho-Amarelo são “solos não hidromórficos, com horizonte A ou E seguidos de horizonte B textural não plíntico, argila de atividade alta ou baixa, cores vermelhas e amareladas e teores de  $Fe_2O_3$  <11%, apresentando distinta individualização de horizontes os solos mais típicos da classe”. Apresentam grande variação em características morfológicas e analíticas, seqüência de horizonte A-E-Bt-C ou A-Bt-C. De modo geral este tipo de solo apresenta gradiente textural, profundidades e texturas variadas, e podem ser eutróficos, distróficos e álicos.

Climatologicamente, o município de Ubatuba está inserido em uma região de pluviosidade alta. Tavares *et al* (2005), caracteriza a área como uma zona composta por setores climáticos diferenciados do restante do Estado de São Paulo, uma vez que na região verifica-se a atuação de diferentes sistemas atmosféricos conjugada às condições topográficas locais, as quais reforçam o efeito orográfico e favorecem a ocorrência de chuvas intensas no período primavera-verão, devido a presença de vales encaixados. Tais fatores fazem com que em algumas áreas o total anual de precipitação possa alcançar os 4.000mm.

Monteiro (1973), afirma que o clima do litoral norte do Estado de São Paulo é controlado por massas tropicais e equatoriais, tendo menor participação das massa polares. O autor coloca a Serra do Mar como o grande fator responsável pela acentuada pluviosidade, mesmo no período do inverno, uma vez que o fato da serra estar muito próxima à costa resulta em um maior efeito orográfico e à maior exposição à massa tropical atlântica.

Segundo Jorge (2004), o clima da região, dentro da classificação de Köppen, é do tipo Cf, na área de escarpa e Af, na área de planície. A temperatura média da área em questão está entre 18°C e 20° C, sendo que na área de escarpa a temperatura média é de 18°C (Troppmair, 2000).

## 8. Resultados e Discussão

### 8.1 Trabalhos de Campo: Coleta de Dados e Observação da área de Estudo

Foram realizadas 16 tradagens em duas sub-bacias no setor NW da bacia do rio Tavares, e os dados quantitativos coletados em campo e corrigidos para a aplicação da técnica proposta estão apresentados na tabela 8.1.

Ponto	Coordenada UTM	Espessura em Campo	Declividade	Inclinação	Espessura Correta
1	0488583 / 7406173	Blocos em superfície	Superfície quase plana	-	-
2	0488544 / 7406194	0,3 m	50%	27°	0,27m
3	0488449 / 7406148	4 m	30%	17°	3,82m
4	0488346 / 7406131	1,7 m	35%	19°	1,60m
5	GPS sem sinal	1,2 m	58%	30°	1,04m
6	0488161 / 7406195	2,5 m	51%	27°	2,22m
7	0488090 / 7406187	0,6 m	35%	20°	0,56m
8	0488455 / 7406278	1,4m	42%	23°	1,29m
9	0488295 / 7406465	1,7 m	29%	16°	1,63m
10	0487828 / 7406573	1,2	No divisor	No divisor	1,20m
11	0487802 / 7406516	0,7 m	64%	33°	0,59m
12	0488143 / 7406698	2,2 m	63%	32°	1,87m
13	0488079 / 7406216	0,75 m	55%	29°	0,66m
14	0488047 / 7406229	5,20 m	50%	27°	4,63m
15	0488961 / 7406236	2,60 m	35%	19°	2,46m
16	0487988 / 7406247	5,10 m	60%	31°	4,37m

Tabela 8.1: Dados coletados em campo e corrigidos para aplicação da técnica.

Os valores de profundidade coletados em campo variaram de 0,3 m (valor mínimo de profundidade alcançada) a 5,20 m (valor máximo de profundidade alcançada), os quais após as correções dos dados de profundidade apresentaram valores de profundidade iguais a 0,27 m e 4,63 m (foto 8.1) respectivamente.

Em diversos pontos da bacia foram identificadas cicatrizes de escorregamentos de massa, sendo identificadas duas como as mais evidentes. A primeira, aparentemente uma cicatriz de um escorregamento rotacional, localiza-se no início da bacia (0490192 / 7406952), já encontrava-se revegetada, porém havia passado por um processo de queimada intencional (foto 8.2).



Foto 8.1: Ponto de tradagem 14. profundidade alcançada 5,20 (observar altura do trado).



Foto8.2: Cicatriz de escorregamento à jusante da bacia.

A segunda cicatriz localizava-se a mais ou menos 3 metros do ponto de tradagem 06. Tratava-se de uma cicatriz de escorregamento rotacional com cerca de 20 m de largura e 50 metros de comprimento e apresentava-se revegetada com árvores de pequeno porte (foto 8.3). A declividade da cicatriz em sua cabeceira é de 98% e a profundidade do manto na base do escorregamento ultrapassa 1,2 m.



Foto 8.3: Cicatriz de escorregamento rotacional ao lado do ponto de tradagem 06.

A presença de blocos de rocha em superfície, de diâmetros variados, é extremamente presente ao longo de toda a bacia (foto 8.4). De maneira generalizada eles foram avistados em pontos onde a tradagem alcançou profundidades entre 0,60m e 1,70m e com declividades entre 30% e 58%.



Foto 8.4: Presença de blocos de rocha em superfície.

## 8.2 Documentação Cartográfica

A Carta Topográfica da bacia do rio Tavares (figura 8.1) mostra que o setor N – NW da bacia apresenta maior simetria com relação às sub-bacias, ou seja, padrão de drenagem semelhante, áreas (m<sup>2</sup>) parecidas e equidistâncias das curvas de nível semelhantes. O setor S – SE, por sua vez, apresenta-se com um comportamento de drenagem bastante diferente, com vales bem mais incididos e elevados que no setor N – NW e não é possível definir um padrão com relação ao traçado das curvas de nível. As diferenças morfológicas destes dois setores ficam muito claras quando observamos o MDE da bacia em questão (figura 8.2).

A partir de tais considerações, foi definido que apenas o setor NW da bacia seria trabalhado, uma vez que as discrepâncias existentes nos padrões de drenagem e morfologia das sub-bacias dos dois setores iriam impossibilitar a extrapolação de dados de profundidade, já que as dinâmicas de erosão/deposição e até mesmo as condições intempéricas são distintas. Desta forma, toda a documentação cartográfica apresentada adiante será focada no setor N – NW da bacia (figura 8.3), que foi o escolhido para o desenvolvimento de todos os procedimentos da técnica proposta por esta pesquisa.

O Mapa dos Pontos de Tradagem em Campo (figura 8.4) retrata bem a espacialização dos pontos onde as tradagens foram realizadas. É nítida a maior concentração de pontos no setor esquerdo da sub-bacia 01. Este fato é resultado da metodologia empregada para a realização das tradagens, anteriormente citada no capítulo referente aos procedimentos, já que se empregou uma equidistância média de 120 m entre um ponto e outro. No setor direito da sub-bacia 02, os pontos encontram-se mais dispersos, porém as tradagens realizadas nestas áreas têm o intuito de “calibrar” o modelo proposto. É importante ressaltar que o setor NW da sub-bacia 01, apresentou defasagem na quantidade de pontos de tradagem devido à inacessibilidade do local, impedindo a coleta de dados.

O Mapa de Declividade das sub-bacias da área de estudo (figura 8.5), revela que quase a totalidade da área apresenta declividade superior à 12%, sendo possível identificar alguns pequenos trecho com declividade inferior, os quais localizam-se basicamente em alguns pontos dos divisores d’água. Nas baixas vertentes, próximas aos cursos d’água a declividade apresenta-se superior a 70%, indicando forte incisão do canal. Nas médias e altas vertentes predominam declividades entre 30% e 70%.

Quando cruzamos o Mapa de Declividade com o Mapa de Pontos de Tradagem observamos que em diversos pontos a declividade obtida em campo com a bússola Brunton não correspondeu a

declividade gerada em ambiente ArcGis baseada na carta topográfica de escala 1:10.000 (figura 8.6). Confrontando a declividade obtida em campo com a representada na carta, observamos que doze dos dezesseis pontos onde foram realizadas as tradagens, apresentam distinção nos valores de declividade, sendo que o ponto doze é o que apresenta maior diferença, em campo 63% e na carta está inserido na classe <5%. A partir de tal constatação, para a presente pesquisa tornou-se inviável considerar o Mapa de Declividade da área no processo de extrapolação dos pontos de profundidade.

Outro ponto observado, ainda com relação à declividade e às tradagens, porém considerando agora somente os dados obtidos em campo, é a analogia estabelecida entre declividade da vertente e profundidades do manto intempérico.

Segundo Ellis e Mellor (1995), a influencia do relevo na formação dos solos reside, principalmente, nos movimentos de materiais da vertente (processo geomorfológico natural), no fato das formas de relevo serem determinantes no controle da drenagem, e no **ângulo e na posição das vertentes**, fatores determinantes no desenvolvimento dos solos e, conseqüentemente, na **profundidade** do mesmo. Os autores afirmam que: vertentes com ângulos altos apresentam drenagens livres, e, portanto, alteram o processo de formação prejudicando o desenvolvimento pedogenético, devido à redução de infiltração de águas pluviais; as vertentes com ângulos baixos, por sua vez, apresentam drenagem pobre, permitindo, desta forma um desenvolvimento pedogenético mais elaborado, já que há considerável infiltração de águas pluviais.

