



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades



Mestrado

---

**Engenharia Civil e Ambiental**

GEÓRGIA JORGE PELLEGRINA

**PROPOSTA DE UM PROCEDIMENTO METODOLÓGICO  
PARA O ESTUDO DE PROBLEMAS GEOAMBIENTAIS  
COM BASE EM BANCO DE DADOS DE EVENTOS  
ATMOSFÉRICOS SEVEROS**

Bauru - 2011

GEÓRGIA JORGE PELLEGRINA

**PROPOSTA DE UM PROCEDIMENTO METODOLÓGICO  
PARA O ESTUDO DE PROBLEMAS GEOAMBIENTAIS  
COM BASE EM BANCO DE DADOS DE EVENTOS  
ATMOSFÉRICOS SEVEROS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Bauru, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de atuação em Geotecnia.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Anna Silvia Palcheco Peixoto

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lucí Hidalgo Nunes

IGE - UNICAMP

Bauru – 2011

Pellegrina, Geórgia Jorge.

Proposta de um procedimento metodológico para o estudo de problemas geoambientais com base em banco de dados de eventos atmosféricos severos. / Geórgia Jorge Pellegrina, 2011.

184 f.

Orientador: Anna Silvia Palcheco Peixoto

Coorientador: Lucí Hidalgo Nunes

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011

1. Banco de Dados. 2. Desastres Naturais. 3. Mapas de Risco e Vulnerabilidade. 4. Eventos Severos I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE GEORGIA JORGE PELLEGRINA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 02 dias do mês de junho do ano de 2011, às 10:00 horas, no(a) SALA DE VIDEOCONFERÊNCIA DO STI, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ANNA SILVIA PALCHECO PEIXOTO do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. ANA MARIA GOMES HELD do(a) Administração do Instituto de Pesquisas Meteorológicas / IPMet - Bauru, Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de GEORGIA JORGE PELLEGRINA, intitulada "PROPOSTA DE UM PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA O ESTUDO DE PROBLEMAS GEOAMBIENTAIS COM BASE EM BANCO DE DADOS DE EVENTOS ATMOSFÉRICOS SEVEROS". Após a exposição, a discente foi argüida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Profa. Dra. ANNA SILVIA PALCHECO PEIXOTO

  
Profa. Dra. ANA MARIA GOMES HELD

  
Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES

## DEDICATÓRIA

Às minhas filhas que são a minha fonte de inspiração

Aos meus pais que regem minha força

E para uma pessoa muito especial cujo exemplo é de garra e determinação e que há um ano encontra-se em outra morada, a minha avó amada.

## AGRADECIMENTOS

Desejo expressar os sinceros agradecimentos primeiramente a Deus por manter-me forte durante a caminhada e a todas as pessoas que contribuíram para a elaboração dessa pesquisa, especialmente:

À Prof<sup>ª</sup>. Anna Silvia Palcheco Peixoto pela orientação, compreensão, paciência e estímulo no desenvolvimento e conclusão desse trabalho;

À Prof<sup>ª</sup>. Lucí Hidalgo Nunes pela co-orientação cuidadosa, mas principalmente pelo apoio, amizade e incentivo para iniciar essa jornada;

Aos professores do curso de pós-graduação, pelo conteúdo transmitido, e principalmente ao Prof. George de Paula Bernardes, educador entusiasta, cuja determinação, dedicação e incentivo merece destaque;

Ao amigo analista Marco Antônio Antunes de Oliveira, pela ajuda na implantação e informatização do Banco de Dados no IPMet, onde trabalhamos juntos no projeto SIMPAT;

Aos amigos e colegas de trabalho: Carlos Alberto Antônio, por toda ajuda, disponibilidade, orientação e sugestões para a elaboração de gráficos e figuras, José Bezerra pelo trabalho feito com presteza nas encadernações; aos meteorologistas Rita de Cássia Cerqueira Lopes e José Carlos Figueiredo, pelos ensinamentos compartilhados.

Aos colegas da pós-graduação Pedro Ivo Mioni Camarinha pelos conhecimentos transmitidos e Mariana Ferreira Benessiuti, por toda dedicação, paciência diante das dificuldades e pela sua amizade;

Ao amigo e colega de trabalho, o pesquisador Shiguetoshi Sugahara, pelas orientações e sugestões na revisão da dissertação;

Ao coordenador da Defesa Civil de Bauru, Álvaro de Brito, pela colaboração e atenção prestada.

Ao IPMet pela oportunidade de realizar esta pesquisa e aprimorar-me profissionalmente, destacando o incentivo recebido pela diretora Ana Maria Gomes Held e Gerhard Held;

À minha família, pai, mãe, irmãos, meu namorado Hamilton, pelo estímulo, apoio e por estarem sempre presentes e principalmente às minhas filhas Gabriela e Giovana, pela paciência, compreensão, incentivo e carinho durante todo essa jornada.

## EPÍGRAFE

*"Há homens que lutam um dia e são bons.  
Há outros que lutam um ano e são melhores.  
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.  
Porém, há os que lutam toda a vida.  
Esses são os imprescindíveis."*

**Bertolt Brecht**

## RESUMO

A proposta dessa pesquisa foi apresentar um procedimento metodológico para aplicação de um banco de dados de eventos atmosféricos severos em estudos de problemas geoambientais. Sua eficácia foi avaliada considerando ocorrências de movimentos de massa significativos em 15 municípios paulistas, cobrindo o período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010. As características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e de ocupação foram consideradas e confrontadas com as situações de tempo atmosférico que contribuíram para a deflagração dos eventos calamitosos. Observou-se que o domínio da Zona de Convergência do Atlântico Sul está associado às ocorrências mais catastróficas, especialmente em locais de relevo de morros, saprólitos ou contatos solo-rocha, no Complexo Cristalino também relacionado à ocupação desordenada. O estudo também aplicou os índices de risco e vulnerabilidade proposto por Marcelino *et al* (2006), que apontou maior risco nos municípios com reincidências de escorregamentos e maior vulnerabilidade em locais com alta densidade demográfica, elevado índice de pobreza e grande número de idosos. Dessa maneira, a aplicação do banco de dados de eventos severos para problemas de geotecnia ambiental, mostrou-se uma importante ferramenta na determinação de áreas de risco, podendo assim, servir de suporte logístico para órgãos que trabalham com a assistência aos vitimados.

Palavras-chaves: banco de dados, eventos severos, mapas de risco e vulnerabilidade, desastres naturais.



## ABSTRACT

The research aimed to present a methodology for implementing a database of severe weather events for geo-environmental evaluations. Its efficiency was assessed by considering significant mass movements occurrences in 15 municipalities of São Paulo state between September 2009 and February 2010. The geological, geomorphological, hydrological, as well as the occupational characteristics of selected areas were compared with the prevailing weather that contributed to the outbreak of calamitous events. Most of the episodes occurred in hills, saprolites or soil-rock contacts in the Crystalline Complex. The unplanned occupational pattern was also an important contributor to the calamitous occurrences. The risk and vulnerability index proposed by Marcelino *et al* (2006) was applied and lead to high risk in the municipalities with repeated landslides. The vulnerability was greater in areas with high population density, poverty rates and number of elderly people. The study enhanced the importance of a database of calamitous events to evaluate geotechnical problems and proved to be an important tool for determining risk areas. Thus, it may serve as logistical support for agencies that work with the assistance to victims.

Keywords: database, severe events, risk and vulnerability maps, catastrophic events

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	OBJETIVOS.....	21
3	METODOLOGIA.....	22
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	30
4.1	INTRODUÇÃO.....	30
4.2	RISCO AMBIENTAL.....	31
4.3	DESASTRES NATURAIS .....	41
4.3.1	Classificação dos desastres.....	46
4.3.2	Inundação.....	48
4.3.3	Enchente .....	57
4.3.4	Escorregamento (Deslizamento de Massa).....	58
4.3.5	Erosão .....	72
4.4	BANCO DE DADOS .....	76
4.5	SIG.....	79
4.5.1	Aplicações do SIG.....	82
4.5.2	Análise de Risco utilizando um SIG .....	85
4.5.3	Geotecnologia aplicada ao SIG .....	86
4.5.4	O SIG ARCGIS .....	87
5	ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS .....	89
5.1	SISTEMA DE GERENCIAMENTO DO BANCO DE DADOS .....	89
6	ESPACIALIZAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS VS OCORRÊNCIAS CALAMITOSAS.....	95
6.1	MAPAS REFERENTES À OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA .....	95
7	MAPEAMENTO DE RISCO DE DESASTRES NATURAIS.....	110
7.1	CONDICIONANTES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS AOS EVENTOS.....	118
7.2	ANÁLISES DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS PARA ALGUNS MUNICÍPIOS.....	135
7.3	ANÁLISES DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS, HIDROLÓGICAS E DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS ÁREAS ATINGIDAS PELOS ESCORREGAMENTOS.....	147
7.4	ÁREAS SUSCEPTÍVEIS AO RISCO .....	157
8	MAPA DE RISCO .....	161
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	165
10	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	169
11	BIBLIOGRAFIA .....	170

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Base de dados municipais do estado de São Paulo (IBGE, 2004).....	26
Figura 2 - Classificação de riscos ambientais (adaptado de Cerri e Amaral, 1998).....	33
Figura 3 - Evolução da urbanização do Brasil e no mundo (Mega-cities <i>apud</i> Folha de São Paulo, 04/02/1996).....	34
Figura 4 – Número de pessoas afetadas por Desastres Naturais em 2009 em todo o mundo (EM-DAT, 2009).....	42
Figura 5 – Danos estimados (bilhões de dólares) causados por desastres naturais ocorridos no mundo, no período de 1975 a 2009 (EM-DAT, 2009).....	43
Figura 6 - Série temporal entre população e número de mortes devido a desastres naturais no Brasil, 1950-2005 ( <i>apud</i> Kobiyama <i>et al</i> , 2004).....	44
Figura 7 – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação (Min. Cidades/IPT, 2007).....	49
Figura 8 – Ciclo hidrológico. Fonte: wikipedia.org.....	50
Figura 9 – Movimentação de água no perfil do solo ( <i>apud</i> Carvalho e Silva, 2006).....	51
Figura 10 – Diferenças entre inundação gradual e brusca (Kobyama <i>et al</i> , 2006).....	53
Figura 11 – Classificação de movimentos de massa. (adaptada de Carson e Kirkby, 1975).....	62
Figura 12 – Esquema de escorregamento rotacional (Tominaga <i>et al</i> , 2009).....	63
Figura 13 – Esquema de escorregamento planar ou translacional de solos (Tominaga <i>et al</i> , 2009).....	64
Figura 14 – Esquema de escorregamento em cunha (Tominaga <i>et al</i> , 2009).....	65
Figura 15 – Mortes provocadas por escorregamentos no Brasil (período de 1988 a 2005). (IPT, 2005).....	71
Figura 16 - Parâmetros que envolvem uma análise de risco (Marcelino, 2008).....	85
Figura 17 – Página principal de acesso ao Banco de Dados da Defesa Civil.....	90
Figura 18 – Página de acesso aos fenômenos.....	91
Figura 19 – Janela de acesso aos danos/ocorrências.....	92
Figura 20 – Tela de busca do sistema com uma consulta realizada.....	93
Figura 21 - Parte da tela de alteração / inserção dos dados .....	94
Figura 22 - Aspecto geral da ocupação do território paulista ( <i>Apud</i> Rocha, 2005).....	97
Figura 23- Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IBGE, 2005).....	98

Figura 24- Mapa Geológico Geral do Estado de São Paulo ( <i>Apud</i> Rocha, 2005).....	99
Figura 25 - Aspecto Geral do Relevo Paulista ( <i>Apud</i> Rocha, 2005).....	100
Figura 26 - Seção Geológica Esquemática do Estado de São Paulo, WNW ( <i>Apud</i> Rocha, 2005).....	101
Figura 27 - Chuva média plurianual - período 1941-1970 ( <i>Apud</i> Rocha, 2005).....	102
Figura 28 - Ocorrências de erosão notificadas pela Defesa Civil no período de 2000 a 2008.....	103
Figura 29 – Histograma das ocorrências de erosões na região de Bauru notificadas pela Defesa Civil para o período de janeiro/2000 a março/2010.....	104
Figura 30 – Histograma das ocorrências de erosões no município de São Paulo notificadas pela Defesa Civil para o período de janeiro/2000 a março/2010.....	104
Figura 31: UGRHI-16 - Tietê/Batalha.....	105
Figura 32: UGRHI-06 - Alto Tietê.....	105
Figura 33 – Ocorrências de escorregamentos de encosta notificados pela Defesa Civil no período de 2000 a 2008.....	107
Figura 34 – Ocorrências de deslizamentos de terra notificados pela Defesa Civil no período de 2000 a 2008.....	107
Figura 35 – Ocorrências de quedas de barreiras notificadas pela Defesa Civil no período de 2000 a 2008.....	108
Figura 36 – Ocorrência de Desastres Naturais no mundo por tipos de desastres. Fonte: Modificado pela autora a partir de dados do EM-DAT e ISDR (2008).....	110
Figura 37 – Ocorrências de movimentos de massa no período de setembro/2009 a fevereiro/2010.....	111
Figura 38 – Municípios atingidos por movimentos de massa selecionados para o estudo.....	113
Figura 39 – Gráfico de Risco e Vulnerabilidade para os 15 municípios.....	116
Figura 40 – Dados pluviométricos do município de Guaratinguetá no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	122
Figura 41 – Dados pluviométricos do município de São Luiz do Paraitinga no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	122
Figura 42 – Dados pluviométricos do município de São Paulo no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	123
Figura 43 – Dados pluviométricos do município de Araraquara no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	123

Figura 44 – Dados pluviométricos do município de Santos no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	124
Figura 45 – Dados pluviométricos do município de Ubatuba no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	124
Figura 46 – Dados pluviométricos do município de Caraguatatuba no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	125
Figura 47 – Dados pluviométricos do município de Guarujá no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	125
Figura 48 – Dados pluviométricos do município de Bertioga no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	126
Figura 49 – Dados pluviométricos do município de São José dos Campos no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	126
Figura 50 – Dados pluviométricos do município de Jacareí no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	127
Figura 51 – Dados pluviométricos do município de Jambuí no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	127
Figura 52 – Dados pluviométricos do município de Natividade da Serra no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	128
Figura 53 – Dados pluviométricos do município de Paraibuna no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	128
Figura 54 – Dados pluviométricos do município de Cunha no período de setembro/2009 a fevereiro/2010. Fonte: CPTEC/INPE.....	129
Figura 55 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de setembro.....	130
Figura 56 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de outubro.....	131
Figura 57 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de novembro.....	131
Figura 58 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de dezembro.....	132
Figura 59 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de janeiro.....	132
Figura 60 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de fevereiro.....	133

Figura 61 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de setembro de 2009.....	136
Figura 62 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de outubro de 2009..	137
Figura 63 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de novembro de 2009.....	137
Figura 64 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de dezembro de 2009.....	138
Figura 65 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de janeiro de 2010...	138
Figura 66 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de fevereiro de 2010.....	139
Figura 67 - Chuva acumulada horária no mês de setembro de 2009 com o indicativo dos escorregamentos.....	141
Figura 68 – Chuva acumulada horária no mês de dezembro de 2009 com o indicativo dos escorregamentos.....	141
Figura 69 – Chuva acumulada horária no mês de janeiro de 2010 com o indicativo dos escorregamentos.....	142
Figura 70 – Chuva acumulada horária no mês de fevereiro de 2010 com o indicativo dos escorregamentos.....	142
Figura 71 – Precipitação diária no município de São Luiz do Paraitinga no mês de novembro de 2009.....	144
Figura 72 – Precipitação diária no município de São Luiz do Paraitinga no mês de dezembro de 2009.....	144
Figura 73 – Precipitação diária no município de São Luiz do Paraitinga no mês de janeiro de 2010.....	145
Figura 74 – Precipitação acumulada horária no mês de dezembro no município de São Luiz do Paraitinga.....	145
Figura 75 – Precipitação acumulada horária no mês de janeiro no município de São Luiz do Paraitinga.....	146
Figura 76 – Mapa de Risco de eventos de movimentos de massa dos 15 municípios no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010.....	163
Figura 77 – Mapa de Vulnerabilidade de eventos de movimentos de massa dos 15 municípios no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010.....	164

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Hierarquização em função da intensidade cínica.....	45
Tabela 2 – Principais agravantes antrópicos relacionados com os desastres.....	46
Tabela 3 – Classificação dos desastres em relação à intensidade.....	47
Tabela 4 – Componentes do ciclo hidrológico.....	52
Tabela 5 - Diversas definições de inundação gradual.....	54
Tabela 6 – Algumas definições de inundação brusca. ....	55
Tabela 7 – Classificação dos Escorregamentos na Serra do Mar (Massad, 2010).....	59
Tabela 8 – Principais tipos de movimentos de massa em encostas definidos pela Defesa Civil (Tominaga <i>et al</i> , 2009).....	60
Tabela 9 – Agentes/Causas dos escorregamentos (Guidicini e Nieble, 1976, <i>apud</i> IDE, 2005).....	61
Tabela 10 – Danos causados por escorregamentos (Bressani e Bertuol, 2010, modificado pela autora).....	67
Tabela 11 – Resumo de algumas pesquisas nacionais da relação entre chuva e escorregamento (Ide,2005).....	68
Tabela 12 – Grau de segurança esperado – Vidas humanas.....	70
Tabela 13– Grau de segurança esperado – Perdas materiais e ambientais.....	70
Tabela 14 – Tipos de erosão (Tominaga <i>et a</i> ,2009).....	74
Tabela 15 – Definições de SIG.....	81
Tabela 16 - Valores dos parâmetros utilizados para aferir o risco.....	114
Tabela 17 - Valores máximos e mínimos dos parâmetros utilizados.....	114
Tabela 18 – Índices das variáveis consideradas para o cálculo de risco por município (Índices = Valor observado – Valor mínimo/Valor máximo – Valor mínimo).....	115
Tabela 19 - Valores de Risco e Vulnerabilidade por município.....	115
Tabela 20 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas do Litoral.....	147 e 148
Tabela 21 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas do Vale do Paraíba.....	150 a 153
Tabela 22 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas de Araraquara e São Paulo.....	156

Tabela 23 - Análise do mapa às áreas suscetíveis à riscos geológicos dos municípios estudados.....	158 e 159
Tabela 24 – Valores de classes Baixo, Médio, Alto e Muito Alto escalonados entre 1 e 4.....	162



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACIESP	Academia de Ciências do Estado de São Paulo
ADHB	Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil
AVADAN	Avaliação de Danos
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CSV	Comma-separated Values
DAEE	Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo
DD	Densidade Demográfica
EM-DAT	Emergency Disasters Database
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FF	Frente Fria
FS	Fator de Segurança
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Intensidade de Pobreza
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPMet	Instituto de Pesquisas Meteorológicas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
MIN	Ministério da Integração Nacional
P	Perigo
PEAR	Programa Estrutural em Áreas de Risco
PHP	Hypertext Preprocessor
PI	População Idosa
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
R	Risco
SEDEC	Secretaria Nacional de Defesa Civil

SGB	Serviço Geológico do Brasil
SGDB	Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados
SIG	Sistemas de Informações Georeferenciais
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UN-ISDR	United Nations-International Strategy for Disaster Reduction
UNDP	United Nations Development Programme
UNESP	Universidade Estadual Paulista
URBEL	Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

# 1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos atmosféricos de grande intensidade estão associados às dinâmicas climáticas próprias, geradas naturalmente. Marcelino (2003) afirma que os fenômenos têm relação com sua origem, agrupando-os nas formas meteóricas hídricas (chuva, neve e nevoeiro), mecânicas (tornados) e elétricas (raios e relâmpagos).

Eventos atmosféricos que geram grandes quantidades de chuva podem deflagrar desastres como enchentes, deslizamentos de terra, quedas de barreiras, erosões, assim como causar feridos, mortes, dentre outros, sendo a precipitação o fenômeno atmosférico que mais contribui para esses danos.

Segundo Marcelino (2003), essas ocorrências de tempestades intensas podem desencadear diferentes tipos de fenômenos atmosféricos extremos com grande potencial de danos, no qual as condições atmosféricas, em escala sinótica, são um dos principais agentes para a sua formação.

Entende-se como escala sinótica a dos sistemas meteorológicos com períodos de tempo e espaço correspondentes às depressões das latitudes médias, e, portanto às escalas espaciais de várias centenas de quilômetros e temporais de vários dias. É a escala dos sistemas migratórios de Altas e Baixas pressões da baixa troposfera. Os principais sistemas da escala sinótica são: massas de ar, frentes, ciclones e os anticiclones.

Uma vez que as ocorrências dos desastres permeiam o cotidiano das cidades e seus habitantes, principalmente na época das estações chuvosas, deixando a população vulnerável aos danos, o estudo dessas ocorrências causadas por tempo severo ganha cada vez mais importância, pois tais eventos geram inúmeros impactos socioeconômicos e/ou ambientais, como perdas materiais e de vidas humanas.

Para que as ferramentas de suporte às tomadas de decisão possam ser elaboradas e aplicadas com eficácia, todos os aspectos que cooperam para esses desastres naturais devem ser levados em conta, como, por exemplo, a quantificação e localização dessas ocorrências, a ocupação humana, a degradação ambiental, as condições meteorológicas, a geologia, a geomorfologia e a hidrologia; entre outros fatores.

Nesse sentido, é fundamental a espacialização das áreas atingidas por episódios severos e seus impactos, ao longo de um determinado período, contribuindo para o

reconhecimento de possíveis áreas de risco e servir de suporte logístico para os órgãos que trabalham com a assistência aos vitimados, além de contribuir com a previsão meteorológica nos sistemas de alerta.

Também é importante ressaltar que a forma como os fenômenos espaciais são cartograficamente representados pode levar a diferentes aplicações, dependendo da técnica empregada (GERARDI E SILVA, 1981). Como exemplo pode ser citado André *et al* (2009), em que a espacialização de danos provocados por eventos severos e os tipos de impactos ao longo de um determinado período, contribui para a identificação de áreas de risco.

A presente pesquisa dá sequência a um trabalho iniciado em 2006 de compilação de informações sobre ocorrências da Defesa Civil do estado de São Paulo que resultou na construção de um banco de dados sobre áreas afetadas por eventos severos e suas reincidências. Esse banco de dados é aqui utilizado como uma importante ferramenta para a identificação de áreas de risco.

A metodologia e a revisão bibliográfica que tornaram possível a elaboração dessa pesquisa estão apresentadas nos Capítulos 3 e 4.

A elaboração do banco de dados é explicada no Capítulo 5.

No Capítulo 6 é apresentada a espacialização de danos de importância geotécnica, sendo eles: escorregamento de encostas, deslizamento de terra, quedas de barreiras e erosão. Na análise dessas espacializações foram utilizados mapas de ocupação do território paulista, geológico, aspecto geral do relevo, malha rodoviária e chuva média anual. Esses dados também foram confrontados com histogramas de ocorrências mensais.

As catástrofes ocorridas no verão 2009/2010, principalmente no Vale do Paraíba do estado de São Paulo, ocorridas por eventos extremos de chuva, foram analisadas separadamente no Capítulo 7 e propiciaram um estudo detalhado daquela região, que gerou um mapa de risco apresentado no Capítulo 8.

As considerações finais estão apresentadas no Capítulo 9.

## 2 OBJETIVOS

Essa pesquisa propõe um procedimento metodológico para o estudo de problemas geoambientais, baseado em um banco de dados de eventos severos no estado de São Paulo.

Para tanto, os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- mostrar possíveis áreas de risco, utilizando-se de análise de ocorrências de escorregamentos de encostas, erosões, quedas de barreiras por intermédio da espacialização dos danos, associados aos mapas geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, ocupação antrópica e precipitação média anual;
- obter índices de risco, perigo e vulnerabilidade, utilizando a metodologia proposta por Marcelino *et al* (2006) somada aos dados fornecidos pelo banco de dados, análises dos sistemas meteorológicos que atuaram no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010, em quinze municípios do estado de São Paulo, juntamente com a caracterização geotécnica e física do local.

### 3 METODOLOGIA

O princípio desse trabalho ocorreu em 2006, quando foram coletadas as informações de ocorrências da Defesa Civil do estado de São Paulo desde 1995. Os dados foram compilados e armazenados em planilhas *Excel*.

É importante ressaltar que a Defesa Civil do estado de São Paulo considera danos quando as ocorrências afetam diretamente a população e os municípios, e o órgão é notificado. Quando os danos não afetam a população, o órgão não é notificado e dessa forma, o dado não é incluído no sistema.

No levantamento dos danos, foram estabelecidos critérios de codificação para o conteúdo das informações (data, horário, localização, tipo de evento, duração do evento e danos), assim como as fontes.

A partir de 2009, iniciou-se uma metodologia para a implantação do banco de dados e suas aplicações em problemas de geotecnia ambiental.

Com o intuito de proporcionar um embasamento teórico necessário à pesquisa, foi elaborado um levantamento bibliográfico (Capítulo 4) de trabalhos relacionados a:

- a) riscos ambientais, definição de perigo e risco, relação de risco e vulnerabilidade;
- b) desastres naturais no Brasil e no mundo, tipos de desastres como inundações, enchentes, deslizamentos e erosão;
- c) processos de escorregamentos, seus tipos, causas e condicionantes;
- d) banco de dados;
- e) Sistema de Informações Geográficas (SIG) e suas aplicações;
- f) mapeamento de áreas de risco;
- g) sistemas meteorológicos que atuam no Brasil, sobretudo aqueles associados à alta pluviosidade, que pudessem deflagrar os escorregamentos;
- h) relação entre aspectos meteorológicos e os processos de escorregamentos, com aplicação em sistemas de monitoramento de risco.

A etapa seguinte (Capítulo 5) concentrou-se na apresentação da metodologia para compilação de informações de danos causados por eventos meteorológicos severos, visto a necessidade de um banco de dados que pudesse auxiliar num levantamento histórico de danos para estudos de áreas de risco e desastres naturais.

Cabe aqui destacar a importância dessa etapa, uma vez que a forma de compilação das ocorrências e como essas devem aparecer nas janelas do banco de dados devem ser precisas e de fácil compreensão por parte do usuário, visto que o sistema é abastecido continuamente.

A pesquisa foi iniciada por busca de informações de eventos severos, identificados pelos danos ocorridos à população e ao meio ambiente, caracterizando o fenômeno de episódio extremo. Essas informações auxiliam na identificação dos eventos estudados pelo Instituto de Pesquisas Meteorológicas – IPMet. Entende-se por eventos extremos, os termos meteorológicos ou climatológicos com grandes desvios de um estado climático moderado, e ocorrem em escalas que podem variar desde dias até milênios (MARENGO, 2007).

Os dados das ocorrências foram encontrados na página eletrônica da Defesa Civil do estado de São Paulo, onde estão disponibilizadas informações desde 1995, atualizadas diariamente. Constam nessas ocorrências fatos imprescindíveis, como data, horário, tipo de evento meteorológico, tempo de duração do evento e os danos causados por ele.

Paralelamente a essa pesquisa, outros dados foram coletados através de jornais locais e edições *on-line*.

Todas as ocorrências foram impressas e separadas por ano e posteriormente por mês e referenciadas numa planilha *Excel*. Para facilitar a digitação dos dados, foi criado um código numérico para cada evento meteorológico e outros para os danos ocorridos.

Verificando cada ocorrência e a necessidade de coletar essas informações, o conteúdo foi codificado de acordo com os tipos de fenômenos atmosféricos. Eles foram catalogados em oito tipos: granizo, ventos fortes/vendaval, chuvas fortes, raio, tornado, ciclone, frente fria/chuvas contínuas e chuvas moderadas. Normalmente, são esses fenômenos meteorológicos os deflagradores dessas ocorrências.

Os danos e ocorrências foram codificados em 38 tipos diferentes:

- Desabrigados;
- Desalojados;
- Feridos;
- Vítimas fatais;
- Queda de barreira;
- Queda de árvores;
- Transbordamento de rios e córregos;
- Danos em pontes;

- Inundação em via pública;
- Enchentes;
- Alagamentos;
- Deslizamento de terra;
- Queda de muro;
- Desabamentos/Rachaduras/Danos em imóveis;
- Congestionamento/Interdição de via pública;
- Danos em veículos;
- Destelhamentos;
- Corte no fornecimento de energia e água;
- Destruição de plantação e estrada rural;
- Erosão/Buraco;
- Queda de poste;
- Desbarrancamento da margem do rio;
- Inundações litorâneas;
- Animais mortos por raio;
- Acidente com aeronave/aeroporto fechado;
- Escorregamento de encostas;
- Acidente com carro;
- Pessoa arrastada pela enxurrada;
- Danificação em pavimentação;
- Rompimento de barragem;
- Rompimento da rede de água e esgoto;
- Acidente com trem;
- Afogamento dentro da residência;
- Danos causados por raio;
- Quedas de torres;
- Quedas de *outdoor*;
- Inundações litorâneas;
- Animais mortos por raio.

Contudo, de acordo com a Teoria de Classificações, os dados devem ser sistematizados de forma a elaborar classes hierarquicamente organizadas de acordo com os atributos escolhidos e, por isso, foi decidido pela adoção da ocorrência de danos (materiais e/ou humanos) na ordenação das informações. Assim, para a demonstração do



procedimento metodológico, essas informações foram digitadas em uma planilha do *Microsoft-Excel* e informatizadas e disponibilizadas num período de 1995 até março de 2010 para todos os municípios paulistas afetados pelos fenômenos meteorológicos.

Por meio da passagem dos dados para a planilha eletrônica, pode-se traçar os requisitos para a construção do sistema no qual estes dados ficariam guardados e disponíveis.

Inicialmente, foi realizado um estudo para a utilização do banco de dados em sistemas de informações georeferenciais (SIG). O *ArcGis* foi o sistema escolhido, onde foram elaboradas as tabelas de atributos e critérios para registro das informações contidas no banco. O *software* oferece um conjunto abrangente de ferramentas para criar, editar e assegurar a qualidade dos dados dentro de um ambiente de edição por múltiplos usuários, adicionando ferramentas de análise espacial avançada, manipulação extensiva de dados e cartografia sofisticada, permitindo criar, editar e analisar seus dados a fim de otimizar as tomadas de decisão. Ele tem uma parcela dominante no mercado, com uma linguagem de programação disponível para personalizar ou estender o *software* para as necessidades do usuário, desenvolvida usando a base do *Windows* e desenhados para armazenar dados no formato *geodatabase*.

Para a proposta da espacialização do banco de dados foi adotada a base espacial de informações municipais do estado de São Paulo (Figura 1), no formato *shapefile* do Sistema de Informações Georreferenciadas *EstatCart*, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004), utilizada como plano de informação espacial.

Os mapas temáticos envolvendo movimentos de massa (Capítulo 6) foram elaborados a partir de buscas realizadas no banco de dados de eventos atmosféricos severos exportados manualmente para a base espacial de modo a facilitar as análises e estabelecer as áreas de risco, de acordo com as reincidências, geologia, geomorfologia, hidrologia local e uso e ocupação do solo.

## Mapa dos Municípios do Estado de São Paulo



Figura 1 - Base de dados municipais do estado de São Paulo (Fonte: IBGE-2004).

O Sig *ArcView* possui um formato de armazenamento de dados vetoriais baseados em arquivos, isto é, os atributos dos elementos geográficos são armazenados em um banco de dados denominado de tabela de atributos. Cada linha desta tabela contém as informações descritivas de uma única feição e as colunas ou campos definidos na tabela são as mesmas para cada linha (CÂMARA e MONTEIRO, 2004).

Nesta fase da pesquisa, a tabela de atributos foi alimentada com os dados, e o resultado final deste procedimento foi a elaboração de mapas temáticos. Esses mapas contêm a localização dos municípios que apresentaram ocorrências registradas na Defesa Civil, decorrentes dos fenômenos atmosféricos, no estado de São Paulo durante o período de 2000 a 2008.

Os resultados dessas espacializações estão aqui apresentados destacados os danos referentes a movimento de massa: erosão, escorregamentos de encosta, deslizamentos e quedas de barreiras.

Os dados foram obtidos através da Defesa Civil no período de 01/01/2000 à 31/12/2008. Cabe ressaltar novamente que esse órgão considera esses danos como ocorrências quando afetam diretamente o município; caso afetem áreas distantes e longe de moradias, as ocorrências não são notificadas, e assim não são incluídas no sistema.

Para análise e identificação das áreas de risco, foram gerados mapas relacionados aos movimentos de massa.

Utilizando as informações do banco de dados associado ao SIG, *ArcView*, é possível permitir uma associação entre o mapa e o banco de dados diretamente na tela do computador.

A seleção foi feita por período, tipo de ocorrência para todo o estado de São Paulo.

Os dados foram inseridos no *ArcView* como uma tabela de atributos, com cada linha desta tabela contendo as informações descritivas de uma única feição. Foi utilizado o geocódigo, com a localização geográfica de cada município do estado de São Paulo. Nas colunas constam informações como data e hora, tipo e duração do fenômeno e as ocorrências do evento.

A ligação entre as feições geográficas e a tabela de atributos é garantida pelo modelo geo-relacional, isto é, um identificador único efetua a ligação entre ambos, mantendo correspondência entre o registro espacial e o registro de atributos. Segundo Câmara e Monteiro (2004), estabelecida esta conexão, informações podem ser armazenadas ou apresentadas sobre o mapa.

Foram criados os seguintes mapas de ocorrência da Defesa Civil: erosão, escorregamento de encostas, quedas de barreiras e deslizamentos de terra. As ocorrências foram quantificadas por município (Figuras 29 a 32).

Para o estudo de movimento de massa, foram obtidos na literatura, mapas relacionados com o uso e ocupação do solo (Figura 22); a geologia (Figuras 23 e 24); a geomorfologia (Figura 25) e a seção geológica do estado de São Paulo, na direção oeste-noroeste (Figura 26) nas áreas atingidas relacionadas no banco de dados.

No Capítulo 7, foi confeccionado um mapeamento dos movimentos de massa e analisados os sistemas meteorológicos e seu comportamento temporal e espacial das propriedades da atmosfera em escala regional e global, como por exemplo, as passagens de frentes frias, linhas de instabilidades, Zona de Convergência Intertropical, Zona de Convergência do Atlântico Sul e influência do El Niño. Todos esses sistemas estiveram associados à precipitação, relacionados aos escorregamentos no período que compreende os meses de setembro de 2009 a fevereiro de 2010.

As fontes de informações meteorológicas necessárias para a análise foram listadas e organizadas, com ênfase nos dados de precipitação adquiridas nos sites do CPTEC/INPE (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A disponibilidade da informação varia para cada município estudado e pode ser acessada gratuitamente via Internet ([www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br) e [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)).

As análises foram realizadas por sínteses sinóticas e relatórios do Infoclima, disponibilizados pelo CPTEC, ambos mensalmente. Essas análises mostram o acompanhamento dos principais sistemas meteorológicos que atuaram sobre a América do Sul, ao norte do paralelo 40°S.

Para associar os casos de escorregamentos aos diferentes eventos meteorológicos, foi realizado um levantamento de registros dos ciclones extratropicais, análises das anomalias de precipitação, temperaturas e sistemas meteorológicos como sistemas frontais, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), para o período acima referido.

A ZCAS é uma região com uma extensa faixa e bandas de nuvens formadas desde a Amazônia, o centro do Brasil e Sudeste até o Oceano Atlântico. Essas nuvens estão associadas com chuvas ora fortes, ora moderadas, ora intermitentes, que persistem por no mínimo quatro dias e podem causar grandes transtornos como alagamentos, inundações, escorregamentos e transbordamentos. É responsável pela grande quantidade de chuva no verão entre as regiões Centro-Oeste, Sudeste, partes do Norte e Nordeste.

Os VCAN são sistemas que se desenvolvem no Sul e Sudeste do Brasil associados a padrões em altos níveis que chegam pela costa oeste da América do Sul vindos do Pacífico. Seriam originados a partir de um sistema frontal fortemente amplificado associado a um cavado bastante intenso situado à jusante. Podem ter um tempo de atividade curto ou persistirem por vários dias consecutivos, ou mesmo semanas. O sistema nebuloso é intenso, revelando forte convecção adiante da direção do movimento do vórtice podendo provocar chuvas e ventos fortes. Os mês de janeiro é o de maior frequência, mas também podem se originar nos meses de primavera, verão e outono.

Todas as análises de escorregamentos de encostas, deslizamentos de terra, quedas de barreira e erosão foram confrontadas com os mapas: aspecto geral da ocupação do território paulista, geológico do estado de São Paulo, aspecto geral do relevo paulista, chuva média anual, mapa rodoviário. As ocorrências desses quatro desastres geotécnicos foram analisados tanto em função da distribuição espacial, como mensal.

O estudo da influência dos padrões distintos de relevo, hidrografia, vegetação e ocupação do solo e também da geologia nos sistemas meteorológicos foi estudado com maior detalhe em 15 municípios do estado de São Paulo utilizando dados de ocorrências catastróficas do verão 2009/2010, principalmente no Vale do Paraíba. As análises de risco, perigo e vulnerabilidade foram elaboradas a partir da metodologia proposta por Marcelino *et al* (2006), detalhadas no Capítulo 7 em que são discutidos os condicionantes

atmosféricos associados a tais eventos e as características geotécnicas dos locais envolvidos.

Finalmente, um mapa de risco envolvendo os 15 municípios foi elaborado (Capítulo 8) em que os índices obtidos através da metodologia de Marcelino et al (2006) foram escalonados de 1 a 4, gerando classes de risco e vulnerabilidade, que foram espacializados em dois mapas, respectivamente.

Para a geração do mapa de risco, foi utilizado o programa de computador *ArcGis*. Para cada um dos parâmetros calculados, retratou uma situação particular de cada município. O mapa de risco foi classificado em 4 classes: Baixo, Médio, Alto e Muito Alto risco, definidos a partir da técnica de Desvio Quartílico. Segundo Ramos e Sanchez (Marcelino *et al*, 2006), a série de dados é dividida em quatro grupos com igual número de ocorrências, cada parte compreendendo 25% do total dos valores. Desta forma, a divisão é definida quantitativamente, excluindo a subjetividade no processo de definição do limiar de corte.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 INTRODUÇÃO

Segundo recente relatório divulgado pelo Fórum Humanitário Global (2009), 315.000 pessoas morrem por ano em decorrência dos desastres naturais, sendo que 99% ocorrem em países em desenvolvimento.

O Brasil tem sido muito atingido, resultando em grandes prejuízos socioeconômicos, assim como um elevado número de vítimas fatais. Em 2008 a região sul do Brasil foi a mais afetada, com muitas ocorrências no estado de Santa Catarina. Em 2009 os desastres atingiram mais fortemente o norte e nordeste do país, e o estado de São Paulo. Em 2010, as regiões mais afetadas foram o sudeste (São Paulo e Rio de Janeiro), além das enchentes em Alagoas e Pernambuco. A maioria das catástrofes está associada às condições de tempo severo que causam inundações, escorregamentos, vendavais, erosão, alagamentos, tornados e às condições climáticas anômalas que provocam por exemplo, as estiagens prolongadas.

Recentemente, o alto volume pluviométrico e a distribuição irregular das chuvas, causaram calamidades no estado de São Paulo, principalmente escorregamentos de encostas. Destaca-se a ocorrência de aproximadamente 55 vítimas fatais, somente nos meses que compreende de setembro de 2009 a fevereiro de 2010, além de outros prejuízos como desabrigados, estradas interditadas, desmoronamento de casas, e outros, agravando os prejuízos socioeconômicos, de acordo com as informações da Defesa Civil.

Dessa maneira, os eventos extremos ganham importância, uma vez que causam inúmeros desastres naturais, acidentes tecnológicos e, principalmente, perdas de vidas. Essas catástrofes estão chamando a atenção pela severidade dos consequentes danos. Assim, torna-se importante a identificação e análise dos eventos extremos, que podem ser caracterizados tanto pela intensidade de manifestação de um parâmetro meteorológico como chuvas e ventos intensos, quanto pela duração prolongada de um dado fenômeno, já que uma chuva leve e constante pode levar a sérios deslizamentos.

Dentre os episódios atmosféricos severos, as tempestades merecem destaque. A ocorrência de tempestades e o efeito combinado da presença de sistemas sinóticos com as

circulações locais dos ventos, com persistência de situações de chuvas intensas, podem desencadear diferentes tipos de desastres ambientais extremos e potencialmente danosos.

Consideram-se como sistemas sinóticos, aqueles que compõem os seguintes grupos e subgrupos: sistemas frontais - subdivididos em frente fria, frente quente e frente oclusa; áreas de instabilidades - que podem ser continental (quando associadas a frentes no sul do Paraná ao norte do Rio de Janeiro) ou associada à frente (com características tropicais e associadas a frentes entre o litoral do Paraná e litoral do Rio de Janeiro); linhas de instabilidade - que podem ser pré-frontal ou pós-frontal; advecção marítima e formação local, como mostra Varejão-Silva (2000).

Esses fenômenos e seus impactos refletem a interação Homem-Natureza, presente em toda a evolução, pode-se dizer que tanto o homem age sobre a natureza, modificando o meio em que vive (seja extraindo o que for necessário para sua sobrevivência, como construindo edificações para sua segurança), quanto a natureza age sobre o homem, fazendo com que esse passe por adaptações ou até mesmo sofra com alguns de seus eventos naturais como tempestades, terremotos, erupções vulcânicas entre tantos outros eventos naturais que podem aqui, ser classificados como riscos ambientais naturais.

## **4.2 RISCO AMBIENTAL**

Na natureza ocorrem diversos tipos de fenômenos que fazem parte da própria dinâmica natural da Terra. Mas, se ocorrerem ou se deslocarem sobre um sistema social, tem-se uma situação potencial de danos a pessoas e bens (perigo). Caso o impacto produza danos e prejuízos extensivos e/ou de difícil superação pelas comunidades afetadas será então considerado como um desastre. Se as consequências forem mínimas ou nulas será considerado somente como um evento natural (MARCELINO, 2008).

Para exemplificar, uma tempestade severa (evento natural) produz fortes chuvas e ventos. Quando se desloca em direção a uma área urbana, densamente ocupada, torna-se um perigo, principalmente para as áreas consideradas de alto risco. Atingindo estas áreas, casas são alagadas e destruídas, pessoas morrem e outras tantas são obrigadas a procurar locais seguros, como os abrigos temporários e dependendo da magnitude das consequências, torna-se um desastre natural.

Dependendo da magnitude ou intensidade, os danos podem acarretar um desequilíbrio dos serviços essenciais vinculados ao fornecimento de água, luz, comunicação e transporte, caracterizando num cenário típico de desastre. Entretanto, na continuação da trajetória, quando atinge áreas não-ocupadas (campos e matas), a tempestade volta a ser considerada como um evento natural.

A questão do risco ambiental, envolve tanto aspectos físicos como sociais. Em termos de condicionantes físicos, a ocorrência de qualquer evento meteorológico, como um tornado em áreas desabitadas, é considerada apenas evento natural; entretanto, quando este fenômeno ocorrer em áreas ocupadas pelos seres humanos, é considerado um risco ambiental (AUGUSTO *et al.*, 1990).

Diversos autores fazem suas definições sobre o termo risco e perigo, como Augusto Filho (2001), Cerri e Amaral (1998), Zuquete (1993), Ogura (1995), Cutter (2001), Mileti (1999), Kovach (1995), entre outros. Algumas definições relacionam os termos entre si, confundindo riscos com vulnerabilidade, suscetibilidade, desastres e perigo.

A definição de risco ambiental inclui também os processos induzidos pela ação antrópica em sua caracterização. Sendo assim, Cerri e Amaral (1998) apresentam uma classificação para esse termo, como mostra a Figura 2.

Risco ambiental também pode ser definido, segundo Bryant (1991), como uma situação de perigo, perda ou dano aos seres humanos e a suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência dos acidentes ambientais.

Tendo em vista que risco, perigo e desastres têm uma componente social, os aglomerados humanos têm grande importância nesse tipo de estudo. A população urbana no Brasil cresceu significativamente no século XX, conforme fica evidenciado na Figura 3. O processo acelerado de urbanização ocorreu depois dos anos 1960; no entanto, a urbanização estabelecida nos anos 1950 tem sido o elemento desencadeador dos problemas enfrentados hoje. (MAIA, 2007).

O ritmo da implementação dos aparelhos urbanos, vitais para a melhoria da qualidade de vida da população, não acompanhou o crescimento rápido das cidades brasileiras. Entre os problemas podem-se citar a deficiência na distribuição de água tratada, estações de tratamento de esgoto, pavimentação de ruas, galerias pluviais, áreas de lazer, postos médicos e escolas.



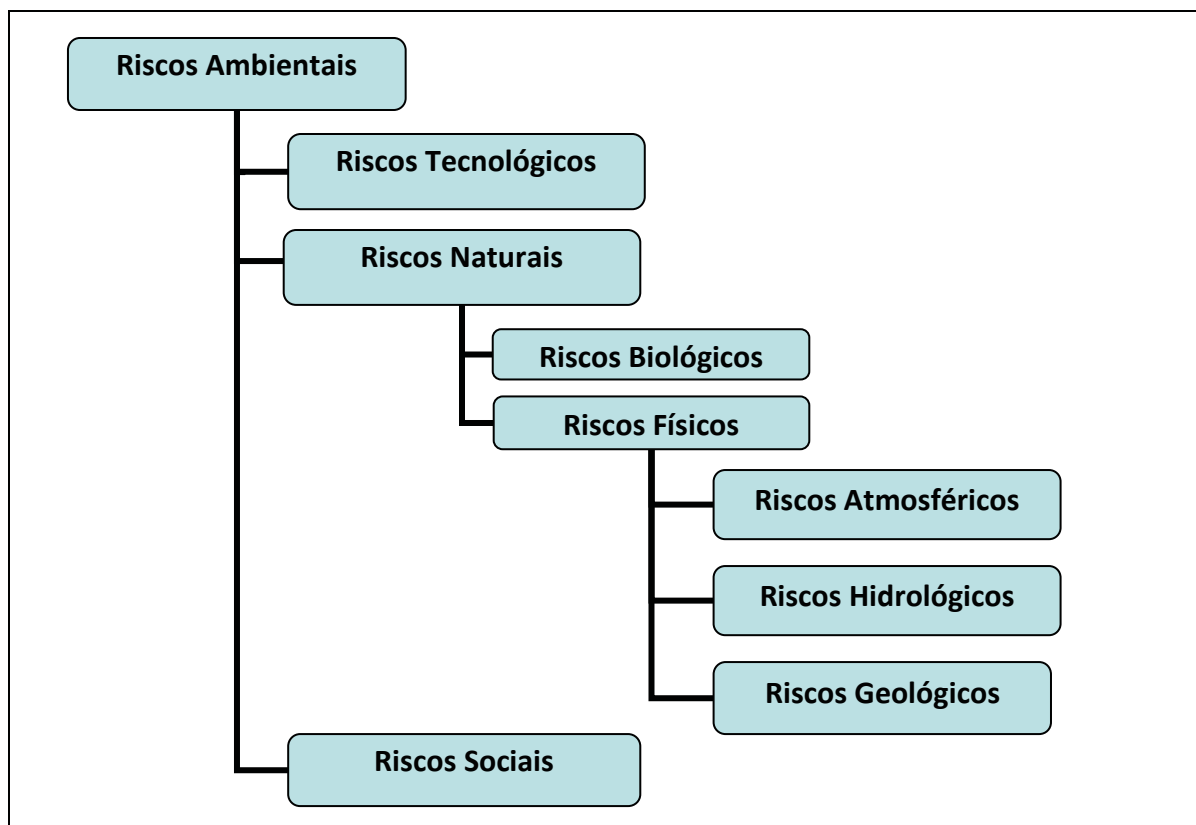


Figura 2 - Classificação de riscos ambientais, adaptado de Cerri e Amaral (1998).

Nas grandes cidades dos países subdesenvolvidos, de acordo com Ross (2005), os problemas ambientais urbanos são intensificados pelos condicionantes sociais, conforme evidenciado pelo autor, uma vez que a população que reside nas cidades passou de 45% em 1960, para 75% em 1990, chegando a mais de 80% em 2000 e a 84% em 2010.

Neste contexto, verifica-se que os espaços urbanos concentram os maiores problemas ambientais, tais como: poluição do ar, sonora e hídrica; destruição dos recursos naturais; chuvas ácidas; alterações da temperatura e aumento dos volumes pluviométricos. Em suma, o crescimento caótico das áreas urbanizadas vem alterando significativamente o equilíbrio natural entre os elementos atmosféricos e a superfície terrestre, contribuindo para criação do clima urbano.

Dessa maneira, a ocupação urbana desordenada, o crescimento industrial, bem como a expansão das malhas ferroviárias, rodoviárias e pelas instalações portuárias levaram a um processo de degradação ambiental acelerado pelas condições meteorológicas e topográficas inadequadas à dispersão de poluentes. O resultado disso são regiões propensas aos riscos ambientais.

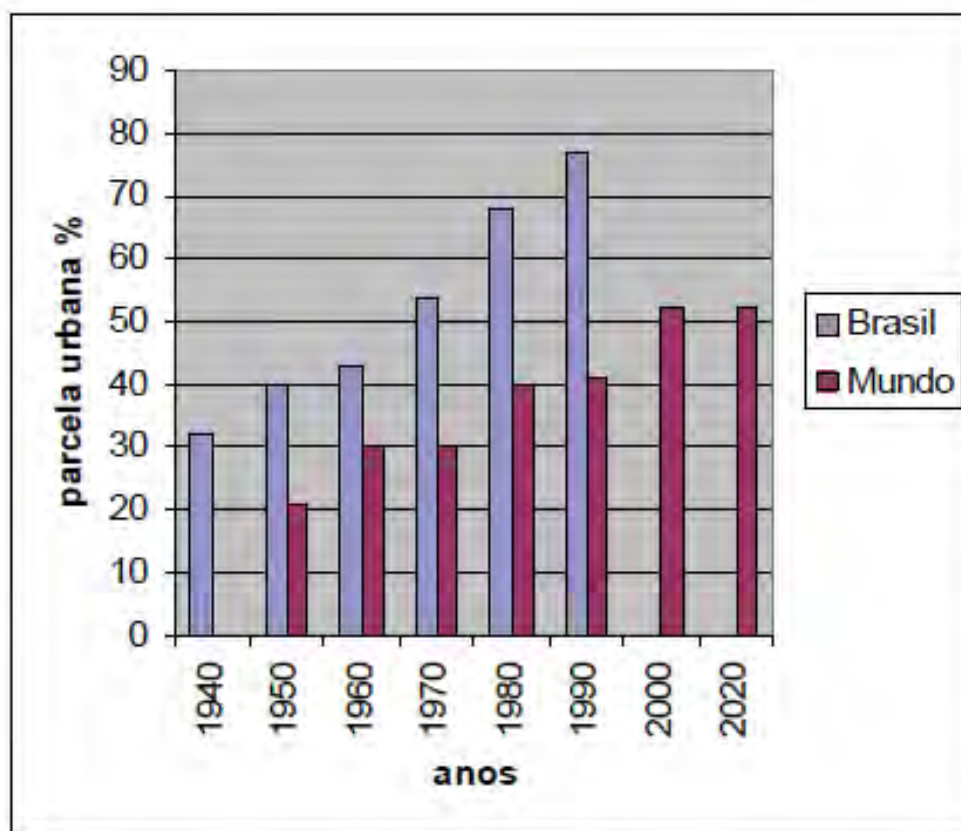


Figura 3 - Evolução da urbanização do Brasil e no mundo. Fonte: Mega-cities *apud* Folha de São Paulo 04/02/1996.

Além disso, as cidades “ribeirinhas” (cidade margeada por um rio) padecem dos problemas resultantes da urbanização empreendida no passado, como se pode constatar pelas inundações nas áreas urbanas durante a estação chuvosa. A cidade ribeirinha tem seus traçados de ruas ligados ao rio, pois vão de encontro ou terminam nele, assim como toda a dinâmica da cidade está ligada ao movimento das marés, ao tempo da natureza. Não é necessária uma chuva de grande monta para que os cursos d’água provoquem a derrubada de pontes, inundem casas e vias de circulação (MONTÓIA, 2010).

Os riscos ambientais representam uma situação de perigo, perda, dano e prejuízo socioeconômico aos seres humanos (CERRI *et al*, 2005). Seus processos geradores e a caracterização da dinâmica espaço-temporal, devem ser devidamente avaliados e corretamente dimensionados. Nesse sentido, é importante destacar que a utilização do banco de dados, não deve ser analisado isoladamente, mas acompanhada de estudos levando em consideração os aspectos referente à geologia, hidrologia, geomorfologia e uso e ocupação do solo.

Com respeito às relações existentes entre perigo e desastre, Tobin e Montz (1997) definem perigo como uma situação potencialmente prejudicial, enquanto que desastre é a materialização do perigo.

Segundo o Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas – UNDP, risco é a probabilidade de ocorrerem danos ou perdas (mortos, feridos, edificações destruídas e danificadas, etc.), como resultado de interações entre um perigo natural e as condições de vulnerabilidade local. De forma simplificada, risco é a probabilidade (mensurável) de um perigo transformar-se num desastre.

