

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ANÁLISE  
DE RISCO A ESCORREGAMENTOS:  
APLICAÇÃO DE UM ENSAIO EM UBATUBA, SP**

**Lídia Keiko Tominaga**

Edição Revisada

**SÃO PAULO**

**2007**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ANÁLISE  
DE RISCO A ESCORREGAMENTOS:  
APLICAÇÃO DE UM ENSAIO EM UBATUBA, SP**

**Lídia Keiko Tominaga**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Doutor em Ciências – Geografia Física.

**Orientador: Prof. Dr. Jurandyr L. Sanches Ross**

**SÃO PAULO  
2007**

Aos meus pais,  
Fusako Tominaga (Okassan) e  
Akiyochi Tominaga (Otossan),  
pelos exemplos de perseverança e fé,  
*In memoriam*

e aos  
do presente  
Geraldo, André e Guilherme,  
pelo carinho e apoio em todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio e colaboração de várias pessoas e instituições, aos quais gostaria de expressar meus agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross, por me aceitar na pós-graduação e pela confiança e orientação segura;

Ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, pela oportunidade da realização do curso de pós-graduação; e à Secretaria da Pós-Graduação, pela atenção e boa vontade nas providências que se demandou;

Ao Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pela liberação, incentivo e disponibilização da infra-estrutura necessária para a realização dos trabalhos de pesquisa da tese;

À FAPESP, pelo financiamento do Projeto “*Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro, Ubatuba, SP*” (Proc. 03/07182-5), cujos estudos foram fundamentais para esta pesquisa;

Aos Professores Ailton Luchiari e Antônio Carlos Colângelo, pelas contribuições e sugestões no Exame de Qualificação;

À Geógrafa Marisa de Souto Mattos Fierz do Laboratório de Geomorfologia, pela amizade e atenção às solicitações;

Aos Técnicos Rosângela de Carvalho e Gilberto Sanchez, pela colaboração nas questões de informática; aos Técnicos do Laboratório de Sedimentologia do Instituto Geológico, Ivete Costa Silva e José Alves de Andrade, pela execução das análises granulométricas das amostras de solos; aos funcionários da Subfrota e aos motoristas Job de Campos e Hernandis Magalhães Filho, pelo apoio nos trabalhos de campo;

À Juliana H. Bellini e Willian dos Santos (estagiários), pela dedicação e paciência nos trabalhos de geoprocessamento e de edição dos mapas; aos estagiários Tullius Dias Nery, João L. C. Naletto e Pedro Cadena Giberti, pelas valiosas colaborações;

Aos amigos e colegas do Instituto Geológico: Sônia A. Nogueira que como diretora do IG forneceu o suporte institucional; Cláudio José Ferreira, pelas contribuições na definição da metodologia e com a utilização do SPRING; Maria José Brollo, pela revisão e sugestões; Mirian Ramos Gutjahr, também pela revisão do texto da tese e pela tradução do Resumo; Renato Tavares e Gustavo Armani, pela contribuição com os dados de chuva e produção dos arquivos PDF; Denise Rossini Penteado, pelo apoio e fornecimento dos dados de uso do solo urbano; Jair Santoro, pela disponibilização dos registros do PPDC; Márcia N. Pressinotti e William Sallun Filho, pelo auxílio no uso do ArcGIS; Paulo Fernandes da Silva, pela colaboração nos trabalhos de campo e na classificação dos solos; Rodolfo Moreda Mendes, pelas discussões sobre os mecanismos de escorregamentos; Daniela Faria, pelas bibliografias; Antonio C. Moretti Guedes, pelo suporte em geoprocessamento; Francisco Negri, pelas programações das viagens de campo; Ricardo Vedovello, pelas discussões e sugestões que muito contribuíram com este trabalho; Sandra Moni pelas sugestões de edição do texto; Mara Iritani, Luciana M. Ferreira, Claudia Varnier, Sibeles Ezaki, Amélia Fernandes, A. Artemísia B. de Azevedo, José de Azevedo Sobrinho, Célia G. de Souza, Rosângela do Amaral, Rogério Ribeiro, pela amizade e apoio solidário;

Ao Geraldo, André e Guilherme, pelo carinho, apoio e paciência. À minha irmã Gisela, pela valiosa colaboração e à minha sobrinha Marina, pela alegria contagiante.

A todos que me apoiaram, me incentivaram e por mim torceram,

Muito obrigada!



## SUMÁRIO

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE QUADROS .....	vi
ÍNDICE DE TABELAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS.....	xii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	01
CAPÍTULO 2. MÉTODOS E TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO MEIO FÍSICO.....	10
CAPÍTULO 3. CONCEITOS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO. 40	
CAPÍTULO 4. APLICAÇÃO DE UM ENSAIO METODOLÓGICO DE ANÁLISE DE RISCO A ESCORREGAMENTOS EM UBATUBA, SP .....	95
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	191
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	201
ANEXOS: MAPAS E TABELAS	

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>1.1. Hipótese e Objetivos .....</b>	<b>06</b>
<b>1.2. Justificativas.....</b>	<b>07</b>
<b>2. MÉTODOS E TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO MEIO FÍSICO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Pressupostos do Mapeamento do Meio Físico para fins de Planejamento Territorial .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Conceituação da Cartografia Geotécnica e Geoambiental .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Principais metodologias de Cartografia Geotécnica adotadas mundialmente .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Cartografia Geotécnica no Brasil.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5. Avaliação de Terrenos .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.1. Aspectos Gerais .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.2. Evolução Conceitual .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.3. Métodos de Avaliação de Terrenos.....</b>	<b>35</b>
<b>3. CONCEITOS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1. Evolução Conceitual .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. Movimentos de Massa e seus Condicionantes.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.1. Classificação de Movimentos de Massa .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.1.1. Escorregamentos .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.1.1.1. Escorregamentos Rotacionais.....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.1.1.2. Escorregamentos Translacionais.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.1.1.3. Queda de Blocos.....</b>	<b>61</b>

<b>3.2.2. Condicionantes dos Movimentos de Massa .....</b>	<b>62</b>
3.2.2.1. Condicionantes Geológicos e Geomorfológicos .....	65
3.2.2.2. Clima e Pluviosidade .....	67
3.2.2.3. Vegetação .....	68
3.2.2.4. Ação Antrópica .....	69
<b>3.3. Metodologias de Mapeamento de Risco a Escorregamentos .....</b>	<b>71</b>
<b>3.3.1. Mapas de Suscetibilidade a Escorregamentos .....</b>	<b>71</b>
3.3.1.1. Métodos Empíricos .....	75
3.3.1.2. Métodos Probabilísticos .....	76
3.3.1.3. Métodos Determinísticos .....	77
<b>3.3.2. Mapas de Perigo a Escorregamentos .....</b>	<b>79</b>
3.3.2.1. Metodologias Qualitativas .....	80
3.3.2.2. Métodos Quantitativos .....	82
<b>3.3.4. Mapas de Risco a Escorregamentos .....</b>	<b>86</b>
<b>4. APLICAÇÃO DE UM ENSAIO METODOLÓGICO DE ANÁLISE DE RISCO A ESCORREGAMENTOS EM UBATUBA, SP .....</b>	<b>95</b>
<b>4.1. Caracterização da Área de Estudo .....</b>	<b>95</b>
4.1. 1 Localização .....	95
4.1. 2. Geologia .....	95
4.1.3. Geomorfologia .....	100
4.1.3.1. Unidades Geomorfológicas de Ubatuba .....	104
4.1.4. Vegetação .....	109
4.1. 5. Aspectos Climáticos .....	111
4.1.5.1. Tempo de retorno de chuva intensa .....	112
4.1.5.2. Excedente Hídrico .....	117
4.1. 6. Aspectos Sócio-Econômicos .....	119

<b>4.1.7. Uso e Ocupação do Solo .....</b>	<b>123</b>
<b>4.2. Procedimentos Metodológicos e Técnico-Operacionais.....</b>	<b>128</b>
<b>4.2.1. Introdução .....</b>	<b>128</b>
<b>4.2.2. Levantamento e Obtenção de Dados Existentes.....</b>	<b>132</b>
<b>4.2.3. Organização do Banco de Dados Geográficos.....</b>	<b>133</b>
4.2.3.1 Tratamento do Mapa Topográfico .....	134
4.2.3.2. Geração do Mapa de Declividade .....	135
<b>4.2.4. Compartimentação de Terrenos .....</b>	<b>136</b>
<b>4.2.5. Levantamentos de Campo .....</b>	<b>138</b>
<b>4.2.6. Atributos e Parâmetros de Análise .....</b>	<b>139</b>
4.2.6.1. Forma de Vertente .....	140
4.2.6.2. Declividade Média .....	140
4.2.6.3. Grau de Dissecação .....	141
4.2.6.4. Materiais Inconsolidados (solos) .....	141
4.2.6.5. Lineamentos .....	142
4.2.6.6. Disponibilidade Hídrica .....	143
<b>4.2.7. Aplicação da Técnica AHP na Análise da Suscetibilidade.....</b>	<b>143</b>
<b>4.2.8. Obtenção do Índice de Suscetibilidade e do Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos.....</b>	<b>149</b>
<b>4.2.9. Análise e elaboração do Mapa de Perigo a Escorregamentos.....</b>	<b>152</b>
<b>4.2.10. Análise e Elaboração do Mapa de Risco a Escorregamentos.....</b>	<b>158</b>
<b>4.3. Resultados e Discussões .....</b>	<b>161</b>
<b>4.3.1 Mapas Básicos.....</b>	<b>161</b>
4.3.1.1. Mapa topográfico.....	161
4.3.1.2. Mapa de Drenagens .....	162
4.3.1.3. Modelo Digital de Elevação (MDE).....	162

4.3.1.4. Mapa de Declividade .....	162
4.3.1.5. Mapa de Inventário de Escorregamentos .....	162
<b>4.3.2. Mapa de Compartimentação de Terreno .....</b>	<b>167</b>
<b>4.3.3. Caracterização Geoambiental .....</b>	<b>169</b>
4.3.3.1. Domínios litológicos e morfologia do relevo .....	170
4.3.3.2. Materiais inconsolidados .....	171
4.3.3.3 – Processos de Escorregamentos .....	176
<b>4.3.4. Mapa de Uso e Ocupação do Solo .....</b>	<b>180</b>
<b>4.3.5. Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos .....</b>	<b>182</b>
<b>4.3.6. Mapa de Perigo a Escorregamentos .....</b>	<b>184</b>
<b>4.3.7. Mapa de Risco a Escorregamentos .....</b>	<b>186</b>
<b>4.3.8. Discussão dos Resultados .....</b>	<b>188</b>
<b>5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>191</b>
<b>5.1. Avaliação das Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos..</b>	<b>192</b>
<b>5.2. Aplicação de um Ensaio Metodológico em Ubatuba, SP .....</b>	<b>197</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>201</b>

## **ANEXOS:**

**Anexo 1 – Mapa de Compartimentação de Terrenos (UBCs) da Região do Perequê-Mirim e Entorno (Ubatuba –SP).**

**Anexo 2 – Tabela de Atributos e Parâmetros das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs).**

**Anexo 3 – Mapa de Formas de Vertentes da Região do Perequê-Mirim e Entorno (Ubatuba –SP).**

**Anexo 4 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Região do Perequê-Mirim e Entorno (Ubatuba –SP).**

**Anexo 5 – Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos da Região do Perequê-Mirim e Entorno (Ubatuba –SP).**

**Anexo 6 – Mapa de Perigo a Escorregamentos da Região do Perequê-Mirim e Entorno (Ubatuba –SP).**

**Anexo 7 - Mapa de Risco a Escorregamentos da Região do Perequê-Mirim e Entorno (Ubatuba –SP).**

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Classificação de Perigo ( <i>Hazard</i> ), baseado em ONU, 2004.....	45
Quadro 3.2 – Principais processos geológicos causadores de acidentes no Brasil (modificado de CERRI & AMARAL, 1998) .....	47
Quadro 3.3 – Termos básicos utilizados em redução do risco de desastres pelo <i>ISDR</i> (ONU, 2004) .....	49
Quadro 3.4 - Agentes e causas dos escorregamentos e processos correlatos (GUIDICINI & NIEBLE, 1976, <i>apud</i> AUGUSTO FILHO, 1995).....	64
Quadro 4.3.1 - Síntese das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) definidas no Setor de Serrania .....	168
Quadro 4.3.2 - Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) definidas no Setor de Planície Litorânea .....	168
Quadro 4.3.3 – Exemplo de caracterização geoambiental das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) .....	169

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Instituições que efetuaram o cadastro de trabalhos junto a CTCG (modificado de TOMINAGA <i>et al.</i> , 2004) .....	24
Tabela 3.1 – Classificação simplificada de movimentos de massa, modificado de Varnes, 1978. ....	53
Tabela 3.2 – Comparação entre as propostas de classificação de movimentos gravitacionais de massa mais usadas no Brasil (FERNANDES & AMARAL, 1996) .....	56
Tabela 3.3 - Classificação de vertentes de acordo com as características de estabilidade (baseado em CROZIER, 1984 e COOKE & DOORKAMP, 1990) .....	73
Tabela 3.4 - Categorias de zoneamento de perigos (hazard) em Grindelwald nos Alpes Suíço (KIENHOLZ, 1978 modificado por COOKE & DOORKAMP, 1990) .....	74
Tabela 3.5 - Caracterização dos níveis de risco utilizados na setorização, modificado de Macedo <i>et al.</i> 2004a, Canil <i>et al.</i> 2004 e Cerri <i>et al.</i> 2004 .....	94
Tabela 4.1.1 - Indicadores sócio-econômicos do município de Ubatuba fornecidos pela Fundação SEADE - Perfil municipal ( <a href="http://www.seade.gov.br/produtos/perfil">http://www.seade.gov.br/produtos/perfil</a> ) .....	121
Tabela 4.1.2 - Área das classes de uso do solo urbano (ROSSINI-PENTEADO <i>et al.</i> 2007).....	124
Tabela 4.1.3 - Classe, característica e área das categorias de padrão de ocupação residencial (ROSSINI-PENTEADO <i>et al.</i> 2007) .....	127
Tabela 4.2.1 - Principais planos de informação do banco de dados geográficos criado .....	134
Tabela 4.2.2 - Caracterização das propriedades das formas texturais em imagens de satélite (VEDOVELLO 2000).....	137
Tabela 4.2.3 – Escala de importância relativa AHP para comparação pareada, definida por Saaty (1992).....	144
Tabela 4.2.4 – Valores ponderados para as formas de vertentes e tipos de solos.....	148
Tabela 4.2.5 - Classes dos atributos das unidades básicas de compartimentação e os respectivos valores ponderados .....	150
Tabela 4.2.6 – Pesos obtidos pela análise AHP para o fator Relevo e para a suscetibilidade .....	150
Tabela 4.2.7 - Classes de suscetibilidade a escorregamentos .....	151
Tabela 4.2.8 – Índices do potencial de indução das unidades de uso e ocupação não urbanos.....	157



Tabela 4.3.1 – Classificação granulométrica das amostras de solos analisadas e sua relação com as unidades de terreno.....	176
Tabela 4.3.2 - Classes de suscetibilidade a escorregamentos .....	182
Tabela 4.3.3 – Caracterização dos fatores do terreno por classes de suscetibilidade .....	182
Tabela 4.3.4 - Classes de perigo a escorregamentos .....	185
Tabela 4.3.5 - Classes de risco a escorregamentos (população como elemento em risco) .....	187

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – (A) Principais escalas adotadas nos trabalhos cadastrados pela CTCG; (B) Tipos de mapas (TOMINAGA <i>et al.</i> 2004).....	29
Figura 2.2.- (A) Finalidades dos trabalhos e, (B) uso de imagens de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na produção de cartas geotécnicas (TOMINAGA <i>et al.</i> 2004 .....	30
Figura 2.2 – Relações entre sistema de terreno, unidades de terreno e elementos de terreno, modificado de Cooke & Doornkamp (1990). .....	38
Figura 3.1 – Classificação de riscos ambientais (CERRI, 1993; CERRI e AMARAL, 1998).....	43
Figura 3.2 - Principais tipos de escorregamentos (INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).....	56
Figura 3.3 – (a) Esquema de escorregamento rotacional. (b) foto de escorregamento rotacional na Guatemala. Fonte: Lopes (2006) .....	58
Figura 3.4 - Escorregamento rotacional do grande acidente de Monte Serrat, em Santos (1928), com 80 mortes e destruição de parte da antiga Santa Casa (foto do arquivo de C.M.Nunes). Fonte: Nogueira (2002).....	58
Figura 3.5 – Escorregamentos translacionais de solos em Ubatuba (A) Picinguaba e (B) Maranduba, e em Várzea Paulista (C). Fonte: Arquivo do IG/SMA .....	61
Figura 3.6 – (a) Esquema de queda de blocos, (b) foto de queda de blocos. Fonte: Lopes, 2006.....	62
Figura 3.7 – Rolamento de blocos em Ilhabela, SP. Fonte: Nogueira, 2006.....	62
Figura 3.8 - Trecho de mapa de suscetibilidade a movimentos de massa de São Sebastião (IG/SMA, 1996).....	74
Figura 3.9 – Classificação de métodos de avaliação de perigos a escorregamentos, modificado de Aleotti & Chowdhury, (1999).....	80
Figura 3.10 – Exemplo de mapeamento de risco em Ubatuba (IG/SMA, 2006) .....	93
Figura 4.1.1 - Localização da área de estudo .....	96
Figura 4.1.2. - Mapa Geológico da Região de Ubatuba (MORAIS <i>et al.</i> , 1999).....	98
Figura 4.1.3 – Mapa Geomorfológico da porção centro-sul de Ubatuba, SP .....	105
Figura 4.1.4 - Vista geral do relevo das escarpas da Serra do Mar, em patamares descendentes a partir da escarpa frontal. Fonte: Arquivo IG/SMA .....	106
Figura 4.1.5 – Fotos ilustrando a morfologia do relevo de Ubatuba. Fonte: Arquivo IG/SMA .....	107

Figura 4.1.6 – Intensos processos de escorregamentos em área antiga de extração de saibro (Maranduba/Ubatuba). Fonte: Arquivo IG/SMA .....	108
Figura 4.1.7 - Variação média mensal e total anual da pluviosidade (mm) no Município de Ubatuba, no período de 1971 a 1999 (ARMANI et al. 2007) .....	113
Figura 4.1.8 - Variação média mensal e média anual do tempo de retorno (anos) de precipitação acumulada de 120mm em 24 horas no Município de Ubatuba (ARMANI et al., 2007).....	115
Figura 4.1.9 - Variação média mensal e média anual do tempo de retorno (anos) de precipitação acumulada de 120mm em 72 horas no Município de Ubatuba (ARMANI et al., 2007).....	116
Figura 4.1.10 - Variação média mensal e média do total anual do Excedente Hídrico (mm) no município de Ubatuba, no período de 1971 a 1999 (ARMANI et al., 2007).....	118
Figura 4.1.11 – Mapa de uso e ocupação do solo urbano de Ubatuba (ROSSINI-PENTEADO et al. 2007) .....	125
Figura 4.1.12 – Mapa do Padrão de ocupação residencial de Ubatuba (ROSSINI-PENTEADO et al. 2007) .....	126
Figura 4.2.1 - Etapas do zoneamento geotécnico segundo abordagem fisiográfica de Vedovello, 2000.....	129
Figura 4.2.2 – Representação esquemática das unidades taxonômicas do relevo, modificado de Ross (1992).....	130
Figura 4.2.3 - Imperfeições no TIN. À esquerda, no destaque, observam-se triângulos cujos vértices se encontram sobre a mesma curva de nível. Já à direita, com a inserção de um ponto, os triângulos não estão mais no plano horizontal (NALETO, 2006; LOPES, 2006) .....	135
Figura 4.2.4 - Diagrama Triangular de Feret (BUENO & VILLAR, 1995) .....	142
Figura 4.2.5 - Estrutura hierárquica adotada para definir áreas suscetíveis a escorregamentos .....	146
Figura 4.2.6 – (A) Matriz de comparação pareada AHP do Fator Relevo; (B) Pesos obtidos para os atributos do Fator Relevo .....	147
Figura 4.2.7 – (A) Matriz de comparação pareada AHP dos fatores de suscetibilidade a escorregamentos; (B) Pesos obtidos para os fatores de suscetibilidade .....	148
Figura 4.2.8. – Atributos do uso urbano com as notas ou modo de obtenção do fator de potencial de indução (ROSSINI-PENTEADO et al., 2007).....	154
Figura 4.2.9 - Fluxograma da análise de perigo e risco, modificado de Tominaga et al., 2004.....	155
Figura 4.2.10 – Atributos do uso urbano considerados como fatores de vulnerabilidade (a, b, c, d) e de dano potencial do elemento em risco população (e) (ROSSINI-PENTEADO et al., 2007) .....	160

Figura 4.3.1 – Mapa Topográfico e de Drenagens da Folha Praia da Enseada, escala original 1:10.000.....	163
Figura 4.3.2 – Modelo Digital de Elevação com sombreamento .....	164
Figura 4.3.3 – Mapa Clinográfico da Folha Praia da Enseada .....	165
Figura 4.3.4 – Mapa de Inventário de Escorregamentos da Região do Perequê-Mirim e Entorno (Ubatuba – SP).....	166
Figura 4.3.5 - Vista geral do relevo da região do Perequê-Mirim.Fonte: Prefeitura Municipal de Ubatuba .....	171
Figura 4.3.6 – Perfil de alteração esquemático adotado neste trabalho .....	174
Figura 4.3.7 – Exemplos de perfis de alteração descritos: (a) unidade SHV4 e (b) unidade SHC1 .....	174
Figura 4.3.8 – Perfis de alteração e depósitos de talus-colúvio descritos na região do Perequê-Mirim. Fonte: IG/SMA .....	175
Figura 4.3.9 – Esquema dos escorregamentos rasos em taludes de corte, os quais ocorrem com frequência nas áreas de ocupadas por moradias na região do Perequê-Mirim .....	178
Figura 4.3.10 – Escorregamentos no Bairro do Perequê-Mirim. Fonte: IG/SMA .....	179
Figura 4.3.11 – Exemplos de tipos de ocupação da Região do Perequê-Mirim e entorno. Fonte: G/SMA.....	181
Figura 4.3.12 - Distribuição em área (Km <sup>2</sup> ) das classes de suscetibilidade a escorregamentos .....	183
Figura 4.3.13 – Distribuição das classes de suscetibilidade a escorregamentos em porcentagem.....	183
Figura 4.3.14 - Distribuição das classes de perigo a escorregamentos em km <sup>2</sup> .....	185
Figura 4.3.15 - Diagrama de distribuição das classes de perigo em porcentagem.....	185

## LISTA DE SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental

CEDEC - Coordenadoria Estadual de Defesa Civil

CTCG - Comissão Técnica de Cartografia Geotécnica e Geoambiental da ABGE

CPLEA - Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental

EESC/USP – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

EIA-RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental

FF – Fundação Florestal

GEORIO - Fundação Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro

IAEG - International Association of Engineering Geology

IAG-USP – Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo

IDNDR - *International Decade for Natural Disaster Reduction*

IF – Instituto Florestal

IG/SMA - Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

ISDR - *International Strategy for Disaster Reduction*

LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (linguagem do SPRING)

MDE – Modelo Digital de Elevação

MNT – Modelo Numérico de Terreno

ONU – Organização das Nações Unidas

PI – Plano de Informação

PPDC - Plano Preventivo da Defesa Civil

PPMA - Projeto de Preservação da Mata Atlântica

PUCE - *Patern, Unit, Component, Evaluation*

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SGB-CPRM - Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (programa de geoprocessamento desenvolvido pelo INPE)

TIN - Triangular Irregular Network

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNDRO – United Nations Disaster Relief Co-ordinator

UNESP – Universidade Estadual Paulista

USGS – United States Geological Survey

## RESUMO

O principal objetivo desta pesquisa consistiu em avaliar os métodos empregados em análises de risco a escorregamentos e aplicar uma proposta metodológica de avaliação de risco a escorregamentos, por meio de técnicas de avaliação de terreno com abordagem integrada dos fatores geoambientais envolvidos, visando contribuir à prevenção e mitigação dos riscos e à gestão ambiental da região litorânea.

A proposta metodológica de avaliação de risco a escorregamentos foi aplicada, com uso do SIG SPRING, em uma área teste no município de Ubatuba, SP. Os atributos e parâmetros analisados quanto à influência nos escorregamentos foram os seguintes: declividade, forma de vertentes, grau de dissecação, densidade de lineamentos, material inconsolidado e disponibilidade hídrica. Dentre estes fatores considerados para análise da suscetibilidade a escorregamentos, verificou-se que a declividade exerce maior influência, seguida pela forma de vertente e pelo grau de dissecação.

O mapa de suscetibilidade a escorregamentos obtido expressa o potencial natural do terreno em desenvolver estes processos. Quanto ao mapa de perigo a escorregamentos representa a probabilidade da ocorrência do processo em função da suscetibilidade do terreno, do potencial de indução do uso do solo e da probabilidade de ocorrer a precipitação considerada crítica para deflagração do escorregamento.

Neste trabalho considerou-se o risco como uma função do perigo, da vulnerabilidade e do dano potencial. O mapa de risco a escorregamentos produzido indica os níveis dos danos sociais e econômicos esperados se houver a ocorrência do processo. Nesta avaliação final do risco considerou-se a população como o elemento em risco, por isso, esta análise contemplou apenas as áreas ocupadas por moradias.

**Palavras Chave:** Risco; Suscetibilidade; Escorregamentos; Processos; Ubatuba-SP.

## ABSTRACT

The main objective of this research was the evaluation of different methods employed in landslide risk analysis and the application of a methodological proposal of landslide risk evaluation based on terrain evaluation techniques. These techniques present an approach of integrated geoenvironmental factors and have the purpose of contributing to the prevention and mitigation of such risks and also to the environmental management of coastal regions.

The methodology of landslide risk evaluation was applied by the use of GIS SPRING, in a test area in the Ubatuba municipality, SP. The analyzed attributes and parameters related to landslides were: declivity, slope forms, degree of erosion, alignment density, unconsolidated material and water disponibility. Among the considered factors for the landslide susceptibility analysis, it was observed that the declivity has a major influence followed by the slope form and by the degree of erosion.

The map of susceptibility to landslides obtained express the natural terrain potential in developing these processes. The map of landslide danger represents the occurrence probability of the process related to the terrain susceptibility, to the induction potential of land use and to the probability of occurrence of rain considered critical for the landslide deflagration.

In this work the risk was considered a function of danger, vulnerability and potential harm. The produced map of landslide risk indicates the expected levels of social and economic harm in case a process is observed. In the final evaluation of risk it was considered the population as risk element, therefore this analysis only considered the inhabited areas.

**Key-words:** Risk; Susceptibility; Landslides; Processes; Ubatuba-SP.



## **1. INTRODUÇÃO**

O termo “área de risco” vem, aos poucos, sendo incorporado ao vocabulário comum da população brasileira, por meio dos noticiários sobre acidentes associados a escorregamentos e inundações, muito freqüentes nas ocupações das encostas serranas e nos grandes centros urbanos, durante os períodos chuvosos, principalmente na Região Sudeste do Brasil.

O intenso processo de urbanização verificado no país nas últimas três décadas, levou ao crescimento desordenado das cidades em áreas, muitas vezes, com condicionantes geológicos e geomorfológicos desfavoráveis à ocupação. As intervenções antrópicas nestes terrenos, tais como, cortes, aterros, desmatamentos, alterações nas drenagens e lançamento de lixo, efetuadas, na maioria delas, sem a implantação de infraestrutura adequada, aumentam as condições de instabilidade dos mesmos. Quando há um adensamento destas áreas por assentamentos precários, os desastres associados aos escorregamentos assumem proporções catastróficas causando grandes perdas econômicas e sociais (FERNANDES *et al*, 2001; CARVALHO E GALVÃO, 2006; LOPES, 2006).

Em âmbito mundial constata-se também uma tendência global ao crescimento dos prejuízos decorrentes de desastres naturais. A razão disto é que as pessoas e as sociedades tornaram-se mais vulneráveis. Embora a freqüência dos eventos naturais permaneça constante, atividades humanas contribuem para o agravamento de sua intensidade. O impacto destes eventos depende das práticas desenvolvimentistas, da proteção ambiental, do crescimento ordenado das cidades, da distribuição de renda e de estruturas governamentais (ONU, 2004).

O número de pessoas em risco tem crescido de setenta a oitenta milhões por ano. Mais de noventa por cento dessa população encontra-se nos países em desenvolvimento, entre populações com as menores participações dos recursos econômicos e maior carga de exposição ao desastre. Em teoria, os perigos naturais ameaçam igualmente qualquer pessoa, mas, na prática, proporcionalmente, atingem os mais pobres, devido a uma conjunção de fatores: há um número muito maior de populações de baixa renda, vivendo em moradias mais frágeis, em áreas mais

densamente povoadas e em terrenos de maior suscetibilidade aos perigos. Assim, a estratégia de redução de desastres precisa ser acompanhada do desenvolvimento social e econômico e de um cuidadoso gerenciamento ambiental. Este é também a diretriz do desenvolvimento sustentável. Uma estratégia de redução de desastres necessita, portanto, ser construída com políticas de desenvolvimento sustentável que levem em conta os perigos existentes e os planos para redução dos riscos (ONU, 2004).

A década de 1990, declarada pelas Nações Unidas, a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais (*International Decade for Natural Disaster Reduction*) – *IDNDR* (UNDRO, 1988), foi dedicada à promoção de soluções para redução do risco decorrente de perigos naturais, fortalecendo os programas de prevenção e redução de acidentes naturais. Apesar de a década ter terminado com mais desastres, os quais causaram mais mortes e maiores perdas econômicas, iniciou-se um processo social e político positivo e irreversível. Uma das ações resultantes desta década foi a organização de uma revisão global das iniciativas de redução de desastres (*Living with Risk – a global review of disaster reduction initiatives*) (ONU, 2004).

Uma outra ação derivada da *IDNDR* refere-se à implantação, em caráter permanente, da Estratégia Internacional para Redução de Desastres (*International Strategy for Disaster Reduction*) – *ISDR*, voltada para promover maiores envolvimento e comprometimentos públicos, disseminação de conhecimentos e parcerias para implementar medidas de redução de riscos de todo tipo e em todos os níveis. Hoje, há um crescente reconhecimento que enquanto esforços humanitários ainda são importantes e necessitam de atenção continuada, a avaliação e a mitigação dos riscos e das vulnerabilidades são fatores fundamentais a serem considerados na redução dos impactos negativos dos perigos e desta maneira são essenciais para a implementação do desenvolvimento sustentável.

Atualmente, as Nações Unidas por meio da *ISDR*, focam muito na questão da vulnerabilidade que é um estado determinado pelas condições físicas, sociais, econômicas e ambientais, as quais podem aumentar a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto de eventos perigosos. Uma vez que o perigo de ocorrer um determinado desastre natural já é conhecido e, muitas vezes inevitável, o objetivo é

minimizar a exposição ao perigo por meio do desenvolvimento de capacidades individuais, institucionais e da coletividade que possam opor-se aos perigos e aos danos. O papel da participação comunitária e da capacidade de enfrentamento da população em geral é visto também como elemento chave no entendimento do risco de desastre (ONU, 2004).

Um outro efeito positivo da *IDNDR* foi o considerável aumento na produção de estudos voltados para análise e previsão de perigos naturais, notadamente quanto aos processos de instabilização de vertentes. Como observado por Aleotti & Chowdhury (1999), nos anos recentes a avaliação de perigos e riscos a escorregamentos tem se tornado um tema do maior interesse tanto para geocientistas e profissionais da engenharia, bem como para a comunidade e administrações locais de muitas partes do mundo.

No Brasil, os principais fenômenos relacionados a desastres naturais são os escorregamentos de solos e/ou rochas e as inundações, os quais ocorrem associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, freqüentes nos períodos chuvosos. Embora as inundações provoquem maiores prejuízos econômicos e impactos significativos na saúde pública, são os escorregamentos que causam maiores perdas de vidas (CARVALHO & GALVÃO, 2006).

*“Nas cidades brasileiras, marcadas pela exclusão sócio-espacial que lhes é característica, há um outro fator que aumenta ainda mais a freqüência dos deslizamentos: a ocupação das encostas por assentamentos precários, favelas, vilas e loteamentos irregulares. A remoção da vegetação, a execução de cortes e aterros instáveis para construção de moradias e vias de acesso, a deposição de lixo nas encostas, a ausência de sistemas de drenagem de águas pluviais e coleta de esgotos, a elevada densidade populacional e a fragilidade das moradias aumentam tanto a freqüência das ocorrências como a magnitude dos acidentes. Levantamentos de riscos realizados em encostas de vários municípios brasileiros indicam que, em todos eles, a falta de infra-estrutura urbana é uma das principais causas dos fenômenos de deslizamentos no Brasil. Dessa forma, uma política eficiente de prevenção de riscos de deslizamentos em encostas deve considerar como áreas prioritárias de atuação os assentamentos precários e deve também fazer parte das*

*políticas municipais de habitação, saneamento e planejamento urbano.”* (CARVALHO & GALVÃO, 2006).

Os municípios mais atingidos por acidentes de escorregamentos, de acordo com Carvalho & Galvão (2006), são em torno de cento e cinquenta e localizam-se nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Santa Catarina, Pernambuco, Alagoas, Bahia e Espírito Santo. Os citados autores destacam, assim, que a prevenção dos acidentes associados a deslizamentos de encostas deve ser contemplada pela gestão territorial e pela política de desenvolvimento urbano, constituindo-se, portanto, em uma atribuição do município.

Apesar de já se dispor, no Brasil, de conhecimentos técnicos desenvolvidos por universidades e institutos de pesquisa em conjunto com prefeituras municipais, de forma a subsidiar as ações de prevenção de riscos urbanos, ainda é reduzido o número de municípios que contemplam a gestão de riscos em seus planos de desenvolvimento urbano (CARVALHO & GALVÃO, 2006).

Assim, a necessidade de se adotar ações adequadas de gestão de risco e principalmente de prevenção de riscos urbanos em âmbito municipal é premente. Preliminarmente, porém, deve-se conhecer qual o perigo que pode ocorrer e onde. Estas são informações fundamentais para a avaliação do risco e que podem ser fornecidas por um mapa de perigos geoambientais.

O conceito de **Perigo** adotado refere-se à probabilidade de um fenômeno físico potencialmente danoso ocorrer num dado local, dentro de um determinado período de tempo. Enquanto **Risco** é considerado como a possibilidade de ocorrência de danos em função do perigo e da vulnerabilidade dos elementos em risco (VARNES, 1984; EINSTEIN, 1988; AUGUSTO FILHO, 2001; NOGUEIRA, 2006).

A área escolhida para aplicação e teste da metodologia de avaliação localiza-se no setor centro-sul do município de Ubatuba que, de acordo com o registro de dados do Plano Preventivo de Defesa Civil – PPDC e do Instituto Geológico, analisados por Tavares *et al.* (2004), é o município do Litoral Norte com maior número de ocorrências de acidentes relacionados a processos de movimentos de massa, além de registrar índices pluviométricos mais elevados.

A maior parte dos terrenos do município de Ubatuba é formada por escarpas e maciços costeiros da Serra do Mar, sustentada por rochas gnáissicas e migmatíticas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana, cujos terrenos são propícios ao desenvolvimento de processos de instabilização, como os de movimentos gravitacionais de massa.

Estes terrenos encontram-se, em grande parte, cobertos por importantes remanescentes florestais da Mata Atlântica, os quais são preservados em unidades de conservação ambiental (Parque Estadual da Serra do Mar e Parque Nacional da Serra da Bocaina). No entanto, o incremento populacional na região e a valorização imobiliária dos terrenos localizados em áreas planas, vêm acarretando a ocupação desordenada das vertentes instáveis, nas porções abaixo do limite do PESH, expondo as populações destas áreas aos perigos decorrentes dos processos de escorregamentos.

Procurou-se, neste trabalho, analisar e caracterizar os diversos elementos e fatores que interagem no sistema ambiental da região, notadamente aqueles que favorecem a ocorrência de fenômenos naturais e/ou induzidos causadores de danos. Reconhecem-se três grandes grupos de componentes que se interrelacionam no sistema ambiental. São os do meio físico, do meio sócio-econômico (antrópico) e do meio biótico. Este estudo enfoca com mais ênfase o meio físico, onde ocorrem as intervenções humanas que podem levar à aceleração de processos danosos, comprometendo a sua função de suporte.

Assim, são analisados os instrumentos técnico-científicos da Geomorfologia e da Geologia de Engenharia e Ambiental, uma vez que, nas Geociências, são as áreas mais adequadas para os estudos das interações entre as atividades humanas e o meio físico-biótico.

Em termos de aplicação, um estudo voltado à avaliação de perigo de escorregamentos e riscos associados visa fornecer subsídios técnicos ao planejamento territorial, ao gerenciamento e gestão ambiental, bem como, aos seus instrumentos específicos, por exemplo, zoneamentos ecológico-econômicos, planos diretores, planos de manejo, gestão de risco etc.

Uma outra motivação para a realização desta pesquisa é relativa à atuação profissional da autora junto ao Instituto Geológico (IG-SMA), no qual, como Pesquisadora Científica da Seção de Geologia Aplicada e Ambiental, tem participado de diversos estudos integrados do meio físico visando subsidiar o planejamento do uso e ocupação do solo, a gestão do risco e a gestão ambiental na Região do Litoral Norte. Tais estudos referem-se à *Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião* (IG, 1996); à participação no *Projeto de Preservação da Mata Atlântica (PPMA) – Planos de Gestão das Unidades de Conservação* (SMA, 1998; SMA/IF/FF, 1998); ao apoio técnico ao *Plano Preventivo da Defesa Civil – PPDC*, específicos para processos de escorregamentos nas encostas da Serra do Mar; e, ao *Projeto Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, aplicado ao Gerenciamento Costeiro (SIIGAL)*, financiado pela FAPESP (Políticas Públicas) em parceria com outras instituições da SMA e com as universidades USP e UNESP (SOUZA, 2000; SOUZA *et al.* 2001). Este projeto contemplou também uma avaliação de perigos e riscos a movimentos de massa em escala regional (TOMINAGA *et al.* 2004).

Mais recentemente, em 2004, iniciou-se o Projeto “*Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro, Ubatuba, SP*” (Projeto Ubatuba), coordenado pelo PqC Cláudio José Ferreira (IG-SMA), com financiamento da FAPESP – Programa Políticas Públicas, e, contando com a parceria da Prefeitura Municipal de Ubatuba, do Depto de Geografia da FFLCH-USP, da UNICAMP, do Instituto de Botânica e do IAG-USP (FERREIRA, 2005). A presente pesquisa visa também contribuir com um dos objetivos do Projeto Ubatuba de identificar áreas prioritárias para a diminuição do risco e gerar uma metodologia de classificação e sistematização do problema.

### **1.1. Hipótese e Objetivos**

Este trabalho tem como premissa que a ocorrência de processos de movimentos de massa está relacionada à complexa interação dos fatores naturais e dos decorrentes de intervenções antrópicas. Como fatores naturais, consideram-se, simplifadamente: o substrato geológico, o solo, o relevo, a vegetação, a água e o clima; e como fatores humanos: os padrões de uso e ocupação do solo, as modificações do relevo, as alterações geoambientais, infraestrutura e outros componentes sócio-econômicos.

Desta forma, a hipótese que se pretende demonstrar é a seguinte:

A partir do método de avaliação de terrenos em bases geomorfológicas (*landforms*), associadas às características dos fatores condicionantes dos escorregamentos e correlacionando-os com a distribuição temporal e espacial dos índices pluviométricos é possível estabelecer a probabilidade de ocorrência do perigo e representá-la espacialmente, a fim de gerar as cartas de perigo e de risco.

O principal objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma avaliação dos métodos empregados em análises de riscos a escorregamentos e aplicar uma proposta metodológica de avaliação de perigos e riscos, por meio de técnicas de avaliação de terreno com abordagem integrada dos fatores geoambientais envolvidos, visando contribuir à prevenção e mitigação dos riscos e à gestão ambiental da região litorânea.

## **1.2. Justificativas**

A disseminação da utilização dos recursos de geoprocessamento e o aperfeiçoamento dos programas computacionais com base em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), possibilitou o desenvolvimento de uma grande diversidade de metodologias de análise de riscos a escorregamentos, notadamente a partir da década de 1990. Devido à carência de trabalhos nacionais sistematizando este conhecimento, propôs-se neste estudo a realização de uma revisão sobre o tema, além da formulação de uma proposta metodológica para aplicação em uma área teste.

A escolha da área teste no município de Ubatuba se deve ao fato de que este município, de acordo com Tavares *et al.* (2004), registra maior número de ocorrências de acidentes causados por escorregamentos no Litoral Norte, além de apresentar índices pluviométricos mais elevados.

Os municípios do Litoral Norte, apesar da baixa industrialização, vêm apresentando um crescimento populacional, segundo SEADE, em torno de 4% no período de 2000--2005, devido à intensificação da demanda de serviços voltados ao turismo.

No Litoral Norte, a riqueza paisagística criada pelo contraste da serra florestada e o mar, com praias de grande beleza cênica, confere à região uma vocação essencialmente turística, atraindo investimentos com essa finalidade, tais como a implantação de condomínios e residências de veraneio, comércio e serviços, com conseqüente valorização imobiliária. Este fato aliado à menor disponibilidade de terrenos adequados à ocupação devido às características fisiográficas da região, leva a população de baixa renda, a instalar-se em áreas inadequadas, como nas vertentes da Serra do Mar, sujeitas a processos de instabilização.

Este crescimento acelerado da Zona Costeira vem desencadeando sérios problemas e conflitos de cunho sócio-econômico-ambiental, com muitos impactos negativos. Entre esses impactos destacam-se o comprometimento dos recursos naturais e da qualidade ambiental, e o aumento da magnitude e freqüência das ocorrências de perigos naturais (enchentes e inundações, movimentos de massa, processos erosivos).

Por outro lado, a Zona Costeira abriga diversas unidades de conservação, sendo a mais expressiva o Parque Estadual da Serra do Mar, que preservam as principais áreas de remanescentes da Mata Atlântica, além de vários ecossistemas associados, e constituem um dos últimos bancos genéticos da biodiversidade do Estado de São Paulo (SÃO PAULO/SMA, 1992). Estas unidades estão inseridas na região reconhecida pela UNESCO como reserva da biosfera, tornando-a um patrimônio da humanidade de importância mundial.

No âmbito federal, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei Federal 7.661/88), preconiza a abordagem integrada no tratamento das questões envolvidas na gestão dos recursos costeiros e em consonância com as diretrizes da Agenda 21. Seus objetivos são: planejar e administrar a utilização dos recursos naturais da zona costeira, visando a melhoria da qualidade de vida das populações locais, e promover a proteção adequada dos seus ecossistemas, para usufruto permanente e sustentado das gerações presentes e futuras.

A implementação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, de acordo com os modelos de manejo integrado da Zona Costeira, necessita de estudos para identificar as pressões exercidas sobre o meio físico do sistema costeiro, as modificações impostas por essas pressões e os impactos geoambientais decorrentes dessas modificações.



Assim, o desenvolvimento desta pesquisa, busca o aprimoramento e a adequação metodológica de avaliação de perigos e riscos associados a escorregamentos, visando contribuir para a gestão ambiental, de forma a efetivamente subsidiar a formulação dos instrumentos de gestão ambiental, compostos pelo planejamento, gerenciamento, fiscalização e controle ambiental da região litorânea.

## **2. MÉTODOS E TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO MEIO FÍSICO**

A cartografia geotécnica corresponde a um instrumento técnico desenvolvido para orientar as atividades humanas na sua relação com o meio físico, buscando harmonizar as diversas formas de uso e ocupação do solo com os processos geodinâmicos naturais e induzidos. A abordagem metodológica de análise de perigos e riscos a escorregamentos, proposta neste trabalho, também se baseia na avaliação do meio físico desenvolvida de acordo com os princípios da cartografia geotécnica e geoambiental. Desta forma, serão analisados neste capítulo, os pressupostos do mapeamento do meio físico; os conceitos e métodos da cartografia geotécnica e geoambiental; e os métodos de “avaliação de terrenos” utilizados. Será apresentada também uma síntese das principais metodologias adotadas no mundo e no Brasil.

Entretanto, não se pretende efetuar uma extensa revisão sobre o tema, uma vez que o mesmo já foi tratado em diversos trabalhos como os de Zuquette (1987, 1993), Aguiar (1997), Zaine (2000), Zuquete & Gandolfi (2004), entre outros.

### **2.1. Pressupostos do Mapeamento do Meio Físico para fins de Planejamento Territorial**

A preocupação com o processo de mapeamento de componentes do meio físico relacionado às diversas áreas de conhecimento como a Geografia, as ciências do solo, a Geologia e a Meteorologia, já existia desde meados do século XVII. Com a evolução crescente do mapeamento dos componentes do meio físico, houve, no início do século XX, um movimento para que este processo fosse regularizado e baseado em critérios cartográficos, buscando melhorias quanto ao conteúdo e à exatidão das informações. Isto passou a ser também uma preocupação dos profissionais que atuavam com dados e informações do meio físico relativo às áreas urbanas. Assim, desde o ano de 1900 confeccionam-se mapas que representam informações úteis à implantação de obras de engenharia e outras atividades antrópicas em áreas urbanas (ZUQUETTE E GANDOLFI, 2004).

Em 1913, Langen apresentou na feira de construções de Leipzig (Alemanha), documentos gráficos com informações para orientar as construções nas cidades de Erfurt

e Danzing. Estes documentos gráficos foram os precursores dos mapas de geologia de engenharia ou da cartografia geotécnica. Desde este evento até os anos de 1950, as preocupações voltavam-se ao tipo de informação e à representação gráfica que deveriam conter estes documentos (ZUQUETTE E GANDOLFI, 2004).

A partir dos anos de 1950, deu-se maior ênfase aos aspectos metodológicos, com trabalhos que visavam à obtenção e registro de informações geotécnicas, o que possibilitou o surgimento de diferentes metodologias na década de 1970 (Varnes, 1974; IAEG/UNESCO, 1976; Sanejouand, 1972; Matula, 1969, 1976 e outros). A este conjunto de procedimentos metodológicos deu-se o nome de *Engineering Geological Mapping*, nos países de língua inglesa e *Cartographie Geotechnique*, na França. No Brasil adotou-se, por influência destas duas linhas de trabalho, respectivamente, as denominações Mapeamento Geotécnico e Cartografia Geotécnica (ZUQUETTE E GANDOLFI, 2004).

De acordo com Marker & McCall (1989), a importância da utilização do mapeamento geológico para o planejamento e desenvolvimento na Europa, foi considerado, inicialmente, na Tchecoslováquia e na Espanha. Na Tchecoslováquia, Pasek & Rybar (1961) e Matula (1965, 1969) desenvolveram os estudos iniciais para a produção do mapa de geologia de engenharia. Posteriormente Matula (1976, 1979) publicou uma revisão geral tratando de mapeamento de geologia de engenharia para fins de planejamento. Echevarria (1967) publicou um tratado geral do mapeamento geotécnico na Espanha. Lüttig, na Alemanha Ocidental, produziu uma série de publicações sobre as relações das geociências com o planejamento e o desenvolvimento, e introduziu pioneiramente a prática do mapeamento geotécnico na Alemanha Ocidental (LÜTTIG, 1971, 1972, 1975, *apud* MARKER & MCCALL, 1989). Além destes, diversos outros autores produziram trabalhos de mapeamento geotécnico em outras partes da Europa durante as décadas de 1970 e 1980.

A importância da geologia no planejamento do uso da terra e da proteção ambiental passa a ser tema de inúmeros trabalhos, principalmente a partir de 1970. A publicação do livro *Geology and Society*, de Coates (1985) é uma demonstração da importância das ciências da terra para o conjunto das variadas atividades humanas (MARKER & MCCALL, 1989).

Os mapas de ciências da terra ou de geologia ambiental, como considerados por Marker & McCall (1989), englobam mapas geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, geoquímicos, geofísicos e outros, os quais visam subsidiar a mitigação de problemas ambientais. São apresentados usualmente em conjunto de mapas, mas podem ser mapas com propósito específico, como os de planejamento do uso da terra.

Conforme Bell *et al.* (1987), o planejamento do uso da terra é uma tentativa de reduzir o número de conflitos e impactos ambientais adversos na relação da sociedade com a natureza. A necessidade de informações geológicas para planejamento nunca foi tão grande como agora, e igualmente a necessidade de estabelecer relações de trabalho entre geólogos e planejadores. As recomendações técnicas são essenciais ao planejamento do uso da terra, ainda que apenas um dos muitos fatores influencie a tomada de decisão.

Brook & Marker (1987) observam que, com o adensamento populacional na Inglaterra, é cada vez maior a requisição pelo uso da terra e as opções que restaram são as áreas com restrições de desenvolvimento por necessidade de proteção ambiental, ou áreas degradadas ou perigosas que sofrem pressões para serem recuperadas ou reabilitadas. A geologia, geotecnia, geomorfologia e hidrologia podem, com outras ciências relacionadas, prover as informações necessárias, tanto para regulamentar como para avaliar os recursos para proteção e para o desenvolvimento. Este autor, também enfatiza a necessidade de melhorar a comunicação por meio de uma representação cartográfica mais adequada e que tenha uma apresentação clara e compreensível para não especialistas.

Embora, como explanado acima, uma grande variedade dos chamados “mapas geológicos aplicados” já existisse há muitas décadas, os mapas geológicos com foco ambiental e os mapas geoambientais surgiram há, aproximadamente 30 anos. Os trabalhos relacionados à Geologia Ambiental incluindo mapeamento geoambiental, desenvolveram-se com o objetivo de fornecer informações geológicas úteis ao planejamento e gerenciamento do uso da terra, refletindo a incorporação pela comunidade das ciências da terra, do crescente interesse ambiental do início da década de 1970 (CENDRERO *et al.*, 2004).

O mapeamento geomorfológico, segundo Verstappen (1983), só começou depois de mais de um século após a introdução do mapeamento geológico sistemático no início do século dezenove. A primeira tentativa foi de Passarge (1914 *apud* VERSTAPPEN 1983) que deu ênfase aos elementos morfológicos e morfométricos em particular. Seu trabalho, porém não despertou o interesse dos geomorfólogos daquela época que continuaram a descrever (verbalmente) as formas de relevo e a produzir apenas mapas esquemáticos em pequenas escalas indicando os principais elementos estruturais ou apenas permitindo uma visão pictórica do relevo (RAISZ, 1941, 1956, *apud* VERSTAPPEN, 1983).

A importância do mapeamento geomorfológico como instrumento essencial para as pesquisas em geomorfologia aplicada, só veio a ser reconhecido nos anos de 1950, a partir do qual houve um grande desenvolvimento metodológico. Entretanto, mesmo na década de 1980, a importância das técnicas de análise e levantamentos não era ainda, totalmente entendida. O estudo e mapeamento de processos geomorfológicos foi um campo particularmente negligenciado e isto impediu a adequada incorporação da geomorfologia pelas demais áreas das ciências da terra, ao considerarem os efeitos dos fatores do terreno em seus trabalhos. Como consequência, a abordagem do relevo ficou restrita por muito tempo, a uma divisão do terreno com base apenas nas formas e amplitudes (VERSTAPPEN, 1983).

De acordo com o autor citado acima, a aplicação dos conceitos de geomorfologia analítica nas pesquisas e mapeamentos só tomou forma a partir de 1950. O autor cita como os primeiros trabalhos desta linha: Helbing (1952, *apud* VERSTAPPEN, 1983) produziu um mapa geomorfológico com escala 1:25.000 na Suíça; Cholley (1956), na França, publicou um mapa geomorfológico da Bacia de Paris; Tricart (1959) levantou o Delta de Senegal na escala 1:50.000; Klimaszewski (1956, 1968, *apud* VERSTAPPEN, 1983) e Galon (1962) lançaram um levantamento geomorfológico sistemático de toda Polônia, resultando numa série de mapas na escala 1:50.000. Outros países do leste e do oeste europeu desenvolveram mapas similares apenas com pequenas diferenças de ênfase e de elaboração cartográfica.

A partir dos contatos interdisciplinares iniciados na década de 1970, os métodos de estudos integrados derivados deram impulso aos conceitos ecológicos de paisagem, com a inclusão da geomorfologia. Ocorre, assim, uma valorização da análise

geomorfológica no desenvolvimento do “Sistema de Classificação de Terreno” (CSIRO E PUCE) e nos “levantamentos sintéticos” (estes métodos serão retomados no capítulo seguinte), baseados nos princípios ecológicos da paisagem e designados por Mabbut (1968) de *landscape approach* ou abordagem de paisagem (VERSTAPPEN, 1983; RODRIGUES, 1997; VEDOVELLO, 2000).

O crescente interesse entre geomorfólogos pelos levantamentos sistemáticos das formas de relevo e dos processos geomorfológicos encontra explicação em vários fatores, dentre os quais, destaca-se o grande aperfeiçoamento tecnológico para levantamentos e mapeamento possibilitado pelo uso de fotografias aéreas e outros tipos de imagens de sensoriamento remoto. O advento de satélites orbitais de observação da terra estimulou amplamente novos desenvolvimentos incluindo as imagens digitais, programas de computador para interpretação de imagens e monitoramento de processos dinâmicos. Além disso, o reconhecimento da importância da configuração geomorfológica para os estudos e utilização adequada do ambiente como um todo tem estimulado as técnicas de levantamento e mapeamento geomorfológico, voltado, principalmente à formulação de instrumentos técnicos para o gerenciamento ambiental (VERSTAPPEN, 1983).

A partir da década de 1990, há novo impulso na cartografia das ciências da terra com a disseminação dos recursos de geoprocessamento e SIGs. Houve também uma sensível melhora na qualidade dos produtos obtidos, permitindo integrar numa única base de dados, informações provenientes de diversas fontes tais como, dados cartográficos, cadastrais, de imagens de sensoriamento remoto, de modelos numéricos e outros, trazendo grandes benefícios aos usuários.

“Nos últimos quinze anos, a acelerada evolução do Geoprocessamento, deixou para trás os tempos que se produziam mapas, desenhos e projetos em meio analógico. Os avanços que permitiram esse desenvolvimento foram a maior portabilidade dos equipamentos, o aumento da capacidade de processamento e conseqüentemente a agilidade na obtenção de resultados. Como conseqüência foi necessário organizar e gerenciar bases de dados e, principalmente traduzir a lógica analítica de tomada de decisões em funções para o sistema de informações geográficas – SIG. Esta tendência atual em Geoprocessamento, no que se refere às aplicações em SIG, pode ser

confirmada, nos trabalhos de cartografia geotécnica apresentados no 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental (2004)” (DINIZ, 2004).

## 2.2. Conceituação da Cartografia Geotécnica e Geoambiental

A elaboração de mapas geotécnicos é fundamentada na base conceitual da Geologia de Engenharia que, segundo preceitos da *International Association of Engineering Geology* (IAEG) e da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE, 1990), é definida como: “... *ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre Geologia e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos*”.

Considera-se, assim a cartografia geotécnica como instrumento técnico inserido no amplo escopo da Geologia de Engenharia que é voltado a orientar as atividades humanas na sua relação com o meio físico, buscando harmonizar as diversas formas de uso e ocupação do solo com os processos geomorfodinâmicos naturais e induzidos e, assim possibilitar a manutenção da sustentabilidade geoambiental. No entanto, estes documentos gráficos abrangem também o campo da Geotecnia por meio da mecânica dos solos e das rochas, a qual tem interface com a Geologia de Engenharia.

As denominações, **cartografia geotécnica** e **mapeamento geotécnico** são utilizadas, no Brasil, como equivalentes, devido à influência dos trabalhos de origem francesa (*Cartographie Geotechnique*) e a dos países de língua inglesa (*Engineering Geological Mapping*), respectivamente (ZUQUETTE E NAKAZAWA, 1998). Entretanto, Zuquette e Gandolfi (2004) ressaltam que o termo cartografia geotécnica refere-se à elaboração do produto cartográfico, enquanto mapeamento geotécnico envolve todo o processo de obtenção, análise, tratamento e representação dos dados e informações geotécnicas.

Vedovello (2000) justifica sua opção pela denominação de **cartografia geotécnica** pelo fato de a mesma ser mais utilizada pela comunidade científica da área, inclusive no evento nacional relacionado ao tema (Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica).

Concordando com o autor acima citado, neste trabalho adotou-se preferencialmente o termo “cartografia geotécnica”, porém, algumas vezes utilizou-se também o termo “mapeamento geotécnico” como sinônimo.

Neste contexto, a **Cartografia Geotécnica** recebe diversas definições como as que seguem:

“... é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente” (IAEG, 1976).

“Um processo que tem por finalidade básica levantar, caracterizar, classificar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico sejam geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos e outros. Tais informações deverão ser produzidas de maneira tal que possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento, avaliações ambientais e outros. As informações devem ser tratadas através de processos de seleção, generalização, adição e transformação, para que possam ser relacionadas, correlacionadas, interpretadas e, ao final, representadas em mapas, cartas e anexos descritivos ...” (ZUQUETTE, 1987).

“... processo que busca avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico, bem como os possíveis comportamentos frente às diferentes formas de uso do solo, processos naturais e induzidos. Ele considera o meio físico, com o objetivo de avaliar limitações e potenciais. Assim, o mapeamento geotécnico caracteriza-se por ser um campo de interfaces das diversas áreas de conhecimento e as informações geotécnicas” (ZUQUETE & GANDOLFI, 2004).

### ***Cartografia Geotécnica versus Cartografia Geoambiental***

As definições de Cartografia Geotécnica (IAEG, 1976; ZUQUETTE, 1987) são abrangentes e se aproximam da conceituação de Mapa Geoambiental.



As técnicas de elaboração dos mapas geotécnicos ou geoambientais variam bastante, mas de um modo geral, consistem na sobreposição de mapas temáticos, entre os quais se destaca o geológico, o geomorfológico, pedológico, litológico, declividade, drenagem, uso e ocupação do solo. No caso dos mapas geotécnicos, estes devem considerar também as propriedades geotécnicas dos solos para a delimitação de zonas ou unidades geotécnicas caracterizadas por uma expectativa de comportamento ou desempenho dos terrenos. Atualmente, a utilização da cartografia digital e SIGs facilitam muito os procedimentos de superposição dos mapas temáticos e integração dos parâmetros geotécnicos para a definição e delimitação das unidades (FIORI, 2004).

Assim, a distinção entre estes dois mapas é que o mapa geotécnico se trata de um tipo de mapa geoambiental, no qual são contempladas as propriedades geotécnicas dos solos e rochas compostas por propriedades físicas e mecânicas dos solos e das rochas (FIORI, 2004).

Vedovello (2004) também considera que a cartografia geotécnica estaria incluída no escopo geral da cartografia geoambiental, uma vez que a define como: “... todo processo envolvido na obtenção, análise, representação, comunicação e aplicação de dados e informações do meio físico, considerando-se as potencialidades e fragilidades naturais do terreno, bem como os perigos, riscos, impactos e conflitos decorrentes da interação entre as ações humanas e o ambiente fisiográfico. Pode, por isso, incorporar elementos bióticos, antrópicos e sócio-culturais em sua análise e representação.”

### **2.3. Principais metodologias de Cartografia Geotécnica adotadas mundialmente**

Autores da antiga Tchecoslováquia destacaram-se pelas importantes contribuições ao desenvolvimento metodológico do mapeamento geotécnico. Zebera (1947), foi o pioneiro na representação da terceira dimensão, na qual os materiais geológicos são representados pelo sistema de bandas, em termos de profundidade e não da espessura das camadas. Pasek (1968) considerou em seu trabalho, os seguintes aspectos: morfologia, estabilidade dos terrenos, dados hidrológicos, propriedades físico-mecânicas dos solos e rochas. Produziu três tipos de cartografia:

mapa geológico (representando o substrato e materiais superficiais), carta de documentação e carta de divisão geotécnica (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Outro autor de destaque na antiga Tchecoslováquia foi Matula que em 1969 produziu um conjunto de mapas com escalas variando de 1:500.000 até 1:5.000. Adotou uma classificação hierárquica de zoneamento com quatro ordens: região, área, zonas e subzonas e distritos. As unidades de zoneamento foram caracterizadas quanto aos materiais geológicos (solos e rochas), às condições hidrogeológicas e geodinâmicas, aspectos geomorfológicos e condições construtivas, organizadas em tabelas e quadros associados aos mapas. O mapa de escala 1:500.000, corresponde à uma síntese das características geológico-geotécnicas baseada nas grandes divisões litológicas e de relevo. Na escala 1:200.000, o mapa geotécnico apresenta um detalhamento das rochas e solos, águas subterrâneas e processos geodinâmicos, indicando as condições para fins construtivos. O mapa geotécnico com escala de 1:25.000 tem o zoneamento definido pelas litologias e propriedades de engenharia e subzonas subdivididas em função de seqüências dos materiais geológicos e diferentes espessuras do solo, possibilitando a indicação de parâmetros utilizados em projetos (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

O zoneamento na escala 1:5.000 em área urbana, teve finalidade específica como a voltada para fundações. Todas estas cartas contêm informações pragmáticas e quantitativas, com uma representação que permite uma visão tridimensional e da variabilidade de cada unidade delimitada. Este conjunto de mapas geotécnicos constituiu a base para o desenvolvimento de metodologias de mapeamento geotécnico, principalmente quanto aos critérios de zoneamento e de detalhamento (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

Outras importantes metodologias citadas por Zuquette & Gandolfi (2004), Zuquette e Nakazawa (1998), Zuquette (1987, 1993), Vedovello (2000) são a seguir abordadas.

**Metodologia francesa** – Sanejouand (1972) publicou *A Cartografia Geotécnica da França*, sob influência dos trabalhos da antiga Tchecoslováquia, e lançou o que pode ser entendido como a metodologia francesa de cartografia

geotécnica. Analisando os fatores relativos à geologia, geomorfologia e geotecnia, produziu um conjunto de documentos básicos retratando estes fatores e, a partir da interpretação dos mesmos, elaborou cartas de aptidão (fundações, vias de transporte, escavabilidade, materiais de construção e outras).

**Metodologia da IAEG** – foi elaborada por uma comissão formada no âmbito da *International Association of the Engineering Geology*, com o objetivo de formular um guia orientativo para o mapeamento geotécnico adequado à maioria dos países. No relato apresentado em IAEG (1970), a comissão estabeleceu os fatores e as feições a serem considerados, tais como o caráter das rochas e dos solos, as condições hidrogeológicas e geomorfológicas e os fenômenos geodinâmicos. Indica, também os meios para obtenção dos dados e para elaboração dos diversos mapas, bem como das formas de apresentação e interpretação dos mesmos para fins de aplicação.

A metodologia da IAEG propõe uma ampla classificação dos mapas quanto à finalidade, ao conteúdo, à escala e à litogênese. Devido a essa abordagem ampla, ela é adotada por muitos pesquisadores que trabalham com mapeamento geotécnico, inclusive no Brasil.

**Metodologia PUCE** – o desenvolvimento desta metodologia, de acordo com Zuquette e Nakazawa (1998), baseou-se em diversos sistemas utilizados para análise de terrenos com a participação de vários autores.

A metodologia PUCE (*Patern, Unit, Component, Evaluation*), apresentada por Grant (1970) e Aitchson & Grant (1976), adota um sistema de classificação de terrenos com base em princípios geomorfológicos, cujos fatores a serem considerados são as características geomorfológicas, geológicas, dos solos e da vegetação. As classes de terreno são definidas segundo um sistema hierárquico composto de: província que é definida pelo grupo ou formação geológica; padrão de terreno identificado pelo conjunto de fatores geomorfológicos, de solos, rochas, vegetação e padrão de drenagem; unidade de terreno determinada por uma forma de relevo e a associação de solos e vegetação; e o componente do terreno que é determinado pelo tipo de vertente associado a litologia, solo e vegetação e/ou uso do solo.

Além destes, Zuquette e Gandolfi (2004), descrevem várias outras metodologias oriundas de países diversos. A maior parte baseia-se nestas metodologias citadas fazendo algumas adaptações. Verifica-se, porém a existência de uma grande variedade de metodologias. O que é natural, uma vez que a cartografia geotécnica é voltada a uma ampla gama de aplicações abrangendo desde planejamentos territoriais e projetos de desenvolvimento regionais, até questões específicas, como implantação de obras de engenharia ou de avaliação de risco a determinado processo geodinâmico.

## **2.4. Cartografia Geotécnica no Brasil**

O primeiro trabalho de cartografia geotécnica no Brasil, foi iniciado em 1965, por iniciativa do Prof. Herman Habelhner, da UFRJ, como uma das opções de trabalho final do Curso de Graduação em Geologia, e publicado no 20º Congresso Brasileiro de Geologia em Porto Alegre em 1966. Após este trabalho, alguns outros foram desenvolvidos, porém a intensificação da produção ocorreu somente a partir do final da década de 1980 (ZUQUETTE E NAKAZAWA, 1998).

Nesta fase inicial da cartografia geotécnica no Brasil, destacaram-se quanto ao pioneirismo, à produção de trabalhos e à contribuição ao desenvolvimento metodológico, os grupos de pesquisa do IG - UFRJ, do Departamento de Geotecnia, da EESC-USP, a antiga Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT e da Geotecnia da UFRGS.