# Carta Topográfica da bacia do rio Tavares

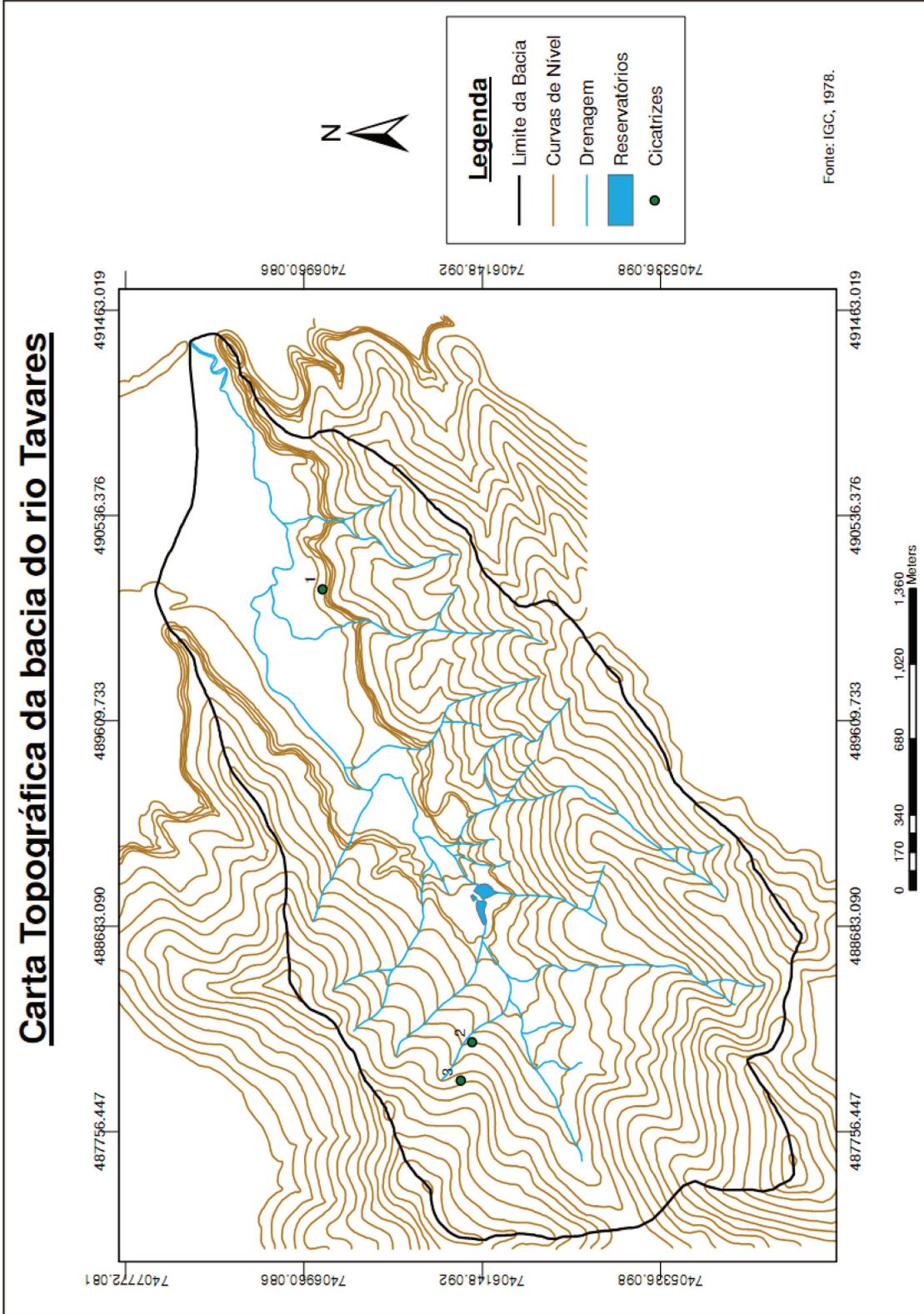


Figura 8.1: Carta Topográfica da bacia do rio Tavares

# Modelo Digital de Elevação da bacia do rio Tavares (setor NW)

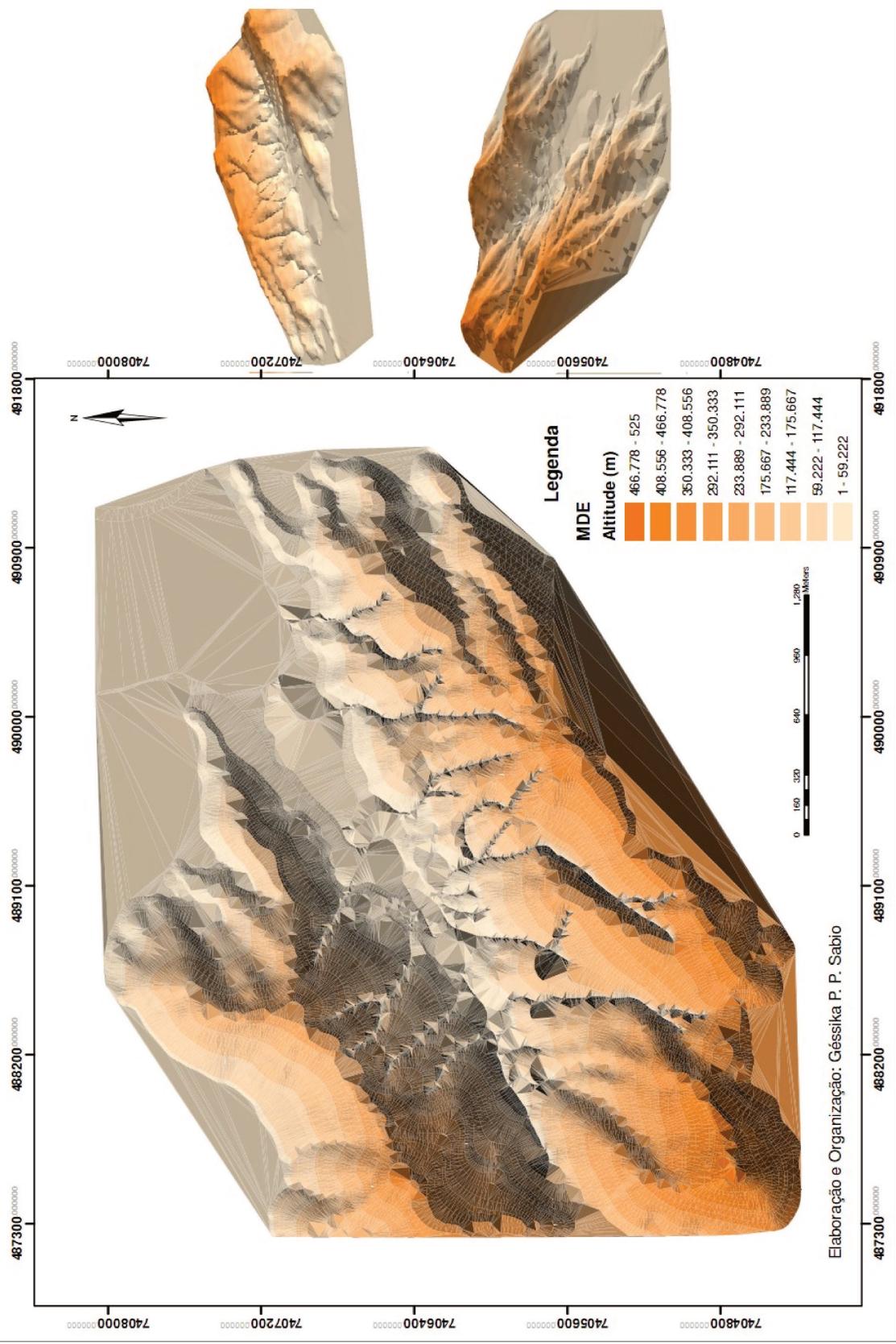


Figura 8.2: MDE bacia do rio Tavares.

