

FERNANDA SUGAMORE IDE

Escorregamento, meteorologia e precipitação:
uma proposta de método de investigação para a prevenção
e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP

Dissertação apresentada ao Instituto de
Pesquisas Tecnológicas do Estado de São
Paulo - IPT, para obtenção do título de Mestre
em Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Macedo

São Paulo

2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

I19e Ide, Fernanda Sugamore

Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP. / Fernanda Sugamore Ide. São Paulo, 2005. 154p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Macedo

1. Escorregamento 2. Meteorologia 3. Chuva 4. Defesa civil 5. Gerenciamento de risco 6. Campinas (São Paulo) 7. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico II. Título

05-46

CDU 551.244.2(043)

AGRADECIMENTOS

A autora expressa sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que contribuíram para a elaboração deste trabalho, especialmente:

- ao IPT e ao CENATEC pela oportunidade de realizar esta pesquisa e aprimorar-me profissionalmente;
- ao Prof. Dr. Eduardo Soares de Macedo do IPT, pela orientação cuidadosa, mas principalmente pelo apoio e amizade;
- ao Geól. Agostinho Ogura e Geóga. Kátia Canil, do IPT; Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho, da Escola de Engenharia de S.Carlos (USP) e Prof. Dra. Maria Elisa Siqueira, do Depto. de Geografia da USP, pelas sugestões de trabalho;
- aos Geóls. Alessandra Corsi e Marcelo Gramani, ao Técnico Airton Marambaia e demais profissionais da Seção de Processos e Riscos Geológicos do IPT, pelas discussões técnicas e pela elaboração de mapas;
- ao Técnico Luis Celso Coutinho, do IPT, pela manipulação de informações do Banco de Ocorrências da COMDEC Campinas;
- à COMDEC Campinas, pelo fornecimento dos dados do Banco de Ocorrências da Defesa Civil do município;
- ao Prof. Dr. Hilton Pinto e Sra. Edilene Carneiro, da UNICAMP, pelo fornecimento de dados da estação meteorológica dessa instituição;
- às Estagiárias Maria Rita Pelegrin e Ana Paula Sousa, pela ajuda na seleção das ocorrências de escorregamento em Campinas;
- às Sras. Ester Santos e Edna Gubitoso, do CENATEC, pela revisão da formatação da dissertação e das referências bibliográficas, respectivamente;
- à Meteorologista Ester Regina Kazuko Ito, amiga e sócia, pelo apoio permanente e compreensão pelas horas dedicadas à pesquisa;
- ao Prof. Dr. Roberto Boczko, pela revisão do texto da dissertação;
- ao Sr. Mutsuo Ide e Sra. Harue Sugamore Ide, pais amorosos, assim como aos meus amigos e familiares queridos, incentivadores incondicionais do meu progresso profissional.

RESUMO

Os escorregamentos são o tipo de processo geológico responsável pelo maior número de acidentes com mortes no Brasil, cujo o principal agente deflagrador é de natureza meteorológica: a chuva.

O sistema de monitoramento da Defesa Civil, órgão responsável pela prevenção de riscos no Brasil, utiliza a previsão do tempo para orientar as ações preventivas dos escorregamentos, mas faltam em muitas regiões do país, critérios objetivos para a emissão de alertas.

Desta forma, este trabalho objetivou elaborar um roteiro metodológico para a investigação dos aspectos meteorológicos mais favoráveis à deflagração de escorregamentos em uma determinada região. Dois aspectos foram abordados: o sistema meteorológico e a relação numérica entre precipitação e os escorregamentos. O roteiro abordou aspectos práticos, envolvendo procedimentos desde a escolha das fontes de informação até a interpretação e aplicação dos resultados no gerenciamento de riscos.

O município de Campinas, no leste do Estado de São Paulo, foi escolhido como área piloto para validação deste roteiro. Foram selecionados 30 casos de escorregamento entre 1997 e 2004 com base nos registros da Defesa Civil do município. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) foi o sistema meteorológico responsável pelo maior número de casos.

A investigação dos índices pluviométricos em Campinas indicou que, em área de rochas cristalinas, há maior possibilidade da deflagração de escorregamentos a partir de 78 mm acumulados em 7 dias. Para este tipo de terreno também foram estabelecidas, relações numéricas entre a precipitação de 6 dias e de 24 h, e a precipitação de 5 dias e de 48 h, que poderão ser aplicadas no monitoramento de escorregamentos do município. Para áreas sedimentares, as relações obtidas não foram satisfatórias.

Palavras-chaves: escorregamento, meteorologia, precipitação, chuva, correlação, Defesa Civil, monitoramento de riscos.

ABSTRACT

Landslides are the geological process most associated with deaths in Brazil. The precipitation is the main agent of this process.

Weather forecast is an important tool of the Civil Defense monitoring system (public agency responsible for the risk prevention in Brazil). The weather forecast indicates the probability of landslide's occurrence and rules the preventive measures. Nevertheless, the lack of objective criteria of risk evaluation limits the effectiveness of this action in many parts of the country.

The objective of this research is to produce a guide to the investigation of meteorological patterns most associated with landslide triggering. Two different aspects were chiefly considered: meteorological systems and threshold precipitation values. This guide is intended to be a practical tool on this kind of investigation.

Campinas, a city in the east part of São Paulo State, was chosen to be the pilot area to validate this guide. Thirty landslides events based on Campinas Regional Civil Defense's records between 1997 and 2004, were selected.

Synoptic and mesoscale atmospheric features analysis indicated that the South America Convergence Zone (SACZ) was the most important meteorological system associated with landslide events.