Os trabalhos de cartografia geotécnica desenvolvidos no Departamento de Geologia do IG – UFRJ, abrangem, principalmente a Grande Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com escalas que variam de 1:50.000 a maiores que 1:10.000. A metodologia adotada (BARROSO *et al.*, 1986, 1993).baseia-se naquela pioneira do Prof. Habelhner com algumas modificações. Os métodos de mapeamento baseiam-se em perfis de intemperismo como unidades geotécnicas, nas escalas maiores; associações de unidades pedológicas na composição de unidades geotécnicas, para as áreas de planícies quaternárias, e o uso das técnicas de geoprocessamento, para as escalas menores. A partir da década de 90, a técnica de geoprocessamento

tornou - se um dos principais recursos tecnológicos empregados (ZUQUETTE E NAKAZAWA, 1998; BARROSO & BARROSO, 2004)

Com a instalação do Programa de Mestrado em 1977, o Departamento de Geotecnia da EESC-USP iniciou as pesquisas na área de cartografia geotécnica. Desde então, tem tido uma importante atuação no desenvolvimento de metodologias e na formação de pesquisadores por meio do curso de pós-graduação. Os trabalhos produzidos contemplam mapas básicos e cartas interpretativas, de suscetibilidade, zoneamento e risco, da região centro-leste do Estado de São Paulo e de outras regiões do Brasil, com escalas variando de 1:100.000 a 1:25.000. Além do desenvolvimento de proposta metodológica própria (ZUQUETTE, 1987), foram aplicadas outras metodologias como a da IAEG (1976) e a francesa de Sanejouand (1972), (ZUQUETTE E GANDOLFI, 2004). A partir da década de 1990, com a incorporação do uso de geoprocessamento, de imagens de satélite e processamento digital de imagens em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), passa a desenvolver também a Cartografia Geoambiental. Mais recentemente, novas linhas de pesquisa implementadas envolvem o desenvolvimento de sistemas de suporte a decisão os quais permitem uma maior interação entre o produto cartográfico e o usuário.

A cartografia geotécnica no IPT iniciou-se com a produção da “Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente”, em 1979 (PRANDINI *et al.* 1980). A metodologia desenvolvida no IPT denota a preocupação com a aplicabilidade dos conhecimentos do meio físico na otimização das ações de uso planejado do território e no enfrentamento de situações de risco. Tinha como premissa que, as cartas geotécnicas deveriam ser consideradas como expressão prática do conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas postos pelo uso e ocupação do solo (PRANDINI *et al.*, 1995). De acordo com estes autores, a metodologia utilizada baseia-se, sinteticamente em quatro etapas principais: (a) formulação de uma hipótese ou modelo inicial orientativo; (b) análise fenomenológica e de desempenho; (c) mapeamento e compartimentação; e (d) representação. Produziu trabalhos, principalmente no estado de São Paulo e em outros da região Sudeste e Centro-Oeste, em escalas, na sua maioria, variando de 1:25.000 a 1:5.000, voltados para o planejamento e gestão do uso do solo.

O Grupo de Geotecnia da UFRGS tem desenvolvido trabalhos de cartografia geotécnica desde 1987, aplicando metodologia que correlaciona características geotécnicas e pedológicas (DIAS, 1995). Esta metodologia baseia-se no princípio de que solos de mesma unidade geotécnica e mesmo horizonte tem comportamento similar, alguns mais homogêneos, outros menos, dependendo da pedogênese e do material de origem. São definidos perfis típicos com ensaios de caracterização, compressibilidade, colapsividade e resistência ao cisalhamento. Utiliza-se também dos recursos de Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica (DIAS, 2004).

Atualmente, diversos núcleos de pesquisadores vêm atuando na área de cartografia geotécnica e a produção de trabalhos cresceu consideravelmente a partir dos anos noventa. Estes novos núcleos serão abordados mais adiante, ao se tratar do diagnóstico efetuado pela Comissão de Cartografia Geotécnica e Geoambiental.

Com a disseminação dos trabalhos em todo o território nacional e o desenvolvimento de metodologias a partir de meados de 1980, foi iniciada em 1993, no âmbito da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), a realização periódica do Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, visando reunir pesquisadores e profissionais que atuam na produção de mapeamento geotécnico, bem como de profissionais usuários destes trabalhos para apresentação e discussão das contribuições desta temática.

O incremento da utilização do geoprocessamento e de SIG associado aos avanços tecnológicos na aquisição de imagens orbitais e à evolução dos softwares e dos microcomputadores e seus periféricos, verificado na década de 1990 e início do século XXI, teve como reflexo um acentuado crescimento no número de laboratórios de geoprocessamento ou núcleos de pesquisadores atuando em cartografia geotécnica e geoambiental.

Com inserção de trabalhos de mapeamento de caráter geoambiental houve uma grande diversificação metodológica gerando novas terminologias. Isto tem levado a comunidade de pesquisadores que atuam na área a se preocuparem com a uniformização de conceitos e padronização de metodologias.

Neste contexto, formou-se em 2002 a Comissão Técnica de Cartografia Geotécnica e Geoambiental (CTCG) na ABGE, com o objetivo geral de estimular o avanço do conhecimento técnico-científico da cartografia geotécnica e geoambiental no Brasil. Outras finalidades desta comissão estão voltadas a: efetuar um amplo levantamento dos trabalhos produzidos; obter um quadro da situação relativa à produção e aplicação destes trabalhos; promover a discussão de questões metodológicas, conceituais etc.; estruturar e organizar uma publicação sobre o estado da arte; e contribuir na organização dos simpósios e outros eventos relacionados à área (TOMINAGA *et al.*, 2004).

Como resultado da primeira etapa de levantamentos desta comissão foi elaborado o “Diagnóstico Preliminar da Cartografia Geotécnica e Geoambiental no Brasil”, apresentado no 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental e publicado nos seus anais (TOMINAGA *et al.*, 2004). Nesta quinta edição do Simpósio de Cartografia Geotécnica houve a incorporação da Cartografia Geoambiental, que segundo seus organizadores, conduziria a uma maior abrangência dos trabalhos ao contemplar também questões ambientais.

Em relação à incorporação do termo cartografia geoambiental, Vedovello (2004) pondera que isto atende a uma tendência da atuação dos profissionais da Geologia de Engenharia e das Geociências e Meio Ambiente, a qual contempla a aplicação dos conhecimentos técnicos sobre o meio físico aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, por meio da cartografia. Além disso, este autor considera que a incorporação da cartografia geoambiental favorece a integração de especialistas e de experiências das áreas afins.

O levantamento da Comissão de Cartografia Geotécnica (CTCG), nesta primeira etapa, foi efetuado junto a 15 instituições, dos quais 11 são universidades (10 públicas e 1 privada) e 4 são institutos de pesquisa de caráter público. Todas as instituições atuam em cartografia geotécnica há mais de dez anos, com exceção da UNISUL que está atuando há quatro anos (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Instituições que efetuaram o cadastro de trabalhos junto a CTCG (modificado de TOMINAGA *et al.*, 2004).

INSTITUIÇÕES	TIPO
Universidade Federal de Ouro Preto	Pública
Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rio Claro	Pública
Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL	Privada
Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG	Pública
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS	Pública
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC	Pública
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ	Pública
Universidade de Brasília – UnB	Pública
Universidade Federal de Viçosa – UFV	Pública
Universidade Federal de São Carlos – UFScar	Pública
Universidade de São Paulo – EESC/USP	Pública
Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM	Empresa Pública
Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT	Inst. de Pesquisa
Instituto Geológico – IG-SMA/SP	Inst. de Pesquisa
Fundação Instituto de Geotécnica - GEORIO	Fundação Pública

A maior parte da produção de cartografia geotécnica levantada pela CTCG tem caráter acadêmico, uma vez que, muitos destes trabalhos foram desenvolvidos nos programas de Pós-Graduação das universidades acima relacionadas. Entretanto, os resultados de vários destes estudos tiveram aplicação em instrumentos diversos, tais como, planos diretores municipais, zoneamentos ecológico-econômicos, seleção de áreas para instalação de aterros sanitários e de traçados rodoviários, EIA-RIMA, recuperação de áreas degradadas, análise de áreas contaminadas, avaliação de riscos geoambientais (TOMINAGA *et al.*, 2004).

Em relação às demais instituições (não acadêmicas) cadastradas pela Comissão, têm-se dois institutos de pesquisa, o IG/SMA e o IPT; uma empresa pública da esfera federal, o SGB-CPRM; e uma fundação pública municipal, o GEORIO. Os trabalhos de cartografia geotécnica destas instituições, em geral, são voltadas para aplicações práticas demandadas, na sua maioria pelo poder público, tanto da esfera federal, como estadual e municipal, os quais são relatados a seguir, com exceção do IPT que já foi abordado no início deste item.



O **Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM** iniciou na década de 90, um programa voltado à disponibilização de informações básicas para a gestão territorial com a produção de mapas temáticos sobre áreas de risco geológico, áreas inundáveis, seleção de áreas para localização de aterros sanitários, fontes de poluição, mapas hidrogeológicos e mapas morfológicos (SILVA, 2004).

De acordo com o citado autor, desde o final da década de 90, o SGB/CPRM vem desenvolvendo os Mapas Geoambientais e os mapas de Zoneamento Ecológico Econômico, utilizando recursos de Sistema de Informações Geográficas. Os Mapas Geoambientais foram idealizados para sintetizarem, em uma única carta, informações básicas para o uso e ocupação adequada do solo. Estes mapas estão sendo executados principalmente na região centro-oeste, sudeste e sul do país com a finalidade de subsidiar a elaboração de Planos Diretores de Bacias Hidrográficas e Planos Diretores de Desenvolvimento de Regiões Metropolitanas. A elaboração destes mapas tem por base a análise de imagens de satélite, foto-aéreas, mapas geológicos, geomorfológicos, vegetação e pedológicos, visando à identificação de zonas homólogas. Baseada nestas características, são analisadas as potencialidades e fragilidades e sugeridas as restrições de uso e ocupação do solo. Em linhas gerais a metodologia utilizada é a empregada por Tricart (1977) e modificada por Theodorovicz (1999) e Trainini (2003).

Diversos projetos de Zoneamento Ecológico Econômico, os quais incorporam parâmetros geoambientais, estão sendo realizados, na região norte do país. Estes estudos, através da integração de diferentes temas tais como geologia, geomorfologia, solo, vegetação, sócio-economia, avaliam a suscetibilidade do ambiente a diferentes ações humanas, tornando-se, desta maneira, um instrumento útil na definição de macro políticas de gestão do território nacional. Os trabalhos são realizados utilizando-se equipes multidisciplinares e multi-institucionais, e são normalmente de caráter regional (SILVA, 2004).

O **Instituto Geológico (IG-SMA)** iniciou em 1987 estudos integrados envolvendo as áreas de geotecnia, mapeamento geológico, geomorfologia, hidrogeologia e recursos minerais, visando fornecer subsídios do meio físico ao planejamento territorial dos municípios das regiões de Sorocaba e Campinas, no Estado de São Paulo, na escala 1:50.000. A metodologia utilizada para a elaboração

das cartas geológico-geotécnicas, baseou-se nas “unidades homogêneas” e nos “tipos de terrenos” estabelecidos em função do relevo, litologia, material inconsolidado, geotecnia e processos morfodinâmicos (IG/SMA, 1990, 1991, 1993). Na Região Metropolitana de Campinas, produziu-se um mapa síntese das unidades geotécnicas resultantes da análise integrada do relevo, litologia, materiais inconsolidados, fragilidades do terreno, e as aptidões de potencial mineral, potencial de água subterrânea, áreas para disposição de resíduos sólidos etc (IG/SMA, 1995; BROLLO, 1996). Este estudo teve algumas aplicações efetivas, tais como, definição de áreas para disposição de resíduos sólidos, diretrizes para legislação ambiental, medidas mitigadoras para áreas degradadas por erosão e diagnóstico ambiental para implementação de planos diretores municipais.

Posteriormente, o IG/SMA passou a desenvolver cartografia geotécnica voltada a avaliação de risco geológico, utilizando metodologia de compartimentação fisiográfica a partir da análise de imagem de satélite e caracterização geoambiental por meio de levantamentos de campo. Essa metodologia pressupõe a obtenção de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs, os quais constituem células básicas para as avaliações geotécnicas e geoambientais e são compatíveis com a utilização sistemática de recursos de geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto (VEDOVELLO, 1993, 2000).

No final da década de 90, o IG/SMA, com a incorporação mais efetiva dos recursos de geoprocessamento na cartografia geotécnica, vem investindo no desenvolvimento de Sistemas Gerenciadores de Informações Geoambientais – SGIG, que baseados na tecnologia dos SIGs, são aplicados tanto na etapa de análise e elaboração da cartografia geotécnica, como na etapa de disponibilização e consulta para os usuários. (VEDOVELLO et al., 2002, 2005). Nesta linha, desenvolveram-se os seguintes estudos: “Seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos na Região Metropolitana de Campinas” (IG/SMA, 1999; BROLLO, 2001), “Sistema Integrador de Informações Geoambientais do Litoral do Estado de São Paulo, aplicado ao Gerenciamento Costeiro – SIIGAL” (SOUZA et al., 2001); e, encontra-se em desenvolvimento o projeto “Diretrizes para a Regeneração Sócio-Ambiental de Áreas Degradadas por Mineração de Saibro, Ubatuba, SP” (FERREIRA, 2005).

Os resultados dos trabalhos de cartografia geotécnica do IG têm sido aplicados em diversos instrumentos de gestão ambiental, tais como: elaboração de planos diretores municipais, zoneamentos ambientais, Zoneamento Ecológico-Econômico, Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, Planos de Manejo de Unidades de Conservação, gerenciamento de riscos geoambientais e em ações de prevenção dos riscos da defesa civil, de licenciamento ambiental e de fiscalização.

A **Fundação Instituto de Geotécnica – GEORIO**, de acordo com Amaral (2004), desde 1990 produziu diversas cartas geotécnicas, cujas metodologias e tecnologias variaram em função dos objetivos de cada carta, conforme se apresenta a seguir:

Cartas de Suscetibilidade a Escorregamentos, na escala 1:25.000 foi elaborado utilizando-se um SIG de primeira geração para superpor mapas temáticos e, após efetuar o controle de campo, gerar uma carta qualitativa. Os recursos tecnológicos envolviam um Microcomputador e mapas temáticos em formato *Raster*;

Cartas de Risco a Escorregamentos, nas escalas de 1:250 a 1:2.000, em áreas de favelas da zona urbana do Rio de Janeiro (AMARAL, 1992). Na primeira parte da década de 90, adotou-se basicamente o método subjetivo, com intenso controle de campo. As cartas foram preparadas no campo, com apoio de fotos aéreas e fichas de descrição, e posteriormente, confeccionados manualmente;

Mapa geológico-geotécnico específico (voltado para escorregamentos) na escala 1:10.000 (AMARAL & LARA, 1998) . Em 1997 utilizou-se a metodologia da IAEG - reunião de informações, fotos aéreas, mapeamento de campo e plotagem das feições específicas de interesse. Os mapas foram digitalizados em Microstation e posteriormente convertidos para o AutoCAD;

Cartas de Risco na escala 1:2.000 das áreas de favelas da zona sul e da zona central do Rio de Janeiro (AMARAL & PALMEIRO, 1997). A metodologia adotada para a produção destas cartas, considerou, a partir de um inventário dos escorregamentos, a ocorrência de processos anteriores como fonte e base para a definição das áreas de risco de novos escorregamentos. Nos trabalhos de campo, procurou-se identificar áreas com as mesmas feições potenciais daquelas já atingidas;

Mais recentemente, produziram-se Cartas de Risco Quantitativo a Escorregamentos sobre bases cartográficas digitais e/ou fotos aéreas verticais e oblíquas também digitais, com escala bastante variável, uma vez que a boa resolução das fotos permitia maior detalhamento.

Ao todo, a CTCG cadastrou um total de 1.144 trabalhos, compostos de dissertações, teses, relatórios técnicos e artigos publicados. Uma análise preliminar dos dados cadastrados, apresentado por Tominaga *et al.* 2004, permite verificar a distribuição dos trabalhos segundo as principais escalas e mostra que a maioria dos mapas foi produzida com escalas entre 1:10.000 e 1:50.000, seguido pelas escalas 1:50.000 a 1:100.000 (Figura 2.1 - A).

Há uma variedade de produtos cartográficos gerados, no entanto alguns são mais comuns. Os mapas básicos, como Geológico, Substrato Rochoso, Materiais Inconsolidados, entre outros, são elaborados na maioria dos trabalhos, seguidos de cartas de zoneamento de vários tipos. Cartas mais específicas, como as de suscetibilidade de processos geológicos e de risco são produzidas em menor quantidade (Figura 2.1 – B).

A maior parte dos mapas produzidos (cerca de 80%) tem por finalidade orientar o planejamento urbano e regional. O número de trabalhos realizados especificamente para atender a demanda de resolução de problemas específicos é menos expressivo (Figura 2.2 – A).

Quanto aos recursos de geoprocessamento, verifica-se que foram utilizados em grande número dos trabalhos. O uso de fotografias aéreas continua ainda muito empregado nos trabalhos de cartografia, no entanto o uso de imagens de satélite vem crescendo, associado ao uso intensivo de Sistemas de Informações Geográficas (Figura 2.2 – B).

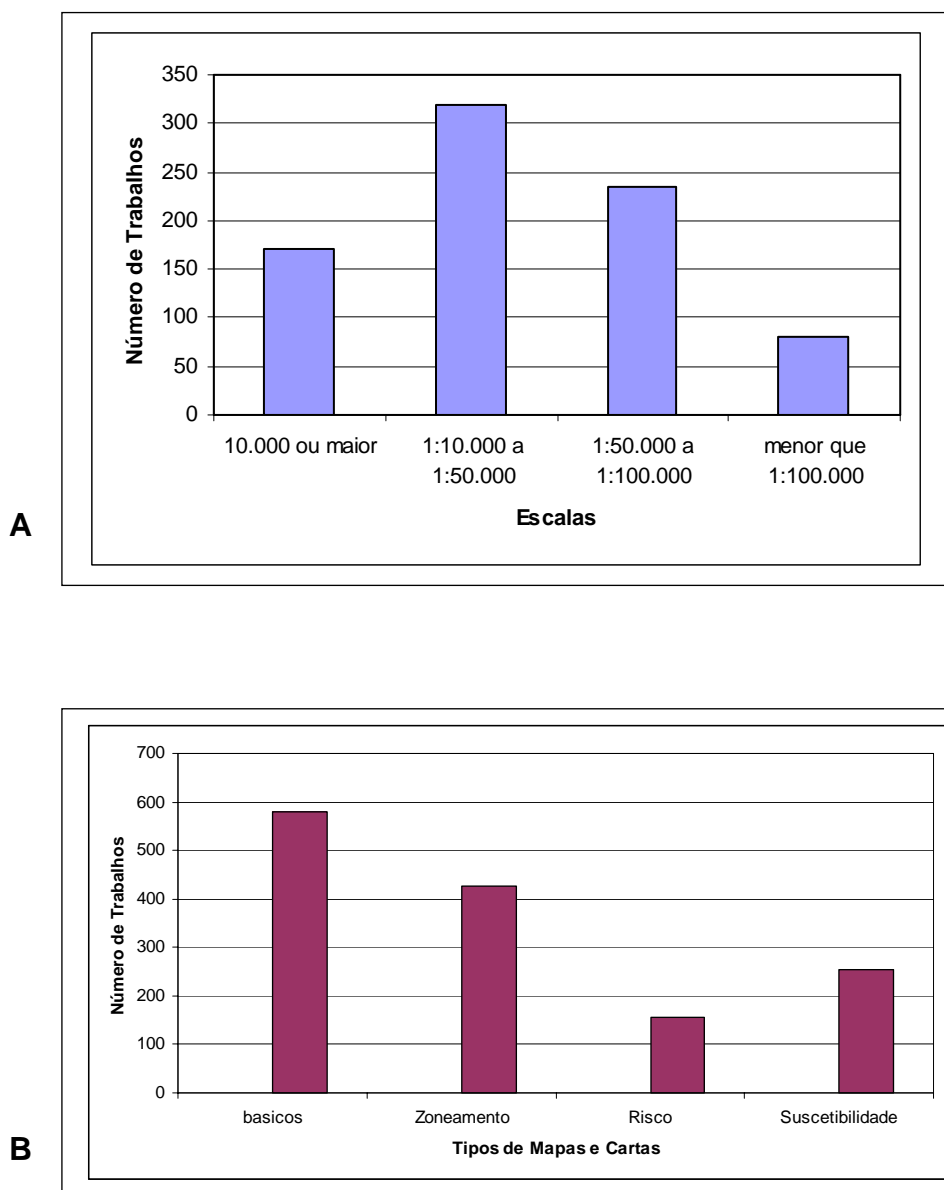


Figura 2.1 – (A) Principais escalas adotadas nos trabalhos cadastrados pela CTCG; (B) Tipos de mapas (TOMINAGA *et al.* 2004).

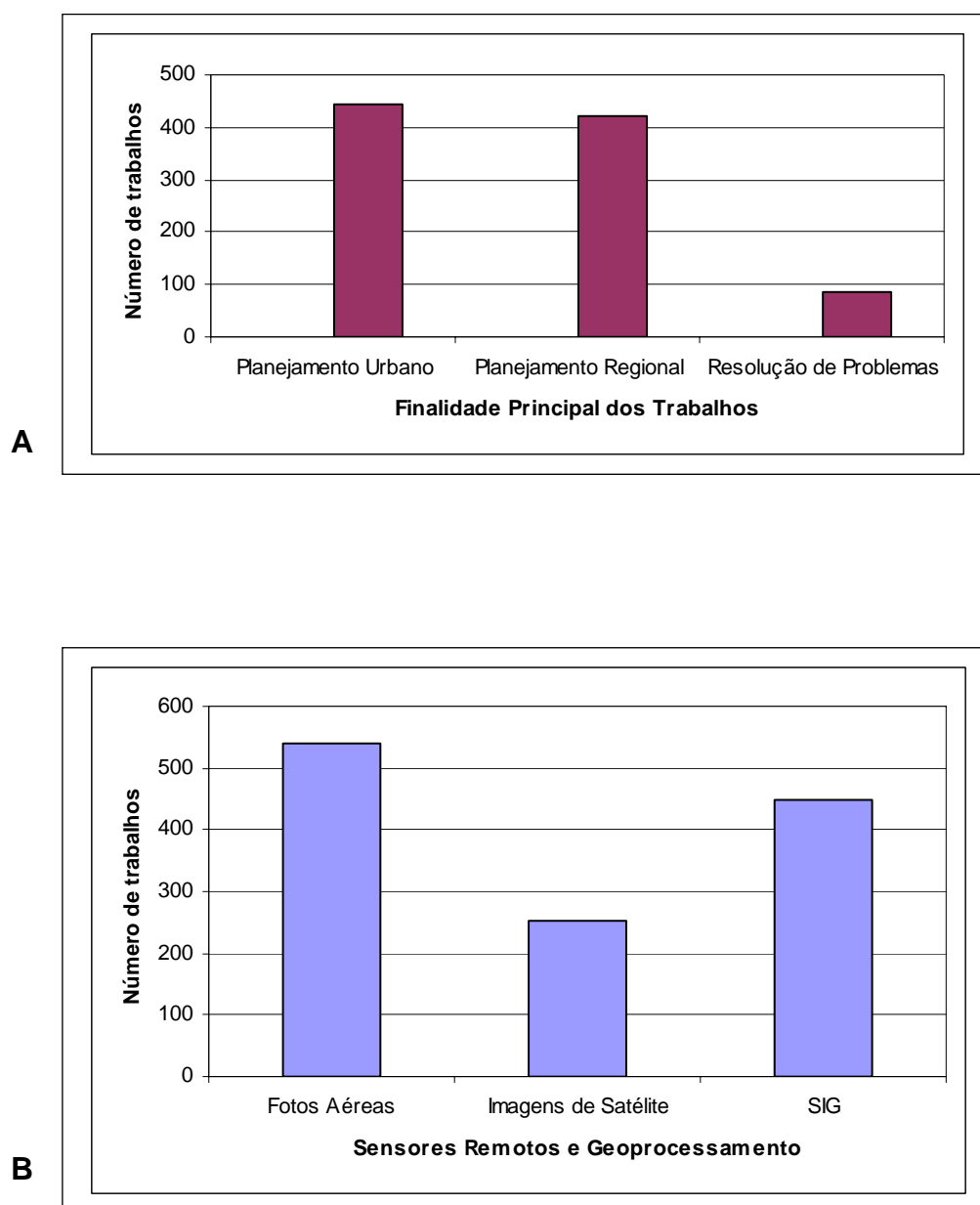


Figura 2.2.- **(A)** Finalidades dos trabalhos e, **(B)** uso de imagens de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na produção de cartas geotécnicas (TOMINAGA *et al.* 2004).

Outras informações fornecidas nos relatos institucionais levantados pela Comissão e apresentados em Tominaga *et al.* (2004), permitiram as seguintes considerações:

- Na fase inicial da cartografia geotécnica no Brasil, décadas 70/80, a maioria dos trabalhos utilizou ou se baseou no Método da IAEG (1976);
- No final da década de 80, surgem as primeiras propostas metodológicas adaptadas às condições brasileiras: UFRJ (BARROSO *et al.* 1986); EESC-USP (ZUQUETTE 1987); IPT (PRANDINI *et al.* 1995); UFRGS (DIAS, 1987).
- Durante a década de 90, desde o início, em algumas instituições, ou no final, em outras, mas praticamente em todas, houve a incorporação dos recursos de geoprocessamento, de Sensoriamento Remoto e de SIG, nos trabalhos de cartografia geotécnica.
- A partir do final da década de 90 inicia-se em várias instituições, o desenvolvimento de bancos de dados digitais associados aos mapas geotécnicos ou geoambientais, visando implementar sistemas de suporte à decisão e permitir maior interação entre o produto cartográfico e o usuário.
- A Cartografia Geoambiental começa a ganhar importância e seu desenvolvimento metodológico vem se aprimorando, com várias instituições produzindo documentos de zoneamento geoambiental. Estes trabalhos passaram a usar predominantemente as bacias hidrográficas como unidade de análise e têm tido aplicação nos estudos ambientais de caráter mais amplo.
- Com o crescimento da produção de cartografia geoambiental, verifica-se uma maior diversidade de enfoques, principalmente voltados aos instrumentos de políticas públicas de gestão ambiental, tais como: planos diretores, planos de bacias hidrográficas, planos regionais, zoneamentos ambientais, zoneamentos ecológico-econômicos, diagnósticos geoambientais, disposição de resíduos, gerenciamento costeiro, gerenciamento de riscos, licenciamento ambiental, entre outros.

- Há uma maior preocupação de quem produz a informação em torná-la útil e acessível aos usuários potenciais. Isto se nota tanto nos trabalhos produzidos na universidade, cujo foco é mais acadêmico, como naqueles produzidos por outras instituições públicas.

## **2.5. Avaliação de Terrenos**

### **2.5.1. Aspectos Gerais**

Diante da necessidade de adequar a relação do homem com o meio natural dentro dos princípios ambientais de sustentabilidade, reconhecidos atualmente como um padrão de conduta a ser alcançado, considera-se a importância de se conhecer o espaço territorial para um adequado planejamento e gestão ambiental. Os componentes deste espaço são: o meio físico, meio biótico e meio sócio-econômico.

Para se caracterizar o meio físico de modo que atenda ao planejamento ambiental voltado a um desenvolvimento sustentável, os pesquisadores e profissionais que atuam na área de Geologia de Engenharia e Ambiental após uma fase de especialização, resgataram, a partir da década de 1980, a visão integrada nos estudos do meio físico, inicialmente adotada para análise de paisagens por vários estudiosos do início do século passado, como por exemplo, Hebertson (1905) e Fenneman (1916), ambos citados por Grant (1970).

Verstappen (1983) utiliza a denominação *de levantamentos sintéticos do terreno* (*synthetic survey of terrain*) para os levantamentos que a partir de bases geomorfológicas são complementadas com outras informações geoambientais como geologia, solos, hidrologia, vegetação e outros de interesse ao planejamento e à gestão ambiental.

A finalidade destes levantamentos seria prover de toda informação relevante sobre o terreno de uma maneira organizada e, de tal forma que os dados necessários possam ser eficazmente recuperados pelos usuários, tanto os de interesse para fins científicos como práticos. Por conseguinte, havia necessidade de se desenvolver um sistema de fácil manipulação e que atendesse a três condições básicas, como proposto por Mitchell (1973 *apud* VERSTAPPEN, 1983): ser qualificado para atender as demandas por



informações dos usuários; ser capaz de adquirir, analisar e armazenar os dados sobre o terreno e seu uso atual e potencial; e, dispor de um método de recuperação dos dados armazenados e tradução destes para um formato apropriado ao usuário.

A aplicação do *levantamento sintético (synthetic survey)* tem como princípio, a associação de características determinadas com precisão dos locais já estudados com as de situações comparáveis por reconhecimento em áreas ainda não levantadas. Além da questão da coleta de dados, o modo de processamento e apresentação dos dados também deve ser considerado para disponibilizar as informações requeridas de forma adequada e eficiente ao usuário (MITCHELL, 1973 *apud* VERSTAPPEN, 1983).

Verifica-se, assim que o método de avaliação de terrenos desenvolveu-se desde o início com a preocupação de suprir de informações do meio físico ou do meio ambiente como um todo, aos setores responsáveis pelo planejamento territorial. Inicialmente a avaliação de terrenos tinha abrangência mais regional. Mas, com a necessidade de orientar o uso e ocupação do solo em áreas urbanas, ou mesmo a implantação de obras de engenharia, incluiu-se a caracterização geotécnica das propriedades dos materiais de alteração, do comportamento geomecânico dos materiais e dos processos geodinâmicos, evoluindo para o mapeamento geotécnico ou cartografia geotécnica conforme preconizado por Pasek (1968), Matula (1969), IAEG (1976), Sanejouand (1972), Zuquette (1987), entre outros.

### **2.5.2. Evolução Conceitual**

A definição do termo “avaliação de terrenos” (*terrain evaluation*) adotada neste trabalho, está em conformidade com a utilizada por Mitchell (1991, *apud* FERNANDES DA SILVA, 2003) que considera “terreno” como uma dada porção territorial ou região com seus aspectos (feições, formas e configuração) naturais relacionados, enquanto “avaliação”, envolve análise e classificação do terreno. O processo de avaliação de terreno, de acordo com Mitchell (1973, 1991, *apud* FERNANDES DA SILVA, 2003), contempla três elementos: análise (para obtenção dos atributos padrão relativos ao terreno); avaliação (tratamento e interpretação dos atributos); e classificação (organização dos dados a fim de distinguir e caracterizar porções individuais).

Assim, o processo de avaliação de terrenos evoluiu de acordo com as técnicas de compartimentação dos terrenos e de sua caracterização. Os primeiros trabalhos de

avaliação de terrenos eram baseados nas características ecológicas, adotando a paisagem como critério de compartimentação. Nesta proposta, uma determinada “unidade de paisagem” associada a uma área topográfica era caracterizada quanto aos elementos fisiográficos e às condições ecológicas e, posteriormente avaliada para atender as necessidades de uso do solo (CHORLEY, 1969; COATES, 1971, 1972/74; FLAWN, 1970, *apud* VERSTAPPEN, 1983).

A utilização dos critérios geomorfológicos tem como exemplo mais conhecido, o “Sistema de Classificação de Terreno” (*land system survey*) desenvolvido pelo *Land Research and Regional Survey Division – CSIRO (Scientific and Industrial Research Organisation)* na Austrália (CHRISTIAN & STEWART, 1953). O método de sistema de classificação de terrenos foi detalhado, posteriormente, por Christian (1958) e Christian & Stewart (1968), os quais foram responsáveis pela utilização de critérios de compartimentação baseados na origem geomórfica comum. Apesar da diversidade de abordagens derivadas, este critério baseia-se no princípio de que terrenos com aspectos fisiográficos similares e, com mesma história tectônica e climática, deveriam apresentar comportamento semelhante (ACKERSON & FISH, 1980 *apud* VEDOVELLO, 2000; ZUQUETTE, 1987).

Desta forma, a análise e mapeamento de unidades de terreno desenvolveram-se em duas vertentes principais: uma baseada na ecologia da paisagem e outra na característica geomorfológica. A vertente ecológica tendo como unidade de terreno a paisagem, foi denominada por Mabbut (1968, *apud* VERSTAPPEN, 1983) como “abordagem de paisagem” (*landscape approach*) que considera os elementos geomorfológicos, de vegetação e as feições antrópicas como componentes da paisagem.

A abordagem predominantemente geomórfica, passou a ser referida por parte dos pesquisadores das ciências da terra como “abordagem fisiográfica”, resgatando o termo proposto por Huxley (1877, *apud* RODRIGUES, 1997) que definia fisiografia como “o estudo das relações causais dos fenômenos naturais”, procurando apresentar uma visão integrada do meio ambiente físico.

De acordo com Rodrigues (1997), o termo “fisiografia” foi substituído pelo termo “geografia física”, porém este termo continuou sendo utilizado, com significado mais

restrito que o original, nas literaturas didáticas que adotavam a visão sintética davisiana de evolução da paisagem.

No entanto, o termo “fisiografia” sobreviveu em outras áreas. Conforme destacado por Verstappen (1977), este termo é derivado da escola holandesa de solos e relacionado aos trabalhos de avaliação de terrenos voltados para a agricultura. Com a influência desta escola, diversos pesquisadores utilizaram os “sistemas fisiográficos” em seus estudos, tais como, Goosen (1968), Botero (1978), Vink (1983) entre outros. Mais recentemente, este termo tem sido adotado por geólogos e engenheiros que atuam na área de planejamento territorial, para referir-se ao conjunto dos elementos do meio físico ambiental (relevo, solos, rochas e, por vezes, a vegetação) nos estudos de avaliação de terrenos (VEDOVELLO, 2000).

Por outro lado, há uma valorização da análise geomorfológica no desenvolvimento do “Sistema de Classificação de Terreno” (CSIRO E PUCE) e nos “levantamentos sintéticos”, ambos baseados nos princípios ecológicos da paisagem e designados por Mabbut (1968) de *landscape approach* ou abordagem de paisagem. Verstappen (1983) destaca que os *landforms* desempenham um importante papel nos levantamentos sintéticos citados acima. Christian (1958) afirma que a classificação de uma unidade de terreno depende da natureza da *landform* admitida como uma unidade de estudo. Ele enfatiza também a importância de conhecer as características das *landforms* no sistema de classificação de terrenos.

De acordo com Vedovello (2000), o crescimento generalizado da preocupação com os problemas ambientais, principalmente a partir dos anos oitenta, estimula uma retomada da visão integrada do terreno. No entanto, a visão segmentada e o grande número de termos, conceitos e métodos da fase de especialização têm dificultado a adoção de uma sistemática comum a ser utilizada em trabalhos de compartimentação de terrenos de caráter fisiográfico.

### **2.5.3. Métodos de Avaliação de Terrenos**

Como apresentado nos tópicos anteriores, verifica-se uma grande diversidade de abordagens metodológicas de avaliação de terrenos que se aplicam ao planejamento territorial e ambiental. Assim, neste trabalho serão discutidas algumas metodologias relacionadas ao mapeamento geotécnico e geoambiental, que são os instrumentos que

possibilitam uma abordagem integrada ou de síntese do terreno. Não há, porém, a intenção de se efetuar uma ampla revisão, apenas a de compor uma síntese com as principais metodologias relacionadas a esta pesquisa, uma vez que já existem trabalhos bastante completos sobre o tema como os de Zuquette (1987), Zuquette (1993), Aguiar (1997), Vedovello (2000), Silva (2003), Zuquette & Gandolfi (2004) entre outros.

Desenvolveram-se duas abordagens distintas de avaliação de terreno: o **sistema de classificação paramétrica** (*Parametric Approach*) e o **sistema de classificação de paisagem ou fisiográfica** (*Landscape or Physiographic Approach*), conforme citado por diversos autores, tais como, Mabbut, 1968; Mitchell, 1973; Bell *et al.*, 1987; Mitchell, 1991; Bennett & Doyle, 1997.

O **sistema de classificação paramétrica** é um método que tem sido muito bem sucedido quando aplicado com finalidades de quantificação. Implica em avaliar e classificar parâmetros qualitativos específicos ou características do terreno, conhecidos como parâmetros, atributos ou elementos e suas combinações matemáticas – por adição, subtração, multiplicação ou outra maneira – para estabelecer um índice de adequação para um propósito definido (BURINGH, 1960; MABBUTT, 1968, *apud* VERSTAPPEN, 1983).

A aplicação da abordagem paramétrica envolve o levantamento de diversas informações temáticas individualmente para posterior integração. São elaborados produtos cartográficos de diferentes temas, os quais são posteriormente combinados, produzindo-se mapas derivados ou de síntese (VEDOVELLO, 2000).

As vantagens do método paramétrico consistem na menor dependência de interpretações subjetivas, na possibilidade de utilização de análise estatística e na caracterização da unidade de terreno por meio dos componentes de atributos. A flexibilidade na seleção de parâmetros, a facilidade no manuseio dos dados e versatilidade, particularmente quando se usa processamento computacional e a produção de dados quantitativos imparciais, são outras vantagens (VERSTAPPEN, 1983).

No entanto, a necessidade de mapeamento em detalhe baseado em observações de campo e de realização de ensaios para obtenção de parâmetros, restringe a possibilidade de extrapolação apenas a pequenas áreas, tornando o processo lento e custoso (MITCHELL, 1991).

De acordo com Vedovello (2000), na **abordagem fisiográfica ou de paisagem**, os componentes do terreno são identificados e analisados integradamente, baseados em padrões fisionômicos do terreno os quais refletem associações específicas dos elementos geoambientais (forma de relevo, substrato geológico, topografia e vegetação). Esses padrões formam as unidades de terreno distinguíveis nas fotografias aéreas e nas imagens de satélite, os quais são posteriormente caracterizadas quanto às propriedades e características dos elementos componentes de interesse para avaliação geoambiental do terreno.

Com a tendência de valorização de análises integradas nos estudos voltados à gestão ambiental, a abordagem fisiográfica tem sido cada vez mais utilizada com vantagens sobre a paramétrica, em termos de custos, de tempo de execução e de aplicabilidade (VEDOVELLO, 2000).

A aplicação da abordagem fisiográfica na cartografia geotécnica teve influência do programa australiano PUCE (*Patterns, Units, Components, Evaluation*). Esse programa, cujos fundamentos metodológicos encontram-se sintetizados em Grant (1968, 1974 e 1975), utiliza basicamente o Sistema de Classificação de Terrenos (CHRISTIAN & STEWART, 1953, 1968), definido por meio de interpretação de fotografias aéreas e voltado para aplicação em engenharia.

No Brasil, diversos autores aplicaram e adaptaram os métodos de avaliação de terrenos do programa PUCE e do Sistema de Classificação de Terrenos, tais como, Zuquette (1991), Souza (1992), Collares (1994), Lollo (1996), Zuquette & Pejon (1996), Aguiar (1997), entre outros.

Como destaca Lollo (1996), a técnica de avaliação de terreno com base nas feições de relevo, possibilita a divisão da área de estudo em unidades cada vez menores a partir de interpretação de imagens de sensoriamento remoto, principalmente fotografia aéreas e de levantamentos de campo. O critério de zoneamento é baseado na uniformidade das porções de terreno em termos de feições de relevo (*landforms*) e dos tipos de materiais associados. Os níveis hierárquicos utilizados para este zoneamento são sistema de terreno (*land system*), unidade de terreno (*land unit*) e elemento de terreno (*land element*), (Figura 2.3).

A aplicação deste método de avaliação de terrenos para fins geotécnicos implica em caracterizar geotecnicamente os materiais associados às unidades de terreno delimitados em função das feições de relevo. Há uma grande diversidade de enfoques neste tipo de trabalho de acordo com as finalidades e escalas adotadas. Lollo (1996) identifica três categorias principais: regional multifinalidade, regional finalidade específica e local.

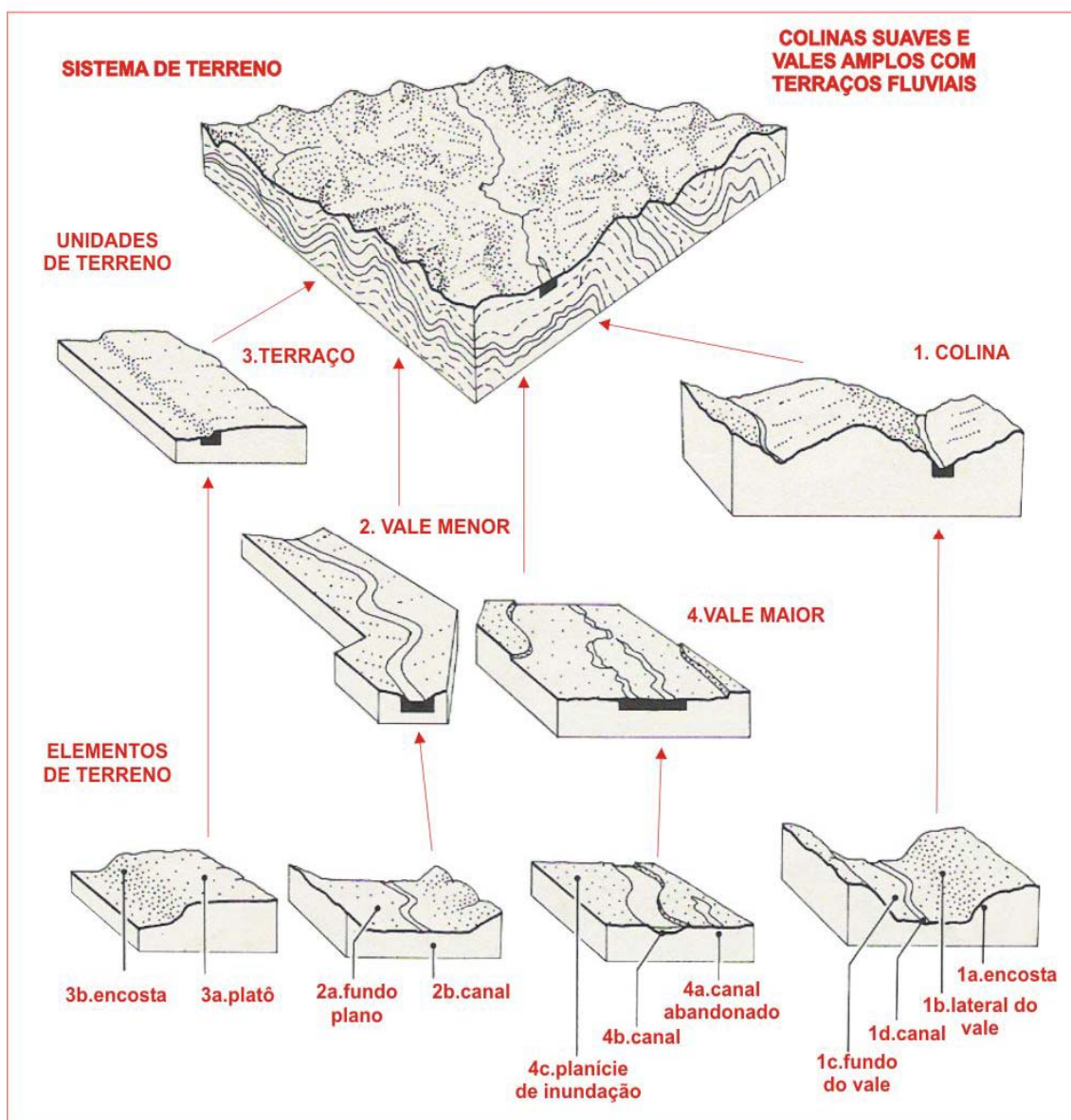


Figura 2.2 – Relações entre sistema de terreno, unidades de terreno e elementos de terreno, modificado de Cooke & Doornkamp (1990).

O primeiro grupo, de abordagem regional multifinalidade, corresponde aos trabalhos de avaliação de terreno que visam à caracterização e ao planejamento regional. Os trabalhos regionais de interesse específico são comumente voltados à atividade agrícola, à análise regional de riscos e à avaliação para implantação de obras lineares. Os trabalhos locais referem-se, por exemplo, à prospecção de materiais de construção, à escolha de áreas para disposição de resíduos sólidos, à análise de risco de estabilidade de terrenos, à implantação de empreendimentos, e outros (LOLLO, 1996).

No Brasil, são poucos os trabalhos que aplicam a técnica de avaliação de terreno para a cartografia geotécnica. Em geral são trabalhos de escalas regionais com enfoque multifinalidade tais como, Ávila et al. (1985), Zuquette (1991), Souza (1992), Collares (1994), Collares & Lorandi (1994), Brollo et al. (1995), Souza et al. (2001), Ferreira (2005) e os regionais com enfoque específico, como os de Zuquette & Gandolfi (1992), IG/SMA (1996), IG/SMA (1999).

De acordo com Ross (1995), nas pesquisas ambientais desenvolvidas para estudos espacializados da natureza e da sociedade na Geografia, há dois procedimentos metodológicos operacionais básicos para gerar produtos georeferenciados. Um dos procedimentos é baseado nos “*Land Systems*”, que permite gerar produtos temáticos analítico-sintéticos, quer seja por geoprocessamento em sistemas automatizados ou a partir de interpretação visual. O outro procedimento metodológico é multitemático, caracterizando-se por gerar produtos analíticos de vários temas em uma primeira fase e, posteriormente de síntese.

### 3. CONCEITOS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO

Esta revisão bibliográfica procura apresentar os principais conceitos e terminologias relacionadas a perigos e riscos geoambientais e as propostas de classificação. Apresenta também uma classificação dos processos de movimentos de massa associados aos perigos, com ênfase nos escorregamentos e seus condicionantes. Além disso, neste capítulo são discutidos os principais métodos de análise de perigos decorrentes da instabilização de vertentes por escorregamentos e as metodologias de mapeamento de risco a escorregamentos.

#### 3.1. Evolução Conceitual

As pesquisas sobre perigos naturais no mundo foram iniciadas nos anos 60 por Gilbert White e seus colaboradores, cujos trabalhos envolveram a avaliação de risco de um evento natural, pela identificação dos processos sócio-econômicos envolvidos e dos processos físicos (perigos geomórficos) e seus parâmetros de análise: magnitude, frequência, duração, extensão em área, velocidade de assentamento, disposição espacial e intervalo de tempo de recorrência (GARES *et al.*, 1994).

As definições mais utilizadas nos estudos de perigos e riscos a escorregamentos são de Varnes (1984), que em revisão sobre *Landslide hazard zonation* realizado para a UNESCO, propôs os seguintes conceitos:

Perigo Natural – *H (Natural Hazard)* corresponde à probabilidade de um fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer dentro de um determinado intervalo de tempo e numa dada área;

Vulnerabilidade - *V (Vulnerability)*, refere-se ao grau de perda de um determinado elemento ou um conjunto de elementos em risco, resultante da ocorrência de um fenômeno natural de uma dada magnitude. É expressa numa escala de 0 a 1, de nenhum dano a perda total, respectivamente.

Risco Específico – *Rs (Specific risk)*, corresponde ao grau esperado de perda devido a um fenômeno natural particular, podendo ser expresso em termos do produto entre Perigo (*Hazard*) e Vulnerabilidade ( $H \times V$ );



Elementos em Risco – *E (elements at risk)* são relativos à população, propriedades e atividades econômicas, incluindo serviços públicos, em risco em uma dada área;

Risco total – *Rt (total risk)*, refere-se ao número esperado de perdas de vidas, de pessoas afetadas, danos a propriedades, ou interrupção de atividades econômicas devido a um fenômeno natural específico. Pode ser expresso pela equação:

$$\underline{Rt = (E) \times (Rs)},$$

como  $\mathbf{Rs = H \times V}$ ,

Risco total pode ser expresso como:  $\underline{Rt = (E).(H \times V)}$

Outra referência de mapeamento de risco a escorregamentos, Einstein (1988), discute que as expressões “danger”, “hazard” e “risk” são utilizados para caracterizar fenômeno, imprevisibilidade e conseqüências, respectivamente, adotando os seguintes conceitos:

Perigo (*Danger*) – fenômeno natural que neste caso, corresponde ao escorregamento;

Perigo (*Hazard*) – probabilidade de um fenômeno (*danger*) ocorrer dentro de um dado período de tempo. No entanto, o autor discute que estes fenômenos perigosos são em geral, imprevisíveis ou apenas limitadamente previsíveis. Esta incerteza é avaliada em termos de probabilidade para um fenômeno em particular. Muitos mapas de suscetibilidade a escorregamentos (por exemplo o de Brabb et al., 1972) correspondem a *hazard* pela equivalência da probabilidade espacial à probabilidade temporal.

Risco (*Risk*) – Perigo (*hazard*) x dano potencial (perdas)

A definição do termo risco varia de acordo com a área de atuação, por exemplo, no setor empresarial refere-se apenas às conseqüências monetárias. No caso tratado, a definição “Perigo x dano potencial” expressa a probabilidade de ocorrer um evento multiplicado pelas conseqüências se o evento ocorrer. Os danos potenciais podem envolver perdas de vidas ou ferimentos a pessoas, perda de capital ou danos ambientais não monetários (EINSTEIN, 1988).

Cerri & Amaral (1998) consideram que um fenômeno geológico pode se tornar um **acidente** ao gerar conseqüências sociais e econômicas (perdas e danos) ou

referir-se a um evento quando não há registro de danos relacionados a ele. Desta forma, a suscetibilidade de uma área a um determinado fenômeno geológico corresponde à possibilidade de sua ocorrência como um evento sem danos, enquanto risco está relacionado à possibilidade de que a ocorrência do fenômeno tenha consequências sociais e econômicas. Estes autores apresentam uma classificação de risco, considerando uma subdivisão em classes e subclasses a partir dos riscos ambientais (Figura 4.1).

Como citado anteriormente, dentre os muitos resultados da Década Internacional de Redução dos Desastres Naturais (*IDNDR*), destaca-se a proliferação de estudos e propostas metodológicas de avaliação de perigos e riscos de desastres naturais e a explícita aceitação de que a avaliação de risco é uma etapa indispensável para o planejamento e desenvolvimento das estratégias de redução dos riscos de desastres naturais.

Apesar do esforço empreendido durante essa década, houve um incremento dos danos relacionados aos desastres, motivando a ONU a implantar de forma permanente a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (*ISDR*). Esta ação internacional tem como principal foco a redução das vulnerabilidades das comunidades como forma de reduzir o risco de desastres (ONU, 2004; Nogueira, 2006).

A publicação organizada pela ISDR “*Living with Risk: a global review of disaster reduction initiatives*” (ONU, 2004), tratando sobre as iniciativas globais de redução de desastres, define: ***Risco como a probabilidade de consequências prejudiciais, ou danos esperados (morte, ferimentos a pessoas, danos a propriedades, interrupção de atividades econômicas ou degradação ambiental) resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade.***

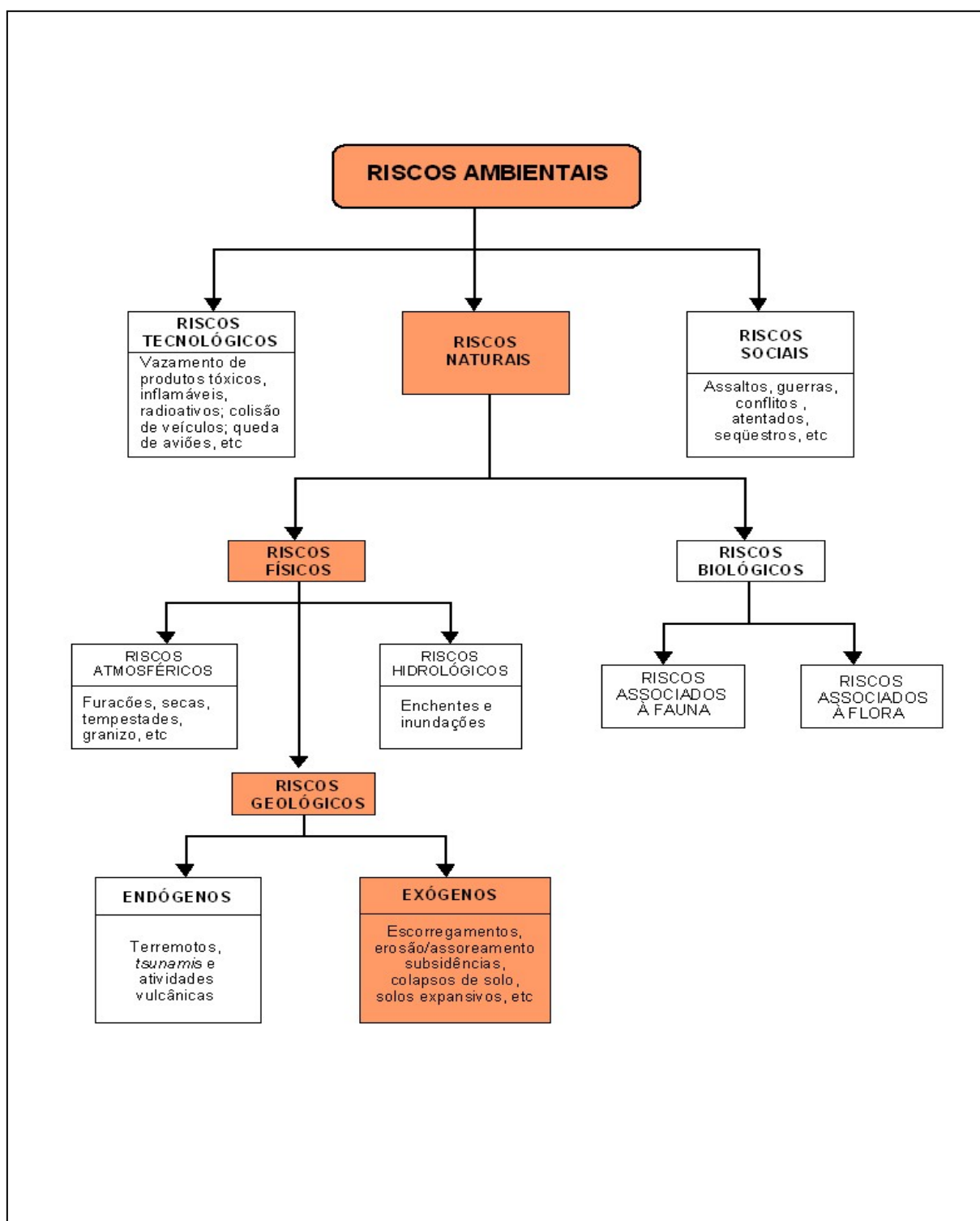


Figura 3.1 – Classificação de riscos ambientais (CERRI, 1993; CERRI e AMARAL, 1998).

Dois elementos são essenciais na formulação do risco: o perigo (hazard) de se ter um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa e a vulnerabilidade, ou seja, o grau de suscetibilidade do elemento exposto ao perigo. Assim, risco pode ser expresso pela seguinte notação:

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Vulnerabilidade};$$

Isto indica que o impacto do desastre dependerá das características, probabilidade e intensidade do perigo, bem como da vulnerabilidade das condições físicas, sociais, econômicas e ambientais dos elementos expostos (ONU, 2004).

Embora a maior parte dos perigos naturais seja inevitável, os desastres não o são. A investigação dos perigos que ocorreram no passado e o monitoramento da situação do presente possibilitam entender e prever a ocorrência de futuros perigos, permitindo que uma comunidade ou o poder público possa minimizar o risco de um desastre (ONU, 2004).

De acordo com ONU (2004), o entendimento dos perigos naturais envolve a consideração de quase todos os fenômenos físicos da Terra, contemplando uma ampla gama de perigos, tais como, os geofísicos, meteorológicos, hidrológicos, ambientais, tecnológicos, biológicos e até mesmo sócio-políticos, individualmente ou em complexas interações. Os perigos têm sido usualmente divididos com base em sua origem, naqueles considerados naturais ou tecnológicos. Os perigos naturais, por sua vez são divididos em três grandes categorias: hidrometeorológicos, geológicos e biológicos, cuja classificação completa encontra-se no Quadro 3.1.

Em relação à vulnerabilidade, considerada como elemento chave da equação de risco, o *ISDR* tem acompanhado com crescente interesse a associação da capacidade positiva da população em enfrentar os desastres naturais com o impacto dos perigos. A vulnerabilidade é um reflexo das condições físicas, sociais, econômicas e ambientais que se encontram individual ou coletivamente. Define-se **vulnerabilidade** como as condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto do perigo. Se os fatores forem positivos, estes podem incrementar a capacidade da população no enfrentamento dos perigos (ONU, 2004).

Quadro 3.1 – Classificação de Perigo (*Hazard*), baseado em ONU, 2004.

<b>PERIGO</b> (HAZARD)	
Um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danoso, o qual pode causar perda de vidas ou ferimentos a pessoa, danos à propriedades, rupturas sócio econômicos ou degradação ambiental.	
<b>PERIGOS NATURAIS</b> (NATURAL HAZARDS)	
Processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem constituir-se em um evento danoso. Os perigos naturais podem ser classificados quanto à origem em: geológico, hidrometeorológico e biológico.	
ORIGEM	EXEMPLOS DE FENÔMENOS
<b>Perigos geológicos</b> (geological hazards)  Processos ou fenômenos naturais que podem ser de origem endógena ou exógena.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Terremotos, tsunamis;</li> <li>▪ Atividade e emissões vulcânicas;</li> <li>▪ Movimentos de massa, escorregamentos, queda de blocos rochosos, liquefação;</li> <li>▪ Colapso superficial, atividade de falha geológica.</li> </ul>
<b>Perigos hidrometeorológicos</b> (hydrometeorological hazards)  Processos ou fenômenos naturais de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica,	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inundações/enchentes, corridas de lama/detritos;</li> <li>▪ Ciclones tropicais, tempestades marinhas, ventanias, chuvas de tempestades, nevasca, relâmpagos;</li> <li>▪ Secas, desertificação, fogo, temperaturas extremas, tempestade de areias;</li> <li>▪ <i>Permafrost</i>, avalanches de neve.</li> </ul>
<b>Perigo biológico</b> (biological hazard)  Processo de origem biológica ou aqueles transmitidos por vetores biológicos, incluindo exposição aos micro-organismos patogênicos, tóxicos e substâncias bioativas	Eclosão de doenças epidêmicas, contágios de plantas ou de animais e de infestações extensivas.
<b>PERIGO TECNOLÓGICO</b> (TECHNOLOGICAL HAZARDS)	
Perigo associado com acidentes tecnológicos ou industriais, rompimento de infraestrutura ou atividades humanas que podem causar perda de vidas ou ferimentos a pessoa, danos à propriedades, rupturas sócio econômicos ou degradação ambiental. Exemplos: poluição industrial, radioatividade, resíduo tóxico, queda de barragens, acidentes industriais, etc.	

A avaliação de risco, de acordo com ONU (2004), inclui conhecimento quantitativo e qualitativo do risco e de seus fatores físico, social, econômico e ambiental e de suas conseqüências. É a primeira etapa de fundamental importância para a estratégia de redução de desastres. Sua relevância para o planejamento e desenvolvimento das estratégias de redução de desastres, foi tratada com especial atenção durante a Década Internacional de Redução dos Desastres Naturais (*IDNDR*).

Para o *ISDR* (ONU, 2004), avaliação de risco envolve o uso sistemático de informações para determinar a probabilidade de que certos eventos ocorram e a magnitude de suas possíveis conseqüências. Como procedimento, em geral, inclui os seguintes passos:

- Identificação da natureza, localização, intensidade e probabilidade de uma ameaça ou perigo;
- Determinação do grau de vulnerabilidade e exposição aos perigos;
- Identificação das capacidades e recursos para tratar ou gerenciar os perigos; e
- Determinar o nível de risco aceitável.

No Brasil, o desenvolvimento de estudos de avaliação de risco geológico é relativamente recente. Os primeiros trabalhos de cartografia de risco geológico, do final da década de 80, foram de Prandini *et al.* (1987) e Sobreira (1989). Nos anos 90 o tema ganhou maior destaque nos trabalhos técnicos produzidos na área de Geologia Aplicada, como se constata nos anais das principais reuniões científicas relacionadas com Geotecnia e Geologia de Engenharia: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano (1990, 1992); Simpósios de Cartografia Geotécnica (1993, 1996, 1998, 2001 e 2004); Congressos Brasileiro de Geologia de Engenharia (nos realizados a partir de 1990); Conferências Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (realizadas a partir de 1992).

Cerri e Amaral (1998) destacam os principais processos geológicos causadores de acidentes no Brasil (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Principais processos geológicos causadores de acidentes no Brasil (modificado de CERRI & AMARAL, 1998).

PROCESSO GEOLÓGICO	CONDICIONANTES NATURAIS	AÇÕES ANTRÓPICAS INDUTORAS	EXEMPLOS DE DANOS POTENCIAIS
Escorregamentos	Encostas com inclinação elevada; depósitos de tálus e colúvios; concentração do escoamento d'água de superfície e de subsuperfície; pluviometria média anual elevada.	Eliminação da cobertura vegetal; cortes instabilizadores; lançamento de lixo; aterro construído sem controle; lançamento de água não controlado; construção de reservatórios (instabilização das margens).	Queda, ruptura e soterramentos bruscos de construções, moradias, estradas, etc. ; soterramento e morte de pessoas.
Erosão hídrica (Assoreamento)	Solos arenosos e siltosos pouco coesivos; inclinações acentuadas dos terrenos; concentração do escoamento d'água de superfície e subsuperfície ( <i>piping</i> ); chuvas intensas e mal distribuídas no espaço e tempo	Eliminação da cobertura vegetal; lançamento concentrado e não dissipado de águas servidas e de chuvas; cortes e aterros não protegidos; construção de vias, caminhos e trilhas que concentram o escoamento; construção de reservatórios (impactos nas margens e a jusante)	Queda de moradias; destruição de ruas e equipamentos urbanos; perda de solo agricultável; soterramento de estradas e de plantações de várzeas; impactos diversos nos recursos hídricos (poluição, perda de volume armazenado, etc.)
Subsidência por adensamento	Planícies ou baixadas com presença de solos moles, continentais ou marinhos	Obras com fundações inadequadas; escavações sem contenção apropriada; rebaixamento não controlado do lençol freático, super exploração de água subterrânea.	Inutilização de construções devido a recalques excessivos ou mesmo rupturas; rompimento de galerias, encanamentos e tubos subterrâneos; vazamentos
Colapso de solos	Presença de solos que apresentam recalques importantes quando saturados e submetidos a sobrecargas	Obras que provocam a saturação dos solos de fundação; rompimento de dutos	Idem acima.
Subsidência e colapso devido a cavidades subterrâneas	Feições cársticas, principalmente, cavernas; minerações subterrâneas	Alterações das condições de fluxo de água subterrânea; super exploração de água subterrânea; escavações subterrâneas instáveis.	Idem acima, porém de maior intensidade e velocidade de manifestação.
Expansão de terrenos	Presença de rochas e solos que apresentam aumento de volume ao serem desconfinados e sob a ação da umidade; presença de argilominerais expansíveis.	Cortes que eliminam camadas superficiais protetoras ou desconfinam o material; cortes que permitem a ação das intempéries.	Instabilizações de taludes, de fundações e de cavidades subterrâneas; ruptura de pavimentos.

Apesar do número expressivo de trabalhos produzidos desde então, nota-se que os métodos de estudo e a interpretação de conceitos sobre riscos geológicos ainda apresentam controvérsias. Um exemplo disso é a freqüente utilização do termo *risco* para indicar *suscetibilidade* natural ou induzida. Essa questão, foi também abordada por Rodrigues-Carvalho (1998) ao observar que o termo *Geological Hazard* tem sido muitas vezes impropriamente traduzido para a língua portuguesa como *Risco Geológico*. Entretanto, segundo esse autor, a confusão não se restringe aos países de língua portuguesa, uma vez que 60% dos trabalhos apresentados no *VI Symposium on Landslides*, em 1995, que indicavam a utilização de métodos de cartografia de *hazards* tratavam, na realidade, de cartografia de suscetibilidades ou inventários. Hartlén & Viberg (1988), já haviam constatado que, embora a grande maioria dos trabalhos apresentados no *V Symposium on Landslides* (1988) tenha utilizado as definições de Varnes (1984) sobre riscos, muitos deles usaram o termo *risk* para se referir a *hazard*.

O termo *perigo* é outro que gera confusão por ter duas conotações em Português, uma delas correspondente a *danger* que se refere a um fenômeno natural, de natureza variada, ou a um processo tecnológico, potencialmente danoso em si mesmo (RODRIGUES-CARVALHO, 1998; ONU, 2004). Outro significado do termo perigo, o qual é utilizado nesta pesquisa, seria o correspondente a *hazard*, que é a possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo especificado (VARNES, 1984; EINSTEIN, 1988).

De acordo com Einstein (1988), a aplicação dos conceitos de Varnes (1984) na elaboração de cartas de risco, trazem muitas dificuldades, uma vez que essas cartas devem contemplar a probabilidade de ocorrência de um evento perigoso (tanto espacial como temporal), a vulnerabilidade dos elementos expostos e o valor desses elementos. O autor considera que muitos desses fenômenos são imprevisíveis ou limitadamente previsíveis.

Assim, com base nas definições de Varnes (1984), Einstein (1988) e Anbalagan & Singh (1996), e conforme discutidos por Rodrigues-Carvalho (1998), Tominaga *et al.* (2001), Augusto Filho (2001), Tominaga *et al.* (2004), entre outros, propõe-se a adoção dos seguintes conceitos:

- **Perigo.** Refere-se à possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo especificado.