Porém, não existe um consenso quanto ao entendimento de desastres naturais, e considerando que as análises empreendidas tiveram por base as informações da Defesa Civil, para um melhor entendimento, é necessário esclarecer algumas definições sobre desastre, perigo, risco, vulnerabilidade e suscetibilidade, citadas no Glossário da Defesa Civil:

- a) **Desastre:** Resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. Os desastres são quantificados, em função dos danos e prejuízos, em termos de intensidade, enquanto que os eventos adversos são quantificados em termos de magnitude. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado. Normalmente o fator preponderante para a intensificação de um desastre é o grau de vulnerabilidade do sistema receptor. Os desastres classificam-se quanto à Intensidade, Evolução e Origem.
- b) **Perigo:** Qualquer condição potencial ou real que pode vir a causar morte, ferimento ou dano à propriedade. A tendência moderna é substituir o termo por ameaça.
- c) **Risco:**
  1. Medida de dano potencial ou prejuízo econômico expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis;
  2. Probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento adverso, relacionado com a intensidade dos danos ou perdas, resultantes dos mesmos;
  3. Probabilidade de danos potenciais dentro de um período especificado de tempo e/ou de ciclos operacionais;

4. Fatores estabelecidos, mediante estudos sistematizados, que envolvem uma probabilidade significativa de ocorrência de um acidente ou desastre;

5. Relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos.

d) **Risco Ambiental:** Possibilidade de dano, enfermidade ou morte resultante da exposição de seres humanos, animais ou vegetais a agentes ou condições ambientais potencialmente perigosas.

e) **Vulnerabilidade:** 1. Condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis;

2. Relação existente entre a magnitude da ameaça, caso ela se concretize, e a intensidade do dano consequente;

3. Probabilidade de uma determinada comunidade ou área geográfica ser afetada por uma ameaça ou risco potencial de desastre, estabelecida a partir de estudos técnicos;

4. Corresponde ao nível de insegurança intrínseca de um cenário de desastre a um evento adverso determinado. Vulnerabilidade é o inverso da segurança.

f) **Suscetibilidade:** Tendência maior ou menor de determinado solo para sofrer erosão ou escorregamentos. Depende da declividade e das características do perfil do terreno, da constituição e granulometria do solo e de fatores antrópicos relacionados com: a remoção da vegetação; concentração de águas pluviais; exposição de terrenos suscetíveis; execução inadequada de cortes e de aterros.

No entanto, a gravidade dos desastres está vinculada aos elementos sociais expostos, ou seja, a fragilidade do ambiente socialmente construído (vulnerabilidade). Marcelino (2008) observa que, aumentando o perigo e a intensidade da vulnerabilidade, aumentará, conseqüentemente, o risco de um perigo transformar-se em um desastre.

Sendo assim, as mudanças ambientais tem gerado grandes e visíveis transtornos para a vida de milhões de pessoas, onde quer que os eventos venham ocorrer, gerando impactos ambientais que abrangem os níveis físicos, biológicos e antrópico.

O entendimento de impacto ambiental igualmente não é único: para o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) ele é “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, etc”.

Pela definição da Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP, 1987), impacto ambiental é “toda a ação, atividade natural ou antrópica, que produz alterações bruscas em todo meio ambiente ou apenas em alguns de seus componentes, ele pode ser ecológico, social ou econômico, dependendo do tipo de alteração induzida”.

Observa-se que no segundo caso a definição abrange tanto atividade natural quanto antrópica, seja qual for a definição, o ambiente modificado torna a população vulnerável. E, embora difícil, é importante a mensuração do “risco”.

O Programa Estrutural em Áreas de Risco (PEAR), possui como premissa básica a convivência com o geológico, ou seja, uma tolerância com um determinado nível de risco para o qual ainda é possível monitorar o processo geodinâmico. Ele possui como meta a prevenção através do diagnóstico, controle e eliminação de situações de risco de deslizamento de encostas e de inundações em locais formados por vilas, favelas e conjuntos habitacionais populares com infraestrutura precária. Esse programa é coordenado pela URBEL (Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte) e leva em consideração a eq. (1) de definição de risco, utilizada por diversos autores:

$$R = P \times D \quad (01)$$

em que, R = Risco, uma correlação entre Probabilidade (P) e ocorrência de eventos que possam trazer Danos (D) às famílias expostas.

Apesar do programa fazer referência mais clara às classes sociais de baixa renda, os recentes acontecimentos em Angra dos Reis (2010) e região serrana fluminense (2011) não isenta a população de alta renda de ser afetada.

Outro índice de risco é proposto por Marcelino *et al* (2006), em que a análise leva em consideração a habilidade de uma dada população em resistir e recuperar-se de um perigo natural, denominada como resposta ou resiliência. Assim, quanto maior for a capacidade de resposta de um sistema social, menores serão os danos e prejuízos, o que diminuiria o risco. Desta forma, a análise de risco tem como base a eq. (2) proposta por ISDR (International Strategy for Disaster Reduction, 2002):

$$R = (P_e \times V)/Re \quad (02)$$

em que: R é o Risco; P<sub>e</sub> é o perigo; V é a Vulnerabilidade; e Re é a Resposta.

O Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNDP, 2004) propôs um indicador de risco que utiliza uma série de variáveis ambientais e socioeconômicas como indicadores de vulnerabilidade, divididos em tipos de perigos e categorias de vulnerabilidade. No entanto, a proposta de Marcelino *et al* (2006) referiu-se, exclusivamente, à perda de vidas em função da vulnerabilidade e da exposição física, sendo obtida pelo produto entre a população total e a frequência de perigos de uma determinada área.

No Brasil, a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) define pessoas afetadas como o número de pessoas vitimadas de alguma forma, como: desalojados (pessoa que foi obrigada a abandonar temporária ou definitivamente sua habitação em função de evacuações preventivas, destruição grave e que, não necessariamente carece de abrigo provido pelo Governo), desabrigados (pessoa cuja habitação foi afetada por dano ou ameaça de dano e que necessita de abrigo provido pelo Governo), mortos, feridos, etc, em consequência de um desastre (MIN, 1999). Assim, visando fornecer um indicativo dos municípios com grau de risco de pessoas afetadas, Marcelino *et al* (2005) propôs uma adaptação da eq. (1), apresentada na eq. (3):

$$R = \frac{P_e * (DD + IP + PI)}{IDHM} \quad (03)$$

Em que:

R = risco;

P<sub>e</sub> = perigo, expresso pelo número de eventos ocorridos por ano;

DD = densidade demográfica, razão entre a população residente total e a área do município (hab/km<sup>2</sup>);

IP = intensidade da pobreza, fornece o desvio entre a renda per capita média dos pobres (R\$ 75,50) em relação ao valor da linha de pobreza;

PI = população idosa, número de pessoas com 65 anos ou mais;

IDHM = índice de desenvolvimento humano municipal, obtido pela média aritmética de três sub-índices, IDH-Longevidade, IDH-Educação e IDH-Renda.

Assim, comparando as equações (2) e (3), tem-se a eq. (4) e a eq. (5):

$$V = DD + IP + PI \quad (04)$$

$$R_e = IDHM \quad (05)$$

Ressalta-se que todas as variáveis e parâmetros foram escalonados entre 0 e 1, no qual o valor mínimo é representado pelo 0 e o valor máximo pelo 1. Esse escalonamento foi realizado através da eq. (6):

$$\text{Índice} = \frac{(V_{\text{observado}} - V_{\text{mínimo}})}{(V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}})} \quad (06)$$

Marcelino *et al* (2006) adotaram a seguinte metodologia para a obtenção dos índices de perigo, vulnerabilidade e resposta:

- Perigo ( $P_e$ ):

Para calcular o  $P_e$  foram utilizados dados de desastres naturais ocorridos nos municípios catarinenses, salientando que esses eventos são somente os casos que ocasionaram danos significativos, gerando uma situação de emergência (SE) ou estado de calamidade pública (ECP) nos municípios afetados. A SE é uma situação anormal provocada por desastre, dando origem a prejuízos vultosos e causando danos suportáveis (ou superáveis) pela comunidade afetada. Já a ECP é uma situação anormal provocada por desastre, gerando prejuízos vultosos e causando danos dificilmente suportáveis (ou superáveis) pela comunidade afetada, sem ajuda externa (CASTRO, 2003).

- Vulnerabilidade (V) e Resposta (R):

As variáveis DD, IP, PI e IDHM utilizadas para o cálculo da vulnerabilidade e da resposta, foram obtidas através do software Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB) disponibilizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em seu site na Internet (<http://pndu.org.br/atlas/>). Este Atlas utiliza dados dos censos de 1991 e 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Uma outra visão é apresentada por Heidrich (2007), em que o risco é função da presença da ameaça, combinada à vulnerabilidade oferecida pela população, e será inversamente proporcional à capacidade da resposta. Dessa maneira, quanto maior a capacidade de resposta, assistencial ou da prevenção em saúde pública, menor o risco.

Outra abordagem a ser considerada é a do Programa de Atendimento Emergencial de Belo Horizonte (URBEL, 1995), que classificou os níveis de risco, considerando o monitoramento de um processo geodinâmico, conforme estabelecido a seguir:

- Risco Muito Alto – processo com indícios claros de adiantado estágio evolutivo, com possibilidade de destruição imediata de moradias, não sendo necessária a ocorrência de chuvas intensas ou de longa duração.
- Risco Alto – processo destrutivo instalado, com indícios de seu desenvolvimento e possibilidade de destruição de moradias em curto espaço de tempo. É possível o acompanhamento evolutivo do processo, podendo ocorrer evolução rápida com chuva mais intensa e/ou de longa duração.
- Risco Médio – processos destrutivos encontram condições potenciais de desenvolvimento, constatando-se condicionantes físicos predispostos ao risco e/ou indícios iniciais do desenvolvimento do processo.
- Risco Baixo – Sem indícios de instabilização aparentes, sendo consideradas áreas com baixa predisposição ao risco.
- Áreas sem Risco Geológico – Áreas estáveis no momento da análise, não apresentando qualquer indício ou possibilidade de desenvolvimento de processos destrutivos, mantidas as condições até o momento da análise, ou seja, não havendo nenhuma alteração antrópica significativa.
- Áreas com predisposição ao risco – são áreas sem ocupação, mas que possuem alta predisposição à ocorrência de algum tipo de evento geodinâmico.

De acordo com essas conceituações, pode-se estabelecer uma melhor compreensão sobre os níveis de risco e avaliar os desastres naturais.

No Brasil, a relação entre o avanço da degradação ambiental, a intensidade do impacto dos desastres e o aumento da vulnerabilidade humana é especialmente estreita. A degradação aumenta a possibilidade de ocorrência de perigos naturais e, frequentemente, ocorre a possibilidade do perigo se transformar em uma situação previsível, geradora de desastres, causando danos às pessoas.



Para garantir a função ambiental e evitar que áreas potenciais se transformem em áreas de risco, a legislação ambiental prevê a existência de áreas de preservação permanente ao longo de rios, lagos, lagoas, encostas e topos de morro. Essas áreas são suscetíveis a processos como inundações, escorregamentos, deslizamentos e outras ocorrências.

O problema enfrentado atualmente é a população invadindo essas áreas de preservação. A dificuldade do acesso à moradia, o crescimento desordenado, o uso inadequado do solo, o desmatamento entre outros, desencadeiam ocupações irregulares de várias áreas, resultando nesse processo crescente de áreas de riscos e vitimados.

Observa-se, então, que essas irregularidades colocam em risco o local de preservação e a vida das pessoas.

### **4.3 DESASTRES NATURAIS**

A UNISDR (United Nations-International Strategy for Disaster Reduction, 2009) considera desastre como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos.

O banco de dados Emergency Disasters Database (EM-DAT), é uma compilação de dados e informações sobre a ocorrência de desastres obtidos de diversas fontes, como as agências das Nações Unidas, as organizações não governamentais, as companhias de seguros, os institutos de pesquisa e as agências de notícias.

Os critérios objetivos adotados no Relatório Estatístico Anual do EM-DAT sobre desastres consideram a ocorrência de pelo menos um dos seguintes critérios: 10 ou mais mortes; 100 ou mais pessoas afetadas; declaração de estado de emergência ou pedido de auxílio internacional.

Já no glossário da Defesa Civil Nacional, desastre é denominado como sendo o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. Para Castro (1998), a intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado.

O aumento das ocorrências de desastres naturais de natureza atmosférica podem ter sido decorrentes devido às mudanças ambientais globais. No relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007), os estudos têm mostrado que eventos extremos de precipitação estão aumentando.

Os desastres naturais de diferentes naturezas (hidrometeorológicos e geofísicos), têm afetado um grande número de pessoas conforme mostra a Figura 4. O Brasil se destaca, o que comprova a importância de estudo dentro dessa temática em nosso país.

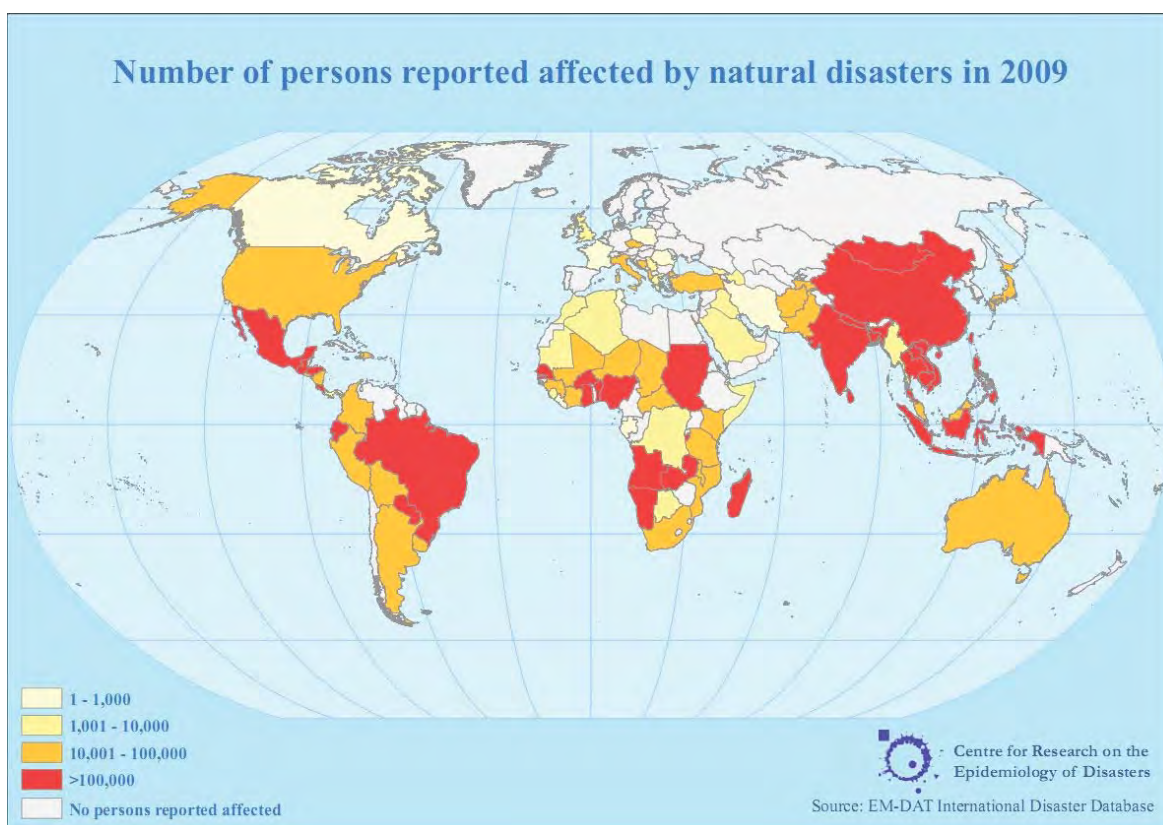


Figura 4 – Número de pessoas afetadas por Desastres Naturais em 2009 em todo o mundo.  
Fonte: EM-DAT (2009).

Segundo Alcântara-Ayala (2002), a ocorrência dos desastres naturais está ligada não somente à suscetibilidade física, devido às características geoambientais, mas também à vulnerabilidade do sistema social sob impacto, isto é, o sistema econômico-social-político-cultural. É possível verificar, na Figura 5, a relação entre o número de desastres e os prejuízos financeiros ocorridos no mundo. Os eventos mais significativos foram o terremoto em Kobe em janeiro de 1995, que ocasionou a destruição de muitas ruas, casas e edifícios, deixando um grande saldo de destruição, o furacão Katrina em agosto de 2005,

causando grandes estragos e o maior valor em danos e o terremoto Wenchuan em 2008, ocorrido na Província de Sinchuan, que foi o mais forte e violento sismo da China. Estes eventos tiveram valores acima de 150 bilhões de dólares em danos estimados. Os locais afetados pelos desastres naturais elevam os prejuízos no PIB (Produto Interno Bruto), que representa a soma de todos os bens e serviços produzidos no país; portanto a diminuição dele indica um decréscimo na maioria dos mercados, afetando a economia do país.

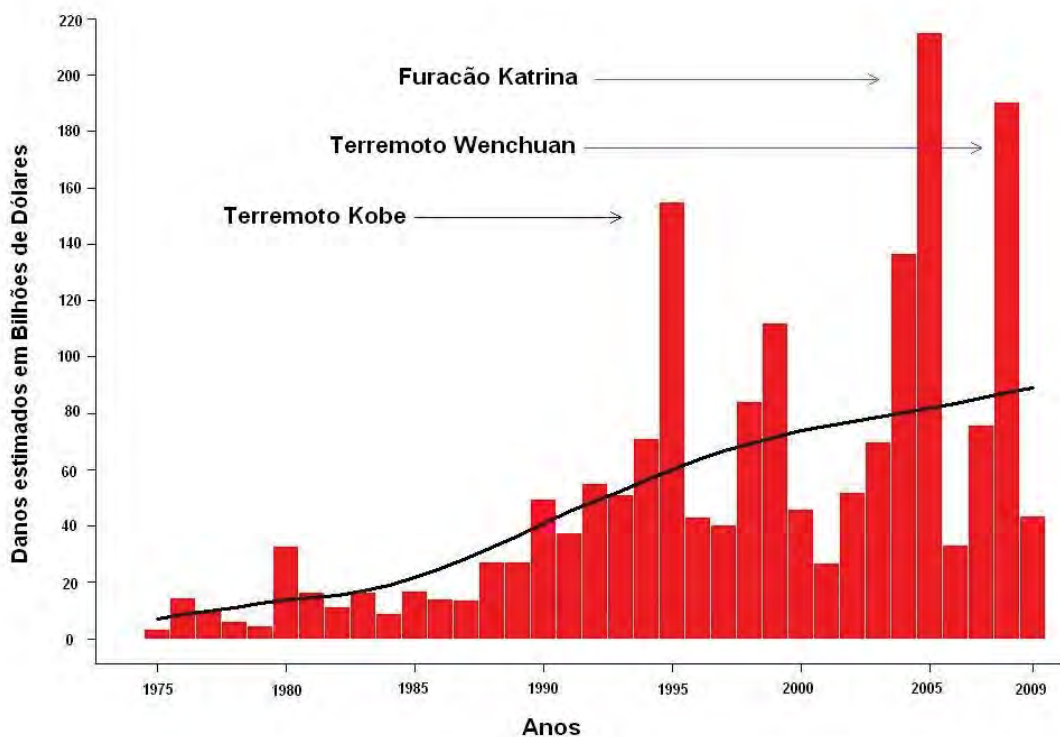


Figura 5 – Danos estimados (bilhões de dólares) causados por desastres naturais ocorridos no mundo, no período de 1975 a 2009. Fonte: EM-DAT (2009).

Os dados obtidos por Kobiyama *et al* (2004) mencionam que mortes ocasionadas por desastres naturais vêm sendo reduzidas no país, apesar do aumento da população, fato que se deve às ações de prevenção, principalmente associadas à Defesa Civil (Figura 6).

A prevenção é o conjunto de ações destinadas a reduzir a ocorrência e a intensidade de desastres naturais ou humanos, através da avaliação e redução das ameaças e ou vulnerabilidades, minimizando os prejuízos socioeconômicos e os danos humanos, materiais e ambientais. Implicam na formulação e na implantação de políticas e de programas, com a finalidade de prevenir ou minimizar os efeitos de desastres. Compreende a avaliação e a redução de desastres, baseando-se em análises de riscos e de

vulnerabilidades, incluindo também a legislação e a regulamentação, zoneamento urbano, código de obras, obras públicas e planos diretores municipais.

Não há como evitar que os eventos severos ocorram, mas é através da prevenção que é possível desenvolver medidas que minimizem os impactos causados pelos mesmos.

Atualmente na escala mundial, cada real investido em prevenção equivale, em média, entre vinte e cinco a trinta reais de obras, gastos em reconstrução pós-evento. Os desastres têm magnitudes amplas e variadas, fundamentalmente pela falta de alocação de recursos e pela escassez de textos que orientem para a fase de prevenção. Isso é um fato que preocupa órgãos nacionais e internacionais e que visa a formação, treinamento e preparação pré-evento (KOBİYAMA *et al*, 2006).

Dentre os principais fatores que contribuem para desencadear essas calamidades nas áreas urbanas destacam-se o aumento desordenado das construções, que contribui para o aumento da impermeabilização do solo, a formação das ilhas de calor e a poluição do ar. Referindo-se às áreas rurais, destacam-se a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos e as queimadas.

Na Figura 5 é apresentada uma série temporal entre população e número de mortes devido a desastres naturais no Brasil.

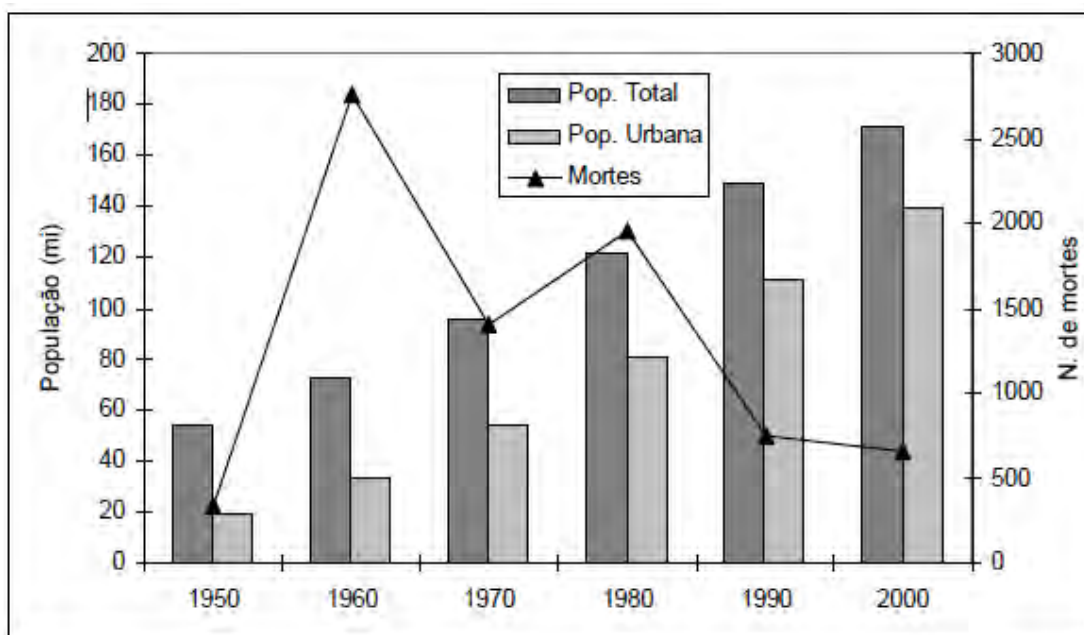


Figura 6 - Série temporal entre população e número de mortes devido a desastres naturais no Brasil (1950-2005), *apud* Kobiyama *et al* (2004).

Na Figura 6 está demonstrado que, nos últimos anos, as mortes decorrentes de desastres naturais têm diminuído, apesar do aumento da população. As ações integradas entre os órgãos da Defesa Civil e as comunidades, antes, durante e depois do evento, minimizam os efeitos e as fatalidades nas ocorrências. A divulgação das informações tem sido o melhor caminho. Atualmente, existem projetos cujo objetivo é o desenvolvimento de planos de prevenção e controle de desastres naturais nos municípios mais afetados pelas adversidades climáticas no estado, mitigando, ou seja, reduzindo o máximo possível os danos e prejuízos.

Encontram-se na literatura vários termos relacionados a desastres naturais. Assim, estão apresentadas na Tabela 1, algumas definições nas quais Lourenço (2004) hierarquiza em função da intensidade do evento, princípios subjacentes à teoria do risco com critérios de operacionalidade das forças de proteção e socorro.

Tabela 1 - Hierarquização em função da intensidade.

<i>Stricto sensu</i>	<b>Definição</b>
<b>Desastre</b>	Acontecimento súbito, inesperado ou extraordinário, concentrado no tempo e no espaço, que provoca prejuízos severos na vida dos indivíduos, afetando as principais funções da sociedade em determinada área e que deve obrigar a repensar tudo, em função da gravidade, desde as finalidades (acidente grave), às regras (catástrofes) e até aos sistemas de valores (calamidades).
<b>Acidente</b>	Acontecimento repentino e imprevisto, provocado pela ação do homem ou da natureza, com danos significativos e efeitos muito limitados no tempo e no espaço, suscetíveis de atingirem as pessoas, os bens ou o ambiente, implicando a revisão dos modelos.
<b>Incidente</b>	Episódio repentino que reduz significativamente as margens de segurança sem, contudo, as anular, apresentando por isso apenas potenciais consequências para a segurança, levando a uma atualização das bases de dados, mas sem acarretar uma revisão dos modelos das finalidades, das regras e dos valores.
<b>Ocorrência</b>	Acontecimento, fato sucedido, eventualidade, circunstância, coincidência, falso alarme, que origina a mobilização dos meios de bombeiros.

Fonte: Lourenço (2004), adaptada pela autora.

### 4.3.1 Classificação dos desastres

Com relação à classificação, os desastres podem ser diferenciados entre si quanto à origem e à intensidade.

Quanto à origem, os desastres podem ser naturais ou humanos.

Os desastres naturais são originados pela dinâmica interna (terremotos, maremotos, vulcanismo e tsunamis) e externa (tempestades, tornados, inundações, escorregamentos, entre outros) da Terra. Resultam de ações ou omissões humanas e estão relacionados com as atividades do homem, como agente ou autor. Como exemplo, os acidentes de trânsito, incêndios urbanos, contaminação de rios, rompimento de barragens. (Alcântara-Ayala, 2002; Castro, 1998; Marcelino, 2008).

Os principais agravantes antrópicos relacionados com os desastres, embora existam outros que contribuam, estão apresentados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Principais agravantes antrópicos relacionados com os desastres.

<b>Agravantes humanos</b>	<b>Desastres consequentes</b>
Emissão de gases nocivos	Chuvas Ácidas
Retirada de mata ciliar, assoreamento dos rios, depósitos irregulares de lixos	Inundações e Alagamentos
Impermeabilização do solo (concreto, asfalto, etc)	Inundações bruscas
Ocupação desordenada de encostas íngrimes	Escorregamentos

Fonte: Modificado de Kobiyama et al (2004).

Quanto à intensidade, os desastres podem ser classificados conforme mostra a Tabela 3.

Quando há danos por eventos severos causando prejuízos ao município ou aos moradores, existe a necessidade de apoio do governo estadual. O município conta com a ação da Defesa Civil do seu município, que descrevem a ocorrência num formulário AVADAN (Avaliação de Danos) e o envia com os demais documentos à Defesa Civil Estadual, que mantém todas as ocorrências disponibilizadas na rede. O preenchimento desse formulário AVADAN é o registro oficial de desastres no Brasil.

Foi através desses formulários, contendo as informações das ocorrências de danos, que o banco de dados foi elaborado, por isso a importância das definições e classificações feitas pela Defesa Civil.

De acordo com Takahashi (1975), *apud* Kobiyama *et al* (2006), um levantamento de dados em relação a desastres naturais associados à chuva e ventos fortes no Japão, mostrou, quanto maior a área de impacto, maior é a quantidade dos prejuízos. Essas ocorrências podem ser repetitivas, ou seja, ocorrem diversas vezes em um mesmo lugar, pois se não houver alteração na condição climática e na geomorfologia, a inundação e o escorregamento podem ocorrer várias vezes no mesmo local.

Tabela 3 – Classificação dos desastres em relação à intensidade.

<b>Nível</b>	<b>Intensidade</b>	<b>Situação</b>
<b>I</b>	Desastre de pequeno porte, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. <b>(Prejuízo &lt; 5% PIB municipal)</b>	Facilmente superável com os recursos do município.
<b>II</b>	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. <b>(5% &lt; Prejuízo &lt; 10% PIB)</b>	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
<b>III</b>	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. <b>(10% &lt; Prejuízo &lt; 30% PIB)</b>	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. <b>(Situação de Emergência – SE)</b>
<b>IV</b>	Com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. <b>(Prejuízo &gt; 30% PIB)</b>	Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. <b>(Estado de Calamidade Pública – ECP)</b>

Fonte: Kobiyama *et al* (2006).

É pertinente destacar que, todavia, a severidade do desastre natural deve ser muito mais atinente aos aspectos sociais do que econômicos.

As condições climáticas têm sido alvo de estudos e discussões com a importância de prever o aumento significativo das chuvas. Vários modelos de previsão climática apontam para um aumento de ocorrência de tempestades severas para as regiões Sul e Sudeste do Brasil (SINCLAIR E WATTERSON, 1999, MET OFFICE, 2004). Vicente (2005) observou aumento de eventos extremos diários de chuva (acima de 50mm/dia) para a Região Metropolitana de Campinas.

Em consequência dessa maior incidência de ocorrências, verificou-se a necessidade de analisar e quantificar as áreas atingidas.

Efetuar o mapeamento das áreas de risco pode ser um instrumento eficiente, uma vez que torna possível a elaboração e a visualização de medidas preventivas de situações de emergência e ações junto aos órgãos que trabalham com assistência às vítimas, para promover as medidas corretivas e mitigadoras contra os desastres naturais.

Para entender os eventos severos é fundamental compreender cada ocorrência e seus danos.

O banco de dados desenvolvido nessa pesquisa, considera os seguintes danos computados pela Defesa Civil do estado de São Paulo: desabrigados, desalojados, feridos, vítimas fatais, queda de barreira, queda de árvores, transbordamento de rios, danos em pontes, inundação em via pública, enchentes, alagamentos, deslizamento de terra, queda de muro, desabamento de imóveis, congestionamentos, danos em veículos, destelhamentos, corte no fornecimento de energia e água, destruição de plantação e estradas rurais, erosão, queda de poste, desbarrancamento da margem do rio, aeroporto fechado, escorregamento de encosta, acidente com veículo, pessoa arrastada pela enxurrada, danificação em pavimentação, rompimento de barragem, rompimento da rede de água e de esgoto, acidente com trem, afogamento dentro da residência, danos causados por raio, queda de torre, queda de outdoor, animais mortos por raio e inundações litorâneas.

A seguir são apresentados aqueles danos que envolvem aspectos como hidrologia, geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo.

#### **4.3.2 Inundação**

Inundação pode ser entendida, como aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre áreas próximas a ele, que são chamadas de planícies de inundação. Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio



ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação. Por isso, os termos “inundação” e “enchente”, devem ser utilizados com diferenciação.

Segundo UNISDR (2002), as inundações e enchentes são problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico, ou seja, de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica. As inundações estão relacionadas com a quantidade e intensidade da precipitação atmosférica. A magnitude e das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem (SOUZA, 1998).

Na Figura 7 está ilustrada a diferença entre uma situação normal do volume de água num canal de um curso d'água e nos eventos de enchente e inundação.



Figura 7 – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação. Fonte: Min. Cidades/IPT (2007).

Segundo Camapum de Carvalho e Lelis (2010), o ciclo hidrológico é a circulação contínua da água na atmosfera, nos estados: sólido, líquido e gasoso. Esse movimento é mantido pela gravidade, que faz com que a água condensada caia (precipitação), e que uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltrem nos solos e rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo); pelo sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação); pelo efeito do vento e pelo próprio potencial de retenção de água no solo, que está sujeita a evaporação direta para a atmosfera e é absorvida pela vegetação, que através da vegetação, a devolve à atmosfera

(evapotranspiração), como mostra a Figura 8. Esse processo ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água.

A água que continua a se infiltrar e atinge a zona saturada, entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (recarga dos aquíferos). Na Figura 9, observa-se que na zona saturada (aquífero), os poros ou fraturas das formações rochosas estão completamente preenchidos por água (saturados). O topo da zona saturada corresponde ao nível freático. No entanto, a água subterrânea pode ressurgir à superfície e alimentar as linhas de água ou ser descarregada diretamente no oceano.

A quantidade de água e a velocidade com que ela circula nas diferentes fases do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos fatores como a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia.



Figura 8 – Ciclo hidrológico. Fonte: wikipedia.org

O entendimento do ciclo hidrológico, assim como alguns conceitos de precipitação, infiltração, escoamento, evaporação, transpiração e condensação, são importantes para os estudos das ocorrências de inundações, como é visto na Tabela 4.

A água precipitada tem dois caminhos simultâneos a seguir, escoar pela superfície dos terrenos, formando as enxurradas, e se infiltrar no solo. Há diversos fatores que influenciarão nesse caminho, como as condições geológicas do terreno, porosidade do solo,

a intensidade e a duração da chuva. Numa situação de chuva intensa sobre um solo bastante impermeável (solo argiloso), o escoamento superficial é predominante, uma vez que a infiltração é mínima, ocasionando as enchentes em córregos, ribeirões e rios e por sua vez as inundações.

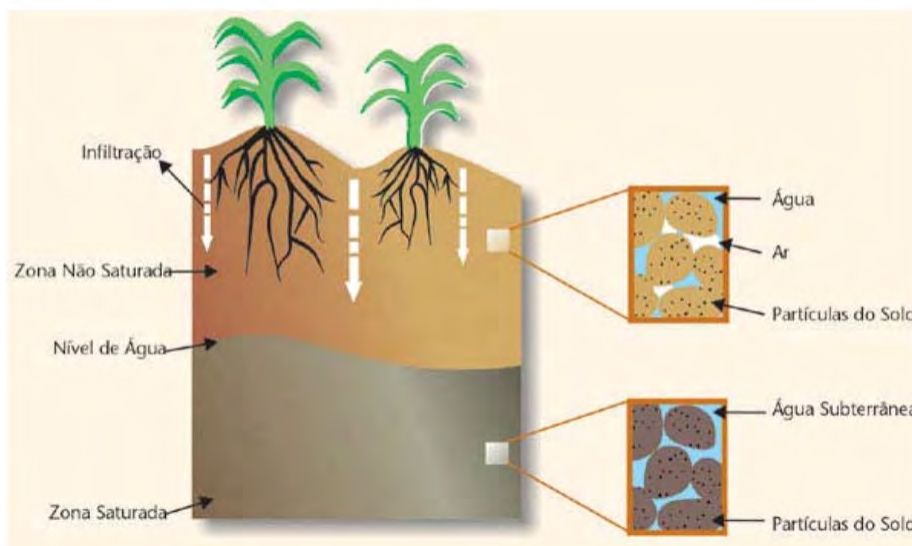


Figura 9 – Movimentação de água no perfil do solo. Fonte: *apud* Carvalho e Silva (2006).

As inundações são responsáveis, todos os anos, por cerca de 20.000 mortes, além de afetarem pelo menos 20 milhões de pessoas em todo o mundo (SMITH, 2004). Em 2008, o Brasil foi apontado em décimo lugar entre os países com maior número de vítimas relacionadas aos desastres naturais, com 1,8 milhões de pessoas afetadas por desastres hidrológicos, como inundações, enchentes e movimento de massa, segundo EM-DAT.

No intervalo de 2000 a 2008, de acordo com Tominaga *et al* (2009), foram registrados pela Defesa Civil do estado de São Paulo, 1.861 danos, sendo que 50% dos casos (944) foram causados por inundações (incluindo enchentes e alagamentos).

A Defesa Civil do estado de São Paulo classifica as inundações em função da magnitude (excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude) e do padrão evolutivo (inundações graduais, inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas).

Tabela 4 – Componentes do ciclo hidrológico.

<b>Componentes do Ciclo Hidrológico</b>	<b>Definições</b>
<b>Precipitação</b>	É parte fundamental do ciclo hidrológico, responsável por retornar a maior parte da água doce ao planeta. Quando a nuvem fica carregada de pequenas gotas, estas se reúnem formando gotas maiores que se tornam pesadas e caem sobre a superfície terrestre. Dependendo das condições do clima, a água pode chegar ao solo em forma de chuva, granizo ou neve.
<b>Infiltração</b>	É um fenômeno que envolve a penetração de água no sentido vertical descendente, e determina o volume de água que penetra no solo nas unidades de área e tempo.
<b>Escoamento</b>	A água que precipita sobre o planeta tem diferentes destinos, uma parte cai diretamente nos reservatórios de água como rios, lagos e oceanos. Outra parte cai no solo, e segue dois percursos diferentes: - Superficial: Uma quantidade escoar sobre a superfície, alimentando lagos, rios e riachos, que por sua vez deságuam no mar; - Subterrâneo: Outra parte infiltra-se no solo e nas rochas, através de seus poros e fissuras, alimentando as reservas subterrâneas de água, chamadas de lençóis freáticos.
<b>Evaporação</b>	É o termo usado para designar a transferência de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, decorrente, tanto da evaporação que se verifica no solo úmido sem vegetação, nos oceanos, lagos, rios, e em outras superfícies hídricas naturais, como da sublimação que se processa nas superfícies de gelo.
<b>Transpiração</b>	É a transferência da água da superfície terrestre para a atmosfera, em forma de vapor d'água, ocorre por meio da transpiração das plantas (fotossíntese) e animais.
<b>Evapotranspiração</b>	O termo é empregado para exprimir a transferência de vapor d'água para a atmosfera, proveniente de superfícies vegetadas. Engloba duas contribuições: a evaporação da umidade existente no substrato (solo ou água) e a transpiração resultante da atividade biológica dos seres vivos que o habitam.
<b>Condensação</b>	Depois que evapora, a água, em forma de vapor, é transportada pelas massas de ar para regiões mais altas da atmosfera. Ao ser submetido a baixas temperaturas, o vapor se condensa e se liquefaz.

Fonte: Elaborado pela autora, conceitos extraídos de Klar (1984) e Varejão-Silva (2000).

É possível verificarmos, na Figura 10, a diferença entre inundação brusca e gradual. A relação da intensidade (volume) e duração da chuva (tempo) está diretamente ligada ao tipo de inundação. As chuvas mais intensas, com grandes volumes pluviométricos em curto tempo de duração, causam as inundações bruscas, enquanto que as chuvas mais contínuas causam as inundações graduais. Mas essa distinção não é tão fácil de notar em campo, podendo alguns eventos de inundações graduais serem registrados como inundações bruscas e vice-versa, devido à dificuldade de identificação do fenômeno e à ambiguidade das definições existentes.

Outros fatores que influenciam as inundações, é a capacidade de drenagem da bacia hidrográfica, a cobertura vegetal e o uso e ocupação do solo no local.

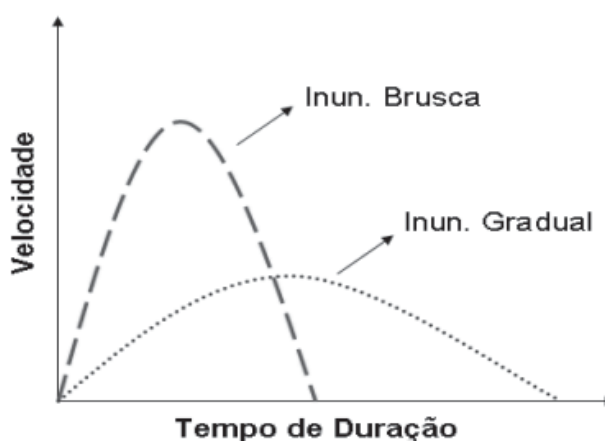


Figura 10 – Diferenças entre inundação gradual e brusca. Fonte: Kobayama *et al* (2006).

Apesar dessa diferenciação, a maior parte das situações de emergência ou estado de calamidade pública são causadas pelas inundações graduais ou bruscas, cujas definições estão nas Tabelas 5 e 6.

Para Castro (2003), as inundações graduais ocorrem quando a água se eleva de forma lenta e previsível, mantêm-se em situação de cheia durante algum tempo, e a seguir escoam-se gradualmente.

A avaliação da gravidade depende de estudos que revelam a distância do padrão de normalidade para os episódios que deflagram esse tipo de transtorno à cidade. Essas ocorrências são o resultado da relação homem x meio ambiente, sociedades ricas e pobres, e a necessidade de um plano diretor bem fundamentado no município, com investimento na

qualidade da infraestrutura, voltada para o enfrentamento de situações de risco como as inundações.

O aumento considerável dessas inundações ameaça o desenvolvimento em todos os grupos sociais, devido a grandes prejuízos materiais, disseminação de doenças e perdas de vidas humanas. Os impactos à saúde incluem as doenças relacionadas à água contaminada (hepatite A, diarreia e leptospirose) e afogamentos, bem como seqüelas psicológicas. Além da inundação, a chuva excessiva contamina reservatórios de água potável. Enxurradas podem tirar roedores de seus abrigos, contribuir para criadouros de mosquitos e aumentar o crescimento de fungos nas casas. Esse quadro passa a ser ainda mais dramático, quando antes da recuperação desses danos, há uma reincidência dos sistemas severos meteorológicos, causando novas catástrofes.

Tabela 5 - Diversas definições de inundação gradual.

<b>Termo</b>	<b>Autor</b>	<b>Definição</b>
<b>Inundações Graduais ou Enchentes</b>	CASTRO (1999)	As águas elevam-se de forma paulatina e previsível, mantém em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente. Normalmente, as inundações graduais são cíclicas e nitidamente sazonais
<b>Inundações Ribeirinhas</b>	TUCCI E BERTONI (2003)	Quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoam para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso de volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia áreas próximas aos rios.
<b><i>Flood</i> (inundação)</b>	NFIP (2005)	Uma condição geral ou temporária, de parcial ou completa inundação, de dois ou mais acres de uma terra normalmente seca, ou duas ou mais propriedades, proveniente da inundação de águas continentais ou oceânicas.
<b><i>Flood</i></b>	NWS/NOAA (2005)	A inundação de uma área normalmente seca causado pelo aumento do nível das águas em um curso d'água estabelecido, como um rio, um córrego, ou um canal de drenagem ou um dique, perto ou no local onde as chuvas precipitaram.
<b><i>River Flood</i> (inundação do rio)</b>	MEDIONDO (2005)	O transbordamento do curso do rio é normalmente o resultado de prolongada e copiosa precipitação sobre uma grande área. Inundações de rio acontecem associadas a sistemas de grandes rios em trópicos úmidos.

Fonte: Adaptado de Goerl e Kobiyama (2005).

Tabela 6 – Algumas definições de inundação brusca.

<b>Termo</b>	<b>Autor</b>	<b>Definição</b>
<i>Flash flood</i> (cheia instantânea)	WMO (1994)	Em bacias pequenas, de rápida resposta, com as de tempo de concentração menor de seis horas, intensa precipitação pode criar uma inundação brusca.
<b>Inundação Brusca ou Enxurrada</b>	CASTRO (1999)	São provocadas por chuvas intensas e concentradas em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais escoam-se de forma rápida e intensa.
<i>Flash flood</i>	KÖMÜŞÇÜ <i>et al</i> (1998)	Inundações bruscas são normalmente produzidas por intensas tempestades convectivas, a qual causa rápido escoamento, e o dano da inundação geralmente ocorre dentro de horas da chuva que a causa e afeta uma área muito limitada.
<i>Flash flood</i>	CHOUDHURY <i>et al</i> (2004)	Inundações bruscas são inundações de curta vida e que duram de algumas horas a poucos dias e originam-se de pesadas chuvas.
<i>Flash flood</i>	NWS/NOAA (2005)	Uma inundação causada pela pesada ou excessiva chuva em um curto período de tempo, geralmente menos de 6 horas. Também, as vezes uma quebra de barragem pode causar inundação brusca, dependendo do tipo de barragem e o período de tempo que ocorre a quebra.
<i>Flash flood</i>	MEDIONDO (2005)	É um evento de inundação de curta duração com uma rápida elevação da onda de inundação e rápida elevação do nível das águas. São causadas por pesadas, geralmente curtas precipitações, como uma chuva torrencial, em uma área que frequentemente é pequena.

Fonte: Adaptado de Goerl e Kobiyama (2005).

Pesquisando o regime de chuvas, detectou-se que elas estão mais intensas e frequentes nas grandes cidades, decorrentes da formação das ilhas de calor. Este aumento da intensidade das chuvas está relacionado ao aumento local das temperaturas, causados pelas superfícies quase inteiramente impermeabilizadas e uma grande concentração de edifícios no centro das cidades, com pouca área verde, o que favorece os grandes temporais (GOMES e ESCOBEDO, 2010 e KLEBER *et al*, 2003)

“A diferença entre a dinâmica dos processos de mobilidade da população no espaço, sobretudo em áreas de risco, e os mecanismos físicos da atmosfera, em franca

transformação, projetam as dificuldades em se integrar elementos naturais e sociais, ambos com grandes graus de incerteza, ainda que proposições viáveis e socialmente aceitáveis dependam da consideração conjunta, articulada e imparcial desses parâmetros” (NUNES, 2005).

As chuvas que provocam as inundações são precipitações de grandes volumes de água em um curto período de tempo em uma área relativamente pequena, ou por um grande período atingindo áreas maiores. A quantidade de chuva por unidade de tempo (intensidade) e o total do tempo da chuva (duração) são importantes para determinar a intensidade da inundação.

Chuvas localizadas, assim como intensos temporais, podem criar condições de inundação em pequenas bacias de drenagem. Os volumes elevados de precipitação pluviométrica saturam o solo e a água controla o percurso d'água anormal existente (a água flui para o leito anteriormente existente, rios temporários). Os transbordamentos de rios e córregos resultam em alagamentos. A extensão dos danos da inundação depende muito da topografia da região: um local com superfície geralmente plana, pode facilmente sofrer com a inundação.

A área propensa à inundação é geralmente na proximidade de um rio, córrego, lago, baía ou mar, a qual pode ser inundada sob condição adversa. O rio é o principal cenário quando a vazão da água ultrapassa o nível normal. Os rios geralmente possuem dois leitos, o leito do rio onde a água escoar na maioria do tempo e a várzea.

Os córregos e rios que cruzam as cidades não podem ser vistos apenas como receptores de esgotos e águas servidas; eles formam o elemento principal dos sistemas de escoamento das águas pluviais. Assim, uma diminuição da seção da calha desses rios e córregos diminui a capacidade de escoamento, e aumenta a probabilidade de alagamento das zonas ribeirinhas. No caso de região urbana, podemos considerar dois fatores: a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas.

Outras consequências das fortes chuvas são as enxurradas torrenciais e os alagamentos, que devido à elevada taxa de impermeabilização do solo urbano, amplia o volume de água a ser escoado pelos sistemas de captação das cidades.



### 4.3.3 Enchente

De acordo com Castro (2003), enchente é o processo de extravasamento das águas de cursos fluviais de forma paulatina e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente. Relacionam-se muito mais com períodos demorados de chuvas contínuas do que com chuvas intensas e concentradas. São caracterizadas por sua abrangência e grande extensão, ocorrendo, principalmente em grandes bacias hidrográficas e em rios de planície.

As enchentes se diferem das inundações pelo fato do primeiro termo referir-se a uma ocorrência natural, que normalmente não afeta diretamente a população, tendo em vista o ciclo hidrológico. Já as inundações são decorrentes de modificações no uso do solo e podem provocar danos de grandes proporções.

A enchente ocorre quando o rio recebe, repentinamente, um grande volume d'água, ocasionado pelas chuvas na sua cabeceira ou na cabeceira dos seus afluentes. Enquanto a água do rio ganha velocidade, a água que vem dos afluentes vai sendo acumulada e o rio enche até transbordar. Por causa desse fenômeno hidrológico, o rio necessita de uma grande área de terra (varzeana) lateral para poder absorver essa enchente, onde deveria existir um equilíbrio.

Quando as margens ou bordas dos rios são baixas, a enchente vai passar por cima da borda do rio, isto é, vai transbordar e começar a correr pelas ruas, formando uma inundação que vai invadir as ruas, casas, lojas, fábricas, etc.

As enchentes são provocadas por chuvas intensas e concentradas, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas elevações dos caudais, que escoam de forma rápida e intensa. Muitas vezes, ocorrem associadas às áreas mais íngremes e em bacias de tamanho médio ou pequeno, sendo que a inclinação do terreno, ao favorecer o escoamento, contribui para intensificar a torrente e causar danos (CASTRO, 2003).

As enchentes em área rural causam destruição em lavouras, estradas e pontes são danificadas pela força da água. A erosão marginal é aumentada e moradias situadas nesses locais de cursos fluviais frequentemente são levadas pela água. Nas cidades ribeirinhas aos grandes rios, várias moradias são submersas e muitas pessoas ficam desabrigadas e desalojadas quando ocorrem eventos de enchente e, em alguns casos também são registradas vítimas fatais.

Os levantamentos históricos gerais desses eventos, representados pela distribuição espacial dessas ocorrências, fornecem uma base importante para estudos mais avançados, tanto para análises locais detalhadas de vulnerabilidade e de risco, como também para estudos da relação homem/meio ambiente. Além disso, fornecem subsídios para o setor administrativo do estado, principalmente à coordenadoria Estadual da Defesa Civil (RECKZIEGEL e ROBAINA, 2007).

#### **4.3.4 Escorregamento (Deslizamento de Massa)**

São movimentos coletivos de massa e/ou material sólido encosta abaixo, como solos, rochas e vegetação, sob a influência direta da gravidade (SELBY, 1993).

Dentre os processos de movimentos de massa, os mais frequentes na região sudeste do Brasil e principalmente na Serra do Mar, são os escorregamentos. O termo escorregamento tem diversos sinônimos de uso mais generalizado na linguagem popular como deslizamento, queda de barreira (refere-se aos movimentos de massa em estradas), desbarrancamento, os quais equivalem ao *landslide* na língua inglesa.

Os escorregamentos podem mobilizar solo, solo e rocha ou apenas rocha, podendo ser rotacionais, translacionais ou complexos. Dependem do tipo de material, podem ser planares ou em cunha, quando o material apresentar descontinuidades que favoreça tais processos, e circulares, quando o material for homogêneo. Podem ser também desencadeados pela deficiência da capacidade de escoamento do sistema de drenagem superficial, vazamentos nas redes de abastecimento de água e/ou esgotos, a presença de fossas, lançamentos de águas servidas nas encostas.

Massad (2010) apresenta a classificação proposta por Vargas (1977) para os escorregamentos na Serra do Mar em: *creep* ou rastejo; escorregamentos verdadeiros; deslizamentos de tálus (liquefação); deslocamentos de blocos de rocha; avalanches ou erosão violenta. Massad (2010), enfatiza que esta classificação é uma abstração da realidade. Na Tabela 7 é apresentado um resumo das definições de cada um desses movimentos de terra.

Tabela 7 – Classificação dos Escorregamentos na Serra do Mar.

<b>Classificação</b>	<b>Definição</b>
<b>Creep ou Rastejo</b>	É um movimento lento de camadas superficiais de solo, encosta abaixo, com velocidades muito pequenas, de alguns milímetros por ano, que se acelera por ocasião das chuvas e se desacelera em épocas de seca. São detectados pelas árvores inclinadas na direção do talude. Pode evoluir para um escorregamento verdadeiro.
<b>Escorregamentos verdadeiros</b>	Referem-se aos deslizamentos de volumes de solos ao longo de superfícies de ruptura bem definidas, cilíndricas ou planares. São causados por: <ul style="list-style-type: none"> <li>- alteração da geometria do talude, quer através do descalçamento do seu pé por cortes ou escavações, quer de retaludamentos, com o aumento da sua inclinação;</li> <li>- colocação de sobrecargas no topo das encostas (ex.: aterros);</li> <li>- infiltração de águas de chuvas, que podem elevar as pressões neutras (reduzindo a resistência do solo), ou provocar um “amolecimento” do solo (diminuição da coesão aparente);</li> <li>- desmatamento e poluição ambiental, que destroem a vegetação e que tem um papel importante na estabilização das encostas (absorção de parte das águas de chuva e reforço que as raízes imprimem à resistência ao cisalhamento dos solos que a suportam).</li> </ul>
<b>Deslizamentos de Tálus</b>	A massa de material (solo e blocos de rocha), em geral saturada, escoam como se fosse um fluido ou líquido viscoso, sem uma linha de ruptura bem definida.
<b>Deslocamentos de Blocos de Rochas</b>	Em algumas encostas naturais ocorrem blocos ou lascas de rocha intactos, resistentes ao intemperismo, que podem sofrer queda livre por ocasião de chuvas intensas e prolongadas, provocam erosão e solapamento do material junto às suas bases, ou pela ação do homem, ao executar cortes e escavações de forma inadequada. Ocorre em locais com escarpas rochosas, como nas cidades do Rio de Janeiro, Santos, Vitória e Salvador, por vezes com vítimas fatais.
<b>Avalanches ou Fluxo de detritos</b>	São movimentos de massa que se desenvolvem em períodos de tempo muito curtos (segundos a poucos minutos) e que tem algumas peculiaridades como velocidades elevadas; alta capacidade de erosão e destruição, em razão das grandes pressões de impacto; transporte de detritos (galhos e troncos de árvores, blocos de rochas, cascalho, areia e lama) a grandes distâncias, mesmo em baixas declividades. Ocorre após longos períodos de chuva.

Fonte: Massad (2010).

Os movimentos de massa podem ser de diversos tipos, e uma das classificações mais utilizadas se baseia no tipo de movimento e no tipo de material transportado, como apresentado na Tabela 8, por Tominaga *et al* (2009).

Tabela 8 – Principais tipos de movimentos de massa em encostas definidos pela Defesa Civil.