The precipitation value of 78 mm in 7 days seems to be an indicative of landslide possibility in the crystalline area of Campinas. Two numerical relationships were established in order to indicate the landslide possibility on crystalline areas: one between 6 days and 24 hours accumulated precipitation and other between 5 days and 48 hours accumulated precipitation. The results in the sedimentary terrain were unsatisfactory.

Key-words: landslide, meteorology, precipitation, rain, correlation, Civil Defense, monitoring risks.

Lista de ilustrações

Figura 1	Fluxograma de informações no PPDC do Estado de São Paulo específico para escorregamentos – Litoral Norte e Baixada Santista (adaptado de Santoro e Macedo, 2000)..	20
Figura 2	Fluxograma das etapas da pesquisa.....	27
Figura 3	Gráfico do número de mortes por estado provocadas por escorregamentos no Brasil no período de 1988 a 2005.....	35
Figura 4	Gráfico da relação entre precipitação de 15 dias e de 24h para eventos de escorregamento em Hong Kong (modificado de Lumb, 1975).....	55
Figura 5	Gráfico do pico da precipitação horária x precipitação de 24h para Hong Kong (Kay e Chen, 1995).....	56
Figura 6	Gráfico do potencial de ocorrência de escorregamentos (modificado de Fukuoka, 1980).....	58
Figura 7	Gráfico da envoltória para escorregamentos induzidos para o posto pluviométrico da Curva da Onça, na Serra do Mar (modificado de Tatizana <i>et al.</i> , 1987a).....	61
Figura 8	Fluxograma das etapas do roteiro de investigação dos aspectos meteorológicos e os escorregamentos.....	69
Figura 9	Levantamento do trimestre mais chuvoso no Brasil (modificado de RAO e HADA, 1990 <i>apud</i> SILVA DIAS e MARENGO, 1999).....	72
Figura 10	Localização geográfica do município de Campinas – SP.....	93
Figura 11	Representação da hipsometria do município de Campinas -SP (Fonte: IPT).....	95
Figura 12	Distribuição esquemática das unidades geológicas do município de Campinas (SANTORO, 2000).....	97
Figura 13	Distribuição espacial da precipitação média anual (mm) na região de Campinas (modificado de DAEE, 2000).....	98
Figura 14	Precipitação média mensal no município de Campinas	99
Figura 15	Extrato do balanço hídrico mensal em Campinas (Sentelhas <i>et al.</i> , 2002).....	101

Figura 16	Freqüência relativa (%) de ocorrências de escorregamento por ano em Campinas.....	108
Figura 17	Freqüência relativa (%) de ocorrências de escorregamento por mês em Campinas	109
Figura 18	Variação temporal da precipitação em um caso de escorregamento associado a ZCAS.....	111
Figura 19	Variação temporal da precipitação em um caso de escorregamento associado a frente fria em (a) 10/01/1999 e (b) 11/01/1999.....	114
Figura 20	Variação temporal da precipitação em um caso de escorregamento associado à interação entre frente fria e VCAN.....	116
Figura 21	Representação esquemática dos padrões atmosféricos dos grupos de sistemas meteorológicos: (a) ZCAS, (b) Frente Fria e (c) Frente fria e VCAN.....	117
Figura 22	Gráficos de dispersão de precipitação acumulada (1 a 4 dias).....	121
Figura 23	Gráficos de dispersão de precipitação acumulada (5 a 8 dias).....	122
Figura 24	Gráficos de dispersão de precipitação acumulada (9, 10, 15 e 20 dias).....	123
Figura 25	Gráficos de dispersão de precipitação acumulada (25 e 30 dias).....	124
Figura 26	Gráficos de dispersão para 7 dias em áreas de rochas cristalinas e sedimentares.....	126
Figura 27	Gráficos de precipitação acumulada de 4, 6 e 7 dias x 24 horas.....	128
Figura 28	Gráfico de precipitação acumulada de 6 dias x 24h para casos em área de rochas cristalinas.....	129
Figura 29	Gráfico de precipitação acumulada de 6 dias x 24h para casos em área de rochas sedimentares.....	132
Figura 30	Gráfico de precipitação acumulada de 5 dias antecedentes x 48h para casos em áreas de rochas cristalinas.....	133

Lista de tabelas

Tabela 1	Classificação de movimentos de massa mais freqüentes no Brasil (modificado de Augusto Filho, 1992).....	29
Tabela 2	Agentes/causas dos escorregamentos e processos correlatos (GUIDICINI e NIEBLE ,1976).....	31
Tabela 3	Probabilidade de escorregamento por zonas de precipitação em Hong Kong (Kay e Chen, 1995).....	57
Tabela 4	Resumo de algumas pesquisas internacionais da relação entre chuva e escorregamento	64
Tabela 5	Resumo de algumas pesquisas nacionais da relação entre chuva e escorregamento.....	65
Tabela 6	Início e final aproximados da estação chuvosa em cada região do Brasil de acordo com Kousky (1988).....	71
Tabela 7	Freqüência relativa (%) de classes de precipitação diária (mm) em Campinas.....	100
Tabela 8	Postos pluviométricos e respectivos períodos de dados disponíveis para o estudo de correlação de chuva e escorregamento em Campinas.....	103

Lista de abreviaturas

AB	Alta da Bolívia
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CEDEC	Coordenadoria Estadual de Defesa Civil
CEPAGRI	Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura
CIIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
CODAR	Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos
COMDEC	Comissão Municipal de Defesa Civil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTH	Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DER	Departamento de Estradas e Rodagem
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
ECMWF	European Center for Medium Range Forecast
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia
GEO-RIO	Fundação Instituto de Geotécnica
GMT	Greenwich Mean Time (Tempo Médio de Greenwich)
GREC	Grupo de Estudos Climáticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	Instituto Geológico
INFRAERO	Empresa de Infraestrutura Aero-portuária