- **Vulnerabilidade.** Conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, o qual aumenta a suscetibilidade de uma comunidade (elemento em risco) ao impacto dos perigos. A vulnerabilidade compreende tanto aspectos físicos (resistência de construções e proteções da infraestrutura) como fatores humanos, tais como, econômicos, sociais, políticos, técnicos, culturais, educacionais e institucionais (ONU 2004) .
- **Risco.** É a possibilidade de se ter consequências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais ou induzidos pelo homem. Assim, considera-se o Risco (R) como uma função do Perigo (P), da Vulnerabilidade (V) e do Dano Potencial (DP), o qual pode ser expresso como:  $R = P \times V \times DP$ .

Além destes, no Quadro 3.3 apresenta-se outros termos básicos utilizados em avaliação do risco de desastres pela ONU (2004).

Quadro 3.3 – Termos básicos utilizados em redução do risco de desastres pelo ISDR (ONU, 2004).

TERMO	DEFINIÇÃO
Perigo ( <i>Hazard</i> )	Evento físico, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa que pode causar a perda de vidas ou ferimentos, dano às propriedades, rupturas sociais e econômicas ou degradação ambiental.
Perigos naturais (natural hazards)	Processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem constituir-se em um evento danoso. Os perigos naturais podem ser classificados quanto à origem em: geológico, hidrometeorológico e biológico.
Degradação ambiental (environmental degradation)	Processos induzidos pela atividade humana que causam danos aos recursos naturais ou que alteram adversamente os processos naturais ou os ecossistemas. Seus efeitos podem contribuir para o aumento da vulnerabilidade e a frequência e intensidade dos perigos naturais. Exemplos: degradação do solo, desmatamento, desertificação, poluição do solo, do ar e da água, perda da biodiversidade, etc.
Desastre (Disaster)	Trata-se de uma séria ruptura do funcionamento de uma comunidade ou sociedade causando perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão de tal forma que excede a capacidade da comunidade ou sociedade enfrentar com seus próprios recursos

Quadro 3.3 – Termos básicos utilizados em redução do risco de desastres pelo ISDR (ONU, 2004) - continuação.

TERMO	DEFINIÇÃO
Resiliência (resilience/resilient)	A capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade, potencialmente exposto ao perigo, adaptar-se, pela resistência ou mudança para conseguir e manter um nível aceitável de estrutura e funcionamento. Isto é determinado pelo grau com que um sistema social é capaz de se organizar aumentando sua capacidade pelo aprendizado com desastres anteriores para melhorar a proteção futura e aperfeiçoar medidas de redução de risco.
Risco (risk)	Probabilidade de conseqüências prejudiciais ou danos esperados (morte, ferimentos, danos a propriedades, interrupção de atividade econômica ou danos ambientais) resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pelo homem e as condições de vulnerabilidade.
Avaliação /análise de risco (risk assessment/analysis)	Uma metodologia para determinar a natureza e extensão do risco pela análise do perigo potencial e avaliação das condições de vulnerabilidade que poderiam apresentar uma ameaça potencial de danos à população, à propriedade, à economia e ao ambiente.
Gerenciamento do risco de desastre (disaster risk management)	O processo sistemático de utilização de decisões administrativas, organização, habilidade operacional e capacidade para implementar políticas, estratégias e capacidade de enfrentamento da sociedade e comunidades para diminuir os impactos de perigos naturais e dos desastres ambientais e tecnológicos. Isto compreende todas formas de atividades, incluindo medidas estruturais e não estruturais para evitar (prevenção) ou para limitar (mitigar e enfrentar) os efeitos adversos do perigo.
Redução do risco de desastre (disaster risk reduction)	Estrutura conceitual dos elementos considerados com a possibilidade de reduzir vulnerabilidades e riscos de desastres de uma sociedade, para evitar (prevenção) ou para limitar (mitigar e enfrentar) os impactos adversos do perigo, dentro de um amplo contexto de desenvolvimento sustentável.
Vulnerabilidade (vulnerability)	As condições determinadas pelos fatores ou processos físicos, sociais, econômicos, e ambientais, os quais aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos.

### **3.2. MOVIMENTOS DE MASSA E SEUS CONDICIONANTES**

Os processos de movimentos de massa, principalmente os escorregamentos, são bastante comuns em regiões montanhosas ou serranas no mundo todo. Constituem os mais importantes processos que atuam na evolução das vertentes e, por conseguinte na evolução geomorfológica destas regiões. Considerado até mesmo como mais importante que os processos fluviais, em termos do total de material mobilizado, no “trabalho geomorfológico” de erosão da terra (RAHN, 1986).

No entanto, o crescimento da ocupação indiscriminada destas áreas, muitas vezes sem a adoção de técnicas adequadas de estabilização, está disseminando a ocorrência destes processos em vertentes anteriormente estáveis ou em equilíbrio dinâmico. Em decorrência deste fato, os movimentos de massa envolvendo solos e rochas têm sido estudados nas mais diferentes regiões, devido, não apenas à importância na evolução das formas de relevo, mas principalmente às consequências econômicas e sociais destes processos (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

De acordo com Carvalho e Galvão (2006), os principais fenômenos relacionados a desastres naturais no Brasil são os escorregamentos e as inundações, que estão associados a eventos de chuvas intensas e prolongadas. As inundações são os processos que causam maiores perdas econômicas e impactos na saúde pública, porém são os escorregamentos que envolvem maior número de vítimas fatais.

Verifica-se, assim, um grande incremento em todo o mundo na quantidade e diversidade de estudos abordando as causas e mecanismos dos movimentos de massa nas encostas, principalmente a partir da década de noventa, com a instituição da Década Internacional de Redução de Desastres Naturais – DIRDN. Uma das metas desta década foi promover a melhoria na capacitação dos países, principalmente naqueles em desenvolvimento, para gerenciamento das questões relacionadas a desastres naturais (FERNANDES & AMARAL, 1996; AUGUSTO FILHO, 2001).

O objetivo deste item é apresentar uma revisão bibliográfica sobre os processos de movimentos de massa com ênfase nos de escorregamentos,

abordando a classificação dos diferentes tipos, os agentes e causas e os condicionantes destes processos, uma vez que, neste trabalho analisa-se o perigo de ocorrência de escorregamentos na região da Serra do Mar.

### 3.2.1. Classificação de Movimentos de Massa

Selby (1982, 1993) define movimentos de massa como sendo o movimento do solo ou material rochoso ao longo da vertente sob a influência da gravidade, sem a contribuição direta de outro meio, tal como água, ar ou gelo. Água e gelo quase sempre são envolvidos em movimentos de massa pela redução da resistência dos materiais de vertente e por contribuir no comportamento plástico e fluido dos solos.

A grande variedade de materiais e processos envolvidos em movimentos de massa produz, conseqüentemente, grande variedade de tipos de movimentos. Para se distinguir estes diversos tipos torna-se necessário considerar pelo menos os seguintes critérios: velocidade e mecanismo do movimento; material; modo de deformação; geometria da massa mobilizada; e o conteúdo de água (SELBY, 1982).

Guidicini & Nieble (1984), utilizam o termo **escorregamento** de forma genérica, referindo-se *a todo e qualquer movimento coletivo de materiais terrosos e/ou rochosos, independentemente da diversidade de processos, causas, velocidades, formas e demais características.*

Na literatura encontram-se inúmeras referências aos trabalhos que propuseram classificações de movimentos de massa, destacando-se, entre outros, Sharpe (1938), Terzaghi (1950), Varnes (1958 e 1978), Hutchinson (1988) e Sassa (1989). A classificação proposta por Varnes (1978) baseia-se no tipo de movimento e no tipo de material transportado e é, ainda uma das mais utilizadas internacionalmente, devido a sua simplicidade.

Tabela 3.1 – Classificação simplificada de movimentos de massa, modificado de Varnes, 1978.

TIPO DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	Rocha	Material Detrítico Grosseiro	Solos
Queda (falls)	Queda de blocos	Queda de detritos	Queda de solos
Tombamento (topples)	Tombamento de blocos	Tombamento de detritos	Tombamento de solos
Escorregamento: Rotacional (slump) e Translacional (slides)	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de solo
Corrida (flows)	Avalanche de blocos	Corrida de detritos	Corrida de solo (ou lama)
Complexo	Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

Das classificações brasileiras, voltadas para as regiões tropicais e subtropicais úmidas, destacam-se as propostas dos seguintes autores: Freire (1965), Vargas (1966), Costa Nunes (1969), Guidicini e Nieble (1984) e IPT (1991). O Sistema de Classificação de Freire (1965 *apud* GUIDICINI & NIEBLE, 1984) corresponde a uma síntese dos aspectos naturais ou geológicos dos movimentos de massa e foi baseado em trabalhos de diversos especialistas, e na concepção físico-mecânica-matemática de Terzaghi.

Os movimentos de massa ou movimentos coletivos de solo e rocha são classificados por Freire (*op. cit.*) em três tipos fundamentais: escoamentos, escorregamentos e subsidências. **Escoamentos** correspondem a uma deformação, ou movimento contínuo, com ou sem superfície definida de movimentação, que podem ser, segundo as características do movimento, de dois tipos: corrida (escoamento fluido-viscoso) e rastejo ou reptação (escoamento plástico). **Escorregamentos** correspondem a um deslocamento finito ao longo de uma superfície de deslizamento definida, preexistente ou de neoformação; classificam-se também em dois subtipos, escorregamentos rotacionais e escorregamentos translacionais. **Subsidência** refere-se a deslocamento finito, ou deformação contínua, de direção essencialmente vertical. Reconhecem-se três subtipos: subsidências propriamente ditas (deformação contínua), recalques e desabamentos.

Guidicini & Nieble (1984) utilizaram a sistematização de Freire e introduziram algumas modificações, como uma redistribuição das classes de escorregamentos translacionais e uma abordagem diversa dos agentes e causas dos movimentos de massas.

### **3.2.1.1. Escorregamentos**

Dentre os processos de movimentos de massa, os mais freqüentes na região sudeste do Brasil e principalmente na Serra do Mar, são os escorregamentos. Por isso este subitem terá como enfoque a conceituação destes processos, uma vez que já se têm disponíveis diversos trabalhos que apresentam revisões sobre os movimentos de massa em geral, tais como, Guidicini & Nieble, 1984; Fernandes & Amaral, 1996; Augusto Filho, 1992; Araújo, 2004; Lopes, 2006, entre outros.

O termo escorregamento tem diversos sinônimos de uso mais generalizado na linguagem popular como queda de barreira, desbarrancamento, deslizamento, os quais equivalem ao *landslide* da língua inglesa. No sentido utilizado pela proposta de Freire (1965) e Guidicini & Nieble (1984) corresponde ao termo *slide* de Sharpe (1938) e Varnes (1958 e 1978), entre outros (FERNANDES & AMARAL, 1996).

De acordo com definição de Guidicini & Nieble (1984), escorregamentos, *strito sensu*, são movimentos rápidos, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude.

A velocidade de um escorregamento cresce de quase zero a mais ou menos 0,30 m por hora (TERZAGHI, 1967), decrescendo, em seguida, até se estabilizar. Podem atingir velocidades maiores, da ordem de alguns metros por segundo. A velocidade máxima do movimento depende da inclinação da superfície de escorregamento, da causa inicial de movimentação e da natureza do terreno. Os movimentos mais bruscos ocorrem em terrenos relativamente homogêneos, que combinam coesão com atrito interno elevado. Nestes terrenos a superfície de escorregamento é mais inclinada (GUIDICINI & NIEBLE (1984).

Em termos gerais, um escorregamento ocorre quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação decresce até atingir uma unidade, no momento do

escorregamento. Este decréscimo, geralmente, é gradual, com uma deformação progressiva da massa de material situada acima da superfície potencial de escorregamento. As rupturas por cisalhamento, ao longo de uma superfície de escorregamento, ocorrem quando há uma diminuição da resistência ao cisalhamento do material. Dessa forma, na primeira fase do escorregamento, a massa em movimento avança com velocidade acelerada, ao acontecer o escorregamento, diminuem as forças que determinaram o movimento e a massa vai se estabilizando. Assim o movimento cessa, ou assume caráter de rastejo (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Os escorregamentos são classificados com base na forma do plano de ruptura e no tipo de material movimentado. Quanto à forma do plano de ruptura os escorregamentos dividem-se em rotacionais e translacionais. O material mobilizado pode ser constituído por solo, rocha, ou por uma mistura de solo e rocha ou até mesmo por lixo doméstico (FERNANDES & AMARAL, 1996).

Levando em consideração a geometria e a natureza dos materiais instabilizados, os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: escorregamentos translacionais ou planares, escorregamentos rotacionais ou circulares e escorregamentos em cunha (Figura 3.2). Os escorregamentos translacionais e rotacionais são descritos nos subítens seguintes. Quanto aos escorregamentos em cunha, estes são associados aos saprolitos e maciços rochosos, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. Ocorrem principalmente em taludes de corte e encostas desconfinadas por ação natural ou antrópica (INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).

Dentre as classificações de movimentos de massa de autores brasileiros, as mais utilizadas são as de Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984), IPT (1991) e Augusto Filho (1992). Na Tabela 3.2 encontra-se uma síntese comparativa destas propostas.

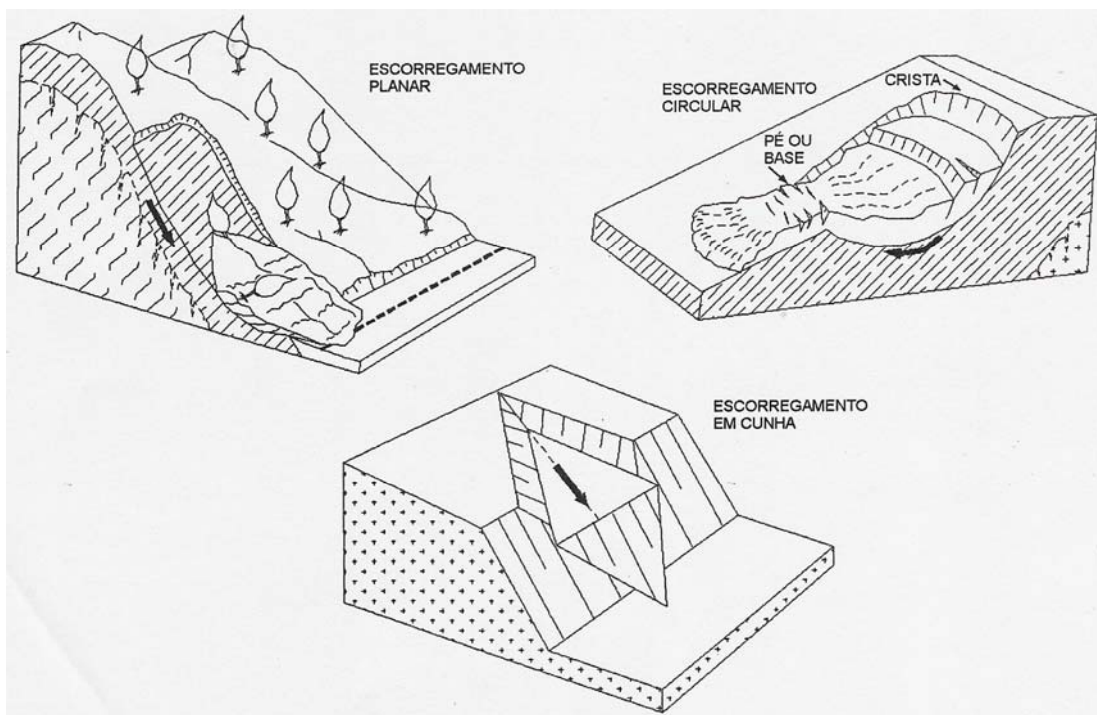


Figura 3.2 - Principais tipos de escorregamentos (INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).

Tabela 3.2 – Comparação entre as propostas de classificação de movimentos gravitacionais de massa mais usadas no Brasil (FERNANDES & AMARAL, 1996).

Freire (1965)	Guidicini & Nieble (1984)	IPT (1991)/ Augusto Filho (1992)
<b>Escoamentos</b> Rastejos e Corridas	<b>Escoamentos</b> Rastejos e Corridas	Rasteios
<b>Escorregamentos</b> Rotacionais e Translacionais	<b>Escorregamentos</b> Rotacionais, Translacionais, Queda de Blocos e Queda de Detritos	Corridas de Massa  Escorregamentos
<b>Subsidências e Desabamentos</b>	<b>Subsidências</b> Subsidências, Recalques e Desabamentos	Quedas/ Tombamentos
	<b>Forma de Transição</b> Movimentos Complexos	



Como já citado por Fernandes & Amaral (1996), qualquer dos esquemas propostos apresenta limitações, uma vez que na natureza os escorregamentos tendem a assumir formas mais complexas dificultando estabelecer limites entre classes ou ainda pela manifestação de várias classes num mesmo movimento. Assim, para fins deste trabalho optamos pela classificação de Guidicini e Nieble (1984) por ser a mais completa e, na qual a classe de escorregamentos engloba também os movimentos de queda de blocos. A descrição detalhada de cada tipo de movimento de massa, não é objetivo deste trabalho, portanto serão abordados apenas os escorregamentos rotacionais e translacionais e quedas de blocos, por terem, estes processos, importante distribuição na região da Serra do Mar.

#### **3.2.1.1.1. Escorregamentos Rotacionais**

Os escorregamentos rotacionais caracterizam-se por uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento rotacional do maciço de solo (Figura 3.3). A ocorrência destes movimentos está associada geralmente à existência de solos espessos e homogêneos como os decorrentes da alteração de rochas argilosas. O início do movimento muitas vezes é provocado pela execução de cortes na base destes materiais, como na implantação de uma estrada, ou pela erosão fluvial no sopé da vertente (FERNANDES & AMARAL, 1996).

O escorregamento rotacional de solo é um fenômeno freqüente nas encostas do sudeste brasileiro, mobilizando geralmente o manto de alteração. Podem se tornar processos catastróficos, com o deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha ao longo de uma superfície qualquer de ruptura, ou ao longo da própria superfície da rocha. Exemplos desse tipo de escorregamentos são conhecidos, como o grande escorregamento do Monte Serrat (Figura 3.4), ocorrido em 1928, e muitos dos sessenta escorregamentos simultâneos que ocorreram nos morros de Santos em 1956 (VARGAS, 1966).

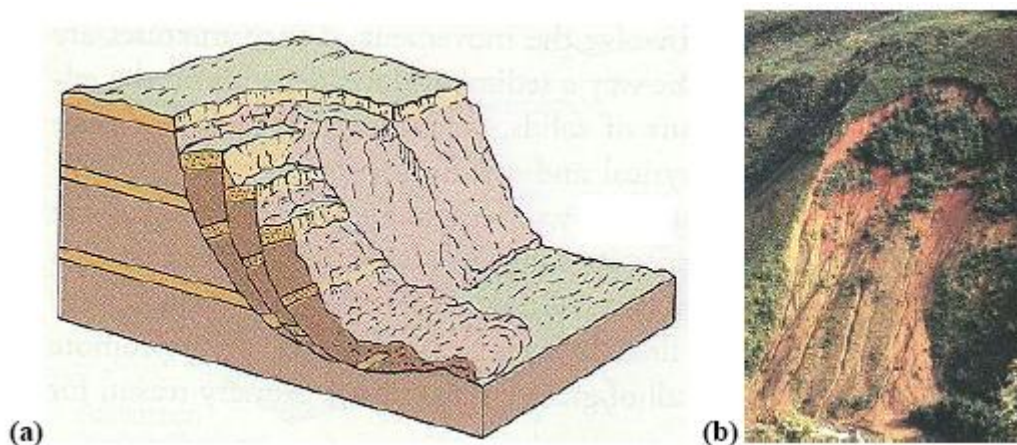


Figura 3.3 – (a) Esquema de escorregamento rotacional. (b) foto de escorregamento rotacional na Guatemala. Fonte: Lopes (2006).



Figura 3.4 - Escorregamento rotacional do grande acidente de Monte Serrat, em Santos (1928), com 80 mortes e destruição de parte da antiga Santa Casa (foto do arquivo de C.M.Nunes). Fonte: Nogueira (2002).

#### **3.2.1.1.2. Escorregamentos Translacionais**

Os escorregamentos translacionais são os mais freqüentes entre todos os tipos de movimentos de massa. Formam superfícies de ruptura planar associadas à anisotropias acentuadas presentes nos solos e/ou rochas que, em geral, representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos. A morfologia dos escorregamentos

translacionais caracteriza-se por serem rasos, com o plano de ruptura, na maioria das vezes, a 0,5 a 5,0 m de profundidade e com maiores extensões no comprimento (FERNANDES & AMARAL, 1996).

Escorregamentos rotacionais ocorrem em geral em taludes mais íngremes e em extensão relativamente limitada. Já os escorregamentos translacionais podem ocorrer em taludes de menor declividade e geralmente são movimentos mais extensos, que podem atingir centenas ou até milhares de metros (GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

Com base no tipo de material transportado e nas classificações de Freire (1965) e de Vargas (1966), os escorregamentos translacionais foram subdivididos por Guidicini e Nieble (1984) em: escorregamentos translacionais de rocha, de solo e de solo e rocha.

Escorregamentos translacionais de rocha são movimentos de massas rochosas ao longo de discontinuidades, ou planos de fraqueza preexistentes. Ocorrem nas mais variadas escalas, desde o deslocamento de um bloco isolado de pequenas dimensões até a movimentação de grandes massas em vertentes montanhosas. A movimentação se dá em superfícies associadas à estrutura geológica que podem ser de planos de estratificação, xistosidade, gnaissificação, acamamento, diaclasamento, falhas, juntas de alívio de tensões, fendas preenchidas por materiais de alteração, contatos entre camadas.

Escorregamentos translacionais de solo são movimentos ao longo de uma superfície plana condicionada a alguma feição estrutural do substrato. Geralmente, ocorrem dentro do manto de alteração ou regolito, com espessuras que dependem da natureza das rochas, do clima, da drenagem e da declividade. O material mobilizado apresenta, via de regra, forma tabular. Em geral, o movimento é de curta duração, de velocidade elevada e grande poder de destruição. Os escorregamentos translacionais associados com maior quantidade de água, podem passar a corridas, ou a rastejo após a acumulação do material movimentado no pé da vertente.

No Brasil, são freqüentes os casos de escorregamentos translacionais, principalmente na Serra do Mar. Grande parte dos movimentos ocorridos nas serras de Caraguatatuba e das Araras em 1967, foi considerada translacional. Em perfis de alteração como os da Serra do Mar, estes movimentos não transportam apenas

materiais terrosos, mas envolvem também blocos rochosos mais ou menos alterados. A definição do termo refere-se à predominância de solo na massa transportada bem como a ocorrência da superfície de ruptura dentro de horizontes de solo, ou ao longo dos planos de contato solo-rocha, planos esses, que segundo Kanji (1979), são os que apresentam os mais baixos índices de resistência (Figura 3.5).

Nos escorregamentos translacionais de solo e rocha, a massa transportada pelo movimento apresenta um volume de rocha significativo. O que melhor representa tais movimentos é a que envolve massas de tálus. Os depósitos de tálus, em geral, encontram-se nos sopés das escarpas, originados principalmente por efeito da gravidade. Estes depósitos são constituídos por blocos rochosos envolvidos em matriz terrosa, provenientes do mesmo processo de acumulação ou de alteração dos próprios blocos, os quais dispõem-se de maneira caótica, sem estrutura de acamamento.

Os exemplos deste tipo de escorregamento também são encontrados na Serra do Mar, onde as atuais formas de relevo, conforme Guidicini & Nieble, 1984, são resultantes de um intenso e longo processo de erosão diferencial, comandados principalmente por movimentos de massa, que acumulou, ao longo do tempo, grandes volumes de detritos nas encostas e em seu sopé.

Os escorregamentos translacionais, em geral, ocorrem durante períodos de chuvas intensas. É comum que a superfície de ruptura coincida com a interface solo-rocha, a qual representa uma importante descontinuidade mecânica e hidrológica. A dinâmica hidrológica nestes movimentos é mais superficial e as rupturas ocorrem em curto espaço de tempo, devido ao aumento da poro-pressão positiva durante eventos pluviométricos de alta intensidade (FERNANDES & AMARAL, 1996).



Figura 3.5 – Escorregamentos translacionais de solos em Ubatuba (A) Picinguaba e (B) Maranduba, e em Várzea Paulista (C). Fonte: Arquivo do IG/SMA.

#### **3.2.1.1.3. Queda de Blocos**

A queda de blocos é um outro tipo de movimento gravitacional de massa bastante freqüente na Serra do Mar. Define-se uma queda de blocos como uma ação de queda livre a partir de uma elevação, com ausência de superfície de movimentação. Nos penhascos ou taludes íngremes, blocos e/ou lascas dos maciços rochosos deslocados pelo intemperismo, caem pela ação da gravidade (Figura 3.6). Este é um dos mecanismos de formação dos depósitos de tálus. A queda pode estar associada a outros movimentos como saltação, rolamento dos blocos e fragmentação no impacto com o substrato (Figura 3.7). As causas das quedas de blocos são diversas: alternância de congelamento e degelo ao longo de fraturas e juntas em regiões frias, variação térmica do maciço rochoso, perda de sustentação dos blocos por ação erosiva da água, desconfinamento lateral do maciço rochoso devido a entalhes recentes, alívio de tensões de origem tectônica, vibrações e outras (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).



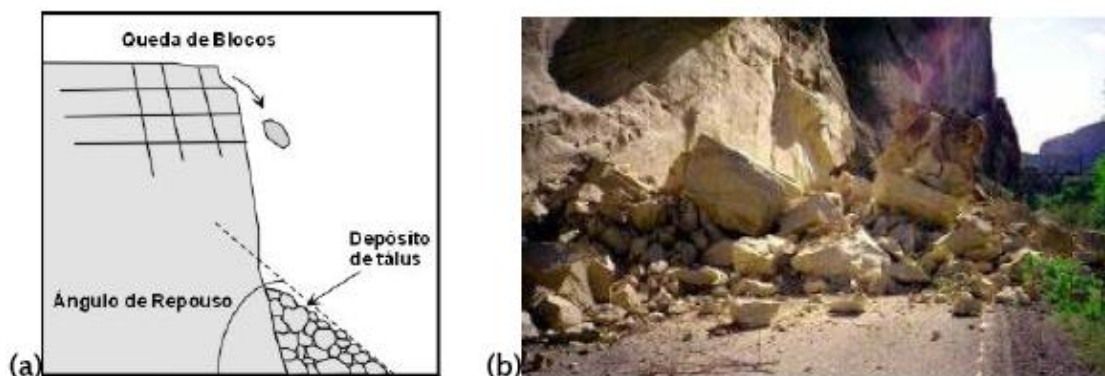


Figura 3.6– (a) Esquema de queda de blocos, (b) foto de queda de blocos. Fonte: Lopes, 2006.



Figura 3.7 – Rolamento de blocos em Ilhabela, SP. Fonte: Nogueira, 2006.

### 3.2.2. Condicionantes dos Movimentos de Massa

Os fatores condicionantes dos movimentos de massa correspondem aos elementos do meio físico principalmente e, secundariamente, do meio biótico os quais contribuem para o desencadeamento do processo. Estes elementos são parte da própria dinâmica dos processos naturais (WOLLE, 1988; WOLLE e CARVALHO, 1989; SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996; ARAÚJO, 2004), aos quais Guidicini e Nieble (1984) denominaram de agentes predisponentes. No entanto, a ação antrópica exerce importante influência favorecendo a ocorrência de processos ou minimizando seus efeitos.

As causas básicas da instabilidade de vertentes, inclusive dos escorregamentos de acordo com Varnes (1984), são bem conhecidas há muito tempo a partir de estudos de caso de instabilidades específicas. Alguns são inerentes aos tipos de rocha ou solo, quanto à sua composição e estrutura; outros, como a inclinação de vertentes naturais, são relativamente constantes ou são variáveis, como os níveis de água subterrânea (N. A.); alguns podem ser transientes (vibrações sísmicas) e outros, impostos por novos eventos, tais como atividades construtivas. A maioria destas condições pode ser reconhecida e seus efeitos podem ser avaliados, determinados ou ainda podem ser mapeados e correlacionados entre eles ou com eventos anteriores. O que se procura sempre é alcançar por meio do entendimento dos processos envolvidos, respostas às questões: por que ocorrem os escorregamentos, quando e onde e seus mecanismos, permitindo predição da suscetibilidade pela extensão da informação pontual ou local para áreas maiores (VARNES, 1978).

Com base na sistemática de classificação de Freire (1965) e na discriminação das causas de movimentos de massa, Guidicini e Nieble (1984) definiram os condicionantes dos processos de movimentos de massa como causas e agentes. Dentre os agentes, os autores fizeram distinção entre agentes predisponentes e efetivos preparatórios e efetivos imediatos e subdividiram as causas em internas, externas e intermediárias (Quadro 3.4).

Os agentes predisponentes correspondem ao conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais da área onde se desenvolve o movimento de massa. Trata-se das condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação do homem. Já os agentes efetivos referem-se ao conjunto de fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, incluindo-se a ação humana. Em função da atuação mais ou menos direta, estes são, ainda, subdivididos em preparatórios e imediatos. Exemplos de agentes efetivos preparatórios podem ser: pluviosidade, erosão pela água ou vento, oscilação de nível dos lagos e marés e do lençol freático, ação humana e de animais, inclusive desmatamento, entre outros. Dos agentes efetivos imediatos citam-se: chuva intensa, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem etc.

Quadro 3.4 - Agentes e causas dos escorregamentos e processos correlatos (GUIDICINI & NIEBLE, 1976, *apud* AUGUSTO FILHO, 1995).

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
AGENTES	Predisponentes	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original.	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desmatamentos.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.
CAUSAS	Internas	Efeitos das oscilações térmicas; Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.	
	Externas	Mudanças na geometria do sistema; Efeitos de vibrações; Mudanças naturais na inclinação das camadas.	
	Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas "homogêneas"; Elevação da coluna da água em descontinuidades; Rebaixamento rápido do lençol freático; Erosão subterrânea retrogressiva ( <i>piping</i> ); Diminuição do efeito de coesão aparente.	

Quanto às causas, estas podem ser classificadas conforme sua posição com relação ao talude (TERZAGHI, 1967). Distinguem-se, então, causas internas, e intermediárias. As causas internas são as que levam ao colapso sem que se verifique qualquer mudança na geometria do talude e que resultam de uma diminuição da resistência interna do material devido ao aumento da pressão



hidrostática, ou diminuição da coesão e ângulo de atrito interno por processo de alteração. As causas externas que provocam um aumento das tensões de cisalhamento, sem que haja diminuição da resistência do material, como aumento do declive do talude por processos naturais ou artificiais, deposição de material na porção superior do talude, abalos sísmicos e vibrações. Causas intermediárias são as que resultam de efeitos causados por agentes externos no interior do talude como a liquefação espontânea, rebaixamento rápido e erosão retrogressiva (GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

Apesar de se encontrarem diferenças na consideração dos fatores que contribuem para a ocorrência dos movimentos de massa entre os diversos autores, verifica-se que a maior parte concorda que os principais condicionantes destes processos são os relacionados com a geologia, geomorfologia, aspectos climáticos e hidrológicos, vegetação e ação antrópica relativa as forma de uso e ocupação do solo, por exemplo: Varnes, 1978; Wolle, 1980; Guidicini & Nieble, 1984; Cooke & Doorkamp, 1990; Selby, 1993; Fernandes & Amaral, 1996; Augusto Filho, 2001; Fernandes et al., 2001; Araújo, 2004.

### **3.2.2.1. Condicionantes Geológicos e Geomorfológicos**

Dentre os aspectos geológicos considera-se a composição mineralógica ou físico-química das diferentes litologias, suas propriedades mecânicas, estruturas geológicas e grau de intemperismo, como importantes fatores no desencadeamento de movimentos de massa. Segundo Fernandes & Amaral (1996), as fraturas e falhas representam importantes discontinuidades, tanto em termos mecânicos quanto hidráulicos. São identificados dois tipos principais de fraturas, as de origem tectônica, como as geradas durante fases de deformação de caráter rúptil e as atectônicas, como as que podem se formar por alívio de tensão. Quando estas fraturas encontram-se subverticais e próximas entre si, propiciam movimentos de blocos do tipo tombamento. Assim como as fraturas, as falhas também atuam como caminhos preferenciais da alteração, pois através das falhas o intemperismo avança para o interior do maciço rochoso de modo muito mais efetivo. A orientação da foliação e/ou bandamento composicional, estruturas comuns nas rochas metamórficas, também influenciam a estabilidade das vertentes e principalmente de taludes de corte como as de estradas (FERNANDES & AMARAL, 1996).

O solo residual ou saprolito também pode apresentar várias discontinuidades originadas, principalmente por feições estruturais reliquias do embasamento rochoso (falhas, fraturas, foliação, etc.) e por horizontes de solo formados por processos pedogenéticos. Segundo Selby (1993), estas fraturas reliquias podem favorecer a ocorrência de escorregamentos, principalmente, se um ou mais destes sistemas mergulha para fora da vertente, ou quando estiver preenchida por material argiloso formando barreiras ao fluxo d' água, ou ainda se houver redução no ângulo de atrito e na coesão devido ao avanço do intemperismo ao longo da fratura.

A presença destas discontinuidades nos solos saprolíticos tem influência sobre o tipo de movimento de massa a ser gerado. Escorregamentos rotacionais podem predominar em vertentes, onde as fraturas no embasamento rochoso encontram-se pouco espaçadas e a alteração produz um saprolito mais homogêneo com característica granular. Nas vertentes em que o saprolito apresenta juntas reliquias decorrentes da alteração de fraturas de alívio de tensão ou do bandamento composicional, predominam os escorregamentos translacionais (FERNANDES & AMARAL, 1996).

Quanto aos aspectos geomorfológicos, inúmeros trabalhos tratam da relação dos processos de movimentos de massa com os fatores geomorfológicos ou muitas vezes denominados de parâmetros topográficos, tais como: declividade, forma da vertente (em planta e em perfil), orientação das vertentes, espessura do solo, amplitude da vertente, elevação e depósitos de vertentes (tálus/colúvio) (VARNES, 1978, 1984; CRUZ, 1975; WOLLE, 1980; SELBY, 1993; FERNANDES & AMARAL, 1996; AUGUSTO FILHO, 2001; FERNANDES *et al.*, 2001; ARAÚJO, 2004, entre outros).

Cooke & Doorkamp (1990) enfatizam que as características geomorfológicas de vertentes propensas ao desenvolvimento de escorregamentos possuem certas feições distintivas, incluindo algumas ou várias combinações das seguintes: vertentes íngremes, vertentes altas, concentração de água no solo (poro-pressão alta), cobertura de solo profundamente intemperizado, descalçamento da base de vertente, e material friável ou incoerente aflorando abaixo de material mais resistente; e se a área estiver sujeita a chuvas torrenciais ou atividade sísmica, o potencial para escorregamentos é ainda mais alto.

Outros autores investigaram o comportamento dos fluxos hidrológicos, principalmente em setores côncavos do relevo (*hollows*) que por serem zonas de convergência dos fluxos de água superficiais e subsuperficiais favorecem a saturação do solo e, por conseguinte, a geração de escorregamentos. Fernandes et al., 2001 cita, entre outros, os seguintes: Dietrich e Dunne, 1978; Reneau et al., 1984; Lacerda e Sandroni, 1985; Dietrich *et al.*, 1986; Coelho Netto *et al.*, 1988; Pedrosa *et al.*, 1988; Coelho Netto e Fernandes, 1990; Crozier e Vaughan, 1990; Fernandes e Amaral, 1996.

### **3.2.2.2. Clima e Pluviosidade**

Na região tropical úmida brasileira, a associação dos escorregamentos à estação das chuvas e, notadamente às chuvas intensas, já é de conhecimento generalizado. Na estação chuvosa que em geral corresponde ao verão, as frentes frias originadas no Circulo Polar Antártico encontram as massas de ar quente tropicais ao longo da costa sudeste brasileira, provocando fortes chuvas e tempestades. Estas chuvas, muitas vezes, deflagram escorregamentos que, não raro, podem se tornar catastróficos (GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

No Brasil, segundo os autores citados acima, os primeiros ensaios de correlação entre pluviosidade e escorregamentos se devem a Pichler (1957), Barata (1969) e Costa Nunes (1969). Todavia, estes estudos são correlações pontuais, onde a ocorrência do escorregamento é associada ao registro de pluviosidade diária, em função de algum episódio de chuvas mais importante. Guidicini e Iwasa (1976) utilizaram nos estudos de correlação entre a pluviosidade e escorregamentos, a análise dos dados de registros históricos de chuvas, procurando definir um valor limite de chuva acima do qual ocorreriam escorregamentos. Na análise destes autores foi considerada, tanto a precipitação acumulada nos dias que antecedem o episódio de chuva intensa como também o ciclo de chuva daquele ano.

Tatizana *et al.* (1987) analisando os escorregamentos ocorridos por um período de 30 anos na Serra do Mar, em Cubatão, estabeleceram uma correlação numérica entre a chuva acumulada que ocasiona a saturação do solo e as precipitações horárias que provocam os escorregamentos. Os autores consideraram que as chuvas acumuladas de 4 dias seriam as mais efetivas na preparação do terreno ao processo de escorregamento, devido à progressiva redução da resistência ao cisalhamento e aumento das forças solicitantes.

Tavares *et al.* (2004) analisaram o comportamento pluvial no Litoral Norte do Estado de São Paulo durante as ocorrências de movimentos de massa do período de 1991 a 2000, avaliando os totais acumulados de chuva associados às instabilizações e considerando as diferenciações espaciais e temporais inerentes à área. Estes autores concluíram que, a maior parte das ocorrências de movimentos de massa, em torno de 70%, foram registradas com chuva acumulada igual ou superior a 120mm em 72 horas. Verificaram também que os meses de fevereiro e março, os quais representam o período de maior variabilidade pluvial e o menor período de retorno de chuva acumulada, registraram o maior número de ocorrências de movimentos de massa.

### **3.2.2.3. Vegetação**

De um modo geral a cobertura de floresta reduz a intensidade dos agentes do clima nas vertentes naturais, favorecendo a estabilidade das mesmas (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). De acordo com Prandini *et al* (1976), a ação específica dos componentes da cobertura florestal se dá em três níveis, como segue abaixo.

- O conjunto das copas e demais partes aéreas da floresta atua por meio da interceptação, retenção e evapotranspiração, reduzindo e atenuando os efeitos da pluviosidade na vertente;
- Os detritos vegetais (serrapilheiras) em contínua acumulação no terreno da floresta, contribuem para: a retenção de parte da água que atinge o terreno; o escoamento hipodérmico, juntamente com o sistema radicular superficial; e, frenagem do escoamento superficial, em condições de maior pluviosidade, favorecendo o escoamento hipodérmico, e evitando os efeitos erosivos e de instabilização.
- O sistema radicular promove a estabilização das vertentes diretamente pelo efeito mecânico de estruturação do solo, o qual fornece um acréscimo substancial de resistência ao cisalhamento e, indiretamente, através da continuidade de sua estrutura em forma de malha, que distribui na encosta as tensões originadas em pontos críticos. No aspecto hidráulico, o sistema radicular permite o estabelecimento de escoamento hipodérmico, que desvia e/ou reduz a intensidade da infiltração efetiva no maciço. Indiretamente, como parte da ação biológica, o sistema promove a sucção, com dois efeitos

benéficos para a estabilidade: a criação de pressões neutras negativas, as quais aumentam a coesão do solo e pela subtração de parte da água destinada à infiltração efetiva no maciço.

A cobertura vegetal é considerada como fator de estabilização de encostas não somente em relação aos escorregamentos, como também em relação a movimentos lentos de rastejo. Outro efeito benéfico da cobertura vegetal é a limitação da área atingida por escorregamentos, através da retenção da massa mobilizada. A vegetação atua também como dissipador de energia, diminuindo a velocidade do material em deslocamento e a área afetada e minimizando os danos em terrenos situados à jusante. O efeito protetor da floresta, neste caso, se manifesta não só defendendo do impacto, estruturas, obras civis ou ocupação agrícola a jusante, como também minimizando o assoreamento dos cursos d'água, através da fixação dos materiais deslocados. A eficiência do efeito de retenção nem sempre é total, como por exemplo, no caso de avalanches, quando são ultrapassados os limites críticos de declividade, devido a grande energia do movimento (GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

Por outro lado, alguns autores como Gray & Leiser (1982) reconhecem que a cobertura vegetal pode também atuar de forma desfavorável à estabilidade da vertente da seguinte maneira: efeito alavanca dos troncos das árvores que são transferidas ao terreno como forças cisalhantes, quando suas copas são atingidas por ventos; efeito cunha, transmitida como pressão lateral pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rochas; efeito sobrecarga vertical devido ao peso das árvores, que pode ser benéfico, ou não, para a estabilidade, em função da inclinação da vertente e das características do solo (AUGUSTO FILHO E VIRGILI, 1998).

#### **3.2.2.4. Ação Antrópica**

A ação do homem como importante agente modificador da dinâmica natural do relevo e, por conseguinte da estabilidade das vertentes é tratado pelos mais diversos autores, tais como, Varnes, 1978; Wolle, 1980; Ter-Stepanian, 1988; Cooke & Doorkamp, 1990; Oliveira, 1990; Peloggia, 1998; Nakazawa e Cerri, 1990; Cerri, 1993; Augusto Filho e Virgili, 1998, entre outros.

A ocupação desordenada das vertentes nas regiões serranas brasileiras tem provocado inúmeros acidentes. De acordo com Fernandes e Amaral (1996), as metrópoles brasileiras convivem com acentuada incidência de escorregamentos induzidos por cortes para implantação de moradias e vias de acesso, desmatamentos, atividades de mineração, lançamento de águas servidas e de lixos, causando grandes danos.

No grande acidente ocorrido em Petrópolis (RJ) em 1988 que resultou em 171 mortes, Nunes *et al.* (1990) e Nakazawa e Cerri (1990) verificaram que mais de 90% dos escorregamentos foram induzidos pela ocupação desordenada das encostas do município (AUGUSTO FILHO E VIRGILI, 1998).

As principais alterações decorrentes da ação antrópica na ocupação das vertentes consideradas por Augusto Filho e Virgili, (1998) como indutoras de escorregamentos são as seguintes: remoção da cobertura vegetal; lançamento e concentração das águas servidas; vazamento na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas; execução de cortes com geometria inadequada quanto a altura e inclinação; execução de aterros de modo inadequado quanto à compactação, geometria e fundação; lançamento de lixo e entulho nas encostas; vibrações produzidas por tráfego pesado, explosões, etc.

Silva (2001, citado por ARAÚJO, 2004) destaca outras interferências da ação humana, tais como, modificações no padrão de drenagens pelo despejo de lixo, pela construção de moradias em calhas naturais e os cortes inadequados pra abertura de ruas. Este autor cita ainda as atividades de mineração e obras de engenharia que causam vários problemas, como grandes escavações, cortes e disposição de rejeitos e estéreis na forma de aterros, bota fora e barragens, os quais produzem alterações na declividade, na drenagem natural, na cobertura vegetal, no escoamento superficial, no fraturamento dos maciços, etc.

### **3.3. Metodologias de Mapeamento de Risco a Escorregamentos**

Diante da grande diversidade de abordagens e procedimentos metodológicos de mapeamentos de risco a escorregamentos, serão discutidas aqui apenas algumas propostas que têm sido adotadas como principais referências. Destacam-se neste item, as metodologias de obtenção dos mapas de perigo e de suscetibilidade, uma vez que consistem em etapas fundamentais da avaliação de risco.

Internacionalmente, importantes revisões sobre perigo e risco a escorregamentos foram efetuadas pelos seguintes autores: Carrara (1983), Varnes (1984), Hartlén & Viberg (1988), Einstein (1988), Cooke & Doorkamp, 1990, entre outros. No Brasil, os trabalhos de mapeamento de riscos geológicos, são ainda em pequeno número, destacando-se os seguintes: Amaral (1992), Cerri (1992, 1993), Gusmão Filho *et al.* (1992), Macedo (1992), Augusto Filho (1994, 2001), Alheiros *et al.* (2003), Tominaga *et al.* (2004), Marchiori-Faria *et al.* 2005, entre outros.

#### **3.3.1. Mapas de Suscetibilidade a Escorregamentos**

Na literatura geomorfológica, geotécnica e de geologia de engenharia, as análises de suscetibilidade a escorregamentos muitas vezes são referidos como estudos de previsão de áreas instáveis devidos aos escorregamentos.

O mapa de suscetibilidade a escorregamentos desenvolvido inicialmente por Brabb *et al.* (1972) teve seu conceito difundido e seus procedimentos expandidos por diversos autores. Neste estudo, os autores acima citados, adotaram uma metodologia quantitativa com base em análise estatística para avaliar a influência dos fatores considerados como condicionantes de escorregamentos na estabilidade de vertente em San Mateo, Califórnia. As técnicas de mapeamento e de análises quantitativas utilizadas foram as seguintes:

- Medidas da área de afloramento de cada tipo litológico;
- Medidas das áreas de escorregamentos dentro de cada litologia, pela superposição de um mapa de inventário de escorregamento sobre o mapa geológico;

- Ordenamento dos tipos litológicos, segundo a porcentagem de escorregamentos, do maior para a menor porcentagem, os quais foram avaliados quanto ao grau de suscetibilidade a escorregamentos.
- Sobreposição de um mapa de declividade ao de geologia e de escorregamentos para determinar a associação entre eles.
- Definição de classes de perigo com base na suscetibilidade dos tipos litológicos e das classes de declividade de vertentes avaliados a partir da associação com os escorregamentos.

A avaliação da suscetibilidade, de acordo com Einstein (1988), é resultante da combinação das informações do meio físico (tipo de solo, declividade, clima, etc.) e do mapa de inventário de escorregamentos. Os atributos (indicadores) descritos neste mapa são analisados em termos qualitativos, indicando, por exemplo, baixa, média ou alta suscetibilidade.

Alguns autores, como Einstein (1988), Cooke & Doorkamp (1990) Fernandes e Amaral (1996), consideram que o mapa de suscetibilidade corresponde também ao mapa de perigo de escorregamento (*landslide hazard*), uma vez que representam as probabilidades espaciais, as quais podem ser consideradas também como indicativas das probabilidades temporais.

Mapas de suscetibilidade, para Cooke & Doorkamp (1990), representam um estágio além do mapa de inventário, ou mesmo do mapa geomorfológico, nos quais se definem tendências à instabilidade em adição às vertentes que já sofreram escorregamentos. Uma classificação típica para estes casos é mostrada na Tabela 3.3. O mapa de suscetibilidade expressa um julgamento sobre o quão próximo se encontra a vertente do limiar de instabilidade.

Os autores acima citados sugerem que se o mapa de suscetibilidade ou de perigo de escorregamentos for produzido para uso de planejadores, é mais adequado simplificar o mapa adotando cores ou sombras para as zonas de diferentes suscetibilidades. Como exemplo da possibilidade de uso do conhecimento geomorfológico na gestão ambiental, a Tabela 3.4 mostra resumidamente, o esquema usado em Grindlewald, nos Alpes Suíços (KIENHOLZ, 1978), onde as classes de perigo são expressas sem ambigüidades e não demandam nenhum conhecimento geomorfológico específico do usuário.



Fernandes e Amaral (1996) também concordam que o mapa de suscetibilidade deve conter informações sobre a probabilidade espacial, probabilidade temporal, tipos, magnitudes e velocidades de avanço dos escorregamentos de uma determinada área, o qual corresponde ao mapa de perigo de escorregamento (*landslide hazard maps*) tratado por Varnes (1984) e Einstein (1988), entre outros. Os autores acima consideram que os mapas de suscetibilidade a escorregamentos constituem-se em instrumentos técnico-científicos fundamentais para o controle e redução das conseqüências destes acidentes.

No entanto, como alertam Cooke & Doorkamp (1990), toda predição de perigo de escorregamento precisa ser revisada, sempre que se tenha uma significativa alteração na gerência territorial. Os efeitos da ação do homem na vertente podem tanto aumentar como diminuir o potencial de escorregamentos e as mudanças induzidas pela ação deste agente são, normalmente muito mais rápidas que a maioria das mudanças naturais.

Tabela 3.3 - Classificação de vertentes de acordo com as características de estabilidade (baseado em CROZIER, 1984 e COOKE & DOORKAMP, 1990).

---

Classe I	Vertentes com escorregamentos ativos. Movimentos podem ser contínuos ou sazonais.
Classe II	Vertentes freqüentemente sujeitos a novos escorregamentos ou a reativação de antigos. Os intervalos de recorrência dos eventos de escorregamentos são de até cinco anos.
Classe III	Vertentes sujeitos a escorregamentos (novos ou a reativação de antigos) pouco freqüentes. Os intervalos de recorrência são maiores que cinco anos.
Classe IV	Vertentes com evidência de atividade de escorregamentos prévios, mas que não sofreram nenhum movimento nos últimos 100 anos.
Classe V	Vertentes que não mostram evidências de atividade prévia de escorregamento mas são consideradas como prováveis áreas para desenvolver escorregamentos no futuro. O potencial de escorregamentos é indicado pela análise de esforços ou por analogia com outras vertentes.
Classe VI	Vertentes que não mostram evidências de atividade prévia de escorregamento e que pela análise de esforços ou por analogia com outras vertentes, são consideradas estáveis.

---

Tabela 3.4 - Categorias de zoneamento de perigos (hazard) em Grindelwald nos Alpes Suíços (KIENHOLZ, 1978 modificado por COOKE & DOORKAMP, 1990).

Categoria de Perigo	Descrição
3	Casas são destruídas e a população encontra-se em perigo devido a escorregamentos ou avalanches.
2	Perigo baixo para as casas, mas áreas entre as moradias podem ter alguns escorregamentos ou avalanches, conseqüentemente a população pode estar em perigo.
1	Perigo muito baixo para as moradias e, na área externa às moradias, perigo insignificante e pouco freqüente para a população.
0	Não existe perigo.

Na Figura 3.8 apresenta-se um exemplo de mapa de suscetibilidade a movimentos de massa de São Sebastião, elaborado por IG/SMA (1996).

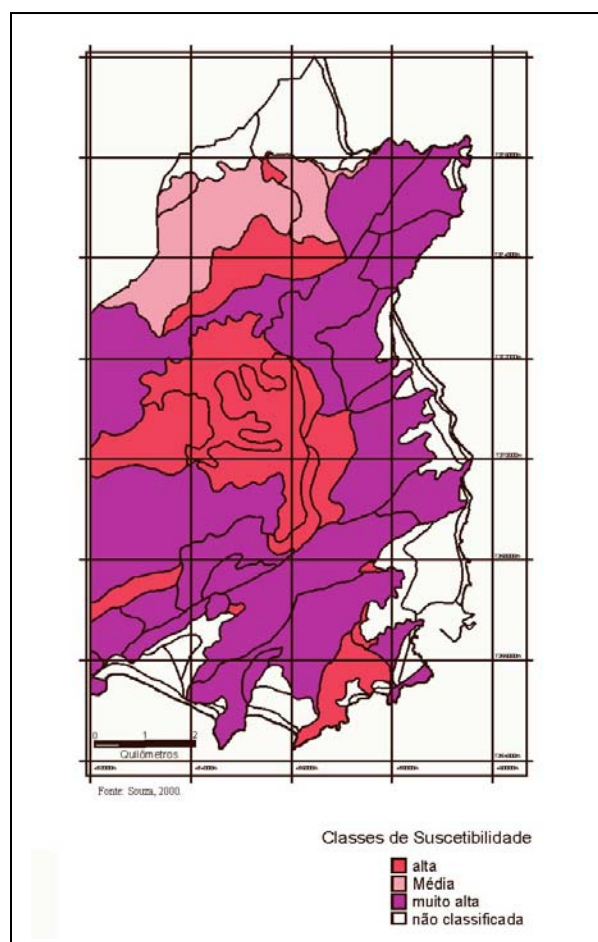


Figura 3.8 - Trecho de mapa de suscetibilidade a movimentos de massa de São Sebastião (IG/SMA, 1996).

O desenvolvimento dos SIGs e dos métodos modernos de modelamento espacial permitiram um considerável aumento na produção de estudos sobre metodologias de avaliação de perigos e de previsão de área instáveis baseados em SIGs (VAN WESTEN, 2004).

Constata-se, assim que os métodos de análise de suscetibilidade ou de estudo para previsão de áreas instáveis tiveram um grande desenvolvimento na última década. Estes métodos, com base em trabalhos de diversos autores, como Barredo et al. (2000), Fernandes et al. (2001), Savage et al. (2004), entre outros podem ser agrupados em três tipos principais: os puramente empíricos; os probabilísticos com bases empíricas e com bases estatísticas; e os analítico-determinísticos.

### **3.3.1.1 Métodos Empíricos**

O método empírico baseia-se na distribuição das cicatrizes recentes e depósitos associados como indicativo das áreas que podem apresentar futuras instabilizações. Por meio da produção de mapas de inventários ou mapas de densidade de ocorrências de um único evento ou de uma série temporal, são indicadas as áreas com potencial de instabilização (CAMPBELL, 1973; GAO, 1993; LARSEN e TORRES-SANCHEZ, 1998; AMARAL, 1996 citados por FERNANDES *et al.* 2001). Estes modelos usam dados pluviométricos regionais, mapeamentos geológicos e geomorfológicos, dados geotécnicos, e dados digitais do terreno em SIG para estimar as distribuições espacial e temporal do potencial de instabilidade das vertentes.

Numa outra abordagem empírica são adotadas correlações estatísticas multivariáveis dos fatores de instabilização de vertentes, com os locais que apresentaram escorregamentos. Os fatores considerados podem ser: ângulo da vertente, curvatura da vertente, substrato litológico, tipo de solo, e morfologia da bacia. Isto permite a análise de outras áreas que apresentem fatores com características semelhantes, as quais podem se tornar futuras áreas de instabilização (GUZZETTI *et al.* 1999, CARRARA *et al.* 1995).

Barredo *et al.* (2000), também aplicaram análise estatística multivariáveis, no qual a combinação dos fatores que causaram os escorregamentos no passado é

determinada estatisticamente permitindo predições quantitativas para áreas que ainda não apresentaram escorregamentos. Este método, segundo os autores, requer uma coleção de grande número de dados para se obter resultados confiáveis, sendo mais apropriado para mapas de escala média de 1:25.000 a 1:50.000.

Um outro método considerado empírico são as análises efetuadas a partir de mapeamentos geomorfológicos e/ou geotécnicos, produzindo, em geral, um mapa de suscetibilidade por meio da combinação de vários mapas referentes aos fatores condicionantes da instabilização, aos quais são atribuídos notas e pesos, a partir da experiência do profissional (FERNANDES *et al.*, 2001). Este método, também denominado de heurístico, baseia-se em análise de especialista que decide o tipo e grau de perigo (*hazard*) para cada área através de técnicas de integração de dados, incluindo combinação de parâmetros qualitativos. Barredo *et al.* (2000), por meio de um especialista em Geomorfologia, utilizaram uma análise denominada *analytical hierarchy process* (AHP), em que são atribuídos pesos para diversos parâmetros do terreno com influência no desenvolvimento de escorregamentos. Os *layers* dos parâmetros são então combinados em SIG para determinar os “valores” de perigo.

Com o desenvolvimento dos SIGs, estes procedimentos de combinação de vários mapas e de atribuição de pesos, estão sendo muito utilizados nas últimas duas décadas. No entanto, muitos autores como Guzzetti *et al.* (1999), Van Westen (1993), Gee (1992), Fernandes *et al.* (2001), entre outros, consideram que este tipo de análise caracteriza-se por uma grande subjetividade, dependendo da experiência e do nível de conhecimento do problema pelo investigador. Além disso, cada especialista adota diferentes critérios e regras de classificação, dificultando a comparação e análise dos resultados, quanto à importância relativa dos parâmetros empregados.

### **3.3.1.2. Métodos Probabilísticos**

Os métodos probabilísticos em bases empíricas utilizam registros históricos de ocorrências de escorregamentos para prever espacial e temporalmente, os futuros escorregamentos. Os resultados das análises com bases empíricas são representados em mapas baseados em SIG (SAVAGE *et al.* 2004).

As análises com bases estatísticas conferem menor subjetividade nos mapeamentos de áreas suscetíveis, possibilitando melhor replicabilidade. Estes procedimentos baseiam-se no princípio de que os fatores que causaram a instabilidade de um determinado local no passado, poderão gerar novas instabilizações no futuro (CARRARA *et al.*, 1991, 1995; VAN WESTEN, 1993; GUZZETTI *et al.*, 1999). Entretanto, deve-se destacar que, como os critérios e regras de combinação nestes métodos baseiam-se em padrões mensurados a partir de observações e/ou ensaios de campo, torna-se necessária, a disponibilidade de extensos bancos de dados sobre os processos estudados, o que é muito raro na realidade brasileira (FERNANDES *et al.*, 2001).

### **3.3.1.3. Métodos Determinísticos**

Os métodos analíticos ou determinísticos são abordagens que utilizam modelos matemáticos em bases físicas, ou seja, que descrevem alguns dos processos e leis físicas que controlam a estabilidade de vertentes (FERNANDES *et al.*, 2001).

De acordo com Savage *et al.* (2004), tais métodos baseiam-se na aplicação de modelos simples de fluxo de água subterrânea combinado com análise de vertente infinita para estimar a instabilidade potencial relativa da vertente em um sistema de SIG. Programas computacionais baseados neste método analítico incluem, SINMAP (PACK *et al.* 1998), SHALSTAB (MONTGOMERY & DIETRICH 1994), TRIGRS (SAVAGE *et al.* 2003), entre outros.

A heterogeneidade mecânica, geométrica e hidrológica dos solos limitam a utilização dos métodos com base somente em SIG para fornecer uma avaliação detalhada do perigo a escorregamentos. Mapeamento das variações subsuperficiais da espessura, do grau de saturação, das propriedades hidráulicas, da resistência ao cisalhamento, e outros parâmetros dos solos com efeitos sobre a estabilidade de vertente em uma dada região, são usualmente muito difíceis, senão impossíveis de se obter. Sendo assim, os modernos métodos de modelos de estabilidade de vertentes com base em SIG são úteis apenas para avaliações preliminares da estabilidade para grandes extensões de áreas. Para áreas específicas ou localizadas, a avaliação de estabilidade de vertente necessita de estudos mais detalhados (SAVAGE *et al.*, 2004).

Fernandes *et al.* (2001) também consideram que as limitações na aplicação destes procedimentos são decorrentes do conhecimento incompleto de muitos dos processos envolvidos, associado à dificuldade de obtenção dos dados contemplados nos modelos, principalmente quando aplicados a áreas mais extensas.

Em outra abordagem de análise determinística, utilizam-se modelos de estabilidade de vertentes para determinar o perigo de escorregamento, por meio de cálculo do fator de segurança. Modelos determinísticos são mais apropriados para fornecer as informações quantitativas do perigo de escorregamentos, as quais podem ser usadas diretamente em projetos de engenharia, ou na quantificação do risco. Contudo, este método requer uma grande quantidade de dados detalhados, derivados de testes de laboratório e de medidas de campo, os quais podem ser aplicados apenas para estudos com escala grande e em áreas menores (VAN WESTEN, 2004).

Quanto à análise de estabilidade relacionada a escorregamentos rasos induzidos por chuva, muitos autores têm desenvolvido modelos utilizando SIG combinados com modelos da dinâmica hidrológica que simulam a poro pressão ao longo de um período de tempo, com modelos de estabilidade de taludes que quantificam a suscetibilidade como o limiar crítico da poro-pressão (TERLIEN *et al.*, 1995; GRITZNER *et al.*, 2001; CHEN & LEE, 2003 *apud* VAN WESTEN, 2004).

Enquadra-se também neste tipo, o modelo SHALSTAB (DIETRICH & MONTGOMERY, 1998) que é um modelo matemático-determinístico baseado numa combinação da equação de vertente infinita e um componente hidrológico de fluxo subsuperficial raso. Voltado para definição dos locais mais suscetíveis à ocorrência de escorregamentos translacionais rasos, tem sido aplicado na região oeste dos Estados Unidos (MONTGOMERY, 1994; MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; MONTGOMERY *et al.*, 1998) e, mais recentemente no Brasil (GUIMARÃES *et al.*, 1999; FERNANDES *et al.*, 2001). Como destacado por Fernandes *et al.* (2001), o diferencial deste modelo é contemplar o papel desempenhado pela topografia quanto à declividade e área de contribuição, na deflagração de escorregamentos translacionais.

Outros modelos de estabilidade de taludes, como o SINMAP (Stability Index Mapping), que é uma extensão do ArcView, e LISA (Level I Stability Analysis) também são baseados na equação da vertente infinita (VAN WESTEN, 2004).

Contudo, o uso de modelos físicos para zoneamento de perigo a escorregamentos com uso de SIG também tem seus problemas. Como pondera Van Westen (2004), os dados utilizados normalmente têm um alto grau de incerteza, os valores que resultam dos cálculos não devem ser considerados como valores absolutos para a ocorrência de escorregamentos e, por conseguinte, não podem servir diretamente para a avaliação quantitativa do risco. Além disso, torna-se necessária uma considerável parametrização e, para uma análise precisa, a estimativa da espessura do solo é indispensável, mas a obtenção deste parâmetro ainda encontra grandes dificuldades.

### **3.3.2. Mapas de Perigo a Escorregamentos**

Assim como Carrara (1983) reconheceu em sua revisão dos objetivos e métodos de mapeamento de perigo a escorregamentos, não há um único método padronizado. Diferentes métodos podem ser desenvolvidos para se adaptarem à natureza de uma área ou de um projeto particular.

Uma das classificações mais completas dos métodos de avaliação de suscetibilidade e de perigo a escorregamentos é a apresentada por Aleotti & Chowdhury (1999) na Figura 3.9, formulada com base em classificações anteriores de Carrara (1983), Hansen (1984), Leroi (1996), Soeters & Van Westen (1996).

De acordo com esta proposta, os métodos de avaliação de perigos de escorregamentos são divididos, inicialmente em dois grandes grupos identificados como metodologias qualitativas e quantitativas.

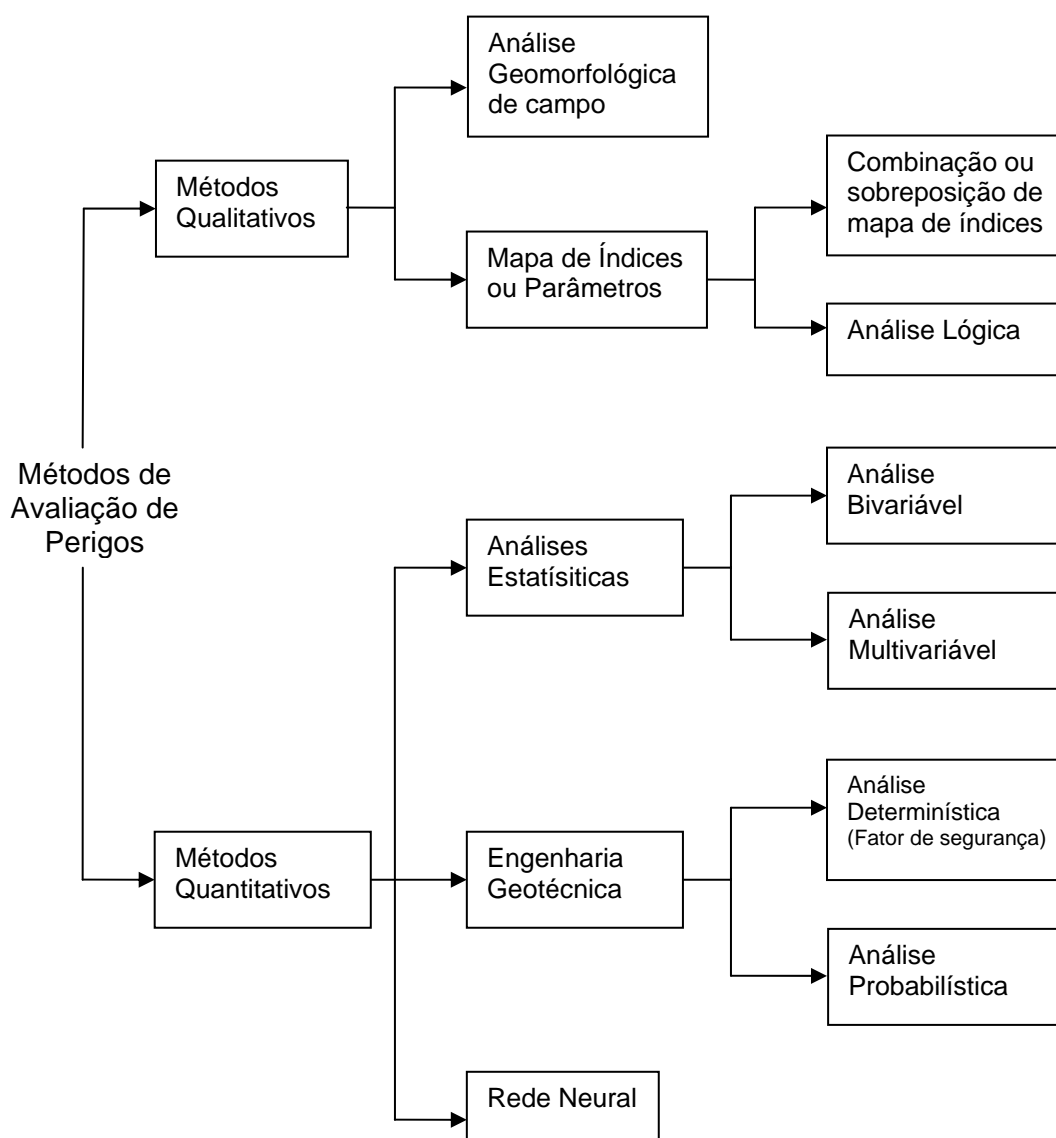


Figura 3.9 – Classificação de métodos de avaliação de perigos a escorregamentos, modificado de Aleotti & Chowdhury, (1999).