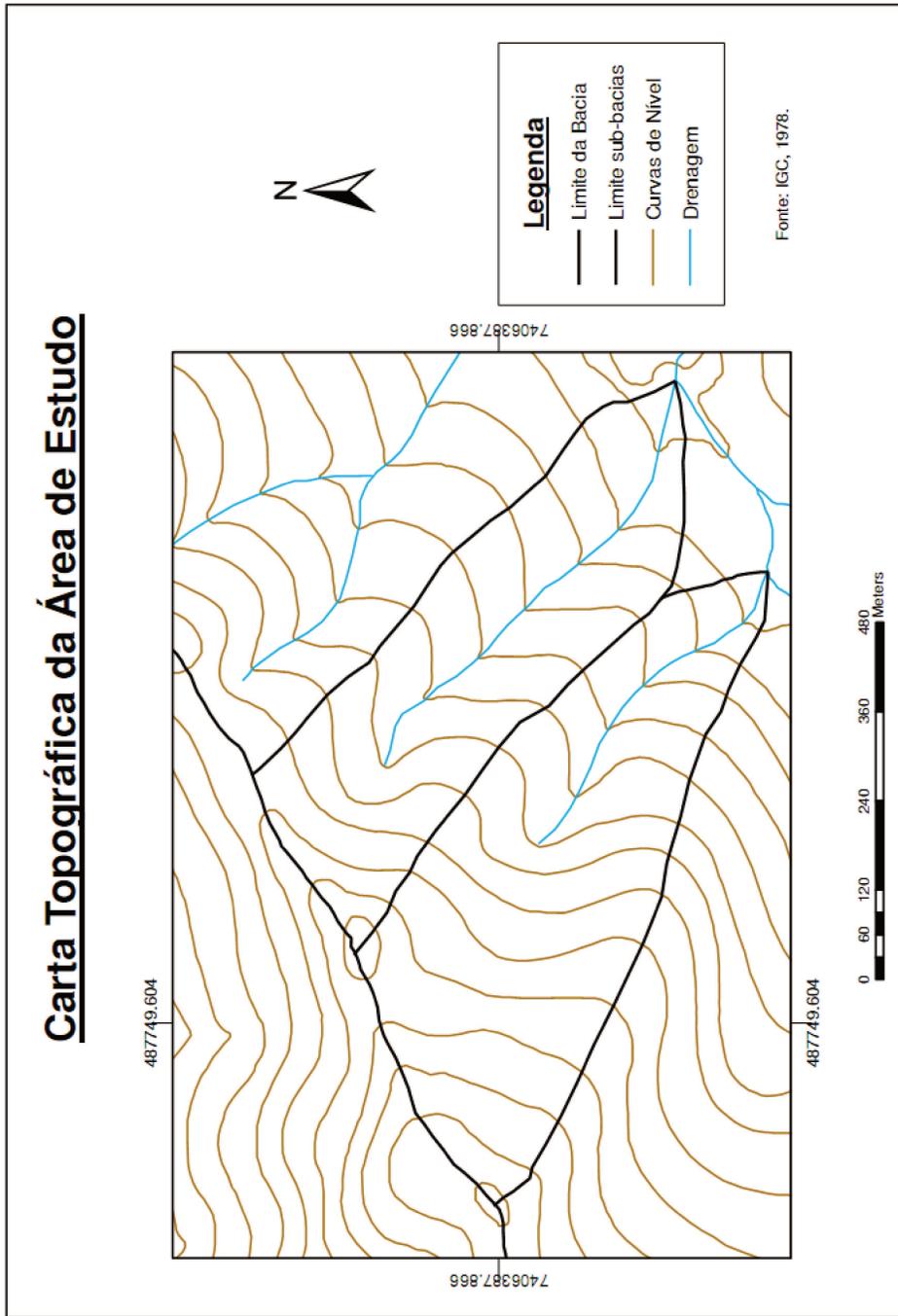


Figura 8.3: Carta Topográfica da Área de Estudo

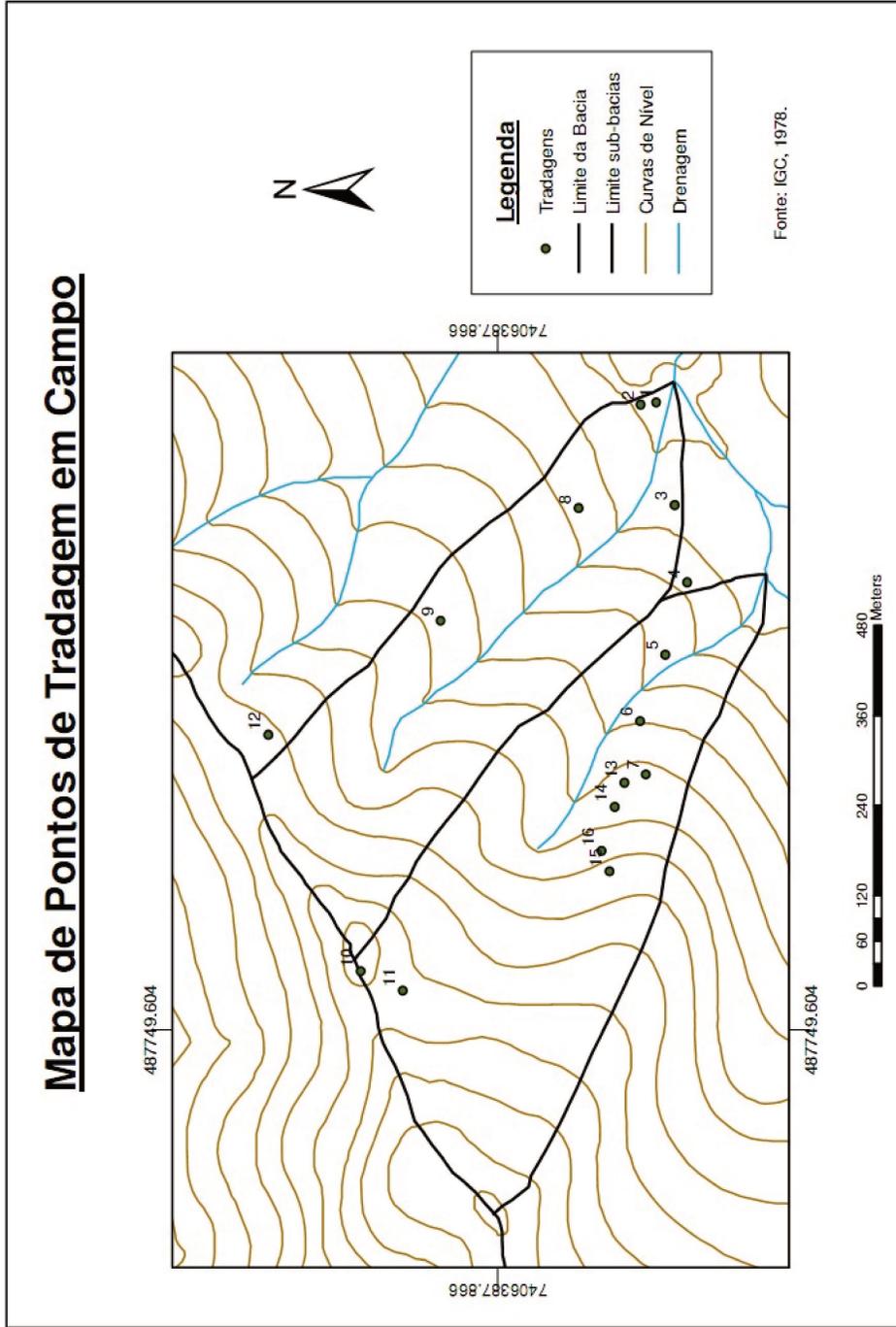


Figura 8.4: Mapa de Pontos de Tradagem em Campo

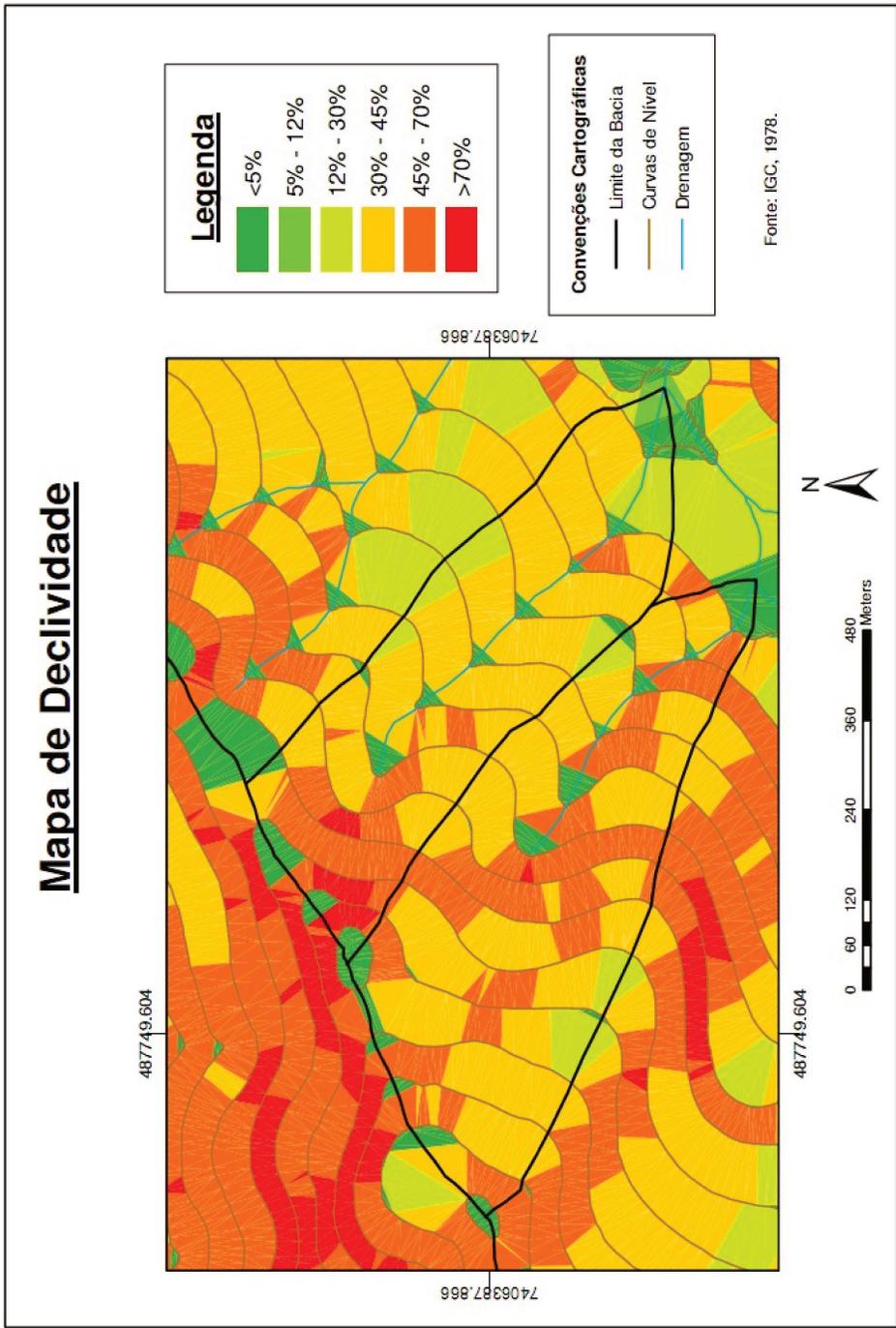


Figura 8.5: Mapa de Declividade

## Mapa de Declividade e Pontos de Tradagem

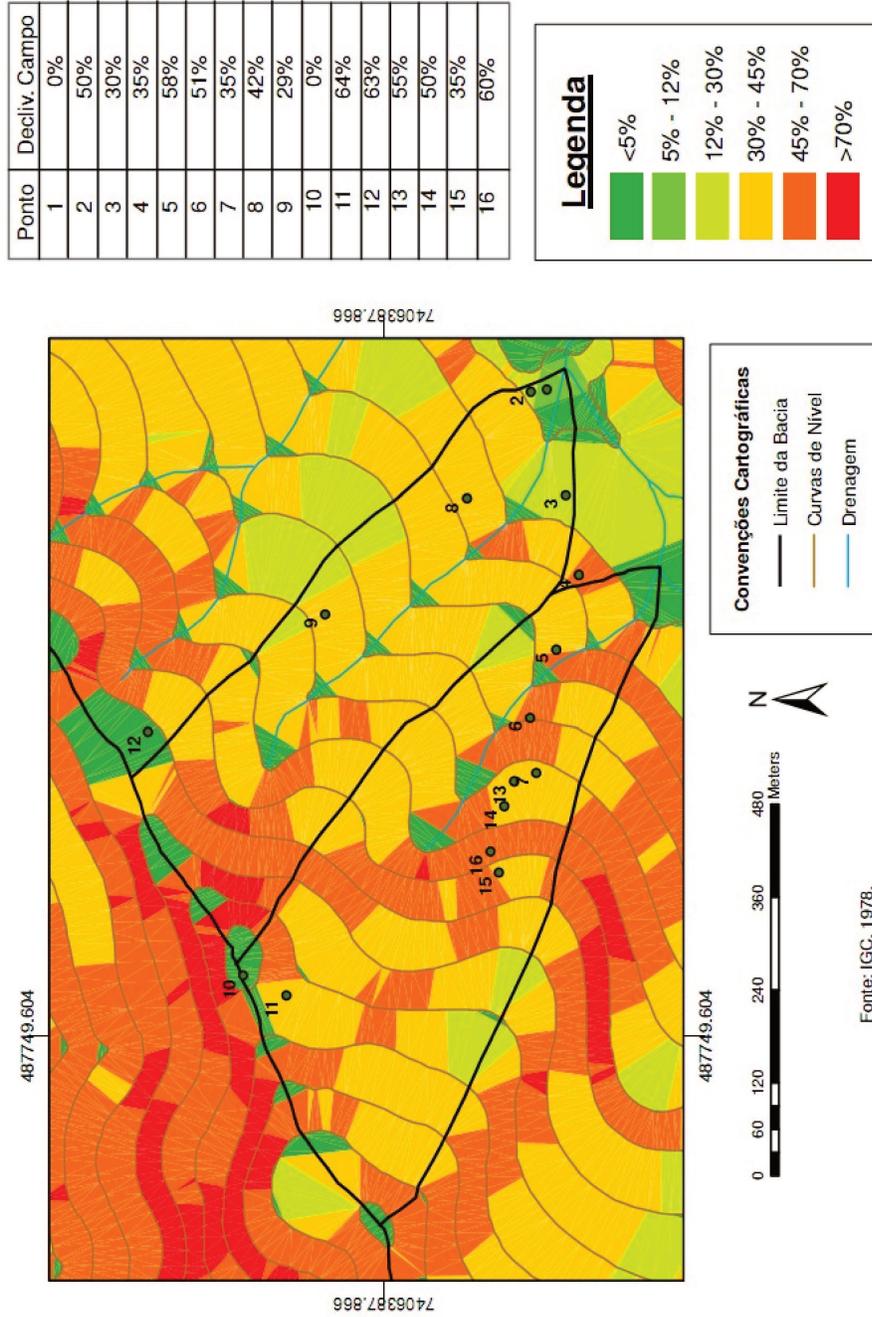


Figura 8.6: Mapa de Declividade e Pontos de Tradagem

De forma geral, as considerações apresentadas no parágrafo anterior resumem o que encontramos na literatura relacionada à questão, porém, durante as tradagens realizadas nos trabalhos de campo, observou-se que tal conceituação pode não se aplicar à área de estudo, uma vez que, em pontos com declividade bastante acentuada a profundidade alcançada foi extremamente considerável, como, por exemplo, nos pontos 16 e 18, nos quais as declividades eram de, respectivamente, 50% e 60% e as profundidades obtidas (após as correções) foram de 4,63 m e 4,37 m, respectivamente. Tal constatação pode levar a conclusão de que o modelo considerado para a relação declividade/profundidade do manto, na literatura, pode não ser aplicável em regiões tropicais úmidas com precipitações extremamente elevadas, como é o caso da Serra do Mar.

A partir dos Perfis Topográficos (figura 8.7) elaborados com base na carta topográfica digitalizada da bacia, pode-se observar que, de acordo com os gráficos dos cortes dos divisores d'água (E – F, G – H e I – J), as vertentes apresentam um mesmo comportamento, não havendo grandes variações a não ser pelas cotas altimétricas (no corte E - F elevação entre 200 e 250 metros; no corte G –H elevação igual a 300 metros; e no corte I – J elevação entre 350 e 400 metros). As características observadas nos perfis dos divisores somam elementos para confirmar a simetria das sub-bacias da área de estudo.

## Perfis Topográficos das sub-bacias da Área de Estudo.

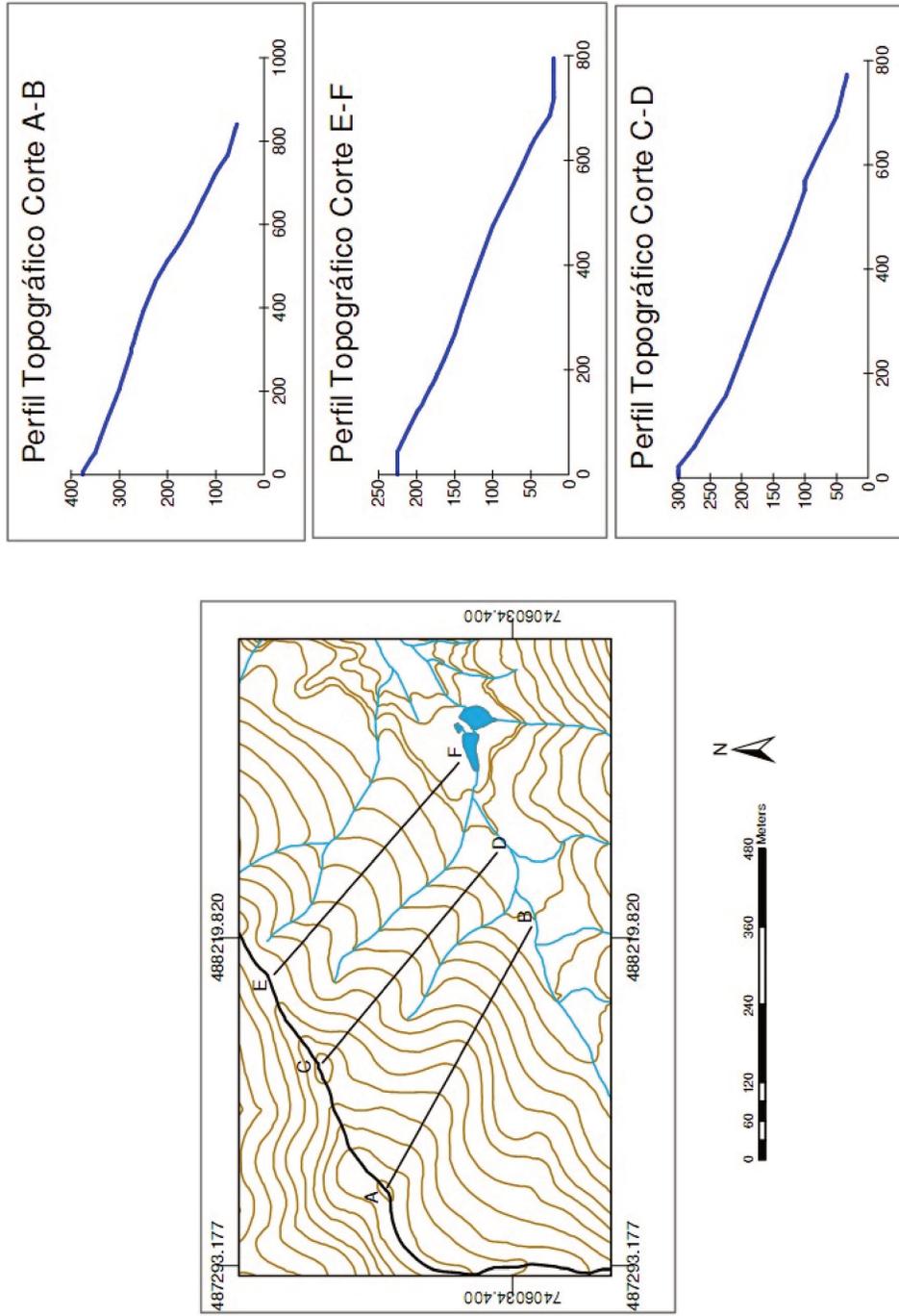