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPMet	Instituto de Pesquisas Meteorológicas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LI	Linha de Instabilidade
MAL	Modelo de Área Limitada
MASTER	Laboratório de Monitoramento de Sistemas Atmosféricos Regionais
NCEP	National Centers of Environmental Prediction
OL	Ondas de Leste
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
OMS	Organização Mundial da Saúde
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PMTCRH	Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos
PPDC	Plano Preventivo de Defesa Civil
REDEC	Coordenadoria Regional de Defesa Civil
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SEDEC	Secretaria Estadual de Defesa Civil
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
SIPAM	Sistema de Proteção da Amazônia
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESP	Unidade Estadual Paulista
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNICAMP	Universidade de Campinas
UNIVAP	Universidade do Vale do Paraíba
USGS	United States Geological Survey
USP	Universidade de São Paulo
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

Resumo

Abstract

Lista de ilustrações

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas

1 INTRODUÇÃO	14
2 JUSTIFICATIVAS DO TEMA	16
2.1 O papel do monitoramento no gerenciamento de riscos a escorregamentos.....	17
2.2 Métodos de monitoramento a riscos: o papel da meteorologia.....	19
3 OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo Geral.....	22
3.2 Objetivos Específicos.....	22
4 MÉTODO E PROCEDIMENTO	23
5 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE ESCORREGAMENTOS	28
5.1 Escorregamentos como um risco geológico.....	28
5.2 Mecanismos que deflagram os escorregamentos.....	30
5.3 A precipitação como agente deflagrador.....	32
5.4 A ocupação como agente indutor.....	33
5.5 Impactos econômicos e sociais dos escorregamentos.....	34
5.6 Escorregamentos no Brasil.....	35
6 A METEOROLOGIA E OS ESCORREGAMENTOS	36
6.1 Conceitos de sistema e análise meteorológicas.....	36
6.2 Chuvas intensas e mecanismos físicos de formação.....	37
6.3 Sistemas meteorológicos associados a chuvas intensas no Brasil.....	39
6.3.1 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM).....	41
6.3.2 Sistemas Frontais.....	43

6.3.3	Ciclogênese e Frontogênese.....	45
6.3.4	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).....	45
6.3.5	Zona da Convergência Intertropical (ZCIT).....	47
6.3.6	Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	48
6.3.7	Alta da Bolívia (AB).....	49
6.3.8	Ondas de Leste (OL).....	50
6.4	A previsibilidade da precipitação.....	51
7	RELAÇÃO ENTRE CHUVA E ESCORREGAMENTO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	54
7.1	Históricos de correlação.....	54
8	PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO METEOROLÓGICA DOS EVENTOS DE ESCORREGAMENTO.....	66
8.1	Fundamentos do roteiro metodológico.....	66
8.2	Principais etapas do roteiro.....	67
8.2.1	Planejamento da investigação.....	70
8.2.2	Levantamento de ocorrências de escorregamentos no Brasil.....	70
8.2.2.1	Período de coleta de dados.....	71
8.2.2.2	Pré-filtragem de eventos de escorregamentos.....	73
8.2.2.3	Registros de escorregamentos da Defesa Civil.....	74
8.2.2.4	Registros de escorregamentos na mídia.....	75
8.2.3	Levantamento de informações meteorológicas no Brasil.....	78
8.2.3.1	Dados de superfície.....	79
8.2.3.2	Dados de altitude, imagens de satélite, mapas sinóticos e reanálise de modelos numéricos.....	82
8.2.3.3	Análises climáticas e meteorológicas.....	84
8.2.4	Diagnóstico de sistemas meteorológicos dos eventos de escorregamentos.....	85
8.2.5	Correlação entre a precipitação e os escorregamentos.....	86
8.2.5.1	Análise do número de dias de chuva acumulada mais efetivo	

nos processos de escorregamentos.....	87
8.2.5.2 Relação numérica entre a precipitação e os escorregamentos.	89
8.2.5.2.1 Relação numérica com dados pluviográficos.....	89
8.2.5.2.2 Relação numérica sem dados pluviográficos.....	90
9 APLICAÇÃO DO MÉTODO NA ÁREA PILOTO: CAMPINAS(SP)	92
9.1 A área de estudo.....	92
9.1.1 Características geológicas e geomorfológicas de Campinas....	94
9.1.2 Principais características climáticas de Campinas	97
9.2 Fontes de informação meteorológica para Campinas.....	101
9.3 Levantamento de escorregamentos no município de Campinas.....	104
9.3.1 Filtragem de casos para o estudo.....	104
9.3.2 Distribuição espacial e temporal das ocorrências de escorregamentos.....	107
9.4 Diagnóstico de sistemas meteorológicos associados aos escorregamentos.....	109
9.4.1 Grupo 1 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	110
9.4.2 Grupo 2 – Frentes Frias (FF).....	112
9.4.3 Grupo 3 – Interação de Frentes Frias (FF) e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).....	115
9.5 Relação precipitação x escorregamento em Campinas.....	119
9.5.1 Análise do número de dias de precipitação acumulada mais efetivo nos processos de escorregamento.....	118
9.5.2 Investigação da relação matemática entre a precipitação e os escorregamentos.....	127
10 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
REFERÊNCIAS	138
ANEXO A – Mapa de áreas de escorregamentos em Campinas-SP.....	149
ANEXO B – Tabela de escorregamentos em Campinas-SP.....	151

1 INTRODUÇÃO

Os escorregamentos, ou deslizamentos, como são comumente conhecidos, causam danos sociais e econômicos em todo o planeta. O monitoramento e a prevenção eficazes destes processos têm sido um desafio para as comunidades internacionais, visando a proteção à vida e à propriedade. O sucesso desta empreitada, no entanto, está intimamente ligado ao conhecimento de seus agentes condicionantes e como se relacionam até a deflagração.