### 3.3.2.1. Metodologias Qualitativas

Em geral métodos qualitativos são baseados no julgamento do profissional que está realizando a avaliação. Os dados considerados são usualmente derivados de observações de campo e de interpretação de fotos aéreas. Os métodos qualitativos, também denominados de Métodos de Avaliação de Especialista por Leroi (1996), podem ser baseados em análise geomorfológica de campo, ou em análise de combinação ou superposição de mapas de índices.



### **Análise geomorfológica**

Nos métodos qualitativos que utilizam a análise geomorfológica, a avaliação e o zoneamento são realizados diretamente no campo pelo profissional das ciências da terra, baseado em sua experiência de outras situações similares. Neste caso, o mapa de estabilidade de vertentes é gerado a partir das informações de um mapa geomorfológico de detalhe. Isto permite uma avaliação rápida de uma dada área, levando em consideração um grande número de fatores. Pode ser utilizada em variadas escalas e adaptada aos requisitos específicos de cada localidade (ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999).

No entanto, Leroi (1996) aponta as principais desvantagens desta abordagem como: (a) a subjetividade na escolha das regras e dos dados envolvidos na estabilidade de vertentes ou no perigo de instabilização. Este fato dificulta a comparação dos mapas de perigos a escorregamentos produzidos por diferentes especialistas; (b) o uso de regras implícitas em preferência às explícitas impede a análise crítica dos resultados e dificulta a atualização do sistema de avaliação com novos dados; (c) a necessidade de pesquisas de campo prolongadas.

Contudo, diversos autores têm adotado a análise geomorfológica para identificação e zoneamento das áreas propícias a escorregamentos, tais como, Brunsden *et al.*, 1975; Canuti *et al.*, 1987; Kienholz, 1978; Malgot & Mahr, 1979, entre outros, citados por Cooke & Doorkamp, 1990. A identificação destas áreas inicia-se usualmente com um mapa de inventário, onde se registra a posição e característica de qualquer escorregamento existente. Isto permite mostrar onde os escorregamentos podem ser reativados e, nos locais onde já ocorreram, investigar as causas do escorregamento.

A finalidade da avaliação é identificar os locais que estão próximos do limiar do movimento, ou seja, as vertentes onde o fator de segurança ( $F_s$ ) está próximo da unidade e portanto próximo da ruptura. Um dos procedimentos mais utilizados para esta análise consiste das seguintes etapas: análise local (*in situ*) com investigação sistemática dos principais fatores associados aos escorregamentos e registro das propriedades de vertente; análise estatística ou seleção de técnicas de cartografia; elaboração de mapa de escorregamentos (inventário); elaboração de mapa geomorfológico; e elaboração de mapa de suscetibilidade e perigo a escorregamentos (COOKE & DOORKAMP, 1990).

### ***Síntese baseada em sobreposição ou combinação de mapas de índices ou parâmetros***

Neste método, o especialista seleciona e mapeia os fatores que afetam a estabilidade de vertentes e, baseado na experiência pessoal, determina para cada um, um valor ponderado proporcional à esperada contribuição relativa em gerar a instabilização. Para esta análise, Soeters & Van Westen (1996) sugerem as seguintes operações: subdivisão de cada parâmetro em um número relevante de classes; atribuição de valores ponderados para cada classe; atribuição de valores ponderados para cada parâmetro; sobreposição dos mapas de índices; e desenvolvimento do mapa final com as classes de perigo.

As vantagens desta abordagem metodológica são relativas à considerável redução do problema de regras ocultas e permitir a total automação das operações acima listadas por meio do uso de SIG. Além disso, torna possível a padronização das técnicas de gerenciamento dos dados, desde sua aquisição até a análise final. A principal desvantagem desta técnica é o envolvimento de operações demoradas, especialmente quando se tratam de áreas extensas. O problema da subjetividade em atribuir valores ponderados para cada parâmetro ou fatores também permanece, bem como a dificuldade de extrapolação de um modelo desenvolvido para uma área particular para outros locais ou zonas (ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999).

Uma outra forma de abordagem considerada por Aleotti & Chowdhury (1999) dentro desta mesma linha de pesquisa, é denominada de modelo lógico-analítico. Este modelo consiste em propor tentativamente relações entre os fatores ponderados com base na experiência. Aplicando as relações propostas é possível prever a instabilização de vertentes por escorregamentos e, pela comparação dos resultados com os dados de monitoramento, definir o grau de concordância. Neste estágio os relacionamentos estabelecidos podem ser calibrados variando os pesos dos elementos.

#### **3.3.2.2. Métodos Quantitativos**

##### ***Análises Estatísticas***

O método de análise estatística, dado por meio da comparação da distribuição espacial dos escorregamentos com os parâmetros considerados,

procura solucionar a subjetividade na atribuição de valores ponderados para os fatores associados com a estabilidade de vertentes das abordagens qualitativas. Os resultados podem ser aplicados para áreas que atualmente não apresentam escorregamentos, mas onde existem condições de suscetibilidade de futuras instabilidades. A principal dificuldade consiste em estabelecer o processo de ruptura da vertente e em identificar e avaliar os diferentes fatores relacionados aos escorregamentos. Uma das principais vantagens é a possibilidade de validar a importância de cada fator e decidir a forma de entrada no mapa final de maneira interativa. A realização destas operações é facilitada com a utilização de SIG e, em grande parte a “popularidade” da abordagem estatística se deve ao incremento nas aplicações destas técnicas (ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999).

A análise estatística pode ser bivariável ou multivariável, conforme descrito a seguir.

### ***Análise estatística bivariável***

Em análise estatística bivariável cada fator é comparado com o mapa de escorregamentos (inventário). Os valores ponderados das classes usados para categorizar cada parâmetro são determinados com base na densidade de escorregamentos em cada classe individual. Esta análise requer as seguintes operações: (a) seleção e mapeamento de parâmetros significativos e sua categorização em um número de classes relevantes; (b) mapeamento dos escorregamentos; (c) sobreposição do mapa de escorregamentos com os mapas de cada parâmetro; (d) determinação de densidade de escorregamentos em cada classe dos parâmetros e definição dos valores ponderados; (e) atribuição dos valores de ponderação para os vários mapas de parâmetros; (f) mapeamento final por sobreposição e cálculo do valor final de perigo ou suscetibilidade para cada unidade de terreno identificado (ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999).

O método estatístico bivariável é amplamente utilizado nos estudos das ciências da terra, nos quais se considera um grande número de parâmetros, tais como: litologia, ângulo de inclinação de vertente, altura da vertente, uso do solo, morfologia do relevo, densidade de drenagem, distância das principais estruturas, etc. Esta abordagem tem sido adotada também com sucesso nos trabalhos de mapeamento de perigos de processos de movimentos de massa superficiais. Em alguns casos, o principal fator de predisposição encontrado foi a declividade da

vertente. Este parâmetro foi analisado por diversos autores junto com outras características como a agudeza da crista, o aspecto (orientação) da vertente, o tipo de solo e a cobertura vegetal (ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999).

### ***Análise estatística multivariável***

Os procedimentos da análise estatística multivariável proposto por Aleotti & Chowdhury (1999) foram baseados principalmente nos trabalhos de Carrara (1983) e Carrara et al. (1991). Estes procedimentos envolvem várias etapas preliminares, as quais são experimentadas em áreas testes. Uma vez que, os resultados tenham sido verificados, estes são estendidos para toda a área de estudo. As etapas requeridas são as seguintes: (1) classificação da área de estudo em unidades de terreno (*land units*); (2) identificação dos fatores significativos e criação dos mapas de dados; (3) construção do mapa de inventário de escorregamentos; (4) identificação da porcentagem da área afetada por escorregamentos em cada unidade de terreno e sua classificação em unidades estáveis ou instáveis; (5) combinação dos mapas de parâmetros com o mapa de unidades de terreno e organização de uma matriz de presença/ausência de uma dada classe, de um dado parâmetro em cada unidade de terreno; (6) análise estatística multivariável: devido à grande quantidade de dados, esta análise é efetuada com o uso de *software* específico que, atualmente encontra-se incluído no pacote de programas do SIG; (7) reclassificação das unidades de terreno baseado nos resultados obtidos na fase preliminar e determinação das classes de suscetibilidade.

### ***Modelos Geotécnicos Determinísticos***

Modelos geotécnicos determinísticos são voltados para análise de vertentes ou de locais específicos para fins da engenharia. Conforme Aleotti & Chowdhury (1999), as principais propriedades físicas são quantificadas e aplicadas em modelo matemático específico para cálculo do fator de segurança. Estes modelos são, comumente usados em engenharia de solos (mecânica de solos) para estudos de estabilidade de uma vertente particular. Esta abordagem é amplamente empregada em engenharia civil e em geologia de engenharia e tem sido aplicada para avaliação e mapeamento de perigo de escorregamentos, especialmente após a introdução de SIG. O índice de estabilidade utilizado é, o já bem conhecido, fator de segurança, baseado em modelo geotécnico apropriado.

O cálculo do fator de segurança (FS) requer dados geométricos do terreno, dados de parâmetros de resistência do solo ao cisalhamento (coesão e ângulo de fricção) e informação de poro pressão. Além disso, deve-se decidir se serão usados os valores de pico ou residual da resistência ao cisalhamento para partes específicas da superfície de deslizamento. O fator de segurança precisa ser calculado para cada vertente ou área individual antes de se preparar o mapa de perigo. Por esta razão, tais métodos são normalmente aplicados apenas em pequenas áreas e em escalas de detalhe. A utilização de SIG facilita a simulação de múltiplos cenários baseados em fatores variáveis (usualmente fatores deflagradores de escorregamentos), bem como a construção de mapas de perigos confiáveis (ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999).

### ***Análise com Uso de Redes Neurais***

Análises com redes neurais são consideradas por Carrara (1983) como modelos caixa preta (*black box models*) por não se basear em análises físicas. Lees (1996) descreve rede neural como um dispositivo de processamento implementado como um algoritmo ou um *hardware*, cujo esquema foi inspirado no esquema e funcionamento do cérebro de mamíferos; ele tem um efeito de treinamento dos dados introduzidos de modo a alterar seu estado inicial, isto é, faz algo que não é convencional para um algoritmo: ele pode aprender.

De acordo com Aleotti & Chowdhury (1999), os procedimentos de análise com uso de rede neurais pode ser resumido em cinco passos: (1) atribuição de pesos para as conexões de maneira casual; (2) escolha dos parâmetros que serão introduzidos; (3) cálculo dos resultados e comparação com os resultados esperados; (4) cálculo do erro e alteração dos pesos iniciais; (5) repetição da operação de forma interativa até alcançar a convergência dos resultados calculados e esperados. Esta é a fase de aprendizado, no qual a função de rede neural é criada.

Este tipo de tecnologia foi aplicado por Aleotti *et al.* (1996) para dividir alguns escorregamentos no Norte da Itália de acordo com o grau de perigo, a fim de estabelecer prioridades para o gerenciamento dos escorregamentos ou dos potenciais escorregamentos.

### 3.3.4. Mapas de Risco a Escorregamentos

A grande maioria dos mapeamentos de risco tem sido feita apenas em áreas de extensão limitada, isto se deve à complexidade e dificuldade de se fazer a composição do perigo e do potencial de perda. Assim, ainda há poucos métodos de avaliação e mapeamento de risco a escorregamentos.

Einstein (1988) com base nas propostas de Varnes (1984), Brabb (1984), USGS (1983), sugere uma estrutura de mapeamento de risco a escorregamentos em cinco etapas ou níveis:

*Nível 1* – Mapas do estado da natureza (*state of nature maps*). Correspondem às informações básicas compostas de dados coletados em campo ou na literatura, e que não foram submetidas a interpretações ou sínteses. Estas informações incluem: mapas topográficos; mapas geológicos; mapas de vegetação; mapas hidrológicos (chuva, drenagens, água subterrânea); mapas geotécnicos, e outros.

*Nível 2* - Mapas de inventário de escorregamentos (*danger maps*). Nestes mapas são identificadas as áreas que já apresentaram escorregamentos e as com potencial de instabilidade e a tipologia dos processos. São desenvolvidas a partir dos mapas do nível 1 e das informações adicionais sobre instabilidade de vertentes. Este tipo de mapa não contempla nenhuma previsão, como tempo de retorno ou probabilidade de eventos, mas pode também indicar possíveis eventos.

*Nível 3* – Mapas de Perigo (*hazard maps*). Representam tanto o potencial do terreno em gerar escorregamentos como a probabilidade de sua ocorrência, que pode ser expressa em valores quantitativos ou qualitativos. Estes mapas também são chamados de mapas de suscetibilidade relativa. A estimativa da probabilidade pode ser feita objetivamente ou subjetivamente ou pela combinação de ambas.

*Nível 4* – Mapas de Risco (*risk maps*). Documentam a interação do perigo e suas conseqüências potenciais, que podem ser as que afetem vidas humanas, causem prejuízos econômicos ou que provoquem mudanças ambientais. Uma determinada área sujeita ao mesmo perigo pode apresentar conseqüências diversas dependendo do tipo de uso do solo. O método mais

simples e mais comum de se obter um mapa de risco é por meio da sobreposição do mapa de perigo sobre o mapa de uso do solo.

*Nível 5* – Mapas de Gerenciamento de Escorregamentos (*landslide management maps*). Derivam dos mapas de perigo e risco constituindo as bases para decisão de políticas públicas. São instrumentos técnicos para ações regulatórias e de gerenciamento, tais como zoneamentos, adoção de medidas de mitigação ou de estabilização, implantação de sistemas de monitoramento, entre outros.

Bocquet *et al.* (1984 apud EINSTEIN 1988), em sua proposta metodológica integrada para avaliação de risco em áreas montanhosas, adotaram três principais componentes de risco: 1) o perigo (*hazard*); 2) a modificação do perigo pela interferência humana; e 3) efeito potencial sobre os fatores econômicos e presença humana (potencial de perda). Os níveis de perigo são descritos por uma escala de “a” (alto) a “d” (muito baixo) que combina a intensidade do perigo e sua probabilidade. A ação humana nos três níveis pode tanto reduzir ou aumentar o perigo alterando-os para um ou dois níveis. Perdas potenciais também são classificadas em três níveis cada um, sendo subdividido em perdas devido à presença anual ou sazonal. As perdas potenciais e o perigo modificado são então associados para avaliação do risco da área analisada. Toda esta avaliação, segundo Einstein (1988), é feita de forma qualitativa e subjetiva.

De acordo com Anbalagan (1996), avaliação de risco refere-se a uma estimativa da extensão dos prováveis danos que podem resultar se o escorregamento ocorrer. Os danos podem ser na forma de perdas de vidas ou ferimentos, danos aos recursos da terra e propriedades. Portanto, risco é uma função da probabilidade de ocorrência do perigo (*hazard*) e da provável consequência (dano potencial), e pode ser expresso como:

$$R = f(HP, DP),$$

Onde: HP = probabilidade de perigo (*hazard probability*) e DP = dano potencial.

A avaliação de risco, conforme proposta por Anbalagan (1996), é modelada a partir de uma matriz onde as classes de diferentes graus de Dano Potencial (DP) são associadas às de Perigo (HP), resultando em cinco classes de risco: muito

baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. São elaboradas cartas de risco específicas para cada tipo de dano potencial, por exemplo, danos à população, às terras e propriedades, às rodovias, etc. Na elaboração dos mapas de perigo Anbalagan (1992) utilizou um esquema de avaliação numérico, atribuindo pesos aos principais fatores de instabilização de vertentes.

Em recente revisão do desenvolvimento da Geoinformação para avaliação de risco a escorregamentos, Van Westen (2004), constatou que embora haja um número razoável de publicações focando a proposição de métodos de análise de risco, relativamente poucos tem sido publicados com exemplos de uso de SIG em seu processo.

Conceitos de avaliação de vulnerabilidade a escorregamentos são tratados por Leone et al. (1996), Leroi (1996), Fel & Hartford (1997), Daí et al. (2002), (citados por VAN WESTEN, 2004).

Um dos mais importantes insumos para a análise quantitativa da vulnerabilidade e risco a escorregamentos, é a coleção histórica de informações de eventos de escorregamentos, e a manutenção destas informações em banco de dados em GIS, incluindo informações sobre os prejuízos resultantes do escorregamento. Na Europa vários países estão desenvolvendo seu próprio banco de dados nacionais (DIKAU *et al.*, 1996). Por exemplo, na Itália, há um banco de dados contendo mais de 18.000 escorregamentos, dos quais 1.442 têm informação das conseqüências humanas (GUZZETTI, 2000).

Van Westen (2004) considera que, como indicado na literatura sobre avaliação de risco de escorregamentos, houve um grande desenvolvimento nesta área, na última década, tornando exeqüível a realização de avaliação quantitativa de risco para locais restritos (WU *et al.*, 1996; MORGENSTERN, 1997; EINSTEIN, 1997; FELL & HARTFORD, 1997, citados por VAN WESTEN, 2004). No entanto, a geração de mapas de zoneamento de risco quantitativo, expressando as perdas esperadas em valor monetário como produto da probabilidade de ocorrência de um escorregamento com uma dada magnitude, os custos dos elementos em risco e a vulnerabilidade destes elementos, ainda parece ser um passo distante. Desta forma, os mapas de risco continuam sendo produzidos para muitos municípios seguindo uma metodologia qualitativa e pragmática (MICHAEL-LEIBA *et al.*, 2003). Tais



mapas de risco constituem as bases para o planejamento do desenvolvimento e da sua regulamentação.

Para Rodrigues-Carvalho (1998), as cartas de risco são de difícil realização pela dificuldade de se obter os dados necessários, uma vez que pressupõe o conhecimento da probabilidade de ocorrência do fenômeno, a quantificação da vulnerabilidade e do valor dos elementos em risco. O autor pondera ainda que estas cartas teriam uma aplicabilidade temporal limitada, devido ao caráter dinâmico dos elementos em risco, especialmente nas áreas sob pressão de uso e ocupação do solo. Além disto, estas cartas não são apropriadas para o planejamento municipal que necessita de informações de natureza preventiva quanto aos perigos geológicos e, por outras razões, como o tempo de execução, o custo e o horizonte temporal de utilização.

No Brasil, as experiências de elaboração de cartas de risco associadas aos movimentos de massa são bastante recentes. Os primeiros trabalhos surgiram apenas no final da década de 1980, como os de Prandini *et al.* 1987 e Sobreira, 1989. A partir destes trabalhos evidenciou-se a importância das cartas de risco geológico como instrumento técnico fundamental para ações de gerenciamento e redução das consequências dos acidentes geológicos (CERRI E AMARAL, 1998).

Nesta fase inicial, as cartas de risco foram elaboradas em geral por meio de combinação de mapas temáticos, baseadas em análises essencialmente qualitativas e produzidas manualmente.

Como exemplo, podemos citar a proposta de Cerri (1990) de elaboração de mapas de risco geológico em duas etapas principais. A primeira refere-se a produção do mapa de suscetibilidade pelo cruzamento entre mapas temáticos do meio físico e entre o mapa de uso e ocupação do solo como indutor dos processos geológicos. A segunda prevê o cruzamento do mapa de suscetibilidade com o mapa de uso e ocupação do solo, representando nesta etapa, as consequências (danos) potenciais associados.

As cartas de risco geológico, conforme Fernandes e Amaral (1996), representam a distribuição, os tipos, a frequência, as características, o grau e a hierarquização do risco associado a escorregamentos. O risco pode ser considerado como o resultado da combinação entre a probabilidade de ocorrência do

escorregamento e as conseqüências potenciais, sociais e econômicas, e ser expressa pela equação:  $R = P \times C$  (onde:  $R$  é o risco de escorregamento,  $P$  a probabilidade ou suscetibilidade e  $C$  as conseqüências do escorregamento).

Augusto Filho (1994) propõe um roteiro de elaboração de cartas de risco a escorregamentos no município de Ilhabela (SP) em quatro etapas principais: inventário, investigação, análise e síntese.

IG-SMA (1996) elaborou a Carta de Risco a Movimentos de Massa de São Sebastião (SP) em escala 1:10.000, objetivando apresentar um diagnóstico geral e a hierarquização das diferentes situações de risco voltado para subsidiar o planejamento e a priorização de medidas mitigadoras por parte do poder público municipal. Para uma setorização preliminar do risco foram analisados: os padrões e tipos de relevo; os aspectos morfométricos representados nas cartas hipsométricas e clinográficas; as feições de movimentos de massa e de instabilidade de vertente; feições antrópicas indutoras dos processos de movimentos de massa; e as estruturas geológicas (foliações, falhas e fraturas). Esta setorização preliminar, considerando as feições naturais e antrópicas do terreno, foi confrontada posteriormente com as unidades de uso e ocupação do solo visando diferenciar e hierarquizar os riscos em função do tipo e padrão da ocupação e definir a setorização final do risco (MOURA-FUJIMOTO *et al.*, 1996).

O procedimento metodológico sugerido por Fernandes e Amaral (1996) pode ser aplicado em diversas escalas, porém seu uso é mais adequado para escalas maiores que 1:5.000, quando atendem ao planejamento e/ou implantação de infraestrutura para áreas habitadas. Esta metodologia de elaboração de cartas de risco envolve a identificação e análise do risco, sendo que a identificação contempla a definição, a caracterização, a delimitação e a determinação dos condicionantes dos escorregamentos, bem como da sua área de influência. A análise do risco contempla a qualificação e quantificação do risco e da identificação dos diferentes graus de risco. Essas cartas de risco foram aplicadas na cidade do Rio de Janeiro pela GEORIO, com a finalidade de priorizar as medidas de eliminação do risco.

Com a implementação dos SIGs e da maior capacidade de processamento dos computadores e seguindo uma tendência mundial, verifica-se entre pesquisadores brasileiros, por exemplo, Anjos, 1999; Guimarães *et al.*, 1999; Fernandes *et al.*, 2001; Augusto Filho, 2001, um crescimento no número de estudos

aplicando métodos de quantificação para análise tanto da probabilidade de perigos como das consequências (riscos geológicos).

A proposta de Augusto Filho (2001) para elaboração de cartas de risco de escorregamentos quantificadas em ambiente de SIG, envolve três etapas principais:

**Etapas de Inventário:**

Cadastro de eventos e acidentes de escorregamentos;

Definição dos modelos de instabilização (qualitativos); e

Seleção dos condicionantes ambientais (chuva, geologia, declividade, uso e ocupação do solo, etc.)

**Etapas de Análise de Perigo:**

Definição e aplicação dos modelos qualitativos e quantitativos determinísticos para a definição dos níveis de suscetibilidade (índices, retroanálises, cálculo de Fator de Segurança, etc.);

Definição e aplicação de modelos qualitativos e quantitativos para a definição do raio de alcance dos escorregamentos analisados;

Definição e aplicação de modelos probabilísticos formais e não formais, para a estimativa das probabilidades de deflagração dos movimentos de massa analisados;

Elaboração da Carta de Perigo de Escorregamentos

**Etapas de Análise de Risco:**

Definição e aplicação dos modelos quantitativos e qualitativos, para a avaliação da vulnerabilidade e a valoração dos elementos sujeitos aos níveis de perigo, identificados na etapa anterior;

Definição e aplicação de modelos quantitativos para o cálculo dos níveis de risco de escorregamento dos elementos da ocupação, expressos em danos/ano;

Apresentação do risco individual (por elemento) e do risco regional;

Elaboração da Carta de Risco de Escorregamentos.

Como citado anteriormente, apesar dos avanços metodológicos na avaliação de risco geológico verificados nos últimos dez anos, para fins práticos, como nos mapeamentos de risco em municípios, voltados para planos de prevenção e erradicação de riscos e/ou planos preventivos de Defesa Civil, adotam-se métodos expeditos e mais pragmáticos.

Em nível nacional a *Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários* do Ministério das Cidades procura articular, desde 2003, juntamente com o sistema Nacional de Defesa Civil, um conjunto de ações visando à redução de risco nas áreas urbanas.

No Estado de São Paulo, a Defesa Civil Estadual iniciou em 1988, o Plano Preventivo de Defesa Civil específico para escorregamentos na Serra do Mar na região da Baixada Santista e Litoral Norte e, a partir de 2000, retomou a implantação destes planos preventivos para outras regiões do estado (Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira, Campinas, Sorocaba e ABCD), totalizando, atualmente 62 municípios atendidos. A identificação e qualificação do risco é um dos principais suportes técnicos para operação destes planos. Assim, para os mapeamentos de risco efetuados com o propósito de fornecer subsídios à Defesa Civil para a identificação e o gerenciamento das situações de risco relacionadas a escorregamentos e inundações em áreas urbanas dos municípios, utilizou-se um procedimento de avaliação qualitativa conjugado com observações de campo, de forma a permitir uma rápida implementação de ações de prevenção e mitigação em áreas prioritárias (MARCHIORI-FARIA *et al.*, 2005).

Tanto a *Ação de Erradicação de Riscos* como os planos preventivos de Defesa Civil têm como etapa prioritária a realização do diagnóstico de risco por meio de uma avaliação qualitativa do risco, a qual, conforme Carvalho (2000), baseia-se na estimativa da probabilidade de ocorrência de processos geodinâmicos perigosos, a partir de análise empírica dos condicionantes e indícios de ocorrência de processo de instabilização observados. A hierarquização das situações de risco é feita com base na experiência e julgamento profissional, em função da possibilidade de ocorrência do processo num determinado período de tempo.

Os procedimentos metodológicos de mapeamento de risco descritos em FUNDUNESP (2003), Cerri *et al.* (2004), Canil *et al.* (2004), Macedo *et al.* (2004), Marchiori-Faria *et al.* (2005) e Santoro *et al.* (2005) consistem em uma avaliação e

análise de risco qualitativa a partir de observações diretas em campo. Nesse sentido, são avaliados os seguintes fatores, considerados como essenciais à análise do risco: a probabilidade ou possibilidade de ocorrência de escorregamentos e inundações/enchentes; a vulnerabilidade em relação às formas de uso e ocupação; e o potencial de dano. Na Figura 3.10 encontra-se um exemplo deste mapeamento.

A probabilidade de ocorrência dos fenômenos de inundações/enchentes e de instabilidades do terreno é estimada a partir da identificação e análise de feições e características do terreno, indicadoras de maior ou menor grau de suscetibilidade, combinadas a observações sobre as formas de uso e ocupação do terreno. A vulnerabilidade do elemento em risco refere-se ao padrão construtivo das residências, qualidade da infra-estrutura local e capacidade da população de enfrentar as situações de risco. O potencial de dano considera o número de moradias e moradores (elementos em risco) potencialmente sujeitos a serem afetados pela ocorrência de um evento (MARCHIORI-FARIA *et al.*, 2005) .

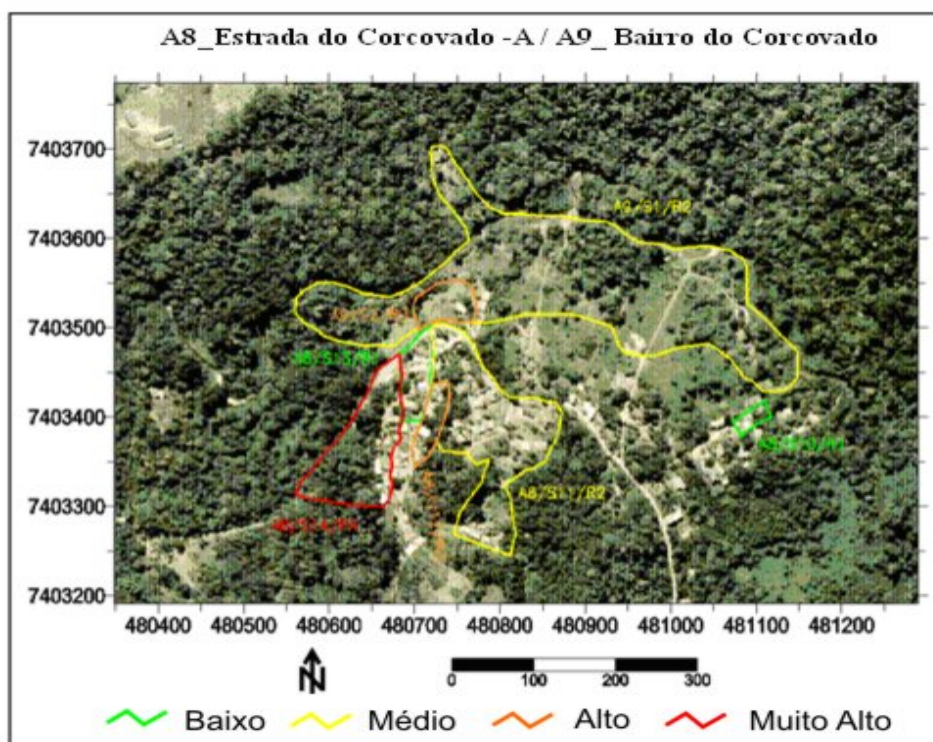


Figura 3.10 – Exemplo de mapeamento de risco em Ubatuba (IG/SMA, 2006).

Para a delimitação dos setores de risco e definição do grau de risco são adotados os critérios propostos em FUNDUNESP (2003), Macedo *et al.* (2004), Canil *et al.* (2004) e Cerri *et al.* (2004), descritos a seguir na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Caracterização dos níveis de risco utilizados na setorização, modificado de Macedo *et al.* 2004a, Canil *et al.* 2004 e Cerri *et al.* 2004.

Risco	Descrição
<b>R1- Baixo</b>	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, solapamentos e inundações. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas, de margens de drenagens e de inundações. Os registros de eventos se ocorreram, são raros. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, são muito reduzidas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
<b>R2- Médio</b>	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, solapamentos e inundações. Observa-se a presença de algumas evidências de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipientes. Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. Os registros de eventos nos últimos anos são mais comuns. Mantidas as condições existentes, são médias as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
<b>R3- Alto</b>	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, solapamentos e inundações. Observa-se a presença de significativas evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, marcas de água em paredes e muros, erosão das margens dos cursos d'água, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
<b>R4- Muito Alto</b>	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, solapamentos e inundações. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, marcas de água em paredes e muros, etc) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, necessitando de intervenção imediata dado seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

## **4. APLICAÇÃO DE UM ENSAIO METODOLÓGICO DE ANÁLISE DE RISCO A ESCORREGAMENTOS EM UBATUBA, SP.**

### **4.1. Caracterização da Área de Estudo**

#### **4.1.1. Localização**

O município de Ubatuba está localizado na Região do Litoral Norte do Estado de São Paulo, distando 245 km da capital e 300 km da cidade do Rio de Janeiro. A área do município, segundo SEADE é de 682 km<sup>2</sup>, com cerca de 80% de seu território situado em Unidade de Conservação (Parque Estadual da Serra do Mar e Parque Nacional da Serra da Bocaina). Os principais acessos ao município são feitos pelas rodovias SP 055, SP 099, SP 125 e BR 101.

A área de estudo corresponde à parte da Folha Topográfica Praia da Enseada (SF-23-Y-D-III-4-SE-E), escala 1:10.000, do IGC (1978), situando-se na porção centro-sul do município, entre os paralelos 23°27'30"S e 23°30'00"S e os meridianos 45°03'45"W e 45°07'30"W (Figura 4.1.1). Na área desta Folha foi selecionado o setor de vertentes compreendido entre as cotas 5 a 200m para aplicação da análise de perigos. Embora a cota 100m delimite o Parque Estadual da Serra do Mar, considera-se que a ocorrência de processos de escorregamentos de maior porte entre as cotas 100 e 200m, ainda teria potencial de causar algum dano à ocupação.

#### **4.1.2. Geologia**

No contexto geológico regional, o município de Ubatuba encontra-se em área de domínio de rochas do embasamento cristalino agrupadas no Complexo Costeiro (HASUI *et al.* 1981).

A distribuição dos litotipos do Complexo Costeiro foi sistematizada em dois conjuntos litológicos associados a entidades geotectônicas. (Hasui *et al.*, 1993, 1994). O primeiro conjunto, composto por gnaisses e metassedimentos de alto grau metamórfico ( fácies granulito), representando níveis crustais mais profundos alçados por processos tectônicos, encontra-se com mais freqüência no trecho Maranduba-Picinguaba (Ubatuba), em São Sebastião, na Serra de Itatins e Serra Negra. Em Ubatuba é representado por gnaisses charnockíticos, os quais foram explorados como rocha ornamental (HASUI *et al.*, 1994).



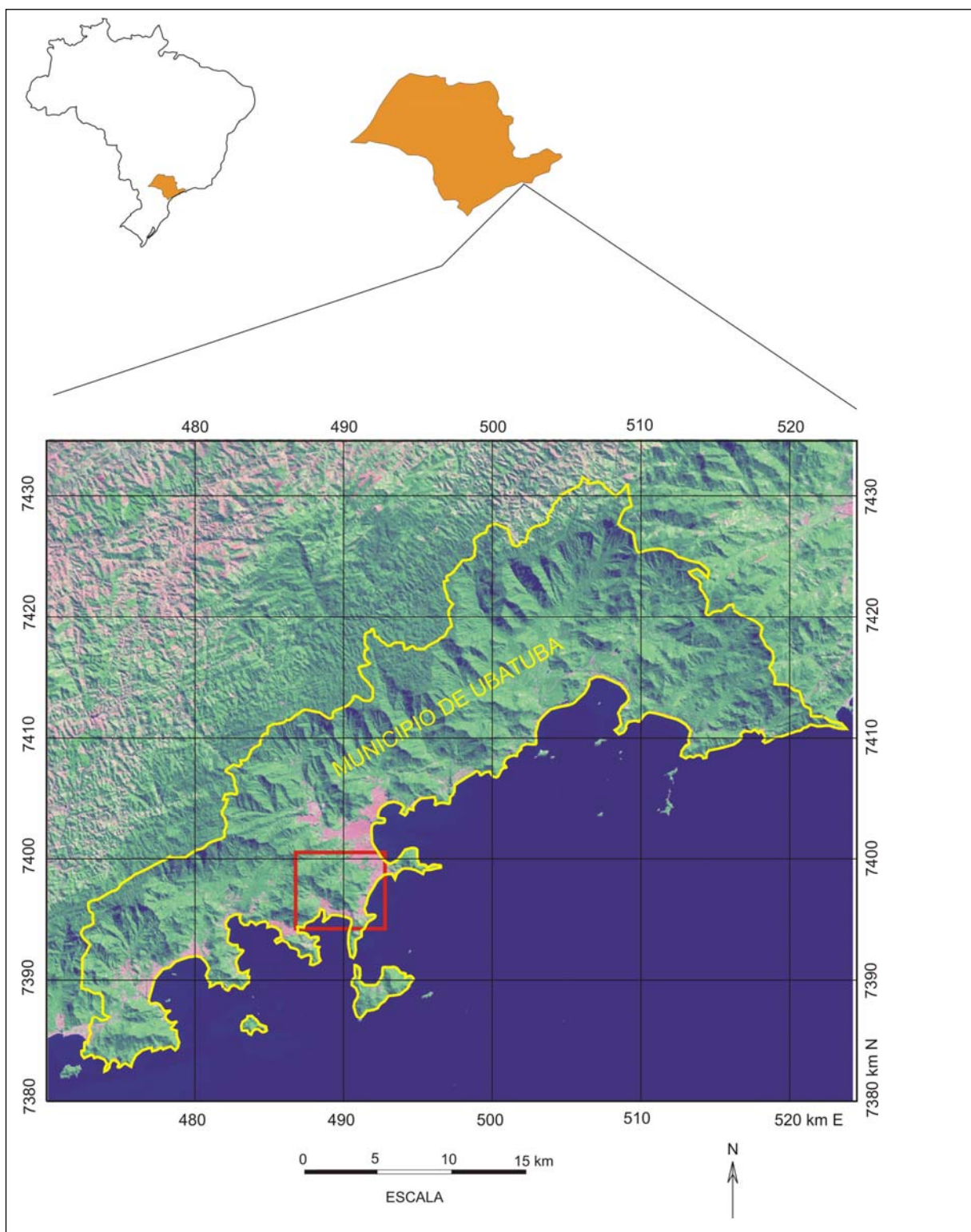


Figura 4.1.1 - Localização da área de estudo.



Morais et al. (1999) reconheceram no Complexo Costeiro, cinco conjuntos litológicos: migmatitos com estruturas diversas; granito-gnaisses porfiroclásticos e/ou biotita-hornblenda migmatito; biotita gnaisses gradando para migmatitos estromáticos; quartzitos e gnaisses peraluminosos; gnaisses peraluminosos passando para migmatito, com *boudins* de calciossilicáticas, quartzitos e anfibolitos (Figura 4.1.2).

Outros conjuntos litológicos de períodos mais recentes são encontrados na região litorânea, formando corpos intrusivos ou coberturas sedimentares. Essas rochas fanerozóicas são representadas principalmente pelos seguintes tipos litológicos: **Granitóides** em pequenos corpos intrusivos de idade cambro-ordoviciano (570-490 Ma); **Rochas intermediárias a ultrabásicas**, compostas principalmente por diabásio e subordinadamente por lamprófiros, dioritos pórfiro, andesitos pórfiros e outros tipos (CAVALCANTE & KAEFER, 1974; FREITAS 1976), formando diques e sills, com direção predominante NE-SW no Litoral Norte, em áreas submetidas a distensão no período do Jurássico superior ao Cretáceo inferior (140-110 Ma), correspondendo aos derrames basálticos e *sills* básicos da Bacia do Paraná; **Rochas Alcalinas**, presentes em forma de corpos intrusivos nas ilhas de São Sebastião, Monte de Trigo, Vitória e outras localidades, que representam também a fase de distensão na época das intrusões, às quais são atribuídas idades em torno de 78 a 84 Ma (HASUI et al., 1994).

Morais et al. (1999) consideraram dois tipos de rochas granitóides, um pouco foliado de formação pós cinemáticos e granitos foliados pré cinemáticos ou pré a sincinemáticos. Dentre os primeiros, destacam-se as rochas charnockíticas, os biotita granitos rosados com hornblenda, os muscovita-biotita granitos e os biotita granitos porfiríticos com hornblenda. Os litotipos mais deformados correspondem aos muscovita-biotita granitos, biotita granitos porfiríticos e granitos leucocráticos com granada.

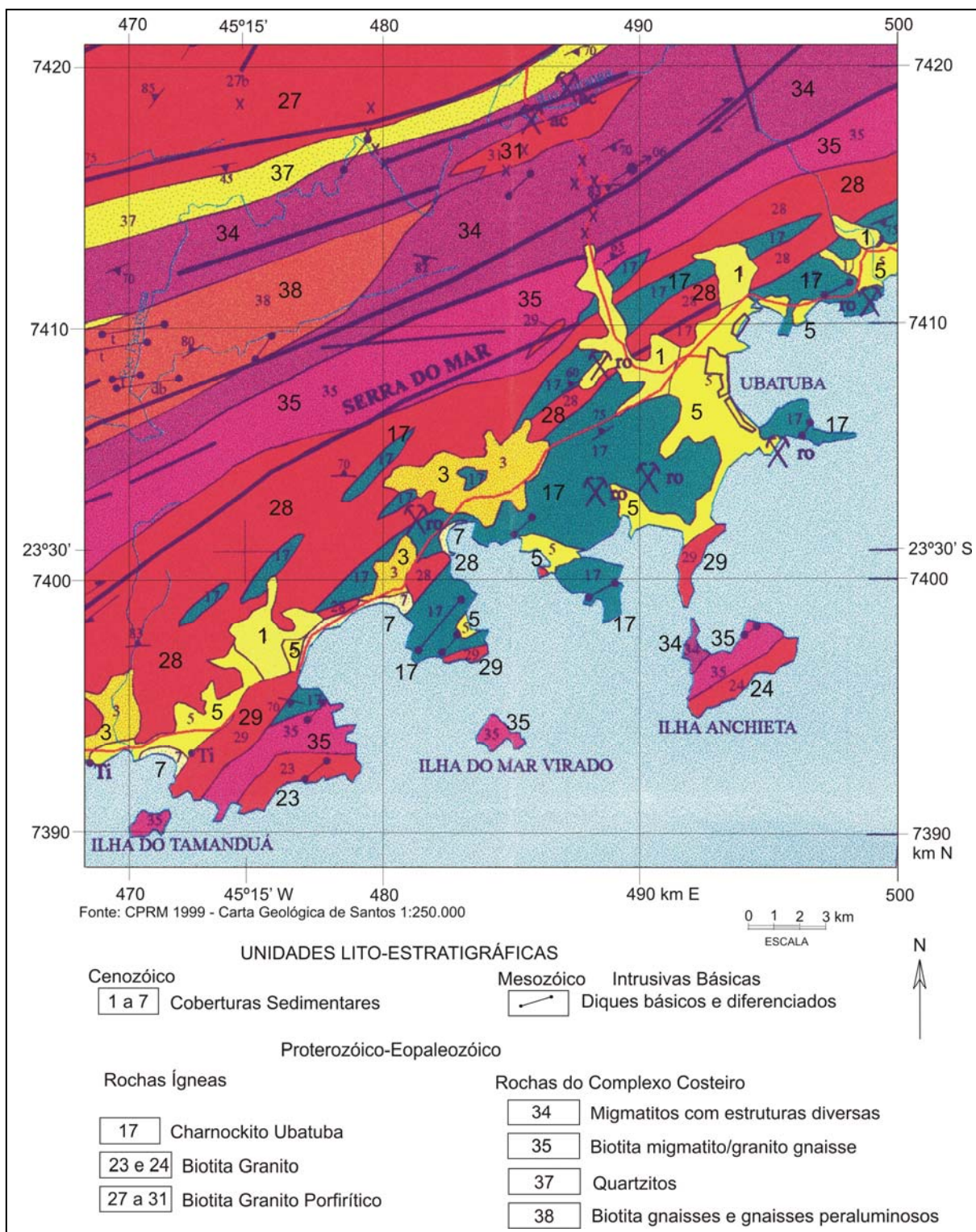


Figura 4.1.2. - Mapa Geológico da Região de Ubatuba (MORAIS *et al.*, 1999).

Os sedimentos cenozóicos mais novos estão amplamente distribuídos ao longo da Província Costeira. Nos sopés das serras observam-se rampas de colúvio e depósitos de talus, que se associam aos cones de dejeção nos vales; nas planícies costeiras apresentam constituição heterogênea, incluindo depósitos fluviais em aluviões e terraços, bem como depósitos marinhos pré-atuais e atuais, de ambiente de transição continental/marinho; na orla litorânea, tem-se os sedimentos marinhos mais novos (FÚLFARO & SUGUIO, 1974; HASUI *et al.*, 1978).

Quanto à evolução tectônica da região, de acordo com a proposta por Hasui *et al.* (1994), consideram-se quatro episódios principais. O primeiro episódio tectônico ocorreu no Pré-Cambriano antigo e envolveu as seguintes etapas: (a) evento de cavalgamento responsável pelo desmembramento de litotipos, deslocamento e empilhamento de lascas, e um sistema imbricado de um cinturão compressivo; (b) o bloqueio do empilhamento de lascas fez com que o alívio das tensões se desse por transcorrências de tipo dextral com direção NE-SW, formando um cinturão transcorrente; (c) ondulações e formação de juntas de mergulhos elevados, refletindo alívios finais de tensões.

O segundo episódio tectônico do início do Paleozóico, representa o período das intrusões granitóides, que provavelmente se estendeu até o Triássico, concomitante a implantação da Bacia do Paraná.

O terceiro episódio tectônico corresponde à Reativação Sul-Atlântica (SCHOBENHAUS & CAMPOS, 1984) ou Wealdeniana (ALMEIDA, 1969) que se refere aos processos ocorridos no interior do continente por ocasião da abertura do Oceano Atlântico, no intervalo Triássico-Mioceno. De acordo com Hasui *et al.* (1994), este episódio foi marcado pelos movimentos de blocos sob regime tectônico extensional, gerando grandes soerguimentos, alçamentos e abatimentos de blocos por falhas, possibilitando as intrusões magmáticas, os derrames vulcânicos, a sedimentação e a delimitação dos grandes traços do relevo.

O quarto episódio tectônico é referente à Neotectônica (Mioceno-Recente). Estudos estruturais de Saadi *et al.* 1991 indicam que o regime tectônico vigente é do tipo transcorrente. Segundo Hasui *et al.* (1994), as “falhas neoformadas são basicamente de tipo transcorrente e descontinuidades preexistentes podem ser reativadas com caráter transcorrente, normal ou inverso dependendo de sua orientação em relação ao tensor”.

#### 4.1.3. Geomorfologia

No relevo do município de Ubatuba, destaca-se a escarpa frontal da borda do Planalto Atlântico com desníveis que ultrapassam 1000m, a qual, à medida que se aproxima da costa rebaixa-se em patamares formando espigões secundários, morros e rampas coluviais até atingir a Planície Costeira. Este conjunto de tipos de relevo que compõe a Serra do Mar, incluiu-se no Setor de Serrania.

De acordo com a divisão geomorfológica proposta por Almeida (1964), estes terrenos inserem-se na Província Costeira, dividida em duas zonas: Serrania Costeira e Baixadas Litorâneas. A Zona Serrania Costeira é subdivida nas subzonas Serra do Mar e Serra de Paranapiacaba. O autor define como Província Costeira, toda a área do Estado de São Paulo drenada diretamente para o mar, formando o rebordo do Planalto Atlântico, e caracterizada, por uma região serrana contínua, que, à beira-mar, passa a ser ocupada por uma sequência de planícies costeiras de variadas extensões.

Ponçano *et al.* (1981), com base no conceito de sistemas de relevo, reconheceram cinco grandes unidades na Zona Serrania Costeira, incluindo as já definidas por Almeida (1964). Estas unidades referem-se as seguintes subzonas: Serra do Mar, Serra de Paranapiacaba, Serrania de Itatins, Serrania do Ribeira e Planaltos Interiores.

No Mapa Geomorfológico do Estado de escala 1:500.000 (Ross & Moroz, 1997), elaborado de acordo com metodologia desenvolvida no Laboratório de Geomorfologia do Depto de Geografia da FFLCH – USP, baseado nos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura de Guerassimov e Mecerjakov (1968), a região estudada insere-se na morfoescultura do Planalto Atlântico, onde são reconhecidas as unidades morfológicas Escarpa/Serra do Mar e Morros Litorâneos, e na morfoescultura Planícies Litorâneas e Fluviais, representada pela unidade morfológica Litoral Norte.

Em relação à origem das escarpas da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, Ross & Moroz, (1997) consideraram como fatos já amplamente estudados e divulgados por especialistas, os efeitos da tectônica Cenozóica no soerguimento, na reativação de falhas antigas e no basculamento de extensos blocos que propiciaram o surgimento das escarpas destas serras. Os diferentes

níveis altimétricos que se apresentam em degraus de topos retilinizados, como observados na faixa litorânea da escarpa da Serra do Mar, são resultantes dessa tectônica rúptil. Na região são notados os níveis balizados entre 250-300m correspondentes aos morros litorâneos, e os topos da serra entre 800-900m.

Quanto aos materiais dos depósitos de encosta associados a relevos acidentados das áreas serranas, Ponçano *et al.* (1981) subdividiram em três tipos: rampas de colúvios, depósitos de tálus e cobertura coluvionar de encostas, apresentando, em geral, as seguintes características:

- Rampas de colúvios: constituídos por materiais finos com espessuras variáveis, podendo atingir em torno de uma dezena de metros; ocorrem no sopé das vertentes.
- Depósitos de tálus: constituídos por grande quantidade de blocos de rochas em matriz fina, com espessuras variadas podendo atingir dezenas de metros; ocorrem desde os sopés até as partes médias das vertentes.
- Cobertura coluvionar de encostas: são materiais predominantemente argilosos, com quantidades variáveis de fragmentos de rochas de dimensões muito diversificadas e espessuras em geral inferiores a 1 m; ocorrem preferencialmente a meia encosta, estando em contínuo processo de rastejo. Constitui também uma fonte de detritos para a formação de rampas de colúvios e de depósitos de tálus.

As partículas finas e detritos grosseiros descem as encostas da serra por rastejo e por escoamento superficial, os quais depositam-se nos sopés das vertentes, formando taludes de detritos; os finos infiltram-se ou sobrepõem-se a terraços e a outros taludes mais antigos. Observa-se, nesses taludes, uma superposição de camadas correspondentes a vagas sucessivas de detritos. Podem formar terraços coluviais ao pé das vertentes em contatos côncavos, ou recobrir depósitos mais antigos e, nesse caso, a influência coluvial é mais nítida nos horizontes superiores (CRUZ, 1974).

Na maioria das vezes, esses depósitos são encontrados ao pé das vertentes sob forma de talude de detritos, com blocos de diâmetro superior a 1 m, envolvidos numa massa com blocos menores, grânulos, areias e materiais mais finos. Na planície, os materiais dispõem-se em leque, ou mais frequentemente em “línguas”, muitas vezes preenchendo o fundo dos vales (CRUZ, 1974).

A autora citada acima constatou também que a retirada da vegetação ou chuvas muito intensas e freqüentes ocasionam um desequilíbrio morfogenético, que acelera a movimentação do material vertente abaixo. Este fato sugere que a acumulação de tais depósitos não se faria necessariamente em condições climáticas mais secas que as atuais. Mesmo em clima úmido, as áreas de escarpas estão submetidas a processos de movimentos de massa e de acumulação.

Na Serrania Costeira, segundo IG (1996), os solos superficiais apresentam textura predominantemente areno-argilosa, porém mais arenosa quando são derivados de granitóides, têm espessuras em torno de 1,0 m e contem grânulos e fragmentos de rochas de tamanhos e formas diversas. Os solos de alteração têm composição granulométrica variada em função do tipo de rocha de origem, e espessura variável, conforme a declividade das vertentes. Em áreas mais íngremes (declividades acima de 45%) pode não ocorrer solo, aflorando o substrato rochoso. Estes solos, normalmente, apresentam estruturas reliquiares das rochas de origem

No relevo escarpado da Serra do Mar, predominam processos de escorregamentos e rastejos. Estes processos ocorrem principalmente nos depósitos de encosta envolvendo material coluvionar ou corpos de tálus (solo e rocha) provenientes de escorregamentos a montante. Desta forma, tanto os depósitos de tálus como os coluvionares são muito susceptíveis aos escorregamentos e rastejos, sendo mais pronunciada a instabilidade nos corpos de tálus. Verifica-se ainda a ocorrência de queda de blocos condicionada pelas estruturas das rochas, e de rolamentos, no caso de matacões, quando há remoção do material inconsolidado subjacente. Devido à densa vegetação que recobre a serrania costeira, os processos erosivos de escoamento superficial têm atuação mais restrita nesta área (PONÇANO *et al.* 1981).

Baccaro (1982), em estudo dos processos de movimentos de massa na região de Cubatão, verificou que as vertentes com inclinações superiores a 30° são as mais afetadas pelos movimentos de massa, envolvendo grandes áreas e volume de materiais. Os escorregamentos são responsáveis por drásticas mudanças na paisagem, provocando desequilíbrios de vertentes, alterações da morfologia, remoções de mata, destruições de obras de engenharia, assoreamento dos vales, entre outras conseqüências. Com base nestes fatos, a autora considera que a

evolução das vertentes escarpadas da Serra do Mar se processa primordialmente através dos fenômenos de movimentos de massa.

Desde os primeiros estudos sobre as **Planícies Costeiras** (DEFFONTAINES, 1935, *apud* AB'SÁBER, 1956), todos os pesquisadores que trataram do litoral paulista têm destacado os contrastes morfológicos existentes entre os chamados Litoral Norte e Litoral Sul.

Suguio & Martin (1976) observaram que a maioria dos sedimentos das planícies do litoral paulista caracteriza um retrabalhamento de sedimentos quaternários depositados durante os dois últimos grandes episódios transgressivos. Usando critérios geomorfológicos, estes autores reconheceram no litoral paulista, uma morfologia de submersão ao norte e de emersão ao sul.

Nas Planícies Costeiras ocorre uma interação de processos e ambientes de deposição diferenciados, nos quais atuam diversos fatores geomorfológicos, litológicos, tectônicos e sedimentares. Nestes ambientes, a evolução do relevo é condicionada pelo avanço das cabeceiras de drenagem em direção ao planalto, encontrando neste percurso, resistências diferenciadas em função dos tipos litológicos e estruturas presentes. Dessa forma, onde ocorrem rochas mais suscetíveis ao intemperismo, o alargamento e incisão da rede de drenagem se mostram mais pronunciados, variando de acordo com o clima dominante em cada época. Além disso, a presença de estruturas paralelas à borda do planalto permite um acentuado alargamento dos vales (ALMEIDA *et al.*, 1992).

As formas que compõem as planícies costeiras (planícies de mangue, planícies marinhas, planícies flúvio-marinhas e outras) são resultantes de complexos processos morfogenéticos, onde as ações construtivas e destrutivas das águas do mar se confrontam, na faixa costeira, com as águas continentais que também atuam na construção e destruição de formas e depósitos. A ação das ondas, das marés, das correntes e das grandes oscilações do nível do oceano, por efeitos glácio-eustáticos e neotectônicos, são os grandes agentes dos processos de destruição e construção das fisionomias da zona costeira. Destaca-se o papel da migração da linha de costa devido às variações do nível do mar, como condicionantes dos processos costeiros (ROSS & MOROZ, 1997).

Os depósitos modernos da orla litorânea, de idade Holocênica são compostos por areias, siltes e argilas, depositadas em ambientes marinhos, flúvio-marinho, de mangue e lagunar (FÚLFARO *et al.*, 1974; HASUI *et al.*, 1978). Os depósitos de praias de tombo, freqüentes no Litoral Norte, são constituídos de areias médias a grossa com minerais máficos e pesados como componentes comuns. As praias mais extensas e amplas têm areias mais finas, melhor selecionadas e predominantemente quartzosas (IG, 1996).

#### **4.1.3.1. Unidades Geomorfológicas de Ubatuba**

O mapa de compartimentação geomorfológica da porção centro-sul do município de Ubatuba, elaborado com base na classificação taxonômica de relevo de Ross (1992), representa as grandes unidades morfoestruturais e morfoesculturais e as unidades morfológicas ou de padrões de formas semelhantes (Figura 4.1.3).

As unidades morfoestruturais presentes na área correspondem ao Cinturão Orogênico do Atlântico e às Bacias Sedimentares Cenozóicas com as respectivas unidades morfoesculturais, Planalto Atlântico e Planícies Litorâneas e Fluviais. No Planalto Atlântico são reconhecidas as unidades morfológicas Planalto de Paraitinga/Paraibuna, Escarpas/Serra do Mar e Morros Litorâneos e nas Planícies Litorâneas e Fluviais a unidade morfológica Litoral Norte (ROSS & MOROZ, 1997).

A unidade morfológica do Planalto de Paraitinga/Paraibuna aparece em uma estreita faixa segmentada, circundando as escarpas da Serra do Mar no limite norte do município de Ubatuba, com altitudes entre 900 e 1000m. Caracteriza-se por uma morfologia de Morros baixos (PMB) com amplitudes de 40 a 100m e vales estreitos a abertos com planícies aluviais incipientes.

Em relação à unidade Escarpas/Serra do Mar, esta foi subdividida em duas: Escarpas Retilíneas (SER) e Escarpas em Espigão (SEE). As Escarpas Retilíneas são escarpas abruptas pouco dissecadas com altitude de 900 a 1000m. As declividades são bastante elevadas, diminuindo apenas próximo à base aproximadamente na cota 100m, onde são freqüentes os depósitos de tálus e colúvios. As Escarpas em Espigão são setores da escarpa onde a dissecação modelou espigões transversais, sendo entremeadas por anfiteatros que avançam segundo direções estruturais do substrato geológico.



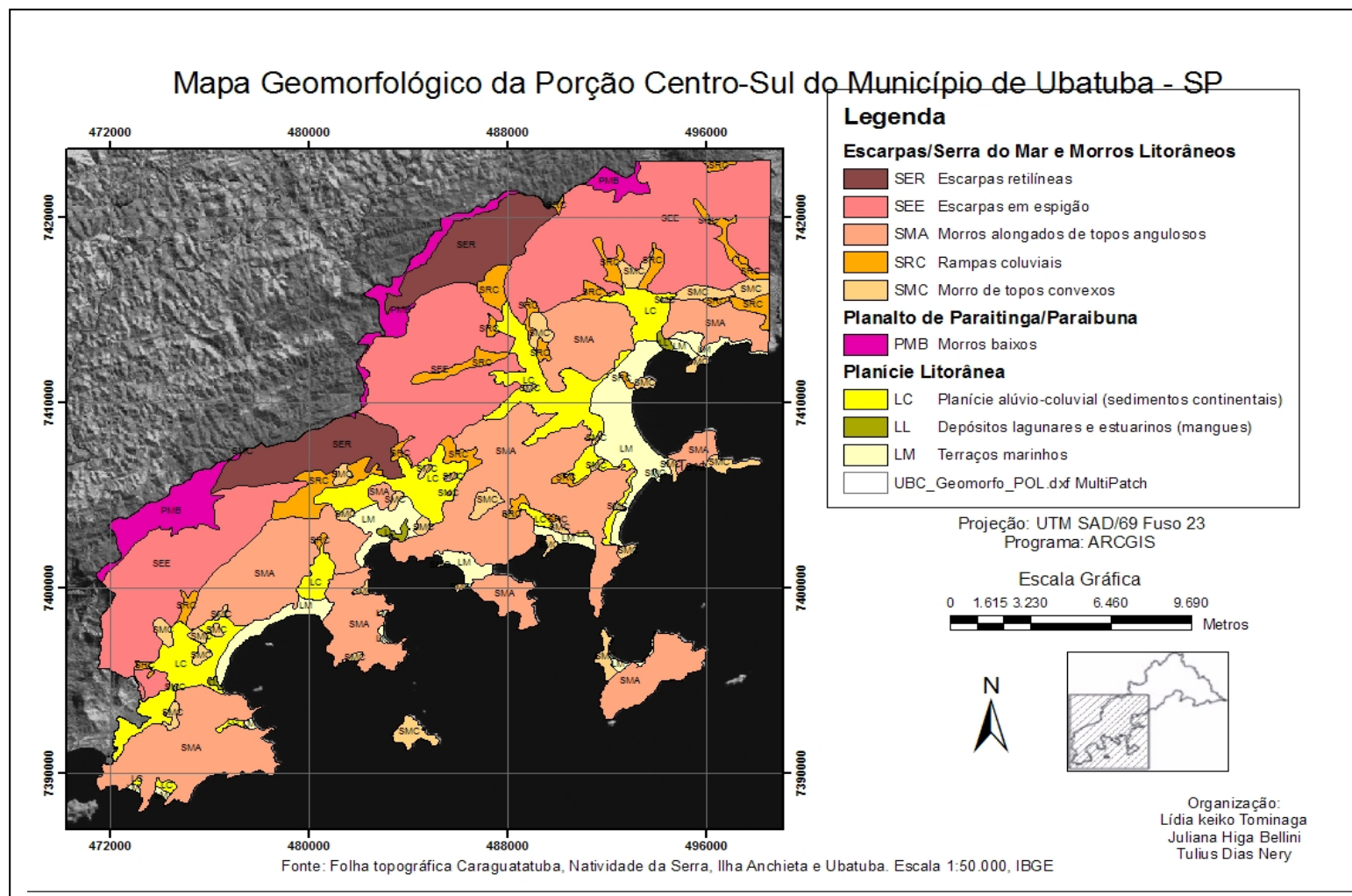


Figura 4.1.3 – Mapa Geomorfológico da porção centro-sul de Ubatuba, SP.

Na unidade Morros Litorâneos identificam-se três subdivisões: Morros de topos angulosos (SMA), Morros de topos convexos (SMC) e Rampas coluviais (SRC). Os morros de topos angulosos são morros alongados com altitudes de 100 a 500m, com vertentes retilíneas, côncavas e convexo-côncavas, os quais se orientam segundo a direção estrutural NE, predominante na área. Quanto aos morros de topos convexos, estes se encontram na base das escarpas ou dos morros de topos angulosos, ou ainda formando morros isolados na planície, de vertentes convexas e convexo-côncavas, com altitudes de 20 a 200m. As Rampas coluviais ocorrem também na base das vertentes, correspondendo a zonas de acúmulo de tálus e colúvios.

Na Planície Costeira foram delimitadas três unidades: Planície alúvio-coluvial (sedimentos continentais), Terraços marinhos (inclusive praias atuais) e Depósitos lagunares e estuarinos (mangues).

Nas figuras 4.1.4, 4.1.5 e 4.1.6 apresentam-se alguns aspectos do relevo de Ubatuba.



Figura 4.1.4 - Vista geral do relevo das escarpas da Serra do Mar, em patamares descendentes a partir da escarpa frontal.  
Fonte: Arquivo IG/SMA.



Espigões alongados  
passando para morros  
litorâneos.

Morros litorâneos de  
vertentes convexo-côncavas.



Baia de Ubatuba vista a  
partir da Serra do Mar.

Figura 4.1.5 – Fotos ilustrando a morfologia do relevo de Ubatuba.  
Fonte: Arquivo IG/SMA.





Vista geral de antiga área de extração de saibro em morro litorâneo (Maranduba).



Talude de corte com escorregamento de solos e blocos rochosos.



Depósito coluval (0,70m) sobre rocha pouco alterada.



Abatimento de grande porção de solo do topo do talude.

Figura 4.1.6 – Intensos processos de escorregamentos em área antiga de extração de saibro (Maranduba/Ubatuba). Fonte: Arquivo IG/SMA

#### 4.1.4. Vegetação

A vegetação que domina a encosta atlântica no Estado de São Paulo denominada, genericamente de Mata Atlântica, é na realidade composta por uma complexa associação de formações vegetais (SÃO PAULO/SMA, 1996).

Em função da interação de fatores como características pedológicas, topográficas, climáticas e exposição ao sol e ventos que ocorre em terrenos que apresentam altitudes variando de próximo do nível do mar a mais de 1000m, com precipitações médias anuais de 2000 a 3.500mm, há uma grande heterogeneidade de ambientes, os quais favorecem o desenvolvimento de uma riquíssima biodiversidade com uma composição florística variada (SÃO PAULO/SMA, 1996).

No Plano de Manejo do PESM (SÃO PAULO/IF, 2006) foram reconhecidas as seguintes unidades fitofisionômicas:

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

**Floresta da Crista da Serra do Mar** (*Floresta Ombrófila Densa, Altomontana /Montana, Floresta de Neblina, Floresta de Altitude*): floresta perenifólia presente no topo da serra, em altitudes variando de 800 a mais de 1000 m, denominada por Klein (1978) de matinha nebulosa e por Hueck (1956) de mata de neblina, em função da neblina que ocorre quase diariamente. Um aspecto fisionômico característico dessas matas é a presença de espécies arbustivas ou arbóreas baixas, isoladas ou em grupos. Estão associados aos solos rasos (litossolos), muitas vezes com afloramentos rochosos, e o clima frio que são comuns nesta situação topográfica (São Paulo / IF, 2006).

**Floresta da Encosta da Serra do Mar** (*Floresta Ombrófila Densa, Montana/Submontana*): está presente na encosta da Serra do Mar e nos morros e serrinhas isolados, que surgem na planície litorânea. São florestas perenes e estão sujeitas a uma pluviosidade e umidade relativa do ar mais elevada quando comparada às florestas sempre verdes do Planalto Atlântico. Os solos são geralmente argilosos, oriundos do intemperismo das rochas do complexo cristalino, variando de rasos a muito profundos. Essa condição ambiental permite o desenvolvimento de uma floresta alta, com dossel de 25-30 m. No entanto, em função da topografia acidentada, as copas não se tocam, permitindo assim, uma boa penetração da

luz. A alta umidade relativa do ar e a boa penetração de luz permitem o desenvolvimento de uma rica flora de epífitas, não superada por nenhuma outra formação vegetal brasileira (São Paulo / IF, 2006).

**Floresta Alta do Litoral** (*Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, Floresta de Planície, Floresta de Restinga Alta*): encontra-se nas planícies litorâneas, que se desenvolvem de modo descontínuo, subordinadas às reentrâncias do *front* serrano. Esta vegetação ocorre em diferentes substratos sedimentares, porém sempre limitadas por fatores como, alta salinidade, instabilidade de solo e nível freático muito raso. Assim, nos setores mais próximos da encosta, desenvolve-se uma floresta alta, com árvores de 10-15 m, instaladas sobre os depósitos colúvio-aluviais provenientes das serras ou em terraços fluviais. No lado voltado para a costa, estes aluviões juntam-se gradualmente aos depósitos marinhos (cordões arenosos), sofrendo alterações no porte da vegetação e passando a ter um porte cada vez mais baixo (São Paulo / IF, 2006).

**Vegetação com influência marinha** (*Restinga Baixa*): compreende uma faixa entre o oceano e a encosta. Normalmente consideram-se dunas a vegetação em contato com a praia, com um aspecto herbáceo ou subarbustivo, apresentando uma série de adaptações para a sua fixação no solo arenoso, móvel, sob a influência constante dos ventos e recebendo alta insolação. Após as dunas ocorre uma formação arbustiva (*jundú*) e, num gradiente edáfico muito sutil, iniciam-se as florestas: sobre cordões arenosos, entre cordões, sobre terraços marinhos e de várzeas. Estas se dispõem conforme as condições fisiográficas e apresentam variações florísticas e estruturais dependentes de variações locais (São Paulo / IF, 2006).