Figura 8.7: Perfis Topográficos das sub-bacias da Área de Estudo.

Após a análise de todos os documentos cartográficos citados acima (com exceção do Mapa de Declividade, que foi descartado devido à inconsistência entre dados de campo e dados gerados em SIG) foi possível a elaboração do Mapa de Pontos de Profundidade Extrapolados (figura 8.8). Observando a distribuição dos pontos verifica-se que a extrapolação foi satisfatória para os setores de média e baixa bacia, nos quais foi possível uma extrapolação de dados, baseada na metodologia de análise de formas de vertentes. Os setores a montante das bacias apresentaram-se defasados com relação à extrapolação de pontos, o que pode ser explicado pela realização de poucas tradagens em áreas com morfologia semelhante, porém, ainda foi possível a inserção de alguns pontos nesta área. Esta defasagem, acima do setor de cabeceira da sub-bacia 01, fica clara quando se observa o MDE de Pontos Extrapolados (figura 8.9), no qual este setor se apresenta com uma área de dimensão relativamente grande (comparada às demais áreas) atribuída a um único valor de profundidade, levando a conclusão, errônea, de que nesta área, a superfície de contato solo/rocha é regular.

A análise do Mapa de Tendência de Profundidade do Manto (figura 8.10) revela que a interpolação dos pontos por krigagem ordinária atendeu às expectativas. Observa-se que há um padrão na distribuição espacial das áreas com profundidades semelhantes. Este padrão se manifesta através de um aumento de profundidade no sentido curso d'água – divisor, como pode ser observado pelo perfil de profundidade (figura 8.11). Nota-se, também, que os valores mais expressivos de profundidade (maiores e menores) foram alterados com a interpolação por krigagem ordinária, porém esta alteração está dentro do erro permitido, uma vez que o que se objetiva com a técnica proposta é uma aproximação do valor do volume do manto intempérico.