Os processos de escorregamento têm uma relação intrínseca com as áreas da geologia, meteorologia, engenharia civil e sociologia. Os aspectos geológicos predispõem certas localidades aos escorregamentos; o uso e ocupação do solo intensificam sua suscetibilidade natural e os fatores climáticos, por sua vez, atuam como preparatórios e deflagradores dos processos.

Os fatores meteorológicos são uma das principais causas dos escorregamentos no Brasil. Considerando-se os significativos avanços tecnológicos na área de previsão de tempo e clima observados nas últimas décadas no país, tais fatores meteorológicos tendem a ser previstos com cada vez mais precisão e antecipação. Faz-se necessário, desta forma, aprofundar as questões referentes à relação dos mecanismos atmosféricos e os escorregamentos, contribuindo assim, para a compreensão de todo o fenômeno e a melhoria da sua previsibilidade.

A elaboração de um roteiro metodológico que oriente a investigação das condições atmosféricas associadas aos escorregamentos em uma região seria de grande interesse, não apenas para a melhoria do monitoramento e da prevenção de acidentes por profissionais ligados à Defesa Civil, mas também por outras instituições públicas e privadas, que lidam com monitoramento ambiental de empreendimentos, segurança rodoviária, seguro patrimonial e construção civil, dentre outros.

Este trabalho procurou reunir conhecimentos básicos da área de geologia e meteorologia pertinentes ao tema, pesquisar o estado da arte na investigação da relação entre a chuva e os processos de escorregamento, desenvolver o guia de procedimentos (roteiro) para a investigação e aplicar o roteiro em área piloto.

2 JUSTIFICATIVAS DO TEMA

Escorregamentos, juntamente com enchentes, erosões e secas, são os processos naturais mais comuns no Brasil, e aqueles causam mais vítimas fatais (CERRI, 1993). Estes processos estão associados a causas econômico-sociais que tendem a se agravar nas próximas décadas, tendo em vista que o aumento da população e a desigualdade de distribuição de renda contribuem para o adensamento urbano, maior demanda do meio físico e, conseqüentemente, para o aumento de situações de risco geológico.

Brabb (1991) *apud* Ogura e Macedo (2002) afirma que os escorregamentos são geralmente mais controláveis e previsíveis que os terremotos, erupções vulcânicas e algumas tempestades, mas poucos países têm aproveitado o conhecimento existente para reduzir os acidentes de escorregamentos.

A chuva é o principal mecanismo deflagrador de escorregamentos em países tropicais como o Brasil. Os grandes acidentes ocorridos no território nacional foram produzidos no período chuvoso, o qual varia de uma região para outra (OGURA e MACEDO, 2002). Sendo os fenômenos meteorológicos grandes indutores dos escorregamentos e reconhecendo-se os grandes avanços na qualidade da previsão meteorológica no Brasil nas últimas décadas, o acúmulo de conhecimento da relação entre ambos os processos levará ao aprimoramento dos sistemas de monitoramento atualmente utilizados.

Embora várias investigações já tenham sido realizadas acerca da relação de parâmetros meteorológicos na ocorrência de escorregamentos (em particular, a chuva), poucos trabalhos são encontrados na literatura procurando analisar, de forma mais específica, os sistemas meteorológicos associados aos escorregamentos, de forma a orientar mais efetivamente a previsão meteorológica voltada para este tipo de acidente.

A avaliação de risco de escorregamento por meio da associação aos valores críticos de precipitação é uma prática comum em várias partes do mundo. No Brasil, podem ser citadas algumas contribuições científicas deste tipo de análise (GUIDICINI e IWASA, 1977, TATIZANA *et al.*, 1987a e 1987b, ELBACHÁ *et al.*, 1992, VIEIRA, 2004). Tais análises, por sua própria natureza, são representativas localmente, devido às particularidades físicas e climáticas de cada região. Como consequência, instituições relacionadas ao monitoramento de riscos geológicos, em particular, as coordenações estaduais e municipais da Defesa Civil, são privadas de critérios mais objetivos para a avaliação de riscos de acidentes. Ocorre também a extrapolação de resultados locais para grandes áreas, induzindo a erros nos critérios de alerta de riscos de escorregamento.

O aprofundamento destas questões torna-se ainda mais necessário frente à perspectiva de que processos de alteração climática global possam conduzir à maior frequência de cenários meteorológicos extremos, influenciando a ocorrência de escorregamentos nos próximos anos (IPCC, 1998).

2.1 O papel do monitoramento no gerenciamento de riscos a escorregamentos

De acordo com Nogueira (2002), o gerenciamento de riscos ambientais é *“um processo que se inicia quando a sociedade, ou parcela dela, adquire a percepção de que as manifestações aparentes ou efetivas de um certo perigo ou ameaça, existente em dado local num determinado momento, podem provocar consequências danosas superiores às admissíveis por esta comunidade”*. Segundo o mesmo autor, são poucas as práticas de gerenciamento que envolvam a prevenção e a preparação nas cidades brasileiras, as quais sofrem com a descontinuidade das políticas públicas.

O gerenciamento não envolve apenas aspectos referentes à assistência em situações de emergência, mas também aspectos educacionais, tecnológicos e de planejamento, a fim de evitar ou reduzir riscos e desastres.