**Vegetação com influência flúvio-marinha** (*Manguezal*): encontra-se nas desembocaduras dos rios, onde se associa a solo limoso, movediço e pouco arejado, com a alta salinidade decorrente das flutuações diárias das marés. É um ambiente costeiro, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, e que se desenvolve em áreas pouco sujeitas à maré, onde há mistura de água doce com água salgada. Apresenta composição florística homogênea no litoral paulista, embora apresente variações estruturais (São Paulo / IF, 2006).

#### 4.1. 5. Aspectos Climáticos

O Litoral Paulista ocupa uma posição geográfica que corresponde a uma faixa de transição climática onde atuam dois sistemas atmosféricos, originando climas controlados pelos sistemas tropicais e extratropicais (polares), e os fenômenos frontais (TAVARES *et al.*, 2005).

Sant'Anna Neto (1990), com base nos processos da dinâmica atmosférica, identifica na região litorânea três zonas climáticas:

- Litoral Norte, região compreendida entre as serras de Parati (limite São Paulo - Rio de Janeiro) e Juqueriquerê (Caraguatatuba–S.Sebastião), controlado predominantemente por sistemas equatoriais e tropicais;
- Litoral Central, localizado entre as serras de Juqueriquerê e Itatins (sul de Peruíbe), controlado alternadamente por sistemas tropicais e polares, configurando-se assim uma vasta área de transição; e
- Litoral Sul, da Serra de Itatins até a Ilha do Cardoso, controlado pelos sistemas polares e tropicais.

De acordo com Tavares *et al.* (2005), a caracterização climática do município de Ubatuba insere-se, neste contexto, na zona do Litoral Norte, a qual é composta por setores climáticos diferenciados do restante do Estado de São Paulo, destacando-se a elevada pluviosidade, que pode alcançar, em alguns setores, o total anual de 4000mm. A atuação dos diferentes sistemas atmosféricos, conjugada às condições topográficas do local, como a disposição da Serra do Mar, a brusca variação altimétrica, reforçando o efeito orográfico e a presença de vales encaixados, favorecem a ocorrência de chuvas intensas na primavera-verão, principalmente no período mais chuvoso, de novembro a março (Figura 4.1.7).

O clima do Litoral Norte é controlado por massas equatoriais e tropicais, sujeitas a uma menor participação das massas polares. As invasões de ar frio são cerca de 30% a 40% menos freqüentes do que nas demais áreas. A posição da Serra do Mar bem próxima à costa é responsável pela acentuada pluviosidade mesmo no inverno devido ao efeito orográfico e à maior exposição à massa tropical atlântica (MONTEIRO, 1973).

“A Serra do Mar é a borda ocidental do embasamento cristalino da América do Sul soerguida no Pós-cretáceo e representa um processo ativo de escorregamentos costeiros com direcionamento geral NE-SW. No Estado de São Paulo observam-se altitudes que variam de 800 a 1200 metros, e que significam uma barreira real aos ventos originários do sul do continente trazidos pela massa de ar Polar Atlântica. Embora a área em questão situe-se quase totalmente abaixo do Trópico de Capricórnio (que atravessa a cidade de Ubatuba, a mais setentrional do litoral paulista), o clima caracteriza-se como tropical úmido. A temperatura média anual varia de 20º a 24º C e a precipitação anual, de 1800 a 4000mm. Precipitações intensas em 24 horas freqüentemente ultrapassam o montante de 100mm, o que representa um risco iminente de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, nos quais se destacam os escorregamentos” (TAVARES, 2005).

#### **4.1.5.1. Tempo de retorno de chuva intensa**

As ocorrências de chuvas intensas são associadas à deflagração de escorregamentos por diversos autores, tais como, Guidicini & Nieble 1984; Tatizana *et al.*, 1987; Wole, 1988; Thornes & Alcântara-Ayala 1998; Larsen & Torrez-Sanches 1998; Tavares *et al.*, 2004, entre outros. Como um fator essencial para a análise de perigo a escorregamentos, o período de retorno representa a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas e de deflagração do processo de escorregamento.

Tavares *et al.* (2005) e Armani *et al.* (2007) calcularam o tempo de retorno ou período de recorrência para chuvas acumuladas de 80, 100, e 120mm em 24 h, e 80, 100 e 120mm em 72 h, utilizando a equação de Chow-Gumbel (CHOW, 1953).



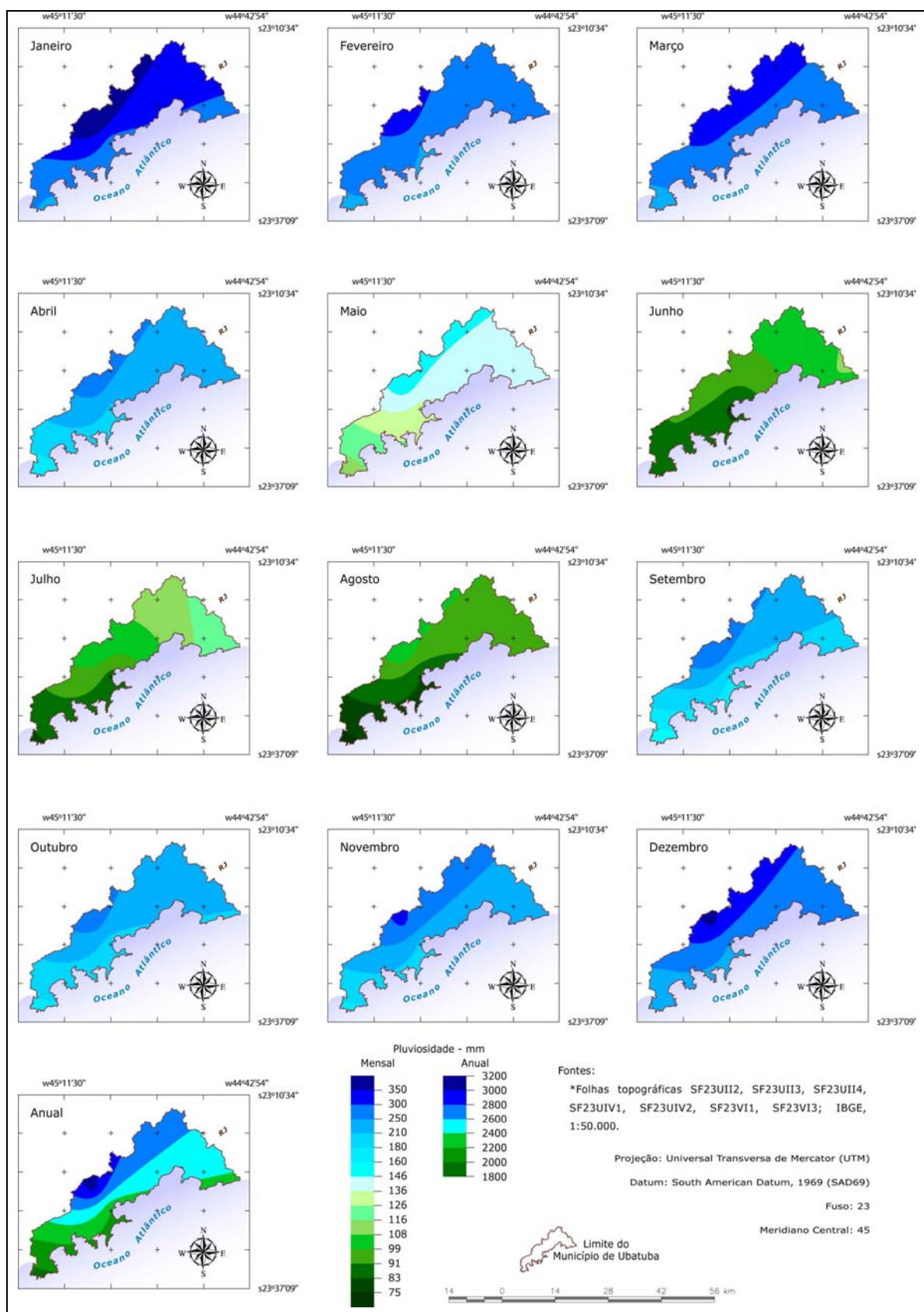


Figura 4.1.7 - Variação média mensal e total anual da pluviosidade (mm) no Município de Ubatuba, no período de 1971 a 1999 (ARMANI et al. 2007).

A análise dos dados calculados para as situações citadas acima destaca que há um período de retorno anual das chuvas diárias de 80mm, em todo o município, e de até 100mm em 24 horas, para o setor da Serra do Mar, Picinguaba e Ubatuba. Verifica-se também que nos meses de fevereiro e março, a possibilidade de ocorrência de chuvas concentradas de 100mm/dia em todo o município, é bastante elevada. A Figura 4.1.8 mostra as isolinhas de tempo de retorno para as chuvas de 120mm em 24 horas. Este valor de precipitação é considerado deflagrador de escorregamentos na operação do PPDC pela Defesa Civil. Destaca-se o mês de fevereiro, que apresenta tempo de retorno de chuva acumulada de 120mm em 24h menor para todo o município (entre 1,1 e 5 anos), e março para a porção centro-norte (ARMANI *et al.*, 2007).

O período de retorno para a sequência chuvosa de 3 dias, com chuva acumulada de 120mm ou superior, é utilizada na operação do PPDC pela Defesa Civil, para mudança de nível de Observação para Atenção. Na Figura 4.1.9, observa-se que, para todo o município, o período de retorno para chuva acumulada de 120mm em 72 h é anual. No verão, meses de janeiro-fevereiro-março, configura-se um baixo tempo de retorno (de 1,1 a 5 anos) de precipitação acumulada de 120mm em 72h para todo o município, e em abril, novembro e dezembro para a maior parte do município, com exceção da porção extremo sul. Nos meses de maio, setembro e outubro, o tempo de retorno menor (de 1,1 a 5 anos) ocorre somente na área da Serra do Mar (ARMANI *et al.*, 2007).

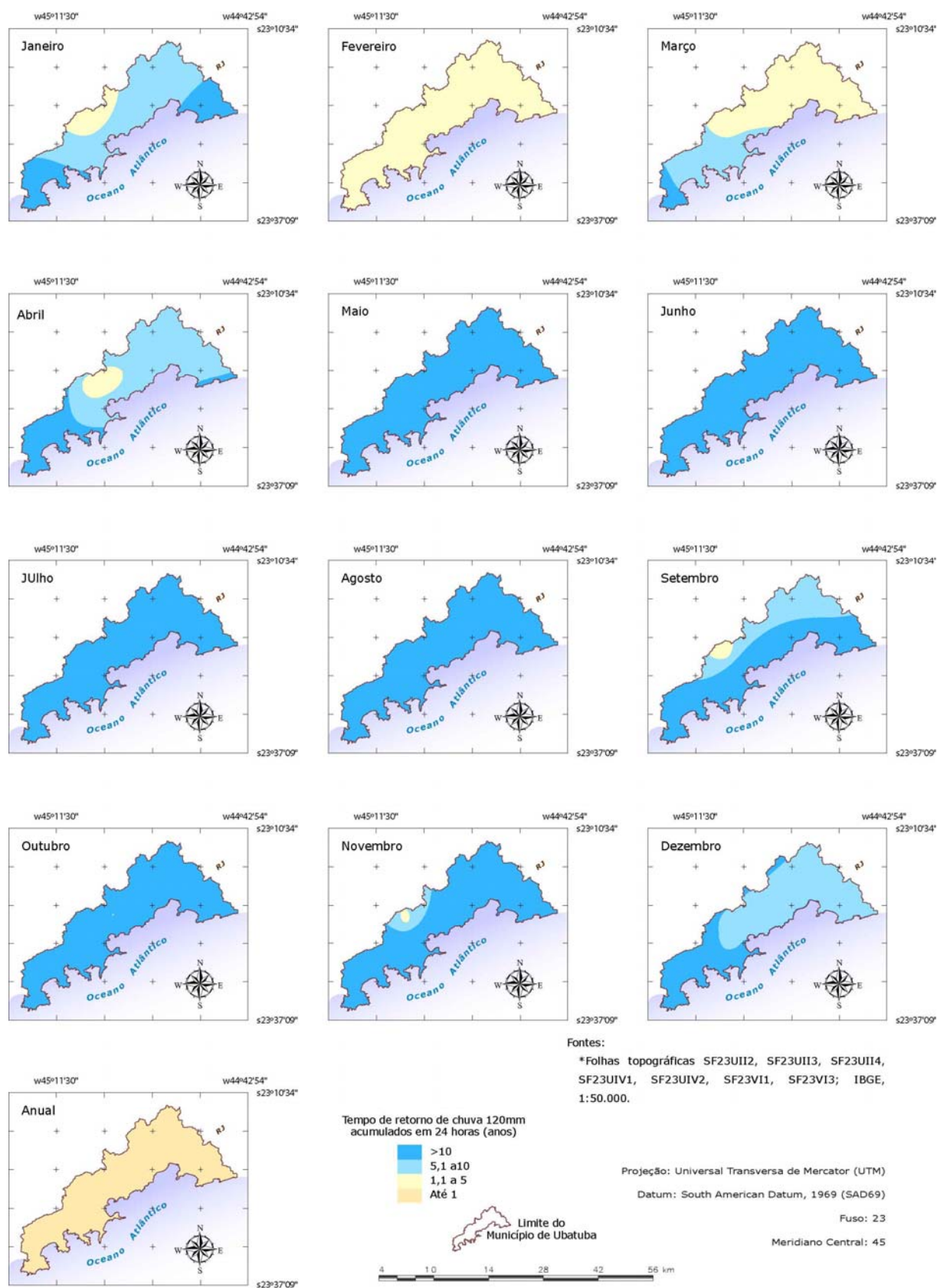


Figura 4.1.8 - Variação média mensal e média anual do tempo de retorno (anos) de precipitação acumulada de 120mm em 24 horas no Município de Ubatuba (ARMANI *et al.*, 2007).

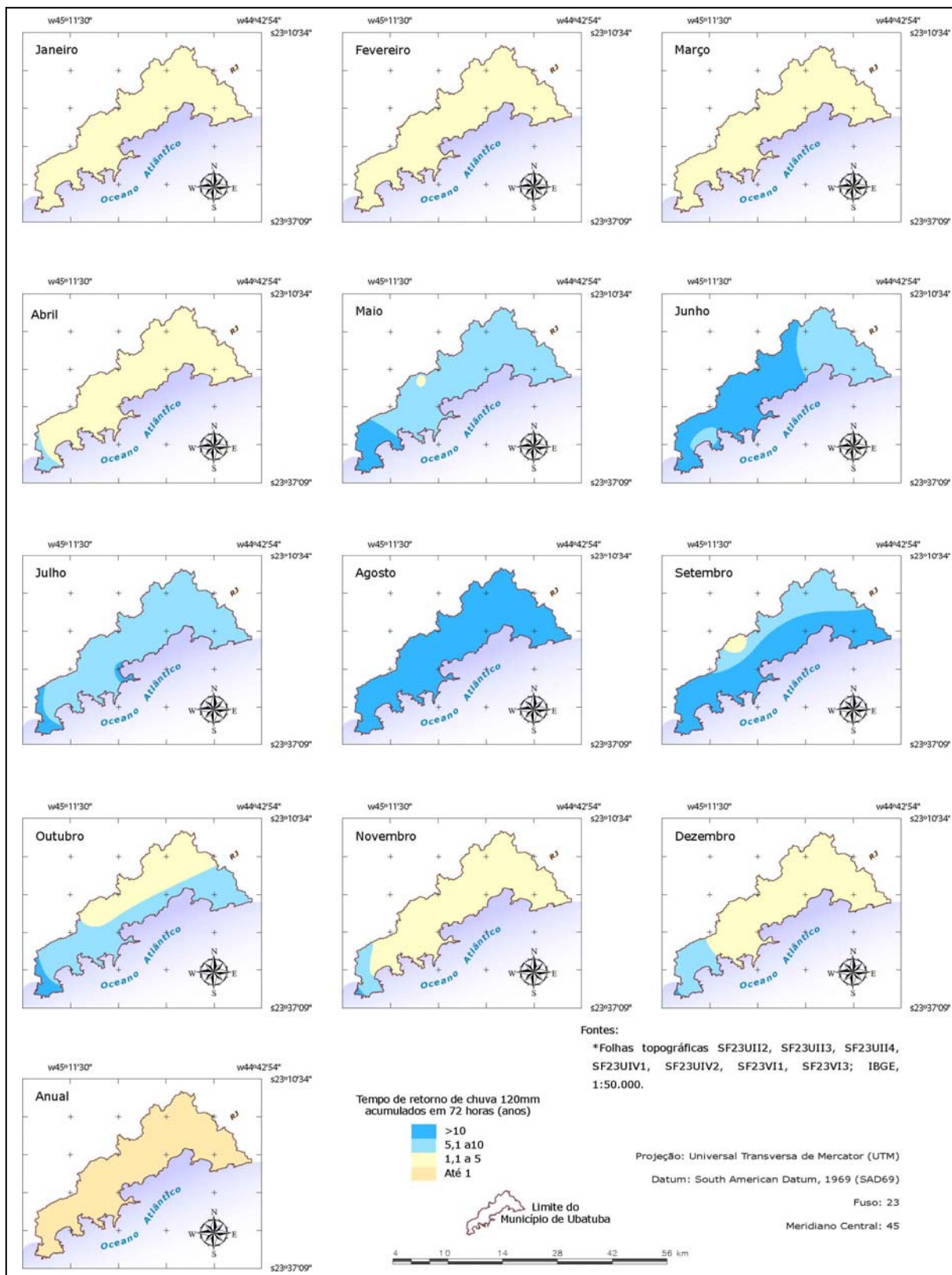


Figura 4.1.9 - Variação média mensal e média anual do tempo de retorno (anos) de precipitação acumulada de 120mm em 72 horas no Município de Ubatuba (ARMANI *et al.*, 2007).



#### 4.1.5.2. Excedente Hídrico

Outro fator climático que influencia a suscetibilidade a escorregamentos refere-se ao excedente hídrico (EXC). Uma vez que, em Ubatuba, na média, os valores de chuva de todos os meses foram superiores aos da evapotranspiração potencial (ETP) ou seja, Ubatuba não apresentou deficiência, o Excedente Hídrico (EXC) foi calculado subtraindo-se a Evapotranspiração Potencial (ETP) da Precipitação (P) ou seja, subtrair as perdas (evapotranspiração) das entradas de água (chuva), (ARMANI *et al.*, 2007).

O excedente hídrico é a água que sobra no ambiente que pode ser utilizada pela sociedade, pelas plantas, para o intemperismo químico e físico das rochas, para dar origem aos processos geomorfológicos nas áreas tropicais úmidas, para alimentar os rios e os aquíferos, etc (ARMANI *et al.*, 2007). No entanto, maior disponibilidade de água no solo pode levar à saturação do mesmo propiciando instabilizações nas vertentes de declividade mais elevada ou em taludes de corte.

Conforme os autores citados acima, os maiores excedentes localizam-se nos topos da Serra do Mar que, por serem os lugares mais frios, têm menor evapotranspiração, e são mais chuvosos, enquanto que os menores excedentes estão nas baixadas, pois são mais quentes e menos chuvosas. Ocorrem também, menores excedentes hídricos ao sul do município se comparado com o trecho norte, tanto nas baixadas como nos topos da serra, em função do padrão da pluviosidade (Figura 4.1.10).

Os maiores excedentes hídricos ocorrem em janeiro, variando entre 120 e 340 mm, e os menores em agosto, oscilando de menos de 20 a até 60 mm. Em termos de total anual, os menores valores oscilam entre 750 a 900 mm nas áreas mais baixas do setor centro-sul do município, e os maiores entre 1900 a 2250 mm nos topos setentrionais da Serra do Mar no município de Ubatuba. Verifica-se, assim, que no balanço hídrico climatológico (normal), Ubatuba não apresenta deficiência hídrica em nenhum mês (ARMANI *et al.*, 2007).

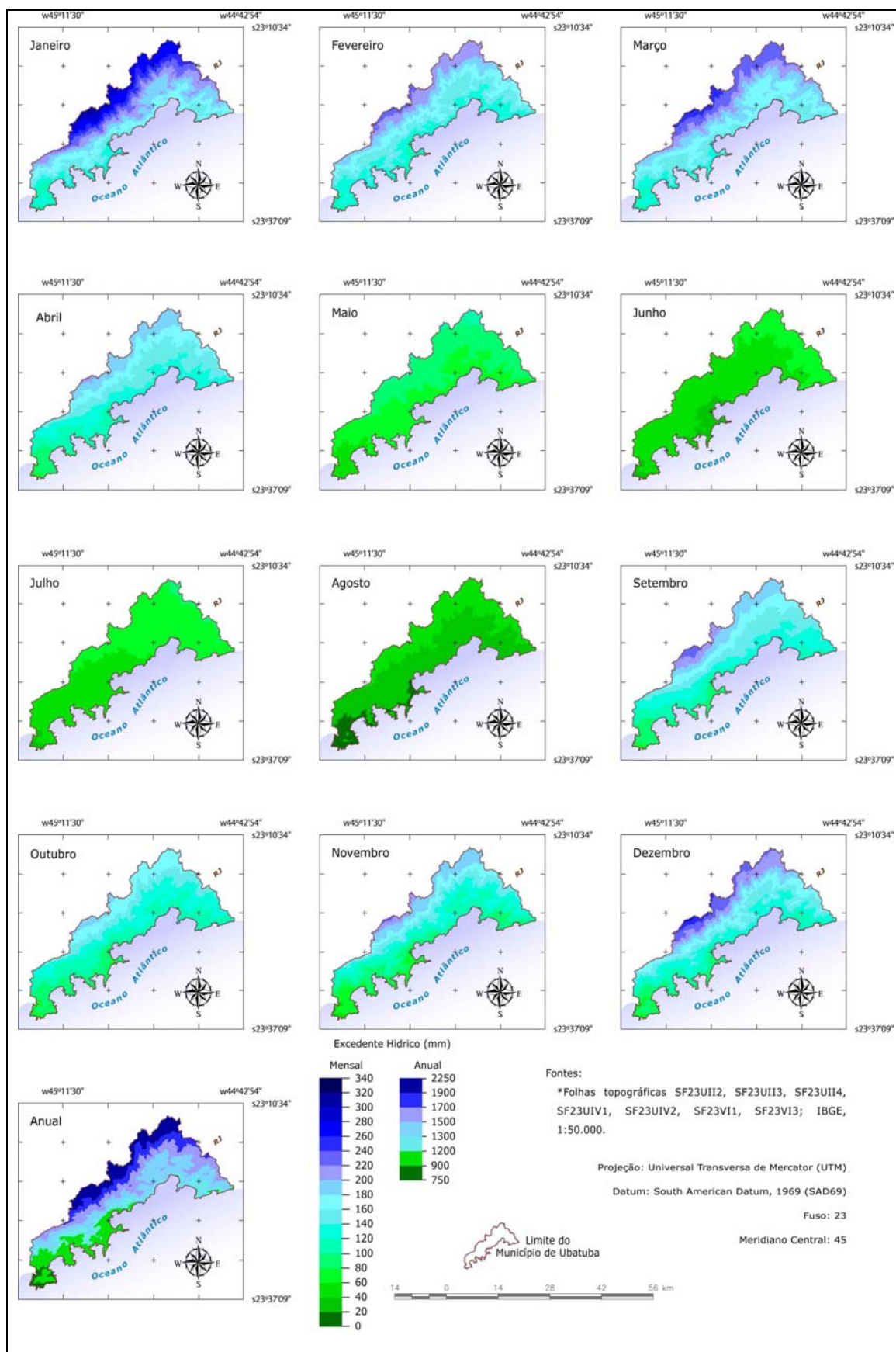


Figura 4.1.10 - Variação média mensal e média do total anual do Excedente Hídrico (mm) no município de Ubatuba, no período de 1971 a 1999 (ARMANI *et al.*, 2007).

#### **4.1. 6. Aspectos Sócio-Econômicos**

O Município de Ubatuba conta com uma população de aproximadamente 77.000 habitantes, com 97% da população instalada em zonas urbanas e 3% em zonas rurais (SEADE, 2007).

As atividades econômicas têm como principal agente o turismo, o qual é responsável pela alocação de 60% da mão-de-obra empregada do município no setor de serviços. Subordinadamente observam-se as atividades comerciais, industriais e a pesca (SMA/CPLEA, 2005).

Verifica-se um setor industrial diversificado em Ubatuba com 29% das indústrias pertencentes ao ramo da construção civil, 28% à confecção de móveis, 20% à indústria de alimentos e, 23% às outras atividades. A indústria do pescado teve uma grande retração, das sete unidades existentes na década de 1980, passou para apenas uma unidade. Mesmo com a diminuição da atividade pesqueira, em razão da pesca predatória, Ubatuba participa com cerca de 14% da quantidade de pescados de todo o litoral paulista (SMA/CPLEA, 2005).

De acordo com a fonte citada acima, o granito verde de Ubatuba, de significativa importância econômica no passado, teve queda no valor comercial devido ao desinteresse do mercado. Por outro lado, com as restrições da legislação ambiental, uma vez que cerca de 80% do território de Ubatuba encontra-se em unidades de conservação de proteção integral, não são mais licenciadas novas áreas de extração.

Em 2002, o abastecimento de água tratada correspondia a 92% dos domicílios e apenas 32% do esgoto gerado era tratado. Os serviços de coleta de lixo atendem a 97% da população, sendo 80% da destinação final feita em aterro, e 17% incinerado (FERREIRA, 2004; SMA/CPLEA, 2005).

A situação habitacional de Ubatuba, segundo dados fornecidos pelo CDHU, em 2000, apresentava 435 domicílios com espaço insuficiente, isto é com menos de quatro cômodos e/ou sem instalações sanitárias; e 159 domicílios improvisados que são edificações construídas para outros fins, porém utilizados como moradias (SMA/CPLEA, 2005).

Estima-se que hoje exista por volta de 1.600 famílias abaixo da linha da pobreza, o que representa quase 10% da população do município (Ferreira, 2004).

As condições de vida em Ubatuba, de acordo com o Índice Paulista de Responsabilidade Social – IPRS do SEADE (2007), enquadram-se no *Grupo 2 - Municípios que, embora com níveis de riqueza elevados, não exibem bons indicadores sociais.*

Na Tabela 4.1.1 encontram-se outras informações sócio-econômicas do município de Ubatuba fornecidas pela Fundação SEADE - Perfil municipal (<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil>).



Tabela 4.1.1 - Indicadores sócio-econômicos do município de Ubatuba fornecidos pela Fundação SEADE - Perfil municipal (<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil>).

INDICADORES SÓCIO-ECONÔMICOS - SEADE	
<b>População (dados de 2005)</b>	
População (nº de habitantes)	77.942
População Urbana (nº de habitantes)	76.293
População Rural (nº de habitantes)	1.649
Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População - 2000/2005 (em % a.a.)	3,18
<b>Emprego e Rendimento (dados de 2003)</b>	
Empregos ocupados no comércio (nº e %)	2.804 (28,15%)
Empregos ocupados na indústria (nº e %)	376 (3,77%)
Empregos ocupados nos serviços (nº e %)	6.412 (64,36%)
Empregos ocupados na construção civil (nº e %)	292 (2,93%)
Empregos ocupados na Agropecuária (nº e %)	78 (0,78%)
Número total de empregos ocupados	9.962
Renda per Capita em 2000 (em salários mínimos)	2,1
Rendimento Médio nos Empregos Ocupados na Indústria (em reais)	1.005,54
Rendimento Médio nos Empregos Ocupados na Construção Civil (em reais)	554,91
Rendimento Médio nos Empregos Ocupados no Comércio (em reais)	564,74
Rendimento Médio nos Empregos Ocupados nos Serviços (em reais)	792,35
Rendimento Médio no Total de Empregos Ocupados (em reais)	726,95
<b>Condições de Vida (dados de 2000)</b>	
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM	0,795
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM - Ranking dos municípios	202
IPVS – Grupo 1- Nenhuma Vulnerabilidade (% da pop exposta)	0,37
IPVS – Grupo 2- Vulnerabilidade Muito Baixa (% da população exposta)	7,1
IPVS - Grupo 3- Vulnerabilidade Baixa (% da população exposta)	23,13
IPVS - Grupo 4- Média Vulnerabilidade (% da população exposta)	34,84
IPVS - Grupo 5- Vulnerabilidade Alta (% da população exposta)	13,3
IPVS - Grupo 6- Vulnerabilidade Muito Alta (% pop. exposta)	21,26

Tabela 4.1.1 - Indicadores sócio-econômicos do município de Ubatuba fornecidos pela Fundação SEADE - Perfil municipal (<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil>).  
(continuação)

INDICADORES SÓCIO-ECONÔMICOS - SEADE (continuação)	
<b>Educação (dados de 2000)</b>	
Taxa de Analfabetismo da População de 15 Anos e Mais (em %)	8,77
Média de Anos de Estudos da População de 15 a 64 Anos	6,71
População de 25 Anos e Mais com Menos de 8 Anos de Estudo (em %)	62,93
População de 18 a 24 Anos com Ensino Médio Completo (em %)	29,41
<b>Habitação (dados de 2000 e os três primeiros de 2003)</b>	
Número de Áreas de Risco Ocupadas por Moradias	29
Número de Cortiços	43
Número de Famílias Residindo em Cortiços	300
Domicílios com Espaço Suficiente (em %)	76,02
Domicílios com Infra-estrutura Interna Urbana Adequada (em %)	59,58
Número de Domicílios Urbanos	18.202
Número de Domicílios Rurais	411
<b>Saneamento (dados de 2003)</b>	
Abastecimento de Água - Nível de Atendimento (em %)	76.2
Domicílios Urbanos Abastecidos com Rede Pública de Distribuição de Água (em %)	77
Economias Residenciais ligadas ao Sistema de Abastecimento de Água	36.132
Área Urbana Ocupada Atendida por Coleta de Lixo (em %)	98
Domicílios Urbanos Servidos por Rede Pública de Coleta de Esgotos (m %)	17
Esgoto Sanitário - Nível de Atendimento (em %)	22,79
Esgoto Sanitário Tratado (em %)	100

#### 4.1.7. Uso e Ocupação do Solo

O mapa de uso e ocupação do solo procura representar a forma como o espaço está sendo ocupado pelas diversas atividades desenvolvidas pelo homem. O conhecimento das características da ocupação de um determinado uso como um dos fatores condicionantes do perigo e da vulnerabilidade é de fundamental importância nas avaliações de risco (FUJIMOTO *et al.* 1996; HOLL *et al.* 2001; ROSSINI-PENTEADO *et al.* 2007).

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano da porção centro-sul do município de Ubatuba elaborado por Rossini-Penteado *et al* (2007), em escala 1:10.000, tem suas unidades definidas em função das categorias e atributos de uso e ocupação do solo associados aos diferentes elementos e formas antrópicas (Figura 4.1.11).

Segundo os autores, a definição dos atributos e suas classes baseou-se nas características da ocupação que podem interferir ou induzir a ocorrência de processos de escorregamento, inundação e erosão e determinar diferentes níveis de vulnerabilidade e de danos a pessoas, propriedades e bens frente à ocorrência dos processos.

Assim, os atributos foram classificados pelos citados autores em três grandes categorias de análise:

- Função: determina o tipo de uso ou atividade antrópica predominante;
- Padrão da Ocupação: caracteriza a forma como a ocupação do solo é implementada e o arranjo espacial dos elementos urbanos. Os atributos que caracterizam o padrão de ocupação definem a estrutura física da área urbana;
- Padrão Sócio-Econômico: inclui atributos que definem as características sócio-econômicas da área de estudo quanto aos aspectos de infraestrutura sanitária e viária e da população residente.

Conforme Rossini-Penteado *et al* (2007), as classes residencial e comercial/serviços envolveram a maior parte das áreas das unidades mapeadas. O uso residencial compõe quase 60% (17km<sup>2</sup>) da área, enquanto o uso comercial/serviços representa 28,66% (8,2 km<sup>2</sup>), seguidos dos demais tipos de uso que, juntos, representam 11,5% (3,3 km<sup>2</sup>). (Tabela 4.1.2)

Tabela 4.1.2 - Área das classes de uso do solo urbano (ROSSINI-PENTEADO *et al.* 2007).

CLASSE DE USO	ÁREA (em km <sup>2</sup> )	ÁREA (em %)
Residencial	17,055	59,78
Comercial/Serviços	8,177	28,66
Loteamento em Implantação	0,882	3,09
Chácaras Residenciais	0,712	2,50
Cobertura Vegetal	0,642	2,25
Grandes Equipamentos	0,552	1,94
Área Desocupada	0,478	1,68
Corpos de Água	0,026	0,09
<b>Área Total Mapeada</b>	<b>28,530</b>	<b>100</b>

Rossini-Penteado *et al.* (2007) elaboraram também o Mapa do Padrão de Ocupação Residencial, o qual representa o padrão de ocupação da classe de uso residencial (Figura 4.1.12). Como critério de classificação considerou-se os atributos relativos ao Modo de Ocupação, Padrão da Ocupação, Estágio de Ocupação e Padrão do Assentamento. As classes de padrão definidas e suas características, bem como as áreas ocupadas por cada classe são apresentadas na Tabela 4.1.3.

Segundo os autores citados acima, as áreas caracterizadas pelo modo de ocupação espontâneo envolvem aproximadamente 26% (4.420 m<sup>2</sup>) da área total, enquanto as áreas de ocupação planejada 74% (12.637 m<sup>2</sup>).

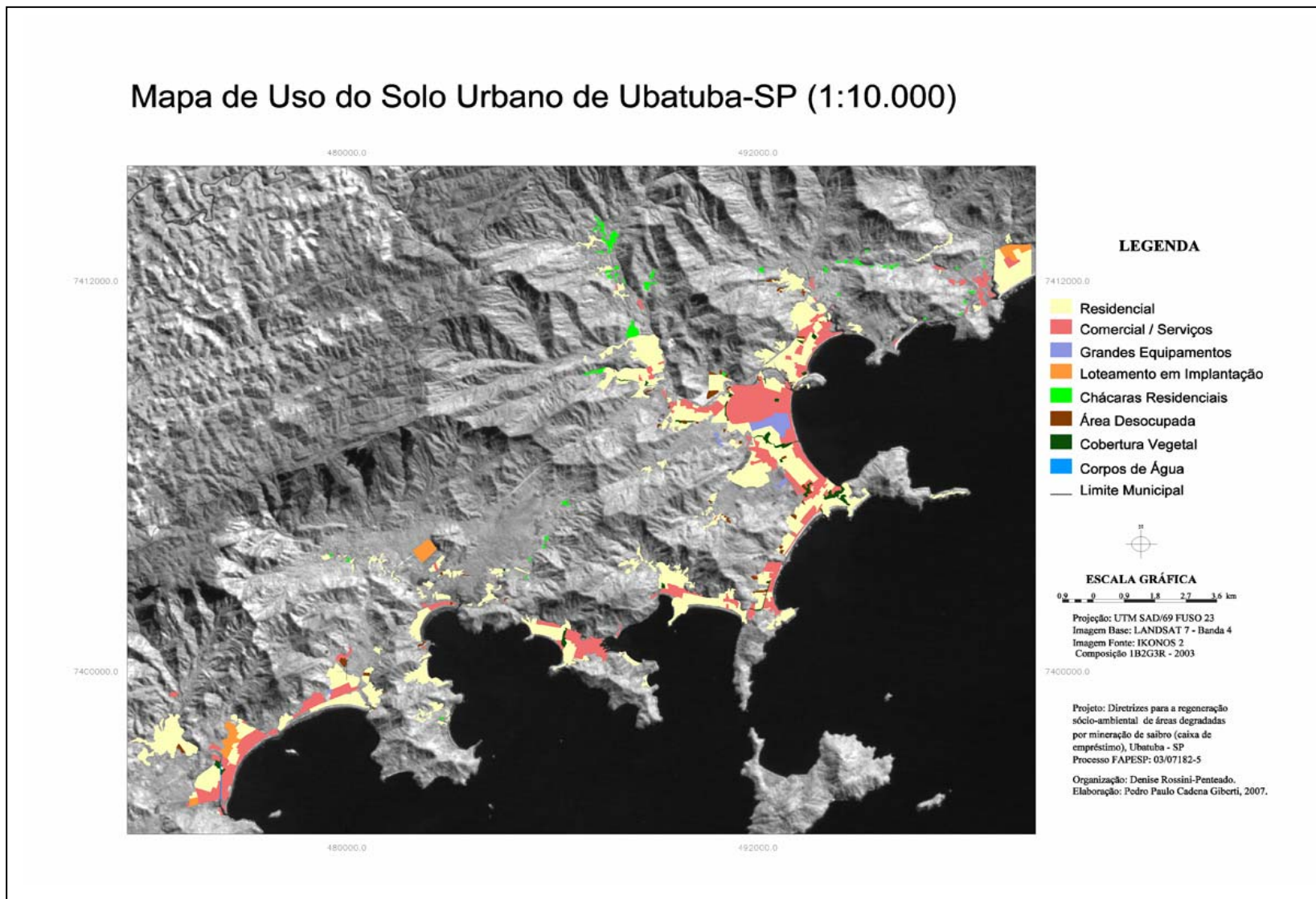


Figura 4.1.11 – Mapa de uso e ocupação do solo urbano de Ubatuba (ROSSINI-PENTEADO *et al.* 2007).

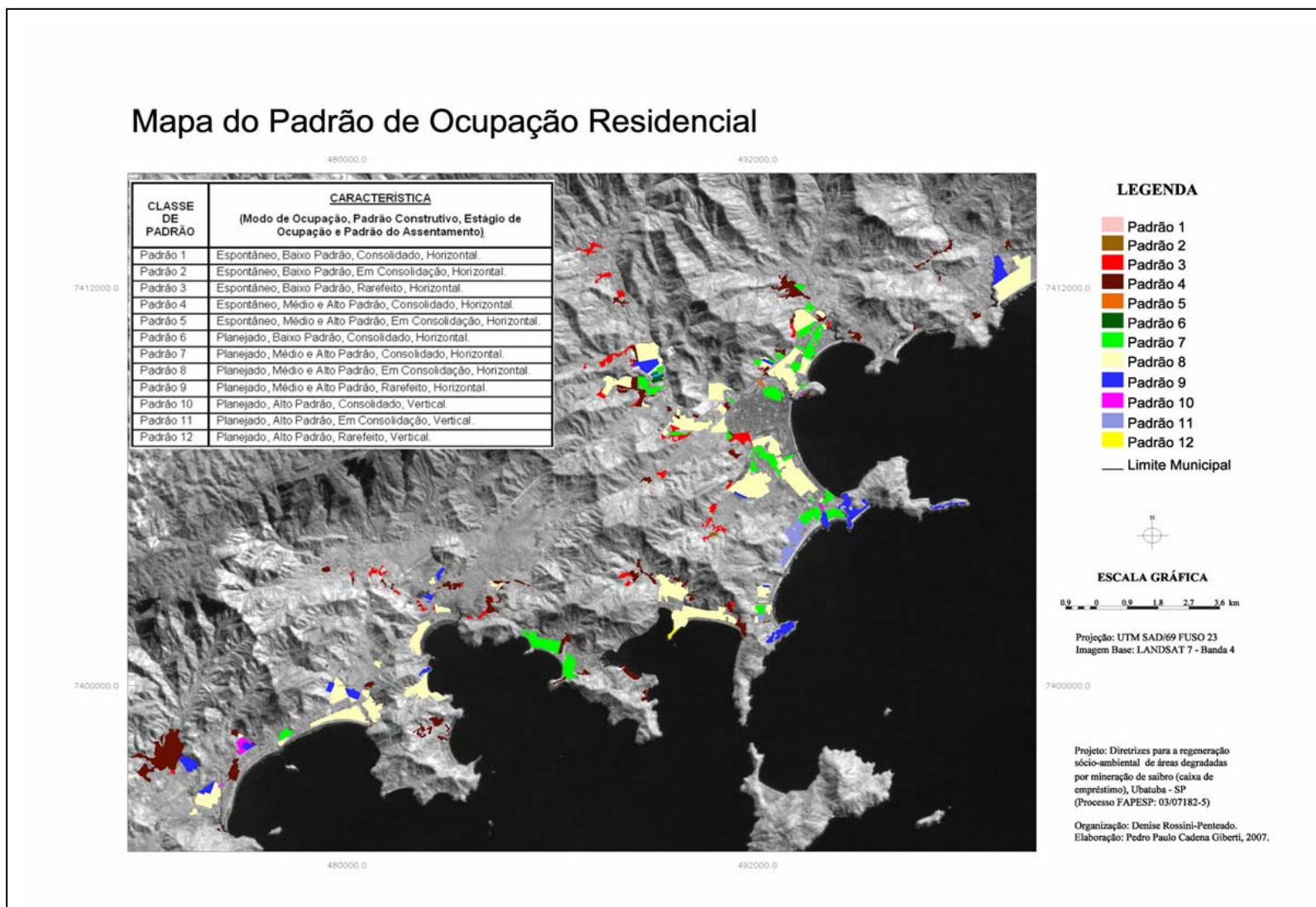


Figura 4.1.12 – Mapa do Padrão de ocupação residencial de Ubatuba (ROSSINI-PENTEADO *et al.* 2007).

Tabela 4.1.3 - Classe, característica e área das categorias de padrão de ocupação residencial (ROSSINI-PENTEADO *et al.* 2007).

<b>CLASSE DE PADRÃO</b>	<b>CARACTERÍSTICA (Modo de Ocupação, Padrão Construtivo, Estágio de Ocupação e Padrão do Assentamento)</b>	<b>ÁREA (em M<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA (em %)</b>
Padrão 1	Espontâneo, Baixo Padrão, Consolidado, Horizontal	8,904	0,05
Padrão 2	Espontâneo, Baixo Padrão, Em Consolidação, Horizontal	29,502	0,17
Padrão 3	Espontâneo, Baixo Padrão, Rarefeito, Horizontal	1.106,333	6,49
Padrão 4	Espontâneo, Médio e Alto Padrão, Consolidado, Horizontal	3.257,129	19,09
Padrão 5	Espontâneo, Médio e Alto Padrão, Em Consolidação, Horizontal	18,56	0,11
Padrão 6	Planejado, Baixo Padrão, Consolidado, Horizontal	42,214	0,25
Padrão 7	Planejado, Médio e Alto Padrão, Consolidado, Horizontal	2.457,345	14,41
Padrão 8	Planejado, Médio e Alto Padrão, Em Consolidação, Horizontal	7.935,846	46,52
Padrão 9	Planejado, Médio e Alto Padrão, rarefeito, Horizontal	1.610,668	9,44
Padrão 10	Planejado, Alto Padrão, Consolidado, Vertical	138,573	0,81
Padrão 11	Planejado, Alto Padrão, Em Consolidação, Vertical	425,712	2,50
Padrão 12	Planejado, Alto Padrão, Rarefeito, Vertical	27,315	0,16
<b>Área Total</b>	<b>17.058,101</b>	<b>17.058,101</b>	<b>100</b>



## **4.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICO-OPERACIONAIS**

### **4.2.1. Introdução**

Conforme abordado na revisão conceitual e metodológica apresentada no Cap. 2, o mapeamento geotécnico ou geoambiental corresponde ao processo de avaliação de terrenos com potencial de fornecer subsídios técnicos adequados a uma ampla gama de solicitações relacionadas às questões de uso e ocupação do solo, tanto para fins de planejamento, como de gestão ambiental.

Uma vez que a avaliação de terrenos para análise de perigos e riscos a escorregamentos envolve a análise de variados fatores dos ambientes físicos, bióticos e sócio-econômicos e de suas interações, embasou-se esta pesquisa nos conceitos e princípios do mapeamento geotécnico e nos de mapeamento geomorfológico, dentro de uma abordagem de análise e síntese proposta por Ross (1995).

Para o zoneamento geotécnico utilizou-se a abordagem fisiográfica ou de paisagem preconizada no programa PUCE por Grant (1968, 1974 e 1975) com base no Sistema de Classificação de Terrenos de Christian & Stewart (1953, 1968), com adaptações de Vedovello (2000) e de Ross (1996) para aplicação em análise de produtos de sensoriamento remoto.

Assim, a abordagem proposta para análise de perigos a escorregamentos tem como base a compartimentação ou zoneamento do meio físico, na escala 1:10.000, obtida por meio de aplicação de técnicas de compartimentação fisiográfica (Figura 4.2.1), adotadas por Vedovello (2000), combinadas com a análise das feições de relevo (*landforms*) conforme classificação taxonômica de Ross (1992), (Figura 4.2.2). Embora, as duas abordagens se baseiem na morfologia do relevo, há diferenças de enfoque. Na primeira, os compartimentos são definidos em função do padrão textural observados em imagens de sensoriamento remoto e na segunda, a delimitação se guia pelas formas de relevo. Os níveis hierárquicos adotados neste zoneamento são unidades morfológicas ou padrões de formas semelhantes, tipos de formas de relevo e tipos de vertentes, correspondentes, respectivamente, aos terceiro, quarto e quinto táxons da classificação taxonômica de Ross (1992), como se apresenta na Figura 4.2.2.



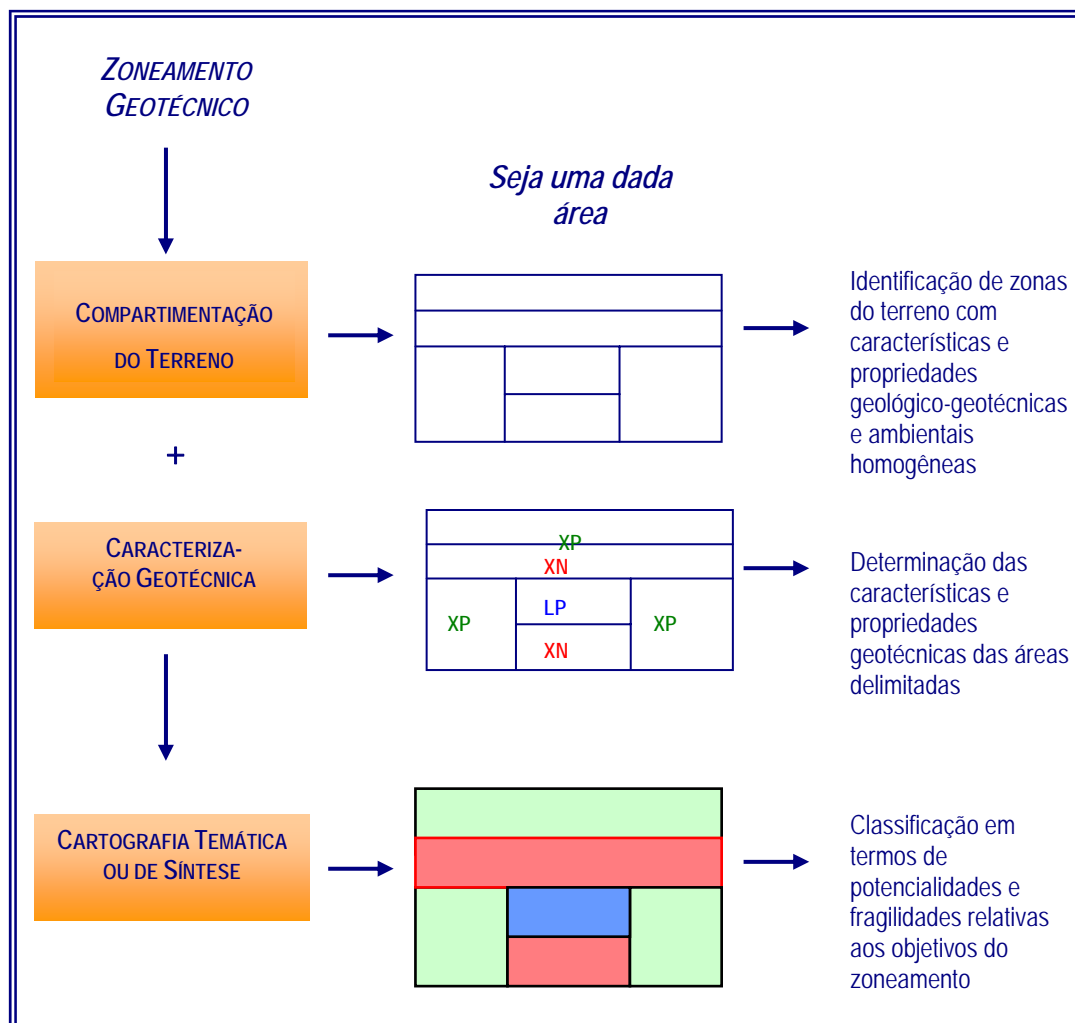


Figura 4.2.1 - Etapas do zoneamento geotécnico segundo abordagem fisiográfica de Vedovello, 2000.

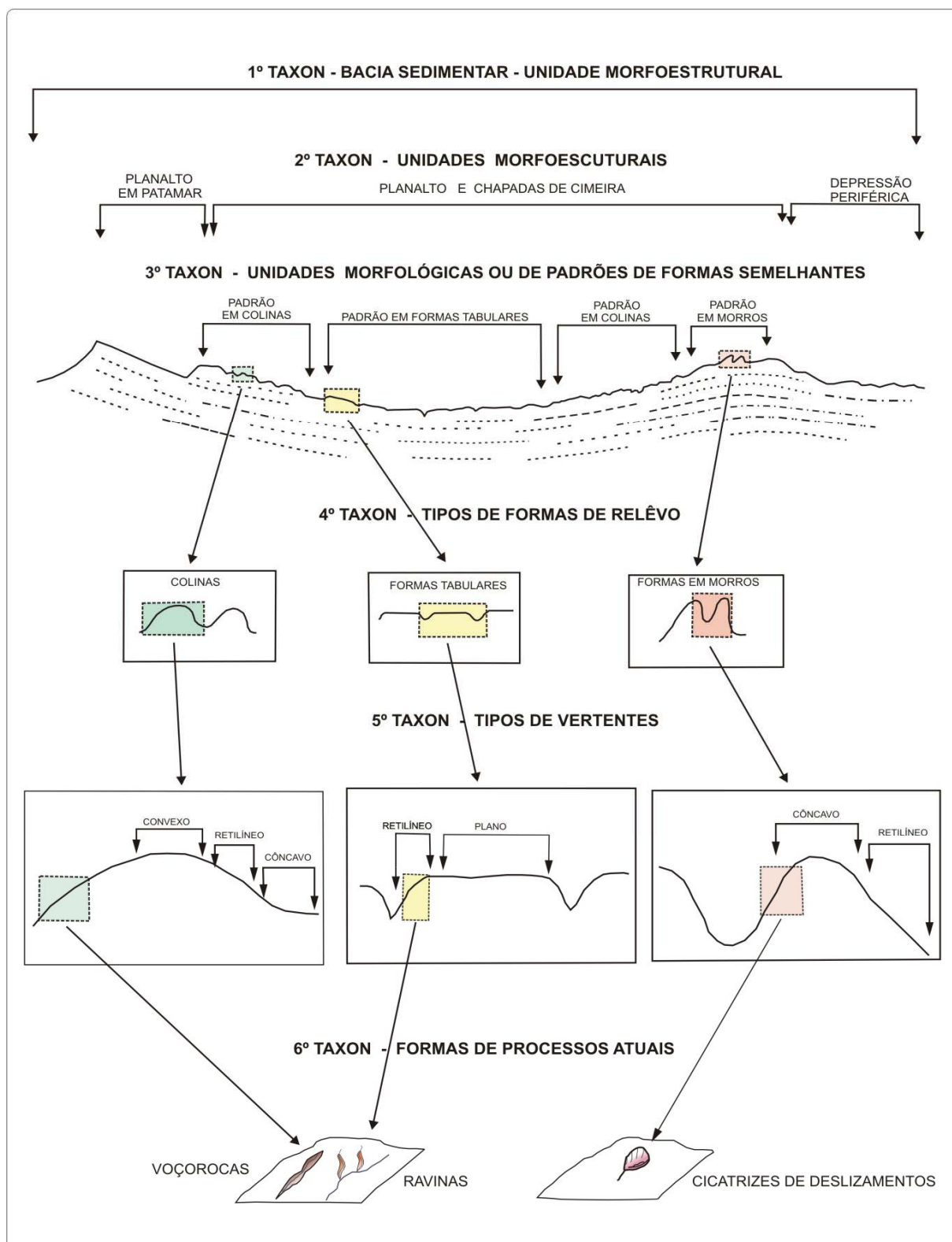


Figura 4.2.2 – Representação esquemática das unidades taxonômicas do relevo, modificado de Ross (1992).

Esta pesquisa foi desenvolvida com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que são sistemas destinados ao tratamento de dados espacialmente referenciados, possibilitando manipular dados de diversas fontes como mapas, imagens de satélite, fotos aéreas, cadastros e outras, permitindo relacionar informações de diversas naturezas e obter variados tipos de análise destes dados (ALVES, 1990). Além disto, como destaca Valério Filho (1998), estes sistemas possibilitam a integração, em uma única base de dados, de informações geográficas provenientes de fontes diversas tais como dados cartográficos, cadastro urbano e rural, de censos, de imagens de sensoriamento remoto e de modelos numéricos do terreno.

O SIG constitui um instrumento técnico de alta capacidade no tratamento de grande volume de dados de variadas fontes, propiciando os meios necessários para obtenção de informações integradas, relacionadas ao meio físico antropizado. Sendo por isso, plenamente adequada sua utilização na elaboração de cartas geotécnicas e/ou geoambientais.

Para o desenvolvimento deste trabalho optou-se pela utilização do SIG SPRING (CÂMARA *et al.* 1996), de livre acesso, desenvolvido pelo INPE. O SPRING é um Sistema de Informações Geográficas (SIG) acoplado a funções de processamento digital, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta de dados espaciais.

O Sistema SPRING versão 4.2 foi utilizado em todas as etapas desde a aquisição de dados por meio da interpretação de imagens acopladas às bases digitais, obtenção dos parâmetros morfométricos (densidade de drenagem, declividade), como na análise e integração das informações espaciais e geração de Modelos Numéricos de Terreno. No entanto, para produzir os mapas finais de classes de suscetibilidade, de perigo e risco, bem como para edição final destes mapas e dos mapas intermediários, preferiu-se utilizar o Programa ARCVIEW 9.1 da ESRI que dispõe de melhores recursos de edição.

Na avaliação da suscetibilidade a escorregamentos utilizou-se a Técnica AHP (*Analytical Hierarchy Process*), ferramenta do Sistema SPRING (CÂMARA *et al.* 2005), a qual se baseia na lógica da comparação pareada para atribuição de pesos. O uso desta técnica é recomendado para análises que envolvem diferentes e

múltiplos fatores, tanto qualitativos como quantitativos (SAATY, 1992; MARQUES & ZUQUETTE, 2004; CAETANO *et al.*, 2006).

As análises de perigo e risco foram desenvolvidas segundo o método de sobreposição ou combinação de mapas de índices ou parâmetros que, de acordo com a abordagem proposta por Soeters & Van Westen (1996), aos fatores que afetam a estabilidade de vertentes, são atribuídos valores ponderados proporcionais à esperada contribuição relativa em gerar a instabilização.

As principais etapas de desenvolvimento desta pesquisa são detalhadas a seguir:

- Levantamento e obtenção de dados existentes;
- Criação de banco de dados geográficos;
- Compartimentação de terreno;
- Levantamentos de campo;
- Obtenção dos atributos e parâmetros de análise;
- Análise AHP dos fatores de suscetibilidade;
- Análise e classificação da suscetibilidade a escorregamentos;
- Análise de perigo e elaboração da respectiva carta;
- Avaliação de risco e elaboração da carta de risco.

#### **4.2.2. Levantamento e Obtenção de Dados Existentes**

Esta etapa preliminar destinou-se à aquisição de conhecimentos através das disciplinas cursadas e da pesquisa bibliográfica. As áreas de interesse foram: a geomorfologia, a cartografia geotécnica e geoambiental, a geologia de engenharia e ambiental, o geoprocessamento e outras relacionadas ao tema da pesquisa.

Outra atividade desta etapa refere-se ao levantamento de dados existentes e dos materiais disponíveis, que envolve a pesquisa bibliográfica dirigida para o levantamento e análise das metodologias utilizadas em estudos de avaliação de perigos e riscos geoambientais e para a caracterização da área de estudo. Foram levantados também os materiais cartográficos e as imagens de sensoriamento remoto. O mapa de uso e ocupação do solo e os dados de pluviometria e análises foram obtidos junto ao Projeto

*“Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro, Ubatuba, SP” desenvolvido pelo IG/SMA.*

Levantaram-se também informações sobre ocorrências de escorregamento do mapeamento de risco realizado para a Defesa Civil Estadual (IG/SMA, 2006) e do cadastro de movimentos de massa de eventos do Plano Preventivo de Defesa Civil - PPDC (SANTORO, 2003).

Os principais materiais utilizados neste trabalho, fornecidos pelo IG/SMA, foram os seguintes:

Fotografias aéreas monocromáticas, em papel, na escala 1:25.000; levantamento da Secretaria da Agricultura, 1973.

Fotografias aéreas monocromáticas, em papel, na escala 1:8.000; CESP-Obra 369, levantamento BASE de 1979, com cobertura parcial da área.

Ortofoto digital em formato GeoTIFF, colorida normal; do Projeto de Preservação da Mata Atlântica - PPMA (IF-SMA/Kfw), levantamento aerofotogramétrico do consórcio AEROCARTA/BASE/ENGEFOTO, 2000/2002.

Mapa topográfico digital em formato MID/MIF, com equidistância das curvas de nível de cinco em cinco metros; IGC, 1978, Folha Praia da Enseada.

#### **4.2.3. Organização do Banco de Dados Geográficos**

A construção de um banco de dados georreferenciados teve como finalidade armazenar e gerenciar todas as informações coletadas e geradas por processamentos posteriores. Utilizou-se para isto o Sistema SPRING (CÂMARA, 1996), versão 4.2, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE.

Neste banco de dados, criou-se um projeto na projeção “Universal transversa de Mercator” – UTM, modelo SAD 69. Todos os materiais digitais (mapas, cadastros e imagens) foram convertidos e importados para este projeto em planos de informação (PIs) na forma de imagens e mapas vetoriais (Tabela 4.2.1), que foram utilizados para posteriores processamentos e geração de mapas derivados.

Tabela 4.2.1 - Principais planos de informação do banco de dados geográfico criado.

<b>Modelo de Dados</b>	<b>Categoria</b>	<b>PI</b>	<b>Dados</b>
Numérico	Altimetria	Altimetria	Isolinhas e Pontos Cotados
Temático	Base Topográfica	Drenagens	Cursos D'água
	Base Topográfica	Rede Viária	Arruamentos
	Base Topográfica	Linha de Costa	Limite Continente/Oceano
	Base Topográfica	Áreas Mineradas	Áreas de mineração abandonada
Imagem	Ortofoto	Ortofoto 2001	Foto aérea ortorretificada

#### **4.2.3.1 Tratamento do Mapa Topográfico**

Após aquisição e armazenamento das amostras do mapa topográfico (isolinhas e pontos cotados) no banco de dados, estas passaram por processamentos que visaram melhorar suas qualidades para posterior geração do modelo numérico de terreno (MNT) e mapa de declividade. Estes processamentos consistiram na utilização de um algoritmo de suavização por adensamento de pontos das isolinhas, no Sistema SPRING, assim como na inserção de pontos cotados onde a topografia assume formas convexas ou a distância entre as curvas se torna muito grande (NALETO, 2006).

Como as representações de modelos numéricos de terreno são baseadas em superfícies na forma de grades triangulares (TINs) e retangulares, o primeiro processamento permitiu que houvesse pontos suficientes ao longo das isolinhas para a geração dos triângulos. Já a inserção de pontos cotados evitou que as arestas dos triângulos apresentassem mesmo valor de cota, o que tornaria a declividade nula nestas áreas (LOPES, 2006), (Figura 4.2.3).

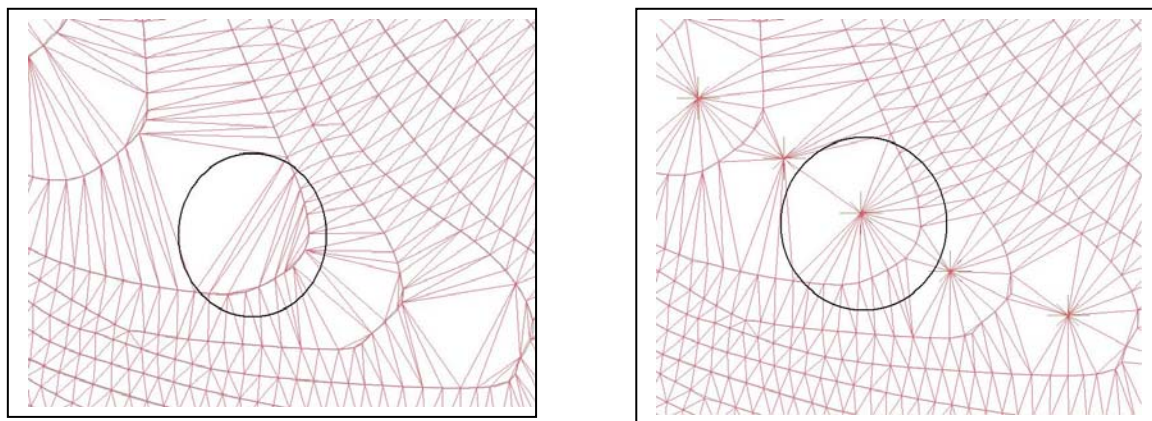


Figura 4.2.3 - Imperfeições no TIN (*Triangular Irregular Network*). À esquerda, no destaque, observam-se triângulos cujos vértices se encontram sobre a mesma curva de nível. Já à direita, com a inserção de um ponto, os triângulos não estão mais no plano horizontal (NALETO, 2006; LOPES, 2006).

#### 4.2.3.2. Geração do Mapa de Declividade

O mapa de declividade foi confeccionado a partir do mapa topográfico digital, através de rotinas de geoprocessamento no Sistema *ArcGIS*.

O processo de composição do mapa consistiu, primeiramente, na geração do modelo digital de elevação (MDE). Os dados de entrada para a obtenção do MDE foram as curvas de nível, com distância entre as curvas de 5,0m, e os pontos cotados. As drenagens foram utilizadas como linha de quebra, para a configuração dos vales. O interpolador empregado foi do tipo *Topo to Raster*, ferramenta do *Arctoolbox* do Programa *ArcGIS* 9.1.

Com base neste MDE, gerou-se uma grade retangular de declividade em graus, com resolução de 2x2m. O Mapa de Declividade foi então produzido a partir do fatiamento desta grade de declividade em intervalos de valores correspondentes às classes adotadas: menor que 3°, de 3 a 7°, de 7 a 17°, de 17 a 25°, de 25 a 35° e maior que 35°.

A definição destas classes de declividade foi baseada em trabalhos que trataram de restrições ao uso e ocupação do solo e de escorregamentos na Serra do Mar (BACCARO, 1982; AGUIAR & SANTOS, 1991; DE BIASI, 1995; OKIDA, 1996; AUGUSTO FILHO, 2001; TOMINAGA, 2004).

#### 4.2.4. Compartimentação de Terrenos

A compartimentação de terrenos foi desenvolvida por meio da combinação da abordagem fisiográfica de Vedovello (2000) e a das feições de relevo (*landforms*) da classificação taxonômica de Ross (1992).

Na abordagem fisiográfica de Vedovello (2000), a compartimentação de terrenos por meio da análise de produtos de sensoriamento remoto, consiste em identificar na imagem de sensoriamento remoto divisões fisiográficas em diferentes níveis hierárquicos de classificação relacionados às condições morfo-ambientais e genéticas da região estudada.

A identificação dos compartimentos fisiográficos, delimitando áreas do terreno que se distinguem das vizinhas definem as Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs (VEDOVELLO & MATTOS 1998 e VEDOVELLO 1993, 2000). Estas UBCs consistem nas menores unidades de análise do terreno, obtidas a partir da fotointerpretação sistemática de elementos texturais e tonais em produtos de sensoriamento remoto, como imagens de satélite e fotografias aéreas. A análise sistemática das imagens é baseada nas diferenças de homogeneidade, tropia e assimetria de elementos texturais e tonais. Consideram-se, ainda, outras propriedades do terreno, como o tipo, densidade, arranjo, grau de estruturação e ordem de estruturação dos elementos texturais, segundo proposta de Soares & Fiori (1976), adaptada por Vedovello (1993) e descrita na Tabela 4.2.2.

Entretanto, para o trabalho na escala 1:10.000, as imagens utilizadas consistiram de fotografias aéreas analógicas e ortofotos digitais. Inicialmente, a compartimentação fisiográfica foi baseada nas fotografias aéreas com escala 1:25.000 que permitiu visualizar características texturais de áreas maiores do terreno. Posteriormente estas unidades maiores foram detalhadas pela análise das fotos aéreas de escala 1:8.000, as quais foram ajustadas para as curvas da altimetria ao transpor os contornos para a base topográfica. Nas áreas em que não havia cobertura nesta escala, complementou-se com as ortofotos digitais ou mesmo pela análise dos elementos do mapa topográfico.



Tabela 4.2.2 - Caracterização das propriedades das formas texturais em imagens de satélite (VEDOVELLO 2000).