<b>Processos</b>	<b>Dinâmica/Geometria/Material</b>
<b>Rastejos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vários planos de deslocamento (internos)</li> <li>- velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade</li> <li>- movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</li> <li>- solo, depósitos, rochas alterada/fraturada</li> <li>- geometria indefinida</li> </ul>
<b>Escorregamentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>- velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>- pequenos a grandes volumes de material</li> <li>- geometria e materiais variáveis:</li> <li>- Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;</li> <li>- Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;</li> <li>- Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza</li> </ul>
<b>Quedas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sem planos de deslocamento</li> <li>- movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>- velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>- material rochoso</li> <li>- pequenos a médios volumes</li> <li>- geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.</li> <li>- Rolamento de matacão</li> <li>- Tombamento</li> </ul>
<b>Corridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- muitas superfícies de deslocamento</li> <li>- movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>- desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>- velocidades médias a altas</li> <li>- mobilização do solo, rocha, detritos e água</li> <li>- grandes volumes de material</li> <li>- extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

Fonte: Tominaga *et al* (2009).

Esses movimentos de massa consistem em importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, fazendo parte da evolução geomorfológica em regiões serranas. Entretanto, o crescimento da ocupação urbana indiscriminada em áreas desfavoráveis, sem

o adequado planejamento do uso do solo e sem a adoção de técnicas adequadas de estabilização, está disseminando a ocorrência de acidentes associados a estes processos, que muitas vezes atingem dimensões de desastres (TOMINAGA, 2007).

Para Fiori e Carmignani (2001), um talude se apresenta como uma massa de solo submetida a três campos de forças distintos: forças devido ao peso dos materiais, forças devido ao escoamento da água e forças devido à resistência ao cisalhamento, sendo que as duas primeiras tendem a movimentar a massa de solo encosta abaixo e a terceira, a resistir à essa movimentação.

O desequilíbrio dessas forças pode ocorrer tanto por causas externas, como internas. Consideram-se como causas externas a mudança da geometria do talude, o aumento da carga atuante, as atividades sísmicas etc. Por outro lado, causas internas são: variação do nível d'água, diminuição da resistência do solo (ou rocha) com o tempo (por lixiviação, mudanças dos minerais secundários etc).

As causas dos escorregamentos, de acordo com Guidicini e Nieble (1976) *apud* Ide (2005), estão relacionadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Agentes/Causas dos escorregamentos.

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
AGENTES	PREDISPONENTES	Complexo geológico, complexo geomorfológico, <b>complexo climático-hidrológico</b> , gravidade, calor solar, tipo de vegetação original	
	EFETIVOS	PREPARATÓRIOS	<b>Pluviosidade</b> , erosão pela água e vento, congelamento e degelo, <b>variação de temperatura</b> , dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e lençol freático, ação de animais e humana
		IMEDIATOS	<b>Chuvas intensas</b> , fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem, etc
CAUSAS	INTERNAS	Efeito de oscilação térmica, Redução 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 de água em descontinuidades, Rebaixamento rápido do lençol freático, Erosão subterrânea retrogressiva (“piping”), Diminuição do efeito de coesão aparente	

Fonte: Guidicini e Nieble (1976) *apud* IDE (2005).

Escorregamentos de aterro e lixo/entulho são casos particulares de processos, uma vez que têm relação direta com a ação de degradação do meio físico pela ocupação, definindo-se, portanto, um processo induzido que mobiliza material proveniente desta mesma ocupação.

As chuvas intensas, tanto de curta duração, quanto de longa duração (chuvas contínuas) fornecem condições propícias para a diminuição da resistência do solo, atuando como um dos principais agentes deflagradores de movimentos de encostas em ambientes tropicais úmidos (GUIDICINI e IWASA, 1976).

Outra classificação que considera a cinemática do movimento (velocidade e direção), o tipo de material (solo, rocha, detritos, etc), a geometria (tamanho e forma das massas) e o conteúdo de água, é apresentada por Carson e Kirkby (1975), conforme a Figura 11.

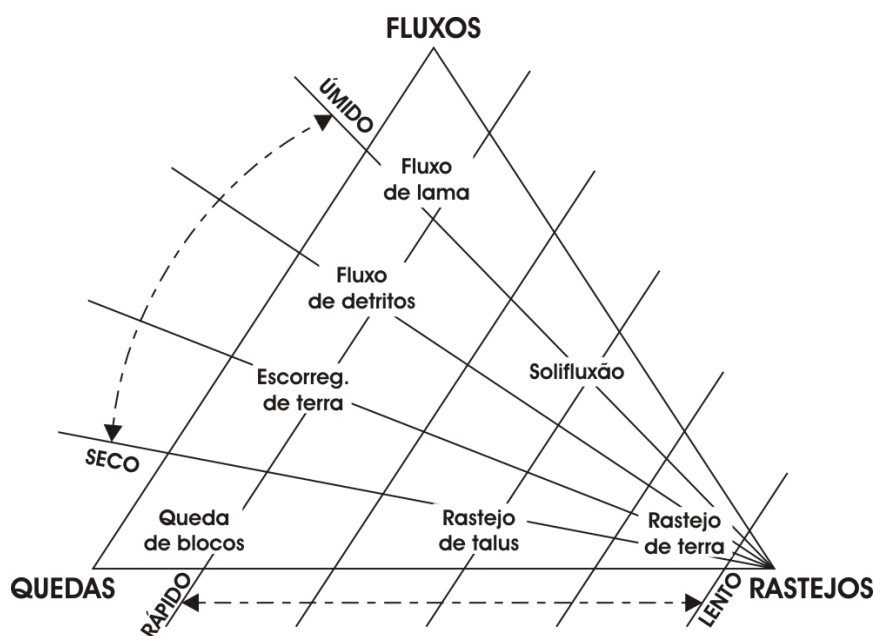


Figura 11 – Classificação de movimentos de massa. Fonte: adaptada de Carson e Kirkby (1975).

Este tipo de fenômeno tem sido responsável por inúmeras vítimas fatais e grandes prejuízos materiais. A principal causa é a ocupação desordenada de áreas que apresentam elevada suscetibilidade a escorregamentos.

Por outro lado, levando em consideração a geometria e a natureza dos materiais instabilizados, os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: escorregamentos

rotacionais ou circulares, escorregamentos translacionais ou planares e escorregamentos em cunha.

a) Escorregamentos rotacionais ou circulares:

Caracterizam-se por uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento rotacional do maciço do solo (Figura 12). 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 para construção de edificações, ou ainda pela erosão fluvial no sopé da vertente.

Ocorre frequentemente nas encostas do sudeste brasileiro. Podem se tornar processos catastróficos, como o deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha ao longo de uma superfície de ruptura, ou ao longo da própria superfície da rocha. (TOMINAGA *et al*, 2009).

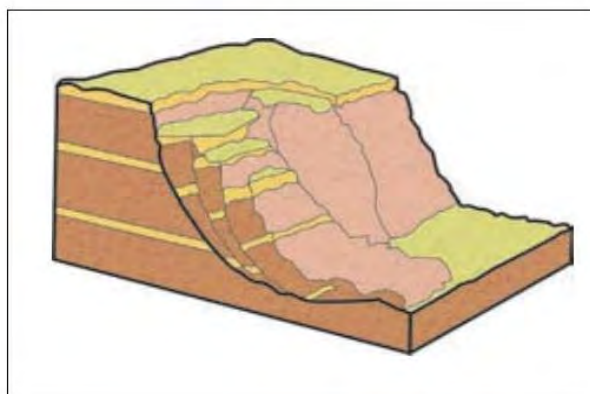


Figura 12 – Esquema de escorregamento rotacional. Fonte: Tominaga *et al* (2009).

b) Escorregamentos translacionais ou planares:

São os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa. Formam superfície de ruptura planar associadas às heterogeneidades dos solos e rochas que representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos.

Caracterizam-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, e ocorrem em encostas tanto de alta como de baixa declividade, e podem atingir centenas ou até milhares de metros. Os materiais transportados podem ser constituídos de rocha, de solo e de solo e rocha (Tominaga *et al*, 2009).

Este tipo de escorregamento é mostrado no esquema da Figura 13.

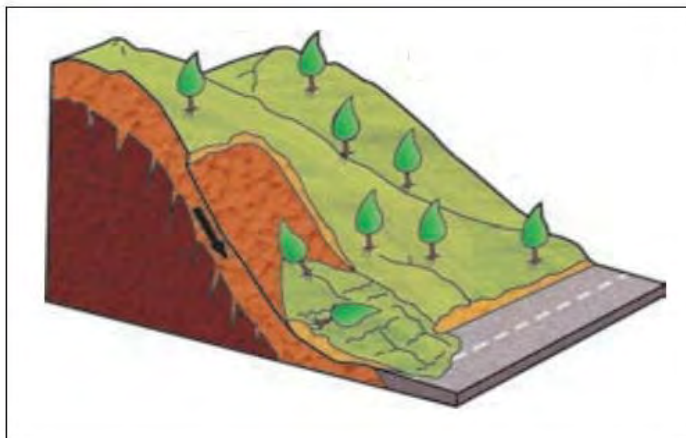


Figura 13 – Esquema de escorregamento planar ou translacional de solos. Fonte: Tominaga *et al* (2009).

c) Escorregamentos em cunha:

São restritos às regiões que apresentam um relevo fortemente controlado por estruturas geológicas. São associados aos maciços rochosos pouco ou muito alterados, 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 ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico. (Tominaga *et al*, 2009).

O esquema de escorregamentos em cunha é demonstrado na Figura 14.

Os movimentos denominados “*debris flows*” ou “corridas de detritos” são os fenômenos mais destrutivos dentre os desastres naturais gerados por escorregamentos



múltiplos de encostas, quando ocorridos em áreas habitadas. São fenômenos muito rápidos de movimentos de encostas, que no Brasil ocorrem após longos períodos de chuva, quando uma precipitação mais intensa provoca escorregamento de massas de solo e rocha em direção a um curso d'água.

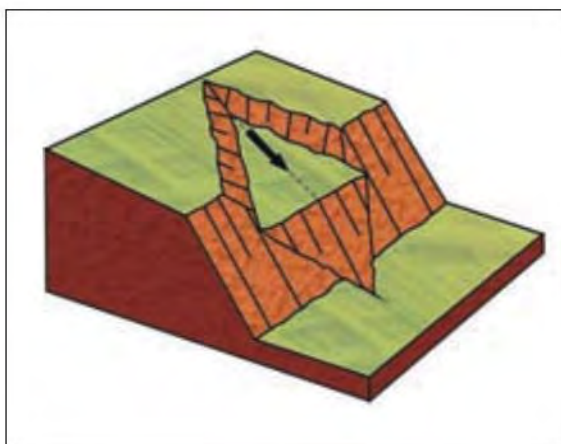


Figura 14 – Esquema de escorregamento em cunha. Fonte: Tominaga *et al* (2009).

Para Massad *et al* (2007), os escorregamentos com detritos têm algumas peculiaridades em comum:

- velocidades muito altas (5 a 20 m/s);
- elevada capacidade de erosão e destruição, devido às elevadas pressões de impacto (30 a 1000kN/m<sup>2</sup>);
- transporte de “detritos” (galhos de árvores, blocos de rocha, cascalho, areia e lama) a grandes distâncias, mesmo em baixas declividades (5° a 15°);
- desenvolvimento em períodos de tempo muito curtos, de segundos a poucos minutos.

A vazão de pico pode alcançar um valor 10 a 20 vezes a vazão de cheia (água), para a mesma bacia e mesma chuva. Parte do material do leito é remobilizado e transportado, e a erosão das margens, tende a ampliar o leito do rio. A concentração de sólidos, em volume, pode variar em ampla faixa de 30 a 70%.

Conforme explica Cruz e Massad (1997), o movimento da massa é *sui-generis*: forma-se uma “camada crítica” de lama na parte inferior, que mantém os pedregulhos e os blocos de rocha em suspensão e em movimento. Quando os escorregamentos se espalham, ou quando a declividade é reduzida, a camada crítica de lama diminui, bem como a

velocidade do fluxo. Nesse momento, os blocos maiores, que têm maior velocidade que a lama, tombam e param, por atrito. Uma nova onda do fluxo pode ser impedida pelos blocos que já pararam, formando um pequeno barramento, ou transpõem estes blocos e continuam fluindo.

Os escorregamentos e demais movimentos de massa são processos de dependem de vários fatores ambientais que atuam naturalmente na evolução das formas de relevo de morros e serras. Entretanto, nos últimos anos, o expressivo aumento do número de acidentes associados a escorregamentos nas encostas urbanas tem como principal causa a ocupação desordenada de áreas com alta suscetibilidade a escorregamentos.

Bressani e Bertuol (2010) citam os principais tipos de movimentos, materiais envolvidos e principais mecanismos presentes nas rupturas, tendo em vista a resistência operacional do solo que varia ao longo do tempo, principalmente em função do intemperismo natural (processo de degradação dos materiais) e em função da pressão de água que ocorre no sub-solo (redução das tensões efetivas em solos saturados). Assim, a resistência operacional tem variações positivas e negativas sazonais e um decaimento contínuo ao longo dos anos. Em muitos solos tropicais e subtropicais o efeito da redução da sucção (poro-pressão negativa) é importante, podendo ter quedas bruscas em alguns eventos.

Outro aspecto que está relacionado ao grau do dano é a velocidade do escorregamento, que por sua vez está relacionada à declividade do terreno pré-ruptura (energia potencial) e ao comportamento do solo pós-ruptura, em geral ligado à micro-estrutura dos materiais (BRESSANI e BERTUOL, 2010).

A identificação dos fatores que deflagram os escorregamentos é fundamental para a adoção de medidas preventivas ou corretivas ao evento, mas é dificultada pelo fato de que vários fatores podem atuar simultaneamente.

Como é possível notar, os aspectos climáticos assumem um papel de destaque como agentes predisponentes aos escorregamentos, sendo a precipitação um dos mais importantes fatores em sua deflagração efetiva.

Para esses autores, os danos causados pelos escorregamentos podem ser divididos em dois tipos: os danos diretos e os indiretos, conforme Tabela 10.

Definir a chuva crítica é o grande desafio. Bandeira *et al* (2010) apresentam valores de precipitação, como índices limites para o gerenciamento das áreas de risco. A implantação do Plano Preventivo pela Defesa Civil na Serra do Mar no estado de São Paulo, avalia através de inspeções geotécnicas e do acompanhamento diário da chuva, considerando dois

indicadores: a precipitação acumulada em 24 horas e 72 horas e o cálculo do coeficiente de ciclo móvel, que mede a anomalia da precipitação frente à chuva histórica da área, que deve servir para a defesa civil e equipes técnicas ficarem alertas para as áreas de risco, e concentrar suas ações no monitoramento permanente tanto da precipitação como na atuação de obras estruturadoras.

Tabela 10 – Danos causados por escorregamentos.

<b>Danos Diretos</b>	<b>Danos Indiretos</b>
Causados diretamente pelo movimento de terra.	Causados pelos efeitos do fluxo do material fluidificado.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fissuras e trincas em residências e estruturas por deslocamento do terreno;</li> <li>• Destruição parcial ou total de estruturas pelo impacto do material rompido;</li> <li>• Destruição de infra-estrutura (redes de água, energia, telefones);</li> <li>• Danos ou destruição de rodovias e ruas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão de margens de arroios e rios induzindo novas rupturas;</li> <li>• Erosão de aterros de aproximação de pontes;</li> <li>• Destruição de pontes e pontilhões por impacto direto do enxurro;</li> <li>• Soterramento de drenagens, galgamento de aterros e erosão;</li> <li>• Destruição de lavouras, mudança de curso de arroios, deposição de destroços.</li> </ul>

Fonte: Bressani e Bertuol (2010), modificado pela autora.

A relação entre movimento de massa e volume de precipitação, é apresentado por diversos autores, como cita Ide (2005), Tabela 11.

A maioria dos escorregamentos está associada a episódios de elevada precipitação, de duração compreendida entre algumas horas até alguns dias, segundo Guidicini e Nieble (1984).

As medidas preventivas são agrupadas em dois tipos: estruturais e não estruturais:

a) Medidas estruturais:

Envolvem obras de engenharia, com alto custo, como obras de contenção de taludes, implantação de sistemas de drenagem, reurbanização de áreas.

## b) Medidas não estruturais:

Referem-se às ações de políticas públicas voltadas ao planejamento do uso do solo e ao gerenciamento, como o zoneamento geoambiental, planos preventivos de defesa civil, educação ambiental.

Tabela 11 – Resumo de algumas pesquisas nacionais da relação entre chuva e escorregamento. Fonte: Ide (2005).

<b>Autor e ano</b>	<b>Local</b>	<b>Característica da precipitação associada ao escorregamento</b>
Guidicini e Iwasa (1977)	Costa Ocidental Brasil	Limite de 8 a 17% de pluviosidade anual. Com 20% da pluviosidade anual, desenvolvem-se fenômenos catastróficos.
Tatizana <i>et al</i> (1987)	Serra do Mar, Brasil	Boa relação com a precipitação acumulada de 4 dias $I (AC) = 2.603 Ac^{-0.933}$ I = Intensidade da precipitação Ac = precipitação acumulada de 4 dias
Elbachá <i>et al</i> (1992)	Salvador, Bahia	Limite indicativo de 120 mm/4 dias
Xavier (1996)	Belo Horizonte, Minas Gerais	Limite de 30 mm/24 horas e 50 mm em 48 horas
Alheiros (2003)	Olinda, Pernambuco	Maior chance de instabilidade de massa para $R > 60.000 \text{ mm}^2$ por hora sendo: $R = P_{ac} \cdot I$ I = Intensidade da chuva $P_{ac}$ = precipitação acumulada desde o início da estação chuvosa
Vieira (2004)	Blumenau, Santa Catarina	Boa relação com chuva acumulada de 3 a 4 dias, somando em torno de 50 mm.

Segundo a NBR-11682 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) sobre estabilidade de encostas existem critérios de cálculo para fator de segurança.

Para qualquer situação de cálculo de estabilidade de encosta ou de elemento constituinte de obra de contenção, devem ser claramente definidos:

- a) a seção ou seções geotécnicas consideradas;
- b) os parâmetros do terreno e os respectivos critérios para obtenção dos valores adotados;
- c) o método de cálculo, com indicação das fórmulas consideradas, programas utilizados ou bibliografia de consulta;
- d) situações do nível d'água, atuação de sobrecargas e fases executivas.

Os Fatores de Segurança (FS) considerados nesta norma têm a finalidade de cobrir as incertezas naturais das diversas etapas de dimensionamento. Dependendo dos riscos envolvidos, deve-se inicialmente enquadrar o projeto em uma das seguintes classificações de **Grau de Segurança**, definidas a partir da possibilidade de perdas de vidas humanas (Tabela 12) e de perdas materiais e ambientais (Tabela 13).

A Tabela 12 mostra que o grau alto de segurança esperado para vidas humanas está relacionado com a elevada concentração de pessoas em áreas urbanas, ou intenso tráfego de ferrovias e rodovias. Já o grau médio de segurança dá-se pela movimentação moderada de pessoas em áreas e edificações, assim como em rodovias. O baixo grau de segurança está relacionado com a movimentação e permanência eventual das pessoas nas áreas ocupadas e baixo tráfego nas rodovias.

Os critérios estabelecidos para o grau de segurança para perdas materiais e ambientais da Tabela 13, relacionam o alto grau com os prejuízos para propriedades de alto valor histórico, obras de grande porte e áreas que afetam serviços essenciais, e acidentes com oleodutos, barragens de rejeito e produtos tóxicos. O grau médio e baixo estão de acordo com os valores das propriedades e os locais sujeitos a acidentes com danos ambientais.

Do ponto de vista geotécnico, Camapum (2010) associa os aspectos geológicos, hidrogeológicos e geomorfológicos da área. Para o autor, a geologia estrutural é o elemento indispensável na avaliação dos riscos de instabilização de encostas, principalmente em mantos de cobertura de solo residual, pois o aspecto estrutural da rocha (com exceção nos solos profundamente intemperizados) marcam o solo. A hidrogeologia é importante, pois a água infiltrada, passou por várias fraturas de rochas de diferentes composições e leva consigo uma carga química suscetível de afetar o comportamento do maciço. E, por fim a geomorfologia, onde o estudo do relevo é indispensável, pois a

geometria do maciço é a definidora das condições do fluxo, da hidratação do solo e da distribuição de tensões.

Tabela 12 – Grau de segurança esperado – Vidas humanas

<b>Grau de segurança</b>	<b>Critérios</b>
<b>Alto</b>	- Áreas urbanas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edifícios públicos, residenciais, comerciais e industriais, escolas, hospitais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas. - Ferrovias. Rodovias de tráfego intenso.
<b>Médio</b>	- Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas. - Rodovias de tráfego moderado.
<b>Baixo</b>	- Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas. - Rodovias de tráfego baixo.

Tabela 13– Grau de segurança esperado – Perdas materiais e ambientais

<b>Grau de segurança</b>	<b>Critérios</b>
<b>Alto</b>	- <u>Propriedades</u> : Locais junto a propriedades de alto valor histórico, social ou aquisitivo, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais. - <u>Dano ambiental</u> : Locais sujeitos a acidentes com dano ambiental elevado, como junto a oleodutos, barragens de rejeito, fábricas de produtos tóxicos e outras.
<b>Médio</b>	- <u>Propriedades</u> : Locais junto a propriedades de valor médio. - <u>Dano Ambiental</u> : Locais sujeitos a acidentes com dano ambiental moderado.
<b>Baixo</b>	- <u>Propriedades</u> : Locais junto a propriedades de valor baixo. - <u>Dano ambiental</u> : Locais sujeitos a acidentes com dano ambiental baixo.

A todos esses aspectos, é necessário associar o comportamento do solo frente à ação humana, na qual a análise de risco aplicada aos escorregamentos abrange diferentes

áreas. E, o monitoramento das chuvas faz-se necessário para as previsões de alertas, pois variam com o regime de infiltração no terreno, alterando o fator de segurança.

É possível observar que a variação do fator de segurança é proporcional à variação da precipitação incidente, sendo que os resultados mostrados por Portes *et al* (2010) indicam a redução do fator de segurança, não só com a quantidade de dias chuvosos, mas com a duração ou com as precipitações máximas de eventos extremos, propiciando a perda da parcela de sucção e a instabilidade do talude.

Segundo Camapum (2010), na gestão de riscos em encostas, a educação ambiental deve ser mesclada com informações de ordem técnica e social e nesse sentido, torna-se indispensável a atuação preventiva do Poder Público.

Dessa maneira, é possível minimizar as inúmeras mortes que ocorrem no Brasil decorrentes dos escorregamentos. Um levantamento feito pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) indicou que 1550 pessoas morreram vítimas de escorregamento entre 1988 e 2005. A Figura 15 a seguir indica o número de mortes por estado, e é possível verificar a alta incidência na região Sudeste, que é a mais densamente povoada, como é o caso dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, com o maior número de mortes. O uso e ocupação do solo de forma irregular, em áreas suscetíveis aos escorregamentos nessas regiões são a maior causa das mortes deflagradas por chuvas intensas.

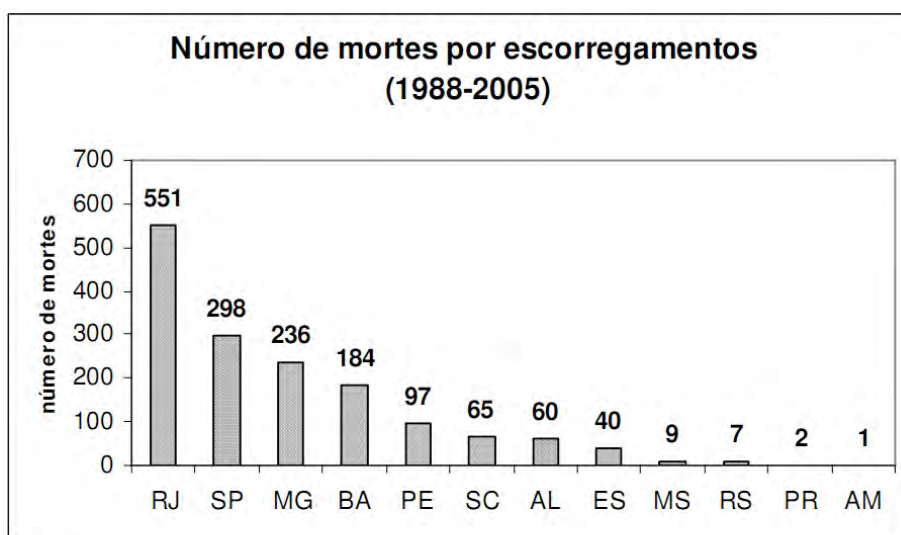


Figura 15 – Mortes provocadas por escorregamentos no Brasil (período de 1988 a 2005).  
Fonte: IPT (2005).

A prevenção ainda é a melhor solução, segundo a Defesa Civil do estado de São Paulo, num serviço de informação e conscientização, instruindo a população:

- a evitar construções em encostas muito íngremes e próximo de cursos d'água;
- a não realização de cortes em encostas sem licença das prefeituras;
- não desmatar encostas dos morros;
- não lançar lixo ou entulho nas encostas e drenagens, pois estes retêm a água das chuvas aumentando o peso e causando a instabilidade do terreno;
- verificar a estrutura da casa, muros e terrenos, observando o aparecimento de fissuras, rachaduras, inclinação de postes, árvores ou cercas, o que indica movimentação do terreno;
- acompanhamento dos boletins meteorológicos, pois esses movimentos são deflagrados por chuvas intensas.

#### **4.3.5 Erosão**

O termo erosão provém do latim (*erodere*) e significa “corroer”. Nos estudos ligados às Ciências da Terra, o termo é aplicado aos processos de desgaste da superfície terrestre (solo ou rocha) pela ação da água, do vento, do gelo e de organismos vivos (plantas e animais), além da ação do homem (CAMAPUM *et al*, 2006).

A dinâmica superficial do relevo terrestre é responsável pela feição da superfície. O resultado dessa modelagem é a paisagem estudada pela geomorfologia, que define ações dinâmicas ou eventos que envolvem a aplicação de forças sobre certos gradientes. Essas ações são provocadas por agentes como chuva, vento, ondas, marés, correnteza de rios e gelo. Quando essas forças excedem a resistência dos sistemas naturais, ocorrem modificações por deformações do terreno, mudanças de posição ou mudanças na estrutura química. As modificações podem ou não ser perceptíveis à nossa capacidade de observação, dependendo da velocidade do processo ou da relação de forças, segundo Camapum *et al* (2006).

No trato dos processos erosivos, é necessário considerar a origem da ação dinâmica, o local, o momento e a velocidade da ocorrência.

A evolução das erosões depende de fatores externos, como o potencial de erosividade da chuva, as condições de infiltração e escoamento superficial e a declividade e comprimento do talude ou encosta e, ainda de fatores internos, como gradiente crítico,



desagregabilidade e erodibilidade do solo. Essa evolução ao longo do tempo depende de fatores tais como características geológicas e geomorfológicas do local, presença de trincas de origem tectônica e evolução físico-química e mineralógica do solo (Camapum *et al*, 2006).

De acordo com Camapum *et al* (2006), a erosão do solo depende de vários fatores; mesmo que a chuva, a declividade do terreno e a cobertura vegetal sejam as mesmas, alguns solos são mais suscetíveis ao destacamento e ao transporte de partículas pelos agentes de erosão que outros, essa diferença, devido às propriedades do solo, é conhecida como erodibilidade do solo.

Castro *et al* (2003), considera como erosão a desagregação e remoção do solo ou de rochas pela ação da água, vento, gelo e /ou organismos (plantas e animais). A erosão pode ser de natureza eólica, hídrica ou glacial.

As erosões também podem ser classificadas quanto à forma como surgiram em dois grandes grupos, a erosão natural ou geológica e a erosão antrópica ou acelerada. Porém, a erosão é usualmente classificada em quatro grupos: erosão hídrica, erosão eólica, erosão glacial e erosão organogênica.

Segundo a Defesa Civil do estado de São Paulo, a erosão hídrica é a mais importante na modelagem da paisagem, destacando-se: a erosão laminar, a erosão em sulcos e ravinas, as voçorocas, a erosão fluvial, a erosão marinha e a erosão subterrânea. Esses processos erosivos iniciam-se pelo impacto das gotas de chuva sobre a superfície do terreno, provocando a desagregação das partículas do solo. Por meio do acúmulo de água em volume suficiente para permitir a suspensão das partículas, ocorre o escoamento superficial através das encostas.

O processo erosivo causado pela água das chuvas ocorre na maior parte da superfície da terra, principalmente nas regiões de clima tropical, onde as chuvas atingem totais pluviométricos elevados. Essa erosão é agravada pela concentração das chuvas num determinado período do ano que, normalmente na região sudeste do Brasil, corresponde à primavera e ao verão.

O entendimento do mecanismo de desencadeamento e evolução dos processos erosivos envolve o conhecimento de muitas variáveis e exige uma visão sistêmica do fenômeno. Camapum *et al* (2006) citam os dois elementos centrais responsáveis pelo desencadeamento do processo erosivo, a erosividade da água (elemento ativo) e a erodibilidade do solo (elemento passivo); para complementar, há os fatores moduladores, que facilitam ou dificultam os processos erosivos.

Situam-se entre os fatores moduladores: o clima e o regime de precipitação, o grau e o tipo de intervenção no meio ambiente, o tipo de cobertura do solo, a taxa de impermeabilização e infiltração, o tipo de solo, a geomorfologia, a geologia, a posição do lençol freático e a qualidade da água.

Na Tabela 14, notam-se as diferenças entre os tipos de erosão, que pode ser laminar (sem formar canais definidos), linear (em forma de filetes), sulco (com profundidades até meio metro), ravinas (com profundidades maiores que meio metro) ou boçorocas (até atingir o nível freático).

Tabela 14 – Tipos de erosão.

<b>Erosão Laminar</b>	Acontece quando a água escoar uniformemente pela superfície do terreno, transportando as partículas de solo, sem formar canais definidos. Apesar de ser uma forma mais amena de erosão, é responsável por grandes prejuízos às terras agrícolas e pelo fornecimento de grande quantidade de sedimentos que assoreiam rios, lagos e represas.
<b>Erosão Linear</b>	É causada pela concentração do escoamento superficial e de fluxos d'água em forma de filetes. Sua evolução dá origem a três tipos diferentes de erosão: Sulco, Ravinas e Boçoroca.
<b>Sulco</b>	É um tipo de erosão no qual o fluxo d'água ao atingir maior volume transporta maior quantidade de partículas, formando incisões na superfície de até 0,5 m de profundidade e perpendiculares às curvas de nível.
<b>Ravinas</b>	São formas erosivas lineares com profundidade maior que 0,5 m, neste caso as águas do escoamento superficial escavam o solo até seus horizontes inferiores, possuem forma retilínea, alongada e estreita.
<b>Boçoroca</b>	É a forma mais complexa de erosão linear, neste caso ocorre o aprofundamento da erosão até atingir o nível freático que aflora no fundo do canal. Há, então, ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, o que condiciona uma evolução da erosão lateral e longitudinalmente.

Fonte: Tominaga *et al* (2009).

A água da chuva exerce ação erosiva sobre o solo, e estando desprotegido de vegetação ou práticas de conservação, sofre ação de desagregação com o impacto da gota de chuva, que é arrastada já nos primeiros minutos de chuva. A quantidade de solo removido vai depender das características do solo, da declividade do terreno e da intensidade da chuva.

A falta de vegetação, provocada por incêndios florestais, ao permitir o embate direto das gotas de água da chuva contra o solo, aumenta os efeitos da chamada erosão por salpicos. Reduz, ainda, as taxas de infiltração e, ao mesmo tempo, aumenta os coeficientes de escoamento superficial, deixando disponível uma maior quantidade de água para poder erosinar a superfície topográfica. (LOURENÇO, 2008).

As áreas de latossolos e solos de aluviões apresentaram os menores valores de perda de solo por erosão. Esse resultado pode ser explicado pelo fato do latossolo apresentar uma maior permeabilidade, o que faz diminuir o escoamento superficial. Por outro lado, os aluviões encontram-se nas partes de baixadas (fundo de vales) com menores declividades e menores comprimentos de rampa. De modo geral, as áreas compreendidas por esse tipo de declividade são áreas receptoras de sedimentos provindo das encostas.

A região de clima tropical úmido favorece a ocorrência de chuvas no estado de São Paulo. A chuva é o principal agente no desencadeamento de processos erosivos, associada ao intenso desmatamento no meio rural pela atividade agrícola, e no meio urbano, pela ocupação desordenada tendo como principais condicionantes: a falta de drenagem ou pela movimentação de terra (ALMEIDA FILHO, 2000).

Os dados do Relatório de Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo de 2006, apontaram que cerca de 28% dos municípios do Oeste Paulista apresentou alta gravidade quanto à ocorrência de processos erosivos. Esse diagnóstico aponta 183 municípios com alta criticidade, sendo as cidades de Bauru, Franca, Presidente Prudente, Marília e São José do Rio Preto destacadas por apresentarem erosões de grande porte (Modaelli *et al*, 2009).

Os diversos processos erosivos provocam graves prejuízos ambientais e socioeconômicos, visto a necessidade de prevenir e corrigir o seu avanço. Uma medida ideal seria o planejamento do uso e ocupação do solo, bem como os planos diretores municipais para as áreas urbanas, o planejamento da drenagem urbana e orientações nas áreas rurais, combatendo a retirada da vegetação nativa, as queimadas, o manejo inadequado do solo e a utilização de áreas suscetíveis à erosão.

Na maioria das vezes, o processo erosivo tende a progredir continuamente, a velocidade de propagação dos danos é fruto dos condicionantes locais, naturais e

antrópicos e a estabilização natural do processo pode demorar a ocorrer, implicando em grandes danos. Desta forma, faz-se necessário medidas de controle, que são ações que visam prevenir, cessar ou recuperar uma área erodida potencial ou em curso.

São muitas as ações que podem ser empregadas como uma medida de controle de uma erosão, Camapum *et al* (2006) destaca duas medidas, as preventivas e as corretivas.

As medidas preventivas são ações que tentarão minimizar a erosividade e/ou a erodibilidade. Algumas medidas, como a preservação da vegetação, o controle de águas pluviais, buscam minorar a probabilidade de uma área ser erodida.

Já as medidas corretivas, englobam o conjunto de ações que são executadas após uma erosão já instalada, e visam remediar os danos ou tentar interromper a evolução da erosão. Podem ser divididas em medidas de estabilização ou de recuperação. No caso a recuperação torna-se uma prática impossível, pois as áreas são geralmente grandes, sendo mais efetivas as ações de estabilização através de estudos específicos.

Há algumas intervenções citadas por Camapum *et al* (2006) como:

- Detenção de águas a montante;
- Obras na Microdrenagem e pavimentação;
- Obras na Macrodrenagem;
- Drenos;
- Dissipadores de Energia;
- Estabilizadores de Talvegue;
- Estabilizadores de Taludes;
- Reaterro de Erosões.

Além das obras de engenharia, faz-se necessário o monitoramento da intervenção de controle da erosão, com o acompanhamento do desempenho da solução empregada.

#### **4.4 BANCO DE DADOS**

O conhecimento e a compreensão da realidade socioeconômica local tem possibilitado o planejamento e elaboração de políticas públicas e programas sociais e a implantação de ações que venham contribuir de forma efetiva e eficaz para a prevenção, redução e erradicação dos riscos originados por catástrofes naturais ou provocadas. (VIEIRA *et al*, 2007).

Sendo assim, a criação e implantação de um banco de dados com informações sobre ocorrências de danos causados por eventos severos podem contribuir para estabelecer ações de prevenção, que deverão ser previstas pelo planejamento urbano, visando a interação entre a realidade da comunidade e os serviços ofertados e prestados pelos órgãos públicos. Estas ações se encontram pautadas nos princípios e diretrizes propostas pela Política Nacional de Defesa Civil (Resolução N°2 de 12 de dezembro de 1994 - DOU 01/01/95) e Resolução N°3 de 02 de julho de 1999 (DOU 21/07/99) que define o Manual para a Decretação de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública.

Câmara e Monteiro (2004) colocam que, “o universo do mundo real, matemático, de representação e de implementação, em que as estruturas de dados são escolhidas são baseados em considerações como desempenho, quando acontece a codificação. O processamento dessas informações permite equacionar os problemas da área afetada”.

Por meio deste banco de dados, é possível indicar as principais características dos danos e espacializar as informações em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), possibilitando um entendimento dos padrões espaciais e temporais associados aos riscos e desastres.

A utilização de um banco de dados é de grande importância ao usuário, pois viabiliza informações num acesso rápido e de simples recuperação da informação. Os dados armazenados no banco podem servir apenas para consultas ou servir para atributo básico em ciência da geoinformação.

Dessa maneira, é viável inserir e integrar em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, censitários, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes de informações e modelos numéricos de terreno. Em acréscimo, são oferecidos mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados (RIBEIRO e CÂMARA, 2004).

Para Davis e Borges (2004), um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser utilizados para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados. O modelo busca sistematizar o entendimento que é desenvolvido a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado. Os objetos e fenômenos reais, no entanto, são complexos demais para permitir uma representação completa, considerando os recursos à disposição dos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) atuais. Desta forma, é necessário construir uma abstração dos objetos e fenômenos

do mundo real, de modo a obter uma forma de representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada às finalidades das aplicações do banco de dados.

A abstração de conceitos e necessidades existentes constituem parte importante da criação de sistemas de informação, sendo que o sucesso de qualquer implementação em computador de um sistema de informação depende da qualidade da transposição de entidades do mundo real e suas interações para um banco de dados informatizado. A abstração funciona como uma ferramenta que nos ajuda a compreender o sistema, dividindo-o em componentes separados. Cada um destes componentes pode ser visualizado em diferentes níveis de complexidade e detalhe, de acordo com a necessidade de compreensão e representação dos diferentes interesses do sistema de informação e suas interações, conforme colocam Davis e Borges (2004).

Ao longo dos anos, desde o surgimento dos primeiros SGBDs, foram criados vários modelos de dados que, apesar de muitas vezes terem a pretensão de se constituírem em ferramentas genéricas, refletem as condicionantes tecnológicas dos SGBDs à época de sua criação. Existem vários tipos de modelos, desde os que possuem descrições orientadas aos usuários chamados *infological* até aqueles cuja principal preocupação é a representação no computador, os *datalogical*. Os modelos podem ser classificados em: modelos de dados conceituais, modelos de dados lógicos e modelos de dados físicos, como citam Davis e Borges (2004).

Os modelos de dados conceituais são os mais adequados para capturar a semântica dos dados e, conseqüentemente, para modelar e especificar as suas propriedades. Eles se destinam a descrever a estrutura de um banco de dados em um nível de abstração independentemente dos aspectos de implementação. Como exemplo, temos o modelo entidade-relacionamento, modelo funcional, modelo binário e os modelos orientados a objetos.

Os modelos de dados lógicos, também chamados de clássicos, se destinam a descrever a estrutura de um banco de dados apresentando um nível de abstração mais próximo das estruturas físicas de armazenamento de dados. Uma característica desse tipo de modelo é a sua inflexibilidade, forçando a adequação da realidade à estrutura proposta por ele. Os modelos de dados relacional, de redes e hierárquico, exemplos de modelos lógicos, são implementados diretamente por vários sistemas gerenciadores de banco de dados existentes comercialmente.

Já os modelos de dados físicos são utilizados para descrever as estruturas físicas de armazenamento.

A otimização dos dados via MySQL (*software* livre de código aberto), podem ser usados em outros SGBD, respeitando as peculiaridades de cada um. Existem várias técnicas para trazer ganho de qualidade ao banco de dados.

Conforme cita Dubois (2005), essas técnicas incluem: indexar tabelas, para permitir ao SGBD a localização de dados mais rapidamente; levar em consideração a forma descrita das consultas para tirar o máximo proveito dos índices criados e usar o comando “EXPLAIN” para verificar se o servidor está executando da forma como deveria. É importante ressaltar que o MySQL é bastante rápido, mas pode se tornar ainda mais se receber ajuda para realizar suas operações.

A indexação de tabelas é a ferramenta mais importante para a melhoria do desempenho das consultas. Quando uma consulta demora a ser concluída, normalmente as tabelas envolvidas não possuem índices, ou estes não são convenientemente criados. A adequação ou criação dos índices necessários resolve o problema na grande maioria das vezes. Para Dubois (2005), em muitos casos, o tempo será desperdiçado tentando aumentar o desempenho por outros meios. É necessário usar a indexação como primeira alternativa para ter um ganho no desempenho e depois avaliar quais outras técnicas podem ser úteis. Na prática, as desvantagens tendem a ser minimizadas pelo valor das vantagens, mas é necessário conhecê-las.

Por outro lado, esses mesmos índices diminuem a velocidade de inserções, atualizações e deleções. Isso ocorre porque escrever um registro requer não apenas escrevê-lo, mas também mudar a sua ordenação. Quanto mais índices houver numa tabela, mais mudanças de ordenação necessitam ser feitas, degradando o desempenho. Eles também ocupam espaços em disco que pode fazer a tabela exceder o seu tamanho limite mais rapidamente do que se não tivesse índices.

Conforme explica Dubois (2005), os detalhes da implementação de índices em banco de dados MySQL variam de acordo com os tipos de tabelas usadas cujo conjunto de chaves de registros ordenados podem ser usados para localizar dados de forma rápida.

## 4.5 SIG

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem sido objeto de várias definições por parte de diferentes autores. Para Cowen (1991), SIG é um sistema constituído por *hardware*, *software* e procedimentos, construído para suportar a captura,

gestão, manipulação, análise, modelação e visualização de informação referenciada no espaço, com o objetivo de resolver problemas complexos de planejamento e gestão que envolvem a realização de operações espaciais. Assim, um SIG compõe-se de quatro elementos: *hardware*, *software*, informação e recursos humanos.

Souza (2000), que aplica SIG em engenharia civil, o define como a obtenção de dados (detecção, percepção) à distância (remoto, tele). Para ele, existem algumas definições e formas de se aprender o que são SIGs: o termo Sistema de Informação Geográfica - SIG - é frequentemente aplicado à tecnologia computacional geograficamente orientada, integrando sistemas substanciais. Essa orientação de cunho geral na apreensão do que são os SIGs encobre, na verdade, a dificuldade de definirmos com precisão quais as suas especificidades. Numerosas razões levam a que seja mais difícil de se definir SIG, do que a princípio possa parecer.

O desenvolvimento teórico, tecnológico e organizacional que se acelerou a partir da década de 1960 e que culminou, a partir da segunda metade da década de 1980, com grande utilização de SIGs em vários países, mostra ser este, ainda, um produto bastante jovem.

A diversidade de aplicação desses sistemas também tem levado às dificuldades de separação entre seus aspectos específicos e seus aspectos organizacionais. Uma outra dificuldade implícita na definição do que são os SIGs relaciona-se à diversidade nos critérios de sua classificação. Têm sido usuais os critérios de funcionalidade, genealogia, custos, tamanho, plataforma, área de aplicação e modelo dos dados.

Finalmente, nos meios acadêmicos existe a discussão entre os que valorizam as definições de SIGs quanto aos equipamentos e programas (*hardware* e *software*) e a dos que os vêm do ponto de vista do processamento de informações ou suas aplicações.

Juntos, estes fatores contribuem para ofuscar os especialistas, que nunca dão por terminadas as discussões e detalhamentos de suas análises. Para o esclarecimento das dúvidas e formulação de um conceito de SIG, procurar-se-á o entendimento de suas características e de suas relações com outros sistemas.

Dickinson e Calkins (1988) sugerem que os SIGs devem ser vistos sobre três enfoques: o tecnológico (equipamentos e programas), o de banco de dados (geográficos e descritivos), e o de infraestrutura (pessoal, manutenção e suporte técnico).

Cowen (1988) sugere quatro abordagens básicas para definir e separar os SIGs dos outros tipos de sistemas de informação:



- 1) a abordagem do processo-orientado, que enfatiza a capacidade de manipulação da informação, como em DoE (1987) e Ozemoy *et al* (1981).
- 2) a abordagem baseada na aplicação divide os sistemas de informação com base no problema a que está endereçado.
- 3) a abordagem de caixa de ferramenta, enfatizando aspectos genéricos dos SIGs, é largamente usada, principalmente, pela definição difundida por Burrough (1986) e muito usada pelos vendedores, pela facilidade de adaptações com os conceitos de *marketing*.
- 4) a abordagem como banco de dados é provavelmente a mais frequentemente usada, devido a forte influência dessa teoria e prática no desenvolvimento dos SIGs. A visão de Dueker (1979) e Smith *et al* (1987) são típicas desta abordagem.

São várias as definições para SIG. Na Tabela 15 é apresentada uma síntese. As apresentadas vão desde aquelas estritamente ligadas a tecnologia, como aquelas com uma perspectiva organizacional e institucional (DoE (1987) e Carter (1989)).

Tabela 15 – Definições de SIG.

<b>Autor</b>	<b>Definição</b>
DoE (1987)	É um sistema para a captura, armazenamento, checagem, manipulação, análise e exposição de dados os quais são espacialmente referenciados à Terra.
Aronoff (1989)	São os procedimentos manuais ou computacionais usados para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados.
Carter (1989)	É uma entidade institucional, refletindo uma estrutura organizacional que integra tecnologia com banco de dados, especialistas e suporte financeiro continuado.
Parker (1988)	É uma tecnologia de informação a qual armazena, analisa, e exhibe dados espaciais e não espaciais.
Dueker (1979)	É um caso especial de sistema de informação onde o banco de dados consiste de observação de feições distribuídas espacialmente, atividades, ou eventos, que são definidos no espaço como pontos, linhas ou áreas. Um SIG manipula dados acerca desses pontos, linhas e áreas e recupera dados por consulta direta de perguntas ou por análises.
Smith <i>et al</i> (1987)	É um sistema de bancos de dados no qual os dados são indexados espacialmente, e no qual uma série de procedimentos são operados visando respostas de perguntas a cerca de entidades espaciais no banco de dados.
Ozomoyet <i>al</i> (1981)	Uma série de funções que provê os profissionais com capacidade avançada para a estocagem, recuperação, manipulação e apresentação de dados geograficamente localizados.
Burrough (1986)	Uma seleção de poderosas ferramentas para realizar, coletar, armazenar, recuperar, segundo interesse do usuário, transformando e expondo dados espaciais do mundo real.
Cowen (1988)	Um sistema de suporte a decisões envolvendo a integração de dados espacialmente referenciados no ambiente de problemas-soluções.
Koshkariov (1989)	Um sistema com avançada capacidade de geo-modelação.

### 4.5.1 Aplicações do SIG

Primeiramente, trabalhar com geoinformação significa utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados. Dessa maneira, segundo Câmara e Monteiro (2004), o problema fundamental da Ciência da Geoinformação é o estudo e a implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico.

Pode-se dizer que o Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos.

Do ponto de vista da aplicação, utilizar um SIG implica escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação, e do ponto de vista tecnológico, seu desenvolvimento significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço.

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve considerar a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento. O conceito de desenvolvimento sustentado, consagrado na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD - ECO-92), estabelece que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo (MEDEIROS e CÂMARA, 2004).

Um bom exemplo de aplicação foi mostrado por Valente (1996), no qual o uso de técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas levaram a um ótimo método para determinar áreas de riscos com suscetibilidade à erosão laminar, através do cruzamento de informações de uso e ocupação do solo, com mapas geológicos, pedológicos, cartas topográficas e outros. A simplicidade da metodologia permitiu a atualização contínua e multitemporal dos dados com redução de custos e tempo, quando comparada aos métodos tradicionais.

Também para estudar a suscetibilidade à erosão, Larios e Calijuri (2000), conjugaram o mapeamento geotécnico usando Sistemas de Informações Geográficas,

permitindo identificar zonas com diferentes potenciais erosivos por meio de análise e interpretação dos diversos fatores que influenciaram este fenômeno.

A cartografia geoambiental, um dos ramos da Geologia Ambiental que tem recebido crescente atenção nos últimos anos (CENDRERO, 1990), busca compreender a relação entre os componentes do meio físico, juntamente com a consideração de fatores biológicos e do uso e ocupação do solo atual e previsto.

Cendrero (1990) citou ainda o enriquecimento, nos últimos anos, da cartografia geotécnica tradicional, que passa de uma abordagem essencialmente geotécnica a incorporar informações sobre riscos naturais, erosão, contaminação de águas subterrâneas, além da preocupação com a exaustão ou subaproveitamento de recursos minerais, etc.

Sobreira (1995) salientou que diversos nomes são encontrados na literatura para mapas desta natureza: Mapas de Ordenamento do Território, Mapas Geológico-Ambientais, Mapas Geocientíficos, Mapas Geoambientais ou ainda Mapas Geotécnicos ou de Engenharia para Ordenamento, os quais apresentam em comum a representação do território através de mapas de vários tipos, voltados a subsidiar avaliações e decisões futuras de organismos de planejamento.

Cerri (1990) também chamou a atenção para a diversidade de terminologias encontradas na literatura para designar instrumentos de caracterização do meio físico visando o planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo. O uso de mapas geocientíficos de vários tipos consiste numa base muito útil para a combinação de informações geológico-geotécnicas com outros dados ambientais, permitindo-se obter uma avaliação integrada da capacidade do terreno frente a diversos tipos de atividades.

Nos últimos anos, ferramentas computacionais de Sistemas de Informação Geográfica efetivaram-se no auxílio do melhor entendimento e representação dos modelos complexos de distribuição espacial dos atributos e propriedades dos solos (BURROUGH *et al*, 1997 e PETERSEN *et al*, 1995).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), constituem tecnologia para a investigação de fenômenos diversos, relacionados com engenharia urbana, geologia, pedologia, vegetação, bacias hidrográficas, problemas ambientais, etc. Esses sistemas podem ser definidos como uma coleção organizada de hardware, software, dados geográficos e pessoal envolvido no trabalho, projetado para, eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as formas de informações referenciadas geograficamente (CALIJURI e RÖHM, 1994).

Os SIGs combinam os avanços da cartografia automatizada, dos sistemas de manipulação de banco de dados e do sensoriamento remoto, com o desenvolvimento metodológico em análise geográfica, para produzir um conjunto de procedimentos analíticos que auxiliam no gerenciamento e na atualização constante das informações disponíveis (CALIJURI, 1994).

Entre os trabalhos referentes à área de meio ambiente pode-se citar o realizado por Souza (1996), o qual estudou a problemática relacionada com assoreamento de reservatórios utilizando o Sistema de Informações Geográficas, no qual as diferentes características foram convertidas à forma digital, armazenadas, atualizadas e manipuladas para obter as informações necessárias sobre o problema em questão, com isto procedeu-se à quantificação e mapeamento do assoreamento no interior do reservatório.

Ramalho (1994) propôs uma metodologia para elaboração do mapeamento geotécnico da cidade de Viçosa-MG utilizando SIG, através de cartas de topografia, pedologia, arruamentos, vegetação, hidrografia, e outros, os quais foram transformados para a forma digital, utilizando-se o SIG - IDRISI. A partir do modelo digital obtido e das cartas citadas acima, foram gerados mapas de declividades da cidade e, com a caracterização geotécnica em termos de estabilidade de taludes das diferentes áreas, foram mapeadas as áreas de risco a escorregamentos.

Outro trabalho que mostrou a aplicabilidade dos SIG's foi o realizado por Pruski *et al* (1995), que utilizaram as equações de chuvas intensas relativas a 29 localidades do Estado do Paraná, obtidas por Pinto citado por Pruski *et al* (1995), e as técnicas de interpolação do Sistema de Informações Geográficas - IDRISI 4.1. Com esse intuito utilizou-se uma das principais formas de caracterização de chuvas intensas que relaciona intensidade e duração de precipitação. A partir dos mapas obtidos para cada um dos parâmetros da equação de chuvas intensas procedeu-se à análise da variação da intensidade de precipitação média relativa a diferentes períodos de retorno e durações de precipitação.

Com esses mapas foi possível obter a intensidade de precipitação de qualquer localidade através da consulta direta ao mapa. Assim sendo, os dados referentes ao problema, quando armazenados, atualizados e manipulados com o auxílio dos SIGs, conduzirão com maior precisão e velocidade, a resultados que irão auxiliar no diagnóstico, prognóstico, delineamento de medidas corretivas, e nos planos de controle e monitoramento das ações impactantes na região, bem como das ações de conservação necessárias para a minimização do problema.

#### 4.5.2 Análise de Risco utilizando um SIG

Marcelino (2008) mostrou que a identificação e avaliação de risco é um dos principais passos que vai nortear as demais etapas do processo de gestão. A avaliação de risco, conforme Figura 16, envolve basicamente o inventário dos perigos naturais (P), o estudo da vulnerabilidade (V) e o mapeamento das áreas de risco (R) (PEARSON *et al.*, 1991; SMITH, 2000; BALAJI *et al.*, 2005).