Nos Estados Unidos, por exemplo, movimentos de terra como os escorregamentos ocorrem em todos os estados (USGS, 2003). O Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) possui um sistema de monitoramento *on line* em estados como Califórnia e Colorado, com dados de extensômetros (aparelhos que medem o deslocamento da superfície), sensores de vibração, sensores de pressão hidrostática (pressão de água) e pluviômetros. Este sistema de monitoramento atinge elevada eficiência, apesar dos altos custos para operação.

No Brasil, a Defesa Civil é a entidade responsável pelo monitoramento, prevenção e operacionalização emergencial em caso de riscos, e que coordena os esforços de órgãos públicos e privados e da comunidade em geral. Esta entidade possui organização estrutural em diferentes níveis de capacidade.

Conforme descrito por Santoro e Macedo (2000), o trabalho de Defesa Civil se desenvolve em quatro fases: a fase preventiva (elaboração de planos, simulações e aperfeiçoamento do sistema de autodefesa da região), a fase de socorro (atendimento imediato aos efeitos de ocorrências desastrosas conforme planos pré-estabelecidos), a fase assistencial (atendimento e repasse de estoque estratégico necessário à sobrevivência da população vitimada) e a fase recuperativa (reparo nos danos, objetivando a volta à normalidade da área atingida).

O monitoramento dos escorregamentos está na fase preventiva da Defesa Civil e se baseia na observação e análise dos seguintes dados:

- a) taxas de precipitação e outras condições hídricas do solo que possam instabilizar as encostas;
- b) sinais de movimentação da encosta; e

c) previsão meteorológica.

Quanto mais eficientes forem as ferramentas tecnológicas de monitoramento e previsão de situações de risco de escorregamento, maior é a antecipação das ações que permitam a coordenação de esforços, a mobilização de equipes técnicas de vistoria e a implementação de ações preventivas e preparatórias.

2.2 Métodos de monitoramento de riscos: o papel da meteorologia

A previsão meteorológica é fundamental para a antecipação de situações potenciais que possam trazer risco de escorregamento. Ela fornece subsídios para avaliação da intensidade e do tipo da chuva que está por ocorrer, permitindo o planejamento das ações preventivas. Esta ação deve fazer parte integrante de planos preventivos da Defesa Civil (SANTORO e MACEDO, 2000).

Dado o conhecimento dos valores críticos de precipitação que aumentem o risco de acidentes na região, o acompanhamento dos índices pluviométricos em conjunto com a previsão meteorológica indicam quando deve ocorrer o escorregamento, enquanto que, as vistorias de campo indicam o local provável da ocorrência. Um exemplo desta experiência é o Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) para escorregamentos, implantado anualmente pelo governo do Estado de São Paulo, no período de dezembro a março. No PPDC há uma troca de informações e uma ação coordenada de várias instituições, tal como é indicado na Figura 1.

A previsão meteorológica é elaborada pela Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC) e repassada para a Coordenadoria Regional de Defesa Civil (REDEC), que por sua vez, a transmite à Comissão Municipal de Defesa Civil (COMDEC). A avaliação da chuva é feita com base na leitura

pluviométrica realizada pela COMDEC e os parâmetros de precipitação crítica são baseados nos trabalhos de Tatizana *et al.* (1987 a e b). A previsão, juntamente com avaliação dos índices de chuva, dá suporte à decisão de acionar vistorias por parte da COMDEC, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e do Instituto Geológico (IG).