Quando comparados o perfil de profundidade do Mapa de Tendência de Profundidade do manto (por krigagem ordinária) e o perfil de profundidade do MDE dos Pontos Extrapolados (figura 8.12), observa-se que a superfície de tendência criada pelo processo de krigagem ordinária mostra-se menos grosseira, não havendo picos extremos de alta e baixa profundidade, como é o caso do MDE dos Pontos Extrapolados.

## Mapa de Pontos de Profundidade Extrapolados

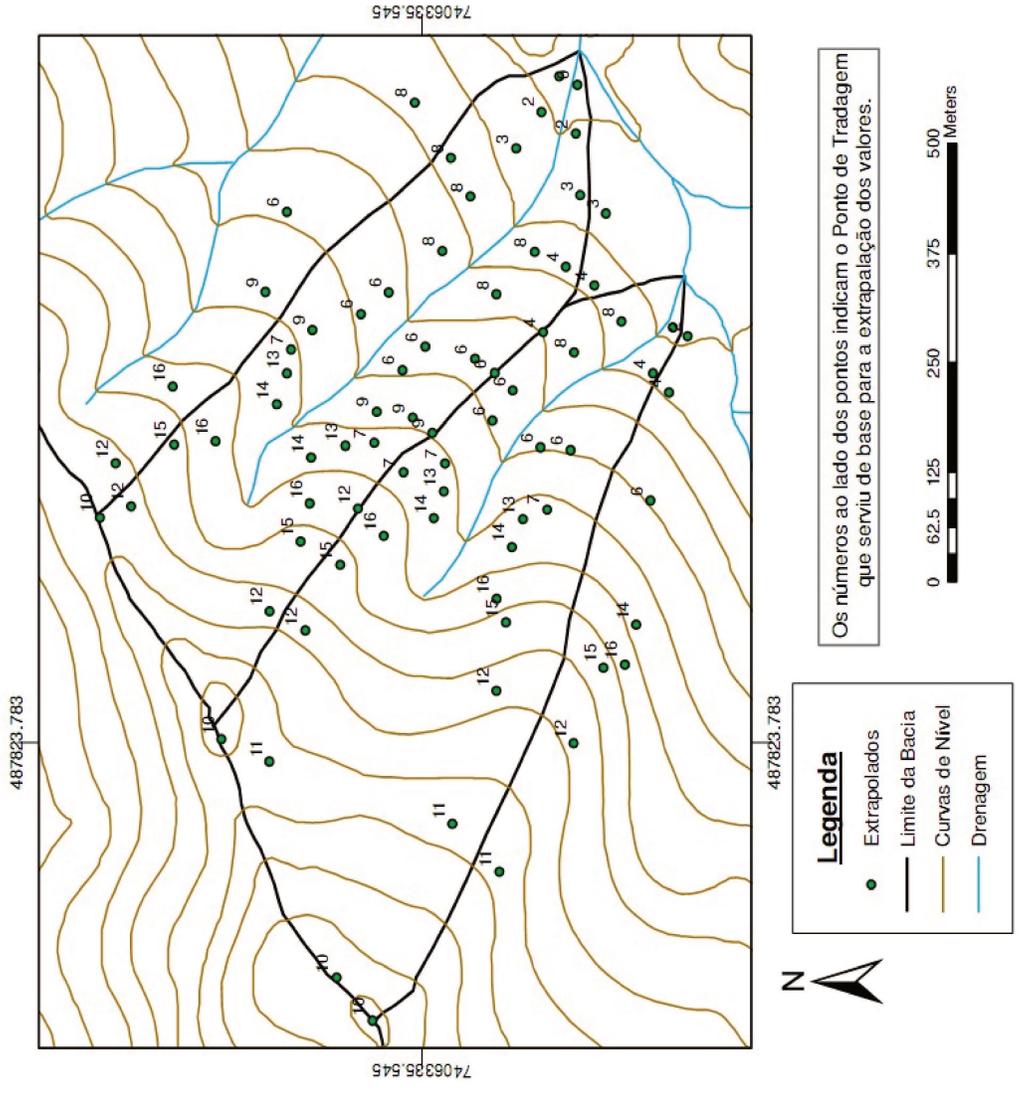
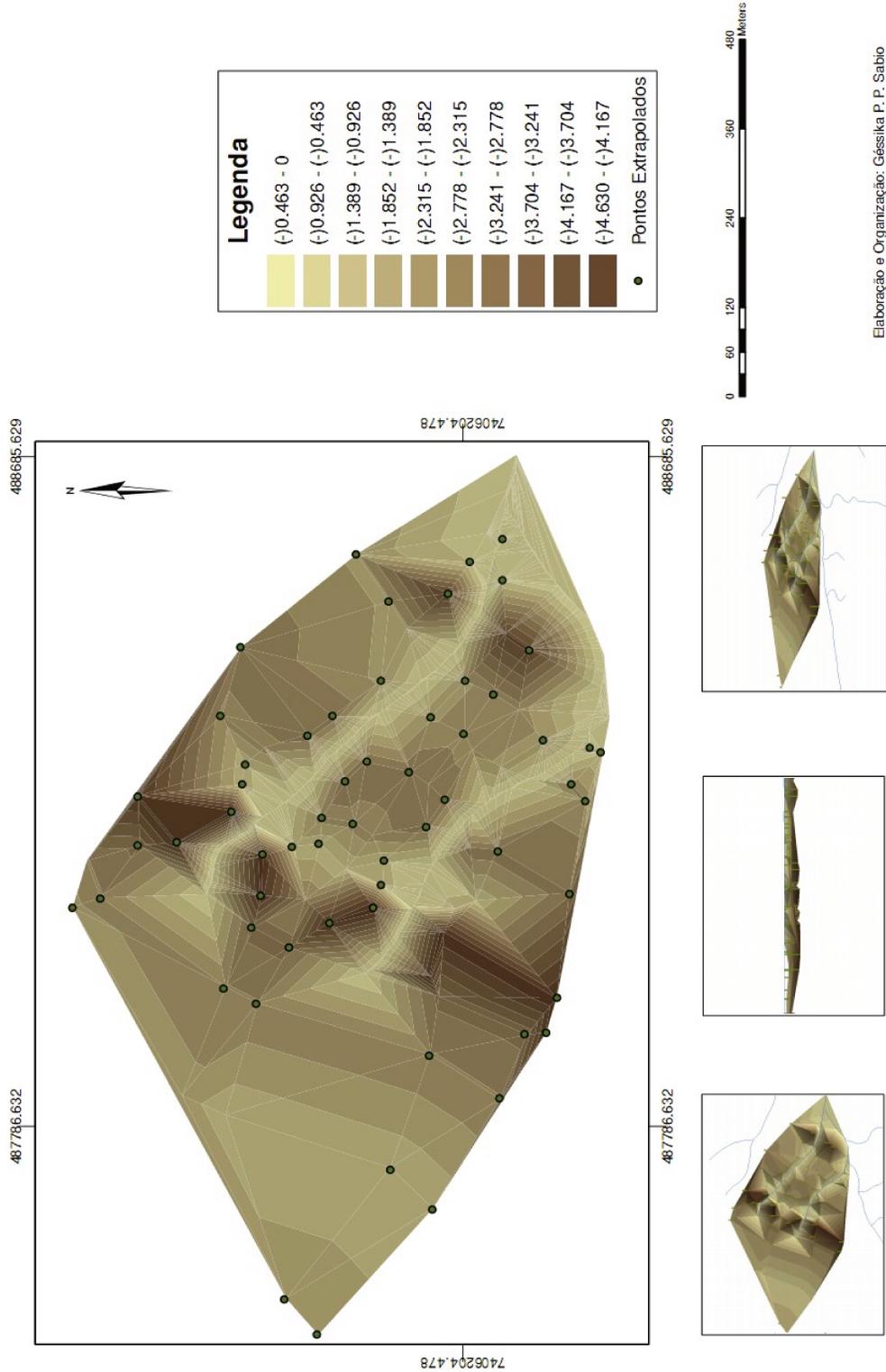