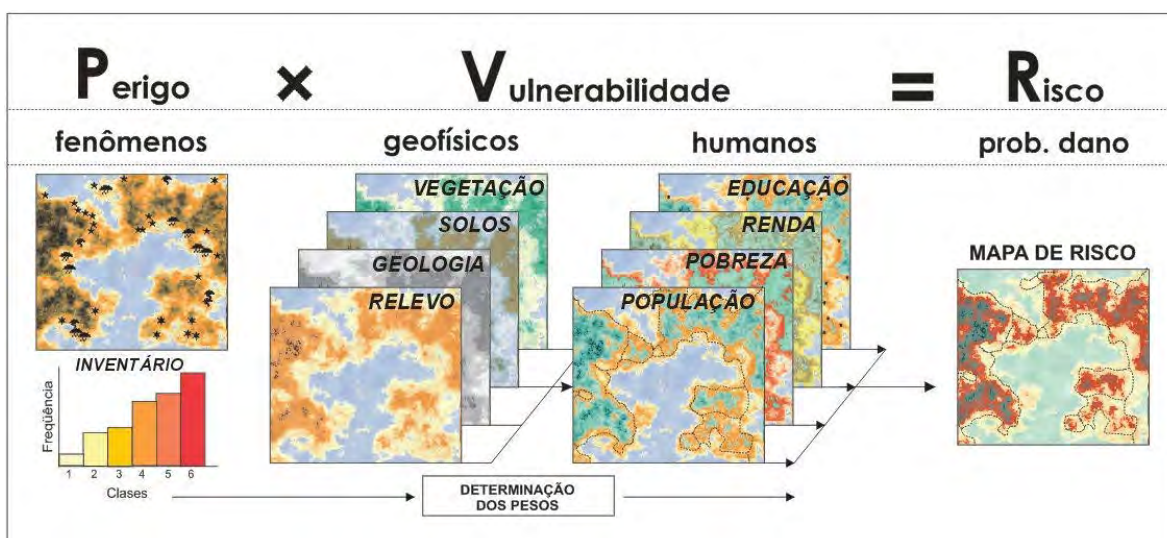


Figura 16 - Parâmetros que envolvem uma análise de risco. Fonte: Marcelino (2008).

Todos esses parâmetros puderam ser cruzados facilmente em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) para obtenção do mapa de risco final. Cada parâmetro foi formado por um conjunto de dados de fontes diversas (mapas, medições em campo, imagens de satélites, questionários etc.), que permitiram identificar as características do ambiente e o contexto socioeconômico em que podem ocorrer os desastres.

Devido a grande complexidade de variáveis e tipos de dados, assim como a forma de mensuração, as avaliações de risco geralmente envolvem muita incerteza. Segundo Balaji *et al* (2005), os principais dados requeridos numa avaliação de risco são:

- Dados sobre o perigo: tipo, data, local de ocorrência, magnitude etc;
- Dados sobre o ambiente físico: geologia, geomorfologia, hidrologia, climatologia, uso da terra etc;
- Dados sobre a exposição local: infraestrutura urbana, edificações, população, dados socioeconômicos, agropecuários, etc.

Além disso, a incerteza pode aumentar com a combinação ou complexidade do risco, principalmente quando envolve múltiplos perigos. Sempre que possível, deve-se utilizar dados quantitativos, de fontes oficiais, longas séries históricas e métodos de análises que envolvam modelos matemáticos e físicos. A intenção é que essa avaliação torne-se passível de repetição e comparação, refletindo de forma mais transparente a realidade local e não a percepção do especialista responsável pela análise.

#### 4.5.3 Geotecnologia aplicada ao SIG

Uma das principais ferramentas para a gestão de risco são as geotecnologias, representadas especialmente pelo SIG, o Sensoriamento Remoto (imagens de satélite) e o Sistema de Posicionamento Global (GPS). As geotecnologias possibilitam a coleta, armazenamento e análise de grande quantidade de dados, que devido a complexidade dos desastres naturais, seriam praticamente inviáveis de serem tratados utilizando métodos analógicos e/ou tradicionais.

Com estas ferramentas produzem-se informações em pouco tempo e com baixo custo, combinando dados espaciais multifontes, a fim de analisar as interações existentes entre as variáveis, elaborar modelos preventivos e dar suporte às tomadas de decisões (BONHAM-CARTER, 1996).

Assim, Marcelino (2008) explica como a geotecnologia é importante na prevenção, no preparo, na resposta e na reconstrução.

**Prevenção** - concentra-se basicamente nas avaliações de risco. Os dados geoambientais, que podem ser obtidos com o auxílio das imagens de satélite e GPS, são transformados em planos de informações no SIG. Dependendo do *software* utilizado, são escolhidos modelos matemáticos que são aplicados no cruzamento das informações, para obtenção dos planos resultantes, como os mapas de perigo, vulnerabilidade e risco.

**Preparo** - momentos antes do impacto, as geotecnologias são utilizadas na definição de rotas de evacuação, identificação de abrigos e centros de operações de emergência, criação e gerenciamento de sistemas de alerta e elaboração de modelos meteorológicos e hidrológicos utilizados na previsão. Nessa fase, as imagens de satélites geralmente são

usadas para fornecer as informações de base para a caracterização das áreas afetadas, como também realizar o monitoramento dos desastres.

**Resposta** - com um SIG é possível gerenciar de maneira eficiente e rápida, as situações mais problemáticas, como as ações de combate a sinistros (conter efeitos adversos) e de socorro às populações afetadas (busca e salvamento). Nele, um banco de dados associado a um mapa da área urbana, poderá fornecer informações completas sobre abrigos, hospitais, polícia, bombeiro, entre outros. Já o GPS é extremamente útil nas operações de busca e salvamento em áreas que foram devastadas. Essas áreas ficam muitas vezes descaracterizadas dificultando a orientação e a localização de ruas e edificações.

**Reconstrução** - as geotecnologias também são amplamente usadas na realização do inventário, avaliação dos danos e na identificação de áreas seguras para a relocação e reconstrução das comunidades afetadas, informações estas que posteriormente são inseridas em um banco de dados para serem utilizadas novamente na fase de prevenção e preparo.

Basicamente, o ArcGIS é um SIG com funções de processamento digital de imagens, mapeamento, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a banco de dados espaciais.

#### **4.5.4 O SIG ARCGIS**

O *ArcGIS* é um *SIG* (Sistema de Informações Geográficas), com informações de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a banco de dados espaciais. O *ArcGis* é um produto da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), empresa americana especializada na produção de soluções para a área de informações geográficas, com objetivo de construir um sistema de informação geográfica para aplicações em agricultura, Floresta, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional, amplamente acessível para qualquer usuário, com um rápido aprendizado, fornecendo um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais.

O *ArcView* é o nível de entrada de licenciamento básico do *ArcGis*, e é possível visualizar e editar dados GIS, realizado em um banco de dados de arquivo plano ou, através de dados *ArcSDE* realizado em um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional. Outros níveis do conjunto permitem maior funcionalidade, como o *ArcEditor* e *ArcInfo*. Todos os componentes estão instalados no sistema. O software *ArcView* é dividido entre *ArcMap* e *ArcCatalog*. O *ArcMap* é usado para composição de mapa e análise geográfica e o *ArcCatalog* é utilizado para gerenciamento de dados geográficos.

Todo banco de dados do ArcGIS tem um nome e deve estar associado a um Sistema Gerenciador de Base de Dados, SGBD, que gerencia todas as tabelas usadas pelo sistema.

Os bancos de dados do *ArcGis* têm uma característica *dual* para armazenamento das informações da base. Ele contém uma componente espacial, armazenada em arquivos gráficos proprietários da tecnologia, responsável pelo armazenamento de informações gráficas tipo pontos, linhas, arcos, polígonos, imagens etc. Por outro lado, as informações de atributos espaciais e não espaciais, relacionadas com os dados espaciais, ficam armazenadas em tabelas. Essas tabelas podem ser gerenciadas por alguns dos SGBDs, atualmente disponíveis no mercado, tais como: *Dbase*, *Access*, *Oracle*, *MySql* ou *PostGresSQL*.



## 5 ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS

As informações para a elaboração do banco de dados foram obtidas na página eletrônica da Defesa Civil do estado de São Paulo, disponibilizados desde 1995 até os dias atuais. Essas informações constam a data, o horário, o tipo de evento meteorológico, o tempo de duração e os danos causados. Outros dados foram coletados através de jornais locais e edições on-line.

Todas as ocorrências foram codificadas e digitadas numa planilha *Excel*. Para facilitar a digitação dos dados, foi criado um código numérico para cada evento meteorológico e outro código para os danos ocorridos.

Essas informações são alimentadas continuamente no banco de dados.

### 5.1 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DO BANCO DE DADOS

O sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) escolhido foi o *MySQL*. Por meio do programa *DBDesigner* foram modeladas e implementadas, no *MySQL*, as tabelas que constituíram a base de dados. Para fazer a alimentação dos dados, foi necessário converter as planilhas eletrônicas em arquivo texto, criando-se um *script PHP* que leu os arquivos e carregou cada linha de dados no banco.

Este conteúdo foi disponibilizado por uma plataforma *web*. Utilizando-se da linguagem de servidor *PHP*, todo o sistema de visualização dos dados foi construído, sendo que seu *layout*, segue o padrão da Unesp.

A fim de prover uma base de dados relativa a eventos severos, foi construído um sistema que utiliza páginas de *Internet* para disponibilizar informações da Defesa Civil, como mostra a Figura 17. Opções como data, fenômeno, danos causados, cidade e estado são dadas ao usuário através de um formulário para que uma pesquisa possa ser feita. Executada a busca, todos os dados registrados no banco são retornados de acordo com os parâmetros de pesquisa. Os dados podem ser vistos na própria página de *Internet*, como também há a opção de baixar em um arquivo texto todas as informações exibidas.

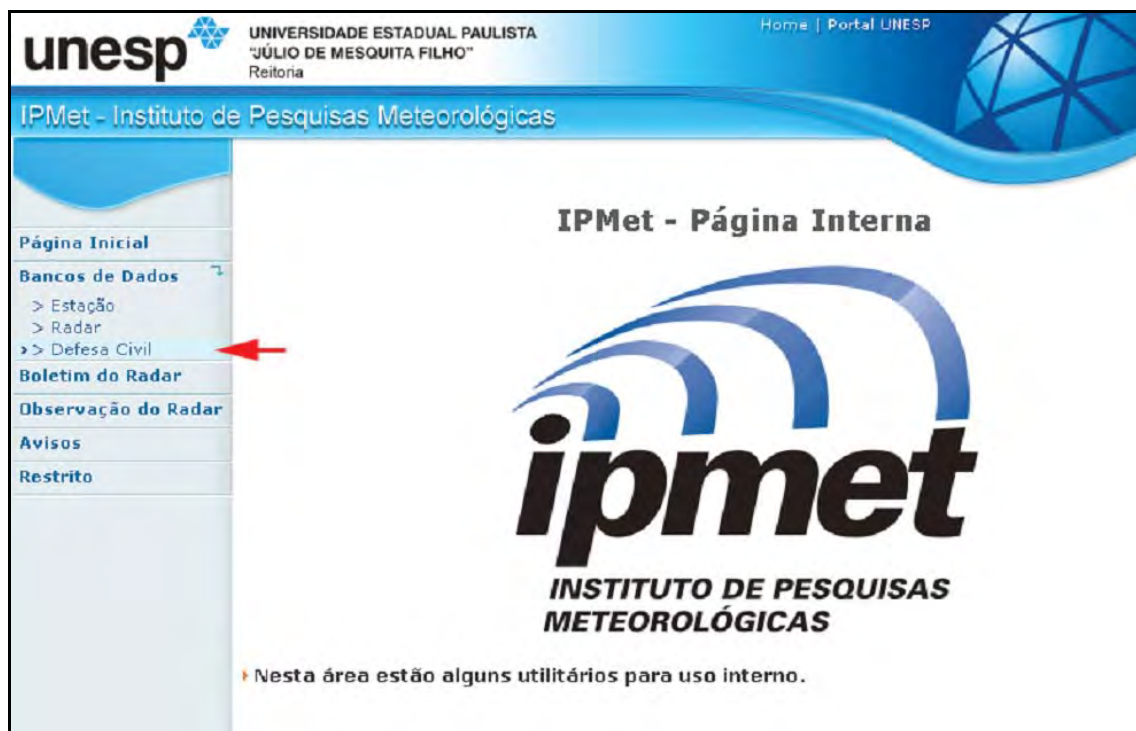


Figura 17 – Página principal de acesso ao Banco de Dados da Defesa Civil.

É possível escolher o tipo de dano a ser estudado ou todas as ocorrências daquele dia, naquele local, além disso, pode-se estudar um município específico dentro do limite do estado de São Paulo.

Na Figura 18 é apresentada a opção de todos os fenômenos que podem ser selecionados para um período desejado, no caso de 01 de janeiro de 2000 até 27 de março de 2009.

A opção escolhida para a demonstração foi a palavra **Todos**, cuja opção vai buscar no banco todos os fenômenos ocorridos neste período.

Na página de acesso (Figura 19), o título SIMPAT (Sistema Integrado de Monitoramento, Previsão e Alerta de Tempestades para as Regiões Sul-Sudeste do Brasil) representa o nome do projeto de pesquisa apoiado financeiramente pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), em que o banco de dados foi implementado no âmbito desse projeto. Nessa mesma figura é possível a visualização de todos os danos e ocorrências contidas no banco de dados. Se o interesse for pesquisar um dado específico, é só pressionar a *mouse* sobre a opção desejada. Porém, se o intuito for verificar todos os eventos do período, basta acionar a opção **Todos**.

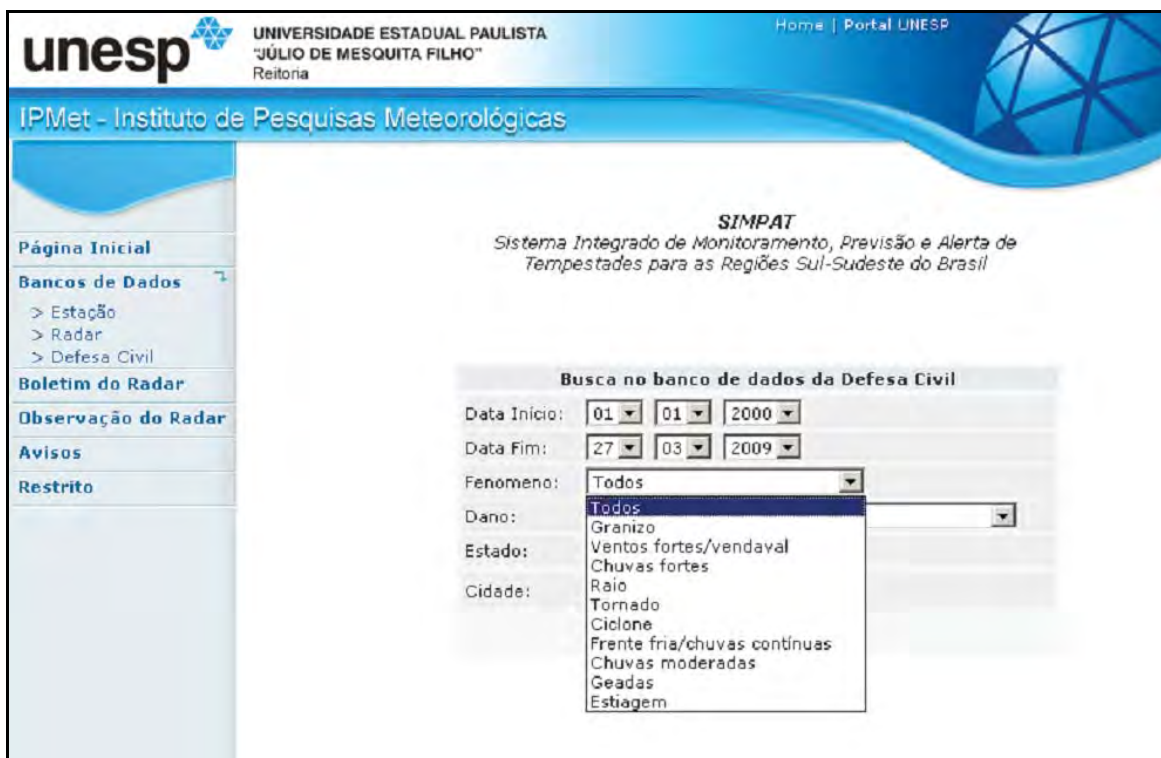


Figura 18 – Página de acesso aos fenômenos.

Na Figura 20 é apresentado o resultado da pesquisa realizada no banco de dados, contendo todas as informações da localidade desejada, constando horário da ocorrência, fenômeno causador e todos os danos decorrentes, inclusive com número de vítimas fatais, feridos, desabrigados e desalojados.

Para adicionar os dados no banco há duas alternativas: a primeira, através de uma rotina que utiliza arquivos texto extraídos de planilhas *Excel*. Essa alternativa só é aplicada caso os dados tenham sido passados já no formato de planilhas. Para a leitura dos dados e, posteriormente, gravação no banco de dados, um *script php* foi escrito para ser executado, de maneira análoga a um programa, no terminal de sistemas operacionais *Linux*. O *script* não realiza diretamente a leitura das planilhas, sendo necessário transformá-las no formato CSV. A conversão é simples e pode ser efetuada nos mais comuns editores de planilhas, como o *Microsoft Excel*, que pode ser instalado em um computador cujo sistema operacional seja o *Microsoft Windows*, ou também pode ser convertido por meio do programa *BrOffice Calc* para sistemas *Linux*.

Os programas citados incluem a opção de salvar como CSV, que é um arquivo texto no qual cada coluna de dados é separada por um caracter que, normalmente, é o “ponto-e-vírgula”. No *script*, é necessária a configuração da variável que indica o caminho de onde os arquivos de entrada estão guardados. Ao executar o *script*, ele irá procurar, no

diretório indicado, todos os arquivos CSV; em seguida, fará abertura e leitura de cada um cadastrando seus dados no banco. Caso ocorra algum problema com os dados, a execução é abortada e o erro é retornado para que se verifique o problema.

Figura 19 – Janela de acesso aos danos/ocorrências.

A segunda forma possibilita a inserção de dados por meio de uma interface simples de página de *Internet*, que também fornece a opção de excluir ou alterar uma entrada. Essas páginas somente são utilizadas para gerenciar as informações do banco de dados. Nelas há um formulário (Figura 21) no qual o usuário pode preencher com informações das ocorrências de eventos e cadastrá-las no banco de dados. Além de poder buscar cada caso cadastrado da mesma forma citada anteriormente, o usuário tem a opção de editar uma entrada ou excluí-la, sendo essas opções, alterar e excluir, disponíveis como

*links* logo abaixo de cada ocorrência. Todas as páginas do sistema foram testadas e funcionam nos navegadores *Mozilla*, *Firefox* e *Internet Explorer*, versões superiores a, respectivamente, 2.0 e 7.0.

**Busca no banco de dados da Defesa Civil**

Data Início: 01 01 2002  
 Data Fim: 31 12 2002  
 Fenômeno: Todos  
 Dano: Deslizamento de terra  
 Estado: Todos  
 Cidade: São Paulo

▶ **Clique Aqui para fazer download destes dados no formato txt.**

**Fonte:** Defesa Civil  
**Data do evento:** 13/01/2002  
**Hora:** 22h30  
**Localização:** São Paulo - SP  
**Fenômeno(s):** Chuvas fortes  
**Dano(s):** Deslizamento de terra, Desabamentos/Rachadura/Danos em Imóveis e Congestionamento/Interdição de Via Pública

**Fonte:** Defesa Civil  
**Data do evento:** 16/01/2002  
**Hora:** 06h10  
**Localização:** São Paulo - SP  
**Fenômeno(s):** Chuvas fortes  
**Dano(s):** 15 Desabrigado(s), Deslizamento de terra e Desabamentos/Rachadura/Danos em Imóveis  
**Total de Vítimas:** 15

**Fonte:** Defesa Civil  
**Data do evento:** 12/02/2002  
**Hora:** tarde  
**Localização:** São Paulo - SP  
**Fenômeno(s):** Chuvas fortes  
**Dano(s):** 3 Vítima(s) fatal(is), Queda de Árvores, Alagamentos, Deslizamento de terra, Queda de Muro e Pessoa arrastada pela enxurrada  
**Total de Vítimas:** 3

**Fonte:** Defesa Civil  
**Data do evento:** 03/03/2002  
**Hora:** sem informação  
**Localização:** São Paulo - SP  
**Fenômeno(s):** Chuvas fortes  
**Dano(s):** 2 Ferido(s) , Transbordamento de Rios e Córregos, Alagamentos, Deslizamento de terra, Queda de Muro e Desabamentos/Rachadura/Danos em Imóveis  
**Total de Vítimas:** 2

▶ **Sua pesquisa retornou 4 resultado(s).**

Figura 20 – Tela de busca do sistema com uma consulta realizada.

Para que o sistema fosse construído, foi necessário programas como: servidor http, interpretador de linguagem de servidor, sistema operacional e banco de dados. Todo o sistema foi construído utilizando *softwares* livres de código aberto. São eles: *Apache 2.2.3*

(servidor http); *PHP 5.2* (interpretador php); *Debian 4* (sistema operacional do servidor); *Mysql 5.0* (banco de dados).

Além de o sistema ter sido planejado para usar programas gratuitos, sua interface está disponível como página de *Internet* que é algo comum e amigável ao usuário.

Dados da defesa civil	
Fonte	<input type="text" value="Defesa Civil"/>
Data	<input type="text" value="09/01/2001"/> (DD/MM/AAAA)
Hora	<input type="text" value="início da noite"/>
Duração	<input type="text"/>
Localização	<input type="text" value="São Paulo"/> <input type="text" value="SP"/>
Fenômenos	
<input checked="" type="checkbox"/> Granizo	<input type="checkbox"/> Ciclone
<input type="checkbox"/> Ventos fortes/vendaval	<input type="checkbox"/> Frente fria/chuvas contínuas
<input type="checkbox"/> Chuvas fortes	<input type="checkbox"/> Chuvas moderadas
<input type="checkbox"/> Raio	<input type="checkbox"/> Geadas
<input type="checkbox"/> Tornado	<input type="checkbox"/> Estiagem
Danos	
<input type="checkbox"/> Sem informação	
<input type="checkbox"/> Desabrigado(s) ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input type="checkbox"/> Desalojado(s) ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input type="checkbox"/> Ferido(s) ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input type="checkbox"/> Vítima(s) fatal(is) ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input type="checkbox"/> Queda de Barreira ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input checked="" type="checkbox"/> Queda de árvores ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input checked="" type="checkbox"/> Transbordamento de Rios e Córregos ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input type="checkbox"/> Danos em Pontes ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input checked="" type="checkbox"/> Inundações Graduais ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input type="checkbox"/> Enchentes ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input checked="" type="checkbox"/> Alagamentos ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input type="checkbox"/> Deslizamento de terra ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input type="checkbox"/> Queda de Muro ( <input type="text"/> Vítimas )	
<input checked="" type="checkbox"/> Desabamentos/Rachadura/Danos em Imóveis ( <input type="text"/> Vítimas )	

Figura 21 - Parte da tela de alteração / inserção dos dados

## **6 ESPACIALIZAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS E OCORRÊNCIAS CALAMITOSAS**

A espacialização aqui apresentada se refere aos movimentos de massa: erosão, escorregamentos de encosta, deslizamentos e quedas de barreiras no estado de São Paulo no período de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2008, utilizando as informações do banco de dados (Figuras 29 a 32).

### **6.1 MAPAS REFERENTES À OCORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA**

A integração dos mapas permite atingir o objetivo na identificação de áreas suscetíveis aos movimentos de massa com as principais caracterizações de cada um deles.

A grande unidade geológica do estado de São Paulo constitui-se de rochas diversas, por processos distintos, compondo o que tradicionalmente se chama de complexo cristalino (por ser formado essencialmente de rochas magmáticas e metamórficas), ou basal (por se posicionar estratigraficamente sob mantos sedimentares) e que representa o embasamento da plataforma. Este embasamento se expõe em vastas regiões brasileiras, importando aqui a faixa costeira, onde configura o Escudo Atlântico.

As regiões onde ocorreram os eventos no estado de São Paulo foram identificados no mapa geológico (Figura 23 e 24) com características do Complexo Cristalino, Formação Quaternária, Litorânea e Taubaté.

O mapeamento do sistema de relevo (geomorfologia) se baseia em distinguir as regiões, áreas cujos atributos físicos sejam distintos das áreas adjacentes. Isto leva à subdivisão da região em áreas de dimensões variáveis desde dezenas até algumas centenas de km<sup>2</sup>, onde é comum existir um padrão recorrente de topografia, solos e vegetação. A geomorfologia é a chave para a compreensão do meio físico, identificando os limites entre os sistemas com base nas características do relevo, suas unidades, incluindo variedades, e os atributos de seus elementos.

A compartimentação geomorfológica se coloca então como ponto de partida natural para a compreensão e cadastramento dos dados de interesse geotécnico que dizem respeito principalmente a essa pesquisa, o que pode resultar, dependendo da compatibilidade das informações disponíveis, na elaboração de cartas de risco.

A geomorfologia dos locais dos eventos foram localizados no mapa (Figura 25) para identificar a suscetibilidade das ocorrências de acordo com a proximidade das Serras Costeiras, Baixadas Litorâneas e Morraria Costeira.

Na Figura 22 está representado o mapa de uso e ocupação do solo, que permite conhecer a forma como o solo de uma região é ocupado, fornecendo informações sobre tipos de vegetação, ocupação urbana, agricultura, entre outras. O conhecimento das áreas urbanizadas, de áreas permeáveis (que permite a infiltração de água no solo, livre de qualquer edificação), e as áreas agrícolas confrontadas com o mapa geomorfológico e geológico, facilita os estudos das áreas atingidas pelos movimentos de massa.

Outra contribuição importante para essa pesquisa é a análise das chuvas, indutoras das ocorrências calamitosas, identificando nos locais atingidos as médias plurianuais (Figura 27). Cabe ressaltar aqui que as informações contidas nesse mapa, quando confrontadas com os dados de histogramas mensais, ou até mesmo diário, fornecem uma dimensão qualitativa do quanto um determinado evento pode ter afetado uma certa região, dependendo de sua geomorfologia, geologia e o tipo de ocupação.

Os movimentos de massa incluem as quedas de barreiras, que são os escorregamentos que atingem o leito de uma pista de rodagem. Geralmente esses taludes sofreram modificações antrópicas, modificando o meio com as construções das rodovias, que dependendo de seu processo executivo ou solicitação a que foi submetido devido a esse dano em consequência de um evento severo, torna-se instável. Para auxiliar a localização dessas quedas de barreiras, foi utilizado o Mapa Rodoviário do estado de São Paulo com as principais estradas federais (DER, 2004).



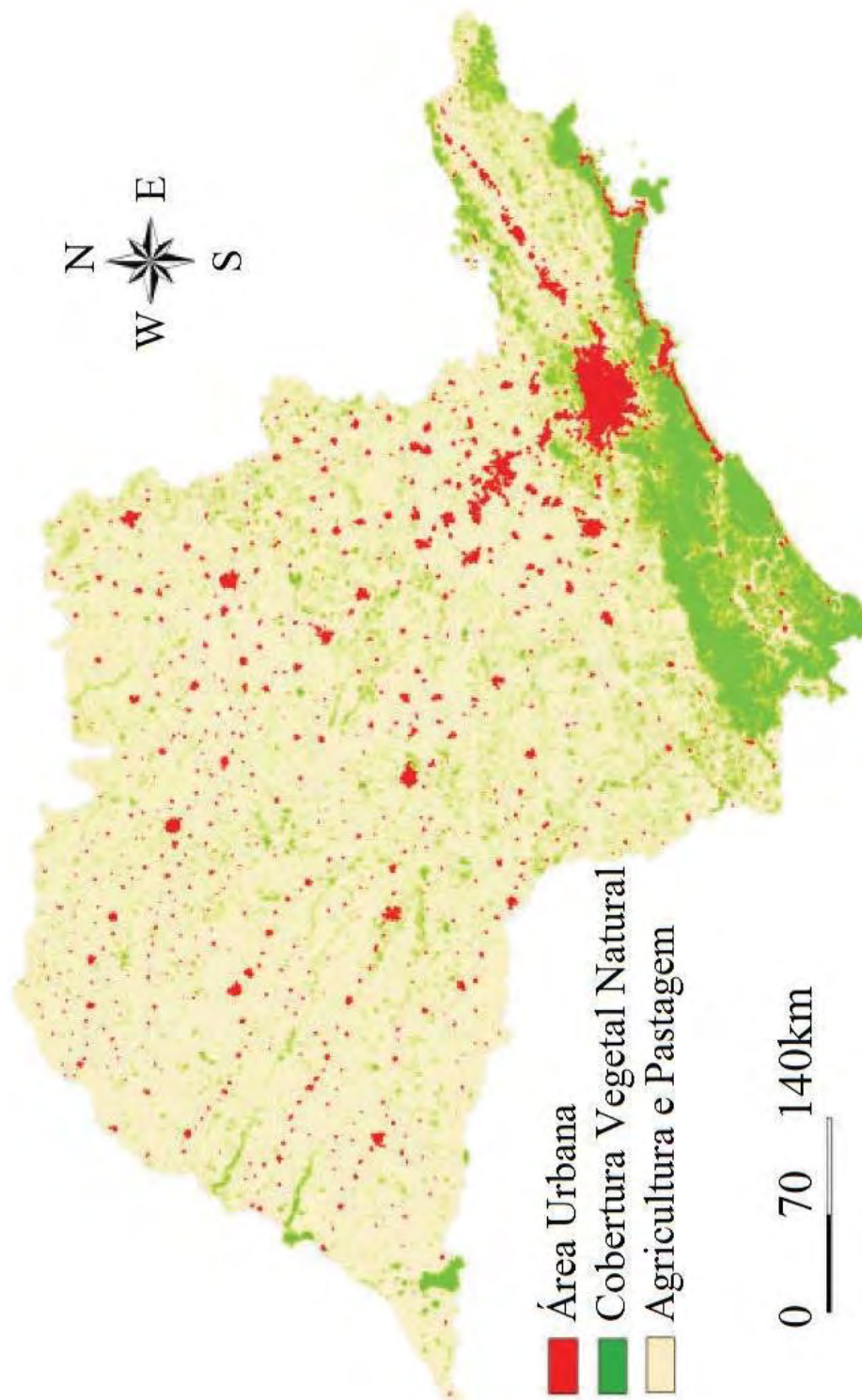


Figura 22 - Aspecto geral da ocupação do território paulista. Fonte: *Apud* Rocha (2005).

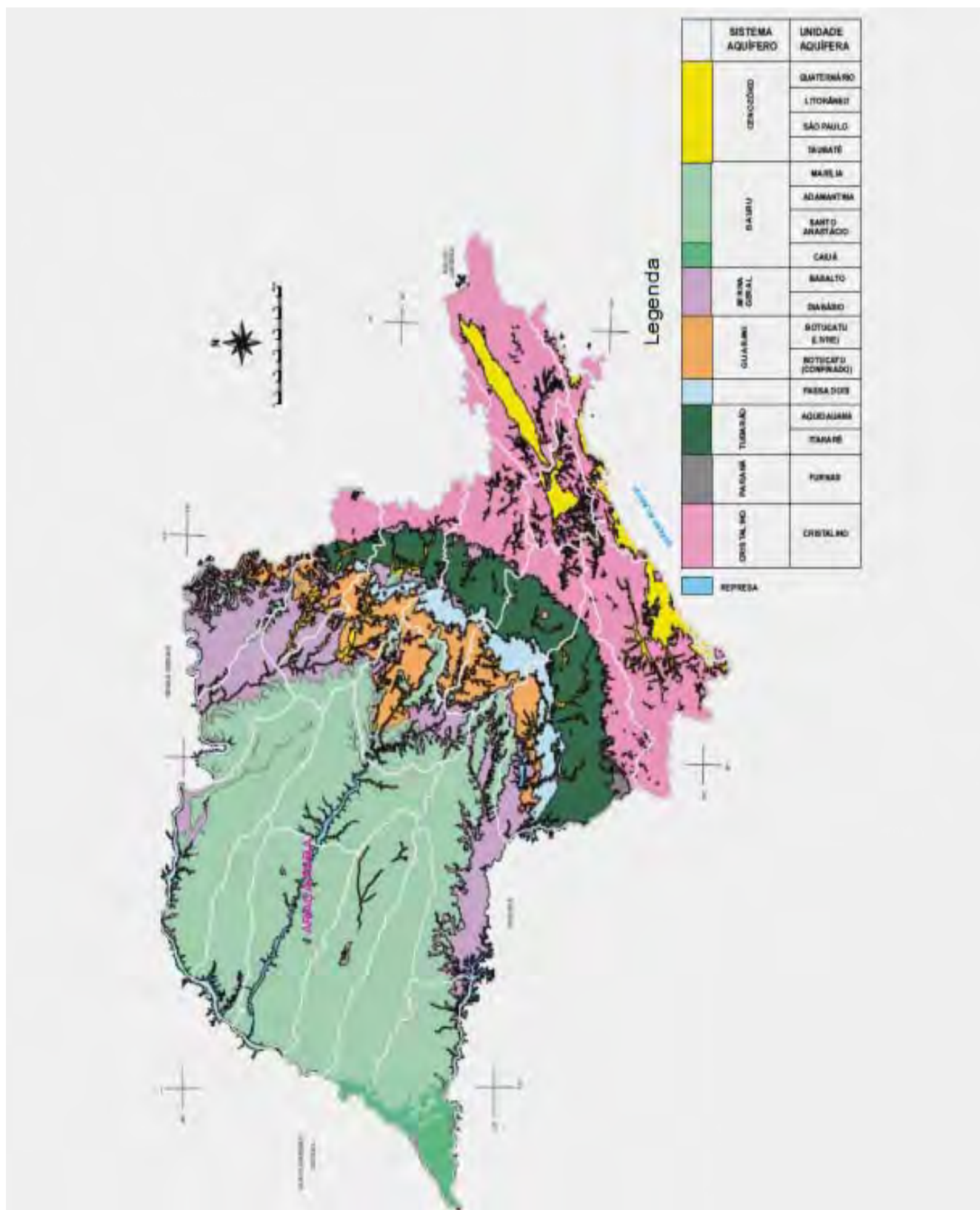


Figura 23- Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Fonte: IBGE (2005).

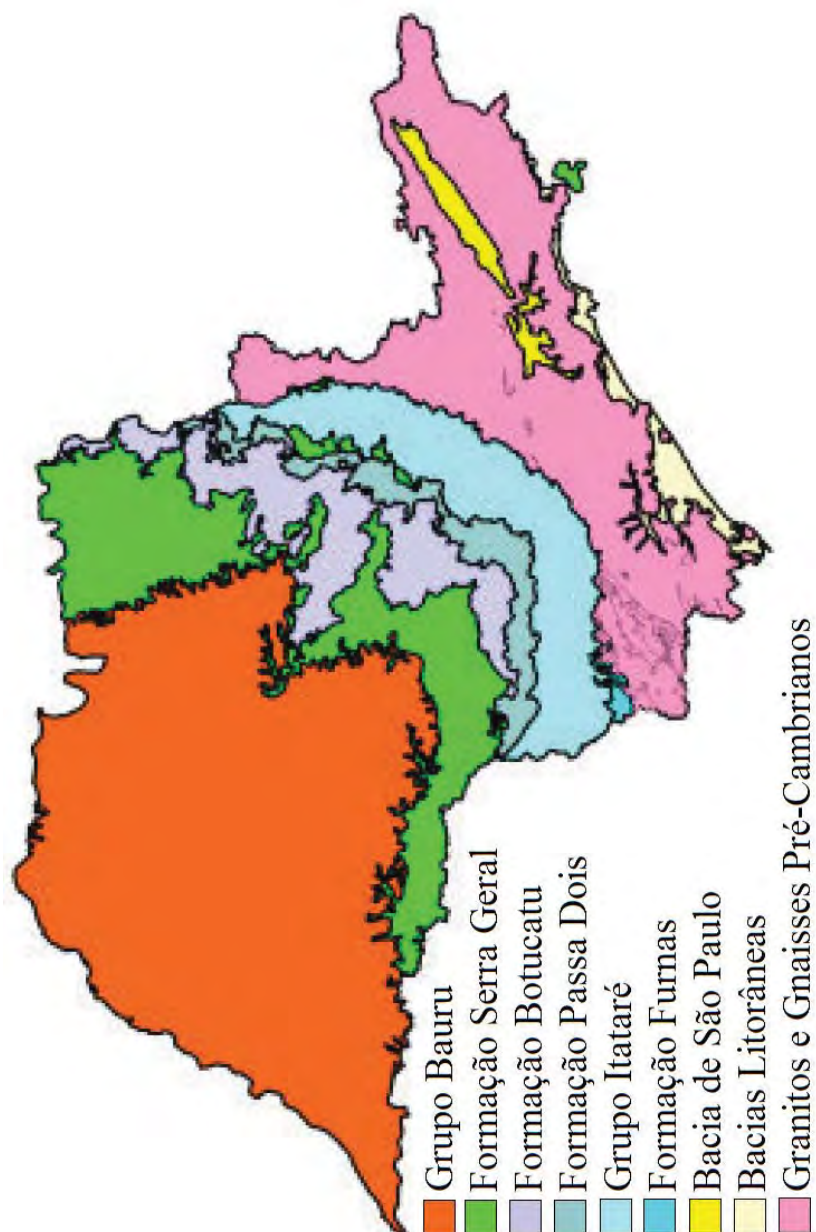


Figura 24- Mapa Geológico Geral do Estado de São Paulo. Fonte: *Apud* Rocha (2005). Sem escala e direção na fonte original.

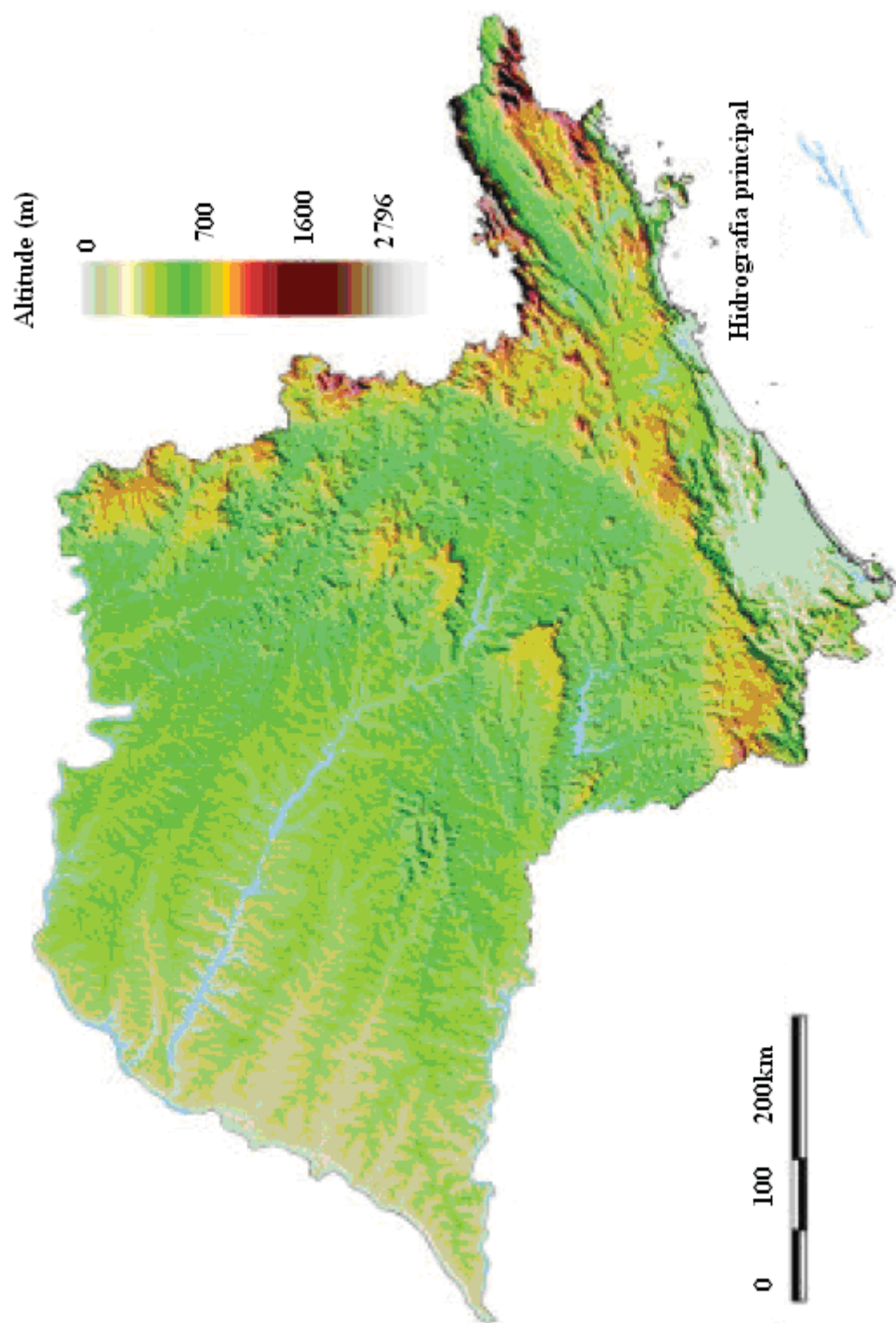


Figura 25 - Aspecto Geral do Relevo Paulista. Fonte: *Apud* Rocha (2005). Sem direção na fonte original.

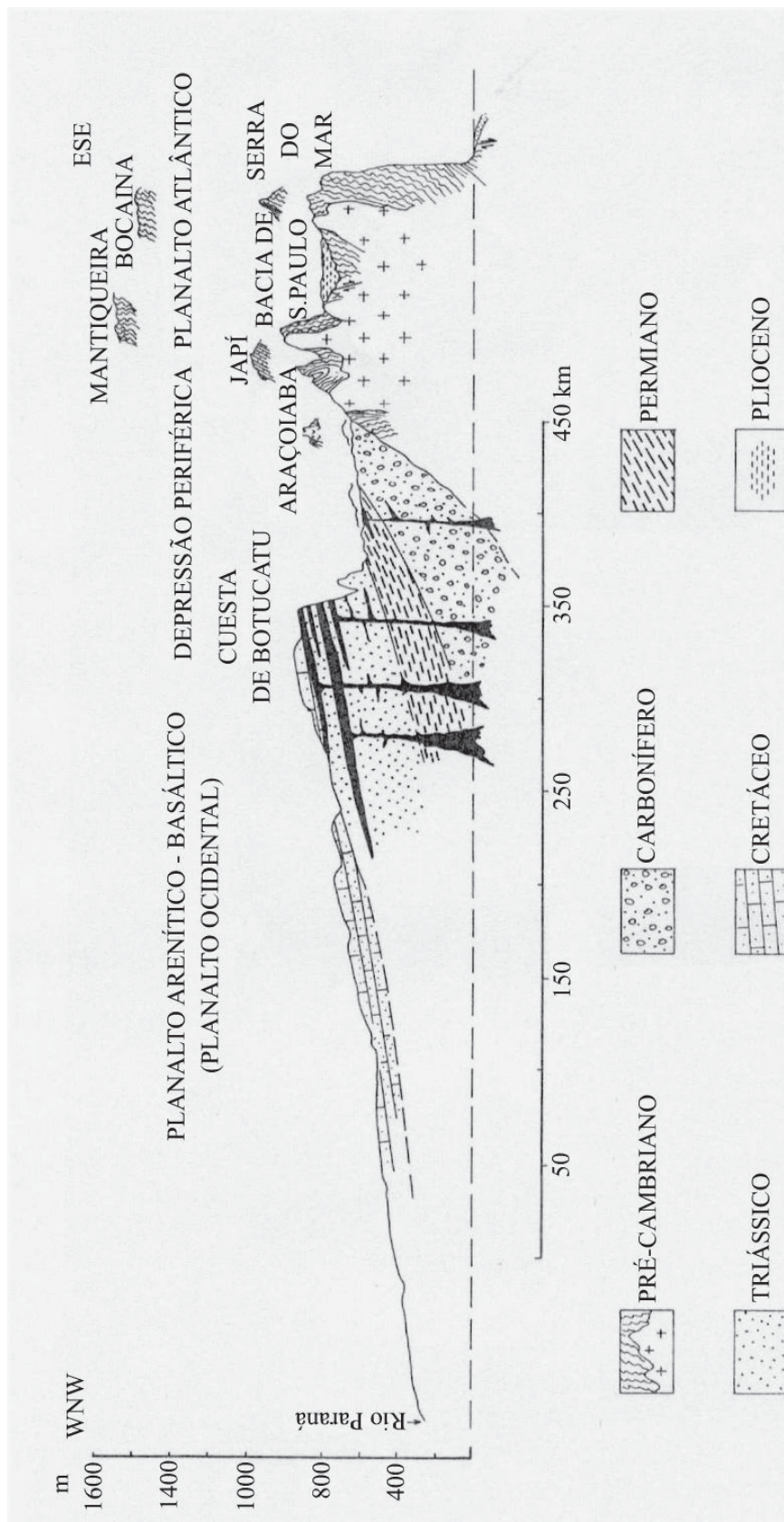


Figura 26 - Seção Geológica Esquemática do Estado de São Paulo, WNW. Fonte: *Apud* Rocha (2005).

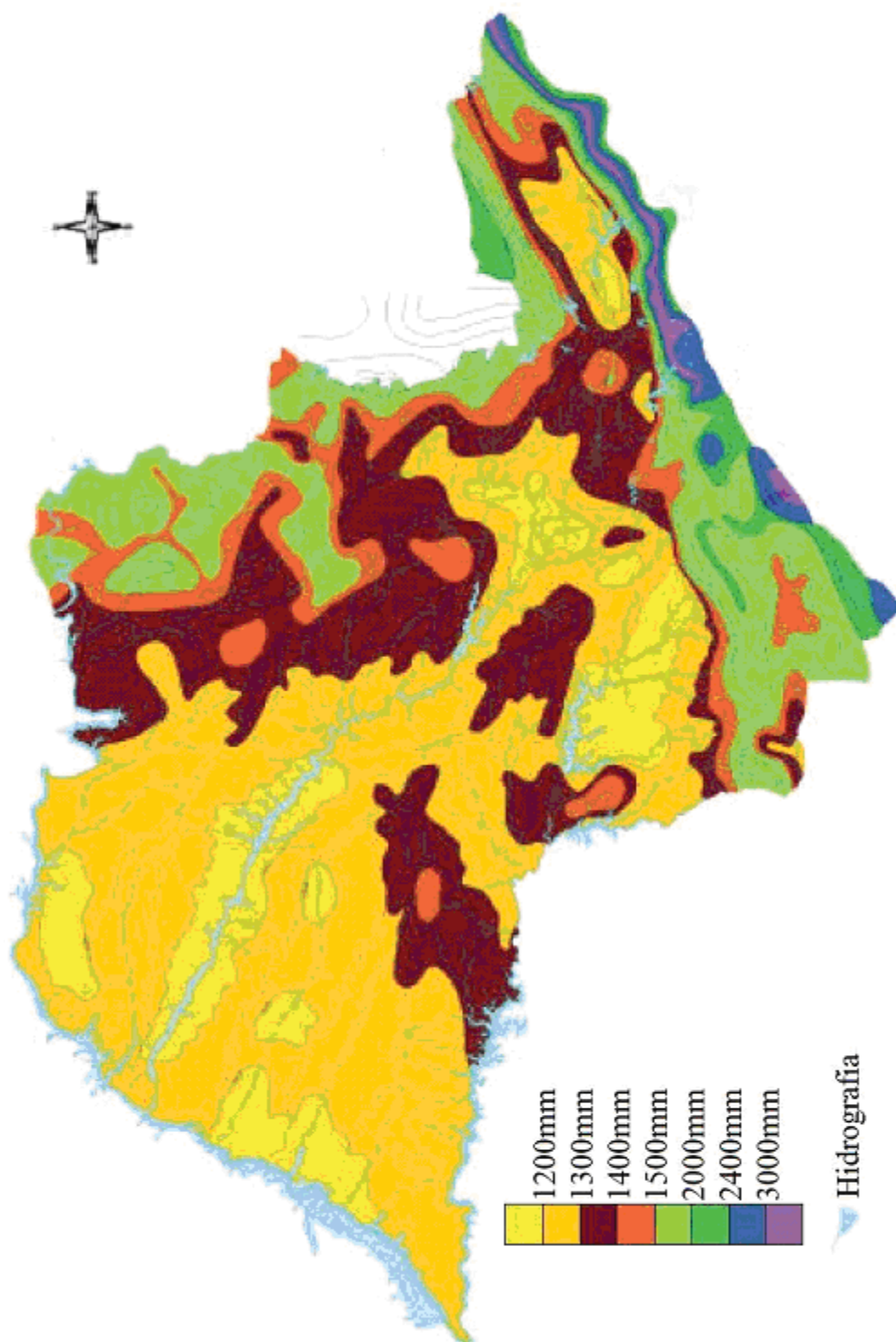


Figura 27 - Chuva média anual (período 1941-1970). Fonte: *Apud* Rocha (2005). Sem escala na fonte original.

Para o mapa de erosão apresentado na Figura 28, foram notificados 74 casos, que ao serem espacializados mostraram que a maior concentração está no município de Bauru, com 14 ocorrências. Esse resultado já era esperado, uma vez que esse local apresenta alta suscetibilidade às erosões (Modaelli *et al*, 2009). A cidade de São Paulo registrou cinco eventos.

Confrontando-se o mapa gerado das ocorrências de erosões, apresentado na Figura 28, com os mapas das Figuras 22 e 27 (uso e ocupação e pluviosidade plurianual), nota-se que essas duas regiões são totalmente distintas, em termos de clima, geologia, geomorfologia e densidade demográfica, mostrando assim, que a análise e a tomada de medidas mitigadoras não podem ser generalizadas e sim específicas por região.

Por outro lado, se forem consideradas as unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos na região de Bauru, nota-se que 20 casos estão concentrados nas UGRHI 13, Tietê/Jacaré e UGRHI 16, Tietê/Batalha (Figura 31). Essa região é caracterizada por intenso desmatamento e por atividade agrícola, sendo que as médias anuais variam entre 1200 e 1600 mm, com solo predominantemente arenoso, da Formação Serra Geral e Grupo Bauru. Percebe-se que as ocorrências não se concentram apenas nos meses mais chuvosos (Figura 29), entre dezembro e fevereiro, ao contrário do que se observa no município de São Paulo, em que o desmatamento se deu mais por ocupação antrópica desordenada (Figura 30).

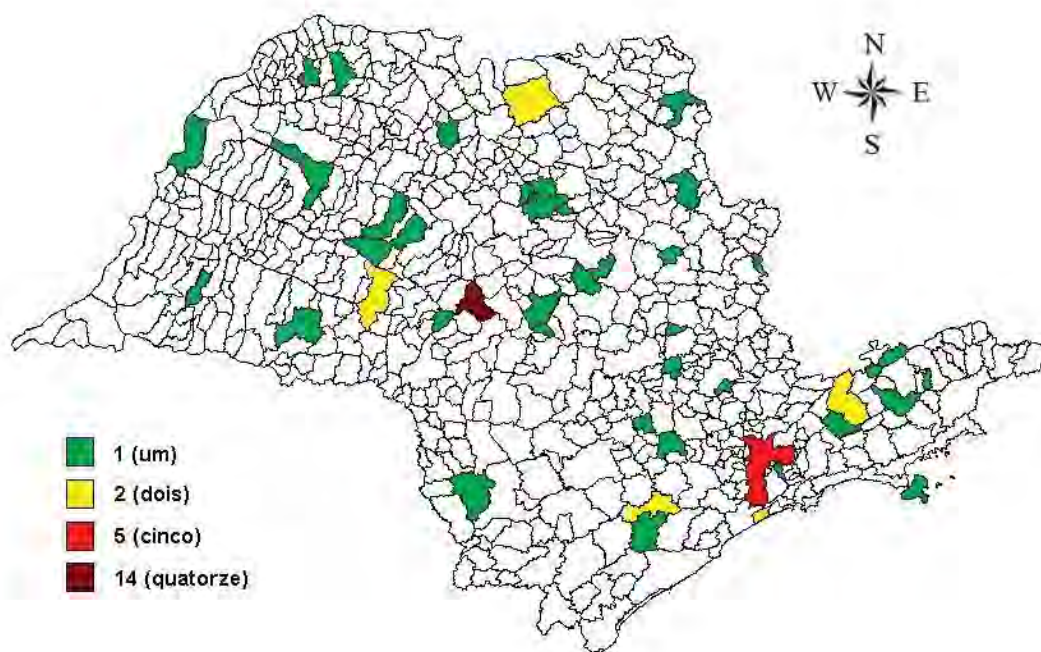


Figura 28 - Ocorrências de erosão notificadas pela Defesa Civil no período de 2000 a 2008.

Nas figuras 31 e 32, são identificadas as UGRHI (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos) das regiões afetadas pelas erosões.

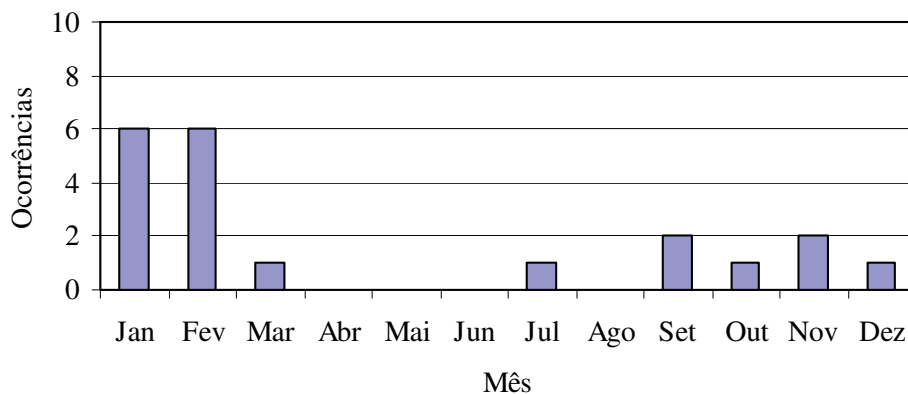


Figura 29 – Histograma das ocorrências de erosões na região de Bauru notificadas pela Defesa Civil para o período de janeiro/2000 a março/2010.