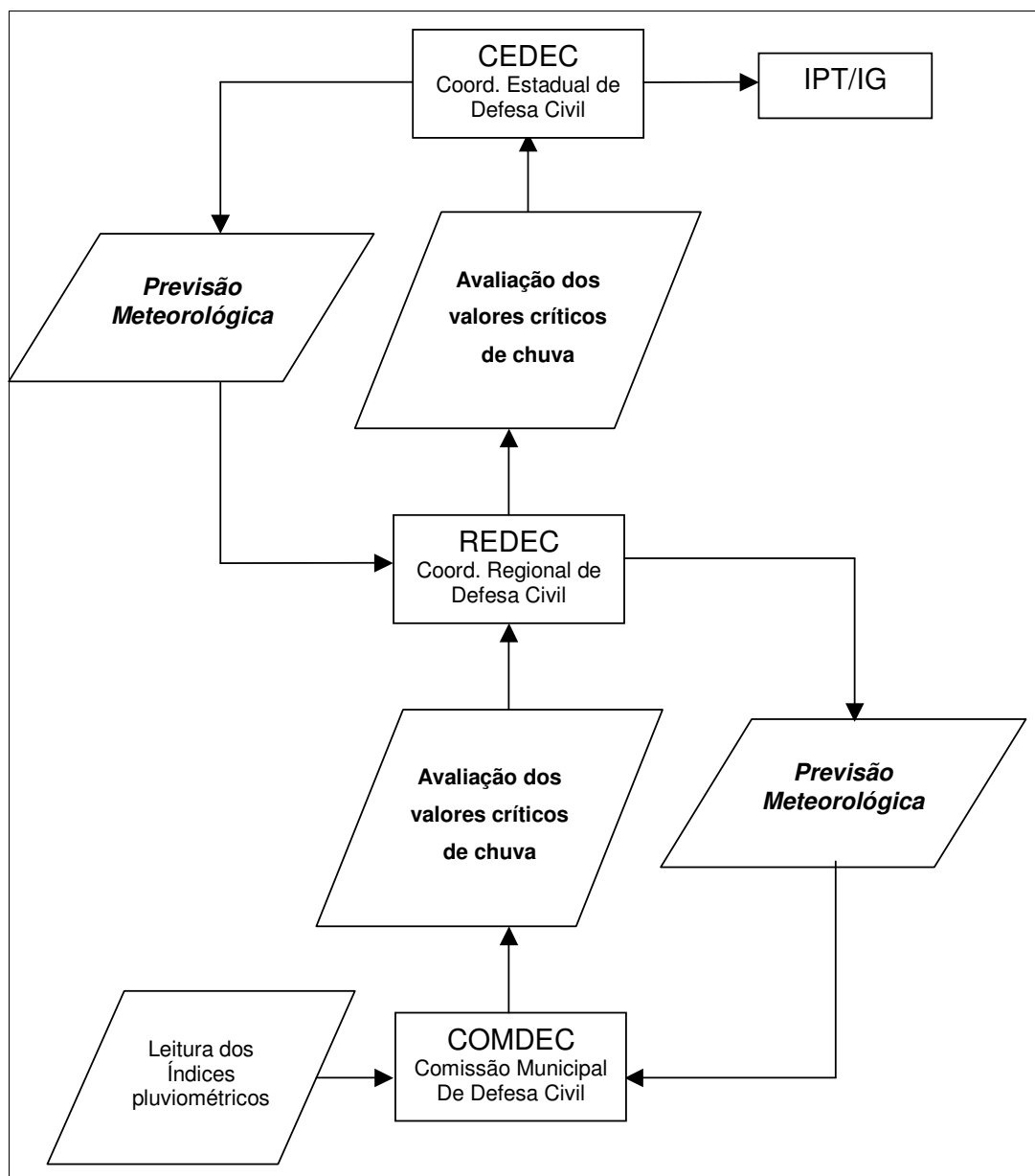


Figura 1 - Fluxograma de informações no PPDC do Estado de São Paulo específico para escorregamentos – Litoral Norte e Baixada Santista (adaptado de Santoro e Macedo, 2000).

O acompanhamento dos índices de chuva acumulada por meio de pluviômetros e telepluviômetros é uma prática comum no monitoramento de situações de risco de escorregamento e já está incorporado a planos preventivos da Defesa Civil também de outros estados do Brasil como Rio de Janeiro e Pernambuco. No entanto, os índices de correlação utilizados na maior parte do país carecem de uma melhor fundamentação física, gerando erros de avaliação ou extrapolação de valores limite de regiões com características geomorfológicas e climáticas distintas.

No caso do Brasil, onde existe uma grande diversidade climática e uma rede de postos de observação pluviométrica deficitária em várias regiões, um estudo meteorológico mais amplo, abordando além da precipitação, as características dos sistemas atmosféricos que deflagram escorregamentos, pode aperfeiçoar a antecipação de situações de risco do processo.

Além disso, enquanto modelos numéricos de previsão do tempo (principal ferramenta de previsão de curto e médio prazos), apresentam limitações na previsão espacial e temporal da quantidade da precipitação, o prognóstico de sistemas meteorológicos, com estruturas atmosféricas bem conhecidas, é capaz de orientar melhor a antecipação de situações de emergência.

3 OBJETIVOS

Tendo em vista a importância dos processos atmosféricos na deflagração dos escorregamentos no Brasil, esta pesquisa procura promover o conhecimento da relação entre os mesmos.

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é investigar a relação dos fatores meteorológicos e os processos de escorregamento. Espera-se desta forma, promover melhoria na qualidade do monitoramento e na previsão de eventos de escorregamento por meio de uma abordagem meteorológica.

3.2 Objetivos específicos

O objetivo específico da pesquisa é desenvolver um roteiro metodológico de investigação da relação entre os fatores meteorológicos e os escorregamentos, que seja aplicável em todo o Brasil. Este roteiro deverá descrever, de forma estruturada, os procedimentos necessários para:

- levantar histórico de ocorrências de escorregamentos;
- levantar dados meteorológicos da região;
- analisar os fenômenos meteorológicos relacionados aos eventos de escorregamentos;
- determinar a relação numérica entre a intensidade/quantidade de chuva e os escorregamentos.

O método desenvolvido foi aplicado em área piloto, ou seja, o município de Campinas (SP).

4 MÉTODO E PROCEDIMENTO

A abordagem científica geral do trabalho está apoiada no método indutivo experimental, caracterizado pela análise de uma amostra de eventos de escorregamento (dentro de um universo de eventos), para a definição de um modelo do comportamento geral da natureza do processo.

Com o intuito de proporcionar o embasamento teórico necessário à realização da pesquisa, a seqüência de procedimentos iniciou-se com o levantamento bibliográfico de trabalhos relacionados a:

- a) investigação dos processos de escorregamento, seus tipos, suas causas e condicionantes;
- b) tipologia de sistemas meteorológicos que atuam no Brasil, sobretudo aqueles associados à alta pluviosidade, que pudessem se relacionar com os escorregamentos;
- c) relação entre aspectos meteorológicos e os processos de escorregamento, com aplicação do conhecimento em sistemas de monitoramento de risco.

A etapa seguinte concentrou-se no levantamento do histórico de ocorrências de escorregamento e de informações meteorológicas. A abordagem destes dois aspectos fundamentais da pesquisa ocorreu de forma concomitante, devido à interdependência entre eles. Procurou-se levantar a disponibilidade de dados de escorregamento e de dados meteorológicos a nível nacional, tendo por fim a aplicação da pesquisa em todo o território brasileiro.

No levantamento das ocorrências de escorregamento, foram estabelecidos critérios de busca de dados e suas características (data, localização, tipo de processo, intensidade e danos), assim como as potencialidades e limitações das fontes de informação. Foram indicados os procedimentos para a análise da pluviometria média mensal da região, a fim

de proporcionar uma indicação do período preferencial para busca de histórico de escorregamentos.