Figura 8.8: Mapa de Pontos de Profundidade Extrapolados

# MDE dos Pontos Extrapolados



Elaboração e Organização: Géssika P. Sabio

Figura 8.9: MDE Pontos Extrapolados

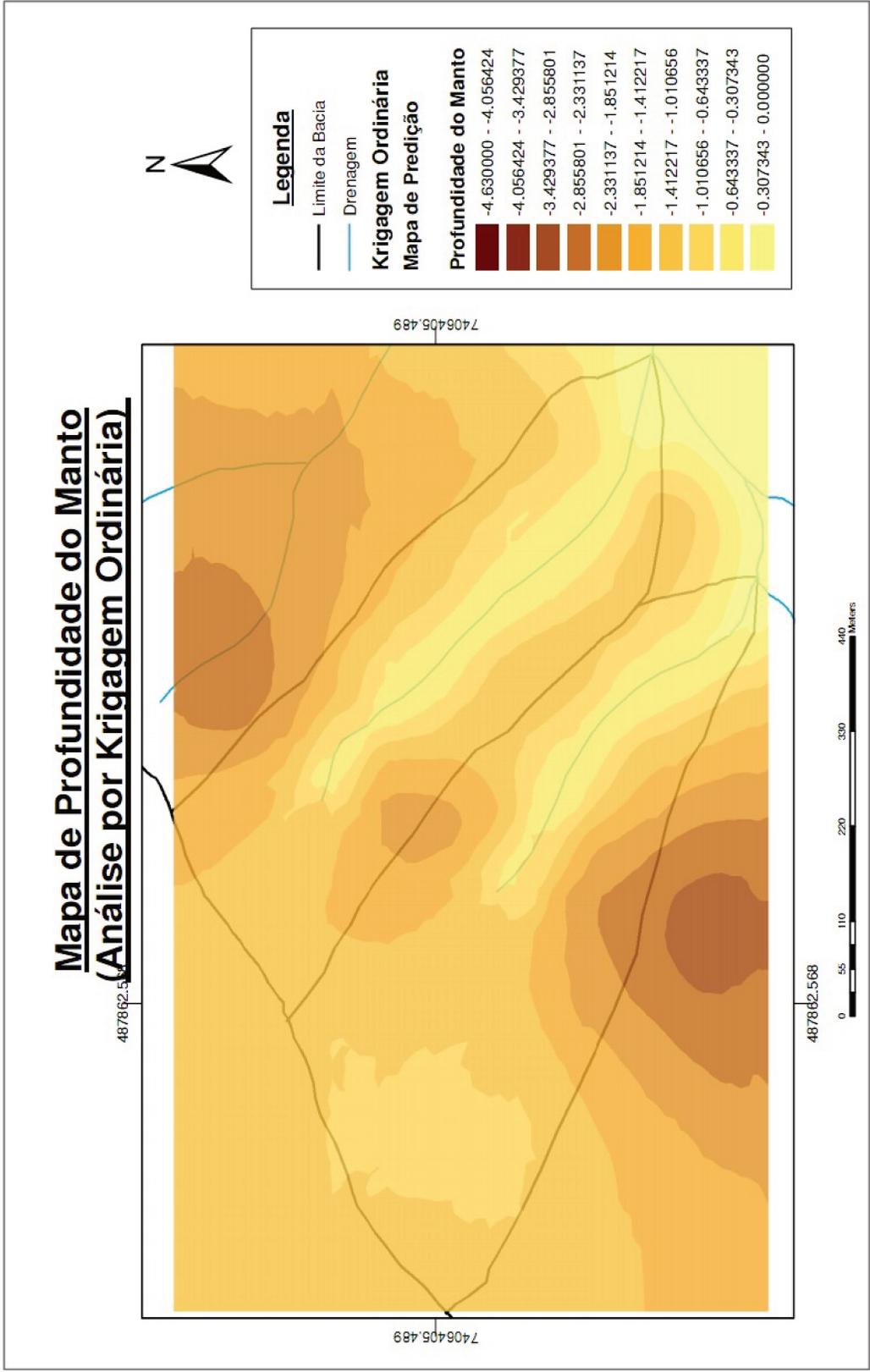


Figura 8.10: Mapa Profundidade do Manto (Análise por Krigagem Ordinária)

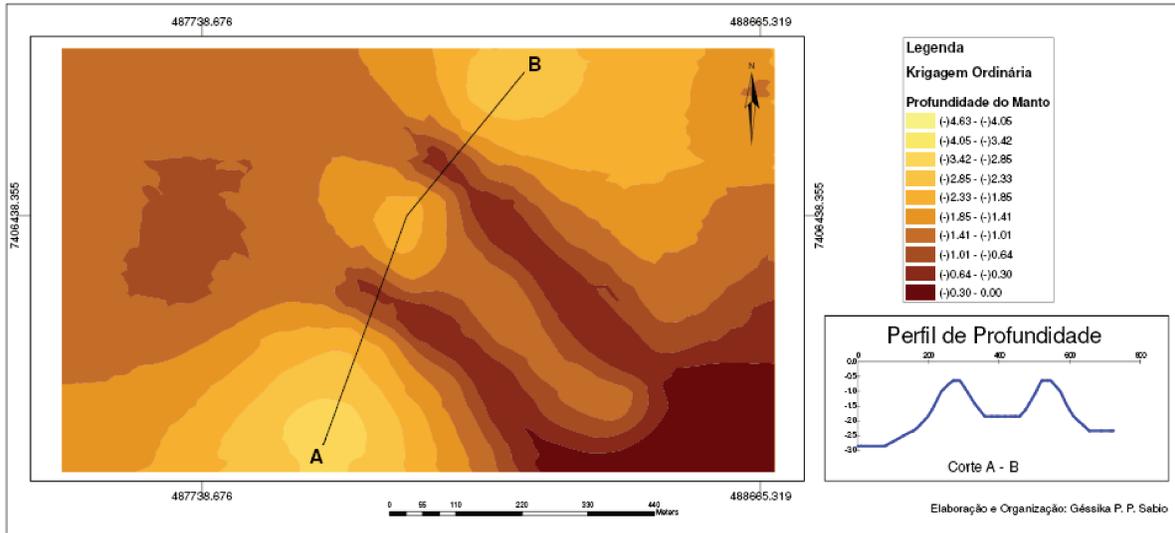


Figura 8.11: Perfil de Profundidade do Manto Intempérico no corte A – B, baseado no Mapa de Profundidade por Krigagem ordinária.

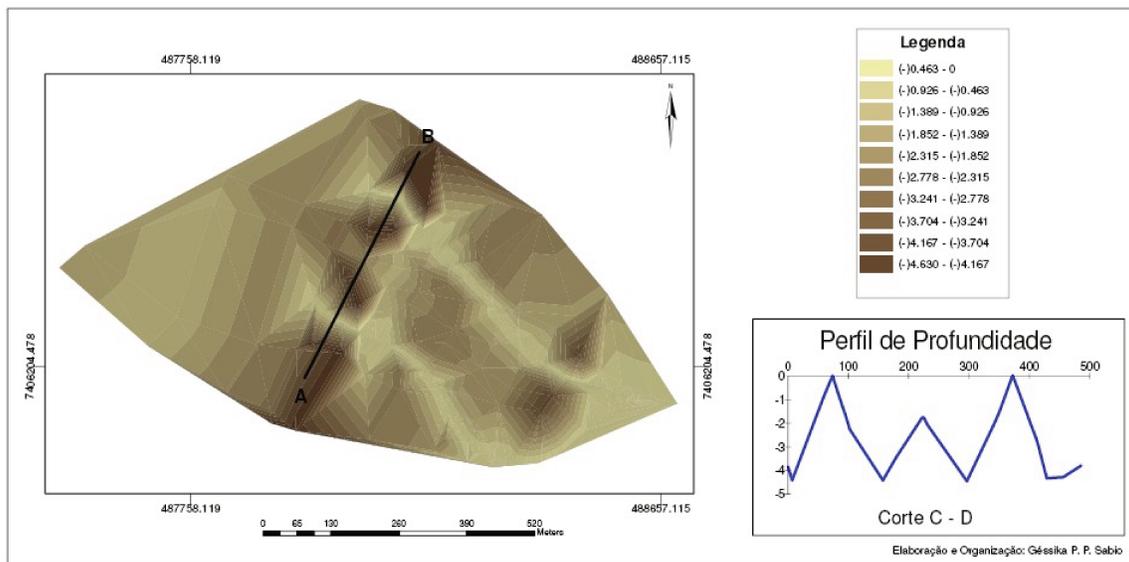


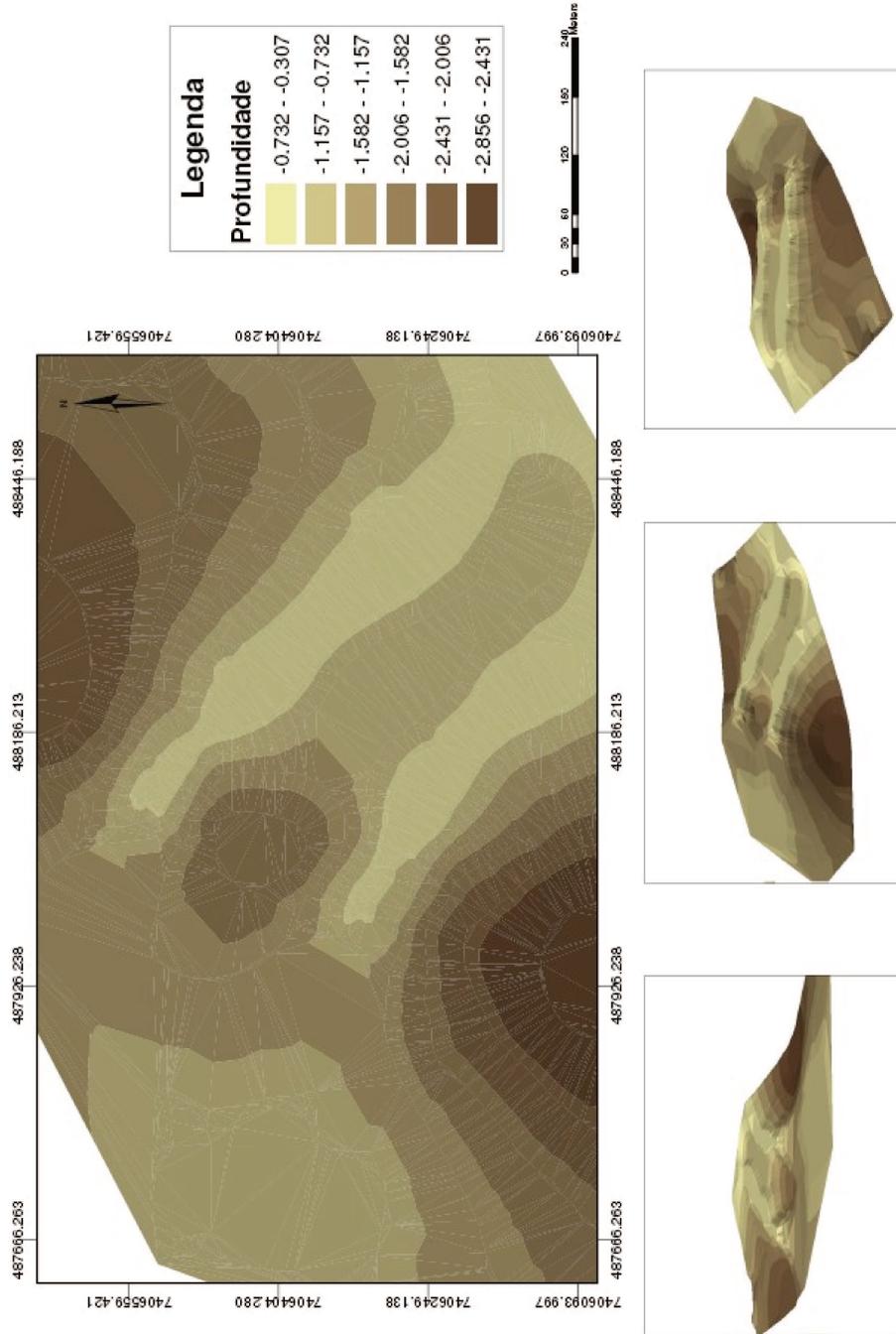
Figura 8.12: Perfil de Profundidade do Manto Intempérico no corte C – D, baseado no MDE de Pontos Extrapolados.