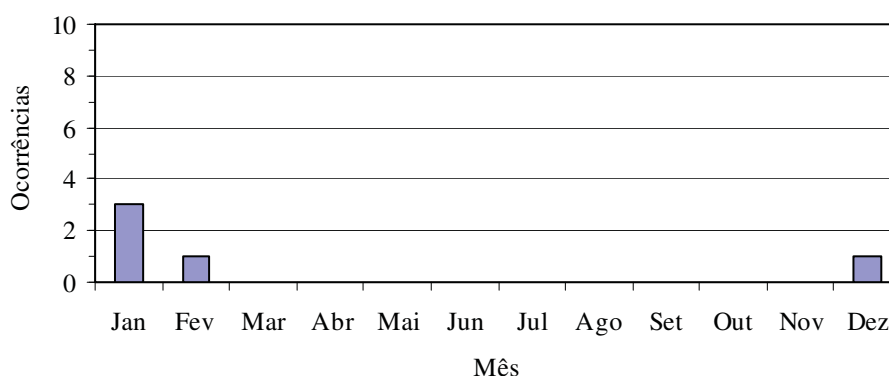


Figura 30 – Histograma das ocorrências de erosões no município de São Paulo notificadas pela Defesa Civil para o período de janeiro/2000 a março/2010.

Em Bauru, a suscetibilidade da erosão pelo desmatamento e pela ocupação agrícola é agravada pelas características do meio físico, em que a geologia local é predominantemente composta por solos arenosos, porosos, tornando a região mais suscetível à erosão, não apenas naqueles meses mais chuvosos do verão. O mês de julho merece destaque para análise, visto que 2007 foi um ano anômalo, pois a precipitação ultrapassou a média histórica de 51,0 mm, com registro de 239,5 mm no município.

No município de São Paulo, região que compreende a UGRHI 6, Alto Tietê (Figura 32), as características do meio físico induziriam a uma baixa suscetibilidade à erosão e o



fator se deve à ocupação desordenada nas áreas de encosta do cristalino e nas margens dos córregos da bacia sedimentar. Embora nessa região a erosão não seja tão intensa quanto na região de Bauru, as consequências acabam sendo relevantes, uma vez que vem causando o assoreamento dos córregos, cujo sedimento acaba sendo depositado nas represas Guarapiranga e Billings, diminuindo a capacidade de armazenamento de água.



Figura 31: UGRHI-16 - Tietê/Batalha e UGRHI-13 – Tietê/Jacaré..



Figura 32: UGRHI-06 - Alto Tietê.

A comparação entre os dois municípios mostra que a forma de interferência antrópica muitas vezes se sobrepõe às características hídricas, geológicas, geomorfológicas e pedológicas do local, induzindo a uma maior suscetibilidade à erosão em regiões que normalmente não apresentariam tais problemas, sendo esse um importante aspecto que deve ser observado pelas autoridades competentes a fim de se evitar possíveis tragédias.

A seguir são apresentados os mapas de escorregamentos de encostas, quedas de barreira e deslizamentos de terra (Figuras 33 a 35), nos quais é possível observar um maior número de ocorrências na região leste do estado. Os locais correspondem aos sedimentos continentais da baixada litorânea, situadas junto ao sopé das escarpas serranas, são áreas com relevos de serras e montanhas, portanto, com alta amplitude e declividade das encostas, suportadas pelas rochas do embasamento cristalino. Trata-se de terrenos de estabilidades precárias, nos quais os movimentos de massa fazem parte da dinâmica natural da evolução do relevo, ocorrendo independentemente da intervenção humana, que, no entanto, tende a torná-los mais frequentes e a potencializar os seus efeitos. Esses locais apresentam evidentes avanços na urbanização, como é possível notar na Figura 22, agravados pelas vias de transposição, como as rodovias e ferrovias que ligam o Planalto à Baixada Litorânea, os dutos para transporte de petróleo e derivados e as linhas de transmissão de energia.

A alta declividade das encostas nas regiões atingidas pelos movimentos de massa faz com que a maior parte das atividades do uso do solo necessite de mudanças em sua geometria. Essas movimentações de terra, se não executadas com critério, constituem o mais importante fator de instabilização das encostas. Essas obras, quando submetidas à infiltração, tanto por águas de chuva, como por vazamentos das redes de água e esgoto, desencadeiam escorregamentos, muitas vezes com intensidades pluviométricas muito menores que aquelas necessárias para instabilizar as encostas que não sofreram algum tipo de intervenção.

Para a realização de uma análise das ocorrências de deslizamentos e escorregamentos, foram observados os locais de maiores incidências com os mapas geológicos, geomorfológicos e o de chuva média plurianual. Observa-se que a maior ocorrência desses movimentos de massa não é necessariamente nos locais em que a média anual é maior, mas está associada à geologia e geomorfologia local, com forte influência da taxa de ocupação, o que mostra a extrema relevância do fator antrópico nesses eventos.

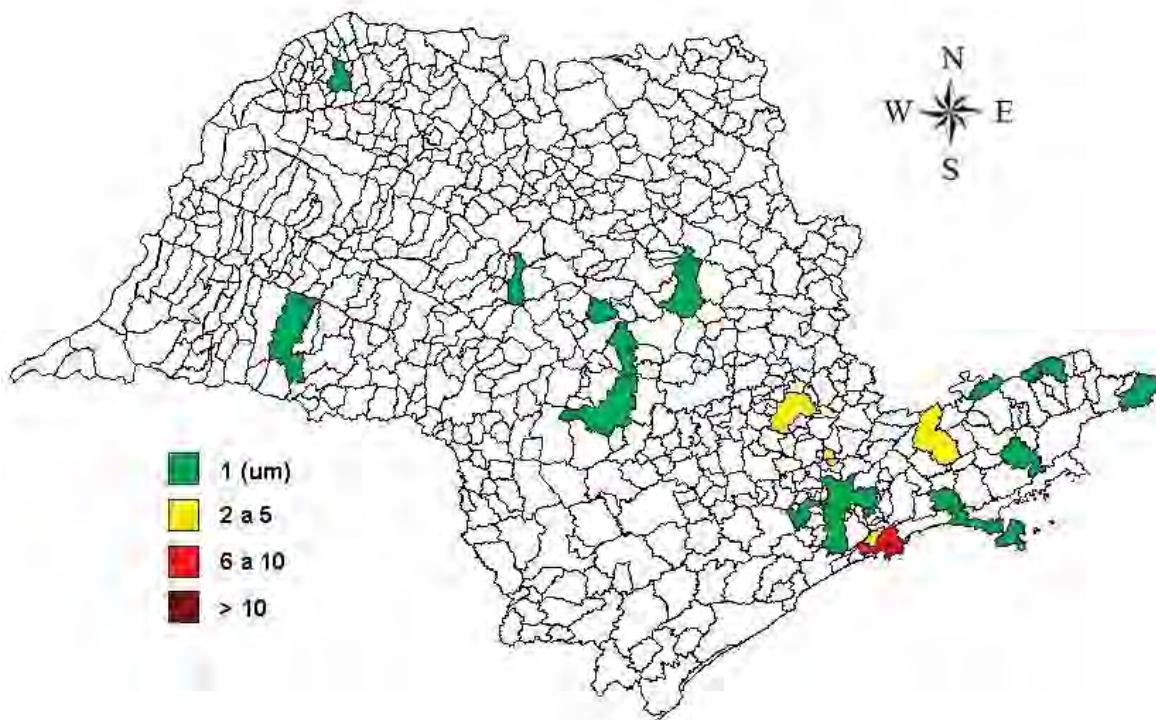


Figura 33 – Ocorrências de escorregamentos de encosta notificados pela Defesa Civil no período de 2000 a 2008.

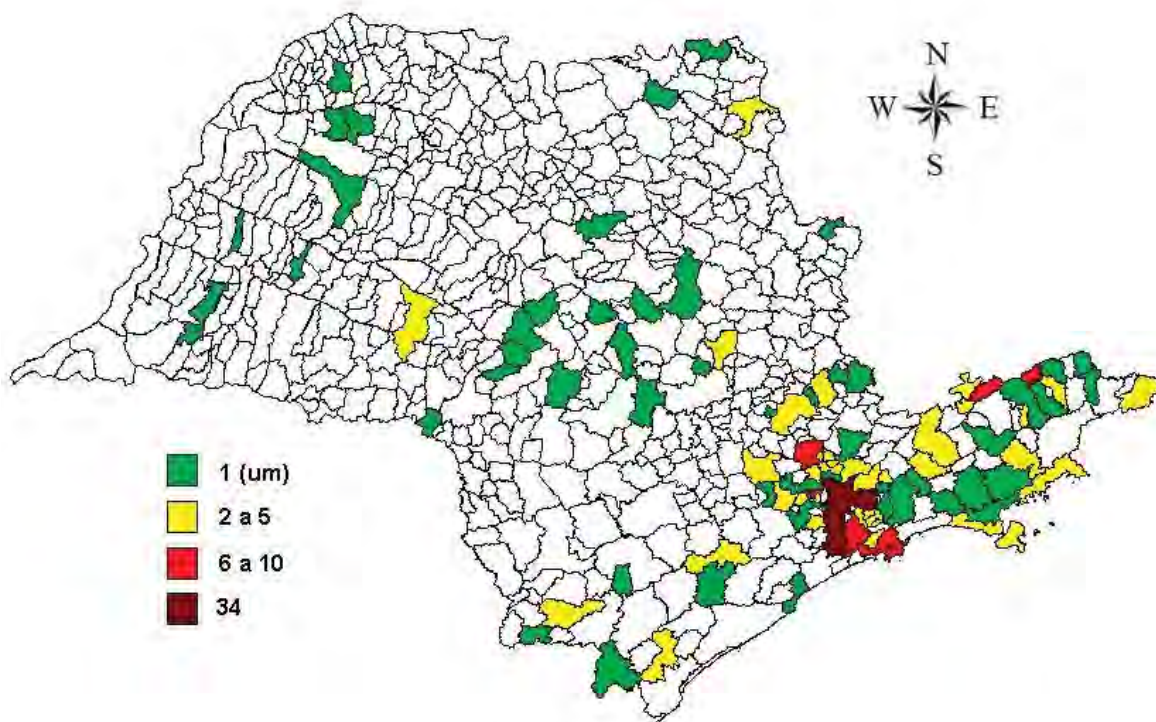


Figura 34 – Ocorrências de deslizamentos de terra notificados pela Defesa Civil no período de 2000 a 2008.

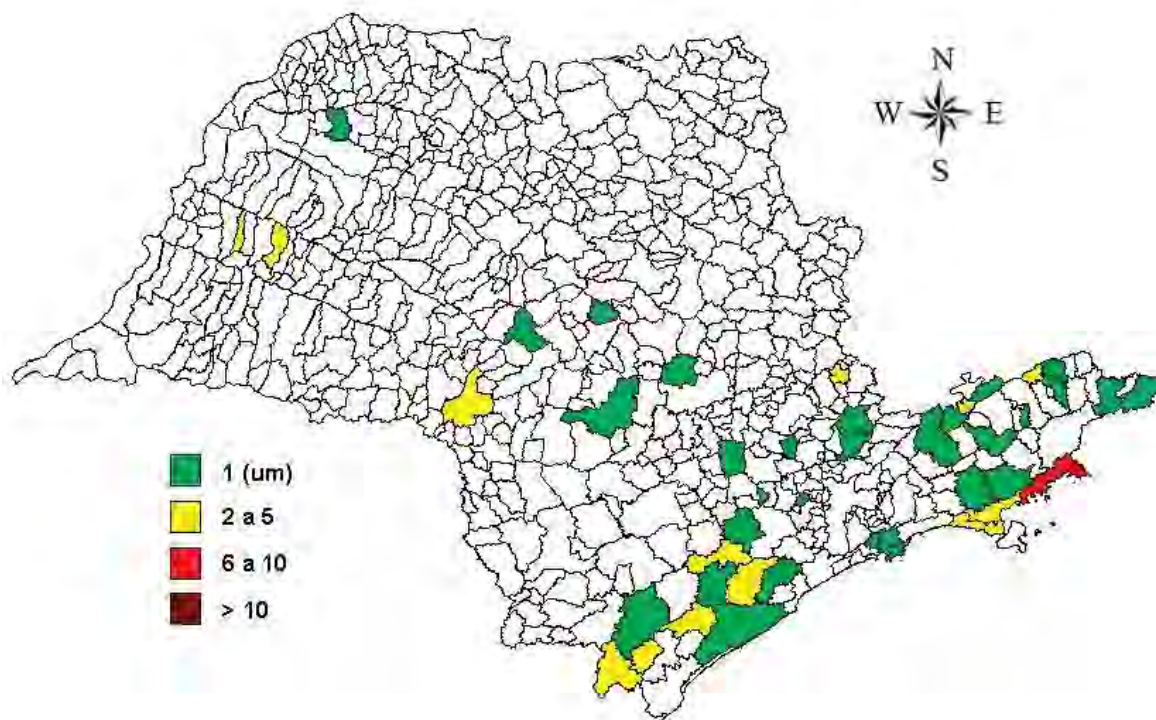


Figura 35 – Ocorrências de quedas de barreiras notificadas pela Defesa Civil no período de 2000 a 2008.

Locais como as cuestas da Serra Geral, nos municípios de Itirapina e Itatinga, são exemplos contrários, em que a geomorfologia é o fator predominante. Porém, o número de ocorrências foi inferior ao observado na Bacia Sedimentar de São Paulo.

Por outro lado, a região que envolve o cristalino e a Serra do Mar é a mais crítica a ocorrências de movimentos de massa e está associada a uma grande incidência de chuvas nessa região.

Uma vez que quedas de barreiras ocorrem em taludes que foram construídos com o auxílio de estruturas de contenção, a incidência de tal dano está relacionada principalmente às rodovias BR116, BR101 e SP055 (DER, 2004), devido ao alto volume pluviométrico nas regiões que essas estradas cortam no estado de São Paulo e ao relevo.

Dessa maneira, os mapas de ocorrência dos danos elaborados, podem servir de suporte logístico para os órgãos tomadores de decisão e que trabalham com a assistência aos vitimados pelos desastres naturais/mistos, também possibilitando medidas preventivas para diminuir os riscos, tendo em vista que eles possibilitam relacionar os impactos dos

indutores, que são distintos de acordo com determinadas regiões do estado, dados os condicionantes físicos.

Na Figura 27 observa-se a média anual pluviométrica levantada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica entre 1941 e 1970. Sant'Anna Neto (1995) fez uma análise geográfica da distribuição de chuvas de 1971 a 1993, chegando a conclusão que houve um aumento de 10% em relação ao período anterior.

Um ponto importante a ser enfatizado, que pode ter colaborado para os resultados até aqui descritos, é a questão dos sistemas meteorológicos responsáveis por estes eventos extremos. Os dois sistemas mais importantes que atuam nesta região são a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Frente Fria (FF). Esses eventos proporcionam grande volume de chuva que pode deflagrar os movimentos de massa na faixa leste do estado de São Paulo, Serra do Mar e suas encostas.

Através da análise de Seluchi (2006) sobre situações atmosféricas relacionadas aos deslizamentos na região da Serra do Mar, foi possível estabelecer que em torno de 50% dos casos de ZCAS que permaneceram sobre o estado de São Paulo por mais de dois dias provocaram a queda de barreira e deslizamentos.

A relação de períodos longos de chuva (ZCAS), com declividades acentuadas aumenta consideravelmente o número de escorregamentos na faixa leste, provocando danos severos às estradas e construções. Vale enfatizar que tanto as Zonas de Convergência do Atlântico Sul como as Frentes Frias são sistemas que produzem chuvas por um período que pode se estender a dias, podendo ocasionar a saturação do solo levando a escorregamentos.

As comparações entre as informações espacializadas das ocorrências dos municípios do estado de São Paulo com os mapas geológicos, de uso e ocupação do solo, relevo e de médias de chuvas, mostraram mais uma vez que a forma de interferência antrópica muitas vezes se sobrepõe às características hídricas, geológicas, geomorfológicas e pedológicas do local, induzindo a uma maior suscetibilidade aos danos aqui apresentados em regiões que naturalmente não apresentariam problemas.

Por outro lado, as informações sobre os eventos atmosféricos severos também auxiliaram nessa identificação através da interpretação dos meses em que os danos aconteceram, ou seja, em Bauru, que fisicamente é mais suscetível à erosão, as ocorrências estenderam-se por vários meses do ano, enquanto que em São Paulo, se limitaram aos meses mais chuvosos.

## 7 MAPEAMENTO DE RISCO DE DESASTRES NATURAIS

Diversos modelos climáticos apontam para um aumento de ocorrências de tempestades severas para a região Sudeste do Brasil. Segundo o ISDR (2008), a maioria dos desastres naturais no mundo computados está associada às tempestades (instabilidades atmosféricas severas), em que se destacam consequentes inundações e movimentos de massa com mortes, como mostra a Figura 36.

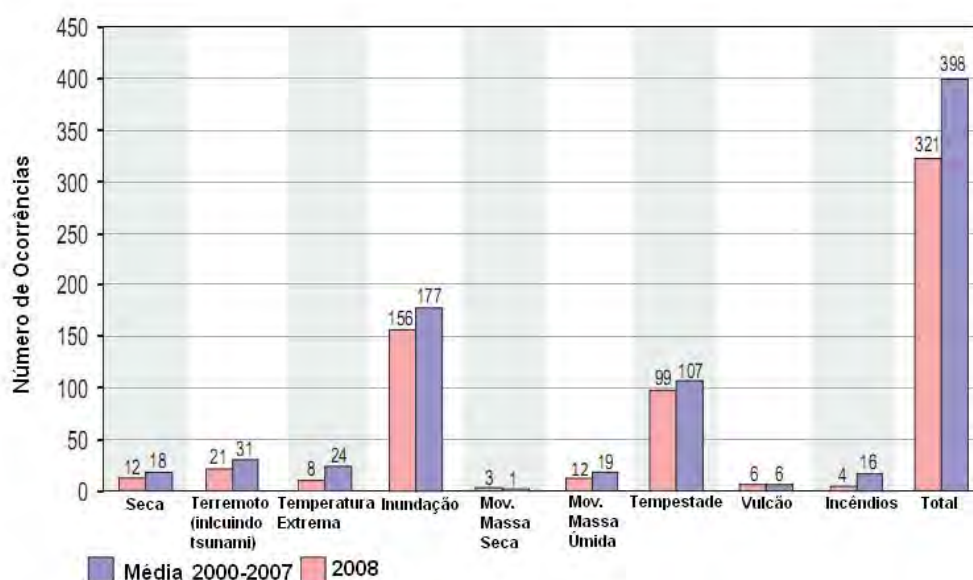


Figura 36 – Ocorrência de Desastres Naturais no mundo por tipos de desastres. Fonte: Modificado pela autora a partir de dados do EM-DAT e ISDR (2008).

O objetivo de realizar o mapeamento de risco de desastres naturais associados às condições atmosféricas severas para o estado de São Paulo, é a identificação de áreas propensas ao risco. Busca-se correlacionar a probabilidade de ocorrência de eventos futuros com a estimativa de danos potenciais com o intuito de minimizar as consequências.

A partir do mapeamento das áreas de risco, é possível elaborar medidas preventivas junto aos tomadores de decisões, numa ação imediata, para criar planos de emergência e

estabelecer ações conjuntas entre a população e o poder público para promover o alerta e a defesa permanente.

As medidas preventivas devem ser tomadas a partir da identificação das áreas com maior potencial de serem afetadas. O banco de dados proporciona a localização e a quantificação de diversas ocorrências decorrentes de eventos meteorológicos extremos no estado de São Paulo. Definido o município, o banco de dados, aqui desenvolvido, pode fornecer, através de uma consulta específica, a localização aproximada dos registros.

Por outro lado, no que se refere à análise dos dados, é necessário o conhecimento da duração (tempo), características (tipologia), magnitude (abrangência) e intensidade (impacto) dos fenômenos.

A Figura 37 refere-se às áreas de risco no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010, quando ocorreram grandes catástrofes causadas por eventos extremos de chuva, na região do Vale do Paraíba, na capital e em outros municípios no estado de São Paulo. Os movimentos de massa deflagrados por esses eventos, causaram muitas mortes e prejuízos em todas essas regiões, chamando a atenção da mídia e causando comoção nacional.

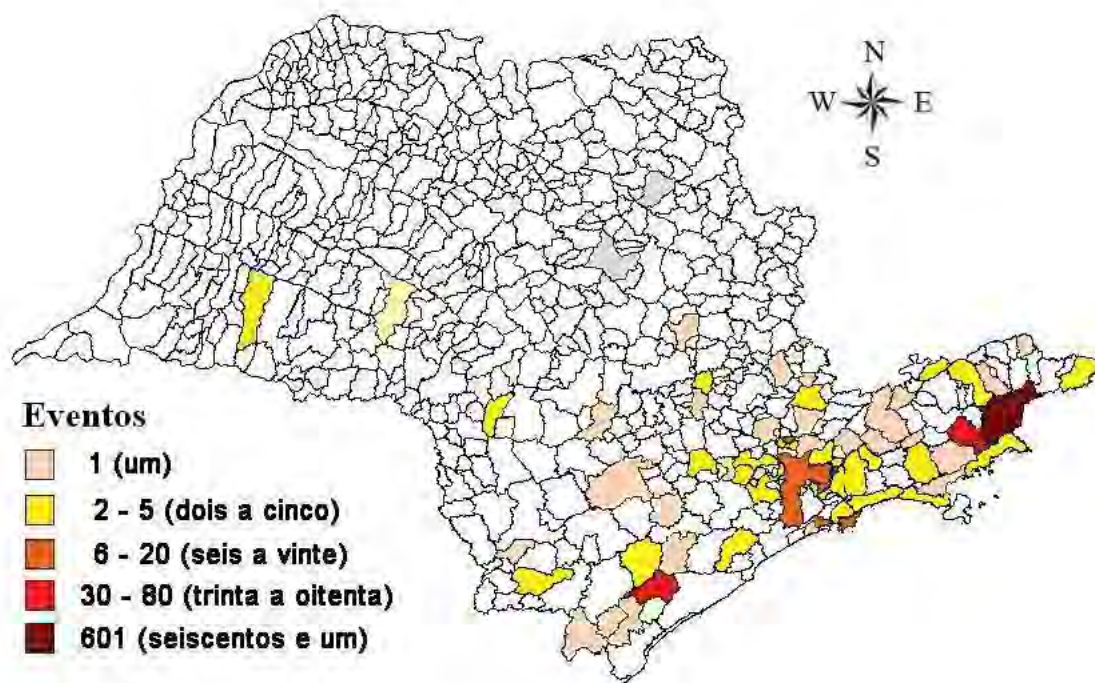


Figura 37 – Ocorrências de movimentos de massa no período de setembro/2009 a fevereiro/2010.

Os danos estudados foram os movimentos de massa codificados como escorregamentos de encosta, quedas de barreira e deslizamentos de terra, notificados pela Defesa Civil do estado de São Paulo.

O critério para a escolha dos municípios analisados foi o número de ocorrências e danos causados e a localização para proporcionar um estudo geológico, geomorfológico, hidrológico e a ocupação do solo, para estudos de áreas de risco.

Foi realizado um acompanhamento dos principais sistemas meteorológicos que atuaram no estado de São Paulo durante esse período para verificar e analisar a intensidade e duração dos sistemas que causaram grandes volumes pluviométricos.

Foram selecionados 15 municípios do estado de São Paulo com ocorrências de escorregamentos, localizados em sua maioria na faixa leste do estado de São Paulo. Esta seleção levou em conta o número de eventos, a quantidade de pessoas afetadas, a geologia, a geomorfologia e a hidrologia do local.

Os eventos de movimentos de massa, envolvendo quedas de barreiras, deslizamentos e escorregamentos de terra atingiram, no referido período, um total de 82 municípios com 892 ocorrências, vitimando 18.520 pessoas, segundo consta no banco de dados. Dentre essas vítimas, destacamos um total de 6.331 desabrigados, 12.085 desalojados, 49 feridos e 55 mortos.

De acordo com a definição do Glossário da Defesa Civil (Castro, 1998), desabrigado é a pessoa cuja habitação foi afetada por dano ou ameaça de dano e que necessita de abrigo provido pelo governo, e desalojado é a pessoa que foi obrigada a abandonar temporariamente ou definitivamente sua habitação, em função de evacuações preventivas, destruição ou avaria grave, decorrentes do desastre, e que, não necessariamente, carece de abrigo provido pelo governo.

Os municípios escolhidos para este estudo foram: Guaratinguetá, São Luiz do Paraitinga, São Paulo, Santos, Ubatuba, Caraguatatuba, Guarujá, Bertioga, São José dos Campos, Jacareí, Jambuí, Natividade da Serra, Paraibuna, Cunha e Araraquara, como é mostrado na Figura 38.

O índice de risco aplicado foi o desenvolvido por Marcelino *et al* (2006), para mapear risco de desastres naturais no estado de Santa Catarina. Os índices de perigo, vulnerabilidade e resposta foram utilizados a partir das ocorrências do banco de dados de desastres naturais dos municípios selecionados no período setembro/2009 a fevereiro/2010. Ressalta-se que estes eventos são somente os casos que ocasionaram danos significativos, constando nos AVADANS da Defesa Civil do estado de São Paulo.



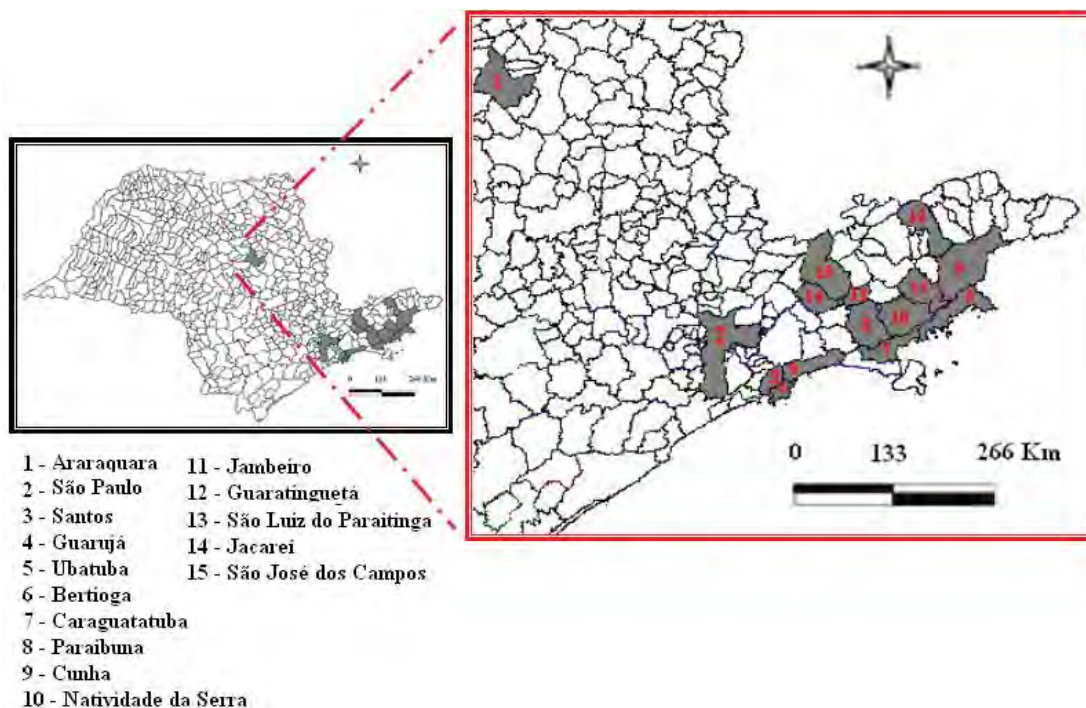


Figura 38 – Municípios atingidos por movimentos de massa selecionados para o estudo.

Os dados das variáveis de densidade demográfica, índice de pobreza, população idosa e índice de desenvolvimento humano municipal, utilizados no cálculo da vulnerabilidade e da resposta, foram obtidos através do software Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB), que utiliza dados do censo de 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Na figura 39 é apresentado o resultado desse cálculo, obtido através da eq. (3) já apresentada no item 4.1, analisando os quinze municípios citados envolvidos nos eventos.

$$R = \frac{P * (DD + IP + PI)}{IDHM} \quad (03)$$

Em que: R = risco;

P = perigo;

DD = densidade demográfica;

IP = intensidade da pobreza;

PI = população idosa (absoluta);

IDHM = índice de desenvolvimento humano municipal.

Os valores de DD, IP, PI e IDHM, foram obtidos segundo a metodologia proposta por Marcelino *et al* (2006), e estão apresentados nas tabelas a seguir (Tabela 16).

Tabela 16 - Valores dos parâmetros utilizados para aferir o risco

	IP	IDH-M	PI	DD	P
Cunha	43,39	0,73	1494	16,4	601
Araraquara	42,36	0,83	14650	180,4	1
Santos	52,89	0,87	46921	1488,01	4
São Paulo	51,19	0,84	670780	6808,1	10
Guarujá	47,42	0,79	11104	1851,83	15
Ubatuba	46,04	0,80	2790	93,2	3
São Luiz do Paraitinga	35,66	0,75	842	16,8	33
Bertioga	48,30	0,79	1101	61,01	2
São José dos Campos	48,92	0,85	23610	488,9	1
Caraguatatuba	49,48	0,80	4186	162,6	1
Jacareí	44,16	0,81	9775	415	1
Jambeiro	43,39	0,78	272	21,7	1
Natividade da Serra	38,24	0,73	650	8,3	1
Paraibuna	38,86	0,77	1125	20,9	4
Guaratinguetá	39,94	0,82	6896	138,1	2

Os valores mínimos e máximos encontrados na Tabela 17 foram obtidos no Atlas de Desenvolvimento Humano (2000), que os disponibiliza para cada município paulista.

Tabela 17 - Valores máximos e mínimos dos parâmetros utilizados

	IP	IDH-M	PI	DD	P
Máximo	61,1	0,92	670780	11630,75	601
Mínimo	21,69	0,65	70	3,92	1

De acordo com os valores apresentados e seguindo os cálculos a partir das equações de risco e vulnerabilidade já apresentados, obtiveram-se os seguintes resultados, (Tabelas 18 e 19).

Tabela 18 – Índices das variáveis consideradas para o cálculo de risco, por município  
(Índices = Valor observado – Valor mínimo/Valor máximo – Valor mínimo)

Índices	IP	IDH-M	PI	DD	P
Cunha	0,551	0,296	0,002	0,001	1,000
Araraquara	0,524	0,667	0,022	0,015	0,000
Santos	0,792	0,815	0,070	0,128	0,005
São Paulo	0,749	0,704	1,000	0,585	0,015
Guarujá	0,653	0,519	0,016	0,159	0,023
Ubatuba	0,618	0,556	0,004	0,008	0,003
São Luiz do Paraitinga	0,354	0,370	0,001	0,001	0,053
Bertioga	0,675	0,519	0,002	0,005	0,002
São José dos Campos	0,691	0,741	0,035	0,042	0,000
Caraguatatuba	0,705	0,556	0,006	0,014	0,000
Jacareí	0,570	0,593	0,014	0,035	0,000
Jambeiro	0,551	0,481	0,000	0,002	0,000
Natividade da Serra	0,420	0,296	0,001	0,000	0,000
Paraibuna	0,436	0,444	0,002	0,001	0,005
Guaratinguetá	0,463	0,630	0,712	0,012	0,002

Tabela 19 - Valores de Risco e Vulnerabilidade por município

	Risco	Vulnerabilidade
Cunha	1,869	0,554
Araraquara	0,000	0,561
Santos	0,006	0,989
São Paulo	0,050	2,334
Guarujá	0,037	0,828
Ubatuba	0,004	0,630
São Luiz do Paraitinga	0,051	0,357
Bertioga	0,002	0,682
São José dos Campos	0,000	0,768
Caraguatatuba	0,000	0,725
Jacareí	0,000	0,620
Jambeiro	0,000	0,552
Natividade da Serra	0,000	0,421
Paraibuna	0,005	0,439
Guaratinguetá	0,003	1,187

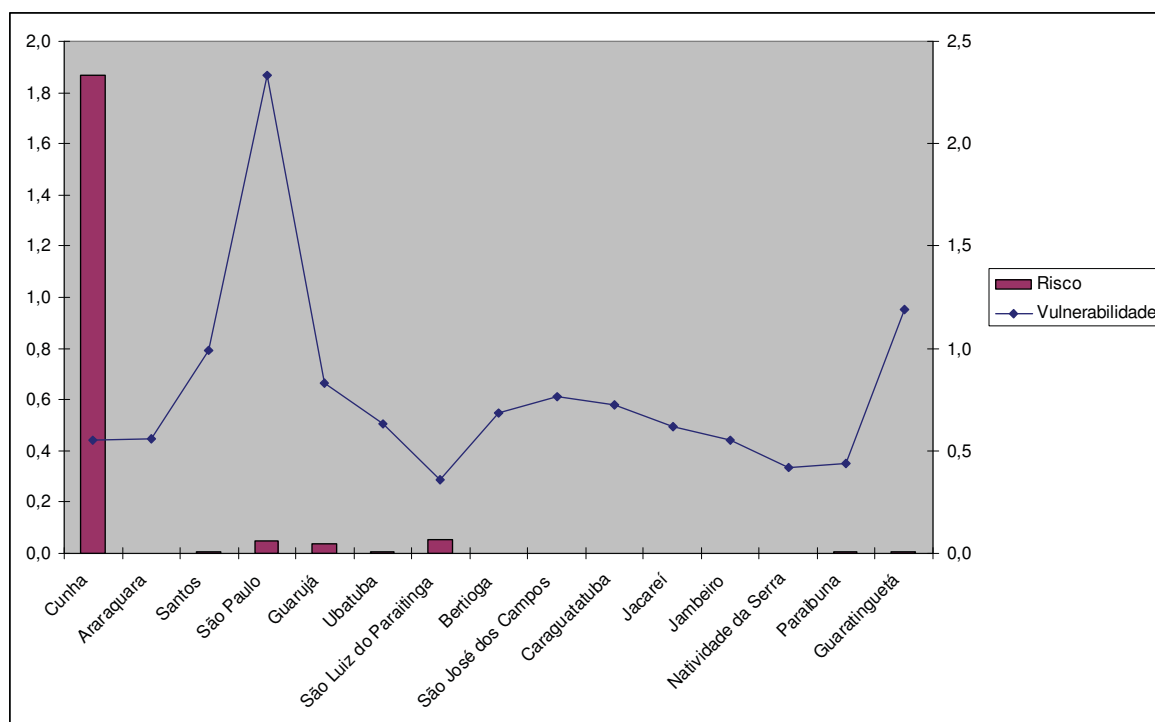


Figura 39 – Gráfico de Risco e Vulnerabilidade para os 15 municípios.

### ***Análise da Vulnerabilidade***

De acordo com o gráfico (Figura 39), Santos, São Paulo e Guaratinguetá foram os municípios que apresentaram maior vulnerabilidade aos desastres naturais, ou seja: caso ocorra um evento calamitoso, estas são as áreas mais propensas a apresentar um maior número de pessoas afetadas. Isto se deve principalmente às variáveis: IP (Índice de Pobreza), DD (Densidade Demográfica) e PI (População Idosa).

A cidade de São Paulo apresenta a maior densidade demográfica elevando o índice de vulnerabilidade do local, assim como a cidade de Santos, por possuir o maior porto do país, e localizado muito próximo a capital. Apesar de ser cidade turística, ela também exibe alta densidade demográfica.

A Baixada Santista, com a presença de um ambiente em permanente fragilidade, devido à proximidade das Serras e com ocupação em áreas de risco por população de baixa renda, torna os municípios vulneráveis com o alto índice de pobreza dos locais, que está relacionada à renda insuficiente da população, considerando sem renda para garantir a sua própria alimentação e moradias adequadas, onde os municípios Santos, São Paulo, Guarujá, Ubatuba, Caraguatatuba, São José dos Campos e Bertioga apresentaram os maiores índices. Outro fator contribuinte é a população idosa nessas regiões, por

oferecerem condições de clima agradável e por já se abastarem de renda segura (aposentadoria), buscam o litoral para viverem com mais qualidade de vida.

### ***Análise do Risco***

Comparando os diversos índices utilizados na aplicação da fórmula, verificou-se que o índice de perigo ( $P_e$ ) foi o que mais influenciou no resultado final. Evidencia-se neste índice o número de ocorrências dos danos, elevando o valor risco para os municípios com reincidências nas ocorrências, como pode ser visto na Figura 38 e demonstrado na Figura 39 com a aplicação da fórmula. Os municípios Cunha, São Paulo, São Luiz do Paraitinga apresentaram os maiores índices de risco, e verifica-se que apresentaram o maior número de ocorrências.

Os municípios que apresentaram valores nulos foi em virtude dos mínimos serem iguais aos valores de  $P_e$  (Tabela 17).

Dos índices utilizados, o que menos afetou o resultado final foi o da resposta (IDHM), não apresentando variação significativa entre os municípios. É importante observar que o município de Santos, cuja economia é significativa, com contribuição das atividades portuárias, de comércio e de turismo, apresente um alto índice de pobreza relativo aos demais municípios, fato atrelado ao entendimento que se tem das condições de pobreza que compõe o índice aqui utilizado.

Confrontando as duas análises, verifica-se que os municípios que apresentaram maiores índices de risco e de vulnerabilidade necessitam de um sistema de monitoramento e alerta de tempestades severas, de planos de desocupação em áreas cuja geologia, geomorfologia favorece os movimentos de massa e campanhas informativas para identificar os sinais da movimentação do solo.

A fórmula apresentou boa eficiência para calcular o índice de vulnerabilidade, enquanto no cálculo dos índices de risco, apresentou uma variação muito pequena para municípios que apresentaram ocorrências variando entre 1 e 5, demonstrando que há a necessidade de adequar a fórmula utilizada nessa pesquisa.

## 7.1 CONDICIONANTES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS AOS EVENTOS

Para o estudo, foram considerados os eventos responsáveis pelas inúmeras ocorrências de deslizamentos, quedas de barreira e escorregamentos de encostas deflagrados por instabilidades atmosféricas severas.

Os meses que compreenderam o maior número de ocorrências referem-se aos meses mais chuvosos (setembro a fevereiro, podendo se estender a março).

De acordo com as informações climatológicas do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo de Estudos Climáticos), o fenômeno *El Niño* com intensidade fraca influencia a distribuição de chuvas e temperaturas na região Sudeste do Brasil, indicando um total pluviométrico entre o normal e acima do normal.

O mês de setembro de 2009 foi marcado pela ocorrência de chuva forte na região Sul do Brasil com a passagem de seis sistemas frontais em conjunto com a presença de cavados semi-estacionários, responsáveis pela formação de áreas de instabilidades sobre essa região. Alguns desses sistemas atingiram o estado de São Paulo entre os dias 08 e 09, quando o deslocamento de uma frente fria vinda do Sul aumentou a convergência de umidade sobre o estado, intensificando as chuvas. Nesses dias ocorreram: dois casos de deslizamentos, um na capital paulista e outro em Apiaí; quatro escorregamentos nos municípios de Santos, Guarujá e Sorocaba, Osasco, totalizando 6 ocorrências, com 6 mortes, 6 feridos, 62 pessoas desabrigadas e 9 desalojados, de acordo com o banco de dados Pellegrina (2009).

Em outubro de 2009 ocorreram nove sistemas frontais, sendo que cinco deles atingiram o estado de São Paulo, com formação de intensas chuvas convectivas, onde os totais pluviométricos estiveram acima da média, especialmente na segunda quinzena desse mês, causados pela formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Esse sistema provocou entre os dias de 18 e 19 de outubro, ocorrências de deslizamentos de terra nos municípios de Jukeí, Itaquaquecetuba e Suzano, e nos dias 26 e 27 de outubro, nos municípios de Cotia, com ocorrência de três feridos, Itapetininga, Araraquara e São Sebastião, com 15 desalojados. No total, foram sete ocorrências de deslizamentos no estado de São Paulo no mês de outubro.

Apenas um sistema frontal conseguiu avançar até o litoral da região Sudeste no mês de novembro de 2009, favorecendo o aumento das chuvas no Sudeste de São Paulo. Esse

sistema ficou estacionário na costa de São Paulo e favoreceu uma ZCAS que perdurou apenas dois dias: 09 e 10. A ocorrência de deslizamento deu-se no dia onze de novembro em Bragança Paulista, deixando 18 pessoas desabrigadas.

As chuvas do mês de dezembro de 2009 estiveram associadas, principalmente, ao aumento de convergência de umidade no setor central do Brasil, reforçada pela formação de um centro de baixa pressão adjacente à costa e pela configuração de vórtices ciclônicos na média e alta troposfera. O volume de chuva superou a climatologia esperada no final do mês na região do Vale do Paraíba, Nordeste de São Paulo, como no município de São Luiz do Paraitinga.

Ao longo do mês de dezembro de 2009, dois sistemas frontais atuaram na região Sudeste do Brasil. Uma onda frontal, com características subtropicais, formou-se a Leste da região Sul do Brasil no dia 3, alinhando o canal de umidade entre Bolívia, Centro-Oeste, Paraná e São Paulo, dando início ao processo de formação de uma ZCAS. Esse sistema persistiu até dia 10, sendo o período de maior intensidade entre os dias 04 e 05, com grande volume de precipitação no estado de São Paulo.

Entre os dias 25 e 31, uma massa de ar úmida e instável dominou parte do Sudeste, simultaneamente, configurando-se uma ampla área de baixa pressão sobre parte de São Paulo e Rio de Janeiro, que ajudou a intensificação da convergência de massa em superfície sobre estes estados, o que se relaciona à ocorrência de eventos extremos de chuva nessa região.

Houve registro de 13 escorregamentos, 35 deslizamentos de terra e 16 quedas de barreira. Os episódios ocorreram em sua maioria nos dias 8, 27, 29 e 31 de dezembro com ocorrências de 2.417 desabrigados, 9.675 desalojados, 21 feridos e 20 mortes.

Durante o mês de janeiro de 2010, nove sistemas frontais atuaram sobre a área de monitoramento do CPTEC, sendo que apenas três entraram no território brasileiro, mais especificamente na Região Sul. Os demais sistemas frontais estiveram restritos aos territórios da Argentina e Uruguai, respectivamente.

Área de baixa pressão, com forte calor e umidade, causou acumulado significativo de chuva na região do Vale do Paraíba, nas cidades de Guaratinguetá, Aparecida, São Luiz do Paraitinga, Pindamonhangaba, Cunha, Ubatuba, Atibaia e capital, com grande número de deslizamentos, alagamentos, desabrigados, desalojados e mortos.

No dia 14 de janeiro, o sistema que estava estacionário no Rio Grande do Sul, já se encontrava afastado do continente com deslocamento bem litorâneo entre a Região Sul e São Paulo, deixando o dia chuvoso na faixa litorânea entre Santa Catarina e o sul paulista.

Seu deslocamento pelo oceano entre o Sul e Sudeste do país favoreceu a configuração de uma ZCAS. A atuação desse sistema favoreceu a ocorrência de chuva forte e acumulado significativo de chuva nas regiões norte, nordeste e leste do estado São Paulo. Em São Sebastião, litoral norte de São Paulo, houve deslizamento de um morro e alagamentos; em Ubatuba e em São José do Rio Preto, houve dezenas de famílias desabrigadas e perdas de vidas humanas.

Entre os dias 20 e 21 de janeiro, uma onda frontal formou-se no litoral entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul. Esse sistema foi para o oceano e favoreceu a formação de uma nova ZCAS entre o sul amazônico, parte do Centro-Oeste e sobre São Paulo, sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Esta ZCAS durou até o dia 23 de janeiro, ocasionando muita chuva na capital de São Paulo, causando estragos significativos. Esse sistema desencadeou muitos deslizamentos com vítimas na cidade de São Paulo.

Um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) atuou entre os dias 24 e 29 de janeiro sobre parte da Região Sul, estendendo um cavado sobre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, o que favoreceu a ocorrência de mais chuvas nestas áreas. As chuvas mais intensas ficaram concentradas no estado de São Paulo. Houve deslizamentos, quedas de barreira e inundações e desabamentos na cidade de São Paulo, Carapicuíba, Francisco Morato e Mairinque.

Assim, é possível verificar que nos últimos vinte dias do mês de janeiro ocorreram eventos extremos de precipitação em grande parte do estado de São Paulo onde, em algumas localidades, os volumes quadruplicaram os valores climatológicos. A cidade de São Paulo teve o recorde de maior acumulado dos últimos 70 anos, com 480,5 milímetros, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde a média para o mês é de 258,0 milímetros. Essa anomalia provocou graves danos materiais e mortes em vários bairros da capital paulista e interior deste estado.

A Defesa Civil do estado de São Paulo apontou 4.979 desabrigados, 7.295 desalojados e 10 mortos somente no mês de janeiro de 2010.

No mês de fevereiro de 2010 foram registrados oito sistemas frontais sobre a área de monitoramento do CPTEC, sendo que apenas quatro entraram no território brasileiro, mais especificamente na Região Sul e Sudeste do Brasil. Os demais sistemas estiveram restritos aos territórios da Argentina e Uruguai.

O início deste mês foi marcado pela presença de uma massa de ar quente, mantendo as temperaturas elevadas, ocasionando assim chuvas fortes no estado de São Paulo. As altas temperaturas causaram óbitos a 32 pessoas idosas na cidade de Santos. Os temporais



causaram alagamentos, inundações, quedas de árvores, com vendavais e raios associados, prejudicando agricultores e colocando muitos municípios em estado de alerta.

Uma ZCAS atuou no Sudeste entre os dias 11 e 13 de fevereiro. Este sistema meteorológico causou algumas chuvas significativas ao longo destes dias, e a partir do dia 13 de fevereiro, o sistema passou a atuar sobre o norte e nordeste do estado de São Paulo, elevando os índices pluviométricos do mês.

A terceira frente fria deslocou-se de forma litorânea, em direção ao sudeste sobre o Atlântico, dando origem a mais um episódio de ZCAS que atuou sobre os estados do Paraná, parte de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso.

Dentre os oito sistemas, o sexto foi o mais significativo do ano, pois além de causar chuvas acima de 100 mm, trouxe uma massa fria derrubando as temperaturas no estado de São Paulo. Ele foi responsável também pela formação de uma terceira ZCOU. Esse sistema provocou 12 deslizamentos e por consequência 74 pessoas ficaram desabrigadas em Cubatão, de acordo com as informações da Defesa Civil do estado de São Paulo. O total pluviométrico em 24 horas durante esse evento chegou a 113,4 mm no alto da Serra, segundo levantamento da Comissão Municipal da Defesa Civil.

A chuva acumulada em dois meses (janeiro e fevereiro) na cidade de São Paulo foi 63,5% maior do que os meses do ano anterior. Em fevereiro, a chuva ultrapassou os 217,0 mm de média esperada, chegando a 243,1 mm.

Os altos volumes pluviométricos demonstram um período bastante chuvoso nos meses estudados, que tiveram os maiores registros de danos, com eventos extremos de precipitação e temperaturas.

As Figuras 40 a 54 apresentam os valores pluviométricos mensais nos municípios selecionados para o estudo com números de ocorrências registrados no mês.

Os pluviogramas apresentados nas Figuras 40 a 54 têm por base valores acumulados mensais, o que permite comparação na quantificação mensal com as médias históricas (Figuras 55 a 60), e verificar o aumento ou o desvio na precipitação mensal de cada município.

O município de Guaratinguetá (Figura 40) apresentou valores pluviométricos mensais dentro da média histórica (Figuras 58 e 59), mas as alturas ficaram concentradas em poucos dias de chuva nos meses de dezembro e janeiro, quando houve os escorregamentos.