As fontes de informação meteorológica necessárias para se proceder à análise da extensão vertical, horizontal e intensidade do sistema meteorológico foram listadas e organizadas, com ênfase nos dados de precipitação. Procurou-se destacar, qual a abrangência espacial e temporal e o método de obtenção de dados de cada fonte. A disponibilidade de informação varia para cada região do país e muitas podem ser acessadas gratuitamente pela Internet. Desta forma, esta etapa da pesquisa baseou-se principalmente na busca de endereços digitais que viabilizassem a investigação meteorológica das ocorrências de escorregamento.

A etapa seguinte consistiu na elaboração de critérios de filtragem de casos, de forma a eliminar da amostra de estudo, eventos de escorregamento não relacionados à precipitação. Além dos registros pluviométricos, a filtragem levou em conta a eliminação de eventos atribuídos a processos erosivos, falhas na construção civil, terraplanagem, rompimento de tubulações de água ou esgoto, dentre outros.

Estabelecida a amostra de eventos de escorregamentos a ser analisada, passou-se à elaboração do diagnóstico dos sistemas meteorológicos associados aos eventos. Esta etapa, particularmente voltada aos profissionais das ciências atmosféricas, está baseada na sistemática adotada em centros operacionais de previsão do tempo. Os conceitos para a análise da estrutura da atmosfera por meio de observações no tempo e no espaço são descritas por Saucier (1969).

O diagnóstico de um sistema meteorológico necessita da investigação do comportamento temporal e espacial das propriedades da atmosfera em escala regional e global. Entre os campos diagnósticos mais importantes no caso de sistemas associados à precipitação, pode-se citar:

- pressão atmosférica ao nível do mar - para identificação de sistemas de alta e baixa pressão;

- convergência de umidade em baixos níveis da atmosfera - para identificação de áreas de abastecimento de água para o desenvolvimento dos sistemas;
- linhas de corrente ou geopotencial nos médios e altos níveis da atmosfera (usualmente, níveis isobáricos de 700, 500 e 200 mb) - para identificação de cristas e cavados;
- divergência em altos níveis (200 mb) – para identificação de áreas de movimento vertical ascendente;
- índice de instabilidade vertical.

Para a análise dos campos diagnósticos da atmosfera dos eventos de escorregamentos, optou-se pela consulta a campos meteorológicos espaciais provenientes da reanálise de modelos numéricos de previsão.

A reanálise consiste em uma técnica moderna de reprodução de cenários e perfis atmosféricos elaborada em grandes centros internacionais de previsão como o NCEP (*National Center of Environmental Prediction*, Estados Unidos). São reconstituições dos processos físicos ocorridos na atmosfera por meio de equações. As reanálises contêm a reconstituição de campos de parâmetros meteorológicos dos principais níveis da atmosfera terrestre, em intervalos de 6 horas e resolução de 2,5° latitude x 2,5° longitude (correspondente a 200 km x 200 km na região equatorial), permitindo analisar a evolução histórica das condições atmosféricas dentro de uma região em estudo.

O projeto de reanálise do NCEP consiste da produção de 40 anos de dados (1957-1996) em forma de campos atmosféricos, com uma resolução espacial de 210 km, utilizando o modelo numérico e o sistema de assimilação de dados usados operacionalmente pelo NCEP desde 1995.

A descrição completa do projeto de reanálise do NCEP e a lista de parâmetros e níveis disponíveis para consulta são descritos por Kalnay *et al.* (1996). Uma atualização do projeto de reanálise foi realizada posteriormente,

abrangendo o período de 1979 a 2000. Os resultados deste segundo projeto, conhecido como Reanálise II são descritos por Kanamitsu *et al.* (2002). Os resultados do projeto de reanálise do NCEP estão disponíveis para consulta *on line* pela Internet (www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml) e foram utilizados nesta etapa do diagnóstico meteorológico dos eventos de escorregamento.

A pesquisa prosseguiu ao estudo da relação entre a precipitação e os escorregamentos, elaborando procedimentos para:

- a) escolha das estações pluviométricas mais representativas da região de interesse e aquisição da base de dados de precipitação acumulada diária e horária associada a cada evento de escorregamento;
- b) investigação da relação numérica entre a quantidade/intensidade da precipitação ocorrida e os escorregamentos por meio da análise e comparação de vários tipos de gráficos, tais como aqueles aplicados por outros autores:
 - gráficos de dispersão entre as datas dos escorregamentos e os valores de precipitação acumulada de dias anteriores (TATIZANA *et al.*, 1987a).
 - gráficos de intensidade de precipitação e o total de precipitação acumulada nos dias anteriores (FUKUOKA, 1980; TATIZANA *et al.*, 1987a; KAY e CHEN, 1995).
 - gráficos de chuva acumulada de 24 horas e o total de precipitação acumulada nos dias anteriores (LUMB, 1975).

A etapa final da pesquisa consistiu na elaboração do roteiro metodológico contendo a orientação para a execução das etapas acima relacionadas.

O roteiro de análise meteorológica dos processos de escorregamento foi aplicado na região de Campinas (SP). Este procedimento permitiu a

avaliação das diversas etapas da análise, com o posterior aperfeiçoamento do método inicialmente proposto. A Figura 2 ilustra as principais etapas desta pesquisa.