PROPRIEDADE TEXTURAL	CARACTERIZAÇÃO
<b>Tipo de elemento de textura</b>	Define qual espécie de elemento textural está sendo analisado, se de relevo ou de drenagem ou tonal.
<b>Densidade de textura</b>	Refere-se a quantidade de elementos texturais (de um mesmo tipo) por unidade de área da imagem. Apesar de refletir uma propriedade quantitativa, a densidade textural normalmente é descrita em termos qualitativos e comparativos tais como alta, moderada, baixa, etc.
<b>Arranjo textural</b>	Refere-se a maneira (ordenada ou não) como os elementos texturais se dispõem espacialmente. Assim a análise desta propriedade permite classificar o modo de ocorrência dos elementos texturais segundo padrões que reflitam a disposição espacial desses elementos na imagem. Como exemplo, uma determinada forma ocasionada por elementos de drenagem pode refletir um padrão retangular ou dendrítico ou anelar, etc.
<b>Grau de estruturação</b>	Refere-se a maior ou menor evidência ou definição da organização espacial dos elementos texturais (em função do seu arranjo textural). Esta propriedade pode ser qualificada em classes tais como alto, médio, baixo, etc. ou ainda, mal definido, bem definido, etc.
<b>Ordem de estruturação</b>	Refere-se à complexidade de organização dos elementos texturais. Assim sua classificação é dada em função da ocorrência (ou não) de uma ou mais estruturas sobrepostas, podendo ser de: ordem um (se ocorre apenas um tipo de estrutura), ordem dois (se ocorrem dois tipos superimpostos), e assim por diante.

A interpretação das fotografias aéreas em papel foi realizada com auxílio de estereoscópio de mesa, e os limites traçados sobre um overlay, com posterior digitalização e armazenamento no Banco de Dados Geográficos. Já a ortofoto digital foi interpretada diretamente na tela do sistema computacional.

A compartimentação da área foi estruturada em quatro níveis hierárquicos relacionados a domínios e características geológico-geomorfológicas da região. Os quatro níveis considerados foram:

1º nível: corresponde aos principais setores geomorfológicos regionais: Serrania e Planície Litorânea.

2º nível: associados aos litotipos dos principais domínios geológicos mapeados para a área de estudo.

3º nível: associada à morfologia predominante das vertentes.

4º nível: corresponde às variações locais dos elementos de relevo quanto à declividade e grau de dissecação.

Segue-se uma etapa de trabalhos de campo objetivando a confirmação e/ou o ajuste dos limites foto-interpretados e a verificação das características morfo-ambientais e genéticas atribuídas aos diversos níveis da compartimentação das unidades.

As unidades decorrentes da compartimentação fisiográfica constituem a base para o armazenamento dos dados e informações sobre o terreno. A organização desses dados e informações em forma de banco de dados georreferenciados permite a operacionalização otimizada dos procedimentos de aquisição de mapas derivados. O Mapa de Compartimentação de Terrenos obtido constitui o mapa base do meio físico contendo a delimitação das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs).

Para contemplar as feições de relevo na delimitação das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), procedeu-se à análise geomorfológica e mapeamento das formas de relevo de acordo com a concepção teórica e os procedimentos para elaboração da carta geomorfológica de Ross (1990, 1992).

Confeccionou-se, inicialmente um mapa de compartimentação geomorfológica da porção centro-sul do município de Ubatuba por meio de análise de imagem de satélite Landsat TM-7 em formato digital e em composição RGB juntamente com a base topográfica na escala 1:50.000 (Figura 4.1.3). São representadas neste mapa as grandes unidades morfoestruturais e morfoesculturais e as unidades morfológicas ou de padrões de formas semelhantes conforme classificação taxonômica do relevo de Ross (1992).

Sobre a área de detalhe selecionada, correspondente à Folha Praia da Enseada (escala 1:10.000) foram delimitadas as formas de vertentes interpretadas em fotografias aéreas ou diretamente sobre a carta topográfica. Os limites são traçados, normalmente em feições de rupturas ou mudanças de declividade.

#### **4.2.5. Levantamentos de Campo**

Os trabalhos de campo para a caracterização geoambiental visaram a confirmação e/ou o ajuste dos limites das unidades foto-interpretadas e o levantamento das características geológicas, geomorfológicas, dos materiais inconsolidados, dos processos morfodinâmicos e do uso e ocupação do solo em pontos visitados procurando-se abranger os diferentes tipos de UBCs na medida em que o acesso era possível.

Na área de estudo foram visitados ao todo 17 pontos. Nestes pontos, além da caracterização geral como citado acima, deu-se ênfase à descrição do perfil de alteração com coleta de amostras dos diferentes níveis (saprolito, solo residual, solo superficial, solo coluvial) dos materiais inconsolidados representativos das UBCs. No total foram coletadas 22 amostras destes materiais para caracterização textural.

#### **4.2.6. Atributos e Parâmetros de Análise**

Esta etapa consiste em identificar e sistematizar os atributos do terreno (características e/ou propriedades) relevantes para as análises previstas. A definição dos atributos de caracterização das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) é feita em função da avaliação pretendida. Em relação à suscetibilidade de processos de movimentos de massa, consideraram-se como fatores importantes que influenciam estes processos os seguintes elementos: declividade das vertentes; forma de vertente; grau de dissecação; densidade de lineamentos; material de cobertura inconsolidada; e a disponibilidade hídrica. A definição destes fatores foi baseada em trabalhos anteriores que trataram dos condicionantes dos escorregamentos na região da Serra do Mar (BACCARO 1982, AGUIAR & SANTOS 1991, OKIDA 1996, TOMINAGA 2000, SESTINI 2000, TOMINAGA *et al.* 2004).

Os atributos que caracterizam as unidades básicas de compartimentação (UBCs) e que correspondem aos parâmetros de análise da suscetibilidade, foram obtidos de várias maneiras. As informações relativas às formas de vertentes foram obtidas a partir da análise de fotografias aéreas e das curvas de altimetria da base topográfica. Os dados dos materiais inconsolidados (solos) foram descritos em perfis de alteração a partir de levantamentos de campo e a classificação textural foi baseada em análises granulométricas. Os demais fatores (declividade, grau de dissecação, densidade de lineamentos e disponibilidade hídrica) foram obtidos por meio de processamentos executados no SIG SPRING.

Estes processamentos no SPRING consistiram na obtenção de uma superfície de interpolação denominada Modelo Numérico do Terreno (MNT) que representa numericamente a distribuição espacial de um fenômeno que ocorre em uma dada área da superfície terrestre. Tais modelos descrevem a variação contínua da superfície a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x,y), em um

referencial qualquer, com base em atributos denotados de  $z$  (CAMARA *et al.* 2002). Neste processo foi gerado um plano de informação numérico para cada atributo contendo a distribuição espacial contínua dos seus respectivos valores com espaçamento regular de 20 metros

Com base no plano de informação da superfície de interpolação, obteve-se a atualização automática dos valores dos atributos no banco de dados associado às unidades de terreno utilizando operações em linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) disponível no SPRING (CAMARA *et al.* 1996). Desta forma, foram efetuadas operações zonais que permitiram calcular os valores médios na superfície interpolada (MNT) de cada atributo, tendo como limite a área dos polígonos das unidades de compartimentação de terreno.

#### **4.2.6.1. Forma de Vertente**

As formas das vertentes foram levantadas a partir da interpretação de fotografias aéreas e de observações de campo, complementadas com a análise da disposição das curvas de altimetria da base topográfica. Para cada UBC, definiu-se a forma de vertente predominante, sendo identificados os seguintes tipos: convexo, convexo-côncavo, convexo-retilíneo, côncavo, retilíneo, topo anguloso e topo convexo. Para a inserção desta informação na análise de suscetibilidade, ponderou-se um valor referente à sua influência na suscetibilidade do terreno ao processo de escorregamento, gerando-se um plano de informação numérico para a forma de vertente.

#### **4.2.6.2. Declividade Média**

Na etapa de compartimentação fisiográfica do terreno, a declividade foi analisada apenas de forma visual a partir do mapa topográfico e, nesta etapa de caracterização, procurou-se determinar um valor representativo para cada UBC.

A declividade média para cada polígono (UBC) foi obtida por meio de cálculo realizado no sistema SPRING, através de um operador de média zonal em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico - LEGAL, utilizando-se os planos de informação que continham a grade de declividade e os polígonos da

compartimentação. Os valores obtidos foram atualizados, automaticamente, em uma tabela de atributos a qual relaciona cada polígono ao seu respectivo valor.

Os valores de declividade média encontrados em cada polígono foram normalizados, aplicando-se a fórmula de Cendrero et al. (2004), como será melhor descrito no subítem 4.2.8.

#### **4.2.6.3. Grau de Dissecação**

As informações referentes ao grau de dissecação, na etapa de caracterização, foram detalhadas a partir do cálculo da densidade de drenagem para cada compartimento.

Para a realização deste cálculo, primeiramente, a partir do plano de informação (PI) contendo as drenagens, gerou-se uma grade retangular de densidade de drenagens com resolução de 20x20m. Com base nesta grade, utilizando-se um operador de média zonal em LEGAL, calcularam-se os valores médios de densidade para cada polígono do PI que representa os compartimentos. Esses valores foram então atualizados na tabela de atributos, relacionando-se, a cada um deles, os seus polígonos correspondentes.

Os valores de densidade de drenagem encontrados em cada polígono foram também normalizados, por meio da aplicação da fórmula citada no subítem acima.

#### **4.2.6.4. Materiais inconsolidados (solos)**

Na etapa de levantamentos de campo, foram descritos perfis de alteração nos 17 pontos visitados e coletadas 22 amostras de materiais inconsolidados para caracterização das UBCs. Estas amostras foram também analisadas quanto à composição granulométrica no Laboratório de Sedimentologia do IG e classificadas segundo o Diagrama Triangular de Feret (BUENO & VILLAR, 1995). As classes texturais previstas neste diagrama (Figura 4.2.4) são os seguintes: argila, argila arenosa, argila siltosa, areia argilosa, silte argiloso, areia, areia siltosa, silte arenoso, e silte.

De maneira similar à forma de vertente, a fim de gerar um plano de informação numérico, ponderou-se valores para os tipos de solos quanto à influência na suscetibilidade do terreno ao processo de escorregamento.

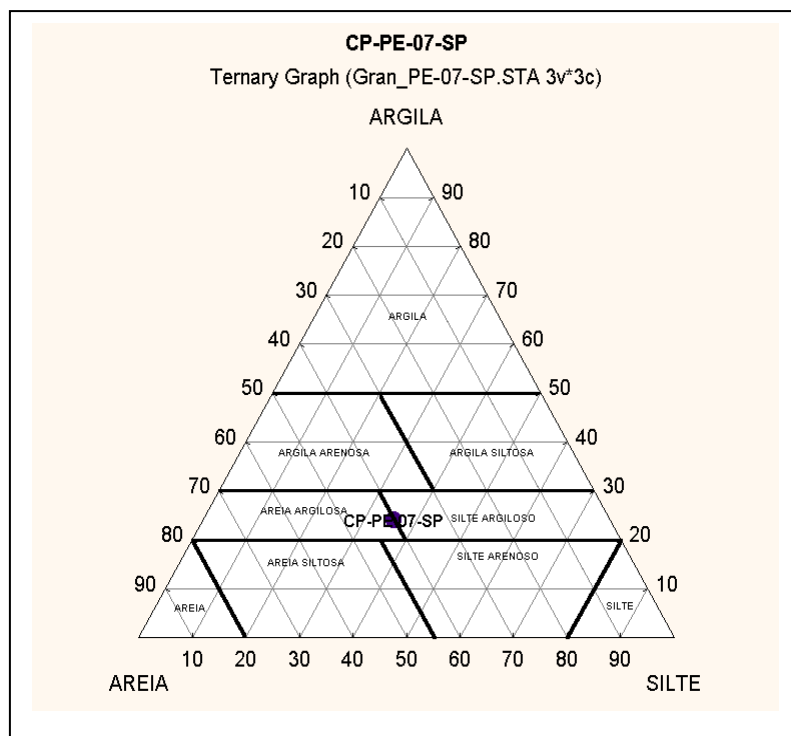


Figura 4.2.4 - Diagrama Triangular de Feret (BUENO & VILLAR, 1995).

#### 4.2.6.5. Lineamentos

Os lineamentos estruturais foram obtidos por meio do levantamento de alinhamentos de drenagem e relevo extraídos de fotografias aéreas de escala 1:60.000 mosaicado. Os alinhamentos de relevo e drenagem, de acordo com Veneziani & Anjos (1982), são feições de maior tamanho identificadas nas imagens, estruturadas, retilíneas ou curvilíneas. São definidas pela disposição contínua de lineações de drenagem ou de relevo.

Para determinar a densidade de lineamentos utilizou-se o mesmo procedimento adotado para o grau de dissecação, a partir do Plano de Informação (PI) contendo os lineamentos, gerou-se uma grade retangular de densidade de lineamentos com resolução de 20x20m. Com base nesta grade, utilizando-se um operador de média zonal em LEGAL, calcularam-se os valores médios de densidade

para cada polígono do PI que representa os compartimentos. Esses valores foram então atualizados na tabela de atributos, relacionando-se, a cada um deles, os seus polígonos correspondentes.

Os valores de densidade de lineamentos encontrados em cada polígono foram também normalizados, por meio da aplicação da fórmula de Cendrero *et al.* (2004) como descrito no subitem 4.2.8.

#### **4.2.6.6. Disponibilidade Hídrica**

Dentre os fatores climáticos, a Pluviosidade média anual e o Excedente hídrico, são indicativos da disponibilidade hídrica no terreno. A distribuição espacial destes elementos permite distinguir variações entre as UBCs para a análise da suscetibilidade a escorregamentos. Estes fatores foram fornecidos por Armani *et al.* (2007).

A determinação dos índices de Pluviosidade média anual e do Excedente hídrico foi realizada no SPRING, a partir dos respectivos PIs, gerando-se as grades numéricas para cada um destes índices, com resolução de 20x20m. Do mesmo modo que os anteriormente adotados, os valores médios de Pluviosidade e Excedente hídrico foram calculados para cada compartimento de terreno. Esses valores foram atualizados na tabela de atributos, relacionando-se, a cada um deles, os seus polígonos correspondentes. Em seguida, os valores foram normalizados por meio da aplicação da fórmula citada no subitem 4.2.8.

#### **4.2.7. Aplicação da Técnica AHP na Análise da Suscetibilidade**

A suscetibilidade do terreno a processos de escorregamentos é obtida a partir da análise dos fatores do meio físico que atuam como condicionantes destes processos, os quais correspondem às propriedades e características das unidades básicas de compartimentação (UBCs), conforme apresentado no subitem anterior.

As análises de suscetibilidade foram desenvolvidas segundo o método de sobreposição ou combinação de mapas de índices ou parâmetros que, de acordo com a abordagem proposta por Soeters & Van Westen (1996); aos fatores que

afetam a estabilidade de vertentes, são atribuídos valores ponderados proporcionais à esperada contribuição relativa em gerar a instabilização.

Para realização da análise de suscetibilidade envolvendo diferentes e múltiplos fatores (qualitativos e quantitativos) empregou-se a Técnica AHP (Analytical Hierarchy Process), proposta por Thomas Saaty em 1978, a qual, baseada na lógica da comparação pareada, permite estimar a contribuição relativa de cada um dos fatores. O uso desta técnica é recomendado para análises que envolvem diferentes e múltiplos fatores, tanto qualitativos como quantitativos (SAATY, 1992; MARQUES e ZUQUETTE, 2004; CAETANO *et al.*, 2006). A Técnica AHP é também uma ferramenta disponível no Sistema SPRING (CÂMARA *et al.* 2005).

A aplicação da técnica AHP, permite que uma decisão seja tomada com base em critérios qualitativos e quantitativos e, mesmo que sejam diferenciados e contraditórios, sua utilização é simples e de fácil desenvolvimento. Um dos princípios da técnica é dividir um problema complexo em problemas mais simples, numa estrutura de hierarquia de decisão (MARQUES e ZUQUETTE, 2004).

Os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida apresentada na Tabela 4.2.3.



Tabela 4.2.3 – Escala de importância relativa AHP para comparação pareada, definida por Saaty (1992).

Intensidade/ Importância	Definição/Explicação
1	<b>Importância Igual:</b> os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
2	<b>Importância Igual / Moderada</b>
3	<b>Importância Moderada:</b> um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
4	<b>Importância Moderada / Essencial</b>
5	<b>Importância Essencial:</b> um fator é claramente mais importante ou melhor que o outro.
6	<b>Importância Essencial / Demonstrada.</b>
7	<b>Importância Demonstrada:</b> um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
8	<b>Importância Demonstrada / Extrema</b>
9	<b>Importância Extrema:</b> a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.

Os cinco passos propostos por Rosenbloom (1996) e Zahedi (1986), ambos citados por Marques e Zuquette (2004), para resolver problemas de decisão pelo AHP são:

- Criar uma hierarquia de decisão dividindo o problema em elementos de uma hierarquia;
- Obter os valores de importância relativa dos elementos de decisão por meio de comparação pareada;
- Determinar se os dados iniciais satisfazem um teste de consistência, caso contrário, voltar para o passo 2 e refazer a comparação pareada;
- Calcular os pesos relativos dos elementos de decisão;
- Agregar os pesos relativos para obter pontuações e, assim priorizar as alternativas de decisão.

A estruturação de uma hierarquia de decisão deve colocar o objetivo principal no nível 1 (superior) e nos níveis subseqüentes, os atributos relacionados ao objetivo no nível 2, e detalhes dos atributos no nível 3. No último nível (nível 4) podem estar as possíveis alternativas de decisão (Figura 4.2.5).

Alguns atributos tiveram que ser agrupados para a configuração da estrutura AHP. Os fatores considerados foram distribuídos como segue: (a) Relevo (declividade, forma de vertente e grau de dissecação); (b) Estrutura geológica (densidade de lineamentos); (c) Material de cobertura inconsolidada (textura do solo); e (d) Disponibilidade Hídrica (pluviosidade e excedente hídrico), (Figura 4.2.5).

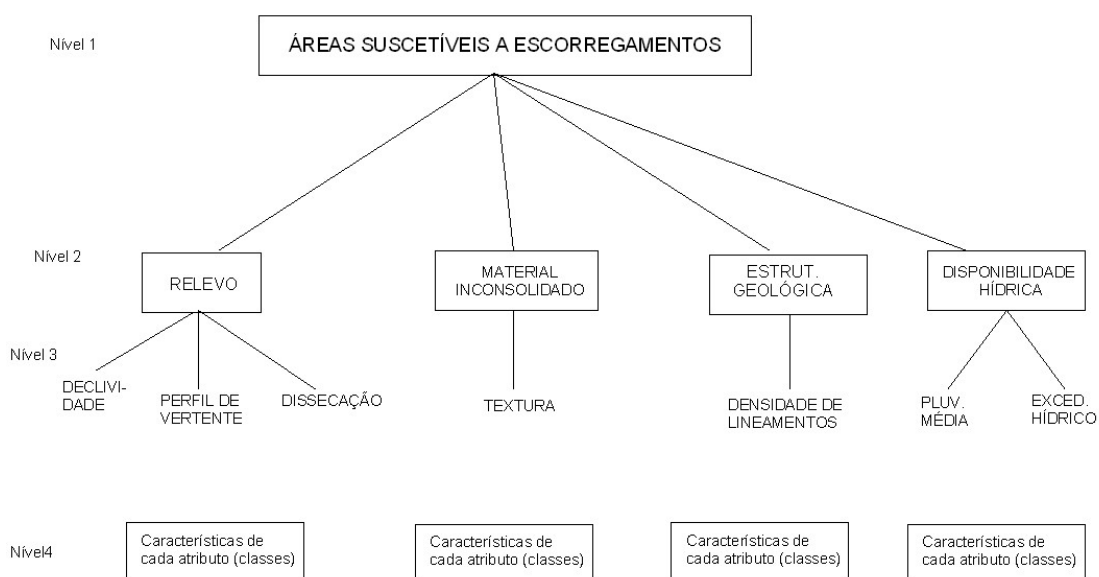


Figura 4.2.5 - Estrutura hierárquica adotada para definir áreas suscetíveis a escorregamentos.

As matrizes de comparação pareada e os respectivos pesos obtidos por meio da análise de suporte à decisão AHP no Sistema SPRING são ilustradas nas Figuras 4.2.6 e 4.2.7. Obteve-se também a razão de consistência que de acordo com Câmara et al. (2005) deve ser preferencialmente menor que 0,1.

**SupORTE à Decisão (AHP)**

Categorias

- Fator\_declividade
- Fator\_dissecação
- Fator\_estruturas
- Fator\_relevo
- Fator\_solos

Exibir

Critério	Peso	Critério
Fator_declividade	3	Algo Melhor
Fator_declividade	5	Melhor
Fator_dissecação	4	Moderadamente Melhor
	Igual	
	Igual	
	Igual	
	Igual	
	Igual	
	Igual	
	Igual	

Razão de Consistência: 0.074

Calcular Peso Fechar Ajuda

**Editor de Modelos**

Programa

```
// Pesos a ser aplicados
// Fator_declividade = 0.627
// Fator_dissecação = 0.280
// Fator_vertente = 0.094

// Razao de consistencia
// CR = 0.074

// Programa em LEGAL
// Este programa deve ser completado
```

Mensagens de Erro

Salvar Salvar Como... Fechar Ajuda

Figura 4.2.6 – (A) Matriz de comparação pareada AHP do Fator Relevo; (B) Pesos obtidos para os atributos do Fator Relevo.

**Suporte à Decisão (AHP)**

– Categorias

- Drenagem
- Fator\_clima
- Fator\_estruturas
- Fator\_relevo
- Fator\_solos
- Fator\_carrega

Exibir

Critério	Peso	Comparação	Outro Critério
Fator_estruturas	3	Algo Melhor	Fator_clima
Fator_relevo	7	Muito Melhor	Fator_clima
Fator_solos	5	Melhor	Fator_clima
Fator_relevo	6	Bem Melhor	Fator_estruturas
Fator_solos	4	Moderadamente Melhor	Fator_estruturas
Fator_relevo	4	Moderadamente Melhor	Fator_solos
		Igual	
		Igual	
		Igual	
		Igual	

Razão de Consistência: 0.088

Calcular Peso    Fechar    Ajuda

B

**Editor de Modelos**

Programa

```
// Pesos a ser aplicados
// Fator_clima = 0.049
// Fator_estruturas = 0.093
// Fator_relevo = 0.569
// Fator_solos = 0.235

// Razao de consistencia
// CR = 0.088

// Programa em LEGAL
```

Mensagens de Erro

Salvar    Salvar Como...    Fechar    Ajuda

Figura 4.2.7 – (A) Matriz de comparação pareada AHP dos fatores de suscetibilidade a escorregamentos; (B) Pesos obtidos para os fatores de suscetibilidade.

#### 4.2.8. Obtenção do Índice de Suscetibilidade e do Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos

Como já citado no subitem 4.2.6, para a inserção dos diversos fatores na análise de suscetibilidade, foram ponderados valores referentes à sua influência na suscetibilidade do terreno ao processo de escorregamento, gerando-se um plano de informação numérico para cada atributo. Esta técnica facilita a aplicação do método de sobreposição de mapas de índices e permite o processamento automatizado.

Os fatores de suscetibilidade foram hierarquizados e classificados conforme a magnitude da sua influência na suscetibilidade. Os valores atribuídos como indicadores quantitativos foram estabelecidos com base em processos de **ponderação** e de **normalização** dos fatores considerados na análise.

Para os fatores qualitativos (forma de vertente e solo), ponderaram-se valores representados numa escala de 0 a 1, onde 0 (zero) significa nenhuma influência e 1 (um), total influência, os quais foram distribuídos em 4 classes, sendo adotado o valor médio do intervalo de cada classe.

Por exemplo, ao se dividir o intervalo de 0 a 1 em 4 classes tem-se os seguintes intervalos: 0 – 0,25; 0,25 – 0,50; 0,50 – 0,75; e 0,75 – 1,00. Para não se tomar os valores dos extremos (mínimo ou máximo), calculou-se o valor médio do intervalo. Assim, para a classe de menor suscetibilidade que varia de 0 a 0,25, foi atribuído o valor médio de 0,125. Deste modo calcularam-se os valores ponderados de suscetibilidade para as formas de vertentes e tipos de solos, conforme apresentados na Tabela 4.2.4.

Tabela 4.2.4 – Valores ponderados para as formas de vertentes e tipos de solos.

Forma de Vertente	Tipos de solos	Valor ponderado	Classe de suscetibilidade
Convexa	Argiloso	0,125	Baixa
Convexo-côncava, Convexo-retilínea, Topo convexo	Argilo-arenoso Argilo-siltoso	0,375	Média
Retilínea, Topo anguloso	Areno-argiloso Siltos-argiloso	0,625	Alta
Côncava	Arenoso Areno-siltoso Siltos-arenoso Siltoso	0,875	Muito Alta

Em relação aos atributos quantitativos estes foram obtidos por meio de processamentos realizados no sistema SPRING, através de um operador de média zonal em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico - LEGAL, utilizando-se os planos de informação que continham as respectivas grades numéricas e os polígonos da compartimentação. Os valores de média zonal obtidos foram normalizados, aplicando-se a fórmula da Eq. 01 apresentada por Cendrero *et al.* (2004):

$$V_n = (V_x - V_{mín}) / (V_{máx} - V_{mín}), \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde,  $V_n$  = valor normalizado;  $V_x$  = valor obtido para o fator;  $V_{mín}$  = valor mínimo do fator;  $V_{máx}$  = valor máximo do fator.

Por exemplo, se a declividade de uma unidade for igual a  $18^\circ$  e os valores mínimo e máximo obtidos na área de estudo forem, respectivamente 3 e  $48^\circ$ , o valor normalizado será igual a:  $[(18 - 3) / (48 - 3) = 0,33]$ . Isto é, numa escala de 0 a 1, com estes valores máximo e mínimo, o valor normalizado da declividade de  $18^\circ$  é igual a 0,33.

O procedimento de normalização é utilizado em ambiente SIG para redistribuir os valores obtidos de um determinado parâmetro dentro de um intervalo desejado (CAETANO *et al.*, 2006). Neste trabalho, todos os valores dos fatores quantitativos determinados foram normalizados ou distribuídos em um **intervalo de 0 a 1**. Este procedimento foi adotado para permitir o cálculo do índice de suscetibilidade, uma vez que são considerados parâmetros diferenciados como declividade em graus, densidade de drenagem ( $m/m^2$ ), pluviosidade em mm, tipos de solos e outros (**Tabela 4.2.5**).

Após estabelecer a hierarquia dos fatores pela aplicação da Técnica AHP foram obtidos os respectivos pesos. Os valores dos pesos calculados pela análise automática AHP do SPRING para os atributos que compõem o Fator Relevo (Figura 4.2.6 A) e os pesos dos fatores da suscetibilidade (Figura 4.2.7 B) encontram-se na **tabela 4.2.6**.

Assim, inicialmente foi calculado o Fator Relevo para cada compartimento de terreno (UBC), multiplicando-se os valores normalizados de cada elemento pelo seu respectivo peso e, em seguida somados, como está expresso na seguinte equação:

$$Re = (De \times 0,627) + (Ve \times 0,094) + (Di \times 0,280) \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde, Re = Fator Relevô; De = Declividade; Ve = Forma de Vertente; Di = Grau de Dissecação.

Tabela 4.2.5 - Classes dos atributos das unidades básicas de compartimentação e os respectivos valores ponderados.

Atributos	Classes de análise	Valores ponderados (entre 0 e 1)
Forma de Vertente	Convexa	0,125
	Convexo-côncava, Convexo-retilínea, Topo convexo	0,375
	Retilínea, Topo anguloso	0,625
	Côncava	0,875
Tipos de Solos	Argiloso	0,125
	Argilo-arenoso; Argilo-siltoso	0,375
	Areno-argiloso; Siltos-argiloso	0,625
	Arenoso;Areno-siltoso; Siltos-arenoso;Siltoso	0,875
Declividade	Média zonal calculado pelo SPRING	Valor normalizado aplicando-se a fórmula: $V_n = (V_x - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})$ Vn=valor normalizado Vx=valor obtido para o polígono
Grau de Dissecação		
Lineamentos		
Pluviosidade		
Excedente Hídrico		

Tabela 4.2.6 – Pesos obtidos pela análise AHP para o fator Relevô e para a suscetibilidade.

Fatores do Relevô	Peso obtido	Fatores de Suscetibilidade	Peso obtido	Peso aplicado
Declividade	0,627	Relevô	0,569	0,60
Forma de Vertente	0,094	Solo	0,235	0,25
Grau de Dissecação	0,280	Lineamento	0,093	0,10
		Disponibilidade Hídrica	0,049	0,05

De modo semelhante ao Fator Relevô, para cálculo do **Índice de Suscetibilidade** o valor normalizado de cada fator foi multiplicado pelo seu

respectivo peso, porém, neste caso, os valores dos pesos calculados pelo AHP foram arredondados, conforme segue na equação abaixo:

$$\text{Ist} = (\text{Re} \times 0,60) + (\text{So} \times 0,25) + (\text{Li} \times 0,10) + (\text{DH} \times 0,05) \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde,

Ist = Índice de Suscetibilidade; Re = Relevo; So = Solo; Li = Lineamento; DH= Disponibilidade Hídrica (Pluviosidade + Exc. Hídrico).

A partir dos valores ponderados dos fatores de suscetibilidade foi calculado o Índice de Suscetibilidade com a aplicação da Equação 03 para cada UBC. Estes cálculos foram executados em *Excel*. Os valores obtidos para estes índices foram classificados, por meio de processamento no Programa *ArcGIS* 9.1, com a opção “Natural Breaks”, em quatro classes de suscetibilidade: Baixa, Média, Alta e Muito Alta. Estas classes são representadas no Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos, gerado pelo mesmo programa.

#### 4.2.9. Análise e Elaboração do Mapa de Perigo

Retomando o conceito de Perigo discutido no item 3.1, “... *possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo especificado.*”, baseado em Varnes (1984), Einstein (1988), entre outros, verifica-se que o perigo refere-se à probabilidade espacial e temporal de ocorrer um processo ou um fenômeno com potencial de causar danos, o que neste estudo refere-se ao escorregamento.

De acordo com Einstein (1988), a suscetibilidade a escorregamentos do terreno pode ser considerada como probabilidade espacial. Mas, como esta análise abrange também áreas urbanas, torna-se necessário considerar o uso antrópico como mais um fator de indução de processos. Pois, além da suscetibilidade natural do terreno, a ação do homem também é considerada como importante agente indutor dos processos de escorregamentos, conforme observado por vários autores, tais como, Wolle, 1980; Ter-Stepanian, 1988; Cooke & Doorkamp, 1990; Oliveira, 1990; Peloggia, 1998; Nakazawa e Cerri, 1990; Cerri, 1993; Augusto Filho e Virgili, 1998, entre outros.



As diversas atividades humanas implicam em modificações na dinâmica da paisagem que, muitas vezes, levam à indução dos processos naturais. As ocupações irregulares e desordenadas são caracterizadas pelo desmatamento de encostas, pela execução de obras de corte e aterro sem obras de contenção e pela implantação de moradias precárias destituídas de infra-estrutura de drenagem de águas pluviais, pavimentação e saneamento básico. Esses fatores de ocupação alteram as condições de equilíbrio do meio resultando em instabilidade de vertentes. A ocupação inadequada de áreas com características impróprias amplia a magnitude e a frequência de ocorrência dos processos de escorregamentos, inundações e erosões, causadores de acidentes e desastres, ao mesmo tempo que intensificam a vulnerabilidade da área à ocorrência destes fenômenos perigosos (MARCHIORI-FARIA *et al.* 2005; SANTORO *et al.* 2005; ROSSINI-PENTEADO *et al.*, 2007).

Os mapas de uso do solo urbano e do padrão de ocupação residencial (Figuras 4.1.11 e 4.1.12) foram produzidos visando fornecer os fatores considerados na avaliação de risco, que são: o potencial de indução do uso e ocupação do solo, a vulnerabilidade e o dano potencial do elemento em risco (ROSSINI-PENTEADO *et al.*, 2007).

No entanto, o fator de indução de perigo deve ser definido para toda a área de análise e não somente para as de uso urbano. Desse modo foi necessário mapear a cobertura vegetal e outros tipos de ocupação não contemplados no mapa de uso inicial. As unidades de uso e ocupação foram definidas conforme as seguintes categorias: cobertura vegetal (distinguidas quanto ao porte arbóreo, arbustivo ou herbáceo); atividade agro-pastoril; áreas urbanas; áreas de solo exposto e de afloramento rochoso.

As áreas urbanas foram caracterizadas quanto ao tipo de uso e padrão da ocupação em seus aspectos físicos e sócio-econômicos. Os atributos considerados por Rossini-Penteado *et al.* (2007), como fatores de indução de processos foram: Modo de Ocupação; Estágio de Ocupação; Traçado do Sistema Viário; Esgotamento Sanitário; Abastecimento de Água; Destinação do Lixo; e Tratamento do Sistema Viário. Estes fatores foram classificados de acordo com seu potencial de indução aos processos de escorregamentos por meio de notas ponderadas e ou normalização, definidas em função das características específicas de cada fator, conforme mostra a figura 4.2.8.

(a)	<b>UP2</b> Modo de Ocupação	<b>UP2_NPV</b> Nota para Potencial de Indução e Vulnerabilidade - (valor ponderado entre 0 e 1)
	Planejado Conjunto Residencial	0,125
	Planejado Loteamento	0,375
	Espontâneo Médio ou Alto Padrão	0,625
	Espontâneo Baixo Padrão	0,875

(b)	<b>UP6</b> Estágio de Ocupação (% de área ocupada com edificações)	<b>UP6_NPV</b> Nota para Potencial de Indução e Vulnerabilidade - (Valor ponderado entre 0 e 1)
	Consolidado (>80%)	0,165
	Em Consolidação (30-80%)	0,825
(c)	Rarefeito (< 30%)	0,495

(c)	<b>UP12</b> Traçado do Sistema Viário e disposição dos lotes e edificações em relação à curva de nível	<b>UP12_NPE</b> Nota para Potencial de Indução (Valor ponderado entre 0 e 1)
	Inadequado	0,75
	Adequado	0,25

(d)	<b>IE1_NPV</b> Esgoto Nota para Potencial de Indução e Vulnerabilidade (Valor normalizado entre 0 e 1)	<b>IE1_NVB</b> Esgoto (Nota para Dano Potencial - (Valor normalizado entre 0 e 1 - invertido))
	Fórmula ( $V_n = (V_f - V_{min}) / (V_{max} - V_{min})$ )	$X_{inver} = (1 - IE1\_NN\_PV)$

(e)	<b>IE2_N</b> Valor da Água no Setor (Média Ponderada do N° de casas em cada classe X Nota de Cada Classe)	<b>IE2_NPV</b> Água Nota para Potencial de Indução e Vulnerabilidade - (Valor normalizado entre 0 e 1)
	( $IE2\_A \times 16.5$ ) + ( $IE2\_B \times 50$ ) + ( $IE2\_C \times 82.5$ ) / ( $IE2\_A + IE2\_B + IE2\_C$ )	Fórmula ( $V_n = (V_f - V_{min}) / (V_{max} - V_{min})$ )

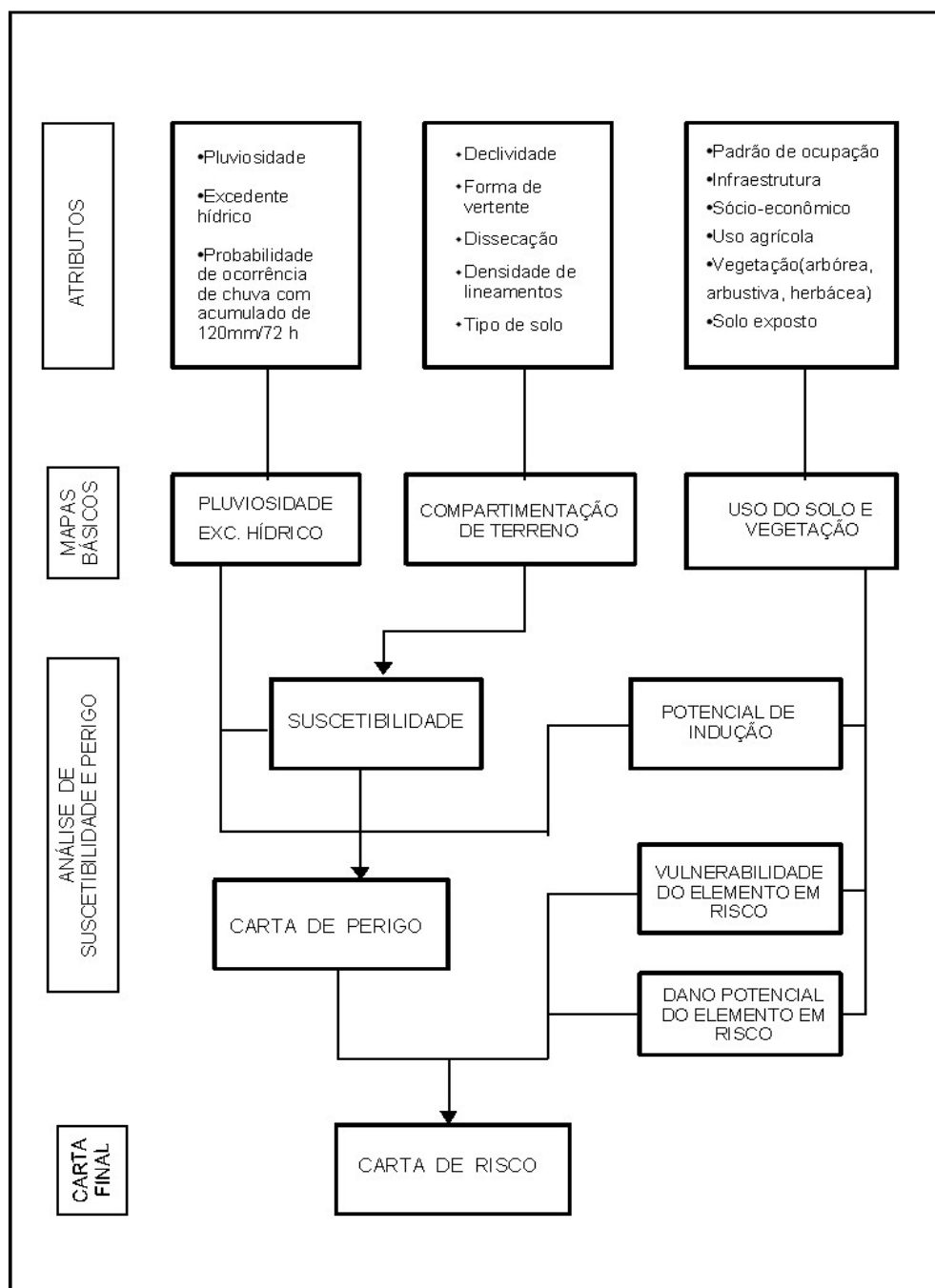
(f)	<b>IE3_N</b> Valor do Lixo no Setor (Média Ponderada do N° de casas em cada classe X o Valor de Cada Classe)	<b>IE3_NPV</b> Lixo Nota para Potencial de Indução e Vulnerabilidade - (Valor normalizado entre 0 e 1)
	( $IE3\_A \times 16.5$ ) + ( $IE3\_B \times 50$ ) + ( $IE3\_C \times 82.5$ ) / ( $IE3\_A + IE3\_B + IE3\_C$ )	Fórmula ( $V_n = (V_f - V_{min}) / (V_{max} - V_{min})$ )

(g)	<b>IE4</b> Tratamento do Sistema Viário - Pavimentação (% de vias pavimentadas)	<b>IE4_NPV</b> Nota para Potencial de Indução e Vulnerabilidade (Valor ponderado entre 0 e 1 invertido)
	0-20	0,9
	20-40	0,7
	40-60	0,5
	60-80	0,3

Figura 4.2.8. – Atributos do uso urbano com as notas ou modo de obtenção do fator de potencial de indução (ROSSINI-PENTEADO *et al.*, 2007).

Assim, a elaboração do Mapa de Perigo a Escorregamentos baseou-se na combinação dos mapas de compartimentação de terreno e de uso e ocupação do solo, por meio do cruzamento dos planos de informação no SPRING, gerando novos polígonos, aos quais foi aplicada uma seqüência de análises conforme ilustrado na Figura 4.2.9.



**Figura 4.2.9** - Fluxograma da análise de perigo e risco, modificado de Tominaga et al., 2004.

Com base no método de combinação de mapas de índices ou parâmetros de Soeters & Van Westen (1996) e nos procedimentos de cálculo de probabilidade utilizados por Augusto Filho (2001), para a análise do perigo adotou-se uma abordagem de cálculo do **Índice de Perigo (I<sub>Pe</sub>)** que corresponde à multiplicação da média simples entre os Índices de Suscetibilidade (I<sub>St</sub>) e o Índice de Potencial de Indução (I<sub>PI</sub>) pela Probabilidade de ocorrência de chuva acumulada de 120mm em 72 horas (PCh).

$$I_{Pe} = [(I_{St} + I_{PI})/2 \times PCh] \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde, I<sub>Pe</sub> = Índice de Perigo a Escorregamentos, variando de 0 a 1;

I<sub>St</sub> = Índice de Suscetibilidade a Escorregamentos (Eq. 03);

I<sub>PI</sub> = Índice de Potencial de Indução, variando entre 0 e 1;

PCh = Probabilidade de chuva acumulada de 120mm/72h, entre 0 e 1.

Os índices de suscetibilidade do terreno e de potencial de indução do uso e ocupação do solo representam na expressão acima, a probabilidade espacial da ocorrência de escorregamentos, enquanto a probabilidade de acumulado de chuva de 120mm em 72 horas, refere-se à probabilidade temporal, considerando-se o período de um ano. Por se tratarem de eventos mutuamente independentes, o produto destes dois índices corresponde à probabilidade final.

No subitem 4.2.8, já foi descrita a forma de obtenção do Índice de Suscetibilidade. Quanto ao Índice de Potencial de Indução dos elementos e padrões de uso e ocupação do solo para cada unidade homogênea, este foi obtido a partir do cálculo da média simples entre as notas dos fatores indutores, considerando todos os fatores com igual peso (ROSSINI-PENTEADO *et al.*, 2007):

$$I_{PI} = (UP2 + UP6 + UP12 + IE1 + IE2 + IE3 + IE4) / 7$$

Onde, I<sub>PI</sub> = Índice de Potencial de Indução, variando entre 0 e 1;

UP2 - Modo de Ocupação; UP6 - Estágio de Ocupação; UP12 - Traçado do Sistema Viário e Disposição dos Lotes e Edificações em relação à Curva de Nível; IE1 - Esgotamento Sanitário; IE2 - Abastecimento de Água; IE3 - Destinação do Lixo; e IE4 - Tratamento do Sistema Viário (valores ponderados ou normalizados; vide Figura 4.2.8).

As demais unidades de uso (as não urbanas) foram avaliadas quanto ao potencial de indução a processos em função do nível de cobertura e proteção do solo. Nas unidades de cobertura vegetal considerou-se o porte da vegetação. A estas unidades atribuiu-se notas variando de 0 a 1, onde 0 (zero) indica influência nula e 1 (um) total influência na indução de processos de escorregamento (Tabela 4.2.7).

Tabela 4.2.7 – Índices do potencial de indução das unidades de uso e ocupação não urbanos.

Unidades de uso e ocupação do solo	Índice de potencial de indução
Vegetação arbórea densa	0,1
Vegetação arbustiva e arbórea/arbustiva	0,2
Vegetação herbácea e herbácea/arbustiva	0,4
Agro-pastoril	0,4
Afloramento rochoso	0,6
Solo exposto	0,8

Na análise de perigo o fator chuva é considerado um agente deflagrador de escorregamentos. Diversos estudos comprovaram que ocorrências de chuvas intensas estão associadas à deflagração destes processos e em muitos casos é possível determinar a magnitude da precipitação crítica (GUIDICINI & NIEBLE 1984, TATIZANA *et al.*, 1987; WOLE, 1988; THORNES & ALCÂNTARA-AYALA 1998, LARSEN & TORREZ-SANCHES 1998).

O parâmetro de chuva adotado neste estudo como um limiar crítico é o acumulado de 120 mm em 72 horas, a partir do qual a possibilidade de que ocorram escorregamentos aumenta consideravelmente, conforme observado por Tavares *et al.* (2004). Estes autores analisaram os totais de chuvas associados aos escorregamentos e os dados pluviométricos, ao longo de vinte e nove anos na Região do Litoral Norte e verificaram que a maioria dos registros de escorregamentos ocorreu com chuva acumulada igual ou superior a 120mm/72 h, totalizando 69% dos casos. Os 31% restantes ocorreram com acumulados menores, porém tinham como causa a indução antrópica direta ou uma seqüência chuvosa mais intensa anterior ao período de 72h. Este índice é também utilizado na operação do Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) na região do Litoral Norte (MACEDO *et al.* 1999) e ao longo de 18 anos de operação do plano tem se mostrado adequado.

Assim, considerando-se que a precipitação acumulada de 120mm em 72 horas é o agente deflagrador dos escorregamentos e que o tempo de retorno (em anos) desta precipitação é anual (Figura 4.1.8) a probabilidade de que a mesma ocorra no intervalo de um ano é 1 (um) ou de 100%. Este valor corresponde à probabilidade temporal. Portanto, na Equação de Perigo [ $I_{Pe} = (I_{St} + I_{PI})/2 \times P_{Ch}$ ], a probabilidade de precipitação acumulada de 120mm/72h ( $P_{Ch}$ ) é um valor constante, 1 (um) para toda a área de estudo, variando os demais índices referentes à suscetibilidade do terreno ( $I_{St}$ ) e ao potencial de indução do uso do solo ( $I_{PI}$ ).

O Índice de Perigo ( $I_{Pe}$ ) foi calculado em Planilha *Excel* para cada polígono derivado da combinação do mapa de compartimentação de terreno e do mapa de uso e ocupação do solo e de vegetação. Os índices obtidos foram classificados em cinco classes: Baixo, Moderado, Moderado a Alto, Alto e Muito Alto.

O Mapa de Perigo a Escorregamentos representando estas classes de perigo foi gerado no ArcGIS 9.1.

#### 4.2.10. Análise e Elaboração do Mapa de Risco a Escorregamentos

De acordo com Anbalagan (1996), avaliação de risco refere-se a uma estimativa da extensão dos prováveis danos que podem resultar se o escorregamento ocorrer. Os danos podem ser na forma de perdas de vidas ou ferimentos às pessoas, ou danos aos recursos da terra e propriedades. Portanto, risco é uma função da probabilidade de ocorrência do perigo (*hazard*) e da provável consequência (dano potencial), e pode ser expresso como:

$R = f(HP, DP)$ , onde, HP = probabilidade de perigo (*hazard probability*) e DP = dano potencial.

No entanto, como o Dano Potencial (DP) está associado à vulnerabilidade do elemento em risco, adotou-se, neste trabalho, a seguinte equação:

$$R = [P \times (V \times D)],$$

Onde R = Risco; P = Perigo; V = Vulnerabilidade; e D = Dano Potencial

O Perigo, que corresponde à probabilidade de um escorregamento potencialmente danoso ocorrer dentro de um espaço e num determinado período, foi definido em função da suscetibilidade a escorregamentos, do potencial de indução

do uso do solo e da probabilidade de evento chuvoso associado à deflagração de processos de escorregamentos (subítem 6.9). O Índice de Perigo calculado para cada unidade de terreno variou entre 0 e 1 (Equação 04)

A Vulnerabilidade e o Dano Potencial também foram definidos como índices variando de 0 a 1 com base nos atributos das unidades de uso e ocupação do solo (Figura 4.2.10). A vulnerabilidade reflete as condições dadas por fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais podem aumentar ou reduzir a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos (ONU, 2004). Dano potencial refere-se à estimativa da extensão do dano resultante, expressa pelo número de pessoas ou pelo valor das propriedades e bens sob risco.

De acordo com Rossini-Penteado *et al.* (2007), os atributos considerados como **fatores de vulnerabilidade** incluem: Modo de Ocupação (UP2); Estágio de Ocupação (UP6); Modelo de Ocupação (UP11); Padrão das Edificações (UP14); Esgotamento Sanitário (IE1); Abastecimento de Água (IE2); Destinação do Lixo (IE3); Tratamento do Sistema Viário (IE4); Instrução (SE4) e Renda (SE5). O modo de obtenção das notas ponderadas e ou normalizadas em função da maior ou menor influência de cada fator na vulnerabilidade são apresentadas na Figura 4.2.9 a, b, d, e, f, g e na Figura 4.2.10 a, b, c, d.

O índice de vulnerabilidade do elemento em risco (pessoas, bens e propriedades) para cada unidade de uso urbano foi obtido a partir do cálculo da média simples entre as notas dos fatores indutores, atribuindo a cada fator igual peso (ROSSINI-PENTEADO *et al.*, 2007):

$$\text{IVER} = (\text{UP2} + \text{UP6} + \text{UP11} + \text{UP14} + \text{IE1} + \text{IE2} + \text{IE3} + \text{IE4} + \text{SE4} + \text{SE5}) / 10$$

onde, IVER = Índice de Vulnerabilidade do Elemento em Risco, variando entre 0 e 1.

A extensão do dano ou valoração do elemento em risco é diretamente dependente do padrão de uso do solo existente, da área a ser afetada e da população (ANBALAGAN & SINGH 1996). Esta avaliação do dano potencial pode ser realizada, de forma específica, para pessoas e para bens e propriedades.

O índice de dano potencial às pessoas foi estimado por Rossini-Penteado *et al.* (2007) com base nos valores normalizados do Fator Número de Habitantes no Setor (SE2) (Figura 4.2.10 e).

## IDPP = SE2

Onde, IDPP = Índice de Dano Potencial às Pessoas, variando entre 0 e 1.

Tendo definido os Índices de Perigo, Vulnerabilidade e Dano Potencial, variando entre 0 e 1, obtém-se o Índice de Risco pela multiplicação destes índices:

$$\text{IRIS} = [(\text{IPe} \times (\text{IVER} \times \text{IDPP}))] \quad (\text{Eq. 05})$$

Onde, IRIS = Índice de Risco, variando entre 0 e 1.

Para elaboração da Carta de Risco a População associado a Escorregamentos, os valores de IRIS obtidos foram inicialmente normalizados entre 0 e 1 e agrupados em quatro classes: Baixo, Médio, Alto e Muito Alto.

(a)

UP11 Modelo de Ocupação	UP11_NVU Nota para Vulnerabilidade - (Valor ponderado entre 0 e 1)
Ortogonal Xadrez	0,165
Ortogonal Retangular	
Sinuoso	
Irregular	0,495
Orgânico	
Dendrítico	0,825
Cul de Sac	
Sem Forma Definida	

(b)

UP14 Padrão das Edificações	UP14_NVU Nota para Vulnerabilidade - (Valor ponderado entre 0 e 1)
Alto (Alvenaria, predomínio de cobertura de telha cerâmica; Boa Estrutura)	0,165
Médio (Alvenaria, variação da cobertura do tipo Laje, amianto, Zinco e telha cerâmica; Estrutura Deficiente)	0,495
Baixo (Alvenaria ou Madeira, predomina telha de amianto e/ou Zinco; Sem Estrutura)	0,825

(c)

SE4_N Valor da Instrução	SE4_NVU Nota para Vulnerabilidade - (Valor Normalizado entre 0 e 1)
Relação não alfabetizados/ Total (A + NA)	Fórmula ( $V_n = (V_f - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})$ )

(d)

SE5_N Valor da Renda do Setor (Média Ponderada do N° de Pessoas X nota da Classe)	SE5_NVUI Nota para Vulnerabilidade ( $V_n = (V_f - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})$ )
---	---

(e)

SE2 N° de Habitantes no Setor	SE2_NVP Nota para Dano Potencial
Multiplicar valor médio de hab/res/setor pelo número de casas do setor	Fórmula ( $V_n = (V_f - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})$ )

Figura 4.2.10 – Atributos do uso urbano considerados como fatores de vulnerabilidade (a, b, c, d) e de dano potencial do elemento em risco população (e) (ROSSINI-PENTEADO *et al.*, 2007).



### **4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O desenvolvimento da abordagem metodológica apresentada no item 4.2 baseou-se na compartimentação ou zoneamento do meio físico obtido por meio da aplicação de técnicas de compartimentação fisiográfica, segundo proposta de Vedovello (2000), combinada com métodos de análise baseada nas feições de relevo (*landforms*) conforme classificação taxonômica de Ross (1992).

Organizou-se um banco de dados geográficos no Sistema SPRING, versão 4.2, o qual foi utilizado em todas as etapas desde a aquisição de dados por meio da interpretação de imagens acopladas às bases digitais, obtenção dos parâmetros morfométricos (densidade de drenagem, declividade), como na análise e integração das informações espaciais, geração de MNT, entre outros.

O Programa ArcGIS 9.1 da ESRI, foi utilizado para obtenção dos produtos finais como mapa de declividade, de drenagens, formas de vertentes e para a edição dos mapas processados no SPRING. Aplicou-se também processamento do ArcGIS para a classificação de suscetibilidade e os mapas de suscetibilidade, perigo e risco foram gerados por este programa.

A seguir são apresentados os resultados obtidos na aplicação do ensaio metodológico de análise de perigos e riscos a escorregamentos discutido no item 4.2, divididos nos seguintes itens: Mapas básicos; Mapa de compartimentação de terreno; Caracterização geoambiental; Mapa de uso do solo; Mapa de suscetibilidade a escorregamentos; Mapa de perigo a escorregamentos; e Mapa de risco associado a escorregamentos.

#### **4.3.1 Mapas Básicos**

##### **4.3.1.1. Mapa topográfico**

A base topográfica da Folha Praia da Enseada na escala 1:10.000 do IGC (1978) foi obtida em formato digital com equidistância das curvas de nível de cinco em cinco metros. Na figura 4.3.1 apresenta-se a base topográfica utilizada com a delimitação da área selecionada para aplicação do ensaio metodológico proposto.

#### **4.3.1.2. Mapa de Drenagens**

Este mapa foi organizado a partir da hidrografia do mapa topográfico da Folha Praia da Enseada, complementado com as demais drenagens identificadas pela análise da conformação das curvas de nível. O mapa de drenagens foi utilizado para fornecer o grau de dissecação das unidades de terreno o qual é apresentado juntamente com o mapa topográfico na figura 4.3.1.

#### **4.3.1.3. Modelo Digital de Elevação (MDE)**

O MDE da área de estudo foi gerado pelo Programa *ArcGIS* 9.1, com a utilização da ferramenta do *Arctoolbox*, interpolador *Topo to Raster*, tendo como dados de entrada as curvas de nível e os pontos cotados da base topográfica da Folha Praia da Enseada. A confecção do MDE permite a obtenção do mapa de declividade, além de possibilitar com a aplicação do sombreamento uma visualização do relevo em 3D (Figura 4.3.2).

#### **4.3.1.4. Mapa de Declividade**

Como citado acima, o mapa de declividade foi obtido a partir do MDE com aplicação de uma grade retangular de declividade em graus, com resolução de 2x2m. As classes de declividades definidas para subsidiar a análise da ocorrência de escorregamentos foram representadas nos seguintes intervalos: menor que 3°, de 3 a 7°, de 7 a 17°, de 17 a 25°, de 25 a 35° e maior que 35° (Figura 4.3.3).

#### **4.3.1.5. Mapa de Inventário de Escorregamentos**

O mapa de inventário de escorregamentos foi organizado com o intuito de representar e localizar as ocorrências de escorregamentos na área de estudo. Foram obtidos dados de três fontes: o inventário de escorregamentos do Plano Preventivo da Defesa Civil (PPDC) do período de 1988 a 2001 (SANTORO, 2003); setores de risco do Mapeamento de Risco de Ubatuba executado para a Defesa Civil (IG/SMA, 2006); e dos levantamentos de campo realizados em 2006 para esta pesquisa (Figura 4.3.4).

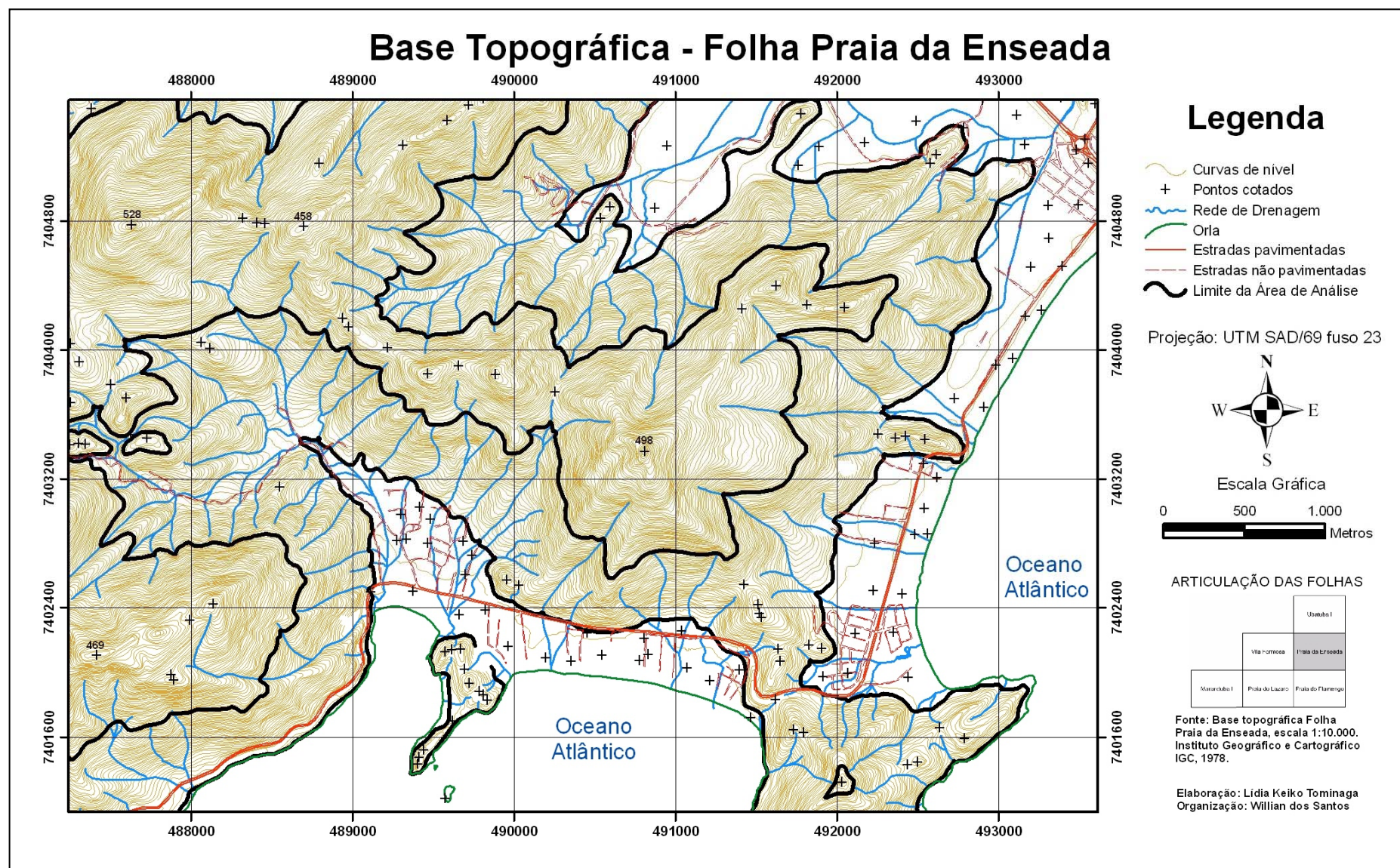


Figura 4.3.1 – Mapa Topográfico e de Drenagens da Folha Praia da Enseada, escala original 1:10000.

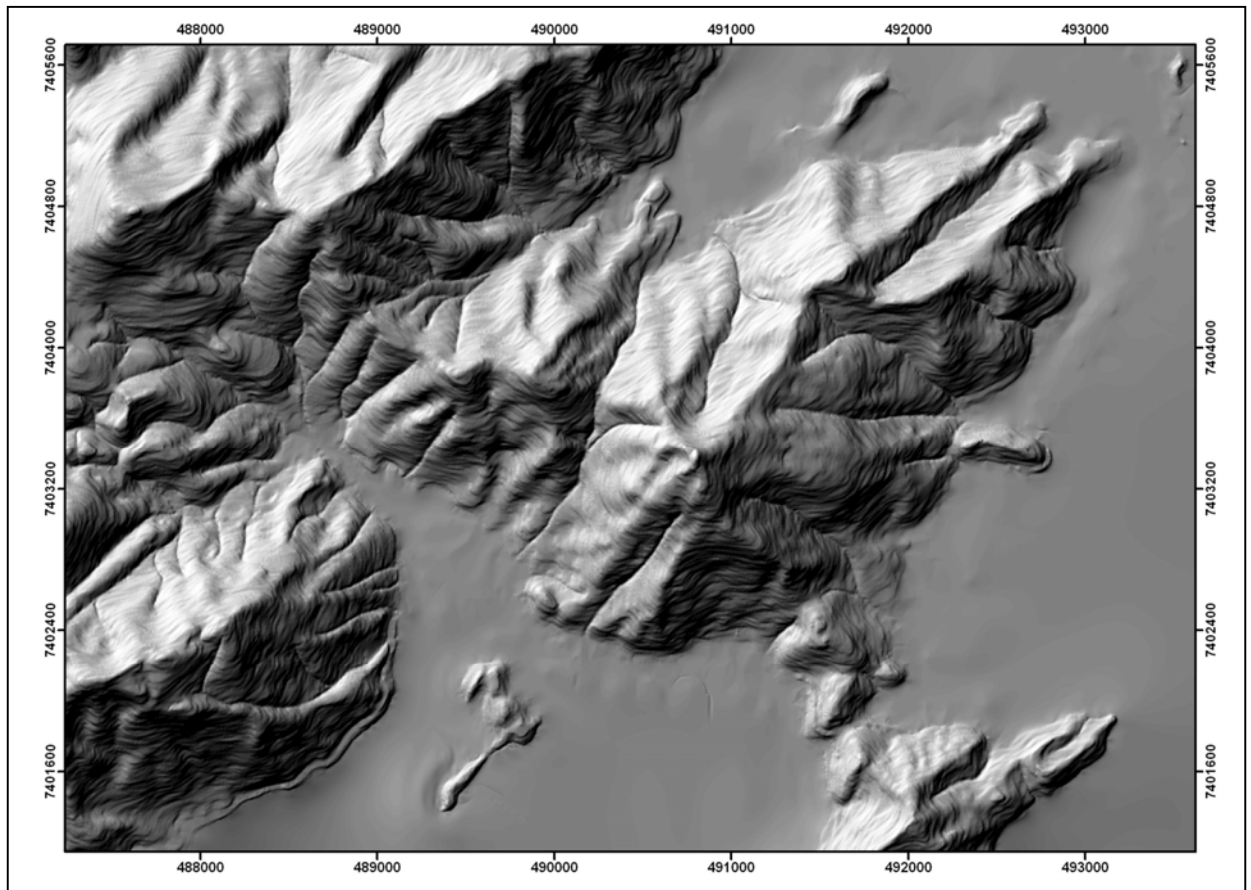


Figura 4.3.2 – Modelo Digital de Elevação (MDE) da Folha Praia da Enseada com sombreamento.



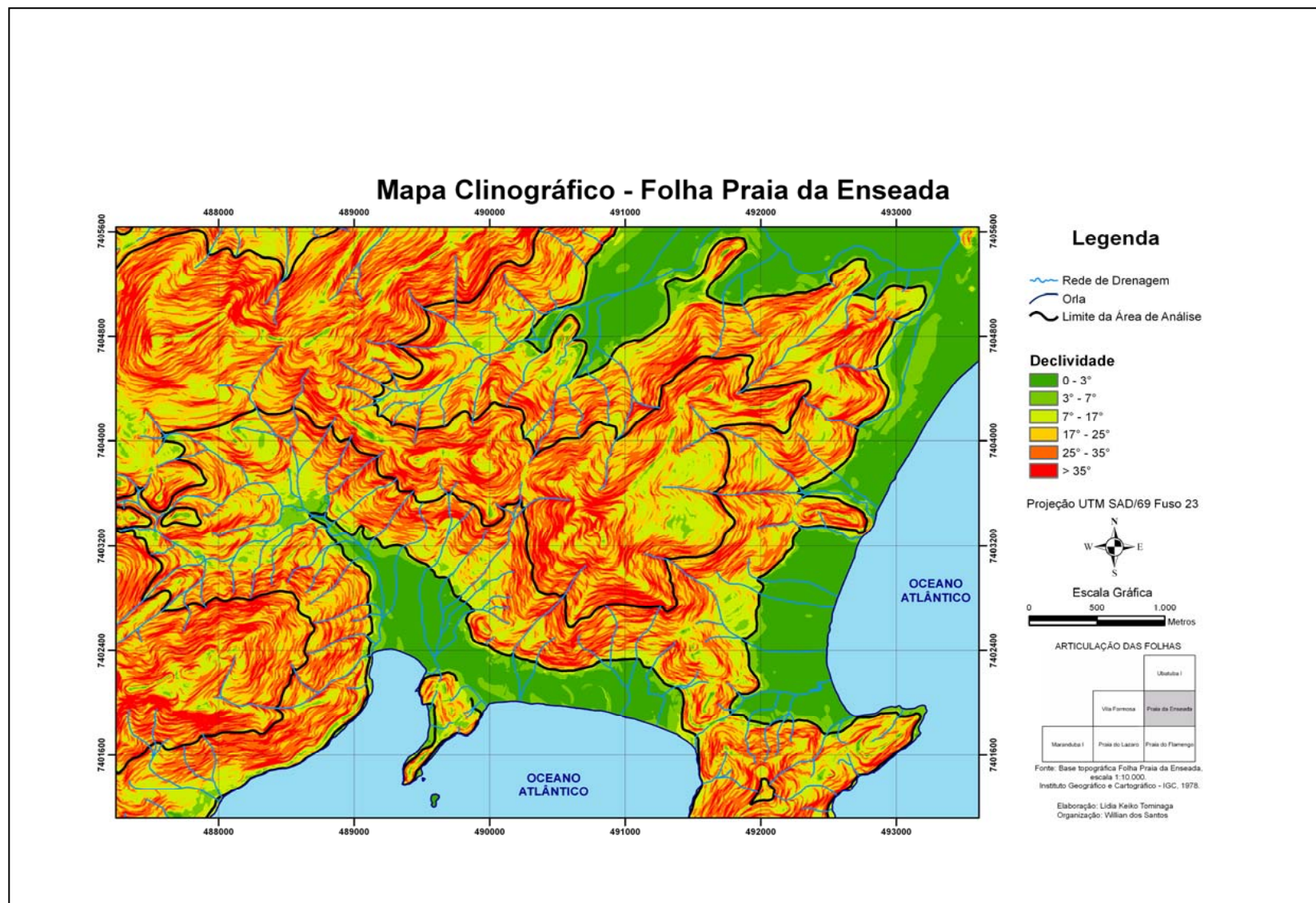


Figura 4.3.3 – Mapa Clinográfico da Folha Praia da Enseada.