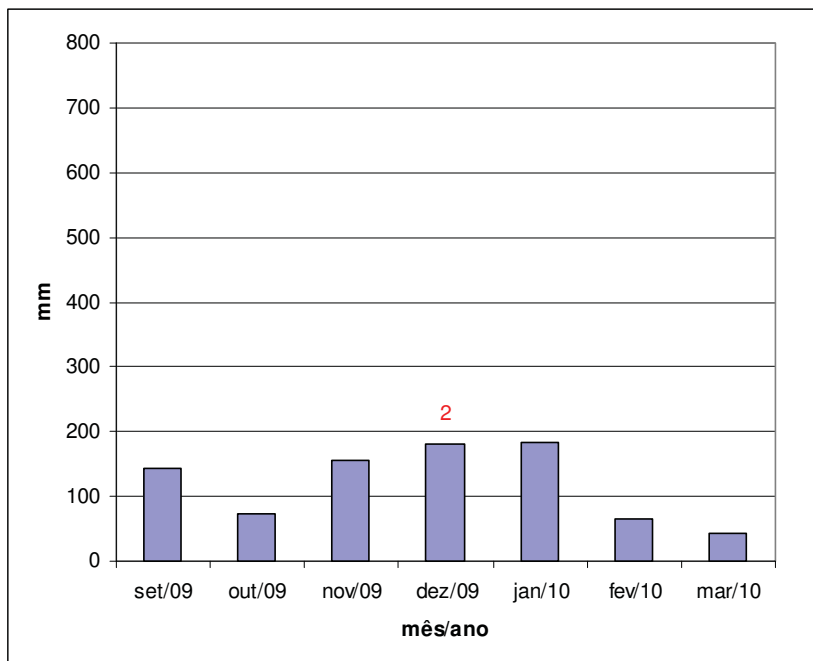


Figura 40 – Dados pluviométricos do município de Guaratinguetá no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com duas ocorrências de escorregamentos no mês de dezembro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

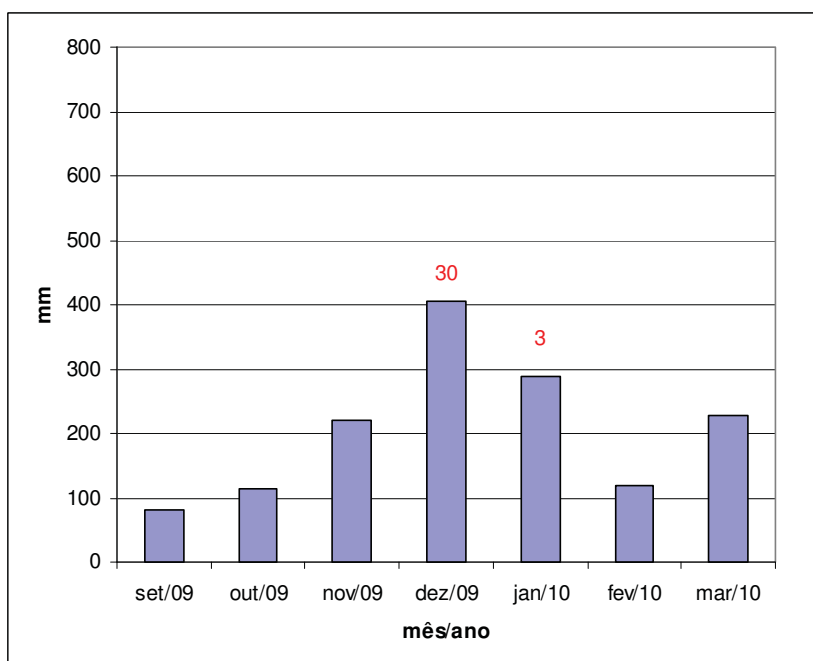


Figura 41 – Dados pluviométricos do município de São Luiz do Paraitinga no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 30 ocorrências de escorregamentos no mês de dezembro e 3 no mês de janeiro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

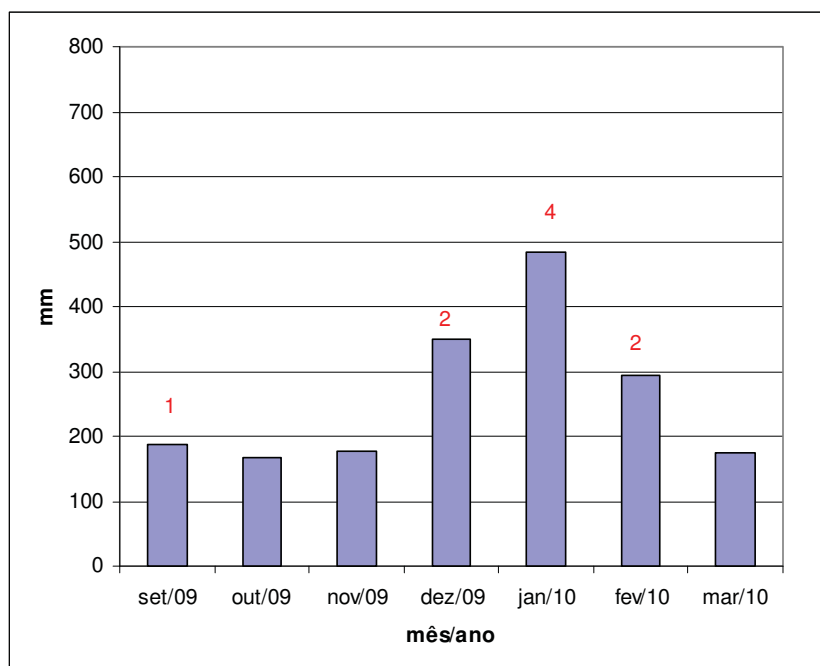


Figura 42 – Dados pluviométricos do município de São Paulo no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de setembro, 2 no mês de dezembro, 4 no mês de janeiro e 2 no mês de fevereiro. Fonte:CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

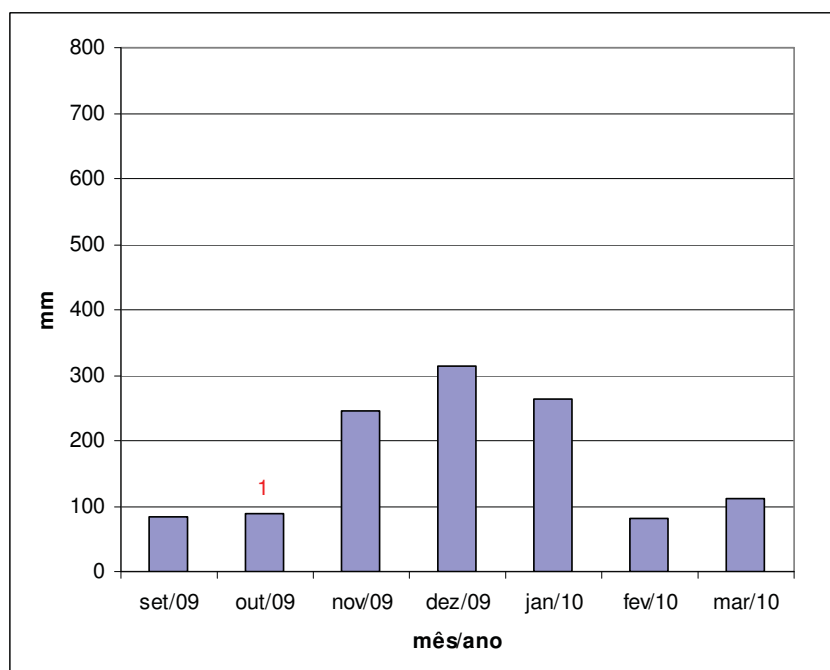


Figura 43 – Dados pluviométricos do município de Araraquara no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de outubro. Fonte:CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

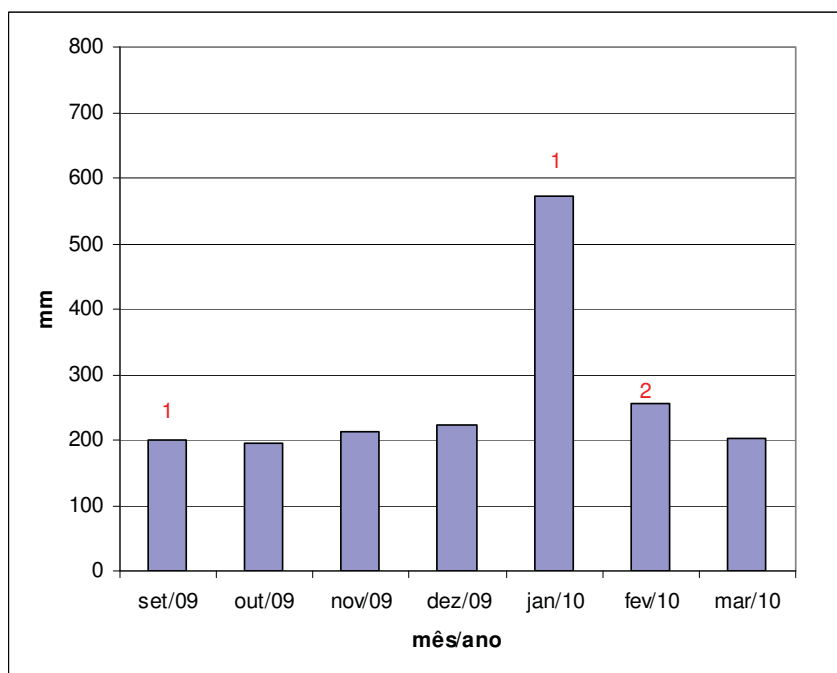


Figura 44 – Dados pluviométricos do município de Santos no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de setembro, 1 no mês de janeiro e 2 no mês de fevereiro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

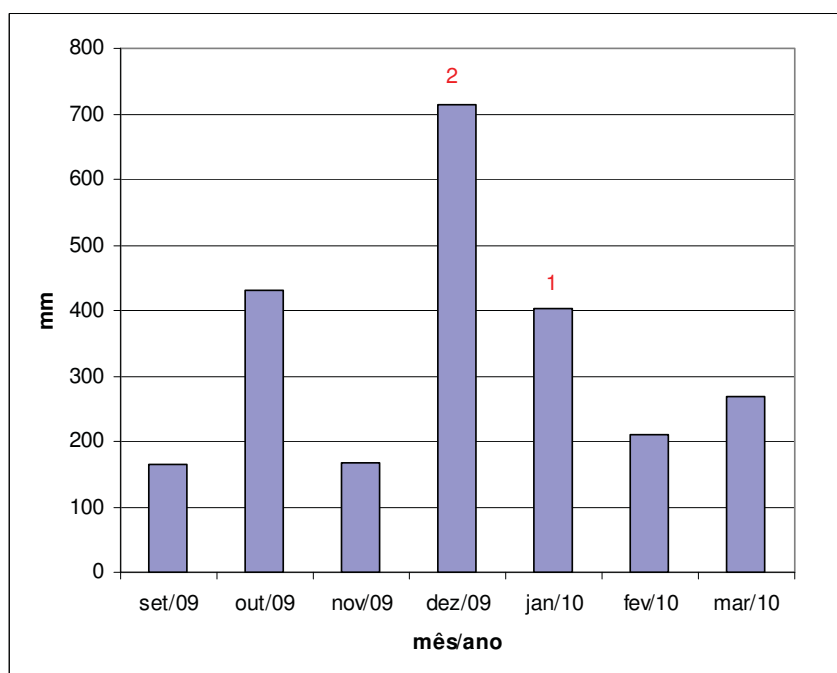


Figura 45 – Dados pluviométricos do município de Ubatuba no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 2 ocorrências de escorregamentos no mês de dezembro e 1 no mês de janeiro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

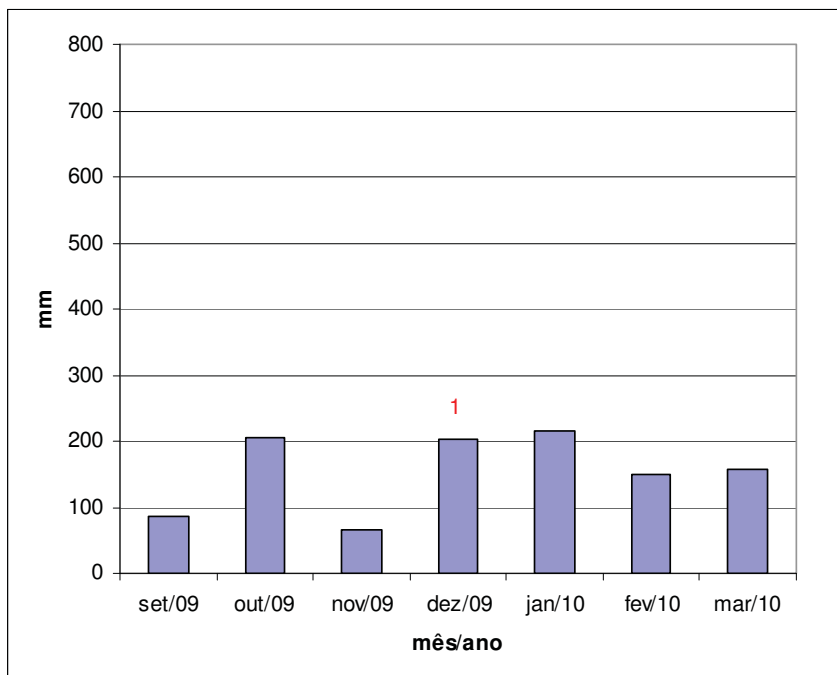


Figura 46 – Dados pluviométricos do município de Caraguatatuba no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de dezembro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

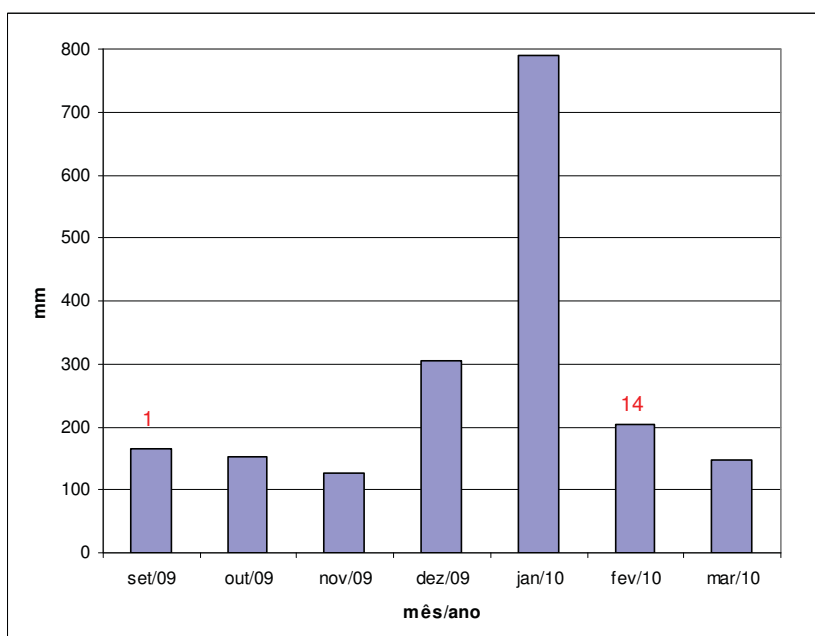


Figura 47 – Dados pluviométricos do município de Guarujá no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de setembro e 14 no mês de fevereiro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

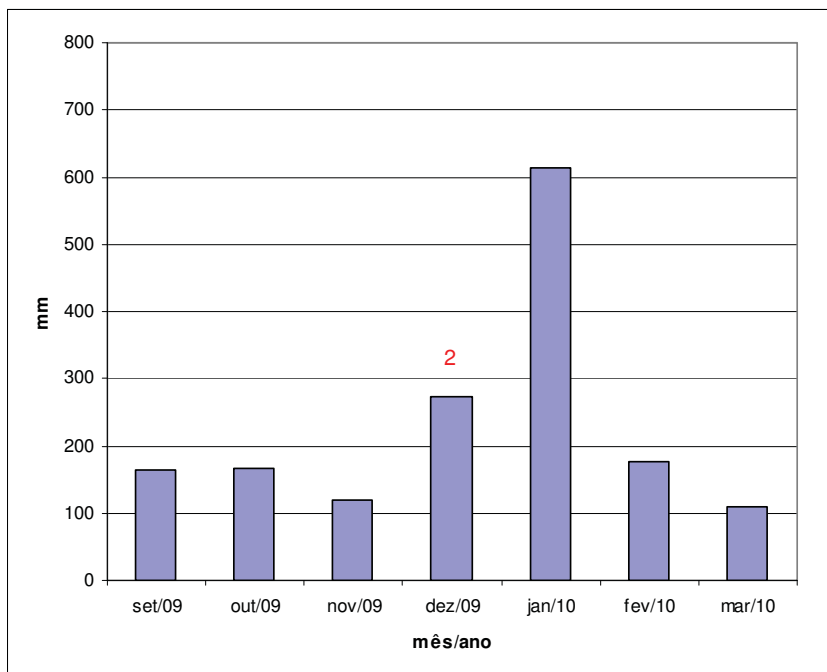


Figura 48 – Dados pluviométricos do município de Bertioiga no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 2 ocorrências de escorregamentos no mês de dezembro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

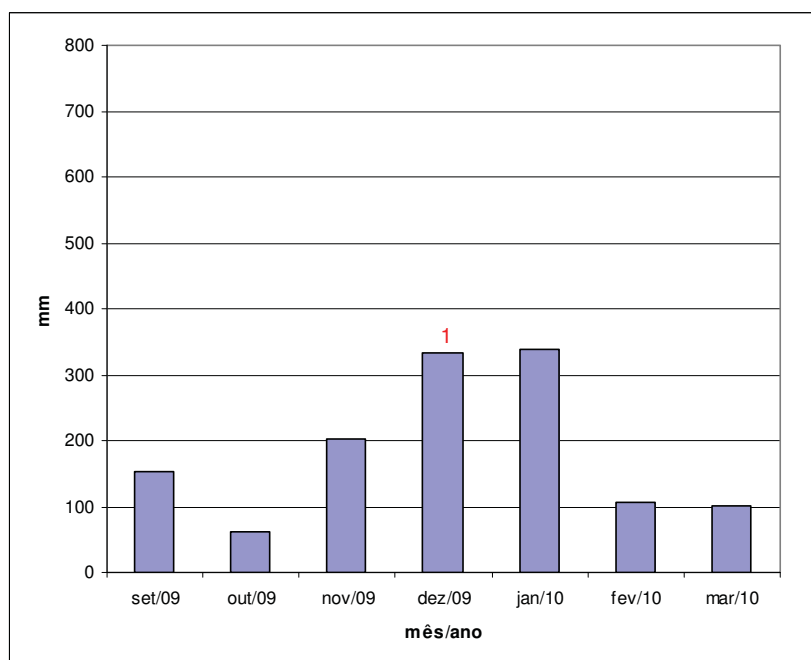


Figura 49 – Dados pluviométricos do município de São José dos Campos no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de dezembro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

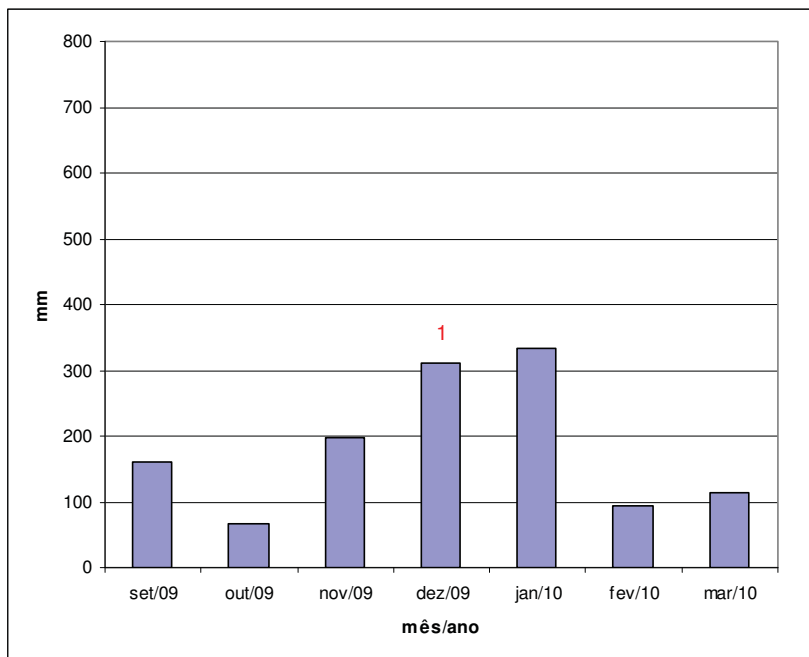


Figura 50 – Dados pluviométricos do município de Jacareí no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de dezembro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

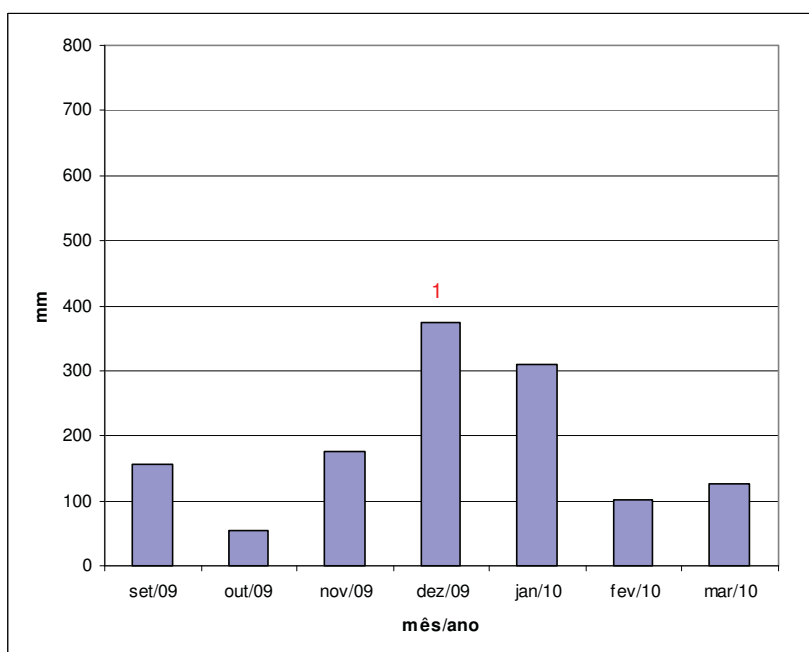


Figura 51 – Dados pluviométricos do município de Jambeiro no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de dezembro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

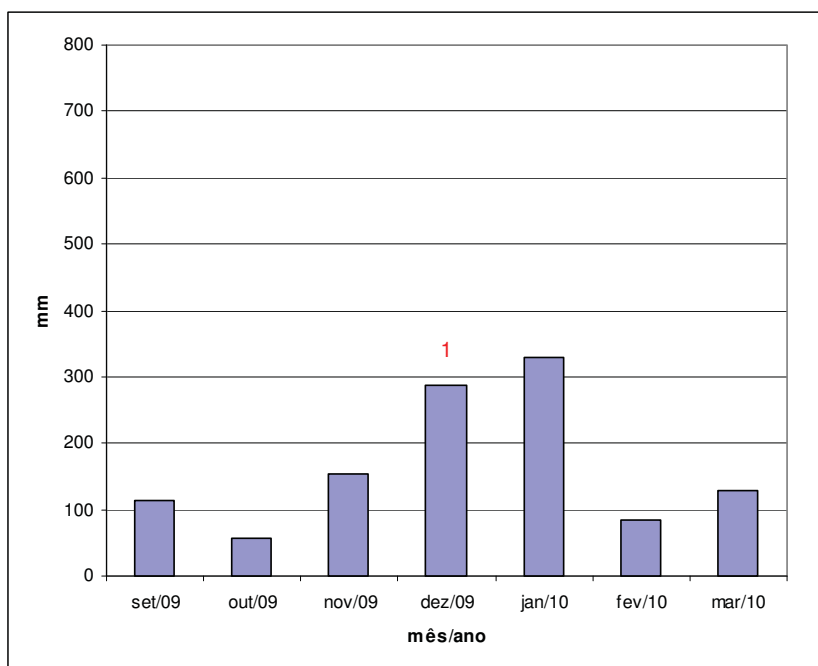


Figura 52 – Dados pluviométricos do município de Natividade da Serra no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de dezembro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

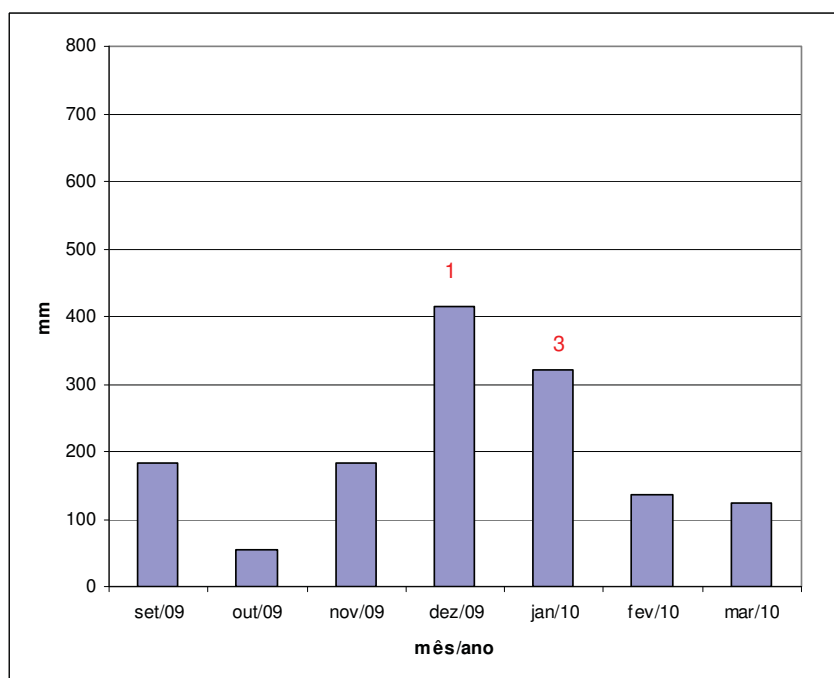


Figura 53 – Dados pluviométricos do município de Paraibuna no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 1 ocorrência de escorregamento no mês de dezembro e 3 no mês de janeiro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.



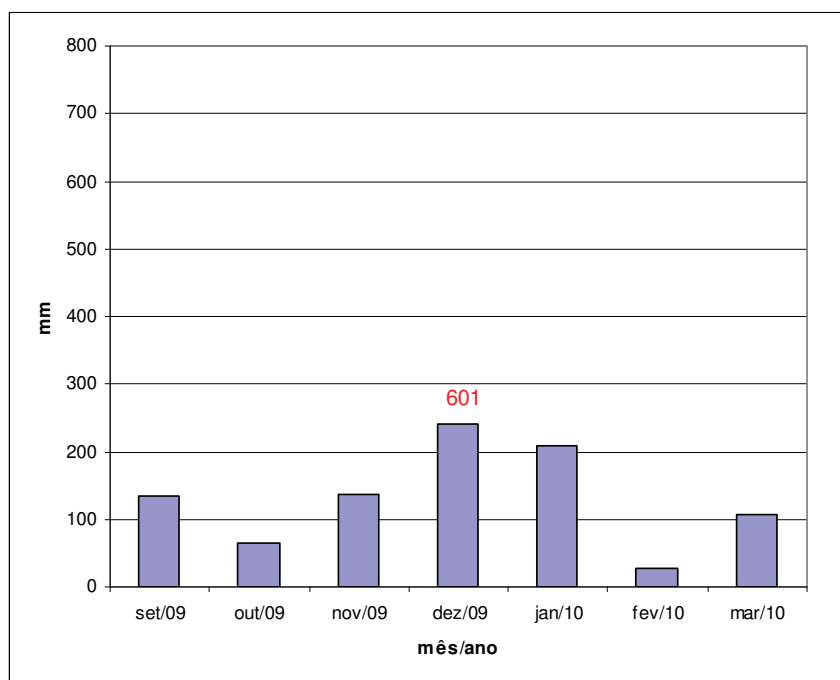


Figura 54 – Dados pluviométricos do município de Cunha no período de setembro/2009 a fevereiro/2010, com 601 ocorrências de escorregamentos no mês de dezembro. Fonte: CPTEC/INPE e PELLEGRINA, 2009.

São Luiz do Paraitinga (Figura 41) apresentou valor de precipitação acima da média histórica para o mês de dezembro e janeiro (Figuras 58 e 59), assim como a maioria dos municípios do Vale do Paraíba, como é o caso de São José dos Campos, Jacareí, Jambuí, Natividade da Serra e Paraibuna (respectivamente, Figuras 49 a 53), com a exceção de Cunha (Figura 54) que apresentaram montantes pluviométricos dentro da normalidade, mas com o maior número de ocorrência de deslizamentos. O município de Cunha teve um inverno chuvoso, o que manteve o solo úmido durante muitos meses e mesmo não ultrapassando a média histórica as chuvas torrenciais deflagraram os 601 escorregamentos.

Os municípios que compõem o litoral, como Santos, Guarujá e Bertioga (Figuras 44, 47 e 48), apresentaram valores pluviométricos acima da média histórica para os meses de janeiro, consideradas chuvas extremas (Figura 59). Ubatuba teve os meses de outubro, dezembro e janeiro acima da média, com destaque para o mês de dezembro que ultrapassou 700mm. Chama a atenção o fato de que o município de Caraguatatuba, vizinho à Ubatuba, manteve os meses dentro da média histórica. Situado muito próximo do Complexo Serra do Mar, o município de Ubatuba é influenciado pelos ventos marítimos atribuindo elevada precipitação à ascensão orográfica da Serra e à dinâmica do ar, causada pelo choque entre as massas de ar.

A cidade de São Paulo (Figura 42) apresentou aumento no acumulado mensal de precipitação já no mês de setembro, outubro e novembro, que esteve um pouco acima da média (Figuras 55 a 57). Mas dezembro e janeiro, que foram os meses mais chuvosos (Figuras 58 e 59), apresentaram valores quase 200% acima da média histórica de precipitação, quando foram deflagrados os escorregamentos. O mês de fevereiro manteve o valor acima da média, porém não tão significativo.

O município de Araraquara (Figura 43) apresentou valores pouco acima da média histórica nos meses de novembro e dezembro, mas as chuvas mais significativas em dezembro ficaram concentradas em poucos dias.

Os valores acumulados mensais de precipitação dos 15 municípios, foram comparados com as normais climatológicas no estado de São Paulo (1961-1990) de precipitação acumulada mensal e estão apresentadas nos mapas a seguir (Figuras 55 a 60).

A ocorrência de chuvas moderadas a fortes, associadas aos sistemas meteorológicos, com tendência à longa duração, é uma condição potencial para ocorrência de deslizamentos (SANTORO e MACEDO, 2000).

Em uma análise geral, comparando os valores pluviométricos com os eventos meteorológicos que deflagraram as diversas ocorrências de deslizamentos, verifica-se que a maioria dos eventos extremos de precipitação estão associados às ZCAS, em eventos que persistem de 7 a 10 dias.

### Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Precipitação acumulada mensal e anual (mm)

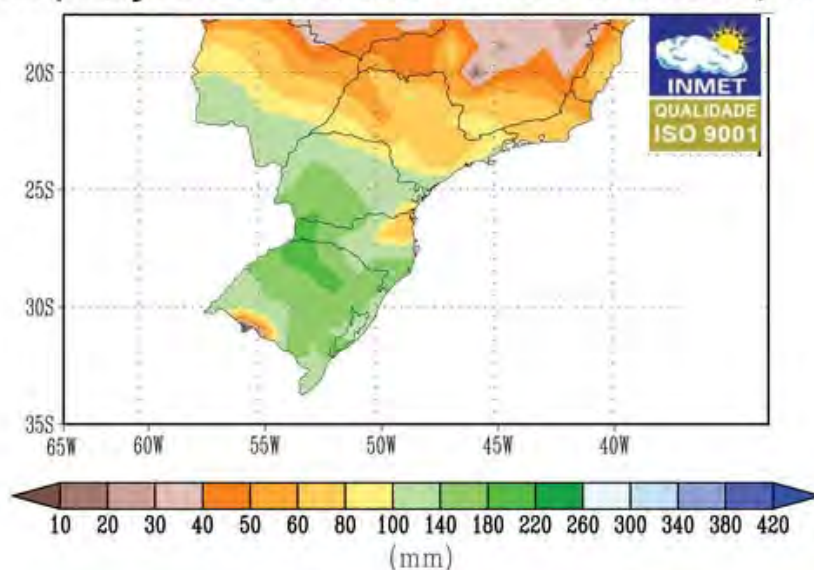


Figura 55 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de setembro.

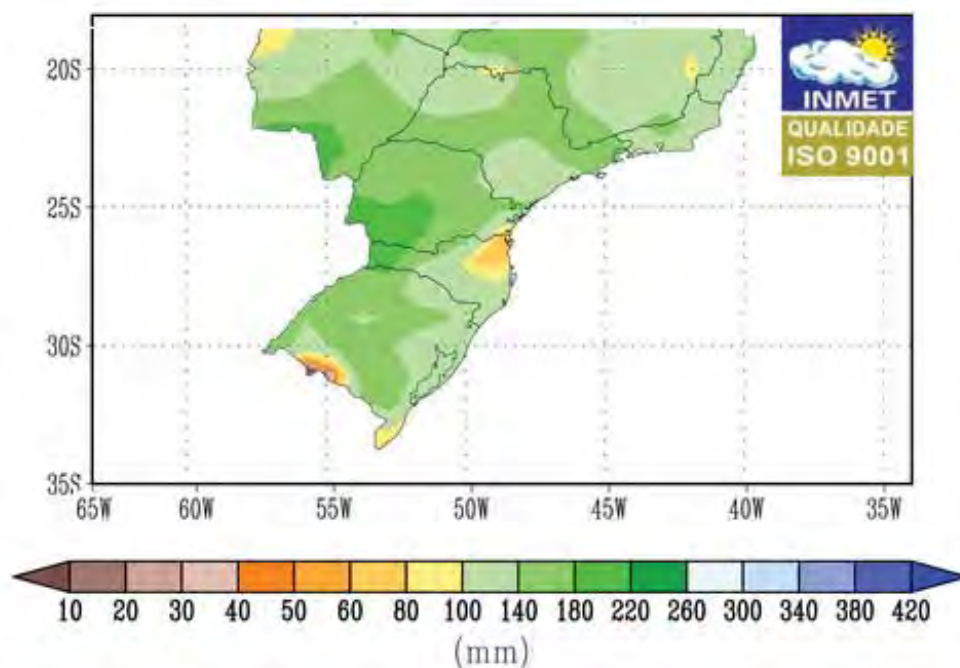


Figura 56 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de outubro.

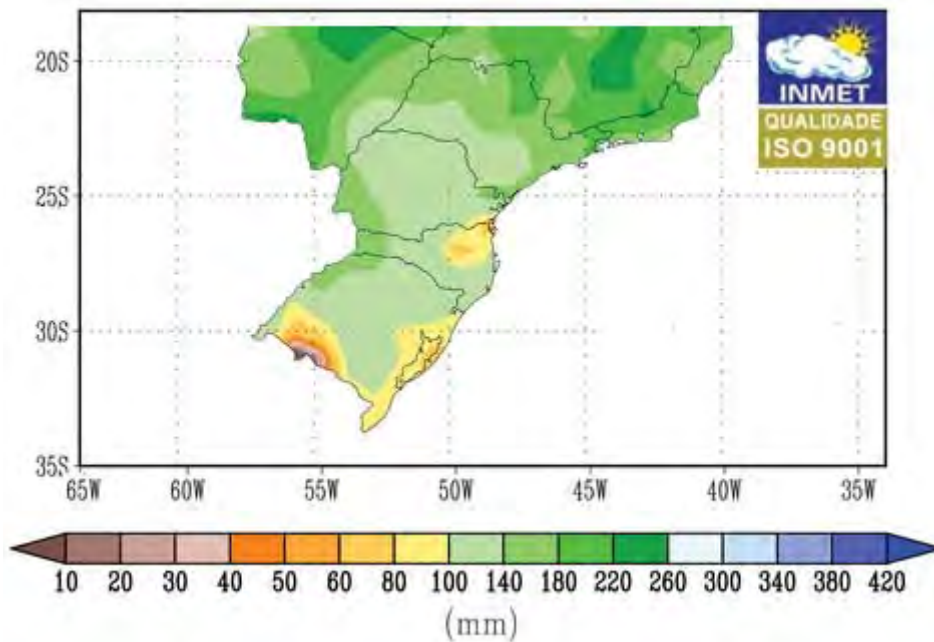


Figura 57 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de novembro.

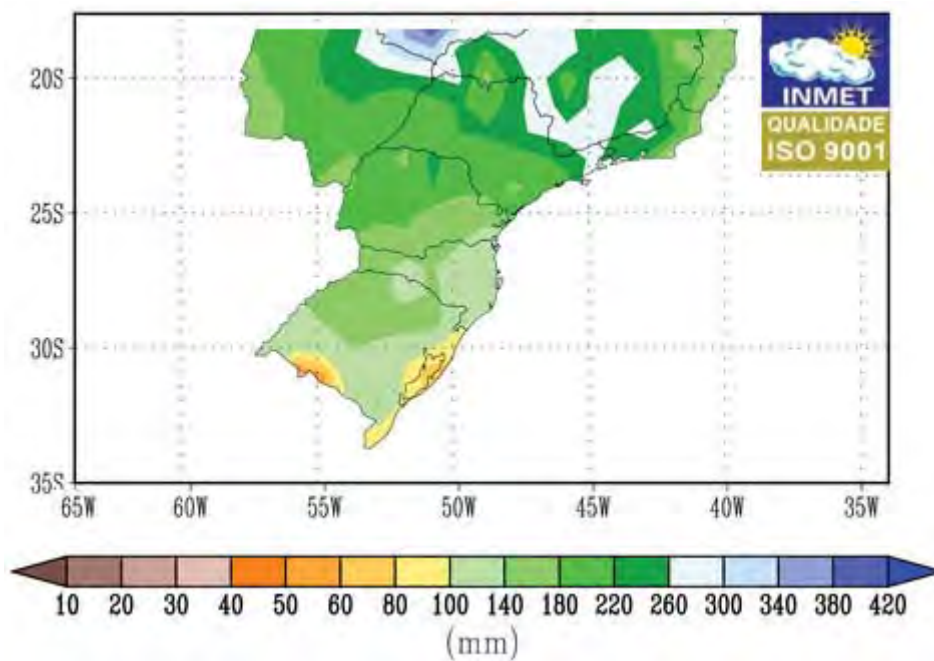


Figura 58 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de dezembro.

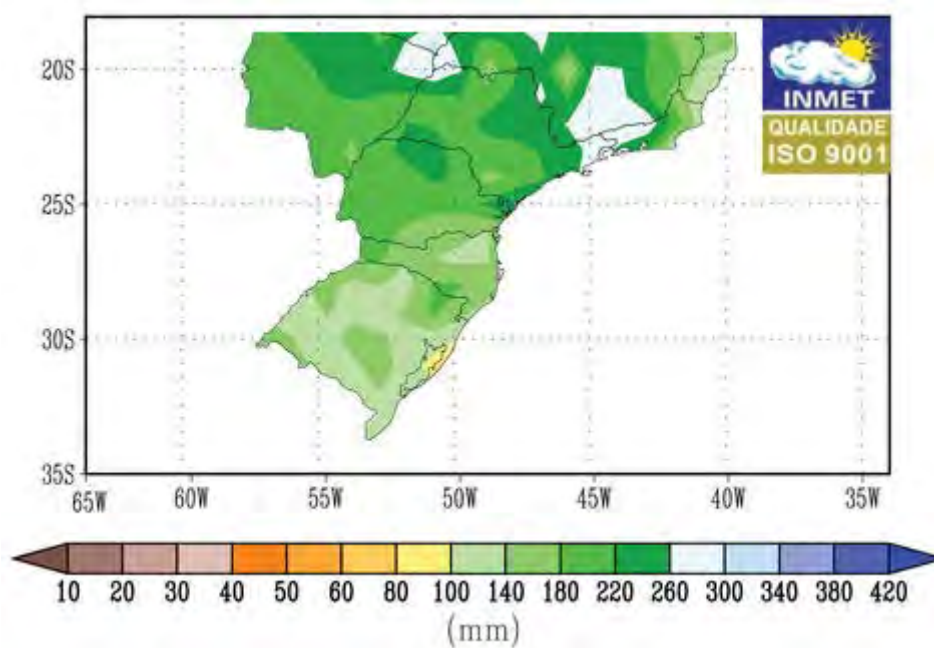


Figura 59 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de janeiro.

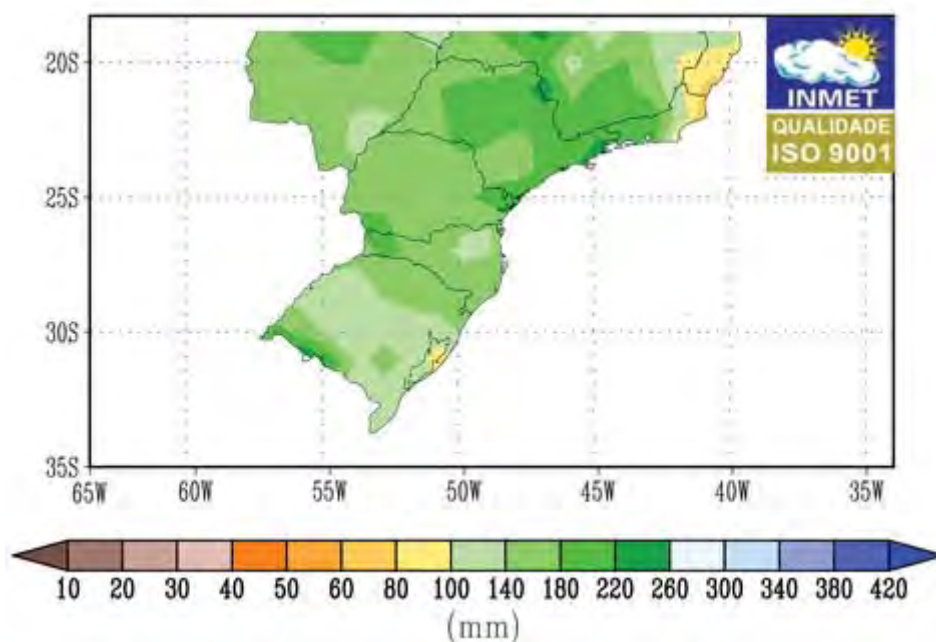


Figura 60 – Normal Climatológica de precipitação para o estado de São Paulo (1961-1990) no mês de fevereiro.

Para entendimento dos processos, reforça-se que a chuva intensa é aquela na qual registra-se grande volume de água precipitada em curto período de tempo. Dependendo de vários fatores como o grau de saturação, a permeabilidade e a infiltração do solo, a inclinação e a forma da bacia hidrográfica, a intensidade e a velocidade de deslocamento da tempestade, as condições podem ser mais favoráveis à ocorrência de enchentes ou de deslizamentos.

No caso das enchentes e inundações, a maior parte da água da chuva escoar superficialmente, elevando rapidamente o nível dos rios. Tratando-se de escorregamentos e deslizamentos, dependendo da impermeabilização do local e/ou capacidade de infiltração do solo, o excesso de chuva ocasiona um aumento da pressão neutra e consequente diminuição da tensão efetiva. Em caso de solo inicialmente não saturado, a saturação acarreta a perda da parcela referente à coesão aparente (tensão capilar).

Um evento extremo de chuva envolve critérios, pois é necessário estabelecer ocorrência relativamente rara de precipitação, que por sua anormalidade tenha potencial para causar impactos ambientais e sociais.

Uma das importâncias em monitorar os valores pluviométricos locais em áreas suscetíveis ao risco, é elaborar uma estimativa da probabilidade do evento extremo de precipitação, baseada na distribuição generalizada de Pareto (SUGAHARA *et al*, 2010). Este trabalho realizou uma análise estatística do evento extremo que ocorreu na região do

Vale do Paraíba, utilizando dez estações meteorológicas do DAEE (Departamento de Águas e Energia do estado de São Paulo), inserindo os dados no modelo de distribuição generalizada de Pareto, ajustado aos valores de precipitação acumulada de cinco dias em cada estação distribuída naquela região.

Os períodos mais quentes do ano são os preferenciais para a ocorrência de tempestades e episódios de chuva intensa, uma vez que a maior disponibilidade de energia solar favorece a instabilização do ar na baixa atmosfera. No entanto, alguns mecanismos podem favorecer a ocorrência de chuvas em qualquer época do ano, como os sistemas frontais, a topografia, as ilhas de calor formadas pelos grandes centros urbanos.

O *El Niño*, fenômeno caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais da parte central e leste do Oceano Pacífico e a *La Niña*, fenômeno correlato, causam uma alteração na circulação atmosférica no Pacífico, que reflete na mudança dos padrões globais de circulação. Com isso, seus efeitos são sentidos no comportamento médio climático da atmosfera em várias partes do planeta, inclusive no Brasil. Neste sentido, a identificação do *El Niño* e da *La Niña* pode indicar a possibilidade de estações mais ou menos chuvosas.

Esses sistemas meteorológicos em escalas maiores, como os sistemas frontais, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) ou ciclones extratropicais foram geralmente os deflagradores da maioria dos deslizamentos analisados nesse período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010 para os quinze municípios estudados.

É necessário o monitoramento das informações sobre a intensidade e distribuição espacial da precipitação, que podem ser úteis nos eventos de escorregamentos. No estado de São Paulo, o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizado no município de Bauru/ SP, opera dois radares Doppler que detectam num raio de 450 Km a partir de Bauru e Presidente Prudente, as áreas de chuva e a velocidade de deslocamento. Além da previsão imediata (*nowcasting*) feita pelo IPMet, disponibilizada na página da Internet, o setor de meteorologia da Defesa Civil do estado de São Paulo também utiliza dessas imagens dos radares para emitir os boletins de alerta para todos os municípios do estado de São Paulo.

Os sistemas meteorológicos identificados e as taxas de precipitação intermitentes ou contínuas são suficientes para causar a instabilidade do solo, e outros fatores como o tipo do solo e a declividade determinam diferentes áreas suscetíveis ao escorregamento

para uma mesma taxa de precipitação. Desta forma, é recomendada a análise com mapas geológicos, geomorfológicos, de uso e ocupação do solo.

## **7.2 ANÁLISES DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS PARA ALGUNS MUNICÍPIOS.**

Destaca-se a importância de análise mais específica das chuvas diárias para o entendimento das ocorrências de escorregamentos, pois estes ocorrem devido a elevados volumes de precipitação, seja por chuvas intensas ou por chuvas contínuas e que podem diminuir a resistência do solo.

Tal entendimento é de grande importância, pois o comportamento das chuvas em locais onde a geomorfologia, a geologia e o uso e ocupação do solo favorecem as ocorrências, servirão para identificar as áreas de risco.

Dentre os 15 municípios estudados, foram selecionado dois para um estudo detalhado, o município de São Paulo e São Luiz do Paraitinga.

### **São Paulo**

O município de São Paulo, com 10 ocorrências de escorregamentos entre os meses de setembro de 2009 e fevereiro de 2010, esteve sob a influência de sistemas meteorológicos que propiciaram um grande aumento no volume de precipitação. É necessário analisar a precipitação diária e horária, para assim identificar os volumes que deflagraram as ocorrências e contribuir com as demais análises das condições geológicas, geomorfológicas e de uso e ocupação do solo.

As Figuras 61 a 66 indicam os volumes diários de precipitação nos meses de estudo; nota-se que alguns valores são bastante significativos, como é o caso do dia 8 de setembro de 2009 (Figura 61), quando houve o escorregamento o acumulado correspondeu a 68,8 mm em 11 horas de chuva, ou seja, uma média de 6,25 mm por hora.

No mês de outubro (Figura 62), o dia 26 foi o mais chuvoso, tendo acumulado o valor de 39,8 mm, sendo 14 mm em apenas 1 hora; porém, não houve casos de escorregamentos nesse mês.

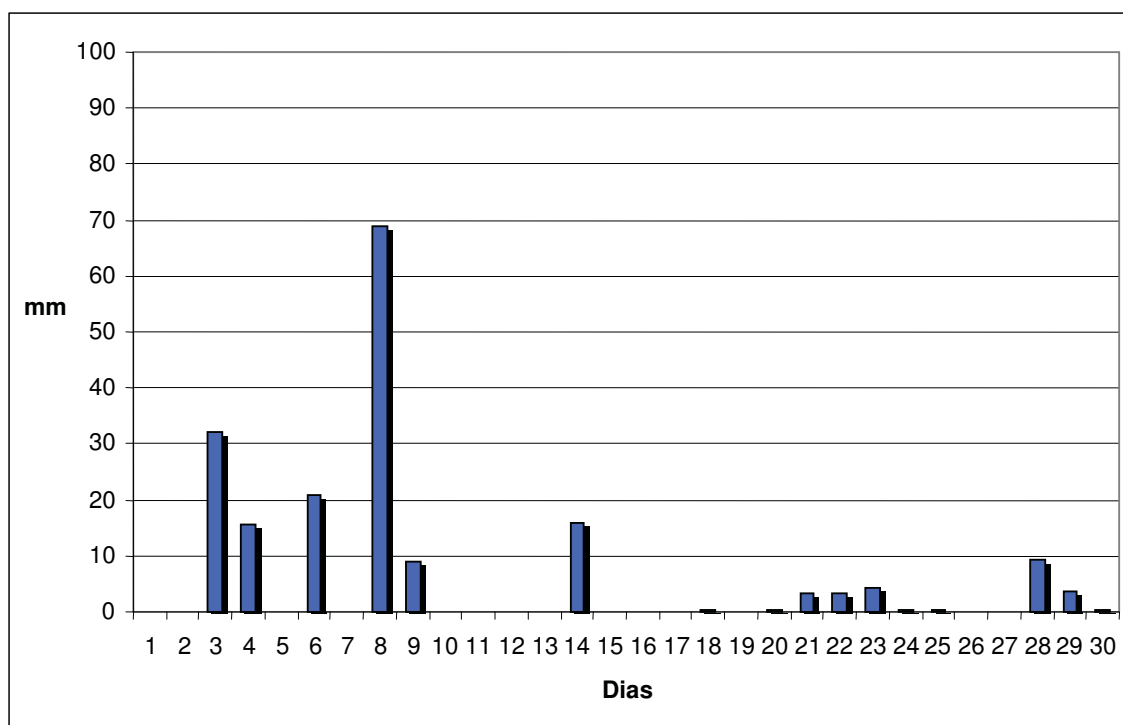


Figura 61 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de setembro de 2009.

As chuvas persistiram por mais de 10 dias no mês de novembro (Figura 63). Embora sem danos de escorregamento nesse período, essas chuvas contínuas colaboraram para manter o solo encharcado, colocando em perigo as áreas de risco.

Outros dois danos em decorrência de escorregamento ocorreram nos dias 08 e 17 de dezembro (Figura 64), quando os volumes pluviométricos diários foram 92,2 mm e 40,2 mm respectivamente. No dia 08 de dezembro, choveu o equivalente a 36,4 em apenas 3 horas, tendo em vista que o solo já se mantinha úmido, essas chuvas torrenciais foram as deflagradoras dos escorregamentos. O dia 16 de dezembro, um dia que antecedeu a ocorrência, acumulou o equivalente a 39,2 mm em 1 hora e às 21h, horário do registro do escorregamento, acumulou 35,2 mm em 1 hora.

Janeiro foi um mês muito chuvoso, tendo apresentado valores 200% acima da média histórica de precipitação. As datas das ocorrências foram: dias 05, 21, 22 e 23 de janeiro. Os acumulados diários foram significativos, e diante de um quadro de chuvas acima da normalidade, provocou a morte de 8 pessoas e mais 10 feridos, além de 2500 desalojados e quase 300 desabrigados.

O mês de fevereiro manteve o acumulado em torno de 130% acima da média histórica de precipitação, e as chuvas deflagraram mais uma ocorrência de escorregamento. O dia 03 acumulou o valor de 84,0 mm, e em apenas 1 hora choveu 57,6 mm. A chuva desse dia ocasionou muitos alagamentos, inundações, mas sem registro de



escorregamentos. A ocorrência deu-se no dia 15 com o relato de chuva forte em apenas uma hora no local, mas sem registro de precipitação na estação meteorológica, onde foram coletadas as informações da Figura 66.

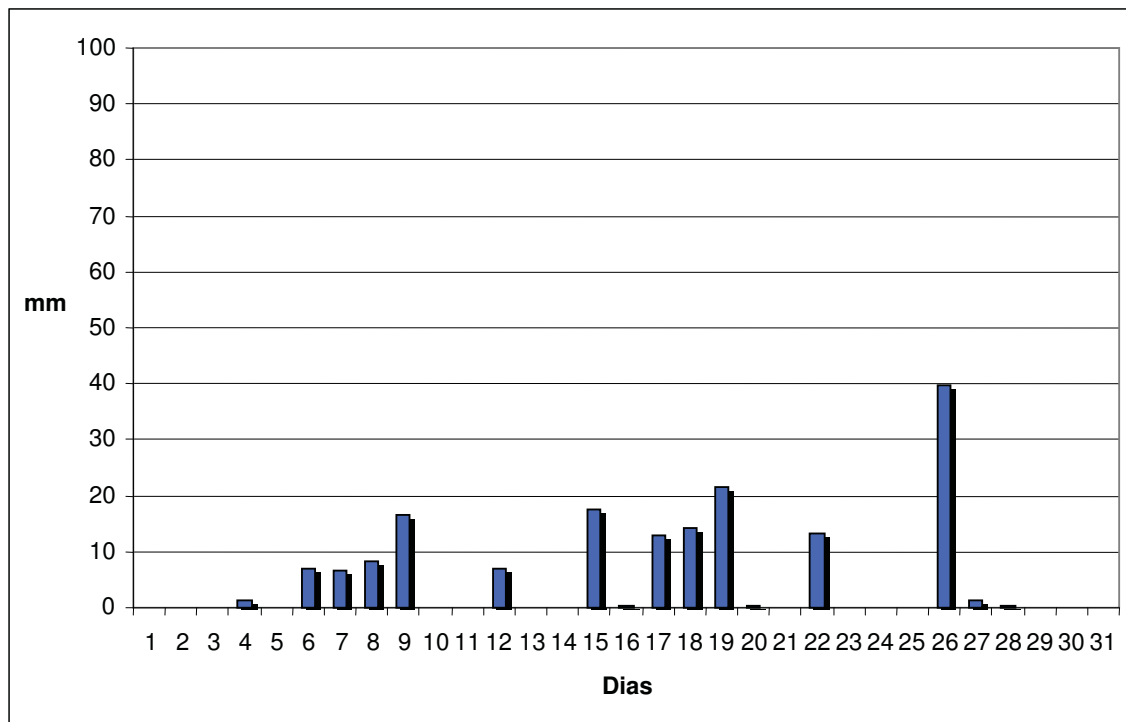


Figura 62 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de outubro de 2009.

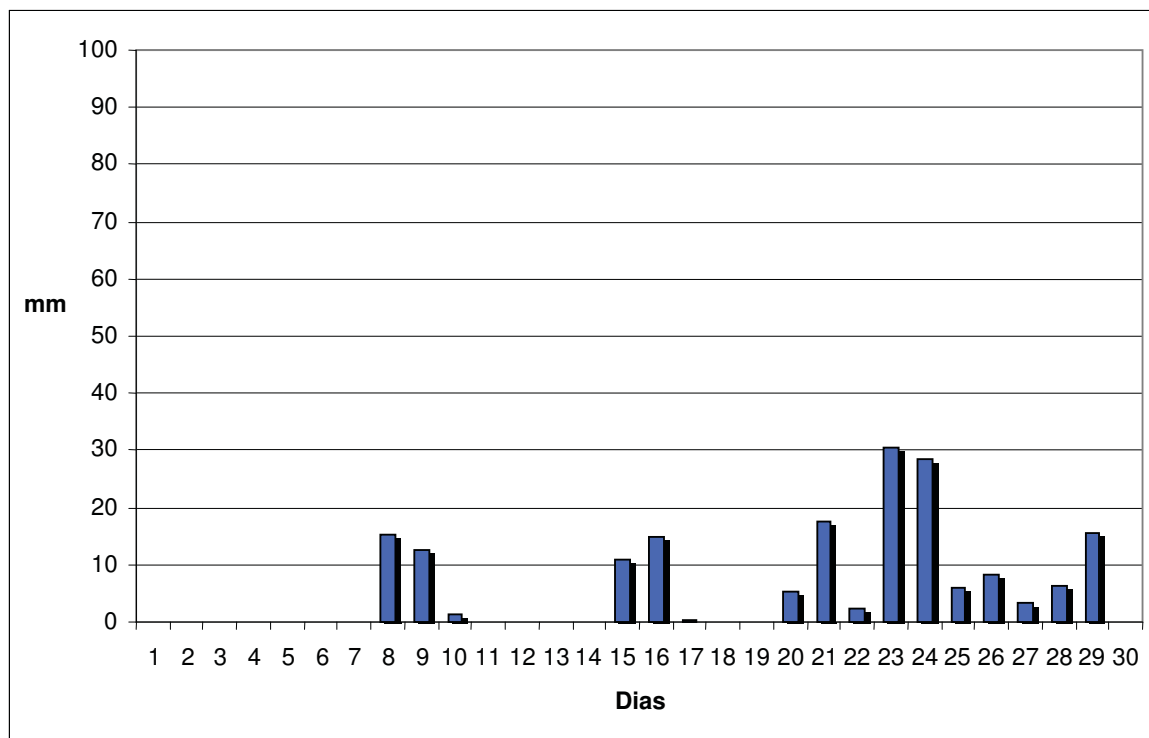


Figura 63 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de novembro de 2009.

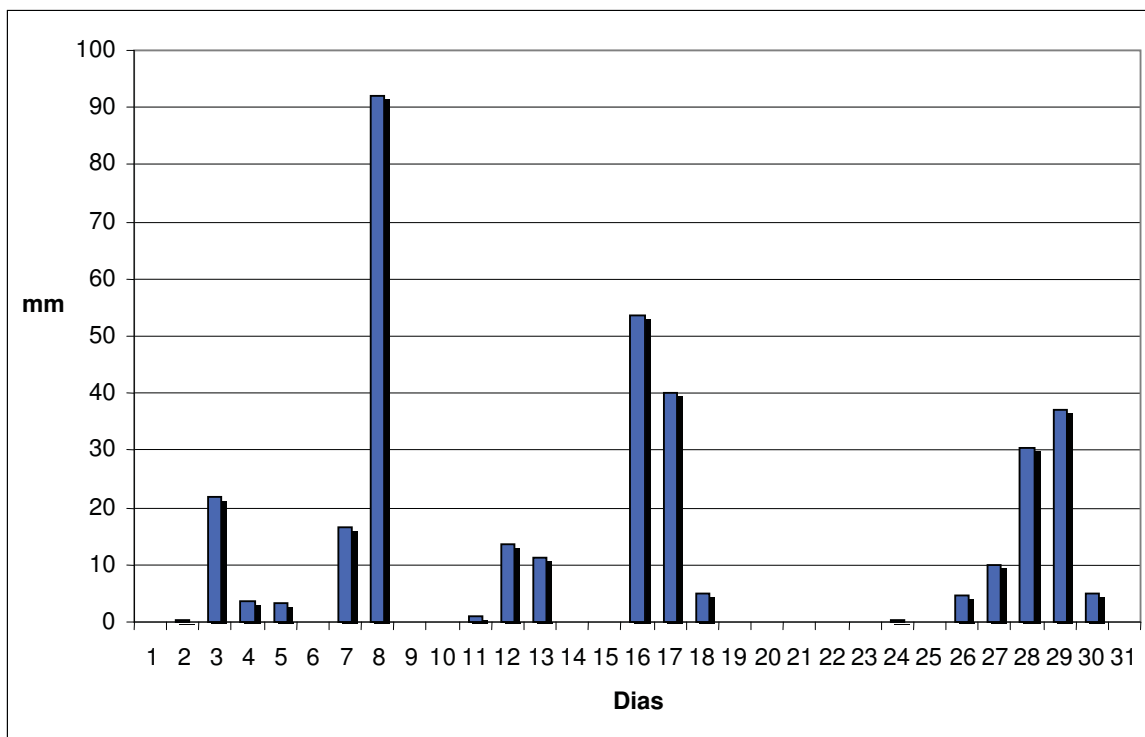


Figura 64 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de dezembro de 2009.