O MDE baseado no Mapa de Tendência de Profundidade do Manto (por krigagem ordinária) (figura 8.14) seguiu o padrão estabelecido pela análise geoestatística, porém, no momento em que o Mapa de Tendência de Profundidade do Manto foi modificado para o formato vetorial, os valores extremos de profundidade foram modificados. O limite máximo, que no mapa base era de 0 (zero) metros passou a ser -0,307 metros e o limite mínimo que era de -4,63 metros passou a ser -3,429 metros. Esta alteração é justificada pelo erro estabelecido no processo de análise geoestatística por krigagem ordinária. É importante esclarecer que para melhorar o efeito visual do MDE, foi estabelecido um exagero de 7x, o qual foi considerado ideal para que a superfície de contato manto/rocha não sofresse alterações bruscas e a passagem dos patamares de profundidade se mantivesse suave.

Com relação ao cálculo do volume do manto intempérico, este procedimento foi realizado através da ferramenta *3D Analyst* do ArcGis. A grande questão envolvida no cálculo do volume do manto é a necessidade de possuir uma base cartográfica, que no caso é o MDE, extremamente bem definida.

O resultado do cálculo de volume do manto para o MDE baseado no Mapa de Tendência de Profundidade do Manto (por krigagem ordinária) foi de: **1.484.111,60 m<sup>3</sup>**. É importante ressaltar que o resultado deste cálculo é uma estimativa da quantidade de material em subsuperfície passível de mobilização.

## MDE Profundidade (Baseado no Mapa de Krigagem Ordinária)



Elaboração e Organização: Géssika P. Sabão

Figura 8.13: MDE Profundidade (Baseado no Mapa de Krigagem Ordinária).

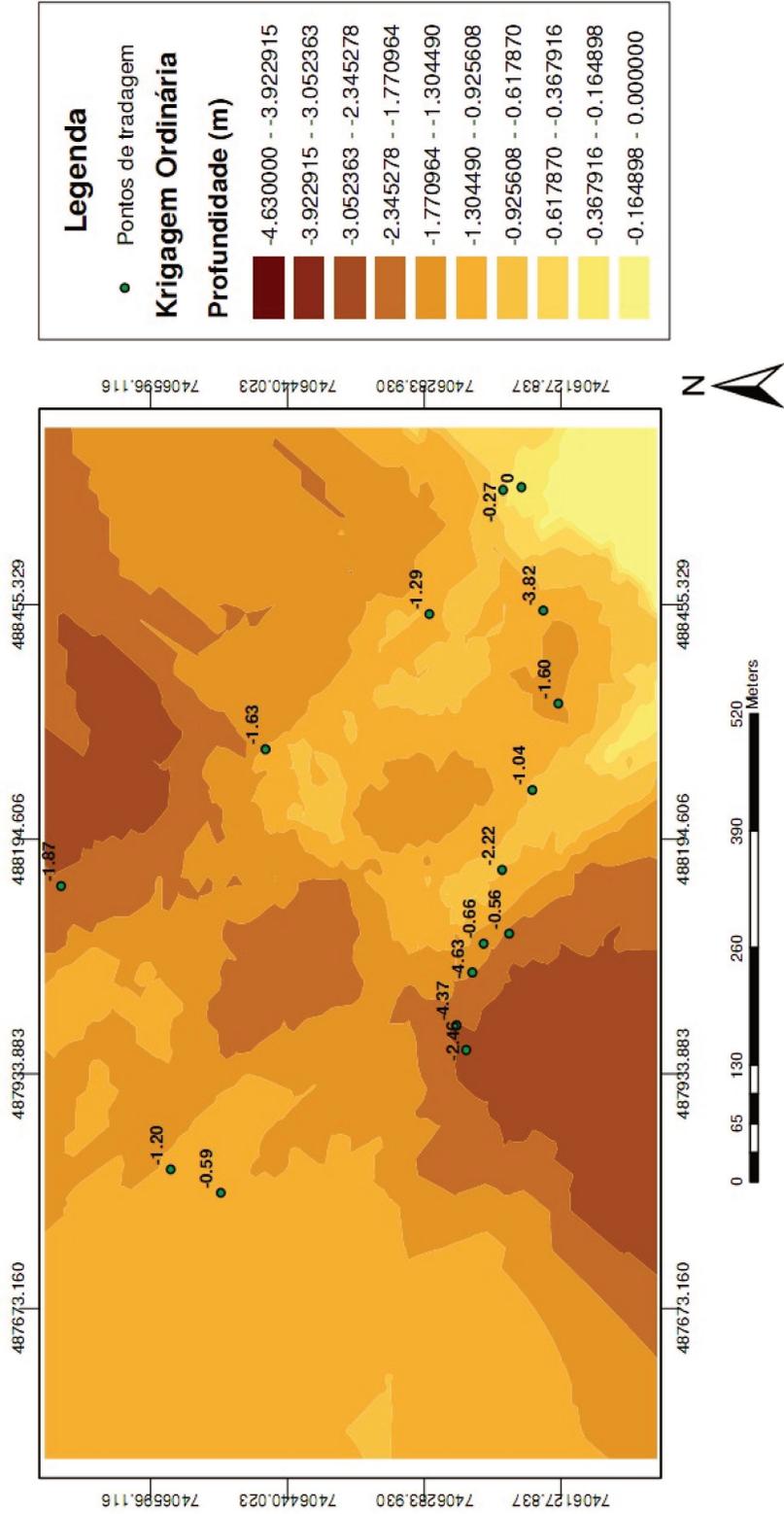
### 8.3 Validação do Modelo

Para a validação do modelo proposto criou-se um layer com os mesmos pontos utilizados para a extrapolação, porém sem os pontos originais de tradagem. A partir desse layer foi realizada a interpolação por krigagem ordinária (como no procedimento adotado para a elaboração do Mapa de Tendência de Profundidade do Manto) gerando um novo Mapa de Tendência, mas baseado **somente** nos pontos extrapolados (Mapa de Tendência para Validação do Modelo, figura 8.16). Após a elaboração deste ultimo documento cartográfico, foi inserido o layer dos Pontos de Tradagem em Campo, para realizarmos a comparação dos valores de profundidade reais e atribuídos pelo processo de interpolação.

A validação mostra que a profundidade obtida com a interpolação por krigagem ordinária, não condiz com a realidade, uma vez que diversos pontos de tradagem, que trazem valores reais obtidos em campo, encontram-se em regiões do mapa com intervalos de profundidade diferentes. Dos 16 pontos com valores reais de profundidade, representados no mapa de validação do modelo, apenas três (o pontos com 1,20m, 1,82m e 1,64m) se enquadraram nas classes de profundidade geradas pela análise de krigagem ordinária do layer de pontos extrapolados. Os demais pontos apresentaram uma variação muito diversificada no que diz respeito ao erro com relação aos dados de profundidade. O único ponto que apresentou erro moderado, no caso 0,38m, foi o ponto com profundidade igual a 2,47 m, os demais pontos apresentam, de maneira geral erros superiores a 1,00m, ocorrendo casos extremos com os pontos de 0,58m, 3,84m e 4,28m, que estavam enquadrados, respectivamente, nas classes de 1,85m – 2,33m, 0,64m – 1,01m e 2,33m – 2,85m.

## Mapa de Validação do Modelo Proposto

Mapa de Tendência de Profundidade do Manto (baseado nos pontos extrapolados) X Pontos de Tradagem em Campo



Os valores ao lado dos pontos de tradagem referem-se aos valores de profundidade obtidos em campo.

Figura 8.14: Mapa de Validação do Modelo.

## 9. Conclusão

A realização de pesquisas voltadas à aquisição de dados quantitativos do manto intempérico faz-se extremamente necessária para a incorporação dos mesmos aos bancos de dados de ações preventivas e de monitoramento de escorregamentos de massa.

Durante a aplicação dos procedimentos para a elaboração do documento cartográfico final, foram observados alguns pontos importantes que levaram ao questionamento sobre o que é considerado pela literatura atual. Os principais questionamentos levantados foram: a inviabilidade da utilização do mapa de declividade; a obtenção de dados de profundidade extremamente altos em pontos onde a declividade obtida em campo também era alta.

Com relação à discrepância entre os dados de declividade, pôde-se levantar três hipóteses: a) a utilização de bases topográficas antigas são ineficazes, uma vez que a área, que já se caracteriza pela ocorrência de escorregamentos de massa, pode ter sofrido inúmeras movimentações de material vertente abaixo no decorrer do tempo, alterando significativamente a declividade das vertentes da área de estudo; b) a confecção das cartas topográficas, pode estar sendo realizada de forma imprecisa, especialmente em áreas florestadas, como é o caso da área de estudo; c) os documentos cartográficos gerados pelo SIG podem ser errôneos e/ou imprecisos.

A incompatibilidade dos dados de declividade obtidos em campo e gerados pelo SIG traz à tona uma questão muito importante, uma vez que a maioria dos modelos para predição, monitoramento e alerta para áreas de risco de escorregamentos, baseia-se em dados de declividade gerados através das cartas topográficas, o que implica em uma entrada de dados errônea se a declividade da área tiver sido alterada devido à movimentação de material, se o documento cartográfico não for confiável, ou se a geração de documentos cartográficos pelo SIG não for precisa.

As profundidades obtidas com as tradagens, de modo geral, foram superiores com relação às profundidades esperadas, mostrando que o modelo de alteração de material *in situ* aplicado às encostas de ambientes tropicais úmidos, como a Serra do Mar, deve ser revisto, como já foi discutido no capítulo anterior.