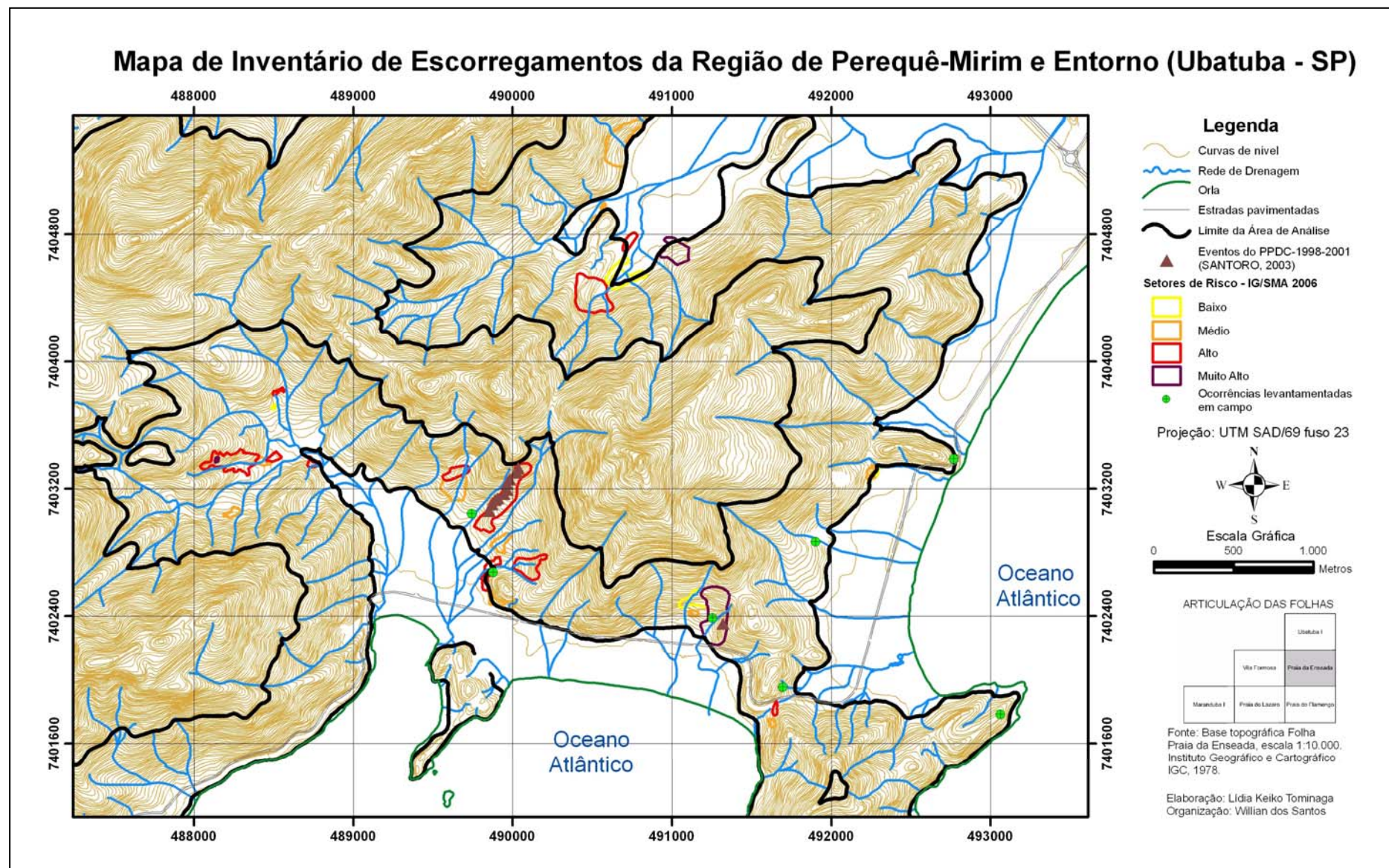


Figura 4.3.4 – Mapa de Inventário de Escorregamentos da Região do Perequê-Mirim e Entorno (Ubatuba – SP).

#### **4.3.2. Mapa de Compartimentação de Terreno**

A compartimentação da área de estudo foi estruturada em quatro níveis hierárquicos relacionados a domínios e características geológico-geomorfológicas da região (**Anexo 1**). Os quatro níveis considerados foram os seguintes:

1º nível: corresponde aos principais setores geomorfológicos regionais: Serrania e Planície Litorânea.

2º nível: associados aos litotipos dos principais domínios geológicos mapeados para a área de estudo.

3º nível: associada à morfologia predominante das vertentes.

4º nível: corresponde às variações locais dos elementos de relevo quanto à declividade e grau de dissecação.

No Quadro 4.3.1 são descritos os quatro níveis considerados para o setor de Serrania e no Quadro 4.3.2 os três níveis do setor de Planície Litorânea.

O mapa de forma de vertentes, apresentado no **Anexo 03**, foi elaborado para complementar o mapa de compartimentação de terrenos, detalhando os setores de vertentes quanto às formas convexas, côncavas, retilíneas, convexo-côncavas, rampas coluviais e topos. Estes setores foram classificados nos seguintes intervalos de declividades: de 7 a 17º; 17 a 25º; e maiores que 25º.

Quadro 4.3.1 - Síntese das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) definidas no Setor de Serrania.

SETOR GEOMORFO-LÓGICO	DOMÍNIO LITOLÓGICO	MORFOLOGIA	DECLIVIDADE/ DISSECAÇÃO	CÓDIGO DA UBC
Serrania (S)	Charnockito equigranular a porfíritico (H)		Declividade baixa, Dissecação baixa (1)	SHC1
			Declividade baixa, Dissecação alta (2)	SHC2
			Declividade média, Dissecação baixa (3)	SHC3
		Vertente convexa (C)	Declividade média, Dissecação alta (4)	SHC4
			Declividade alta, Dissecação baixa (5)	SHC5
			Declividade alta, Dissecação alta (6)	SHC6
			Declividade muito alta, Dissecação baixa (7)	
		Vertente côncava (V)	1 a 6	SHV1 a 6
		Vertente Retilínea (R)	1 a 7	SHR1 a 7
		Vertente convexo-côncava (CV)	1 a 6	SHCV1 a 6
		Vertente convexo-retilínea(CR)	1 a 6	SHCR1 a 6
		Topo anguloso (Ta)	Não se aplica	SHTa
		Topo convexo (Tc)	Não se aplica	SHTc
	Biotita Granito porfíritico (G)	Vertente convexa (C)	1 a 3	SGC1 a 3
		Vertente côncava (V)	1 a 3	SGV1 a 3
		Vertente Retilínea (R)	1 a 5	SGR1 a 5
		Vertente convexo-côncava (CV)	1 a 3	SGCV1 a 3
		Topo anguloso (Ta)	Não se aplica	SGTa
		Topo convexo (Tc)	Não se aplica	SGTc
	Tálus/Colúvio (C)	Rampas	Não se aplica	SCR

Quadro 4.3.2 - Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) definidas no Setor de Planície Litorânea.

SETOR GEOMORFO-LÓGICO	DOMÍNIO LITOLÓGICO	MORFOLOGIA	CÓDIGO DA UBC
Planície Litorânea (L)	Depósitos coluviais, leques aluviais, depósitos fluviais e mistos (C)	Rampas de muito baixa declividade, planícies de inundação e terraços fluviais, paleolagunas colmatadas	LC
	Depósitos marinhos (M)	Cordões litorâneos e terraços marinhos	LM
	Depósitos lagunares e estuarinos (L)	Terraços lagunares e planícies de maré atuais	LL
	Depósitos de praias atuais (Pr)	Praias	LPr



#### 4.3.3. Caracterização Geoambiental

A caracterização geoambiental das unidades de compartimentação (UBCs) foi obtida a partir de informações de trabalhos anteriores, de levantamentos de campo, de análise de fotografias aéreas e de análise espacial dos elementos com uso de geoprocessamento. A seguir, descrevem-se os elementos levantados nesta etapa. No Quadro 4.3.3 apresenta-se um exemplo desta caracterização e no **Anexo 02**, as informações de todas as unidades.

Quadro 4.3.3 – Exemplo de caracterização geoambiental das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs)

CODUBC	GEOMORFO	DOMÍNIO LITOLOGIC	VERTENTE	DECL_MEI	VERT_NOT	DISS_MED	LINE_MED	CHUV_MED	EX_H_MED	SOLOS
SGV3	SERRANIA	BIOTITA GRANITO	CONCAVA	21,1227	0,8750	1,3189	0,7089	2393,7596	1295,5846	Areia silto-argilosa
SCR	SERRANIA	COLUVIO/TALUS	RAMPA COLUV.	9,8396	0,0000	4,4481	1,5808	2373,0784	1214,2625	Argila arenosa
SHR4	SERRANIA	CHARNOCKITO	RETILINEA	26,1565	0,6250	4,4980	0,0000	2128,0700	977,6491	Areia silto-argilosa
SGV3	SERRANIA	BIOTITA GRANITO	CONCAVA	24,9201	0,8750	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Areia silto-argilosa
SGTC	SERRANIA	BIOTITA GRANITO	TOPO CONVEXO	17,3830	0,3750	0,3711	0,0000	2115,3334	966,5873	Areia silto-argilosa
SCR	SERRANIA	COLUVIO/TALUS	RAMPA COLUV.	21,2374	0,0000	1,5164	0,2439	2243,6413	1068,9241	Silte argiloso
SGC3	SERRANIA	BIOTITA GRANITO	CONVEXA	17,7442	0,1250	0,0000	2,4230	2389,7366	1315,1403	Areia argilosa
SHCR4	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXO RET.	25,5937	0,3750	1,4355	0,9502	2379,0219	1300,8895	Areia silto-argilosa
SHCV5	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXO-CONC.	28,6444	0,3750	0,7899	1,9023	2218,4329	1100,3873	Areia argilo-siltosa
SHV2	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA	19,0751	0,8750	2,8843	0,0000	2358,5365	1262,8324	Areia argilosa
SHCV4	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXO-CONC	25,6448	0,3750	2,7146	3,2825	2264,9269	1173,8838	Areia argilo-siltosa
SHCV5	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA- CONV.	28,0136	0,3750	2,0382	0,0000	2272,4342	1183,7780	Areia argilo-siltosa
SHCV3	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA- CONV	26,4588	0,3750	5,0845	1,9547	2292,6955	1217,9779	Areia argilosa
SHC1	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXA	20,7989	0,1250	5,1056	3,1970	2304,2365	1224,7537	Argila arenosa a silt.
SGV1	SERRANIA	BIOTITA GRANITO	CONCAVA	18,8113	0,8750	4,7114	0,0000	2113,7080	944,0912	Argila areno-siltosa
SHC1	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXA	17,4917	0,1250	1,6855	0,0000	2215,8114	1098,8971	Argila arenosa a silt.
SHV1	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA	13,4872	0,8750	2,3493	0,7378	2207,5117	1044,5319	Argila arenosa
SHR6	SERRANIA	CHARNOCKITO	RETILINEA	28,8424	0,6250	0,0000	0,8666	2205,5327	1063,7437	Areia siltosa
SCR	SERRANIA	COLUVIO/TALUS	CONVEXO-CONC	21,0033	0,3750	5,7045	1,0326	2270,6687	1152,5962	Areia argilosa
SHV1	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA	15,9875	0,8750	8,0691	0,4361	2282,6157	1203,6741	Argila arenosa
SHV3	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA	32,1783	0,8750	0,1845	0,2538	2288,6912	1201,8421	Areia argilosa
SHR3	SERRANIA	CHARNOCKITO	RETILINEA	27,0702	0,6250	1,1012	0,0825	2284,9258	1158,0650	Areia silto-argilosa
SHV1	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA	14,9035	0,8750	2,0264	0,0000	2290,4244	1183,5342	Argila arenosa
SHC1	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXA	14,8762	0,1250	0,6335	0,0000	2345,9270	1263,6134	Argila arenosa a silt.
SHC4	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXA	23,7077	0,1250	1,0336	0,0000	2359,3229	1231,8114	Areia silto-argilosa
SCR	SERRANIA	COLUVIO/TALUS	RAMPA COLUV.	8,9983	0,0000	3,7222	0,0000	2183,6962	1010,7268	Argila arenosa
SHC1	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXA	18,1197	0,1250	0,0000	0,0000	2180,3628	1003,5314	Argila arenosa a silt.
SHC2	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXA	19,7997	0,1250	1,9442	0,0000	2185,7672	1013,0484	Areia argilosa
SHV3	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA	30,2240	0,8750	0,2222	0,3150	2277,5520	1186,5914	Areia argilosa
SHCV2	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONVEXO-CONC	21,9635	0,3750	2,7827	0,8710	2274,0918	1152,7963	Areia argilosa
SHV3	SERRANIA	CHARNOCKITO	CONCAVA	30,1368	0,8750	0,2338	3,3834	2271,2422	1140,0230	Areia argilosa

#### **4.3.3.1. Domínios litológicos e morfologia do relevo**

Quanto ao substrato geológico reconhecem-se dois grupos: o embasamento cristalino (Proterozóico-Eopaleozóico e Mesozóico) e os sedimentos cenozóicos. O embasamento cristalino na área de estudo é constituído predominantemente por uma rocha granitóide pouco foliada e rica em piroxênio, que confere a cor escura e esverdeada, denominada de Charnockito Ubatuba. Em área bem mais restrita, na porção sudeste ocorre Biotita Granito Porfíritico. Estas litologias podem ser cortadas por diques básicos de composições variadas.

Os sedimentos cenozóicos ocorrem distribuídos ao longo das planícies costeiras. Apresentam constituição heterogênea, incluindo colúvios de baixada, depósitos fluviais em aluviões e terraços, bem como depósitos marinhos pré-atuais e atuais; na orla litorânea, tem-se os sedimentos marinhos mais novos. Nos sopés das serras e morros litorâneos observam-se rampas de colúvio e depósitos de tálus, que se associam aos colúvios-alúvios nas planícies.

A morfologia da área de estudo é composta por duas unidades maiores, os Morros Litorâneos e as Planícies Costeiras. Nos Morros Litorâneos identificam-se três subdivisões: Morros de topos angulosos (SMA), Morros de topos convexos (SMC) e Rampa coluvial (SRC) (Figuras 4.2.2 e 4.3.5). Os morros de topos angulosos são morros alongados com direção preferencial NE, condicionados pelas falhas transcorrentes, de altitudes variando de 100 a 500m, com vertentes retilíneas, côncavas e convexo-côncavas. Quanto aos morros de topos convexos, estes se encontram em nível abaixo em relação aos morros de topos angulosos, ou como pequenos morros isolados na planície, com altitudes de 20 a 200m e vertentes convexas e convexo-côncava. As Rampas coluviais estão presentes na base das vertentes, correspondendo a zonas de acúmulo de tálus e colúvios (Figura 4.3.5).

Na Planície Costeira foram delimitadas três unidades: Planície alúvio-coluvial (sedimentos continentais), Terraços marinhos (inclusive praias atuais) e Depósitos lagunares e estuarinos (mangues).

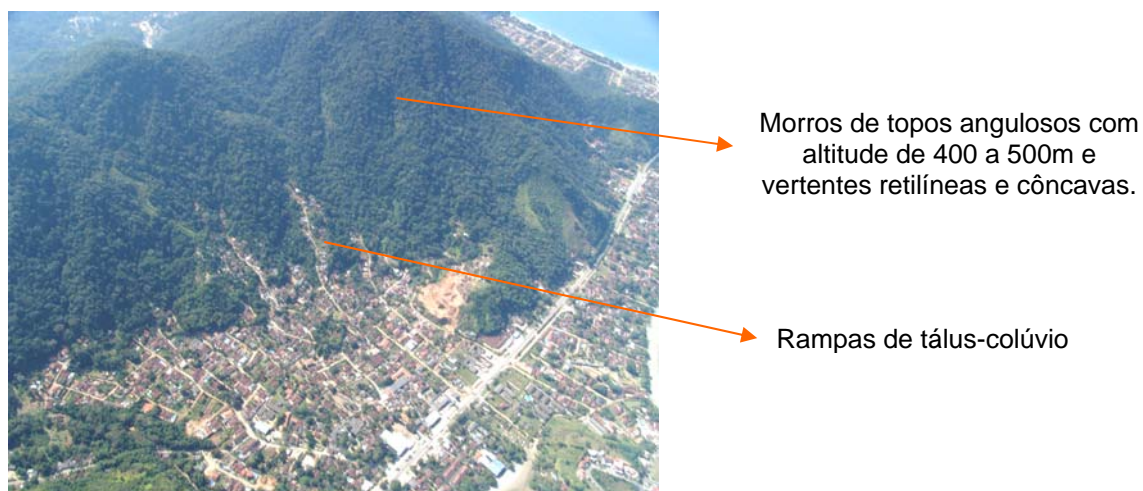
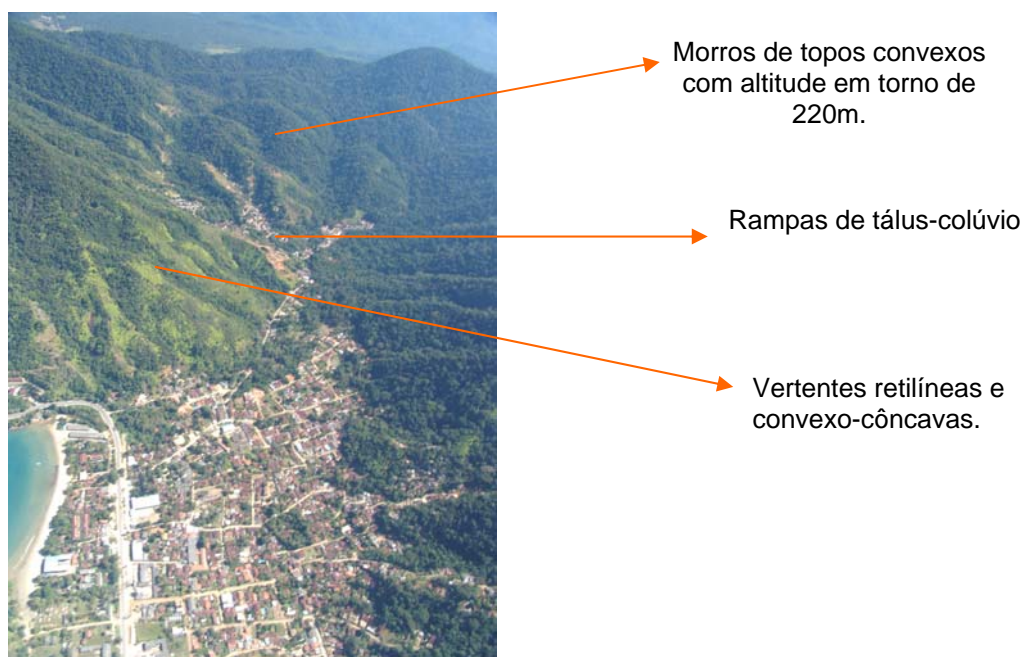


Figura 4.3.5 – Vista geral do relevo da região do Perequê-Mirim.  
Fonte: Prefeitura Municipal de Ubatuba.

#### 4.3.3.2. Materiais inconsolidados

Os materiais inconsolidados foram descritos em levantamentos de campo com base no perfil de alteração adaptado a partir dos propostos por diversos autores (DINIZ 1992; ANON 1995; IG/SMA 1995; VAZ 1996) e utilizado nos levantamentos realizados em Ubatuba por Fernandes da Silva *et al.* (2007) e Tominaga *et al.* (2007). A figura 4.3.6 mostra este perfil esquemático, porém na região estudada dificilmente se encontra a seqüência completa dos horizontes como ilustrado. De

acordo com Fernandes da Silva *et al.* (2007), estes horizontes são descritos da seguinte maneira:

Solo Superficial (SS): *Corresponde à porção superior do perfil, em geral, com maior conteúdo de matéria orgânica, com pouca ou nenhuma similaridade textural e mineralógica com os materiais de origem (rocha matriz e solos residuais) devido aos acentuados processos físicos e químicos de pedogenização.*

Solo Residual (SR): *é o horizonte de solo formado pela alteração da rocha matriz in situ, a partir da atuação de processos pedogenéticos que promovem mudanças mineralógicas e transporte de partículas de solo, razão pela as estruturas reliquias e feições da rocha matriz estão, em geral, ausentes. Tendência à homogeneização em relação à cor e granulometria, e também ao comportamento isotrópico (propriedades não variam de acordo com a direção).*

Saprolito (SP): *é a denominação utilizada para definir o horizonte em que feições e estruturas reliquias (tais como textura e planos de foliação metamórfica e fraturas) da rocha matriz podem ser ainda reconhecidos. Neste horizonte os minerais da rocha matriz encontram-se fortemente alterados e descoloridos, entretanto a transformação mineralógica por processos pedogenéticos é ainda incipiente, com pouco ou nenhum deslocamento de partículas do solo, razão pela qual as feições da rocha original são preservadas. Tendência ao comportamento anisotrópico (propriedades geomecânicas e hidráulicas variam conforme a direção).*

Colúvio (CL): *corresponde a um horizonte de solo transportado, ou seja, formado pela ação da gravidade e por influência da (alta) declividade do terreno. Em alguns casos, podem formar significativos depósitos que se expressam como formas cumulativas de relevo a partir das quais se desenvolvem processos pedogenéticos e perfis de solo in situ.*

Na região estudada o horizonte de solo residual encontra-se mais espesso nas unidades de morros com vertentes convexas, convexo-côncavas e côncavas com declividades menores que 25° (SHC1, SHC2, SHCV2, SHV1 e SHV2) com espessuras variando em torno de 1 a 3m. Nas unidades com declividades maiores que 25° apresenta pequena espessura em torno de 1m. O horizonte de saprolito está presente em todas as unidades com espessuras variáveis podendo alcançar até mais de 10m. Foram poucos os perfis que apresentaram solo superficial, uma

vez que a descrição destes perfis foi feita preferencialmente nas áreas de mineração de material terroso (saibreira) ou em cortes de vias de acesso das áreas ocupadas que, na maioria das vezes, o horizonte superficial já havia sido retirado. Quando observado, apresentou espessura em torno de 0,40m. Nas figuras 4.3.7 e 4.3.8 são apresentados exemplos de perfis de alteração descritos.

Os colúvios ou tálus/colúvios podem formar espessos depósitos na base das vertentes contendo em geral blocos rochosos de dimensões variadas de decimétricos a métricos (4-5m). Ocorrem também com muita frequência como um horizonte superficial de solo transportado recobrando o saprolito ou o solo residual, normalmente associado aos setores côncavos ou de baixa vertente.

Em termos pedológicos, conforme Rossi et al. (2002), os Cambissolos são os solos mais frequentes na região da Serra do Mar, ocorrendo associados às escarpas, às planícies fluviais e aos colúvios das médias e baixas vertentes. Os Neossolos Litólicos são encontrados nos setores de alta declividade, nas altas vertentes e topos de morros altos e topos angulosos. Na escarpa e nos morros isolados estes solos situam-se nas altas vertentes, interflúvios e topos em associação com os Cambissolos.

Na área de estudo os Neossolos Litólicos ocorrem nas médias e altas vertentes e nos topos angulosos dos morros alongados. Os Cambissolos estão presentes nas baixas vertentes e nos morros de vertentes e topos convexos. Os Argissolos, menos comuns, podem ser encontrados nos morrotes convexos e nas baixas vertentes dos setores côncavos.

A caracterização textural dos materiais inconsolidados (solos residuais, saprolíticos e coluviais) apresentada na Tabela 4.3.1, foi baseada nos ensaios de granulometria executados no Laboratório de Sedimentologia do IG/SMA, com aplicação do método de peneiramento e sedimentação por pipetagem, conforme recomendações das normas da ABNT (NBR 7181/84). Para classificação granulométrica utilizou-se o Diagrama Triangular de Feret (BUENO e VILLAR, 1995). Com a extrapolação dos tipos de solos para as unidades que não foram visitadas em campo baseada nas similaridades quanto à litologia, morfologia e declividade, foi possível completar este campo na tabela de caracterização (**Anexo 2**).

Figura 4.3.6 – Perfil de alteração esquemático adotado neste trabalho.

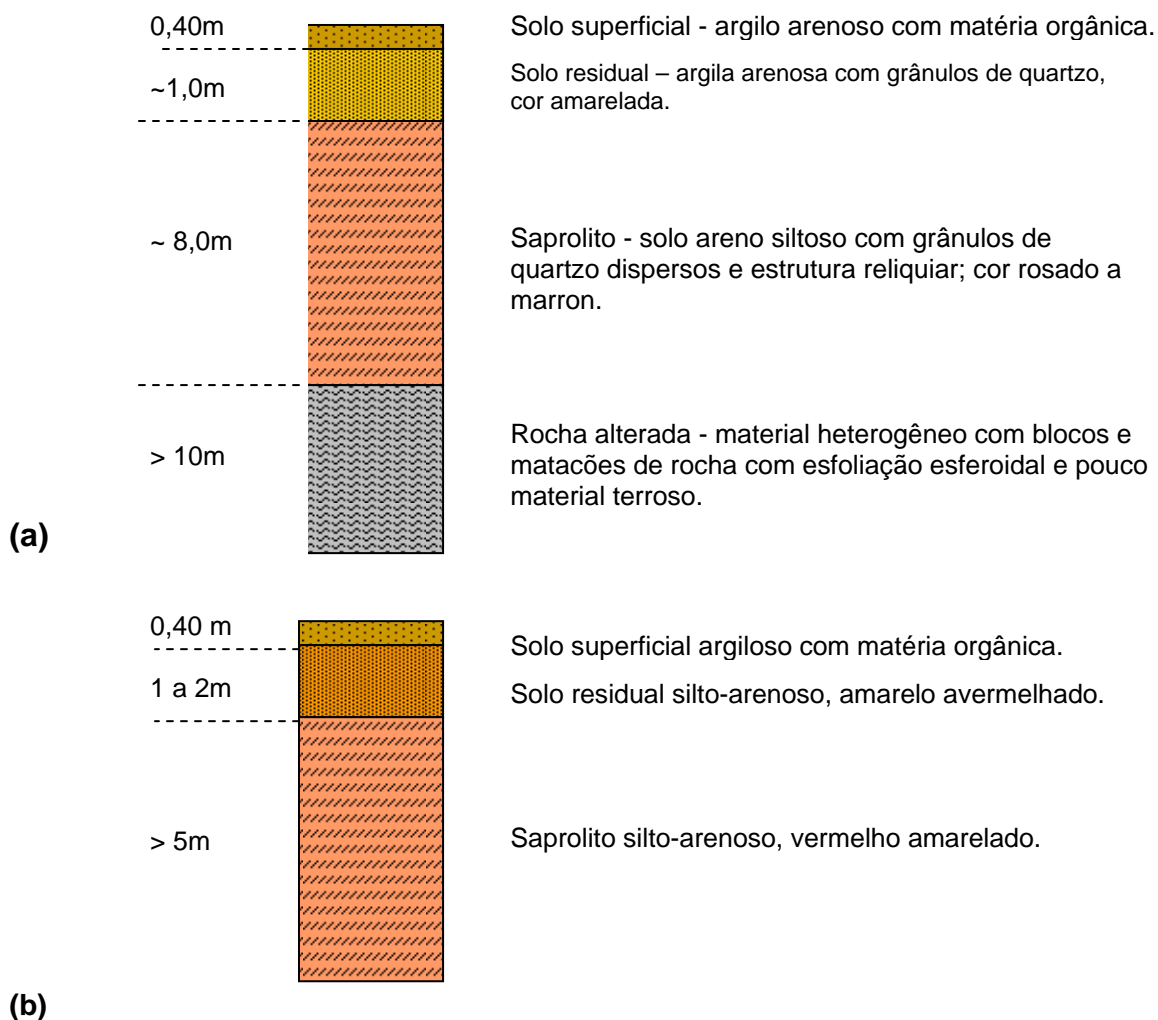
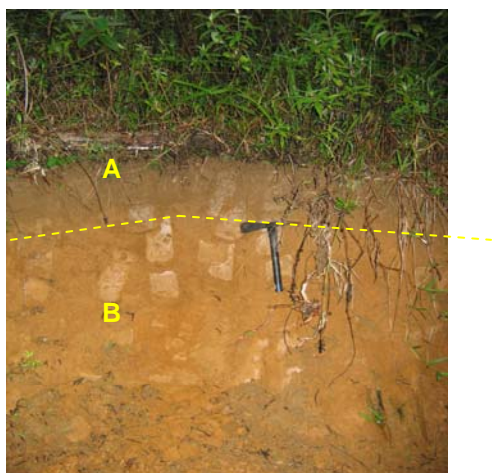


Figura 4.3.7 – Exemplos de perfis de alteração descritos: (a) unidade SHV4 e (b) unidade SHC1.





Perfil de solo da unidade SHCV3:  
A – Solo superficial (0,4m)  
B – Solo residual (1,0 a 2,0m)



Perfil de alteração da unidade SHCV4:  
A – Solo residual (1,0m)  
B – Saprolito (8,0m)



Depósito de Tálus-colúvio com espessura >3,0m, no limite entre SHV6 e SCR.



Depósito coluvial de 3 a 5,0m de espessura, da unidade SCR.



Rocha alterada mostrando núcleo rochoso de charnockito com alteração esferoidal (SHCVC4).

Figura 4.3.8 – Perfis de alteração e depósitos de tálus-colúvio descritos na região do Perequê-Mirim. Fonte: IG/SMA.

Tabela 4.3.1 – Classificação granulométrica das amostras de solos analisadas e sua relação com as unidades de terreno.

Amostra	Classificação Granulométrica	UBC	Forma de Vertente
CP_PE_01-SP	Argila Arenosa a Siltosa	SCR	CV2
CP_PE_01-SC	Argila	SCR	CV2
CP_PE_02-SP	Areia Argilosa	SHV3	V3
CP_PE_03-SP	Argila Arenosa	SCR	C1
CP_PE_03-SR	Argila	SCR	C1
CP_PE_04-SP	Areia Siltosa	SHCV4	C3
CP_PE_04-SR	Areia Argilosa	SHCV4	C3
CP_PE_05-SR	Areia Argilosa com Grânulos	SHCV3	CV3
CP_PE_06-SP	Areia	SHC1	CV2
CP_PE_06-SR	Argila Arenosa	SHC1	CV2
CP_PE_07-SP	Areia Argilosa	SHCV3	CV3
CP_PE_07-SR	Argila Arenosa	SHCV3	CV3
CP_PE_09-SP	Areia Siltosa	SHC3	CV3
CP_PE_09-SR	Areia Argilosa	SHC3	CV3
CP_PE_10-SC	Areia Siltosa	SCR	RC2/V3
CP_PE_10-SR	Areia Argilosa	SCR	RC2/V3
CP_PE_11-SR	Argila Arenosa	SHV1	V2
CP_PE_11-SS	Argila	SHV1	V2
CP_PE_12-SP	Areia Arg a Silt com Grânulos	SGC3	CV3
CP_PE_13-SC	Argila Arenosa com Grânulos	SCR	RC2
CP_PE_16-SR	Areia Argilosa com Grânulos	SHC2	TC
CP_PE_17-SR	Silte Argiloso com Grânulos	SCR	V3

SP- Saprolito; SR- Solo Residual; SC- Solo Coluvial; SS-Solo Superficial.

C- Convexa; CV- Convexo-côncava; V-Côncava; RC-Rampa Coluvial; TC-Topo Convexo.

1 – Declividade de 7 a 17°; 2 – Declividade de 17 a 25°; 3 – Declividade maior que 25°.

#### 4.3.3.3 – Processos de Escorregamentos

Com base nos dados apresentados pelo inventário de escorregamentos do Plano Preventivo da Defesa Civil (PPDC) do período de 1988 a 2001 (SANTORO, 2003), complementados com informações do mapeamento de risco (IG/SMA, 2006) e dos levantamentos de campo realizados em 2006, verifica-se que as ocorrências de escorregamento estão associadas às áreas ocupadas. São raras as cicatrizes de



escorregamentos em vertentes naturais ou se ocorreram, a rápida regeneração da vegetação não permite sua visualização. Assim, não foi possível obter um cadastro de cicatrizes de escorregamentos. O que se tem disponível é um levantamento das ocorrências registradas durante a vigência do PPDC e a localização das áreas mapeadas para a Defesa Civil e as do levantamento de campo deste estudo (Figura 4.3.4).

Estes escorregamentos ocorrem na sua grande maioria em taludes de corte para construção de moradias ou ao longo de vias de acesso em áreas de vertente com declividades elevadas. Por se tratarem de áreas ocupadas, a limpeza e a recuperação desses taludes dificultam seu reconhecimento posteriormente.

A tipologia dominante destes processos é o escorregamento planar raso, de pequena espessura, atingindo em geral o solo residual raso ou solo coluvial com espessuras em torno de 1,0m (Figura 4.3.9). Devido à presença de muitos blocos rochosos nas vertentes, são comuns também os processos de escorregamentos do tipo rolamento ou queda de blocos. Na figura 4.3.10 são apresentados alguns exemplos de escorregamentos observados na área de estudo.

O mecanismo de instabilização associado aos escorregamentos na Serra do Mar já foi descrito nos estudos de Wolle et al. (1976), Wolle (1988), Wolle & Carvalho (1989). Verificou-se nestes estudos que as instabilizações são em geral provocadas pela infiltração das águas da chuva que forma uma frente de saturação no interior da vertente, provocando a redução da resistência do solo inicialmente insaturado. A frente de saturação elimina ou reduz muito as pressões de sucção que atuam no solo insaturado, diminuindo a parcela de resistência da “coesão aparente”. Ensaio de cisalhamento demonstraram que a eliminação da coesão aparente é suficiente para reduzir o fator de segurança calculado para valores abaixo da unidade.

Quanto à chuva que produz a frente de saturação, de acordo com os autores acima citados, deve-se considerar desde chuvas de uma a três horas até chuvas com duração de um a três dias, dependendo das características de permeabilidade do solo e do nível das tensões de sucção inicial. Entretanto, destacam os autores que uma “situação crítica” normalmente envolve uma condição de pré-saturação, ou seja, da umidade acumulada no solo quando da ocorrência da chuva considerada.

Desta forma, os escorregamentos na Serra do Mar normalmente ocorrem em situações que combinam chuva precedente e chuva intensa de curta ou média duração.

Na área de estudo, os escorregamentos são provocados pela combinação do mecanismo da frente de saturação e da alteração da geometria do terreno com aumento da declividade e desconfinamento do maciço pela intervenção antrópica.

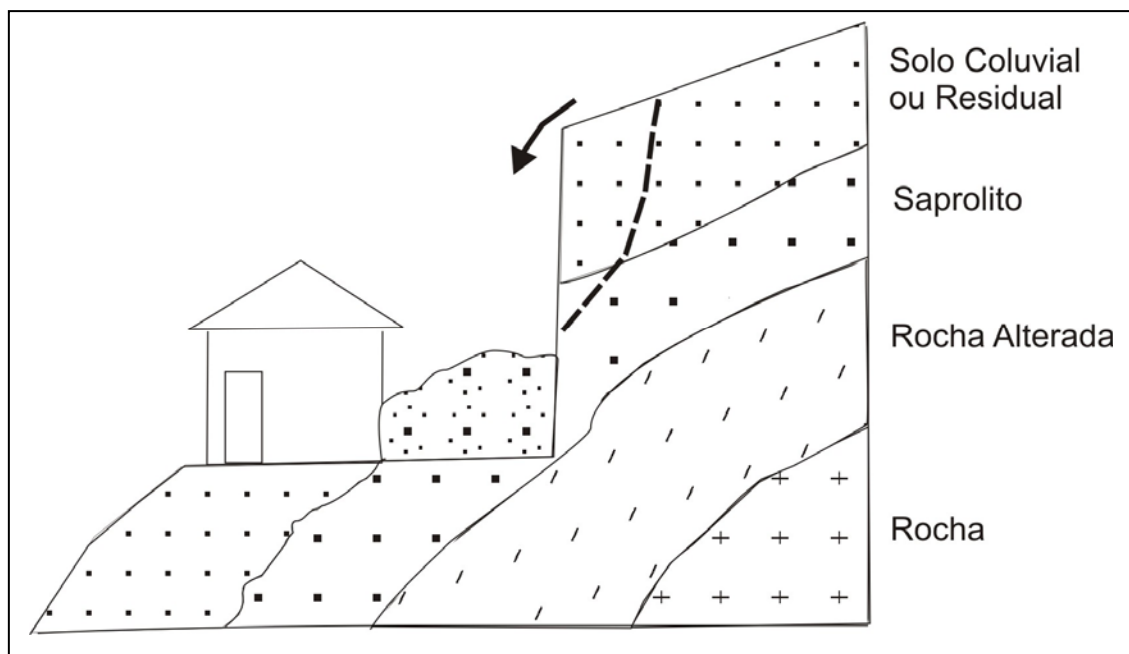


Figura 4.3.9 – Esquema dos escorregamentos rasos em taludes de corte, os quais ocorrem com frequência nas áreas ocupadas por moradias na região do Perequê-Mirim.



Escorregamentos em área de mineração paralisada.



Cicatriz de escorregamento em talude de corte próximo à moradia.



Escorregamento em talude de corte próximo à moradia



Escorregamentos em talude de corte de via de acesso.

Figura 4.3.10 – Escorregamentos no Bairro do Perequê-Mirim. Fonte: IG/SMA.

#### 4.3.4. Mapa de Uso e Ocupação do Solo

O mapa de uso e ocupação do solo da área urbana da região do Perequê-Mirim e entorno elaborado por Rossini-Penteado *et al.* (2007) foi complementado com as demais categorias de cobertura vegetal (distinguidas quanto ao porte arbóreo, arbustivo ou herbáceo), de áreas de solo exposto e de afloramento rochoso. Dessa forma foi possível definir os índices de potencial de indução para todos os tipos de uso e ocupação do solo na área de estudo.

As áreas urbanas foram caracterizadas quanto ao tipo de uso e padrão da ocupação em seus aspectos físicos e sócio-econômicos visando fornecer os elementos relacionados ao uso e ocupação do solo para a análise do perigo e risco a escorregamentos. Estes fatores, como apresentado no item 4.2, correspondem ao potencial de indução, à vulnerabilidade e ao dano potencial do elemento em risco.

O mapa de uso e ocupação do solo urbano com a complementação dos tipos de vegetação, solo exposto e afloramento rochoso, produzido para a área de estudo encontra-se no **Anexo 4**.

Na figura 4.3.11 encontram-se fotos que ilustram os tipos de ocupação da região do Perequê-Mirim.





Ocupação espontânea, baixo/médio padrão e rarefeita no Sertão do Perequê-Mirim.



Ocupação espontânea, baixo/médio padrão, em consolidação, Sertão do Perequê-Mirim.



Ocupação planejada, médio/alto padrão, consolidada, Planície do Perequê-Mirim.



Detalhe de moradia precária em ocupação espontânea no Sertão do Perequê-Mirim.



Expansão da ocupação espontânea em área de antiga mineração, Bairro Sesmaria.



Ocupação planejada, alto padrão e verticalizada na Praia Grande.

Figura 4.3.11 – Exemplos de tipos de ocupação da Região do Perequê-Mirim e entorno.  
Fonte: IG/SMA.

#### 4.3.4. Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos

Alguns autores consideram o mapa de suscetibilidade a escorregamentos como indicativo da probabilidade espacial de ocorrência de escorregamentos (EINSTEIN, 1988; FERNANDES et al. 2001), sendo sua produção fundamental para as análises de perigo e risco. Este mapa foi elaborado a partir dos índices de suscetibilidade calculados de acordo com os procedimentos apresentados no item 4.2 e agrupados em quatro classes de suscetibilidade: Baixa, Média, Alta e Muito Alta (Tabela 4.3.2).

Tabela 4.3.2 - Classes de suscetibilidade a escorregamentos.

Índices de suscetibilidade	Classificação da suscetibilidade
0,2076 a 0,3498	Baixa
> 0,3499 a 0,4436	Média
> 0,4437 a 0,5370	Alta
> 0,5371 a 0,6620	Muito Alta

Na tabela 4.3.3 apresenta-se a caracterização dos principais fatores do terreno considerados na análise adotada, distribuídos por classes de suscetibilidade.

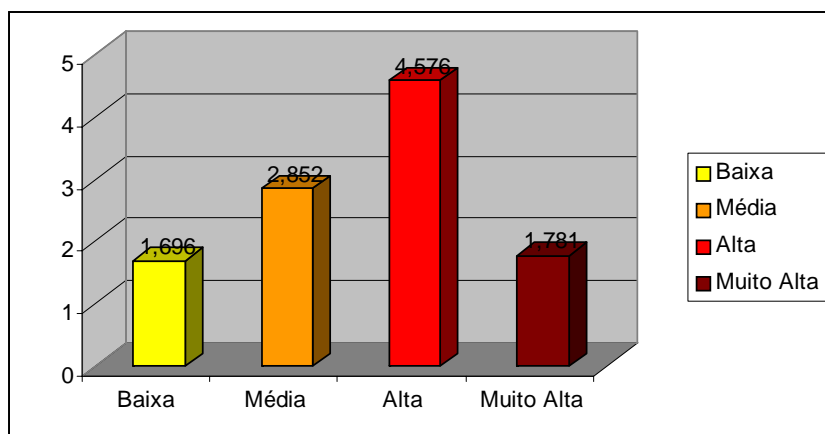
Tabela 4.3.3 – Caracterização dos fatores do terreno por classes de suscetibilidade.

Classes de Suscetibilidade	Fatores ou Atributos do Terreno			
	Forma de Vertente	Declividade em Graus	Grau de Dissecação	Tipos de Solos
<b>Baixa</b>	<u>Convexa</u> <u>Rampa</u> Côncava	9,80 a 18,81	0,63 a 2,34	Argila arenosa Argila arenosa a siltosa
<b>Média</b>	<u>Convexa</u> <u>Côncava</u> <u>Convexo-côncava</u> Rampa Topo convexo	16,08 a 26,45	1,94 a 4,71	Areia silto-argilosa Areia argilosa Argila arenosa
<b>Alta</b>	<u>Côncava</u> <u>Convexo-côncava</u> Retilínea	19,07 a 30,90	1,10 a 5,70	Areia silto-argilosa Areia argilosa
<b>Muito Alta</b>	Côncava Retilínea	25,32 a 33,51	1,82 a 9,68	Areia siltosa Areia argilo-siltosa

Obs.: Os tipos de vertentes grifados são os predominantes na classe.

O Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos das unidades de terreno (UBCs) da Região do Perequê-Mirim e entorno, gerado pelo Programa ArcGIS 9.1, encontra-se no **Anexo 5**.

Os gráficos das Figuras 4.3.12 e 4.3.13 mostram a distribuição das classes de suscetibilidade em área (km<sup>2</sup>).



Área total analisada = 10,905 km<sup>2</sup>

Figura 4.3.12 - Distribuição em área (Km<sup>2</sup>) das classes de suscetibilidade a escorregamentos.

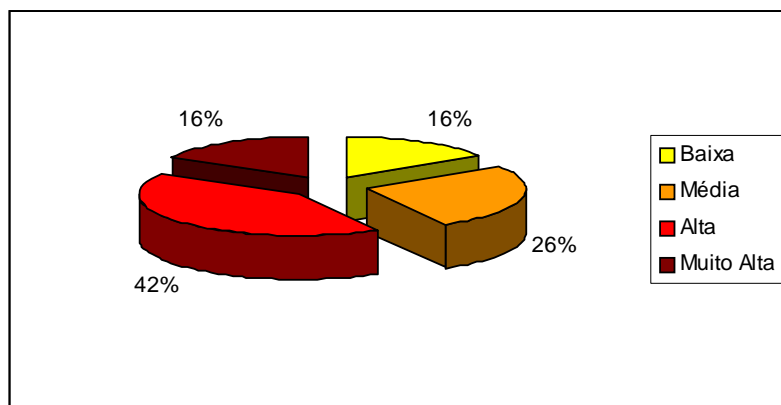


Figura 4.3.13 – Distribuição das classes de suscetibilidade a escorregamentos em porcentagem.

#### 4.3.6. Mapa de Perigo a Escorregamentos

Conforme apresentado no item 4.2, a análise do perigo foi desenvolvida com base no método de combinação de mapas de índices de Soeters & Van Westen (1996) e do cálculo de probabilidade utilizados por Augusto Filho (2001), adotando-se uma abordagem de cálculo do **Índice de Perigo (IPe)** expressa na Equação 04:  **$IPe = [(ISt + IPI)/2 \times PCh]$** .

Como o Perigo expressa a probabilidade de ocorrer o escorregamento, nesta equação, os índices de suscetibilidade do terreno (ISt) e de potencial de indução do uso e ocupação do solo (IPI) representam a probabilidade espacial da ocorrência de escorregamentos, e a probabilidade de ocorrência de chuva com acumulado de 120mm em 72 horas (PCh), corresponde à probabilidade temporal, considerando-se o período de um ano.

Para elaboração do Mapa de Perigos a Escorregamentos foi necessário o cruzamento dos mapas de compartimentação de terreno e de uso e ocupação do solo, gerando novos polígonos. Construiu-se nova tabela preenchendo-se as colunas com os índices de suscetibilidade relacionados às unidades de terreno e de potencial de indução associado ao uso e ocupação do solo. Como já abordado no item 4.2, o Índice de Potencial de Indução (IPI) do uso urbano foi fornecido por Rossini-Penteado *et al.* (2007) e a Probabilidade de Chuva com acumulado de 120mm/72h (PCh) por Armani *et al.* (2007).

Com base no estudo de Tavares *et al.* (2004), adotou-se o valor de acumulado de chuva de 120 mm em 72 horas, como um limiar crítico a partir do qual a possibilidade de ocorrência de escorregamentos aumenta consideravelmente. O Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) também utiliza este parâmetro no período de operação do plano na região do Litoral Norte (MACEDO *et al.* 1999).

Considerando que a precipitação acumulada de 120mm/72 horas é o agente deflagrador dos escorregamentos e que o tempo de retorno da mesma na área de estudo é anual (ARMANI *et al.* 2007), a probabilidade de que ocorra no período de um ano é 1 (um) ou de 100%. Desta forma, o cálculo do perigo pode ser simplificado para:  $IPe = [(ISt + IPI)/2 \times 1]$ . Portanto, na área de estudo, o perigo depende apenas dos índices de suscetibilidade do terreno (ISt) e de potencial de indução do uso do



solo (IPI), pois a probabilidade da chuva de 120mm/72h (PCh) é um valor constante, igual a 1 (um) para toda a área.

Os índices de perigo obtidos expressam a probabilidade de ocorrência de escorregamentos no período de um ano. Estes índices variaram de 0,0071 a 0,6418 e foram divididos em cinco classes: Baixo, Moderado, Moderado a Alto, Alto e Muito Alto (Tabela 4.3.4). A classificação foi processada no Programa ArcGIS pelo procedimento “*Natural Breaks*”. O Mapa de Perigo a Escorregamentos foi gerado no Programa ArcGIS (**Anexo 6**). Nas figuras 4.3.14 e 4.3.15 encontram-se os gráficos de distribuição das classes de perigo em área e em porcentagem.

Tabela 4.3.4 - Classes de perigo a escorregamentos.

Índices de Perigo	Classes de Perigo
0,0071 a 0,1664	Baixo
0,1671 a 0,2330	Moderado
0,2333 a 0,27480	Moderado a Alto
0,2760 a 0,3166	Alto
0,3280 a 0,6418	Muito Alto

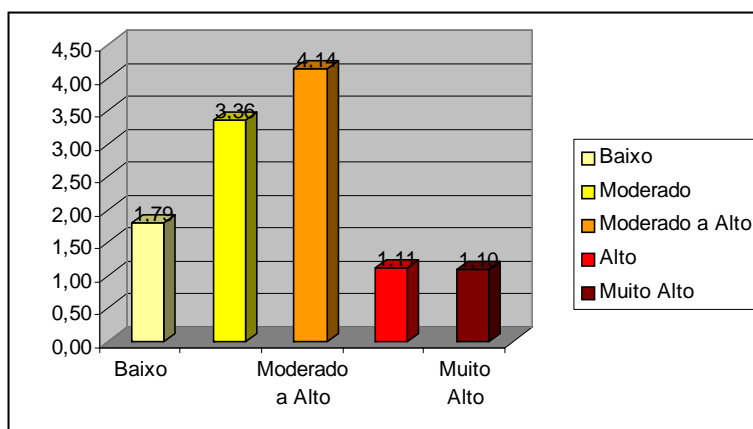


Figura 4.3.14 - Distribuição das classes de perigo a escorregamentos em km<sup>2</sup>.

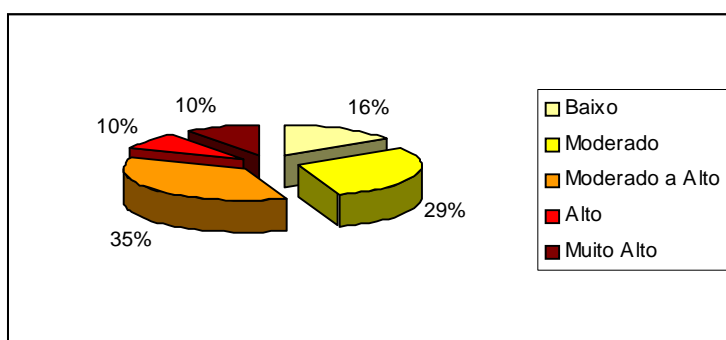


Figura 4.3.15 - Diagrama de distribuição das classes de perigo em porcentagem.

#### 4.3.7. Mapa de Risco a Escorregamentos

A avaliação de risco envolve uma estimativa da extensão dos prováveis danos que podem resultar se o escorregamento ocorrer (Anbalagan, 1996). Os danos podem ser tanto de perdas de vidas ou ferimentos às pessoas ou econômicos. O risco pode ser, assim, expresso como uma função da probabilidade de ocorrência do escorregamento (perigo) e da provável consequência (dano potencial).

No entanto, conforme já discutido no item 4.2, como o dano potencial está associado à vulnerabilidade do elemento em risco, baseou-se esta análise na equação:  $R = [P \times (V \times D)]$ , onde R = Risco; P = Perigo; V = Vulnerabilidade; e D = Dano Potencial.

Como a avaliação de risco proposta neste trabalho tem como elemento em risco a população, o mapa de risco foi elaborado apenas para as áreas de uso urbano (residencial/comercial). Assim, a partir do mapa de perigos, aos polígonos resultantes do cruzamento do mapa de compartimentação de terreno e do uso e ocupação do solo foram atribuídos os índices de perigo (I<sub>Pe</sub>), de vulnerabilidade (I<sub>VER</sub>) e de dano potencial à pessoas (I<sub>DPP</sub>).

O Índice de Perigo como já visto no item acima, corresponde à probabilidade de um escorregamento potencialmente danoso ocorrer dentro de um espaço e no período de um ano, foi calculado para cada unidade de terreno, com valores entre 0 e 1.

Quanto ao Índice de Vulnerabilidade do Elemento em Risco (I<sub>VER</sub>) definido para cada unidade de uso urbano, com valores variando entre 0 e 1, foi obtido a partir do cálculo da média simples entre as notas dos fatores indutores (Figuras 4.2.9 e 4.2.10), atribuindo a cada fator igual peso (ROSSINI-PENTEADO *et al.*, 2007):

O Índice de Dano Potencial à População (I<sub>DPP</sub>), variando entre 0 e 1, também foi estimado por Rossini-Penteado *et al.* (2007) com base nos valores normalizados do Fator Número de Habitantes no Setor (SE2) (Figura 6.10 e).

Após o cálculo dos índices de Perigo, Vulnerabilidade e Dano Potencial, e o preenchimento das respectivas colunas, obteve-se o Índice de Risco com a aplicação da Equação 05:

$$IRIS = [(I_{Pe} \times (I_{VER} \times I_{DPP}))]$$

Onde: IRIS= Índice de Risco, variando entre 0 e 1.

Os valores de IRIS obtidos foram inicialmente normalizados entre 0 e 1 pela aplicação da fórmula da Equação 01:  $(V_n = (V_x - V_{mín}) / (V_{máx} - V_{mín}))$ , e posteriormente agrupados por meio de processamento em ArcGIS, no modo classificação por “*Natural Breaks*” em quatro classes: Baixo, Moderado, Alto e Muito Alto (Tabela 4.3.5).

Tabela 4.3.5 - Classes de risco a escorregamentos (população como elemento em risco).

Índices de Risco	Classes de Risco
0,0015 a 0,030	Baixo
0,033 a 0,059	Moderado
0,070 a 0,280	Alto
0,606 a 1,0	Muito Alto

O Mapa de Risco a Escorregamentos, gerado pelo Programa ArcGIS 9.1 e apresentado no **Anexo 07**, representa estas classes de risco, tendo a população como elemento em risco.

#### **4.3.8. Discussão dos Resultados**

Os resultados alcançados com a aplicação do ensaio metodológico de avaliação de risco proposto neste trabalho permitem algumas considerações, as quais são a seguir apresentadas.

Em relação ao mapa de compartimentação de terrenos desenvolvida por meio da combinação da abordagem fisiográfica de Vedovello (2000) e das feições de relevo (*landforms*) da classificação taxonômica de Ross (1992) forneceu uma divisão adequada do terreno, delimitando áreas que se distinguem das vizinhas, em função das diferenças morfológicas, morfométricas e dos materiais inconsolidados.

Este mapa consiste em um mapa síntese do terreno cujas unidades de compartimentação armazenam os dados e informações sobre o terreno em forma de banco de dados associado. A estruturação desses dados e informações em forma de banco de dados georreferenciados permitiu a operacionalização dos procedimentos de aquisição dos mapas de suscetibilidade e posteriormente de perigo e risco a escorregamentos.

Quanto aos fatores elencados como condicionantes dos processos de escorregamentos e que exerceriam importante influência na suscetibilidade do terreno, verifica-se que a declividade tem maior influência, seguida pela forma de vertente e pelo grau de dissecação (Vide Tabela 4.3.3). Para os tipos de solos nota-se uma tendência a classes mais areno-siltosas para a suscetibilidade Alta e Muito Alta e mais argilosas para suscetibilidade Baixa. Com os lineamentos não se fez esta análise por apresentarem dados insuficientes.

Em relação à pluviosidade e ao excedente hídrico, por serem estes dados mais regionais para a área de análise a variação destes valores é muito pequena. Apesar de se considerar que a chuva é um fator importante como condicionante dos processos de escorregamentos, na área de estudo não se nota uma diferenciação espacial importante. Assim, a pluviosidade foi inserida na análise de perigo como um fator de deflagração do escorregamento, considerando-se a probabilidade de ocorrência do acumulado de 120mm/72h como a probabilidade temporal da ocorrência do escorregamento.

O mapa de suscetibilidade a escorregamentos foi obtido por meio da análise dos fatores quantitativos, isto é de dados medidos, como declividade, grau de

dissecação, lineamentos, disponibilidade hídrica e de fatores qualitativos como forma de vertente e tipos de solos, este último com base em ensaios granulométricos. Todos estes dados foram tratados matematicamente, resultando em um índice de suscetibilidade. Desta forma, apesar do mapa expressar qualitativamente as classes de suscetibilidade, considera-se que o processo de análise adotado é semi-quantitativo.

O mapa de perigo baseou-se na combinação do mapa de compartimentação de terrenos com o mapa de uso do solo e os novos polígonos resultantes foram classificados quanto aos índices de suscetibilidade e de potencial de indução do uso do solo. Como estes índices representam a probabilidade espacial, foi calculado inicialmente a média entre estes dois índices e o resultado multiplicado pela probabilidade temporal da ocorrência do agente deflagrador (acumulado de chuva de 120mm/72h) que foi considerado igual a 1 (um) para toda a área de estudo. Os índices de perigo obtido representam a probabilidade de ocorrência de escorregamentos para o período de um ano.

A avaliação final do risco desenvolvido neste estudo visou à população como elemento em risco, por esta razão, o mapa de risco abrange apenas áreas de vertentes ocupadas por residências. Estas áreas foram analisadas quanto ao perigo, vulnerabilidade e dano potencial das pessoas como elemento em risco. Portanto, este mapa representa os níveis de danos sociais esperados se houver a ocorrência de escorregamentos.

Em relação ao mapa de inventário de escorregamentos foram cadastradas as ocorrências registradas pelo PPDC, os pontos com cicatriz de escorregamentos levantados na etapa de campo deste trabalho e os setores de risco do mapeamento do IG/SMA (2006). Observa-se que os dados do PPDC concentram-se em apenas duas áreas, enquanto os setores do mapeamento de risco apresentam uma melhor distribuição. A maior parte dos setores de risco encontra-se nas áreas classificadas de alta a muito alta suscetibilidade e de alto a muito alto perigo. No mapa de risco estes setores são classificados como de risco alto, muito alto e moderado.

No entanto, mesmo em áreas de baixa a média suscetibilidade, podem ocorrer processos de escorregamentos devido à ação antrópica, como se verifica

que há setores de suscetibilidade média, classificados como de perigo muito alto e de risco alto.

Observa-se também que a maioria das áreas de risco mapeadas e as ocorrências de escorregamento estão associadas aos setores côncavos das vertentes, corroborando as conclusões de diversos autores em relação à importância dos fatores morfológicos como condicionantes dos escorregamentos.

## **5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O crescimento da ocupação indiscriminada de áreas instáveis principalmente nas regiões serranas do Sudeste do Brasil, sem a adoção de medidas de estabilização adequadas, vem disseminando a ocorrência de processos de movimentos de massa ou escorregamentos, em vertentes que se encontravam anteriormente em equilíbrio dinâmico. Os movimentos de massa constituem processos naturais na evolução das formas de relevo destas regiões, mas ao atingirem áreas habitadas geram os desastres causadores de danos econômicos e sociais.

Apesar do aumento de ocorrências de acidentes associados a escorregamentos em várias partes do Brasil, a maioria das ações adotadas até o momento, restringe-se ao gerenciamento do risco, como o Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) coordenado pela Defesa Civil do Estado de São Paulo. Os mapeamentos de risco realizados para subsidiar a Defesa Civil, também são voltados para identificação, diagnóstico e gerenciamento das situações de risco.

Observa-se que mesmo com o incremento na produção de estudos desenvolvidos por universidades e institutos de pesquisa, voltados a subsidiar as ações de prevenção de riscos urbanos, ainda é muito reduzido o número de municípios que contemplam a gestão de riscos em seus planos de desenvolvimento urbano.

Considerando estes fatos, propôs-se nesta pesquisa analisar as metodologias existentes de avaliação de risco a escorregamentos e aplicar uma abordagem metodológica adequada à realidade brasileira, isto é, de carência de recursos financeiros e de informações básicas do meio físico, como um mapa geológico e geomorfológico em detalhe, registros pluviométricos, entre outros.

As conclusões e considerações finais desta pesquisa foram divididas em função das duas grandes etapas de trabalho desenvolvidas: de avaliação das metodologias de análise de risco e de aplicação de um ensaio em área teste.

### 5.1. Avaliação das Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos

Como a maior parte dos estudos de avaliação de risco a escorregamentos baseia-se em mapas geotécnicos ou geoambientais, inicialmente, apresentou-se uma revisão bibliográfica sobre as principais metodologias adotadas, destacando-se a situação da cartografia geotécnica no Brasil. Abordou-se também como um subtema a “avaliação de terrenos”, por se tratar de um processo de compartimentação e zoneamento do meio físico utilizado em estudos aplicados ao planejamento territorial e ambiental o qual foi posteriormente, incorporado pelo mapeamento geotécnico.

Com base na revisão bibliográfica efetuada (Capítulo 3), verifica-se que apesar do número expressivo de trabalhos produzidos, os conceitos e métodos adotados em estudos de riscos geológicos ainda apresentam controvérsias. Frequentemente, utiliza-se o termo *risco* para indicar *suscetibilidade* natural ou induzida. Muitos trabalhos que indicavam a utilização de métodos de cartografia de perigos (*hazards*) tratavam-se, na realidade, de cartografia de suscetibilidades ou inventários.

O termo *perigo* é outro que gera confusão por ter duas conotações em Português, uma delas correspondente a *danger* que se refere a um fenômeno natural, ou a um processo tecnológico, potencialmente danoso em si mesmo. Outro significado do termo perigo, o qual é utilizado nesta pesquisa, corresponde a *hazard*, que é a possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo especificado (VARNES, 1984; EINSTEIN, 1988).

Entretanto, nos estudos mais recentes (a partir do final da década de 1990), nota-se que a diferenciação entre os termos suscetibilidade, perigo e risco, ficou melhor delineada. Como citado por Aleotti & Chowdhury (1999), a avaliação da suscetibilidade a escorregamentos deve responder a três questões: onde ocorrerá o escorregamento; que tipo de instabilização poderá ocorrer; e como ocorre o escorregamento. Quanto à avaliação do perigo, duas questões devem ser respondidas: quando e com que frequência poderá ocorrer o escorregamento.

Considerou-se nesta pesquisa que o mapa de suscetibilidade a escorregamentos classifica o terreno quanto à potencialidade de desenvolver estes processos, indicando a tipologia de movimentos de massa esperados. Esta classificação baseia-se nos atributos do terreno, com a identificação dos fatores do meio físico que condicionam a ocorrência de tais processos. A análise dos fatores da suscetibilidade pode ser conduzida de forma



qualitativa ou quantitativa. Concordando com alguns autores citados no item 3.4, o mapa de suscetibilidade indica a probabilidade espacial da ocorrência do escorregamento.

O mapa de perigo a escorregamentos representa a probabilidade tanto espacial como temporal da ocorrência destes processos. A probabilidade pode ser absoluta quando obtida de modo determinístico ou baseada em análise de frequência, ou relativa se contar com análise subjetiva. A probabilidade temporal pode estar associada a um agente externo responsável pela deflagração do escorregamento, como, por exemplo, a chuva de uma determinada magnitude.

Quanto ao mapa de risco a escorregamentos este deve expressar o dano potencial que o processo de origem natural ou induzido pode causar. Em geral, estes danos referem-se às perdas sociais e/ou econômicas e dependem da vulnerabilidade do elemento em risco. Considerou-se, portanto, que o risco é uma função do perigo, do dano potencial e da vulnerabilidade.

Pelo exposto, nota-se que a avaliação de risco é a etapa final de um processo que envolve inicialmente, a análise das ocorrências de escorregamentos e sua relação com as características do terreno para que seja possível prever onde poderão ocorrer novos escorregamentos e posteriormente definir a probabilidade temporal destes eventos. Estas etapas iniciais que correspondem à análise de suscetibilidade e de perigo a escorregamentos são fundamentais e mais importantes até que a própria avaliação do risco final. Uma vez que os mapas de suscetibilidade e de perigo podem ser mais úteis para o planejamento do uso e ocupação do solo e a gestão ambiental. Enquanto o mapa de risco depende do tipo e das condições do uso antrópico que é bastante dinâmico, tornando-o um instrumento de validade temporária.

As metodologias utilizadas na produção dos mapas de suscetibilidade e de perigo a escorregamentos são bastante diversificadas e variam conforme o objetivo, a área geográfica, a escala de análise, entre outras. Conforme Carrara (1983), não há um único método padronizado para mapeamentos de perigo a escorregamentos. Diferentes métodos podem ser desenvolvidos para se adaptarem à natureza de uma área ou de um projeto particular.

De acordo com a classificação proposta por Aleotti & Chowdhury (1999), formulada com base em Carrara (1983), Hansen (1984), Leroi (1996), Soeters & Van Westen (1996), os métodos de avaliação de suscetibilidade e de perigos a

escorregamentos são divididos, inicialmente em dois grandes grupos identificados como metodologias qualitativas e quantitativas.

Metodologias qualitativas são baseadas no julgamento da pessoa que está realizando a avaliação. Este método, também denominado de heurístico ou de avaliação de especialista apresenta dois tipos, um baseado em análise geomorfológica e/ou geotécnica de campo e outro, em análise de combinação ou superposição de mapas de índices com ou sem pesos. Apesar das desvantagens em relação à subjetividade apontada por vários autores, este método tem sido muito utilizado, sendo aplicado, principalmente em áreas que não dispõem de dados suficientes para outros tipos de análises.