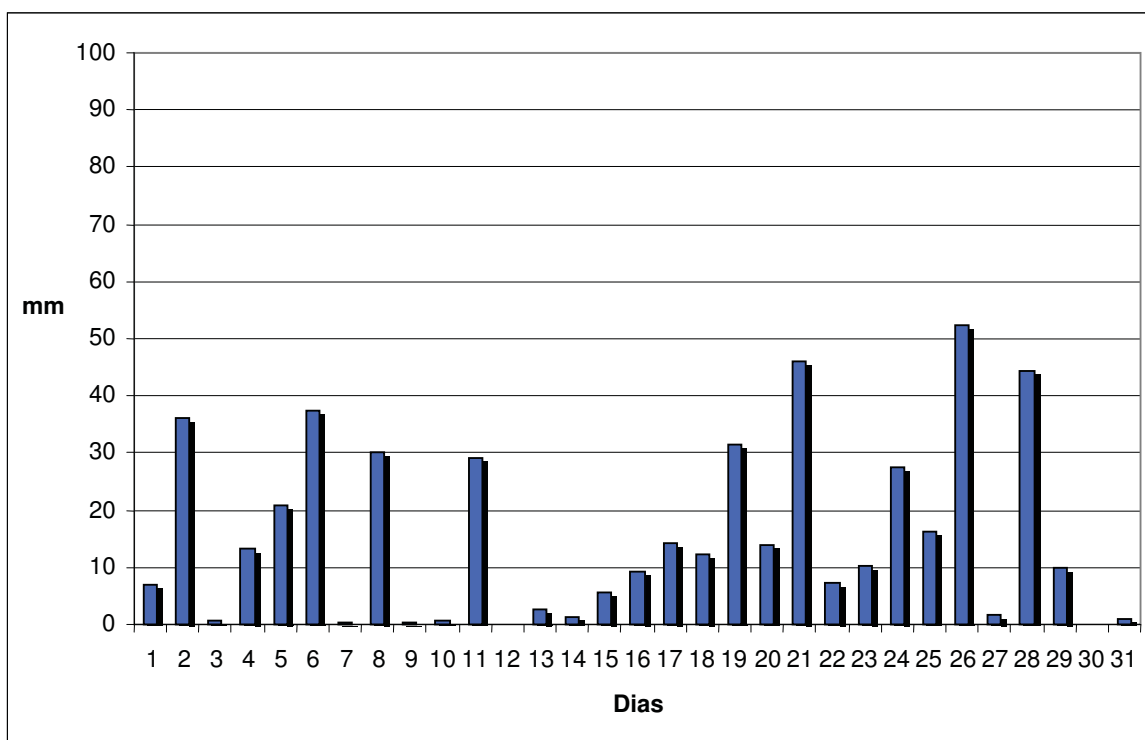


Figura 65 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de janeiro de 2010.

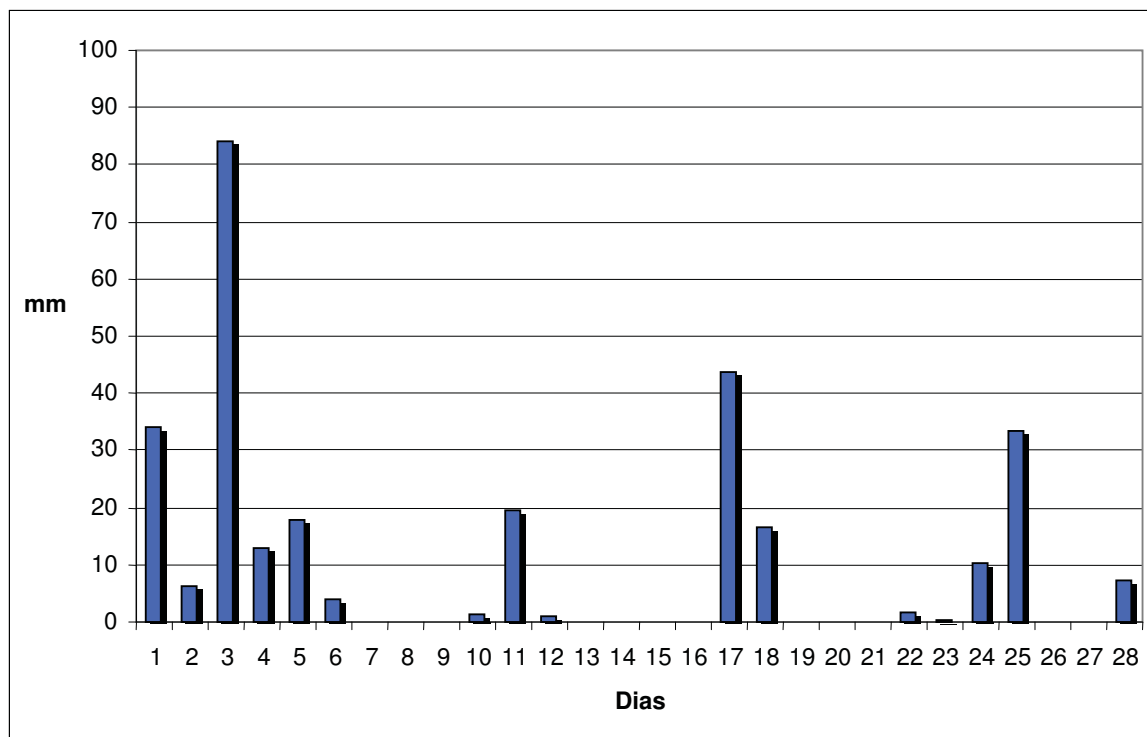


Figura 66 – Precipitação diária no município de São Paulo no mês de fevereiro de 2010.

A seguir, os gráficos das Figuras 67 a 70 demonstram as chuvas acumuladas horárias dos meses que apresentaram as ocorrências de escorregamentos, com o indicativo dos eventos.

No dia 08 de setembro de 2009 houve registro de chuvas fortes como foi visto na Figura 61 que o volume pluviométrico acumulado diário registrou 68,8 mm. A Figura 67 evidencia os volumes horários de precipitação, e os picos mais elevados foram às 13h00 com o registro de 24,8 mm, às 15h00 registrou mais 19,0 mm e às 16h00 mais 8,6 mm. Esse evento de chuvas fortes deflagrou um escorregamento com uma vítima fatal e dois feridos.

O mês de dezembro foi marcado por dois eventos significativos de escorregamentos, deflagrados por chuvas fortes nos dias 08 e 17 de dezembro de 2009 (Figura 68). Os volumes acumulados diários foram: 92,2 e 40,2 mm respectivamente. No entanto, as chuvas tiveram comportamentos distintos, no dia 08 choveu o dia todo com picos de chuva mais significativa às 07h00 (11,8 mm), às 08h00 (8,8mm) e às 09h00 (15,8 mm), quando ocorreu o escorregamento; enquanto que no dia 17 choveu em apenas uma hora 35,2 mm no horário da ocorrência, às 21h00. Esses dois eventos causaram a morte de duas pessoas e dois ficaram feridos, mas o primeiro evento causou 267 desabrigados e 2500 desalojados.

Na Figura 69 observam-se quatro eventos de escorregamentos, nos dias 05, 21, 22 e 23 de janeiro de 2010, deflagrados por alturas diferentes de precipitação. As chuvas mantinham-se constantes desde o final de dezembro, quando no dia 05 de janeiro houve registro de 20,4 mm em apenas duas horas de precipitação. O escorregamento ocorreu logo após esse pico de chuva. O mês de janeiro esteve acima da média histórica, o que favoreceu os danos com alturas pluviométricas não muito significativas, como visto nos dias 22 e 23 cujo valores foram 6,4 mm e 4,6 mm em 6 horas e 3 horas de precipitação respectivamente, mas que foi antecedido por chuvas fortes no dia 21 com registro de 42,4 mm em 2 horas de chuva, favorecendo a instabilidade do solo.

O mês de fevereiro de 2010 foi marcado por dois escorregamentos no dia 15, embora não houve registro de precipitação na estação meteorológica onde foram coletados os dados, a ocorrência relata chuvas fortes durante apenas uma hora, com danos de pessoa arrastada por enxurrada e uma vítima fatal, alagamentos, destelhamentos, desabamentos de residências e os escorregamentos às 19h00 desse dia. Nota-se que houve picos de chuva fortes nos dias 3 (84,0 mm), 5 (17,8 mm), 11 (19,6mm) e após o evento no dia 17 (43,8 mm), sem danos.

As informações do banco de dados registraram chuvas fortes na Zona Sul do município de São Paulo, nos bairros Jardim Domitília e Jardim São Carlos por volta das 19 horas do dia 15 de fevereiro, onde ocorreram os dois eventos de escorregamentos. Os dados pluviométricos utilizados para o estudo foram coletados da estação meteorológica Mirante do Santana, localizada na Zona Norte de São Paulo. As informações do radar meteorológico de Bauru (IPMet) confirmaram a presença de chuva extrema na região sul do município de São Paulo.

É possível concluir que o aumento significativo das chuvas foi o responsável pelos escorregamentos onde as áreas são naturalmente frágeis em decorrência dos processos naturais. A ocupação em áreas impróprias aumenta ainda mais a instabilidade já existente, e com isso promove os processos gravitacionais de movimentos de massa e um número considerável de pessoas afetadas, por ser um município densamente povoado.

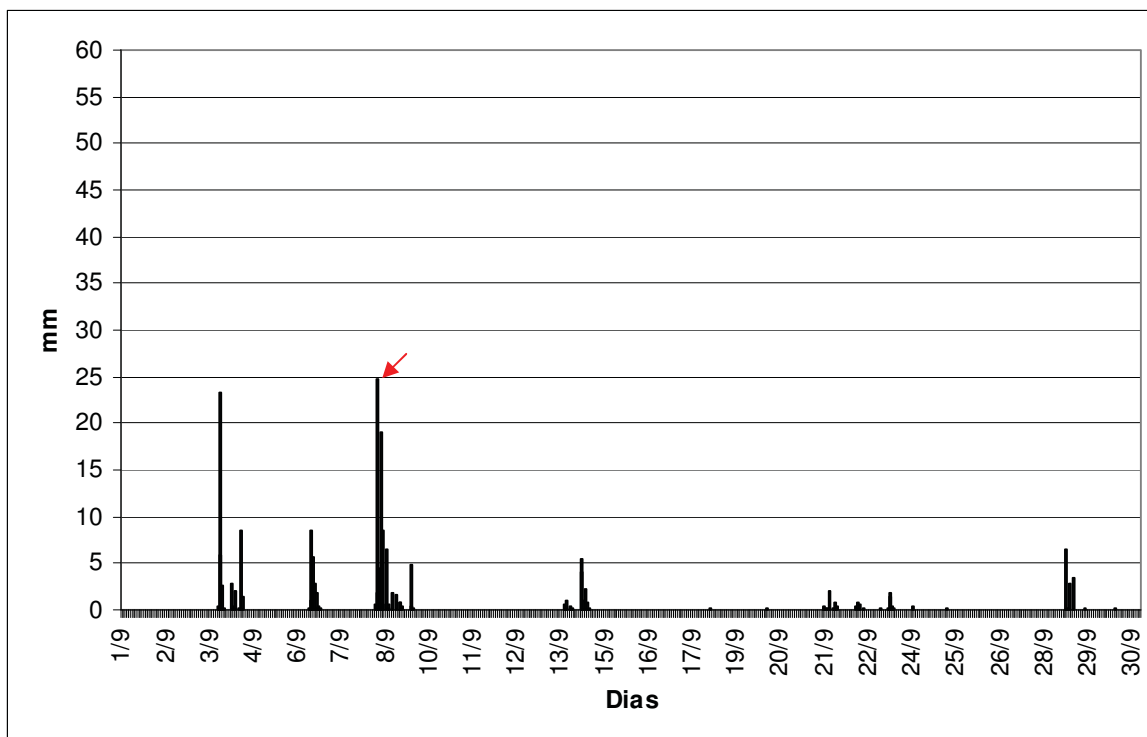


Figura 67 - Chuva acumulada horária no mês de setembro de 2009 com o indicativo dos escorregamentos no município de São Paulo.

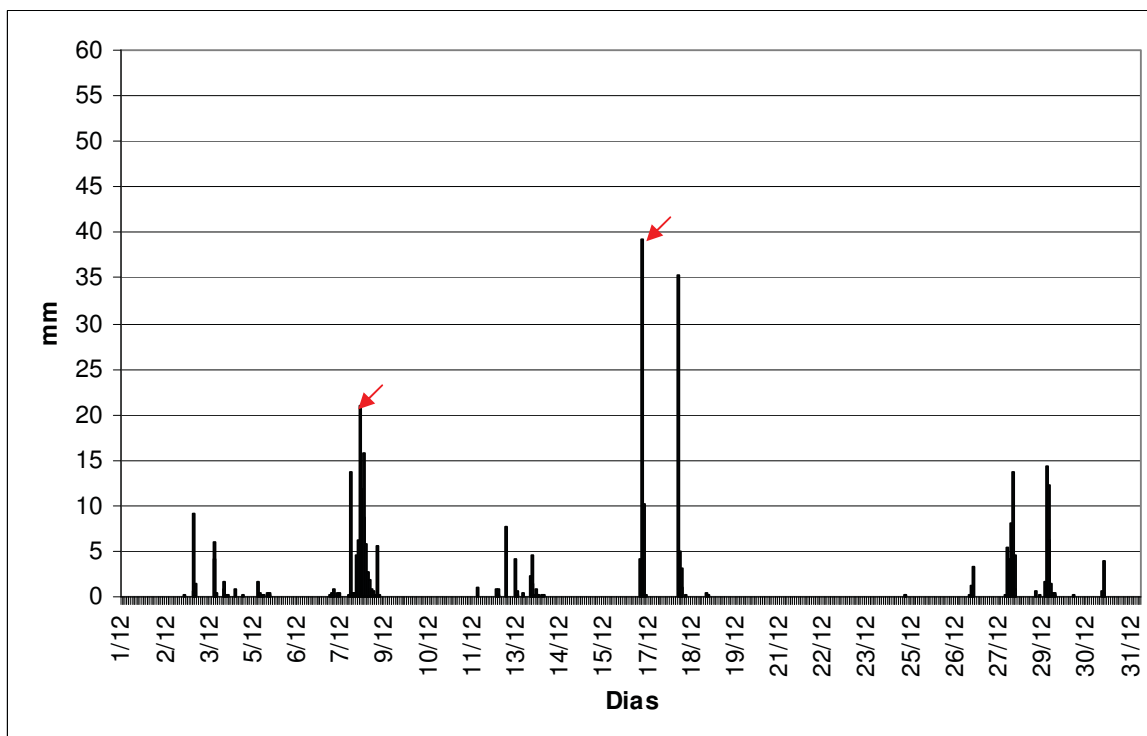


Figura 68 – Chuva acumulada horária no mês de dezembro de 2009 com o indicativo dos escorregamentos no município de São Paulo

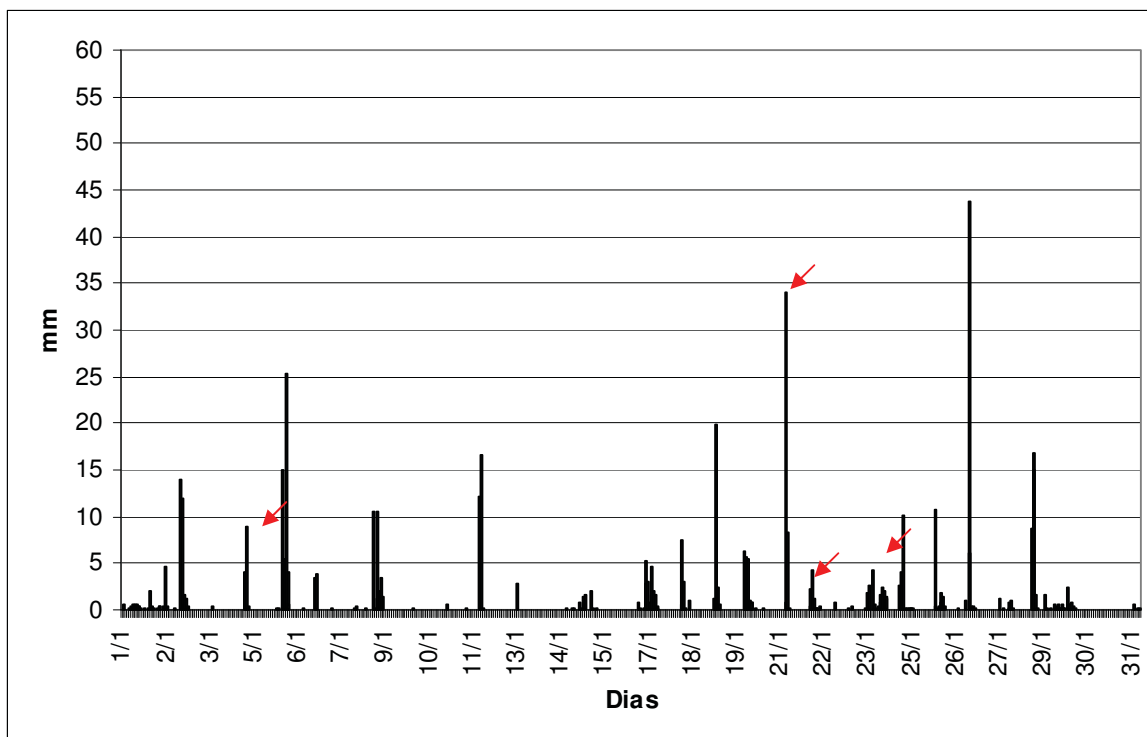


Figura 69 – Chuva acumulada horária no mês de janeiro de 2010 com o indicativo dos escorregamentos no município de São Paulo.

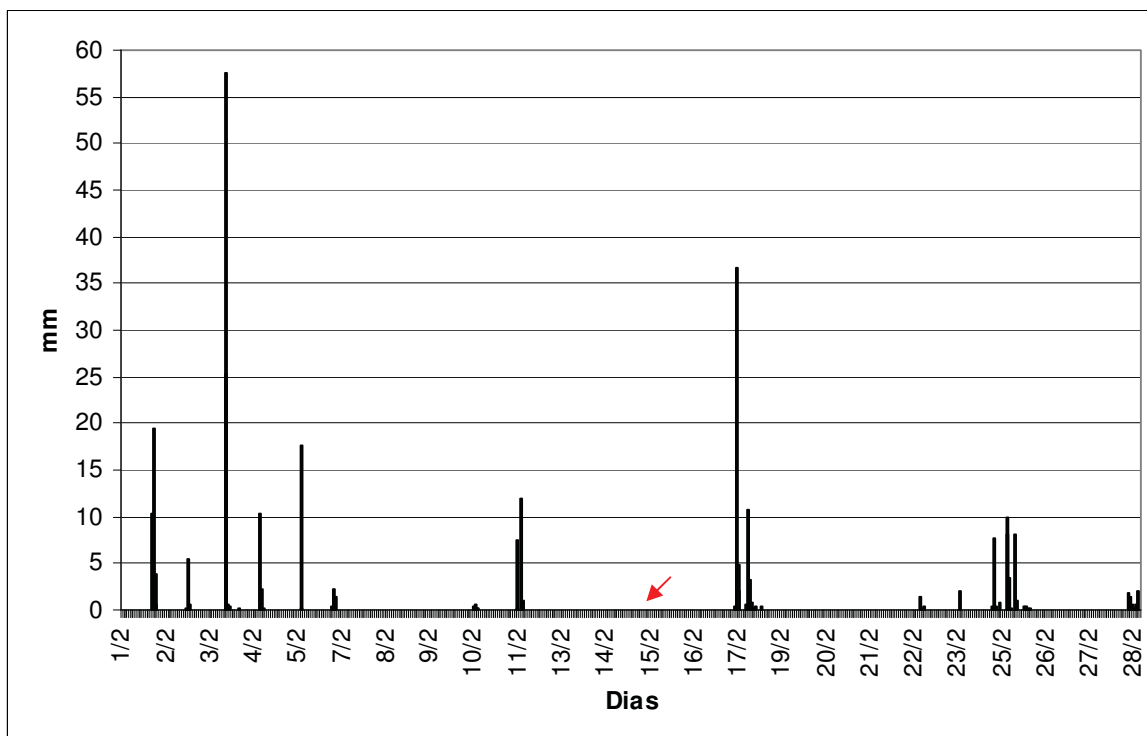


Figura 70 – Chuva acumulada horária no mês de fevereiro de 2010 com o indicativo dos escorregamentos no município de São Paulo.

### **São Luiz do Paraitinga**

Pertencente ao grupo de cidades do Vale do Paraíba, onde ocorreram as maiores catástrofes, é uma estância turística e teve grande parte do seu patrimônio histórico destruído pelas chuvas, com um saldo de 4000 pessoas desabrigadas, 5042 desalojados, 2 feridos e 2 mortos.

Os meses de dezembro e janeiro foram os mais chuvosos e também estiveram muito acima da média histórica de precipitação. Os eventos de movimentos de massa ocorreram nos dias 8, 9, 10 e 31 de dezembro e no dia 03 de janeiro. Foi cadastrado pela Defesa Civil, 33 escorregamentos no município.

Embora os escorregamentos tenham acontecido no mês de dezembro, vale analisar o comportamento das chuvas no mês de novembro, que se manteve dentro da média histórica, porém com registro de chuvas fortes em alguns dias, como mostra a Figura 71. No dia 27 de novembro, choveu o equivalente a 56,4 mm, sendo que 47,4 mm em apenas 2 horas. E os dias seguiram chuvosos até o início de dezembro, quando a chuva deflagrou 17 escorregamentos no dia 8, seguido de mais um no dia 9 e dois no dia 10.

As chuvas no início de dezembro foram bastante significativas, acumulando um total de 96,6 em dois dias (3 e 4), como mostra a Figura 72. No dia do evento, o acumulado diário registrou 77,8 mm. Associados à fragilidade física, dadas as suas características geomorfológicas, de ocupação e conjugadas ao valor de precipitação, desencadearam os demais escorregamentos nos dias seguintes (9 e 10).

Diante de um cenário instável, nos dias em que as chuvas se mantiveram fortes e constantes, deflagraram mais duas ocorrências no dia 31, com um acumulado de 134,2 mm em 5 dias (27 a 31), o que representa metade do esperado para a chuva de todo o mês.

O mês de janeiro segue com mais uma ocorrência: na manhã do dia 3, após um dia inteiro de precipitação que acumulou o valor de 69,0 mm no dia 1º, e 9,4 mm no dia 2, como mostra a Figura 73.

Ao diagnosticar valores altos de acumulados diários, faz-se necessário verificar o comportamento horário da chuva. Assim, nas Figuras 74 e 75 é demonstrado o acumulado horário da precipitação nos meses de dezembro de 2009 e janeiro de 2010.

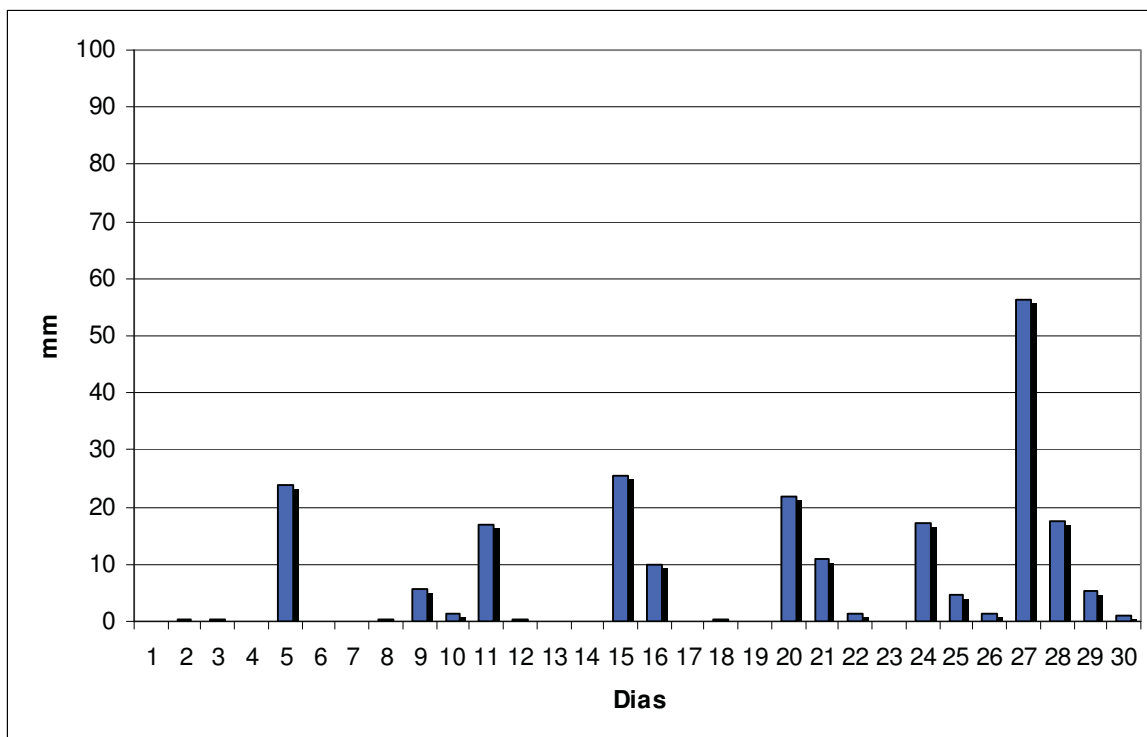


Figura 71 – Precipitação diária no município de São Luiz do Paraitinga no mês de novembro de 2009.

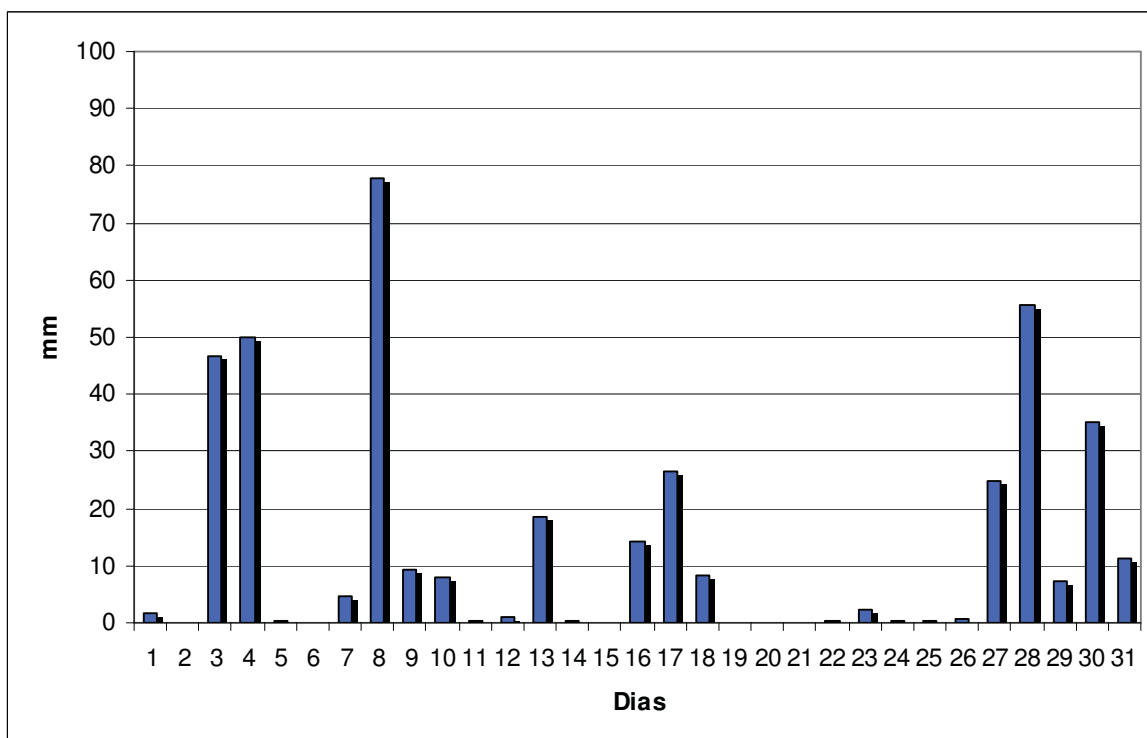


Figura 72 – Precipitação diária no município de São Luiz do Paraitinga no mês de dezembro de 2009.



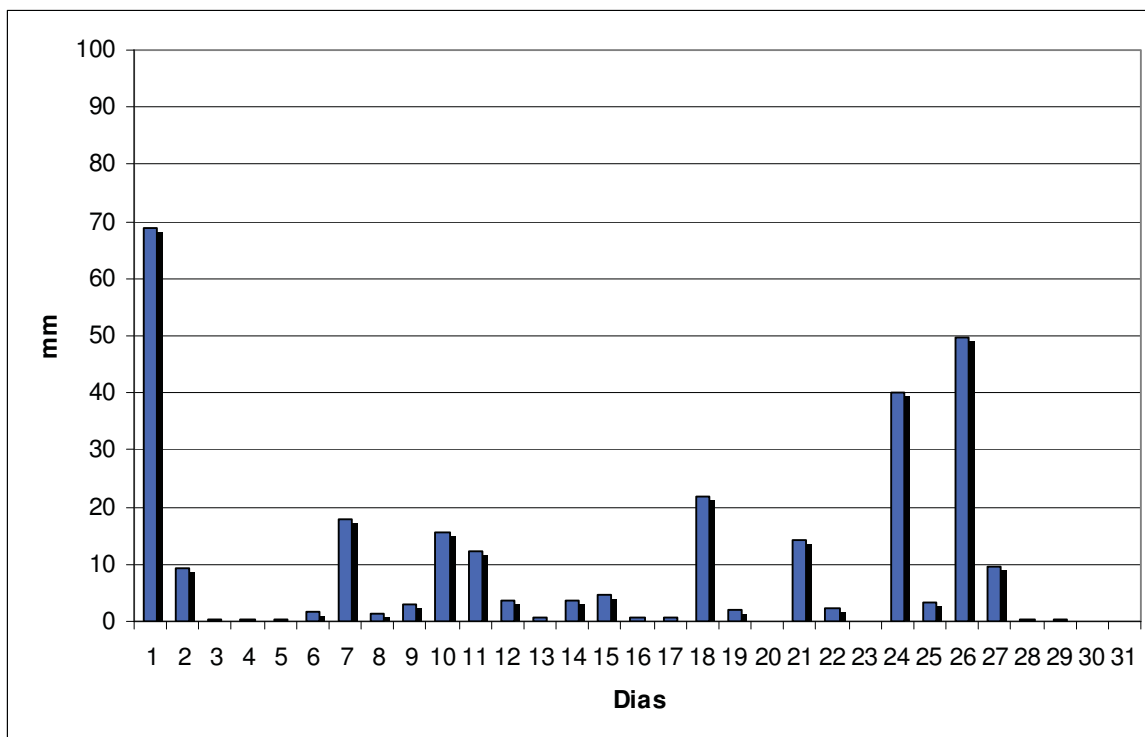


Figura 73 – Precipitação diária no município de São Luiz do Paraitinga no mês de janeiro de 2010.

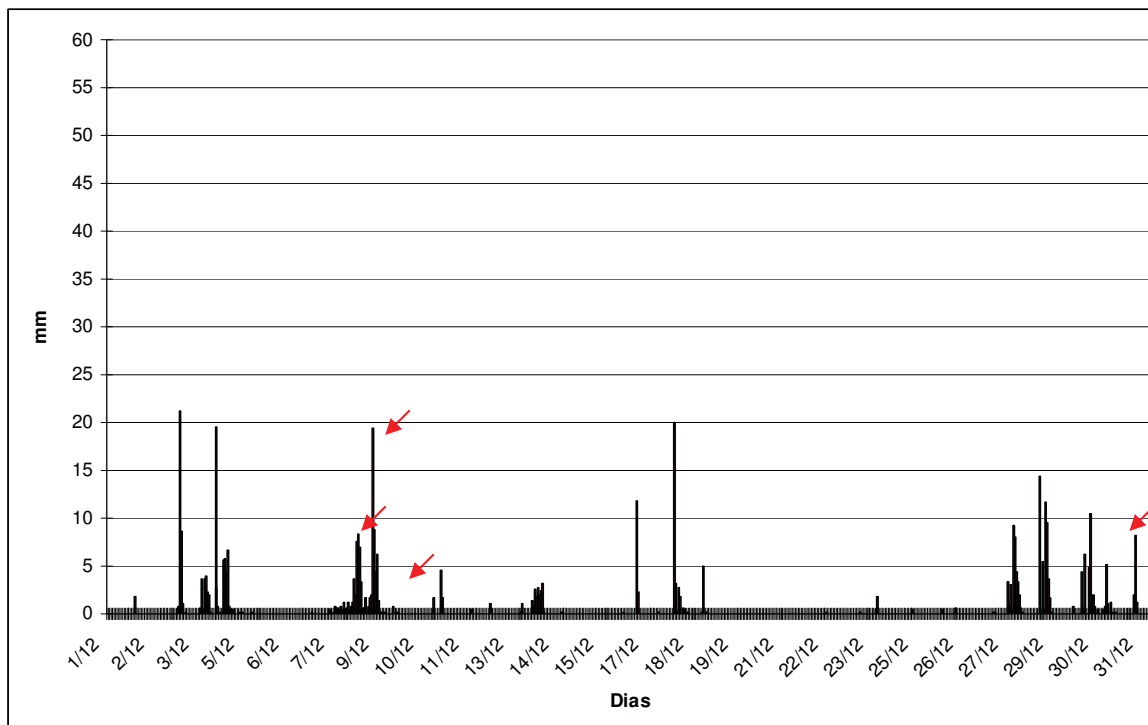


Figura 74 – Precipitação acumulada horária no mês de dezembro de 2009 no município de São Luiz do Paraitinga.

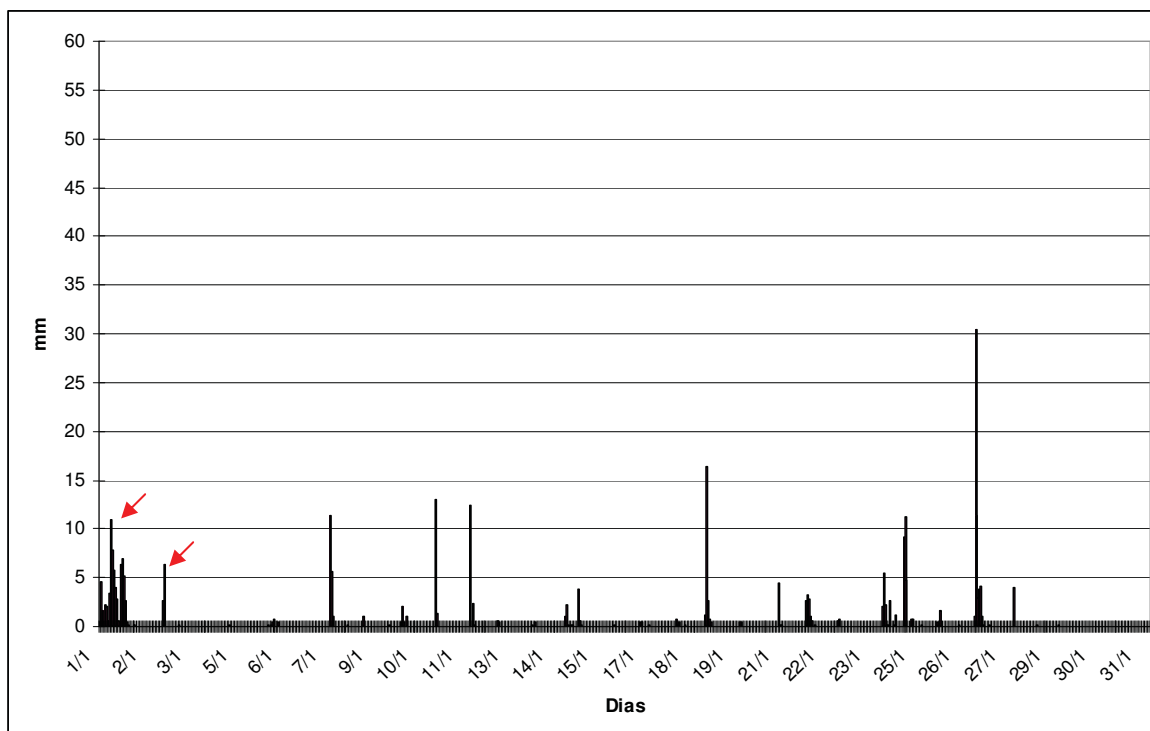


Figura 75 – Precipitação acumulada horária no mês de janeiro de 2010 no município de São Luiz do Paraitinga.

É possível verificar na Figura 74, que a maioria dos eventos ocorreram após um período prolongado de chuva, desencadeando a seguir, os escorregamentos no mês de dezembro. Embora no mês de janeiro (Figura 75), não havia registro de chuva significativa no momento do escorregamento, nota-se que as chuvas mantinham-se constantes no final de dezembro. E, chama a atenção o acumulado do dia 26, com o registro de 49,8 mm no dia, e em apenas uma hora 30,4 mm, sem ocorrências nesse dia, o que poderia ser atribuído à distância das áreas suscetíveis em relação à estação meteorológica.

Esse estudo reafirma a necessidade de instalar pluviômetros em locais de médio e alto risco para escorregamentos, para monitorar os acumulados em meses chuvosos e assim traçar um plano de alerta para cada região de acordo com a pluviosidade diária e mensal, visto que as ocorrências aconteceram em períodos de chuvas prolongadas, com acumulados acima da média histórica, deflagrados em alguns casos por chuvas extremas e outros sem ocorrências de chuvas significativas, mas com o solo totalmente frágil pelo volume mensal.

### 7.3 ANÁLISES DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS, HIDROLÓGICAS E DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS ÁREAS ATINGIDAS PELOS ESCORREGAMENTOS.

Fatores como o tipo de solo, relevo, a vegetação, a hidrografia e a ocupação do solo certamente contribuíram para os danos de escorregamentos ocorridos nos municípios afetados.

A análise consiste em dados geológicos, geomorfológicos e hidrológicos das áreas afetadas, como mostram as Tabelas 20 a 22.

Tabela 20 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas do Litoral.

Municípios	Características do Meio Físico				Processos Geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos/Rochas	Hidrologia	
Santos	-Morros Isolados e Planícies Costeiras	-Topos arredondados -Vertentes ravinadas -Perfis convexos a retilíneos -Vales fechados. -Ocorrem isolados na planície costeira.	Composição variada (argiloso até arenoso) Espessuras variadas desde 0,5 m até 10 m.	-Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico - N.A. entre 0.5 e 10 metros.	-Forte entalhe erosivo das vertentes -Rastejo -Escorregamento de solo -Queda de blocos em taludes de corte
Guarujá	-Planícies Costeiras e Morros Isolados	Relevo de escarpas -Topos arredondados -Vertentes ravinadas -Perfis convexos a retilíneos -Vales fechados. -Ocorrem isolados na planície costeira.	Areias, argilas e cascalhos. Gnaisses e migmatitos	Drenagem de baixa a média densidade, padrão dendrítico	Muita suscetibilidade à erosão por sulcos, ravinas e boçorocas; Alta suscetibilidade à escorregamento.

(Continuação) Tabela 20 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas do Litoral.

Municípios	Características do Meio Físico				Processos Geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos/Rochas	Hidrologia	
<b>Caraguatatuba</b>	-Grupo São Roque -Complexo Costeiro	Planícies Costeiras Escarpas com Espigões Digitados: -grandes espigões lineares subparalelos, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, -vales fechados	Gnaisses e migmatitos. Granitos e migmatitos associados	Baixa densidade de drenagem, padrão medrante e locias com drenagem de alta densidade, padrão paralelo-pinulado.	Muito alta suscetibilidade à movimentos de massa. Alta suscetibilidade à erosão. Alta suscetibilidade à inundações e adensamento de solos moles.
<b>Bertioga</b>	-Complexo Costeiro -Formação Cananéia -Sedimentos Marinheiros e Mistos	Planícies Costeiras Morros isolados: -topos arredondados, vertentes ravinadas de perfis convexos a retilíneos, -vales fechados. Escarpas Festonadas: -espigões, -topos angulosos, -vertentes com perfis retilíneos, -vales fechados.	Areias, argilas e cascalhos. Gnaisses e migmatitos.	Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico e Drenagem de alta densidade com padrão paralelo-pinulado.	Alta suscetibilidade à movimentos de massa. Alta suscetibilidade à inundações fluviais.
<b>Ubatuba</b>	-Sedimentos Marinheiros e Mistos -Complexo Costeiro.	Planícies costeiras Serras alongadas: -topos angulosos, -vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptas, -vales fechados. Escarpas festonadas: - espigões, -topos angulosos, -vertentes com perfis retilíneos, -vales fechados.	Areia, argila e cascalhos; Gnaisses e migmatitos; Rochas ígneas básicas	Drenagem de alta densidade, padrão paralelo pinulado e padrão subparalelo a dendrítico	Erosão acelerada por sulcos e ravinas; Muito alta suscetibilidade à escorregamentos

Fontes: *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, Escala 1:1.000.000, IPT (1981);*

*Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000, IPT (1981) e*

*Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000, IPT (1994).*

As análises dos dados obtidos dos mapas geológico, geomorfológico e carta geotécnica, com os eventos de escorregamentos, foram separados pela distribuição no estado de São Paulo (Tabelas 20 a 22).

A maior parte desses municípios está localizada no Planalto do Paraitinga e no Médio Vale do Paraíba (Paraibuna, Cunha, Natividade da Serra, Jambeiro, Guaratinguetá, São Luiz do Paraitinga, Jacareí e São José dos Campos). Além da capital, no Planalto Paulistano, a cidade de Araraquara está localizada na Cuestas Basálticas e as cidades litorâneas (Santos, Guarujá, Ubatuba, Bertioga e Caraguatatuba), na Província Costeira.

As grandes formações do relevo paulista e suas relações com a geologia estabelecem uma estrutura complexa com características próprias em cada localidade estudada.

Destaca-se de imediato a região litorânea pelo forte e quase abrupto desnível das porções interiores para a baixada, marcando-se bem a Província Costeira. Essa unidade geomorfológica do estado de São Paulo caracteriza-se pela drenagem escoando diretamente para o mar e aparece como uma estreita faixa no litoral Norte, no litoral Sul, ela alarga-se em ampla reentrância.

A província é dividida em três zonas: a Serrania Costeira, as Baixadas Litorâneas e as Morraria Costeira.

A Serrania Costeira corresponde aos fronts das serras interiores (Serras do Mar e Paranapiacaba), que descem de altitudes de 800 a 1.200 m para as áreas baixas adjacentes ao mar, bem como algumas elevações que se alçam das áreas baixas. Dada a diversidade morfológica, distinguem-se várias subzonas que se marcam como elevações maiores (Serra do Mar, Serra Paranapiacaba, Serra de Itatins, Serrania do Ribeira e Planaltos Interiores), contendo feições como escarpas festonadas, espigões digitados, serras alongadas, morros paralelos, mar de morros, morros isolados, morrotes em meia-laranja e outras formas (Tabela 20).

As Baixadas Litorâneas correspondem às porções baixas e têm altitudes que em geral não ultrapassam 70 m. No litoral norte, região onde estão localizados os municípios estudados, apresentam elevações que separam pequenas planícies e enseadas, onde se formaram praias de bolso, num contexto de costa sinuosa e sem submersão.

A Morraria Costeira aparece no baixo vale do Rio Ribeira de Iguape, com morros, montes, colinas e serras de até 100-200m de altitude, ao longo de uma extensa área que representa uma transição da baixada para a serrania.

Essa paisagem é produto de processos de tectonismo, alongamento e entalhamento durante o Mesozóico e primeira metade do Terciário e depois, da incidência de processos de esculturação na segunda metade do Terciário e no Quaternário.

No tocante à morfologia, a presença de encostas íngrimes ao longo das serras e até mesmo de elevações esparsas salientes nas áreas baixas, favorece a incidência de instabilizações gravitacionais de massas alteradas.

O aspecto litológico mais evidente é o controle que a natureza das rochas cristalinas da área e suas estruturas exercem sobre a escultura do relevo e a orientação dos cursos de água no entalhamento das formas. Como a natureza das rochas condiciona a suscetibilidade delas frente aos agentes físicos que atuam na superfície, favorece a erosão, a percolação de água, o entalhamento da rede de drenagem e a escultura de formas alongadas do relevo.

As descontinuidades inclinadas e de alívio de carga podem se revestir de importância na instabilização de massas e rochas e com isso as feições da estrutura em geral tornam a região muito suscetível aos escorregamentos.

Todas essas características, associadas à ocupação desordenada em locais que têm alta declividade, demonstram claramente a situação de risco dos municípios e a vulnerabilidade da população de mais baixa renda frente aos movimentos de massa, deflagrados pelos eventos atmosféricos.

Tabela 21 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas do Vale do Paraíba.

Municípios	Características do Meio Físico				Processos Geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos/Rochas	Hidrologia	
Cunha	-Grupo Açungui -Complexo Embu e Pilar	Mar de Morros: -topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos, -vales abertos a fechados.	Granitos e migmatitos associados. Gnaisses e migmatitos. Rochas ígneas básicas (intrusivas)	Drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular.	Alta suscetibilidade à erosão. Muito alta suscetibilidade à movimentos de massa. Alta suscetibilidade à inundações, adensamentos de solos moles.

(Continuação) Tabela 21 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas do Vale do Paraíba.

Municípios	Características do Meio Físico				Processos Geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos/Rochas	Hidrologia	
Paraibuna	-Grupo Canastra -Complexo Costeiro	Mar de Morros: -topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos, -vales abertos a fechados. Morros com Serras Restritas: -topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos por vezes abruptas, -vales fechados e planícies aluvionares interiores restritas.	Granitos e migmatitos associados. Gnaisses e migmatitos.	Drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular e padrão dendrítico a pinulado	Alta suscetibilidade à erosão. Alta suscetibilidade à movimentos de massa.
São Luiz do Paraitinga	-Complexo Pilar e Embu	Mar de morros: -topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos -vales abertos a fechados -planícies aluvionares interiores desenvolvidas. Serras alongadas: -topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptos e vales fechados.	Granitos e migmatitos associados. Gnaisses e migmatitos.	Drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular e Drenagem de alta densidade com padrão paralelo pinulado.	Alta suscetibilidade à erosão. Alta suscetibilidade à movimentos de massa. Alta suscetibilidade à inundações fluviais
Guaratinguetá	-Grupo Taubaté -Sedimentos Aluvionares	Planícies Aluviais Mar de Morros e Morros Paralelos: -topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos e retilíneos a convexos, -vales abertos a fechados. Colinas com Espigões locais: -Interflúvios sem orientação, topos aplainados a arredondados, -vales fechados	Areias, argilas. Gnaisses e migmatitos.	Drenagem de alta densidade padrão dendrítico a retangular e em treliça a localmente dendrítica e locais com Drenagem de média a baixa densidade com padrão subparalelo à dendrítico.	Muito alta suscetibilidade à escorregamentos. Alta suscetibilidade à erosão. Média expansão/contração dos solos. Alta suscetibilidade à inundações.

(Continuação) Tabela 21 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas do Vale do Paraíba.

Municípios	Características do Meio Físico				Processos Geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos/Rochas	Hidrologia	
<b>Natividade da Serra</b>	-Grupo São Roque -Facies Cantareira	Mar de Morros: -topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos, -vales abertos a fechados. Serras Alongadas: -topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptas, -vales fechados.	Granitos e migmatitos associados. Gnaisses e migmatitos. Rochas ígneas básicas (intrusivas)	Drenagem de alta densidade, padrão paralelo pinulado e padrão dendrítico a retangular.	Alta suscetibilidade à erosão. Alta suscetibilidade à movimentos de massa.
<b>Jambeiro</b>	-Grupo Açungui -Grupo São Roque -Facies Migmatítica	Morros Paralelos: -topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos, -vales fechados a abertos, -planícies aluvionares interiores restritas.	Gnaisses e migmatitos	Drenagem de alta densidade, padrão em treliça a localmente subdendrítica.	Alta suscetibilidade à erosão. Alta suscetibilidade à movimentos de massa.
<b>Jacareí</b>	-Grupo Açungui -Sedimentos Aluvionares -Grupo Taubaté	Planícies Aluviais Colinas Pequenas com Espigões Locais: -Interflúvios sem orientação, topos aplainados a arredondados, vertentes ravinadas com perfis convexos a retilíneos, -vales fechados e planícies aluviais interiores restritas. Mar de Morros: -topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos, -vales abertos a fechados.	Micaxistos, Gnaisses e migmatitos	Drenagem de média a baixa densidade, padrão subparalelo à dendrítico e locias com Drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular	Alta suscetibilidade à erosão; Média suscetibilidade à movimentos de massa; Alta suscetibilidade à inundações.



(Continuação) Tabela 21 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas do Vale do Paraíba.

Municípios	Características do Meio Físico				Processos Geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos/Rochas	Hidrologia	
São José dos Campos	-Grupo Taubaté -Formação Caçapava -Sedimentos Aluvionares	Relevo colinoso Tabuleiros: -Interflúvios extensos e aplainados, vertentes ravinadas de pequena expressão em área com perfis retilíneos de alta declividade, -vales abertos Planícies Aluviais	Camadas de areia e argila alternadas	Drenagem de baixa densidade	Muito alta suscetibilidade à movimentos de massa. Alta suscetibilidade à erosão. Média expansão/contração dos solos. Alta suscetibilidade à inundações.

Fontes: *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, Escala 1:1.000.000, IPT (1981);*

*Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000, IPT (1981) e*

*Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000, IPT (1994).*

A geomorfologia da área dos municípios em estudo (Tabela 21), relata a correlação entre os compartimentos tectônicos com o zoneamento geomorfológico, e estão representadas no Vale do Paraíba e Serra da Mantiqueira. Caracteriza-se por elevações de pequeno porte entre 600 a 750m, serranias alongadas segundo NE, declives acentuados e amplitudes altimétricas entre 50 a 150m. Está subdividida em duas sub-zonas: Morro Cristalinos e a Bacia de Taubaté.

A sub-zona dos Morros Cristalinos representa um relevo de transição para o Planalto da Bocaina a sul e a Serra da Mantiqueira a norte. As elevações variam entre 700 e 1000m, as formas de relevo são representadas por morro e morretes com topos angulares e arredondados e vertentes tendendo à convexidade.

A Bacia de Taubaté abriga o leito do rio Paraíba do Sul, a faixa de meandros e os terraços fluviais que se elevam entre 3 e 8 metros acima do nível de inundação, todos sustentados pelos sedimentos aluvionares do Quaternário. Entre 560 e 600m verificam-se os vales abertos e entre 600 e 650m, estão as colinas terciárias sustentadas pelo Grupo Taubaté onde predominam formas com topos planos a convexos, declividades baixas e vertentes retilíneas.

Na região do Vale do Paraíba, são encontradas rochas atribuídas ao Grupo Açungui (Pré-Cambriano superior), rochas cataclásticas, diques, rochas sedimentares do Grupo Taubaté e sedimentos quaternários (Tabela 21).

O Grupo Açungui é composto de sequências ectiníticas e migmatíticas, respectivamente, designadas de Complexos Pilar e Embu. O Grupo Taubaté representa o pacote sedimentar que se instalou no “*graben*” formado a partir do contato das falhas conjugadas nas bordas NO e SE e que provocou o basculamento de blocos com ampla subsidência da bacia e o soerguimento das serras do Mar e da Mantiqueira, constitui as Formações Tremembé e Caçapava.

O Planalto do Paraitinga incorpora áreas serranas e de morros que podem ser diferenciadas com características próprias ao longo da região. Nela predomina o sistema de Mar de Morros, cujas formas são mais extensas, mais suavizadas, mais arredondadas e já não guardam uma herança estrutural tão forte. Ocorrem, também, manchas restritas de Morros Paralelos e Colinas Pequenas com Espigões locais.

A região que separa as morrarias do Paraitinga e Paraibuna constitui-se em um conjunto de Serras Alongadas, que marcam entre si o divisor de águas das duas grandes bacias hidrográficas.

Morros Paralelos é a denominação para o tipo de relevo mais característico da Morraria do Paraitinga. Apresentam litologias mais resistentes, como granitos e respondem pelas elevações mais destacadas da área. As estruturas migmatíticas, assim como faixas graníticas, frequentemente limitadas por antigas falhas, são postas em evidência devido ao maior encaixamento da drenagem, dando origem a morros paralelos e subretilíneos, com drenagem muito diversificada, geralmente tipo treliça.

O relevo tipo Mar de Morros resulta do relevo Morros Paralelos e representa uma fase mais avançada da evolução geomorfológica, em que os morros já não refletem tão acentuadamente a estrutura e apresentam formas predominantemente mamelonares.

O relevo dos Morros com Serras Restritas ocupam o principal divisor entre os rios Paraíba do Sul e Paraitinga e, embora seja um relevo serrano, com morros e serras orientados pelas estruturas migmatíticas seus cimos não se destacam sobre o nível médio da superfície de erosão do Alto Paraitinga.

As Escarpas Festonadas e Escarpas com Espigões Digitados constituem a porção limítrofe da Morraria do Paraibuna com o Planalto Paulistano.