Após a realização da validação do modelo, concluiu-se que a técnica proposta não pode ser aplicada. Tal constatação fez com que fossem levantadas algumas hipóteses relativas à revisão e ao aperfeiçoamento da técnica: 1) a quantidade de tradagens a serem realizadas e os locais onde as mesmas devem ser efetuadas; 2) a revisão dos procedimentos para a extrapolação dos dados; 3) o tipo de análise geoestatística necessária para a elaboração de uma documentação cartográfica satisfatória.

Com relação às tradagens, concluiu-se que estas devem ser realizadas em quantidade superior e em uma área mais abrangente, uma vez que a irregularidade da superfície de contato solo/rocha ficou comprovada com as perfurações realizadas durante os trabalhos de campo, quando se pôde observar variações expressivas nos dados de profundidade em áreas relativamente próximas. Acredita-se que a expansão do número de pontos de tradagens e uma espacialização mais uniforme dos mesmos resolva grande parte dos equívocos realizados durante o teste da técnica apresentada, apesar das dificuldades de obtenção de dados nestes ambientes.

Acredita-se que os fatores mais importantes da técnica proposta, as análises que resultam na extrapolação dos dados de profundidade, foram realizadas de forma incompleta e/ou até mesmo errônea. Incompleta, pois após a realização das análises dos dados de campo, notou-se uma complexidade muito grande com relação às interações estabelecidas entre os elementos que compõem o sistema Serra do Mar, o que provavelmente requer a entrada de dados mais específicos sobre a área de aplicação do modelo, abrangendo a análise qualitativa da área, a qual, pelo modelo proposto aqui, restringe-se somente à análise das formas das vertentes. Errônea no sentido de que a utilização de bases cartográficas e fotografias aéreas, com as datas e escalas escolhidas podem ser consideradas ineficazes para a análise necessária para a extrapolação dos dados de profundidade.

Com relação à técnica de análise geoestatística utilizada, considera-se que a ineficiência apresentada na aplicação do modelo proposto, se deve aos erros cometidos em etapas anteriores, ou seja, acredita-se que com a correção dos procedimentos de tradagem (quantidade dos pontos e distribuição espacial dos mesmos) e de extrapolação dos dados de profundidade (com análises qualitativas mais refinadas da área de estudo), a análise geoestatística por krigagem ordinária pode apresentar resultados mais satisfatórios. Porém, não se exclui a necessidade de se aprofundar na questão da análise geoestatística, ou seja, deve-se buscar outros tipos de análise e testá-los para, a partir da comparação dos resultados, se definir qual tipo de interpolação dos pontos de profundidade extrapolados é a mais satisfatória para a aplicação do modelo.

Apesar de todas as considerações apresentadas acima, verificou-se que a técnica proposta pode, ao menos, resultar em uma noção mínima da quantidade de material passível de movimentação, uma vez que, mesmo que incompleto com relação à entrada e análise de dados, o MDE de Pontos de Profundidade Extrapolados, que dentre os documentos cartográficos elaborados é um dos que apresentam maior fidelidade aos dados reais de profundidade, propicia o cálculo do volume do manto intempérico tendo como base dados reais de profundidade. O valor resultante do cálculo do volume do

manto, baseado em tal documentação cartográfica, ao menos revela uma quantidade mínima de material passível de movimentação na ocorrência de um evento de escorregamento de massa.

Por fim, acredita-se que a realização desta pesquisa, além de contribuir para a revisão de alguns conceitos referentes à formação de um sistema ambiental tão complexo como é a Serra do Mar, abriu caminhos para a valorização dos dados referentes aos mantos intempéricos nos trabalhos desenvolvidos acerca dos escorregamentos de massa.

## 10. Referências Bibliográficas e Bibliografia

- ALEXANDER, D. On the causes of landslides: human activities, perception and natural processes. *Environmental Geology Water Science*. 20(3):165-179. Springer-Verlag. 1992.
- ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo*, n.41, p. 167-262, 1964.
- ARAUJO, P. C. *Análise da susceptibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística*. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro. 2004.
- AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. p. 721-733.
- BIGARELLA, J.J. - *Estrutura e Origem das Paisagens Subtropicais e Tropicais*. UFSC. Florianópolis. 1994.
- BIRKELAND, P. W. *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press. New York. 1999.
- CAMARGO, E. C. G. (2000). Geoestatística: fundamentos e aplicações. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/5geoest.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf) (acessado em 13/04/2008, às 10hrs e 35min)
- CASAGLI, N. et al. Analysis of the landslide triggering mechanism during the storm of 20<sup>th</sup> - 21<sup>st</sup> november 2000, in Northern Tuscany. *Landslides*. 3:13-21.2006.
- CHORLEY, R. J. et al. *Geomorphology*. Methuen. Cambridge, 1984.
- CLAESSENS, L. et al. Modelling landslide hazard, soil redistribution and sediment yield of landslides on the Uganda footslopes of Mount Elgon. *Geomorphology*. Vol. 90:23-35, 2007.

CETESB (2007). <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/riscos/estudo/historico.asp> (acessado em 12/06/07; 12hrs e 37min)

COSTA, J.E., BAKER, V. R. *Surficial Geology*. New York. John Wiley, 1984. 498p.

CROZIER, M. J. *Landslides: Causes, consequences and environment*. Dover. Croom Helm. 1986.

CRUZ, O. *A Serra do Mar e o Litoral na área de Caraguatatuba: contribuição à geomorfologia tropical litorânea*. São Paulo: Instituto de Geografia – Universidade de São Paulo. 1974. 181p.

EMBRAPA. *Mapa de Solos do Brasil*, 1999.

ELLIS, S. & MELLOR, A. *Soils and environment*. New York. Routledge. 1995.

FELL, R.; GLASTONBURRY, J. & HUNTER, G. Rapid landslides: the importance of understanding mechanisms and rupture surface mechanisms. *Quaternary Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. Vol. 40 : 9-27, 2007.

FERNANDES, N. F. *et al.* Condicionantes Geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação do Modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. Vol. 02, n. 1, 2001.

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem Geológico – Geomorfológica In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2000.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (orgs). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 2000.

GUIDICINE, G. & NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo. Edgard Blücher; EDUSP. São Paulo. 1976.

HARP, E. L., MICHAEL, J. A., and LAPRADE, W. T., 2006, *Shallow-Landslide Hazard Map of Seattle*, Washington: U.S. Geological Survey Open-File Report 2006.

HASUI, Y.; SADOWSKI, G. R. Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geologia*. 1976

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. Vol. 1. 1981a

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. Vol. 1. 1981b

JORGE, M. C. O. *Zoneamento Ambiental do município de Ubatuba – SP*. Rio Claro, 2004. Dissertação de Mestrado. IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP – Campus de Rio Claro.

KANJI, M. A.; CRUZ, P. T. & MASSAD, F. Debris flow affecting the Cubatão oil refinery, Brazil. *Landslides*. 5: 71-82. 2008

KNAPEN, A. *et al.* Landslides in a densely populated county at the footslopes of Mount Elgon (Uganda): Characteristics and causal factors. *Geomorphology*. 73 (1/2): 149-165, 2006.

KO, O. K.; FLENTJE, P. & CHOMDHURY, R. Interpretation of probability of landsliding triggered by rainfall. *Landslides*. Vol 4. n. 1. p. 263:275, 2004.

LEPSCH, I. F. *Formação e conservação dos solos*. Oficina de Textos. São Paulo. 2002.

LOPES, E. S. S. *Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala 1:10.000*. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro. 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006). <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/programas-urbanos/biblioteca/prevencao-de-riscos/materiais-de-capacitacao/capacitacao-de-equipes-municipais/material-basico-para-o-mapeamento-e-gereciamento-de-areas-de-risco-de-eskorregamentos-enchentes-e-inundacoes/> (acessado em 25/11/06, às 15hrs e 37min).

MONIZ, A. C. *Elementos de Pedologia*. Editora Polígono; EDUSP. São Paulo. 1972.

MOUSINHO, M. R. & BIGARELLA, J. J. Movimentos de massa no transporte dos detritos da meteorização de rochas. *Boletim Paranaense de Geografia*. Nº 16/17, p. 43-84, 1965.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. *A dinâmica e as chuvas no Estado de São Paulo*. Atlas. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1973. 129 p.

OLLIER, C. D. *Weathering*. Longman Group Limited. London. 1975.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T. & CAMARGO, M. N. *Classes gerais dos solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento*. FUNEP. Jaboticabal, 1992.

RADAMBRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Levantamento dos Recursos Naturais-Folhas SF23/24, Rio de Janeiro/Vitória*. Rio de Janeiro, 1983. p. 32:780.

SELBY, M. J. *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press. New York. 1993.

SESTINI, M. F. *Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando imagens TM-LANDSAT e SIG*. São José dos Campos. 1999. Dissertação de Mestrado. INPE.

SILVA, F. L. de M. *O risco geológico associado à ocupação de áreas de mineração no município de Ubatuba – SP*. Campinas. 1995. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. UNICAMP.

TAVARES, R.; ARMANI, G.; BRIGATTI, N.; ROCHA, B. N. 2005. Hidroclimatologia. In: Ferreira, C. J. (coord) 2005. *Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração*

*de saibro (caixas de empréstimo)*. Ubatuba. 2º relatório parcial, IG, SP. 2005. FAPESP (Processo 03/07 182-5)

TOMINAGA, L. K.. *Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP*. São Paulo. 2007. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. USP.

TROPPMAIR, H. *Geossistemas e Geossistemas Paulistas*. 1ª ed. Rio Claro: UNESP - IGCE. 2000. 107 p.

VALERIANO, M. M. *Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul, São José dos Campos, SP*. INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004.

WOLLE, C. M. & CARVALHO, C. S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar – Brasil. *Solos e Rochas*. Vol.12. p. 27-36, 1989.