Os métodos quantitativos mais utilizados são os que envolvem análise estatística. Recebem também outras denominações como empíricos baseados em estatística, ou probabilísticos em bases empíricas. O método de análise estatística baseia-se na comparação da distribuição espacial dos escorregamentos com os parâmetros considerados. As principais vantagens deste método são relativas à menor subjetividade na análise dos fatores associados com a estabilidade de vertentes, a sua replicabilidade para outras áreas e a possibilidade de validar a importância de cada fator. A utilização de SIG facilita a realização destas operações e, de acordo com Aleotti & Chowdhury (1999), a disseminação do uso da abordagem estatística se deve em grande parte ao incremento nas aplicações destas técnicas.

No entanto, como apontam Fernandes *et al.* (2001), deve-se destacar que, como os critérios e regras de combinação nos métodos estatísticos utilizam padrões mensurados, torna-se necessária, a disponibilidade de extensos bancos de dados sobre os processos estudados, o que é muito raro na realidade brasileira. Outra dificuldade citada consiste em estabelecer o processo de ruptura da vertente e em identificar e avaliar os diferentes fatores relacionados aos escorregamentos.

Outro método quantitativo adotado é o determinístico baseado em modelos geotécnicos normalmente acoplados com modelos hidrológicos. Conforme Aleotti & Chowdhury (1999), as principais propriedades físicas são quantificadas e aplicadas em modelo matemático específico para cálculo do fator de segurança. Esta abordagem é amplamente empregada em engenharia civil e em geologia de engenharia e tem sido aplicada para avaliação e mapeamento de perigo de escorregamentos, especialmente após a introdução de SIG. A utilização de SIG

facilita a simulação de múltiplos cenários baseados em fatores variáveis (usualmente fatores deflagradores de escorregamentos), bem como a produção de mapas de perigos confiáveis. Contudo, para aplicação destes modelos, o fator de segurança deve ser calculado para cada vertente antes de se elaborar o mapa de perigo. Por esta razão, tais métodos são normalmente aplicados apenas em pequenas áreas e em escalas de detalhe.

Van Westen (2004) também pondera que os dados utilizados nos modelos físicos de zoneamento de perigo a escorregamentos têm um alto grau de incerteza, os valores calculados não podem ser considerados como valores absolutos para a ocorrência de escorregamentos e, por conseguinte, não podem servir diretamente para a avaliação quantitativa do risco. Além disso, torna-se necessária uma considerável parametrização, por exemplo, a espessura do solo que é um dado indispensável, sua obtenção ainda encontra grandes dificuldades.

Com a análise das diversas abordagens metodológicas apresentadas, constata-se que os métodos quantitativos baseados em análises estatísticas são os mais utilizados e que poderiam ser também os mais indicados à situação brasileira, pela relação custo/benefício, para áreas que dispõem de uma base de dados mínima. Uma vez que muitos parâmetros de análise podem ser obtidos a partir de imagens de sensoriamento remoto e de processamentos em SIG, como declividade, forma de vertentes, área de contribuição, lineamentos estruturais, entre outros. Mas, como muitas vezes a realidade prática não permite a escolha da melhor alternativa técnica, a utilização de métodos qualitativos na avaliação de perigo a escorregamentos também pode apresentar resultado adequado para subsidiar os setores de planejamento e gestão territorial. Como por exemplo, a avaliação desenvolvida neste trabalho que aplica uma análise por meio de combinação de mapas de índices.

Nota-se pela revisão bibliográfica efetuada que os métodos de análise de suscetibilidade e de perigo a escorregamentos tiveram na última década um grande desenvolvimento e uma imensa proliferação de publicações em periódicos e em eventos técnico-científicos específicos, dificultando a realização desta etapa de pesquisa. Os recursos do SIG são amplamente utilizados, apesar das restrições apontadas por Carrara et al. (1999) e verifica-se uma clara tendência à adoção de metodologias quantitativas, tanto as de análise estatísticas como as

determinísticas. Estas últimas com base em modelos físicos de estabilidade são adotadas principalmente pelos profissionais das áreas de engenharia geotécnica, mecânica de solos e de geologia de engenharia.

Estudos mais modernos, como o de Lopes (2006), têm aplicado além dos modelos de estabilidade (estáticos), modelos dinâmicos para simular a trajetória de escorregamentos ou de corridas de massa. O autor considera que a maioria dos SIGs dispõe de recursos e ferramentas para implementar e visualizar os resultados dos modelos estáticos. Já para os modelos dinâmicos, a utilização dos SIGs ainda se encontra em fase de desenvolvimento e adaptações.

Quanto aos estudos de avaliação de risco a escorregamentos, embora haja um número razoável de publicações, relativamente, ainda são poucos os que apresentam exemplos de uso de SIG nos métodos de análise de risco.

Van Westen (2004) considera que o recente desenvolvimento verificado nesta área, já permite a realização de avaliação quantitativa de risco para locais restritos. Contudo, a produção de mapas de risco quantitativos mais abrangentes, expressando as perdas esperadas em valor monetário como produto da probabilidade de ocorrer um escorregamento de uma dada magnitude, os custos dos elementos em risco e a vulnerabilidade destes elementos, ainda parece ser um passo distante. Assim, os mapas de risco continuam sendo produzidos para muitos municípios seguindo uma metodologia qualitativa e pragmática.

No entanto, há uma tendência mundial para aplicação de métodos de quantificação para análise de risco tanto da probabilidade de perigos como das conseqüências. A implementação dos SIGs e a maior capacidade de processamento dos computadores permite sua execução, como se verifica, inclusive entre pesquisadores brasileiros, um crescimento no número de estudos com abordagens de quantificação do risco, por exemplo, Anjos, 1999; Guimarães *et al.*, 1999; Fernandes *et al.*, 2001; Augusto Filho, 2001, entre outros.

Mas, apesar destes avanços metodológicos na avaliação de risco a escorregamentos, para fins práticos, como nos mapeamentos realizados nos municípios, voltados para o gerenciamento de riscos e dos planos preventivos de Defesa Civil, adotam-se métodos expeditos e mais pragmáticos. Estas avaliações baseiam-se na estimativa da probabilidade de ocorrência de processos de

instabilização, a partir de análise empírica dos condicionantes e indícios de ocorrência destes processos. A hierarquização das situações de risco é feita com base na experiência e julgamento profissional, em função da possibilidade de ocorrência do processo num determinado período de tempo.

Quanto a esta aparente contradição no enfoque metodológico da avaliação do risco, há que se considerar que no meio acadêmico é perceptível a busca pelo aprimoramento das técnicas de análise em direção à quantificação. Todavia, para fins práticos, os mapas de risco que contemplam a quantificação da probabilidade de ocorrência do fenômeno, da vulnerabilidade e do valor dos elementos em risco, são de difícil realização pela dificuldade de se obter os dados necessários. De acordo com Rodrigues-Carvalho (1998), tais mapas teriam uma aplicabilidade temporal limitada, devido ao caráter dinâmico dos elementos em risco, especialmente nas áreas sob pressão de uso e ocupação do solo. Além disto, não são apropriados para o planejamento municipal que necessita de informações de natureza preventiva quanto aos perigos geológicos.

## **5.2. Aplicação de um Ensaio Metodológico em Ubatuba, SP.**

Dentre os municípios do Litoral Norte, Ubatuba é o que apresenta maior número de ocorrências de acidentes relacionados a processos de movimentos de massa, além de registrar índices pluviométricos mais elevados, conforme o registro de dados do Plano Preventivo de Defesa Civil – PPDC e do Instituto Geológico, analisados por Tavares *et al.* (2004).

Além disto, com o desenvolvimento do Projeto “*Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro, Ubatuba, SP*”, financiado pela FAPESP, pelo IG/SMA foi possível obter outros dados necessários para a análise do risco, tais como de uso e ocupação do solo e de pluviometria.

Por estas razões, selecionou-se a região do Perequê-Mirim e entorno (Folha Praia da Enseada, escala 1:10.000) na porção centro-sul de Ubatuba como área-teste para aplicação da proposta metodológica de avaliação de risco.

O mapa de compartimentação de terrenos desenvolvida por meio da combinação da abordagem fisiográfica de Vedovello (2000) e dos elementos de relevo da classificação taxonômica de Ross (1992) permitiu uma adequada divisão do terreno,

delimitando porções que se distinguem das áreas vizinhas, em função das características morfológicas, morfométricas e dos materiais inconsolidados.

As unidades básicas de compartimentação (UBCs) deste mapa constituem a base para o armazenamento dos dados e informações sobre o terreno. A organização desses dados e informações em forma de banco de dados georreferenciados permitiu a operacionalização dos procedimentos de aquisição dos mapas de suscetibilidade e posteriormente de perigo a escorregamentos.

Especificamente para a análise da suscetibilidade a escorregamentos, na escala adotada de 1:10.000, seria mais apropriada a elaboração do mapa de formas de vertentes, mas isto dificultaria o processo subsequente de combinação com o mapa de uso do solo, quando seriam gerados um número excessivo de polígonos.

Em relação aos fatores considerados para análise da suscetibilidade a escorregamentos, verifica-se que a declividade exerce maior influência, seguida pela forma de vertente e pelo grau de dissecação. Quanto ao tipo de solo nota-se uma tendência a classes mais areno-siltosas para a suscetibilidade Alta e Muito Alta e mais argilosas para suscetibilidade Baixa. Estes dados corroboram os observados por outros autores que trataram de escorregamentos na Serra do Mar, tais como, Wolle (1988), Augusto Filho (2001), Araújo (2004), Lopes (2006).

A utilização da técnica AHP (Analytical Hierarchy Process), uma ferramenta disponível no SPRING, permitiu estimar a contribuição relativa de cada um dos fatores. O uso desta técnica é recomendado para análises que envolvem diferentes e múltiplos fatores, tanto qualitativos como quantitativos. Um dos princípios da técnica é dividir um problema complexo em problemas mais simples, numa estrutura de hierarquia de decisão.

A aplicação da técnica de atribuir valores ponderados para os fatores qualitativos e a normalização dos valores quantitativos teve por objetivo distribuir os fatores dentro de uma mesma escala de valores em um intervalo de 0 a 1, permitindo o cálculo do índice de suscetibilidade e a obtenção automatizada do mapa de suscetibilidade a escorregamentos.

O mapa de suscetibilidade a escorregamentos expressa, com base nos fatores naturais, o potencial do terreno em desenvolver estes processos, constituindo-se em um instrumento útil para o planejamento do uso e ocupação do solo. Já o mapa de perigo a

escorregamentos representa a probabilidade da ocorrência do processo em função da suscetibilidade do terreno, do potencial de indução do uso do solo e da probabilidade anual de ocorrer a precipitação considerada crítica para deflagração do escorregamento. As informações deste mapa fornecem subsídios tanto para o planejamento ambiental como para o gerenciamento de risco.

O mapa de risco a escorregamentos indica os níveis dos danos sociais e econômicos esperados se houver a ocorrência de escorregamentos. Esta avaliação final do risco objetivou analisar a população como elemento em risco, por esta razão, este mapa contempla apenas as áreas de vertentes ocupadas por moradias. Assim, o risco foi analisado em função do perigo, da vulnerabilidade e do dano potencial às pessoas como elemento em risco.

A sobreposição dos dados cadastrados no mapa de inventário de escorregamentos mostra que a maior parte dos setores de risco mapeados pelo IG/SMA (2006), na área de estudo, encontra-se nas áreas classificadas neste estudo como de alta a muito alta suscetibilidade e como de alto a muito alto perigo. No mapa de risco estes setores são classificados como de risco alto, muito alto e moderado. Entretanto, os escorregamentos podem ocorrer também nas áreas de baixa a média suscetibilidade, devido à indução antrópica, como se nota que há setores de suscetibilidade média, classificados como de perigo muito alto e de risco alto. Acredita-se que este fato evidencia a validade do método de análise aplicado.

Portanto, considera-se demonstrada a hipótese inicial, uma vez que a análise dos fatores condicionantes dos escorregamentos obtidos a partir do método de avaliação de terrenos, com base em mapa de compartimentação de terrenos, associado à probabilidade temporal dos índices pluviométricos críticos, permitiu indicar a probabilidade de ocorrência dos escorregamentos e gerar os mapas de perigo e de risco a estes processos.

Outro fato que deve ser destacado é que a maioria dos setores de risco mapeados e as ocorrências de escorregamentos estão associadas aos setores côncavos das vertentes, em geral com declividades maiores que 25 graus, confirmando as conclusões de diversos autores em relação à importância dos fatores morfológicos como condicionantes dos escorregamentos.

Apesar das limitações na obtenção de alguns dados e das simplificações adotadas no ensaio da aplicação realizada, os mapas de perigo e de risco a escorregamentos obtidos retratam a realidade encontrada na área de estudo, como demonstram os registros de ocorrências do mapa de inventário.

Considera-se, assim, que as avaliações de suscetibilidade, de perigo e de risco a escorregamentos obtidas pela aplicação da abordagem metodológica proposta neste trabalho, são adequadas para indicar as situações de conflitos no uso dos recursos naturais e as áreas críticas quanto ao risco à população, apontando ao gestor público as prioridades para a intervenção. Estas informações constituem subsídios importantes aos instrumentos de gerenciamento e planejamento ambiental, à fiscalização e às ações de intervenção, mitigação, recuperação e revalorização dos espaços geográficos.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB' SABER, A.N. 1956. A Terra Paulista. Bol. Paul. Geogr., São Paulo, n. 23, p.5-38.
- AGUIAR, L. S. J. & SANTOS, R. P.dos. 1991. Carta Morfodinâmica da Serra do Mar na Região de Cubatão-SP. São Paulo, CETESB. Relatório Técnico. 37p. 09 mapas.
- AGUIAR, R. L. 1997. Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental. Tese de Doutorado em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos, 1997.
- AITCHSON, G. D. & GRANT, K. 1976. The PUCE program of terrain description evaluation and interpretation of engineering purposes. In: *Regional Conf. Africa on Soil Mechanics and Foundation Eng.*, 4, Cape Town, 1976. *Proceedings* ...
- ALEOTTI, P. et al. 1996. Le reti neurali nella valutazione della suscettibilità da frana. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 4: 37-48.
- ALEOTTI, P. & CHOWDHURY, R. 1999. *Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bulletin of International Association of Engineering Geology and Environmental*, n. 58: 21-44.
- ALHEIROS, M.M. et al. 2003. *Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife*. Recife: FDEM, 2003. 384p.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Bol. do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, n. 41 p. 169-263.
- ALMEIDA, F. F. M. 1969. Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 23º, Salvador, 1969. Anais SBG. v.1, p. 19-46.
- ALMEIDA, M.A. de; STEIN, D.P.; PONÇANO, W.L. 1992. *Carta Geotécnica do Município de Ubatuba*. Relatório Técnico IPT, São Paulo, 1992. 201p.
- ALVES, S. D. 1990. Sistemas de Informação Geográfica. Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1990.
- AMARAL, C. 1992. Cartas de risco de escorregamentos em encostas favelizadas do Rio de Janeiro: revisão e estado da arte. In: *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ, v.2, p.595-603.
- AMARAL, C. P. 1996. Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes e redução do risco. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, PUC- Rio.
- AMARAL, C. & PALMEIRO, F. 1997. Correlação entre geologia e escorregamentos nas encostas do Rio de Janeiro a partir de tratamento de banco de dados, análise Via Autocad-SIG e mapeamento de detalhe. In: *Pan- American Symposium on Landslides, 2nd/ Brazilian Conference on Slope Stability, 2nd*, Rio de Janeiro, 1997. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/ISSMGE, v.1, p.201-207.
- AMARAL, C. & LARA, A. 1998. Mapa geológico-geotécnico 1:10.000 voltado para o entendimento dos processos e riscos a escorregamentos no Rio de Janeiro. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*, 3, Florianópolis, 1998. Anais ... Florianópolis: ABGE, 1998, CD-ROM.

- AMARAL, C. P. 2004. Fundação Instituto de Geotécnica – GEORIO. In: TOMINAGA, L. K.; PEJON, O. J. & BASTOS, C. A. (coord.) 2004. Diagnóstico preliminar da cartografia geotécnica e geoambiental no Brasil. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5: 2004: São Carlos. p. 01-20.
- ANBALAGAN, R. & SINGH, B. 1996. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains – a case study from Kumaun Himalaya, India. *Engineering Geology*, 43 (1996) 237-246.
- ANBALAGAN, R. 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, v.32, Issue 4, 1992. p. 269-277.
- ANJOS, C.A.M. 1999. Desenvolvimento e aplicação de um modelo para quantificação do risco geológico instalado: o caso das encostas em Maceió (AL). Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. IGCE – UNESP/Rio Claro. Rio Claro, 200p.
- ANON. 1995. The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Geological Society Engineering Group Work Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28: 207-242
- ARAÚJO, P. C. de 2004. Análise da suscetibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE/UNESP), Rio Claro, 2004. 172p.
- ARMANI, G.; TAVARES, R.; BRIGATTI, N. 2007. Climatologia. In: FERREIRA, C.J. (coord) 2007. *Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo), Ubatuba*. 3º Relatório Técnico Parcial, Instituto Geológico, São Paulo, 2007. FAPESP (Processo 03/07182-5).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE). 1990. Novo estatuto da IAEG. *Jornal da ABGE*, 54 (abr-jun) p.8, 1990.
- AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, 1, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. 1994. *Cartas de Risco de Escorregamentos*: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. São Paulo, 167p.
- AUGUSTO FILHO, O. 1995. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: BITAR (coord.). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo, ABGE. p.77-100.
- AUGUSTO FILHO, O. 2001. *Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba, SP*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP), Rio Claro, 2001. 196p.
- AUGUSTO FILHO, A. 2004. Mass movements identification, modeling, analysis and mapping: some experiences in the southern of Brazil, São Paulo state. In: *Landslide: Evaluation and Stabilization*, Lacerda, Ehrlich, Fontoura & Sayão (eds). *Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides*. Rio de Janeiro, A A Balkema, 2004. v. 1, p. 57-68.

- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.B.A. de (Ed.) *Geologia de engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 15, p.244-269.
- BACCARO, C. A. D. 1982. Os processos de movimentos de massa e a evolução das vertentes na Serra do Mar em Cubatão (SP). Dissertação de Mestrado, Depto de Geografia, FFLCH-USP. São Paulo, 165p.
- BARATA, F. E. 1969. Landslides in the tropical region of rio de Janeiro. In: *International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, 7ª.*, México, 1969. *Anais...*, México, Sociedad Mexicana de Mecânica de Suelos. V. 2, p.507-516.
- BARISON, M.R. 1995. *Mapeamento geotécnico regional da quadrícula de Amparo – SP, escala 1:50.000: com base na análise de “landform” e de perfis típicos de alteração*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos, 2V. 1995.
- BARREDO, J. J. et al. 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canária Island, Spain. *ITC Journal – JAG*. Vol.2 (1):9-23.
- BARROSO, J. A. et al. 1986. Geological-geotechnical mapping of Rio de Janeiro metropolitan region. In: *International Congress of the International Association of Engineering Geology*, 5. Buenos Aires, 1986. *Proceedings...*
- BARROSO, J. A; CABRAL, S.; MATTA, C. S. 1993. Subsídios geológico-geotécnicos como apoio ao plano diretor do município do Rio de Janeiro. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 7, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: ABGE, 1993.
- BARROSO, J. A & BARROSO, E. V. 2004. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. In: TOMINAGA, L. K.; PEJON, O. J. & BASTOS, C. A. (coord.) 2004. Diagnóstico preliminar da cartografia geotécnica e geoambiental no Brasil. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5: 2004: São Carlos. p. 01-20.
- BARSCH, D.(ed) 1979. The geomorphological approach to environment. *Geojournal* 3(4): 329-416.
- BELL, F.G.; CRIPPS, J. C.; CULSHAW, M. G.; O'HARA, M. 1987. Aspects of geology in planning. In: *Planning and Engineering Geology* (Culshaw, M. G. et al., eds), Geol. Soc. London, Eng. Geol. Spec. Publ n. 4: 1-38.
- BENNETT, M. R.; DOYLE, P. 1997. *Environmental Geology*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- BERTRAND, G. 1970. Ecologie de l'espace géographique. Recherches pour une science du paysage. *Société de Biogéographie*, Transcripción sesión del 19 de diciembre de 1969, p.195-205, 1970.
- BONHAM-CARTER, G.F. 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon, Ontario, Canada, 367 p.
- BOTERO, P.J. 1978. *Fisiografía y estudio de suelos*. Série 1. Docência. Centro Interamericano de Fotointerpretação (C.I.A.F.). Bogotá. 1978.

- BOURNE, R. 1931. Regional survey and its relation to stocktaking of agricultural and forest resources of the British Empire. *Oxford Forestry Memoirs*, V.13, p. 7-62, 1931.
- BRABB, E.E., PAMPEYAN, E.H., BONILHA M.G. 1972. Landslide Susceptibility in San Mateo County California. *U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-360*.
- BRABB, E.E. 1984. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. In: *International Symposium on Landslides, 4. Proc...* Toronto: 1984. vol.1 p. 307-323.
- BROLLO, M. J. (Coord.) 1996. *Diagnóstico do meio físico da média bacia do rio Piracicaba para fins de gestão ambiental*. São Paulo. Instituto Geológico/SMA, 75 p. (Bol. n. 13).
- BROLLO, M.J. 2001. *Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região metropolitana de Campinas (SP)*. São Paulo (SP); 2001. [Tese de Doutorado - Faculdade de Saúde Pública da USP].
- BROOK, D. & MARKER, B. R. 1987. Thematic geological mapping as an essential tool in land use planning. In: *Planning and Engineering Geology* (Culshaw, M. G. et al., eds), Geol. Soc. London, Eng. Geol. Spec. Publ n. 4: 211-214.
- BRUNSDEN, D. 1981. Geomorphological in practice. *Geogr. Mag.*, 53 (8): 531-533.
- BUENO, B. S. & VILLAR, O. M. 1995. *Mecânica dos Solos*. EESC – USP, São Carlos, 1995. V1, 131p.
- BURINGH, P. 1960. Photo-interpretation in the ITC soil section. ITC Publ. B 2, 16p.
- CAETANO, N. R.; OHARA, T.; MATTOS, J. T. de; JIMENÉZ-RUEDA, J. R. 2006. Carta de Aptidão para a implantação de rodovias e avaliação de alternativas de traçado com uso de geotecnologias. *Revista Solos e Rochas*, ABGE/ABMS. São Paulo, 2006. Vol 29, Nº 1 p. 17-31.
- CÂMARA, G; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. 1996. SPRING: Integrating remotesensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics*, n.20: (3), p.395-403, May-Jun 1996.
- CÂMARA, G.; BARBOSA, C.C.F.; DAVIS, C. & FONSECA, F. 2002. Conceito básicos em geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; MIGUEL, A. (Org). *Geoprocessamento: teoria e aplicações*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. & MONTEIRO, A. M. V. 2005. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.
- CAMPBELL, R. H. 1973. Isopleth map of landslide deposits, Point Dume Quadrangle, Los Angeles County, Califórnia: an experiment in generalizing and quantifying areal distribution of landslides. *U, S Geol. Surv., Miscellaneous Field Studies Map: MF-535*.
- CANIL, K. et al. 2004. Mapeamento de risco em assentamentos precários nas zonas sul e parte da oeste no município de São Paulo (SP). In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5*, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABGE, 2004. p.193-204.
- CARRARA, A. 1983. Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Journal of International Association for Mathematical Geology*, v.15, n.3, Jun.
- CARRARA, A. et al. - 1991. GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 16, pp.427-445.

- CARRARA, A. *et al.* - 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In: CARRARA & GUZZETTI (ed.), *Geographical Information Systems in assessing natural hazards*. Kluwer Academic Publishers. p.79-92.
- CARVALHO, C. S. & GALVÃO, T. (Org) 2006. *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.
- CARVALHO, C.S. & HACHICH, W. - 1998. Quantitative risk analysis of urban slopes: an application of subjective probability. In: International IAEG Congress, 8, *Proc....*, Vancouver. IAEG: 1998. vol.2. p.887-890.
- CAVALCANTE, J. C. & KAEFER, L. Q. 1974. Geologia da Folha de Santos (Parcial). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28º, Porto Alegre. Anais SBG, 1974. V. 4, p. 227-245.
- CENDRERO, A.; FRANCÉS, E. CORRAL, D. del 2004. Environmental quality índices: a tool for assessing and monitoring geoenvironmental map units. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5*: 2004: São Carlos. p. 525-564.
- CERRI, L.E.S. 1990. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6*, Salvador. *Anais...* Salvador: ABGE, 1990. v.1, p.309-317.
- CERRI, L.E.S. 1992. Riscos geológicos associados a escorregamentos na Região Metropolitana de São Paulo. In: *Seminário dos Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo*, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABAS/ABGE/SBG, 1992. p.209-225.
- CERRI, L.E.S. 1993. Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro. 197p.
- CERRI, L. E. S. & AMARAL, C. P. 1998. Riscos Geológicos. In: BRITO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, 1998. p. 301-310.
- CERRI, L.E.S. et al. 2004. Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP). In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5*, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABGE, 2004, p.115-122.
- CERRI, L. E. S. 2006. Mapeamento de Riscos nos Municípios. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 46-55.
- CHEN, H. & LEE, C. F. 2003. A dynamic model for rainfall induced landslides on natural slopes. *Geomorphology*, Vol. 15, Issue 4: 269-288.
- CHOLLEY, A. et al., 1956. Carte géomorphologique du Bassin de Paris.
- CHORLEY, R.J. & HAGGET, P. - 1975. *Modelos físicos e de informação em geografia*. São Paulo: Edusp. 260p.
- CHOW, V.T. 1953. Frequency of hydrologic data with special application to rainfall intensities. *University of Illinois Bulletin*, p.50-81.

- CHRISTIAN, C.S. 1958. The concept of land units and land systems. In: *Pacific Science Congress*, 9. *Proceedings...*, p.74-81, 1958.
- CHRISTIAN, C.S.; STEWART, G.A. 1953. General reports on survey of Katherine – Darwin region. C.SIRO, *Australian Land Research Series*, n.1., 1953.
- CHRISTIAN, C.S.; STEWART, G.A. 1968. Methodology of integrated surveys. In: Proc. UNESCO Conf. Aerial Surveys and Integrated Studies, Toulouse, 1964. UNESCO, Paris. P. 233-288.
- COATES, D. R. 1985. *Geology and Society*. Chapman and Hall, New York and London. 406pp.
- COLLARES, E.G. 1994. *Mapeamento geotécnico da quadrícula de Bragança Paulista (escala 1:50.000): ênfase nos materiais inconsolidados*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos, 2V. 1994.
- COOKE, R.U.; DOORNKAMP, J.C. 1990. *Geomorphology in environmental management: a new introduction*. 2ªed. New York: Clarendon Press, 1990.
- COSTA NUNES, A. J. 1969. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: *International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*, 7ª., México, 1969. *Anais...*, México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. V. 2, p.547-554.
- CROZIER, M. J. 1984. Landslides: causes, consequences and environment. Croom Helm, London, 252p.
- CRUZ, O. 1974. *A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba contribuição à geomorfologia litorânea e tropical*. IGEOG/USP, 181 p. (Série Teses e Monografias, 11).
- DAI, F.C.; LEE, C.F. & NGAI, Y.Y. 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64, Issue 1, April 2002, p. 65-87.
- DE BIASI, M. 1995. A Carta Clinográfica: Os Métodos de Representação e sua Confecção. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH-USP, n.º. 9. São Paulo. p. 45-60.
- DIAS, R. D. 1995. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. *Rev. IG*, São Paulo. São Paulo, 1995. Vol. Especial.
- DIKAU, R.; CAVALLIN, A.; JAGER, S. 1996. Databases and GIS for landslide research in Europe. *Geomorphology*, 15:3/4. p. 227-239.
- DINIZ, N.C. 1992. Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguaí com Base na Compartimentação por Formas de Relevo e Perfis Típicos de Alteração. São Carlos, 2 vols. (Dissertação de Mestrado, EESC, Universidade de São Paulo).
- DINIZ, N.C. 1998. *Automação da cartografia geotécnica: um ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental*. Tese de Doutorado, Departamento de Transportes da Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2V., 1998.
- DINIZ, N. C. & CINTRA, J. P. 1999. Automação da Cartografia Geotécnica: uma panorâmica da Cartografia Geotécnica no IPT na década de 90. In: Cong. Bras. de Geol. Eng., 9º, São Pedro. Anais, ABGE, CD- ROM. 16p.

- DINIZ, N. C. 2004. SIG aplicado a cartografia geotécnica e geoambiental (Relato). In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5: 2004: São Carlos. p. 449-452.
- DONATI, L. & TURRINI, M.C. 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology*, 63, Issues 3-4, March 2002, p. 277-289.
- ECHEVARRIA, C.M.R. 1967. Geotecnica y mapas geotecnicos. *Not. Y Com. Del Instituto Geologico y Minero Espana*, Madri, 97-98.
- EINSTEIN, H.H. 1988. Landslides risk assessment procedure. In: International Symposium on Landslides, 5, Lausanne, 1988. Vol. 2. p. 1075-1090.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2006. Disponível em <http://www.esri.com>. Acesso em 30/10/2006.
- FATORGIS. Definições técnicas. Fator Gis [periódico on-line] 1998. 2p. Disponível em: [http://fatorgis.com.br/geoproc/define\\_tecn.htm](http://fatorgis.com.br/geoproc/define_tecn.htm).
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. 2001. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista brasileira de Geomorfologia*, UGB, 2001. Vol. 2, Nº 1. p 51-71.
- FERNANDES DA SILVA, P.C. 2003. *The Use of Structural Geology in Regionalisation Schemes for Engineering Purposes*. (PhD Thesis, The University of Sheffield). Sheffield (Reino Unido), 2003.
- FERNANDES DA SILVA, P.C. et al. 2007. Propriedades geotécnicas de solos não saturados - avaliação regional. In: FERREIRA, C.J. (coord) 2007. *Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo)*, Ubatuba. 3º Relatório Técnico Parcial, Instituto Geológico, São Paulo, 2007. FAPESP (Processo 03/07182-5).
- FERREIRA, C.J. (coord.) 2004. *Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo)*, Ubatuba, SP. São Paulo, 2004. Projeto de Pesquisa FAPESP (Proc. 03/07182-5).
- FERREIRA, C.J. (coord) 2005. *Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo)*, Ubatuba. 2º Relatório Técnico Parcial, Instituto Geológico, São Paulo, 2005. FAPESP (Processo 03/07182-5).
- FIORI, A. P. 2004. Metodologias de Cartografia Geoambiental (Relato). In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5: 2004: São Carlos. p. 287-290.
- FREIRE, E. S. M. 1965. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. *Construção*, Rio de Janeiro, n. 8, p. 10-18.
- FREITAS, C. G. L. et al. 1992. A carta geotécnica de Ubatuba, SP: subsídio do meio físico para o planejamento do uso do solo no município. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 37, 1992, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos. São Paulo: SBG, v. 1, p. 55.



- FREITAS, R. O. 1976. Definição petrológica, estrutural e geotectônica das cintas orogênicas antigas do litoral norte do Estado de São Paulo. *Boletim Instituto Geológico - IG*, São Paulo, 1976. n. 1.
- FUJIMOTO, N. S. V. *et al.* 1996. A identificação de setores de risco a movimentos de massa no município de São Sebastião - SP. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2 e Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente, 1*. São Carlos (SP). *Anais...*, ABGE. p. 129-136.
- FÚLFARO, V. J. & SUGUIO, K. 1974. O cenozóico paulista, gênese e idade. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, 1974. *Anais SBG*. v.3, p. 91-102.
- FUNDUNESP- Fundação para o Desenvolvimento da UNESP. 2003. Mapeamento de risco associado a áreas de encosta e margens de córregos nas favelas do município de São Paulo. Relatório Final. Unesp/IGCE/DGA, Rio Claro, 2003. 78p.
- GALON, R. 1962. Instruction to the detailed geomorphological map of the Polish Lowland. *Geogr. Geom. Dept.*, Polish Acad. Sci. Torun.
- GAO, J. 1993. Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18: 579-591.
- GARES, P.A.; SHERMAN, D.J. & NORDSTROM, K.F. 1994. Geomorphology and natural hazards. *Geomorphology*, 10 (1-4): 1-18.
- GEE, M. D. 1992. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability. 6<sup>th</sup> Int. Symp. On Landslides, A. A. Balkema, Christchurch: 947-952.
- GOOSEN, D. 1968. *Interpretacion de fotos aereas y su importancia em levantamiento de suelos*. Roma, Inst. Intern. para Levantam. Aereo y Ciênc. Terrestres (ITC), 1968.
- GRANT, K. & FINLAYSON, A. A. 1978. The assessment and evaluation of geotechnical resources in urban or regional environments. *Engineering Geology*, Amsterdam, n. 12, 1978.
- GRANT, K. 1968. *A terrain evaluation system for engineering*. CSIRO, Austral. Div. Soil Mech., Techn. Paper, 27p., 1968.
- GRANT, K. 1970. Terrain evaluation: a logical extension of engineering geology. In: *International Congress of the International Association of Engineering Geologists, 1*, Paris. *Proceedings...*, V.2, p.971-980., 1970.
- GRANT, K. 1974. *The PUCE programme for terrain calculation for engineering purpose*. CSIRO, Div. App. Geomech., Tech. Paper, 19, 1974.
- GRANT, K. 1975. *The PUCE Programme for terrain evaluation for engineering purposes: I-Principles; II-Procedures for terrain classification*. Melbourne: CSIRO – Division of Applied Geomechanics, Technical Papers, 15, 32p.; 19, 68p., 1975.
- GRAY, D. H. & LEISER, A. J. 1982. Role of vegetation in stability and protection of slopes. In: *Biotechnical slope protection and erosion control*. New York: Van Nostrand Reinhold. P.37-65.
- GRIGORIEV, A.A. 1968 *The theoretical fundaments of modern physical Geography, in the interection of sciences in the study of the Earth*. Moscou, 1968.



- GRITZNER, M. I. *et al.* 2001. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho. *Geomorphology*, 37: 149-165.
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. 1984. *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo: 2ª ed. Edgard Blücher,. 194p.
- GUIDICINI, G. & IWASA, O. Y. Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos no meio tropical úmido. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1976. 48p. (publicação, 1080).
- GUIMARÃES, R.F. *et al.* 1999. Aplicação do modelo SHALSTAB para a determinação de áreas de risco a escorregamentos rasos em regiões tropicais. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 9. São Pedro. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1999. CD-ROM.
- GUSMÃO FILHO, J.A., MELO, L.V., ALHEIROS, M.M. - 1992. Estudo das encostas de Jaboaão dos Guararapes, PE. In: *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, 1, 1992a, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ, v.1, p.191-209.
- GUZZETTI, F. 2000. Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy. *Engineering Geology*, Vol. 58, Issue 2. p.89-107.
- GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31: 181-216.
- HABELEHNER, H. 1966. Princípios de mapeamento geotécnico. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 20, Vitória-ES.
- HANSEN, A. - 1984. Landslide hazard analysis. In: *Slope Instability*. Chichester: Brunsden & Prior, p.523-602.
- HARTLÉN, J. & VIBERG, L. 1988. General Report: Evaluation of landslide hazard. In: *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*. Lausanne, 1988. p. 1.037-1.057.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.D.; BISTRICHI, C.A., STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A.; PIRES NETO, A.G.; MELO, M.S.; SANTOS, M.C.S.R. 1978. Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da Região Administrativa 2 do Estado de São Paulo, IPT. 78 p. (Monografia IPT, 1).
- HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. 1981. O embasamento pré-cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. In: IPT. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*: escala 1:500.000. São Paulo, IPT, V1, p.12-45, 1981.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. 1984. Província Mantiqueira, Setor Central. In: ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (coords.). *O Pré - Cambriano do Brasil*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher. p.308 - 344.
- HASUI, Y.; COPPEDÊ, A. Jr.; CAETANO, A. C.; SANCHEZ, L. H. 1992. Aspectos geológico-estruturais da área da Mina de Furnas (Município de Iporanga, SP) e o problema de fluxo de efluentes. In: Y. Hasui & J. A. Mito (Coord.). *Geologia Estrutural Aplicada*. ABGE, São Paulo, 1992. p. 399-410.
- HASUI, Y. *et al.* 1993. Mapa geológico do Pré-Cambriano de São Paulo, 1:500.000. UNESP/PROMINÉRIO/DNPM, Rio Claro.

- HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; MORALES, N. 1994. Geologia do Pré - Cambriano. In: FALCONI, F.F.; NEGRO JR., A.(eds). *Solos do Litoral de São Paulo*. São Paulo, ABMS. p. 41-68.
- HOLL, M.C.; VEDOVELLO, R.; SILVA, A.P. O uso e a ocupação da terra nas avaliações de risco devido a movimentos de massa: exemplo de aplicação para a região do litoral norte do Estado de São Paulo. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4.*, 2001, Brasília. Anais... Brasília: ABGE, 2001 (CD-ROM).
- HUTCHINSON, J. N. 1988. General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In: *Int. Symp. on Landslides, 5th*, Lausanne, 1988. Vol 1, p. 3-35.
- IG-SMA (INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA). 1990. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento da região do Município de Sorocaba (SP)*. São Paulo. 1v. e mapas (Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG-SMA (INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA). 1991. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Itu (SP)*. São Paulo. 2v. (Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG-SMA (INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA). 1993. *Subsídios do meio físico ao planejamento do Município de Campinas (SP)*. São Paulo. 3v. (Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG-SMA (INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA). 1995. *Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da bacia do rio Piracicaba*. São Paulo. 4 volumes, 25 anexos.(Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG-SMA (INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA). 1996. *Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião*. Instituto Geológico-SMA/Prefeitura Municipal de São Sebastião. 77 p. e Anexos (15 mapas).
- IG-SMA (INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA). 1999. *Metodologia para Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos. Relatório Técnico*. São Paulo (SP): Instituto Geológico; 1999. 98p, 7 mapas.
- IG-SMA (INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA). 2006. Mapeamento das áreas de risco a escorregamentos e inundações no município de Ubatuba. Relatório Técnico. Vol.1 e 2.
- INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. Processos da Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (IAEG) 1970. Engineering Geology Maps Commission Report. Boletim nº 3.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (IAEG) 1976. Engineering Geological Maps. A guide to their preparation. The Unesco Press-Paris.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. IPT, Monografias, n.5., V1., 1981.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - IPT. 1991. Carta geotécnica do município de Ubatuba-SP. São Paulo: IPT. (Relatório, 28.975).

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - IPT. 1991. Ocupação de Encostas. Publicação IPT Nº 1831, 216p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - IPT. 1994. Carta geotécnica do Estado de São Paulo, escala 1:500 000. São Paulo: IPT. (Relatório, 32.263; Publicação, 2089).
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY (IAEG) 1970. Reports of two working groups. *Bulletin da IAEG*, 6., 1970.
- KANJI, M. A. 1979. Surface displacements as a consequence of excavation activities. In: International Congresso on Rock Mechanics, 4º. Montreux, 1979. Anais..., Montreux, ISRM, 1979. V. 3, p. 345-368.
- LACERDA, W.A 2004. The behaviour of colluvial slopes in a tropical environment. In: *Landslide: Evaluation and Stabilization*, Lacerda, Ehrlich, Fontoura & Sayão (eds). *Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides*. Rio de Janeiro, A A Balkema, 2004. v. 2, p. 1315-1342.
- LARSEN, M. C. & TORREZ-SÁNCHEZ, A. J. 1998. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *Geomorphology*, 24 (4): 309-331.
- LEROI, E. 1996. Landslide hazard – Risk maps at different scales: objectives, tools and developments. In: Proc. VII Int. Symp. Landslides, Trondheim, June 1996, 1: 35-52.
- LOLLO, J.A. 1996. *O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadricula de Campinas*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos, 2V 1996.
- LOPES, E. S. S. 2006. *Modelagem espacial dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista*. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE/UNESP), Rio Claro, 2006. 314p.
- MABBUT, J.A. 1968. *Review of concepts of land classifications*. In: Stewart, G.A. (ed.). Macmillan, Melbourne, 1968.
- MACEDO, E.S. 1992. Zoneamento e cadastramento de risco a escorregamento em bairro do município de Guaratinguetá, Estado de São Paulo, Brasil.. In: *Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano*, 2, Pereira Anais... Pereira: 1992. v.1, p.199-205.
- MACEDO, E.S. & AKIOSSI, A. 1996. Escorregamentos ocorridos no Brasil entre 1988 e 1996: levantamento a partir de notícias de jornal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador Anais... Salvador: SBG, 1996. v. 4, p.149-152.
- MACEDO, E.S. et al. 2004. Mapeamento de áreas de risco de escorregamentos e solapamento de margens no município de São Paulo - SP: o exemplo da Favela Serra Pelada, Subprefeitura Butantã. In: *Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*, 1, 2004, Florianópolis. Anais...Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004, p. 59-72, CD-ROM.
- MARCHIORI-FARIA, D.G.; FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; FERNANDES DA-SILVA, P.C.; CRIPPS J.C. 2005. Mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações em áreas habitacionais de Diadema (SP). In: : *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 11, Florianópolis. Anais..., ABGE, São Paulo, 2005. Anais (ISBN 85-7270-017-X)... ABGE, CD-ROM: p. 892-907.

- MARKER, B. MACCALL, J. 1989. *The Scope of Earth Science Mapping*. In: MACCALL, J. & MARKER, B. (eds.). *Earth Science Mapping for planning, development and conservation*. Graham & Trotman, 1989. p 3-10.
- MARQUES, G. N. & ZUQUETTE, L. V. 2004. Aplicação da Técnica AHP para seleção de áreas para aterros sanitários – Região de Araraquara (SP), Brasil. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5: 2004: São Carlos. p. 263-272.
- MATULA, M. 1965. Regional engineering geologic characteristics of the Zvolen Basin. *Acta Geol. et Geograph. UC Geologica*, 10, Bratislava.
- MATULA, M. 1969. Engineering geologic mapping and evaluation in urban planning. *Environmental Planning and Geology*. U.S. Department of the Interior, 1969.
- MATULA, M. 1976. Environmental aspects of engineering geologic mapping. In: *Congr. Int. de Geologia*, 25. Sydney, 1976. *Proceedings* ...
- MATULA, M. 1979. Regional engineering geological evaluation for planning purposes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, Krefeld, v.19, n. 18-24, 1979.
- McDONIC, G.F. 1987. Planning and geology. In: *Planning and Engineering Geology* (Culshaw, M. G. et al., eds), Geol. Soc. London, Eng. Geol. Spec. Publ n. 4: 49-52.
- MICHAEL-LEIBA, M. et al. 2003. Regional landslide risk to the Cairns community. *Natural Hazards*. Vol. 30, Issue 2, p. 233-249.
- MITCHELL, C.W. 1973. *Terrain evaluation*. London, Longman Ltda.
- MITCHELL, C.W. 1987. *Terrain evaluation*. In: Bell, F.G. (ed) *Ground engineer's reference book*. 1ed. London: Butterworths, cap. 23, p.23.1-23.8.
- MITCHELL, C.W. 1991. *Terrain Evaluation*. 2nd Ed. 497p. Longman, Essex.
- MONTEIRO, C.A. de F. 1973. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. Atlas. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 129p.
- MONTGOMERY, D.R. 1994. Road surface drainage, channel initiation and slope stability. *Water Resources Research*, 30: 1925-1932.
- MONTGOMERY, D.R.; SULLIVAN, K.; GREENBERG, M. H. 1998. Regional test of a model for shallow landsliding. *Hydrological Processes*, 5: 3-30.
- MONTGOMERY, D.R. & DIETRICH, W.E. 1994. A Physically-Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding. *Water Resources Research*, v. 30, p.1153-1171.
- MORAIS, S. M.; RODRIGUES, J. B.; SACHSI, L. L. B. DEHLER, N. M. 1999. Integração Geológica da Folha Santos 1:250.000 (SF-23-Y-D) Estado de São Paulo. Brasil. Ministério da Minas e Energia. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 1v e Mapa.
- MULDERS, M. A. 2001. Advances in the application of remote sensing and GIS or surveying mountainous land. *JAG*, v. 3, Issue 1, 2001, p. 3-10.
- NAKAZAWA, V. A. & CERRI, L. E. S. 1990. Os escorregamentos ocorridos em Petrópolis, RJ, em fevereiro de 1988: ações emergenciais. In: *Simpósio Latino-Americano sobre Risco*

- Geológico Urbano*, 1, São Paulo, 1990. *Anais...* ABGE, São Paulo. p. 325-333.
- NAKAZAWA, V. A. , FREITAS, C. G. L., DINIZ, N. C. 1994. Carta geotécnica do Estado de São Paulo: escala 1:500 000. São Paulo: IPT. (IPT - Publicação, 2089).
- NALETO, J. L. C. 2006. Mapa de Perigo de Escorregamentos para parte do município de Ubatuba – SP, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação de Terreno. Monografia de Trabalho de Formatura do Curso de Graduação de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP. Rio Claro, 2006.
- NOGUEIRA, F. R. 2006. Gestão dos Riscos nos Municípios. In: CARVALHO, C. S. & GALVÃO, T. (Org). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.p. 27-45.
- NUNES, A. J. C. *et al.* 1990. Contribuição ao conhecimento do risco geológico da cidade de Petrópolis, RJ. In: *Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano*, 1, São Paulo, 1990. *Anais...* ABGE, São Paulo. p. 102-114.
- OKIDA, R. 1996. *Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 147p. (INPE-6343-TDI/595). 1996.
- OLIVEIRA, A M. S. 1990. Depósitos Tecnogênicos associados à erosão atual. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 6, Salvador, 1990. *Anais...*, Salvador, ABGE. V.1 p.411-419.
- ONU 2004. *Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives*. Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra, Suíça, [www.unisdr.org](http://www.unisdr.org), 152pp.
- PACK, R.T.; TARBOTON, D.G.; GOODWIN, C.N. 1998. The SINMAP approach to terrain stability mapping. *Proc. 8<sup>th</sup> Congress of the Association of Engineering Geology* 2:1157-1165.
- PASEK, J. 1968. The development of engineering geological maps in Czechoslovakia. *Zentr. Geol. Inst. Abh.*, Berlin, 1968. v. 14.
- PASEK, J. & RYBAR, J. 1961. An illustration of engineering geological conditions in the map 1:25.000. *Geol. Exploration*, 3: 45-47, Prague.
- PASUTO, A. & SOLDATI, M. 1999. The use of landslide units in geomorphological mapping: an example in the Italian Dolomites. *Geomorphology*, v. 30, Issues 1-2, 1999. p. 53-64.
- PELOGGIA, A. 1998. *O Homem e o Ambiente Geológico: Geologia, Sociedade e Ocupação Urbana no Município de São Paulo*. São Paulo, Ed. Xamã. 271 p.
- PICHLER, E. 1957. Aspectos geológicos dos escorregamentos de Santos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, 1957. vol.6 (2): 69-77
- POLEMIO, M. & SDAO, F. 1999. The role of rainfall in the landslide hazard: the case of the Avigliano urban area (Southern Apennines, Italy). *Engineering Geology*, 53, Issues 3-4, July 1999, p. 297-309.

- PONÇANO, V. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A; ALMEIDA, F. F. M. & PRANDINI, F. L. 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (escala 1:1.000.000)*. São Paulo, 2v. Monografias, IPT/DMGA.
- PRANDINI, F. L. et. al. 1976. Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica. IPT, São Paulo, 1976. 22p. (publicação IPT 1074).
- PRANDINI, F. L. et. al. 1980. Carta geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. São Paulo: IPT. 31 p. (Publicação, 1135).
- PRANDINI, F. L. et. al. 1987. Cajamar – *carst* e urbanização: zoneamento de risco. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 5, 1987, São Paulo. *Anais ...*, ABGE, São Paulo. Vol 2. p. 461-470.
- PRANDINI, F.L., NAKAZAWA, V.A., FREITAS, C.G.L.de., DINIZ, N.C. 1995. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR (coord.). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo. p.187-202. (ABGE).
- RAHN, P. H. 1986. *Engineering geology: an environmental approach*. Englewood Cliffs, New Jersey. 539p.
- RIEDEL, P.S. 1994. *Condicionantes estruturais na estabilidade de taludes: uma abordagem regional, com apoio de técnicas de sensoriamento remoto*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos, 236p., 1994. 1994.
- RIEDEL, P.S.; RODRIGUES, J.E.; MATTOS, J.T.DE; MAGALHÃES, F.S. 1995. A influência das estruturas geológicas em instabilidade de taludes em saprolitos. *Solos e Rochas*, Rev. Bras. Geotecnia, ABMS/ABGE, dez. 1995, Vol. 18, n.3, p.139-147, 1995.
- RODRIGUES, C. 1997. *Geomorfologia Aplicada: Avaliação de Experiências e de Instrumentos de Planejamento Físico-Territorial e Ambiental Brasileiros*. Tese de Doutorado em Geografia Física, Depto de Geografia, FFLCH, USP. São Paulo, 1997. 279 p.
- RODRIGUES-CARVALHO, J.A. 1998. Perigos geológicos, cartografia geotécnica e proteção civil. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*, 3, Florianópolis. ABGE, CD-ROM, 1998.
- ROSA, M. R. & ROSS, J. L. S. 1999. Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade. *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo, 1999. Nº 13 p.77-106.
- ROSS, J. L. S. & MOROZ, I. C. 1997. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000)*. Laboratório de Geomorfologia do Depto de Geografia da FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia aplicada – IPT/FAPESP. Mapas e Relatório. São Paulo. 64 p.
- ROSS, J. L. S. 1990. *Geomorfologia Ambiente e Planejamento*. São Paulo, Ed. Contexto, 1990. 85p.
- ROSS, J. L. S. 1992. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*, FFLCH-USP, nº. 6. São Paulo.

- ROSS, J. L. S. 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia, FFLCH-USP*, n°. 8. São Paulo.
- ROSS, J. L. S. 1995. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental. *Revista do Departamento de Geografia, FFLCH-USP*, n°. 9. São Paulo. P. 65-75.
- ROSS, J. L. S. 1996. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da (Organizadores). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 291-336.
- ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C. J.; GIBERTI, P. P.C. 2007. Mapeamento do uso e ocupação do solo urbano aplicado à análise de risco. In: FERREIRA, C.J. (coord) 2007. *Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo), Ubatuba*. 3º Relatório Técnico Parcial, Instituto Geológico, São Paulo, 2007. FAPESP (Processo 03/07182-5).
- SAADI, A. et al. 1991. Informações sobre a neotectônica e a morfogênese de Minas Gerais. Boletim do 3º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. UNESP/SBG, Rio Claro, 1991. p. 105-107.
- SAATY, T. L. 1992. Multicriteria Decision Making – The Analytical Hierarchy Process. Pittsburg, RWS Publications, 1992.
- SANEJOUAND, R. 1972. *La cartographie geotechnique en France*. Lab. Central Ponts et Chaussées - ARMINES, [Paris], 1972.
- SANT'ANNA NETO, J.L. 1990. *Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Departamento de Geografia/FFLCH/USP, 156p.
- SANTORO, J. 2003. Carta de Inventário de Eventos de Movimentos de Massa. In: SOUZA, C.R. de G. (coord.). 2003. Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro – SIIGAL: FASE II. Projeto de Pesquisa. FAPESP (Proc. 1998/14.277-2), Relatório Científico, 2003.
- SANTORO, J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; VEDOVELLO, R. Hierarquização das situações de riscos associados a escorregamentos e inundações no município de Rio Grande da Serra, SP: subsídios para o planejamento de ações preventivas e emergenciais. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11*, Florianópolis. *Anais...*, ABGE, São Paulo, 2005 (CD-ROM).
- SÃO PAULO/SMA. 1996. *Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo. Parte I – Litoral*. São Paulo. SMA, 1996.
- SÃO PAULO/SMA. 1998. *Planos de Manejo das Unidades de Conservação – Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cubatão*. Plano de Gestão Ambiental – fase 1, org. por LOREJAN, S. F. & RAIMUNDO, S. São Paulo. SMA, 1998. 177p.
- SÃO PAULO/SMA/CPLEA - Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental. 2005. *Litoral Norte*. São Paulo, 2005. 111p.
- SÃO PAULO/INSTITUTO FLORESTAL (IF) 2006. Parque Estadual da Serra do Mar - Plano de Manejo (*Diagnóstico e Avaliação do Meio Físico*). Em CDROM

- SÃO PAULO/SMA/IF/FF. 1998. *Planos de Manejo das Unidades de Conservação – Parque Estadual de Ilhabela*. Plano de Gestão Ambiental – fase 1, org. por MALDONADO, W. T. V.; LEONEL, C.; BUCHIANERI, V.; MARETTI, C. C. & RAIMUNDO, S. São Paulo. SMA, 1998. 100 p.
- SASSA, K. 1989. Geotechnical classification of landslides. *Landslide News*, 3, p. 21-24.
- SAVAGE, W.Z.; GODT, J.W. & BAUM, R. L. 2003. A model for spatially and temporally distributed shallow landslide initiation by rainfall infiltration. In: D. Rickenmann & Chenglung Chen (eds). *Proc. 3th. International Conference on Debris Flow Hazard Mitigation: Mechanics*. 2003 Davos, Switzerland: 179-187.
- SAVAGE, W.Z.; GODT, J.W. & BAUM, R. L. 2004. Modeling time-dependent areal slope stability. In: *Landslide: Evaluation and Stabilization*, Lacerda, Ehrlich, Fontoura & Sayão (eds). *Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides*. Rio de Janeiro, A A Balkema, 2004. v. 1, p. 23-36.
- SCHOBENHAUS, C. & CAMPOS, D. A. 1984. A evolução da Plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: C. Schobbenhaus et al (Coords). *Geologia do Brasil*. DNPM, Brasília, 1984. P. 9-53.
- SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados) 2007. Perfil municipal. <http://www.seade.gov.br/produtos/perfil>. Consultado em 21/03/2007.
- SELBY, M. J. 1982. *Hillslope Materials and Processes*. Oxford: Oxford Press. 264p.
- SELBY, M. J. 1993. *Hillslope Materials & Processes*. Oxford University Press, New York, 2ª ed. 451p.
- SESTINI, M. F. 2000. Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamentos em Caraguatatuba – SP utilizando Imagens TM-LANDSAT e SIG. São José dos Campos. 140p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.
- SHARPE, C. F. S. 1938. *Landslides and related phenomena*. New York, Columbia University Press. 137p.
- SILVA, C. 2004. Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM. In: TOMINAGA, L. K.; PEJON, O. J. & BASTOS, C. A. (coord.) 2004. Diagnóstico preliminar da cartografia geotécnica e geoambiental no Brasil. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5: 2004: São Carlos. p. 01-20.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, Vol.6, n.32, p.71-104., 1976.
- SOBREIRA, F. G. 1989. *Estudo das encostas ocupadas desordenadamente na Cidade do Rio de Janeiro. A favela do Vidigal*. Dissertação de Mestrado. Depto. de Geologia da UFRJ. Rio de Janeiro, 1989.
- SOETERS, R. & VAN WESTEN, C. J. 1996. Slope stability recognition, analysis and zonation. In: Turner A. K. Shuster, R. IL. (eds) *Landslides : investigation and mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, special Report 247: 129-177.



- SOUZA, C.R. de G. (coord.). 2000. Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro – SIIGAL: FASE II. Projeto de Pesquisa. FAPESP (Proc. 1998/14.277-2), abril/2000. 87 p. + anexos (inédito).
- SOUZA, C.R. G.; VEDOVELLO, R.; BROLLO, M.J.; TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J. & HOLL, M.C. 2001. A cartografia geotécnica no sistema integrador de informações geoambientais para a zona costeira de São Paulo (Projeto SIIGAL). Brasília, DF. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, IV*, ABGE. CD-ROM, 2001
- SOUZA, N.C.D.C. 1992. *Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguai: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração*. Tese de Mestrado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos, 2V. 1992.
- SOUZA, N.M. & CELESTINO, V.R.R. 2004. Contribuição a análise de decisões em cartografia geotécnica com uso de geoprocessamento: sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Anais do Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5*: 2004: São Carlos. p. 509-515.
- TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L.E. DA S.; ROCHA, M.C.M. 1987. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão. In: Cong. Bras. de Geol. Eng., V, São Paulo. Anais, ABGE, Vol. 2. p 225-236.
- TAVARES, R.; SANT'ANA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J.T.G.; PRESSINOTTI, M. M. N.; SANTORO, J. - 2004. Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associadas aos movimentos de massa no Litoral Norte paulista. In: *Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1*. Florianópolis. Anais ... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004, p.680-696. (CD-ROM).
- 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 Técnico Parcial, Instituto Geológico, São Paulo, 2005. FAPESP (Processo 03/07182-5).
- TAVARES, R. 2003. Carta de Unidades Climáticas. In: SOUZA, C.R. de G. (Coord.). Sistema Integrador de Informações Ambientais para o Litoral do Estado de São Paulo aplicado ao Gerenciamento Costeiro – SIIGAL. Proc. FAPESP N. 1998/14.277-2. 3º Relatório Científico, Fase II.
- TERLIEN, M. T. J. et al. 1995. Deterministic modelling in GIS based landslide hazard assessment. In: CARRARA & GUZZETTI (ed.), *Geographical Information Systems in assessing natural hazards*. Kluwer Academic Publishers. p.57-77.
- TER-STEPANIAN, G. 1988. Beginning os the Technogene. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. N. 38, p. 287-304.
- TERZAGHI, K. 1950. Mechanism of Landslides. Geological Society of America, Engineering Geology (Berkey). Vol 1, p. 83-123.
- TERZAGHI, K. 1967. Mecanismos dos escorregamentos de terra. Publicado pela Escola Politécnica da USP, 1967. 41p.
- THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A.G.; CANTARINO, S.C. 1999. Projeto Curitiba: Atlas Geoambiental da região metropolitana de Curitiba e subsídios ao planejamento territorial. São Paulo: CPRM; 1999

- THOMAS, A. 1970. Reflexion sur la cartographie géotechnique. In: *International Congress of the International Association of Engeneerig Geology*, Paris. *Proceedings.*, 1970.
- THORNES, J.B. & ALCÁNTARA-AYALA, I. 1998. Modelling mass failure in a Mediterranean mountain environment: climatic, geological, topographical and erosional controls. *Geomorphology*, 24 (1): 87-100.
- TOMINAGA, L. K.; PEJON, O. J. & BASTOS, C. A. (coord.) 2004. Diagnóstico preliminar da cartografia geotécnica e geoambiental no Brasil. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5: 2004: São Carlos. p. 01-20.
- TOMINAGA, L. K.; SOUZA, C.R.G.; FERREIRA, C. J.; SANTORO, J.; VEDOVELLO, R. 2001. Avaliação de Riscos Geológicos para Aplicação em Instrumentos de Gestão Ambiental. Brasília, DF. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*, IV, ABGE. CD-ROM, 2001.
- TOMINAGA, L. K.; VEDOVELLO, R.; BROLLO, M. J.; SOUZA, C. R. G.; SANTORO, J.; HOLL, M. C. 2002. Uso da Cartografia Geotécnica na Elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação no Litoral do Estado de São Paulo. Ouro Preto, MG. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 10º. Anais ..., ABGE. CD-ROM.
- TOMINAGA, L.; FERREIRA, C.J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J.; SOUZA, C.R. de G. 2004. Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5: 2004: São Carlos. p. 205-216.
- TOMINAGA, L.K. 2000. *Análise Morfodinâmica das Vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião – SP*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Departamento de Geografia, FFLCH – USP. São Paulo, 2000. 162 p.
- TOMINAGA, L. K. *et al.* 2007. Compartimentação fisiográfica e obtenção dos fatores de suscetibilidade a escorregamentos. In: FERREIRA, C.J. (coord) 2007. *Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo)*, Ubatuba. 3º Relatório Técnico Parcial, Instituto Geológico, São Paulo, 2007. FAPESP (Processo 03/07182-5).
- TRAININI, D. R & ORLANDI FILHO, V. 2003. Mapa geoambiental para o desenvolvimento da Região Integrada do Distrito Federal e Entorno (coordenação de Cássio Roberto da Silva), CPRM, DF, 2003
- TRICART, J. 1965. *Principles et Méthodes de la géomorphologie*. Masson et Cie., Paris, 496 pp.
- TRICART, J. 1977. *Ecodinâmica*. FIBGE, Rio de Janeiro.
- UNITED NATIONS DISASTER RELIEF CO-ORDINATOR – UNDRO. - 1988. Resolution on the international decade on natural disaster reductions. *Undro News*. Jan/feb. 15p. 1988.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. 1983. Goals and tasks of landslide part of ground-failure hazards reduction program. *Geological Survey Circular*, 880. 48p.
- UNSTEAD, J.F. 1933. A system of regional geography. *Geography*, Vol.18, p.185-187.

- VALÉRIO FILHO, M. 1998. Técnica de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao planejamento regional. In: *Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VI. Anais ...*, ABGE, Presidente Prudente, 1998. CD-ROM.
- VAN WESTEN, C. J. 1993. Application of geographic information system to landslide hazard zonation. ITC Publication, Enschede, The Netherlands, 15: 245p.
- VAN WESTEN, C. J. 2004. Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: LACERDA, EHRlich, FONTOURA & SAYÃO (eds). *Landslide: Evaluation and Stabilization Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides*. Rio de Janeiro, A A Balkema, 2004. v. 1, p. 39-56.
- VARGAS, M. 1966. Estabilização de taludes em encostas de gneiss decompostas. Anais do 3º Congresso Brasileiro de Mecânica de Solos, Belo Horizonte, 1966.
- VARNES D. J. 1958. Landslides types and processes. Highway Research Board, Special Report, Vol 29, p. 20-47.
- VARNES D. J. - 1978. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER & KRIZEK (eds.). *Landslides: analysis and control*. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC. p. 11-33.
- VARNES, D.J. 1984. *Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice*. UNESCO Press, Paris. 56 p.
- VAZ, L.F. 1996. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. *Solos e Rochas*, Rev. Bras. Geotecnia, ABMS/ABGE, dez. 1996, Vol. 19, n.2, p.117-136.
- VEDOVELLO, R. 1993. *Zoneamento Geotécnico por Sensoriamento Remoto, para Estudos de Planejamento do Meio Físico - Aplicação em Expansão Urbana*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 88p., 1993.
- VEDOVELLO, R. 2000. *Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP), Rio Claro. 154p.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. 1998. A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*, 3. Florianópolis. CD-ROM, ABGE, 1998.
- VEDOVELLO, R.; RIEDEL, P.S.; BROLLO, M. J.; HAMBURGUER, D.S.; CAMARGO, A.A.X. 2002. Modelagem e arquitetura de um Sistema Gerenciador de Informações Ambientais (SGIG) como produto de avaliações geológico-geotécnicas. Ouro Preto, MG. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 10º. Anais...*, ABGE. CD-ROM.
- VEDOVELLO, R. 2004. Aplicações da cartografia geoambiental (Relato). In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5: 2004: São Carlos. p. 337-341.
- VEDOVELLO, R.; SULTANUM, H.J.; FERREIRA, C.J.; TORREJON, R.A.; TOMINAGA, L.K.; TAVARES, R. 2005. Modelo conceitual e de programação para a obtenção e atualização automática de cartas de riscos em sistemas gerenciadores de informações geoambientais –

- SGIGS. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 11, Florianópolis. Anais..., ABGE, São Paulo, 2005. p. 2327-2339.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. INPE, 61p. (INPE – 2227 – MD041)., 1982.
- VERSTAPPEN, H.T. 1977. *Remote sensing in geomorphology*. Elsevier Science Publishers, 214p.
- VERSTAPPEN, H.T. 1983. *Applied geomorphology*. Elsevier Science Publishers, 473p.
- VINK, A.P.A. 1983. Landscape ecological mapping. *ITC Journal* (International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences), Amsterdam, n.3, p.338-343.
- WOLLE, C. M. 1980. *Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1980. 245p
- WOLLE, C. M. 1988. *Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988. 340p
- WOLLE, C.M.; CARVALHO, C. S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. *Solos e Rochas*, v. 12, p. 27-36, 1989.
- ZAINE, J. E. 2000. *Mapeamento geológico-geotécnico por meio da sistemática do detalhamento progressivo: aplicação na área urbana do Município de Rio Claro (SP)*. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente, IGCE, Unesp - Rio Claro (SP).
- ZEBERA, K. 1947. *Geologie in der regionalen planung*. *Geotechnica*, Prague, 1947. nº 4.
- ZUQUETTE, L.V. 1987. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (EESC/USP), São Carlos, 1987. 3v. 673p
- ZUQUETTE, L.V. 1991. *Mapeamento geotécnico: Ribeirão Preto*. Relatório Científico FAPESP, 1991.
- ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. 1992. The importance of the engineering geological mapping for regional planning an example from the Campinas Region (Brasil). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, Pereira, v. 1 , 1992.
- ZUQUETTE, L.V. 1993. *Importância do mapeamento geotécnico no usos e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para exploração*. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP, São Carlos, 2V. 1993.
- ZUQUETTE, L.V. & PEJON, O. 1996. Carta de zoneamento geotécnico geral da região de Franca (SP), utilizando os critérios de landforms. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*, 2, São Carlos, 1996. Anais ... ABGE, São Carlos.
- ZUQUETTE, L.V. E NAKAZAWA, V.A. 1998. Cartas de Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA & BRITO (ed). *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, 1998. p.283-300.
- ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N. 2004. *Cartografia Geotécnica*. Oficina de Textos. São Paulo-SP. 190 p.