O médio Vale do Paraíba está dividido em uma região de morros desenvolvidos sobre rochas pré-cambrianas e uma região de colinas sedimentares. Ocorre em locais

restritos, uma delgada cobertura sedimentar, onde se localizam as colinas sedimentares, na Bacia Sedimentar de Taubaté.

A Bacia de Taubaté apresenta relevo de baixas chapadas e amplas colinas de perfis pouco inclinado, suavemente convexas, num conjunto topográfico geralmente harmonioso, o que se deve ao caráter pouco consistente dos sedimentos. Ocorrem chapadas no local, sendo a mais notável a de São José dos Campos.

Diante dessas características, uma das causas dos escorregamentos em cortes, encontrada no Complexo Cristalino é a resultante de estruturas residuais ou contato solo-rocha, também associada à elevação do lençol freático ou decorrente da infiltração de água durante prolongados períodos de chuvas. As quedas de barreiras nessas regiões são devido às alterações nos sistemas de infiltração e circulação de água, pela implantação de rodovias.

Como os movimentos de massa são fenômenos que se modificam continuamente, as investigações não podem ser consideradas como uma atividade isolada; ao contrário, elas devem ser interativas. À medida que novos dados são obtidos, novas questões são formuladas, requerendo mais informações para respondê-las.

Há uma relação de itens que devem ser investigados para a resolução de problemas de instabilidade de taludes. Entre eles, destacam-se os estudos topográficos, a geologia, a hidrologia, o clima, vibrações, histórico de alterações nos taludes e a evolução do uso do solo e seus reflexos no desenvolvimento de problemas relativos ao meio físico.

As características aqui apresentadas desses municípios (Tabela 21), mostram suscetibilidade alta a muito alta a movimentos de massa nessas regiões.

A Tabela 22 mostra as características dos municípios de Araraquara e São Paulo, que estão localizados no Planalto Ocidental e Planalto Atlântico respectivamente.

O Planalto Paulistano corresponde a uma área com relevo suavizado, com espigões de alturas modestas. É constituído em sua maior parte por filitos, micaxistos, gnaisses e migmatitos. Há duas subzonas bem definidas, a Morraria do Embu e as Colinas de São Paulo.

Na Morraria do Embu, o relevo aumenta progressivamente sua amplitude a partir das escarpas da Serra do Mar, e a área ocupada pelas suas unidades morfológicas (colinas e morrotes), torna-se maior e mais extensos e dão lugar a morros, e suas amplitudes ultrapassam centenas de metros.

Tabela 22 – Características Geológicas, Geomorfológicas e Hidrológicas de Araraquara e São Paulo.

Municípios	Características do Meio Físico				Processos Geológicos e comportamentos geotécnicos
	Geologia	Geomorfologia	Solos/Rochas	Hidrologia	
Araraquara	-Grupo Bauru e Grupo São Bento	Colinas amplas: -topos extensos e aplainados, -vertentes com perfis retilíneos a convexos, -vales abertos, -planícies aluviais interiores restritas Escarpas festonadas: -espigões, -topos angulosos, -vertentes com perfis retilíneos, -vales fechados.	Arenito e conglomerado basal 0,0 m a 78,5 m Diabásio 78,5 a 87,0 m	Drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico. Áreas com drenagem de alta densidade padrão subparalelo a dendrítico	Alta suscetibilidade à erosão por sulcos, ravinas e boçorocas de grande porte, predominantemente induzida por concentração de escoamento superficial; Rastejo generalizado nas encostas; Escoamentos planares em solos.
São Paulo	-Sedimentos do Complexo Embu -Formação São Paulo	Colinas pequenas com espigões locais: -topos aplainados a arredondados -vertentes ravinadas com perfis convexos a retilíneos -vales fechados, planícies aluviais. Morros com Serras Restritas: -morros de topos arredondados, -vertentes com perfis retilíneos por vezes abruptos, presença de serras restritas. Morros Paralelos: -vertentes com perfis retilíneos a convexos.	Areias, argilas, cascalhos e Arenitos	Drenagem de média a baixa densidade padrão subparalelo à dendrítico. Áreas com drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a pinulado.	Alta suscetibilidade à inundações, recalques, assoreamentos e solapamento das margens dos rios; Alta suscetibilidade à erosão nos solos subsuperficiais induzida por movimentos de terra; Alta suscetibilidade a movimentos de massa.

Fontes: *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, Escala 1:1.000.000, IPT (1981);*

*Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000, IPT (1981) e*

*Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000, IPT (1994).*

As Colinas de São Paulo constituem-se por Colinas Pequenas Isoladas, Morrotes Alongados Paralelos e Espigões, estão envolvidas por Mar de Morros, Morros Paralelos e por Morros com Serras Restritas.

As Cuestas Basálticas sustentam numerosos relevos de transição, e a formação Serra Geral e sedimentos do Grupo Bauru são características do município de Araraquara, com colinas amplas e escarpas festonadas.

A cidade de São Paulo possui características marcantes, é o maior município do estado e também o mais densamente povoado. Situada sobre um amplo planalto, com cerca de 600 km de extensão no sentido sudeste-noroeste. A transição entre planalto e planície se faz por um escarpa abrupta, a Serra do Mar, com altitude entre 800 a 1.100m. O planalto desce suavemente para o interior e se divide em três seções: o planalto cristalino, a depressão interior e o planalto ocidental, que formam, ao lado da planície litorânea e da Serra do Mar, as cinco unidades morfológicas do estado.

Existe no município de São Paulo, o grave problema de habitações precárias ou insuficientes. Muitas famílias da capital paulista moram em favelas, cortiços ou loteamentos clandestinos, o que incluem as áreas de risco, pois a taxa de pobreza do município é bastante elevada. Esses problemas de ocupação inadequada, agravam ainda mais o número de vítimas decorrentes dos escorregamentos.

## **7.4 ÁREAS SUSCEPTÍVEIS AO RISCO**

A seguir (Tabela 23) são apresentados os municípios suscetíveis a risco no estado de São Paulo (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil - CPRM/SGB, 2006), sendo possível analisar as áreas com ocorrências de deslizamentos nos municípios estudados.

O incremento das áreas de risco faz com que aumente, também, o número de pessoas vulneráveis a eles. A crescente ocupação das áreas de risco, que se dá em grande velocidade, de forma espontânea e sem qualquer tipo de planejamento, alteram profundamente os padrões sócioespaciais das ocorrências catastróficas. (NUNES, 2009). Por isso a importância da análise das áreas suscetíveis ao risco.

Na Tabela 23 é apresentada a análise do mapa às áreas suscetíveis aos riscos geológicos nas áreas estudadas.

Tabela 23 - Análise do mapa às áreas suscetíveis à riscos geológicos dos municípios estudados.

<b>Municípios</b>	<b>Legenda</b>
<b>São Paulo</b>	<p>Terrenos formados por solos ou rochas portadores de argilominerais expansivos ou portadores de descontinuidades geomecânicas caso sejam submetidas a escavações um pouco mais profundas facilitarão as desestabilizações e os processos erosivos nos taludes de corte.</p> <p>Terrenos onde a geologia e relevo são favoráveis à ocorrência de grandes movimentos naturais de massa incluindo rolamento de blocos e matacões.</p>
<b>Araraquara</b>	<p>Terrenos formados por solos ou rochas portadores de argilominerais expansivos ou portadores de descontinuidades geomecânicas caso sejam submetidas a escavações um pouco mais profundas facilitarão as desestabilizações e os processos erosivos nos taludes de corte.</p>
<b>Ubatuba</b>	<p>Terrenos onde a geologia e relevo são favoráveis à ocorrência de grandes movimentos naturais de massa incluindo rolamento de blocos e matacões.</p>
<b>Caraguatatuba</b>	<p>Terrenos com potencial de abatimentos e trincamentos de obras por baixa capacidade de suporte dos solos ou sedimentos.</p> <p>Terrenos onde podem existir blocos matacões de rochas duras mergulhados no solo e com solos de alto potencial erosivo induzido pela concentração de águas pluviais.</p> <p>Terrenos onde a geologia e relevo são favoráveis à ocorrência de grandes movimentos naturais de massa incluindo rolamento de blocos e matacões.</p> <p>Terrenos formados por solos ou rochas com grande heterogeneidade geotécnica lateral e vertical e portadores de alta densidade de descontinuidades geomecânicas no caso de sofrerem escavações um pouco mais profundas podem atingir horizontes estratigráficos que facilitam os processos erosivos e as desestabilizações nos taludes de cortes.</p>
<b>São Luiz do Paraitinga</b>	<p>Terrenos onde a geologia e relevo são favoráveis à ocorrência de grandes movimentos naturais de massa e deslocamento de rochas xistosas à base de micas ou quartzo micas isorientados.</p> <p>Terrenos formados por solos ou rochas com grande heterogeneidade geotécnica lateral e vertical e portadores de alta densidade de descontinuidades geomecânicas no caso de sofrerem escavações um pouco mais profundas podem atingir horizontes estratigráficos que facilitam os processos erosivos e as desestabilizações nos taludes de cortes.</p>

(Continuação) Tabela 23 - Análise do mapa às áreas suscetíveis a riscos geológicos dos municípios estudados.

Municípios	Legenda
<p style="text-align: center;">São José dos Campos Jacareí</p>	<p>Terrenos formados por solos ou rochas portadores de argilominerais expansivos ou portadores de descontinuidades geomecânicas caso sejam submetidas a escavações um pouco mais profundas facilitarão as desestabilizações e os processos erosivos nos taludes de corte.</p> <p>Terrenos formados por solos ou rochas com grande heterogeneidade geotécnica lateral e vertical e portadores de alta densidade de descontinuidades geomecânicas no caso de sofrerem escavações um pouco mais profundas podem atingir horizontes estratigráficos que facilitam os processos erosivos e as desestabilizações nos taludes de cortes.</p> <p>Terrenos onde a geologia e relevo são favoráveis a ocorrência de grandes movimentos naturais de massa incluindo rolamento de blocos e matacões.</p>
<p style="text-align: center;">Guaratinguetá</p>	<p>Terrenos formados por solos ou rochas com grande heterogeneidade geotécnica lateral e vertical e portadores de alta densidade de descontinuidades geomecânicas no caso de sofrerem escavações um pouco mais profundas podem atingir horizontes estratigráficos que facilitam os processos erosivos e as desestabilizações nos taludes de cortes.</p> <p>Terrenos onde a geologia e relevo são favoráveis à ocorrência de grandes movimentos naturais de massa incluindo rolamento de blocos e matacões.</p>
<p style="text-align: center;">Cunha Jambeiro Natividade da Serra</p>	<p>Terrenos onde a geologia e relevo são favoráveis à ocorrência de grandes movimentos naturais de massa incluindo rolamento de blocos e matacões.</p> <p>Terrenos onde a geologia e relevo são favoráveis a ocorrência de grandes movimentos naturais de massa e deslocamento de rochas xistosas à base de micas ou quartzo micas isorientados.</p>

Fonte: Mapa Geodiversidade do estado de São Paulo. Fonte: CPRM/SGB (2006).

As cidades localizadas em áreas com alta suscetibilidade tendem a apresentar problemas associados a movimentos de massa cada vez mais frequentes e intensos, decorrentes do esgotamento dos melhores terrenos e a consequente expansão sobre terrenos com grande declividade e instáveis.

É preciso estabelecer critérios de obras e normas urbanísticas diferenciadas, de acordo com o comportamento específico do terreno quanto a sua estabilidade, realizar mapeamento de risco em escala adequada e priorizar mecanismos de controle para o disciplinamento da expansão de usos que favoreçam a instabilização das encostas, principalmente o uso urbano. Faz-se necessário ainda, evitar ocupação junto às linhas de drenagem provenientes dos setores com declividades acentuadas, preservar a vegetação nos setores escarpados, criar monitoramento dos volumes pluviométricos e assim

estabelecer um sistema de alerta nas localidades que apresentaram valores significativos de vulnerabilidade e risco.

Para os movimentos de massa, diversos tipos de alternativas como o planejamento, o remanejamento, a instalação de medidas estruturais, a retirada temporária, retirada definitiva, o monitoramento dos eventos e as condições de áreas estáveis, são medidas de intervenção que poderão ser tomadas mediante identificação da vulnerabilidade e do risco.



## 8 MAPA DE RISCO

Na análise de risco, a suscetibilidade do local, que diz respeito às condições físicas, e a vulnerabilidade da população, são parâmetros essenciais.

Essa questão permeia o cotidiano das cidades e seus habitantes a cada estação chuvosa. As ações de prevenção e alerta tornam-se cada vez mais necessárias no sentido de preservar a vida e a propriedade. De modo a retratar um panorama da distribuição espacial dos índices calculados com vista a definir as áreas de risco e vulnerabilidade, foi elaborado um mapa de risco para os 15 municípios estudados.

A confecção do mapa de risco teve por inspiração o trabalho de Marcelino *et al* (2006), sendo que procedimento similar foi aplicado para os municípios da Região Metropolitana da Baixada Santista, com destaque para o Guarujá, por Trescenti (2010).

A Tabela 24 mostra os valores escalonados de 1 a 4 para as classes Baixo, Médio, Alto e Muito Alto obtidas na composição dos mapas. A classe correspondente ao Baixo é representado por 1 e a Muito Alto, pelo número 4.

- BAIXO: 1
- MÉDIO: 2
- ALTO: 3
- MUITO ALTO: 4

A partir desses valores, foi gerada uma média de todas as variáveis, a fim de identificar quais foram os municípios que estão mais sujeitos aos problemas referentes a eventos naturais.

As informações da tabela demonstram que os municípios que apresentaram os maiores valores foram: Santos, São Paulo, Guarujá e São José dos Campos. Entende-se por esses resultados que a somatória de altos valores em pelo menos 3 variáveis já contribuem para alertar esses municípios de prováveis problemas.

A Figura 76 mostra o mapa de risco de eventos de escorregamentos para os 15 municípios, verificando-se que os municípios mais problemáticos são aqueles que responderam pelo maior número de ocorrências (Perigo) e mais densamente povoados. Os municípios de Cunha, inseridos na classe muito alta, responde pela maior probabilidade de ocorrência de danos, seguidos por São Luiz do Paraitinga, São Paulo e Guarujá, na classe alta.

Tabela 24 – Valores de classes Baixo, Médio, Alto e Muito Alto escalonados entre 1 e 4.

	DD	IDH-M	IP	PI	Perigo	Risco	Vulnerabilidade
Cunha	1	1	2	2	4	4	2
Araraquara	2	4	2	3	1	1	2
Santos	4	4	4	4	2	2	4
São Paulo	4	4	4	4	3	3	4
Guarujá	4	2	3	3	3	3	3
Ubatuba	2	3	3	2	1	2	2
São Luiz do Paraitinga	1	1	1	2	3	3	1
Bertioga	2	2	3	2	1	2	2
São José dos Campos	3	4	3	4	1	1	3
Caraguatatuba	2	3	4	3	1	1	3
Jacareí	3	3	2	3	1	1	3
Jambeiro	1	2	2	1	1	1	2
Natividade da Serra	1	1	1	1	1	1	1
Paraibuna	1	2	1	2	2	2	1
Guaratinguetá	2	3	1	3	1	2	4

Os municípios de Araraquara, São José dos Campos, Caraguatatuba, Jacareí, Jambeiro e Natividade da Serra apresentaram valores nulos em virtude dos mínimos serem iguais aos valores de P (Tabela 16).

De acordo com o mapa da vulnerabilidade (Figura 77), os municípios que apresentaram os maiores valores são os mais vulneráveis aos eventos calamitosos, com maior probabilidade de ter um grande número de pessoas afetadas por desastres, são eles: São Paulo, Santos e Guaratinguetá, seguido por Guarujá, São José dos Campos, Caraguatatuba e Jacareí. Esses altos índices estão relacionados à alta densidade demográfica, quando comparados aos demais municípios.

Apesar de São Luiz do Paraitinga não estar entre os mais vulneráveis, e apresentar um número elevado de pessoas idosas e alto índice de pobreza, o município possui baixa densidade demográfica.

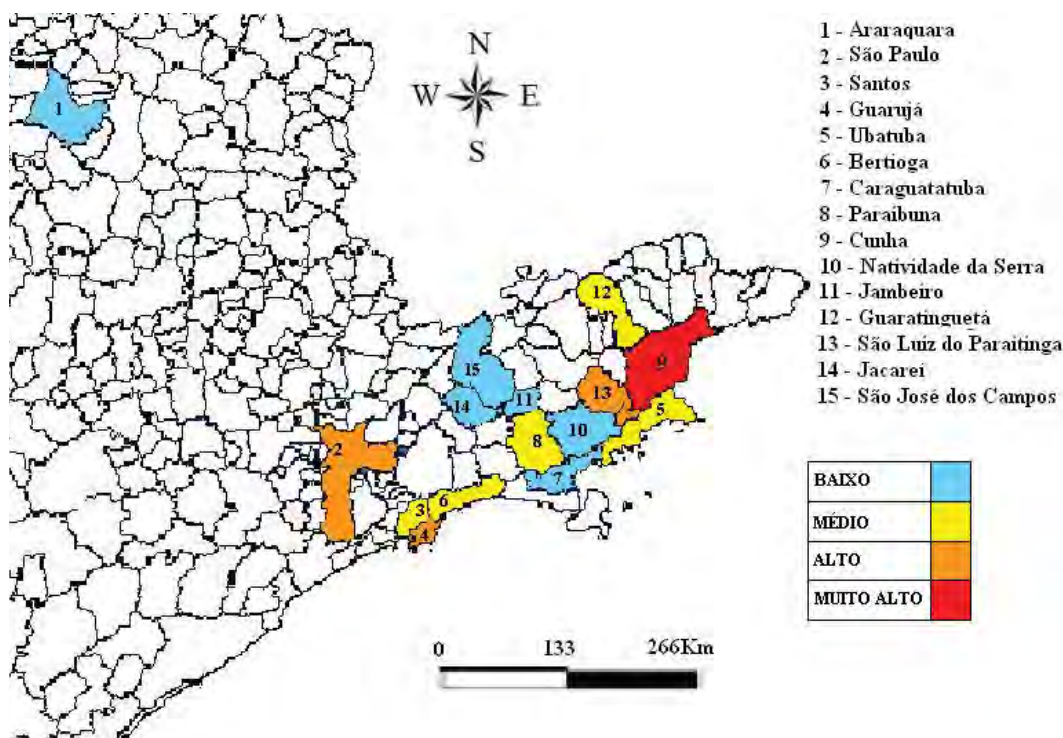


Figura 76 – Mapa de Risco de eventos de movimentos de massa dos 15 municípios no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010.

Comparando os dois mapas, nota-se que Guaratinguetá, assim como Santos, apresentaram Risco Médio enquanto que a Vulnerabilidade é classificada como Muito Alta. Já Cunha mostrou o inverso: Risco Muito Alto e Vulnerabilidade Média. Esses locais provavelmente têm uma população mais vulnerável, já que há relação entre eles.

As análises dos mapas demonstraram que a situação dos municípios em relação a eventos atmosféricos é crítica, uma vez que ele conjuga uma série de fatores que, somados, produzem uma situação desfavorável à população, tornando-a crescentemente vulnerável.

Entre esses fatores está a grande concentração de pessoas com baixa renda morando em locais que tem alta declividade, que associado ao clima da região ocasionam os movimentos de massa.

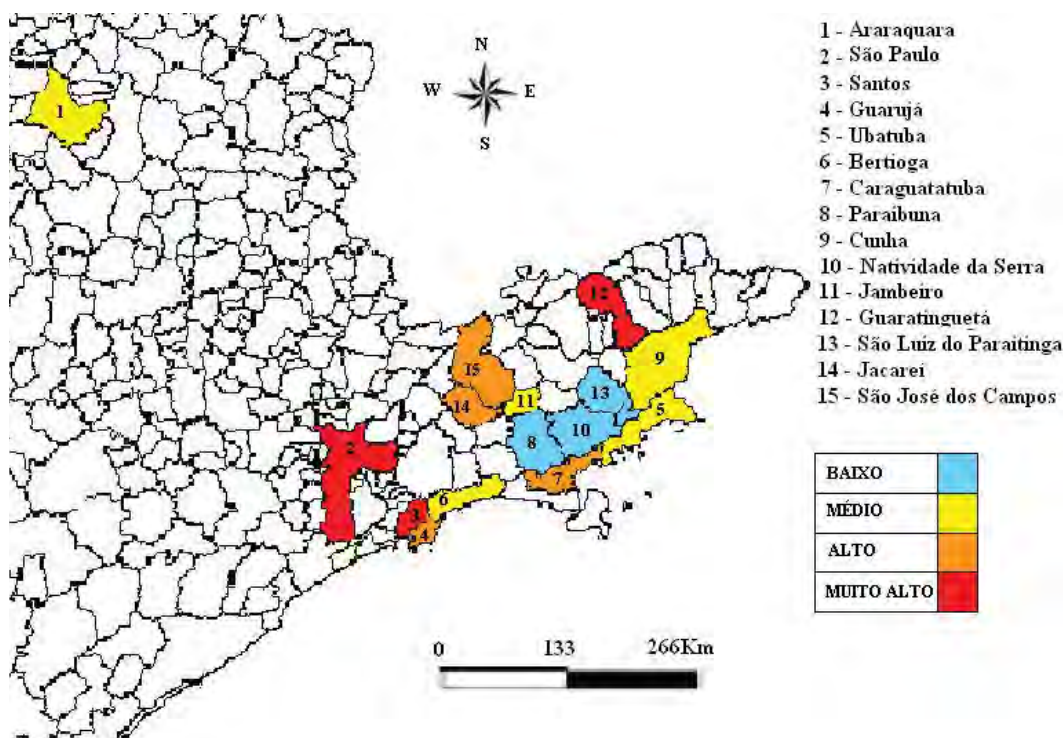


Figura 77 – Mapa de Vulnerabilidade de eventos de movimentos de massa dos 15 municípios no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010.

Dentre as regiões estudadas verifica-se que a vulnerabilidade está ligada diretamente com o poder econômico e com a população idosa, que apresentam diversos problemas de ordem social, com forte influência da densidade demográfica. Essas áreas apresentaram natureza muito frágil em decorrência dos processos naturais, e, a intervenção do homem nesse sistema, aumenta ainda mais a instabilidade já existente, em áreas com altas declividades, com sedimentos não consolidados, aterros e outros.

A importância da elaboração de mapas de risco demonstra a situação do município em relação aos fenômenos meteorológicos, e faz-se necessário um acompanhamento dessas análises frente às mudanças dos índices, juntamente com o trabalho dos órgãos competentes em coibir a ocupação em áreas de risco, protegendo a população, pois os eventos de escorregamentos continuarão a ocorrer nessas regiões.

Salienta-se que o índice de risco ora aplicado desconsidera parâmetros físicos, que certamente são relevantes para a compreensão mais abrangente do risco. Esse trabalho não teve a pretensão de desenvolver um índice, ainda que se reconheça a relevância de se associar componentes físicos (geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e climáticos) na proposição do risco.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da presente investigação apontam que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) foi o sistema mais favorável à ocorrência de movimentos de massa.

Nos 15 municípios analisados, todos os eventos ocorreram no período entre final de primavera e verão, fato já conhecido, mas que reforça a necessidade de alertas mais efetivos e constantes nesse período de modo a evitar as tragédias, que já vem se tornando rotineiras.

Para os dois municípios destacados (São Paulo e São Luiz do Paraitinga), notou-se a fragilidade do solo sob influência do aumento das médias históricas de precipitação nos meses de dezembro e janeiro favorecidos pelo sistema da ZCAS.

Também neste estudo foi observada a necessidade de análise conjunta de componentes físicos (geologia, geomorfologia, hidrologia e climatologia) e sociais, como ocupação de áreas de risco e parcelas da população mais comumente afetadas por calamidades deflagradas por situações atmosféricas.

Sugere-se o monitoramento desses sistemas em áreas de reincidências de escorregamentos com vistas a estabelecer um grau de previsibilidade operacional por parte da Defesa Civil.

A maior parte das ocorrências catastróficas esteve associada às formações geológicas cristalinas, de modo que alguns municípios, instalados em locais de domínio dessas formações, demandam atenção especial, pois em situação de chuvas elevadas e constantes, com assentamentos urbanos, a possibilidade de instabilidades geotécnicas é aumentada.

A instabilização propiciada pelos condicionantes geológicos e atmosféricos é agravada pela ocupação humana, que altera substancialmente os locais, ao remover a vegetação, modificar o relevo e a hidrografia. A falta de infraestrutura, como saneamento e obras de engenharia, também contribuem para os danos de escorregamentos.

Com relação à erosão, as comparações entre as ocorrências do município de Bauru e São Paulo, utilizando os histogramas elaborados, comprovaram que a ocupação humana é um dos principais deflagradores desse evento, sobrepondo às características hídricas, geológicas, geomorfológicas e pedológicas do local, induzindo a uma maior suscetibilidade em regiões onde não deveriam apresentar esse tipo de ocorrência. Notou-se que essas duas

regiões são totalmente distintas, possuindo diferente clima, geologia, geomorfologia, e densidade demográfica, mostrando assim, que a análise e a tomada de medidas mitigadoras não podem ser generalizadas e sim específicas por região. E através de estudos de casos e suas reincidências, é possível diagnosticar e estudar uma área de risco e verificar ações de prevenção e alerta.

Os mapas de risco e vulnerabilidade, elaborados apenas para os setores que registraram ocorrências calamitosas entre setembro de 2009 e fevereiro de 2010, destacaram que os municípios da faixa leste do estado foram os mais afetados no que diz respeito aos movimentos de massa. Para essa situação específica, Cunha e São Luiz do Paraitinga foram potencialmente afetados. É relevante apontar que ainda que Cunha tenha registrado um número de ocorrências muitas vezes superior aos demais municípios afetados no período, os totais de chuva não foram os mais significativos. Todavia, esse município manteve os volumes de precipitação acima da média no inverno, o que pode ter contribuído para o quadro que se instalou nesse ambiente naturalmente frágil. A inexistência de medições horárias impossibilitou análises mais detalhadas quanto à distribuição da chuva.

São Paulo e São Luiz do Paraitinga mereceram destaque pelo aumento considerável da precipitação em relação à média histórica (200 e 210%, respectivamente). No caso de São Paulo, maior cidade da América do Sul, a concentração de volumes tão elevados teve implicações negativas, mas também em São Luiz do Paraitinga as consequências foram muito nefastas por se tratar de uma cidade onde o turismo histórico, ampliado no período do verão, foi profundamente afetado.

Os índices de risco e vulnerabilidade aplicados poderiam ser melhorados, considerando também aspectos físicos, como a geologia, a geomorfologia, a hidrologia e a climatologia, que são essenciais para a deflagração de ocorrências catastróficas.

Tudo isso reforça que as relações espaciais das cidades com as áreas naturais são cada vez mais desconsideradas e vêm criando um ambiente de discussão sobre formas e estratégias para conter o processo histórico de desastres e danos.

Uma importante lição da leitura desse processo é que toda e qualquer situação desastrosa é sempre precedida por uma mudança no ambiente, que é acima de tudo, dinâmico. Isto significa que uma situação de equilíbrio aparente sempre pode, de forma abrupta ou gradual, ser transformada em uma situação de não equilíbrio, contribuindo ou induzindo para um resultado de evento desastroso para o homem.

O estudo dos principais danos causados à população direta ou indiretamente, através de estudos de casos e suas reincidências, a espacialização de alguns danos causados por escorregamento de encostas, erosão, queda de barreiras, associados aos mapas geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, ocupação antrópica e precipitação média, possibilitaram uma análise visando mostrar possíveis áreas de risco, tornando o banco de dados uma importante ferramenta a ser utilizada por profissionais da área de geotecnia ambiental, de órgãos tomadores de decisão em prevenção de acidentes, e outros.

A atualização contínua de novos eventos severos no banco de dados é uma rotina que já está estabelecida e as informações armazenadas possibilitarão que análises sejam realizadas com vistas à compreensão dos tipos de eventos, períodos e áreas preferenciais dessas ocorrências severas no estado de São Paulo. Espera-se que essas informações compiladas continuamente ao longo de um determinado período contribuam para a determinação de possíveis áreas de risco, elaboração de mapas e sazonalidade das ocorrências, servindo de suporte logístico para os órgãos tomadores de decisão e que trabalham com a assistência aos vitimados pelos desastres naturais, também possibilitando medidas preventivas para diminuir os riscos.

Apesar do grande número de fatores e agentes condicionantes influenciar os processos de escorregamentos, é possível estabelecer relações entre os sistemas meteorológicos, as quais dão indicações da probabilidade de movimentação do solo ou rocha. Essa avaliação pode ser realizada por meio de análise de eventos passados aplicando nos níveis locais, conhecendo a geologia, a geomorfologia, a hidrologia, as condições atmosféricas e a ocupação do solo. Recomenda-se que estes estudos sejam atualizados a cada estação chuvosa.

Dessa maneira, a elaboração de histogramas associados aos mapas de ocorrência dos danos é importante no sentido de poderem servir de alerta na identificação das áreas de risco, suscetíveis a novas ocorrências.

À medida que o homem vai ocupando espaços, os padrões vão se alterando; cada mudança impulsiona novas linhas de evolução, novos caminhos, novos condicionantes e novos problemas. Portanto, é muito importante conhecer os fatores indutores das transformações, a suscetibilidade do sistema e os desastres ambientais, pois estes nunca dependem de um único fator ou variável, mas de um conjunto deles, que vão determinar as condições do meio e suas áreas de risco.

Nesse sentido, essa pesquisa mostrou que as análises das informações deste banco de dados devem ser realizadas conjuntamente com a densidade demográfica ou taxa de

ocupação, a geomorfologia, a geologia e os tipos de eventos atmosféricos severos ocorridos na região de estudo. Demonstrou, também, que o estado de São Paulo, apesar de seu dinamismo socioeconômico demanda ações mais concretas do poder público, de forma a minimizar os impactos negativos promovidos por condições físicas que são próprias desse ambiente, e assim preservar vidas e recursos financeiros.



## 10 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos nessa pesquisa despertaram uma série de sugestões para estudos futuros. Entre as sugestões, destacam-se:

A importância de elaborar um estudo baseado em uma rede de estações meteorológicas localizados em locais de risco de escorregamentos para um monitoramento e alerta de acordo com as características do local.

Propor a realização de ensaios laboratoriais nos locais onde houve os escorregamentos, e assim caracterizar melhor o solo em questão.

Aplicar os índices para todos os municípios atingidos pelos movimentos de massa.

Ampliar o período de estudo e os setores do estado de São Paulo.

Incluir dados dos radares meteorológicos nas análises dos danos causados por eventos extremos de precipitação e propor alerta para os níveis de atenção para totais pluviométricos críticos identificados em áreas de risco.

Desenvolver novo índice de risco que inclua variáveis relevantes na deflagração de escorregamentos.

## 11 BIBLIOGRAFIA

ACIESP – Academia de Ciências do Estado de São Paulo. **Glossário de Ecologia**. 1ª edição. 271p. 1987.

ALCÂNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention for natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.

ALMEIDA FILHO, G.S. **Diagnóstico de Processos Erosivos Lineares Associados a Eventos pluviosos no Município de Bauru, SP**. 2000. Dissertação de Mestrado apresentada a Engenharia Civil da Universidade de Campinas – Unicamp.

AMORIM R. F. e SILVA F. M. **Modelagem do processo de vulnerabilidade à erosão do Solo utilizando o SPRING**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, **Anais** -25-30 abril 2009, INPE, p. 2073-5080.

ANDRÉ, I. R. N.; TAVARES, A. C.; AZEVEDO, T. S.; FERREIRA, N. J.; MUTTI, R. G.; PELLEGRINA, G.; CONCEIÇÃO, R. P.; SANTOS, J. R. C.; PARDO, N. M. S.; MELO, M. O. **Clima, Variabilidade, Mudanças Climáticas e uma Proposta Metodológica para Mapeamento de Danos Provenientes de Eventos Severos**. Revista Geografia, ISSN 0100-7912, Rio Claro – SP, Vol. 34, n.3, setembro a dezembro 2009.

ARONOFF S. (1989). **Geographic Information Systems: a management perspective**. WDL Publications, Ottawa Canada. 294p.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S. & AMENOMORI, C. J. Riscos geológicos: aspectos conceituais. In: In: 1º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1990, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1990, p.334-341.

BANDEIRA A. P. N.; COUTINHO R. Q. e ALHEIROS M. M. Chuvas Críticas Associadas aos Escorregamentos de Encostas na Região Metropolitana do Recife.

Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. **Anais**. 17 a 22 agosto de 2010. Gramado, RS.

BRASIL, MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Plano Nacional de Defesa Civil**. Brasília: Secretaria de Defesa Civil, 2000, 57p.

BBC BRASIL. **Brasil é o país das Américas mais afetado por desastres**. Disponível em: [http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/story/2003/07/030717\\_cruzvermla.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/story/2003/07/030717_cruzvermla.shtml)>  
Acesso em: 26 de outubro de 2009.

BALAJI, D; SANKAR, R; KARTHI, S. GIS approach for disaster management through awareness an overview. Disponível em:  
<[http://www.gisdevelopment.net/application/natural\\_hazards/overview/nho0012.htm](http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/overview/nho0012.htm)>.  
Acesso em: 27 out. 2009.

BONHAM-CARTER, G. F. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS. Ottawa: Pergamon, 1996. 398p.

BRASIL. Resolução No 2, de 12 de dezembro de 1994. Política Nacional de Defesa Civil. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, Brasília, DF, 02 jan. 1995. Seção 1, p. 82-86.

BRASIL. Resolução No 3, de 02 de julho de 1999. Manual para a decretação de situação de emergência ou de estado de calamidade pública. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 jul. 1999. Seção 1, p. 04-29.

BRESSANI, L. A.; BERTUOL, F. Alguns Escorregamentos do RS e SC e a Avaliação de Susceptibilidade e Risco de Encostas. **Workshop: Desastres Naturais**. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Gramado, RS. 2010.

BRYANT 1991 BRYANT, E. A. Climate process and change. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 209p.

BURROUGH, P.A; VAN GAANS, P.F.M.; HOOTSMANS, R. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. **Geoderma**, v. 77, p.115-135, 1997.

BURROUGH P.A. (1986) **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Clarendon Press, Oxford. 1986 193 – 194p.

CALIJURI, M.L. **Sistemas de Informações Geográficas**. v.2.. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. **Apostila**. 1994.

CALIJURI, M.L.; RÖHM, S.A **Sistemas de Informações Geográficas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. **Apostila**.1994. 34p.

CAMAPUM, J. C. Gestão de Riscos e Encostas: Implicações Geotécnicas da Ocupação e Uso do Solo e sua Relação com a Educação Ambiental, com as Limitações das Normas Técnicas e com a Falta de Efetividade das Normas Administrativas e Jurídicas. **Workshop: Desastres Naturais**. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Gramado, RS. 2010.

CÂMARA, G. e MONTEIRO, A. M. U. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: G. CÂMARA *et al.* (Ed.) **Introdução a ciência da geoinformação**, São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html)> acesso em : março de 2008.

CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. **Hillslope form and process**. London: Cambridge University Press, 1975. 475p.

CARTA GEOTÉCNICA DO ESTADO DE SÃO PAULO, Escala 1:500.000, IPT (1994). Volumes I e II.

CARTER J.R.(1989). Digital Representations of Topographic Surfaces. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. V.54, No.11, pp: 1577-1580.

CASTELLANO M. S, NUNES L. H. Eventos Climatológicos Extremos na cidade de Campinas (SP) no período de 1991 a 2000. 2º. SIBRADEN (Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos). **Anais**. 09 a 13 de dezembro de 2007 – Santos – SP.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Glossário de Defesa Civil**: Estudos de Riscos e Medicina de Desastres. 2ª. ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento/Departamento de Defesa Civil, 1998, 173p.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres**: desastres naturais. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174p.

CENDRERO, A. Desarrollo y tendencias de la geología ambiental en Europa. In: SEMINARIO ANDINO DE GEOLOGIA AMBIENTAL, I. CONFERENCIA COLOMBIANA DE GEOLOGIA AMBIENTAL, I. Medellín, Memoria. **AGID Report** n. 13. p.65-88. 1990.

CERRI, L.E.S. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: CBGE/ IX COBREAE, VI, Salvador, **Anais...** p.309-318. 1990.

CERRI, L. E. da S.; AMARAL, C. P. do. Riscos geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 301-310.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C. Ciclo do Carbono e Efeito Estufa. In: SIMPÓSIO SOBRE PLANTIO DIRETO E MEIO AMBIENTE, 2005, Foz do Iguaçu. Seqüestro de Carbono e Qualidade da Água. **Anais**. Foz do Iguaçu:[Febrapdp], 2005. p. 15-19.

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente** – Ministério do Meio Ambiente. Brasília. ISBN: 85-7738-039-4. 2006.

CORHI (2007) UGRHI 06 – Alto Tietê. Conselho Estadual de Recursos Hídricos Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos – CORHI. Disponível em

<[http://wwwcomitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07\\_UGRHI-06.pdf](http://wwwcomitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07_UGRHI-06.pdf)>, acesso em 14/07/2009.

CORHI (2007) UGRHI 13 – Tietê/Jacaré. Conselho Estadual de Recursos Hídricos Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos – CORHI. Disponível em <[http://wwwcomitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07\\_UGRHI-13.pdf](http://wwwcomitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07_UGRHI-13.pdf)>, acesso em 14/07/2009.

CORHI (2007) UGRHI 16 – Tietê/Batalha. Conselho Estadual de Recursos Hídricos Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos – CORHI. Disponível em <[http://wwwcomitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07\\_UGRHI-16.pdf](http://wwwcomitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07_UGRHI-16.pdf)>, acesso em 14/07/2009.

COWEN D.J. (1988) GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. No.54, p:1551-1555.

COWEN D.J. (1991) **What is GIS?** Introduction to GIS. Editado por M. F. Goodchild, K. K. Kemp. Santa Bárbara, CA: National Centre for Geographic Information and Analysis, 1-1:9.

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo de Estudos Climáticos. Informações climáticas. Disponível em: <<http://infoclim1.cptec.inpe.br/>> Acesso feito em Maio/2010.

CRUZ P. T. DA E MASSAD F. **Debris flows: an attempt to define design parameters**. Proceedings, Symposium on Recent Developments on Soil Mechanics and Pavement Mechanics, 25-27th July, Rio de Janeiro, Balkema , vol. I:409-414. 1997.

DAVIS, C e BORGES, K. **Modelos de Dados em Sistemas de Informação Geográfica (2004)**.

DEVINE H.A., FIELD R.C. (1986) The gist of GIS. **Journal of Forestry**. August, p:17-22.

DER – Departamento de Estradas e Rodagem. **Mapa Rodoviário – Rodovias Federais**. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria dos Transportes. Edição 2004. Escala: 1:1.000.000. Disponível em: <[http://www.der.sp.gov.br/malha/download\\_mapas.aspx](http://www.der.sp.gov.br/malha/download_mapas.aspx)> Acesso em 30 de setembro de 2010.

DICKINSON H., CALKINS H.W. (1988) The economic evaluation of implementing a GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**. No.2, p:307-27.

DoE - Department of the Environment (1987) **Handling Geographical Information**. HMSO, London.

DPI,-Divisão de Processamento de Imagens. Página da internet [www.dpi.inpe.br](http://www.dpi.inpe.br). Outubro de 2009.

DUEKER, K.J. (1979). Land Resource Information Systems: a Review of Fifteen Years Experience. **Geo-Processing**. Vol.1, pp:105-128.

DUBOIS P. **MySQL, The definitive guide to using, programming, and administering MySQL 4.1 and 5.0**. 3rd Edition .p.1320. Published Mar 8, 2005. Artigo original: <<http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=377652>>

EM-DAT. **The OFDA/CRED International Disaster Database**. Disponível em: <<http://www.em-dat.net/>>. Acesso em: Março de 2010.

FIORI, A. P. e CARMIGNANI, L. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas, aplicação na estabilidade de taludes**. Editora UFPR. 550 p. 2001.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Mega cities**, edição de 4 de fevereiro de 2006.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: Difel. 1981. 161p.

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, **Anais**. 2005.

GOMES, A. M., ESCOBEDO J. F. Climatologia de tempestades na área central do estado de São Paulo usando radar meteorológico. Revista Energia na Agricultura. ISSN 1808-8759. Botucatu - SP, vol. 25, n. 1, p. 1-20, 2010.

GRINOVER L. **Ecologia de Ecossistemas** – Apostilas. Plano de ensino da Disciplina de Pós-Graduação CAP.5924 / ECA.USP 1998.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 1976. 48p. (Relatório n. 1080).

HEIDRICH R. L. J. Diretrizes para a Gestão da Vigilância em Saúde nos Eventos Ambientais Adversos no RS. 2º. SIBRADEN (Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos). **Anais**. 09 a 13 de dezembro de 2007 – Santos – SP.

IDE, F. S. Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP. Dissertação de mestrado. IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo) São Paulo - SP. 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Working Group I, AR4, Chapter 11. Regional Climate Projections. Paris, 2007. Disponível em: <  
[http://www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas/](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/)>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000, IPT (1981); Volumes I e II. São Paulo-SP. Publicação 1183.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT – Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000, IPT (1981); Volumes I e II. São Paulo-SP. Publicação 1184.



ISDR – INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with risk**: a global review of disaster reduction initiatives. Preliminary version. Geneva, Switzerland: UN/ISDR, 2002.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R.V.; SHRÖDER, P.H.; GRANDO, Â.; REGINATTO, G.M.P. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846 (CD-ROM).

KLAR, A. E. **A água no sistema Solo – Planta – Atmosfera**. Livraria e editora Nobel S.A. 397 p., 1984. ISBN 85-213-0164-2.

KOBIYAMA M.; MENDONÇA M.; MORENO D. A.; MARCELINO I. P. V.O.; MARCELINO E. V. ; GONÇALVES E. F.; BRAZETTI L. L. P.; GOERL R. F.; MOLLERI G. S. F.; RUDORFF F. M. **Prevenção de Desastres Naturais – Conceitos Básicos**. Curitiba – PR – 1ª. Edição – 2006.

KOSHKARIOV, A.V.; TIKUNOV, V.S. TROFIMOV, A.M. (1989). The current state and the main trends in the development of geographical information systems in the URSS. **International Journal of Geographical Information Systems**. Vol.3, pp:257-272.

LARIOS M. R.; CALIJURI M. L. **Identificação de Áreas de Risco à Erosão Utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. Anais do IV Congresso de Engenharia Civil. Editora Interciência, 2000 – RJ. V. 2. p. 703-714.

LOPES E. S. S. **Modelagem Espacial Dinâmica Aplicada ao Estudo de Movimentos de Massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.000**. Tese de doutorado. UNESP – Rio Claro – Geociências e Meio Ambiente – 2006.

LOPES E. S. S., REIDEL P. S. Simulação da corrida de Massa do Km42 ocorrido na Rodovia Anchieta. 2º. SIBRADEN (Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos). **Anais**. 09 a 13 de dezembro de 2007 – Santos – SP.

LOURENÇO L. **Riscos Naturais e Proteção do Ambiente**. Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais – Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra – 2004.

MAGUIRE D.J. (1991) An overview and definition of gis. In Maguire D.J., Goodchild M.F. e Rhind D.W. **Geographical Information Systems - Principles and Applications**. Longman Scientific & Technical. London. Vol.1, p:9-20.

MARCELINO E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. INPE - 15208-PUD/193, Santa Maria-RS – 2008.

MARCELINO E. V., NUNES L. H., KOBIYAMA M. **Mapeamento de Risco de Desastres Naturais do Estado e Santa Catarina**. Caminhos de Geografia 8 - Revista on line, disponível em <<http://ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. 72-84, 2006. ISSN 1678-6343.

MARCELINO, I. P. V. O.; HERRMANN, M. L. P.; FERREIRA, N. J. The occurrence of tornadoes in Santa Catarina State, Brazil. **Australian Meteorological Magazine**. (Submetido em 2005).

MARCELINO, I. P. V. **Análise episódica de tornados em Santa Catarina: Caracterização sinótica e mineração de dados**. 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**. Caracterização do clima atual e definição de alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. (Série Biodiversidade, 26).

MASSAD F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. Ed. Oficina de Textos, 2ª. Ed, 216 p. 2010.

MASSAD F., CRUZ P. T, KANJI M. A., FILHO H. A A. Serra de Cubatão: Cenários de Riscos de “Debris Flows” e seu Possível Controle.

MEDEIROS, J. S. e CÂMARA, G. **GIS para Estudos Ambientais** (2004).

MET OFFICE. **Catarina hits Brazil**: South Atlantic Hurricane breaks all the rules. Disponível em <<http://www.metoffice.com/sec2/sec2cyclone/catarina.html>> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

MIN – Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Defesa Civil. Manual para a decretação de situação de emergência ou de estado de calamidade pública. Brasília: MIN, 1999.

MIN – Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Defesa Civil. Política Nacional de Defesa Civil. Brasília: MIN, 2007. 81p.

MODAELLI, S. D. O., SABBAG, E. G., PRANDI E. C., FELIX, U.T., CARNESSECA, L. F. Controle das erosões urbanas no Estado de São Paulo. In: Anais do 8º. Simpósio Nacional de Controle de Erosão. CD-ROM. São Paulo. 2009.

MONTOIA G. R. M – Planejamento Participativo em Pequenas Cidades da Amazônia: Um estudo de caso no Município de Ponta de Pedras – PA. Dissertação de Mestrado pela Universidade Vale do Paraíba – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento – São José dos Campos – SP, 2010.

MOREIRA, F; BARBOSA, C; CÂMARA, G e ALMEIDA, R. **Inferência Geográfica e Suporte à Decisão** (2004).

NACARATTO, K.; PINTO JR. O.; PINTO I. R. Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of southeastern Brazil. *Geophysical Research Letters*, Washington, DC, v. 30, n. 13, p. 71-74, 2003.

NOCENTINI, I.R.; TAVARES, A.C.; AZEVEDO, T.S.; FERREIRA, N.J.; MUTTI, R.G.; PELLEGRINA, G.; CONCEIÇÃO, R.P.; SANTOS, J.R.C.; PARDO, N.M.S. **Clima, Variabilidade, Mudanças Climáticas e uma Proposta Metodológica para Mapeamento de Danos Provenientes de Eventos Severos.** *Anais, XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, (CD ROM), São Paulo, 24 – 29 de agosto de 2008, SBMET, 5pp.

NUNES, L. H. **Compreensões e ações frente aos padrões espaciais e temporais de riscos e desastres.** *Revista Territorium (Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança)*, Vol. 16. ISBN: 0872-8941. 2009.

OZOMOY V.M., SMITH D.R., SICHERMAN A. (1981) Evaluating computerized geographic information systems using decision analysis. **Interfaces**. No.11, p:92-8.

PARKER H.D. (1988) The unique qualities of a geographic information system: a commentary. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. No.54, p:1547- 49.

PAULA, J. P. L. ; ZAINÉ, J. E.; LIMA, M. S. e OLIVEIRA, E. M. **ANÁLISE FIOGRÁFICA APLICADA À ELABORAÇÃO DE MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE REGIÃO DA SERRA DO MAR E BAIXADA SANTISTA.** *Geociênc.* (São Paulo). 2008, vol.27, n.2, pp. 249-264. ISSN 0101-9082. Disponível em: <[http://pgegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-90822008000200008&lng=pt&nrm=iso](http://pgegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822008000200008&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 14 set. 2010.

PEARSON, E; WADGE, G; WISCOSKI, A. P. An integrated expert system/GIS approach to modeling and mapping natural hazards. In: European conference on GIS (EGIS'91), 1991, Brussels. Proceedings... Brussels, Belgium: EGIS foundation, 1991. Session 26, p. 763-771.

PELLEGRINA, G.; OLIVEIRA, M. A. A.; PEIXOTO, A. S. P. **Elaboração de um Banco de Dados para Eventos Severos.** *Revista Territorium (Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança)*, Vol. 16. ISBN: 0872-8941. 2009.

PERROTA, M. M. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. São Paulo? CPRM, 2005. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

PETERSEN, G.W., BELL, J.C., MCSWEENEY, K., NIELSEN, A.G., ROBERT, P.C. Geographic informations systems in agronomy. **Advances in Agronomy**, v.55, p. 67-111, 1995.

PORTES, A. M. C; MENEZES, L.O.; COELHO V. F.; RIBEIRO, A. G.; BRAZ, M. G. Análise da influência da chuva no processo de instabilização de taludes de solos residuais de filito. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. **Anais**. 17 a 22 agosto de 2010. Gramado, RS.

PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L.; BHERING, E. M.; SILVA, J. M. A. Obtenção de equações de chuvas intensas em qualquer localidade do Estado de Minas Gerais utilizando Sistemas de Informações Geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO-XXV. **Anais...**, p. 1988-1990. 1995.

RAMALHO, G.G.C. **Mapeamento Geotécnico de Viçosa com uso de Sistemas de Informações Geográficas**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1994 (Tese M.Sc.).

RAMOS, C. S.; SANCHES, M. C. Estudo metodológico de classificação de dados para cartografia temática. **Geografia**, v. 25, n. 2. p 23-25, 2000.

REIZKZIEGEL B. W. e ROBAINA L. E. S. Desastres Naturais no Estado do RS no período de 1980 a 2005: Enchentes e Enxurradas. 2º. SIBRADEN (Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos). **Anais**. 09 a 13 de dezembro de 2007 – Santos – SP.

RIBEIRO, G e CÂMARA, G. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica (2004)**.

ROCHA, G. MAPA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos – Governo do estado de São Paulo. 2005. Escala: 1:1.000.000.

ROSS, J. L.S. In: ROSS, J. L.S (Org.) **Geografia do Brasil**. São Paulo, 5º edição, Editora da Universidade de São Paulo, 1995, p. 209-231.

SACHS I. **Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir**. São Paulo, Vértice, 280 p. 1986.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**. São Paulo, 1995. Tese de Doutorado em Geografia Física – Universidade de São Paulo. São Paulo-SP.

SANTORO, J.; MACEDO, E. S. **O Plano Preventivo de Defesa Civil – PPDC – Específico para Escorregamentos**. IPT, 2000. São Paulo – SP. Disponível em: <<http://defesacivil.sp.gov.br>>. Acesso feito em Maio de 2010.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. 2ed. Oxford: Oxford Univ. Press, 1993, 451p.

SELUCHI M. E. **Padrões Sinóticos Associados a Situações de Deslizamentos de Encostas na Serra do Mar**. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis – Anais, 2006.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM – Mapa Geodiversidade do Brasil. Escala de 1:2.500.00 (2006) acesso feito em 14 de setembro de 2010, no site: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade\\_sao\\_paulo.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_sao_paulo.pdf)>

SILVA A. B. **Sistemas de Informações Geo-Referenciadas. Conceitos e fundamentos**. Editora Unicamp - Universidade Estadual de Campinas – SP. Coleção Livro Texto. 2003.

SINCLAIR, M. R.; WATTERSON, I.G. Objective assessment of extratropical weather systems in simulated climates. **Journal of Climate**, v. 12, p. 3467-3485, 1999.

SMITH, T.R.; MENON, S.; STARR, J.L.; ESTES, J.E. (1987). Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**. No.1, p:13- 31.

SMITH, K. Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster. Florence: Routledge Publisher, 2000. 352 p.

SMITH, K. **Environmental hazards-assessing risk & reducing disaster**. Routledge: London. 2004. 306 p.

SOUZA N. M. **Sensoriamento Remoto aplicado á Engenharia Civil**. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Engenharia Civil e Ambiental. 2000.

SOUZA, S.P. **Proposta metodológica para estimativa de assoreamento de reservatório: estudo de caso do Sistema Manso**. Universidade Federal de Viçosa – Tese de Mestrado – 1996.

SUGAHARA, S.; SILVEIRA, R. B.; ROCHA R. P. **Estimativa da probabilidade do evento extremo de precipitação de Janeiro de 2000 no Vale do Paraíba, baseada na distribuição generalizada de Pareto**. Revista Brasileira de Geofísica. P.193-208. 2010. ISSN 0102-261X.

TAKAHASHI, K. **Disaster sciences**. Tokyo: Nippon Hoso Shuppan Kyokai, 1975. 215p. (em japonês) 1975.

TEIXEIRA, M. S., SATYAMURTY P. **Eventos Extremos de Precipitação na Região da Serra do Mar. Parte II – Condições Meteorológicas de Grande Escala**. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis – Anais, 2006.

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. Natural hazards: explanation and integration. New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

TRESCENTI B.C. ; NUNES, L. H. . Avaliação de risco e vulnerabilidade nos municípios da Região Metropolitana da Baixada Santista. **Anais**. In: IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2010, Fortaleza. CD do IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2010.

UNDP – United Nations Development Programme. Reducing disaster risk: a challenge for development. New York, USA: UNDP, 2004. 129p.

UN-ISDR – United Nations-International Strategy for Disaster Reduction. Geneva, Switzerland. 2009.

URBEL. Plano de Atendimento Emergencial . PAE. Diagnóstico da Situação de Risco (Vilas, Favelas e Conjuntos Habitacionais). Belo Horizonte, 139 p. 2V, 1995.

VALENTE, A. L. S. **Uma metodologia para a determinação de áreas de risco, através de geoprocessamento e sensoriamento remoto.** In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador. VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia.** Instituto Nacional de Meteorologia – INMET - Brasília, DF, Março de 2000. 532 p. Editora Stilo

VIANELLO, R.L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: UFV, 1991. 449 p.

VIEIRA, R., REFOSCO J. C., XAVIER F.F. , MACHADO J., LOBO M.S., FISTAROL O., JANSEN G.R. Plano Municipal de Redução de Riscos de Blumenau/SC. 2°. SIBRADEN (Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos). **Anais.** 09 a 13 de dezembro de 2007 – Santos – SP.