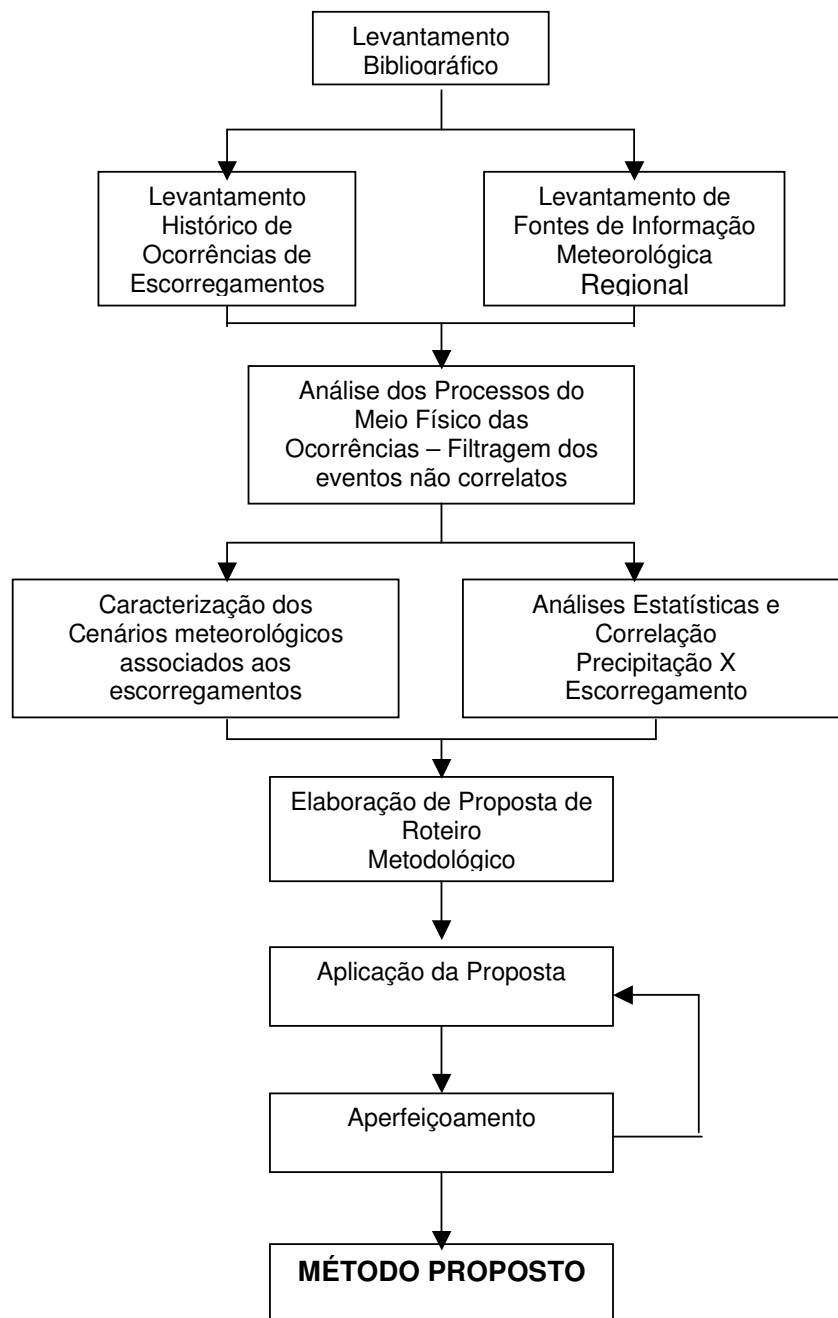


Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa.

5 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE ESCORREGAMENTOS

Este capítulo proporciona uma revisão teórica sobre os processos de escorregamento: suas causas, seus agentes condicionantes e impactos gerados. O capítulo também aborda a problemática dos escorregamentos no Brasil.

5.1 Escorregamentos como um risco geológico

Conforme descrito por Augusto Filho (2001) risco é uma medida da probabilidade da severidade de um efeito adverso para a saúde, propriedade ou ambiente, sendo geralmente estimado pelo produto entre a probabilidade e as conseqüências. No caso de um risco geológico, a situação de perigo, perda ou dano é causada por um processo geológico ou pela possibilidade da sua ocorrência.

Cerri (1993) divide os processos geológicos em endógenos (que se referem à parte interna do planeta, por exemplo, terremoto, atividade vulcânica, tsunami) e exógenos (parte externa, por exemplo, **escorregamento**, erosão e subsidência). Baseado na análise de artigos técnicos e notícias na imprensa, Cerri concluiu que os escorregamentos são o processo geológico que mais causa vítimas fatais no Brasil. Tal fato está relacionado com a ausência de acidentes de grandes proporções associados à dinâmica geológica interna do planeta.

Os escorregamentos são uma evolução natural da geometria das encostas. São um tipo de movimento gravitacional de massa, caracterizado pela ruptura de uma superfície interna, que carrega parte do material para baixo, na tentativa de encontrar o equilíbrio natural. Eles podem ocorrer em um ritmo lento da ordem de centímetros por ano, ou acelerados, com

velocidades da ordem de vários metros por segundo, geralmente influenciados pelo tipo de uso do solo e a ocupação.

O termo escorregamento engloba movimentos gravitacionais de massa com características diferentes. A expressão escorregamento corresponde a um tipo específico de movimento de massa. Um grande número de classificações pode ser encontrado na literatura. Augusto Filho (1992) classificou e caracterizou escorregamentos e processos correlatos, conforme listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação de movimentos de massa mais freqüentes no Brasil (modificado de Augusto Filho, 1992).

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO DE MASSA
RASTEJOS	<ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades baixas (cm/ano) • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • Solos, depósitos, rocha alterada e/ou fraturada • Geometria indefinida
ESCORREGAMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento • Velocidades médias (m/h) e altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material • Geometria e materiais variáveis: <p><u>Planares ou translacionais</u>: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;</p> <p><u>Circulares ou rotacionais</u>: aterros, solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;</p> <p><u>Em cunha</u>: solos e rochas com dois planos de fraqueza</p>
QUEDAS	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento • Queda livre ou rolamento através de plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos e médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. • ROLAMENTO DE MATAÇÃO • TOMBAMENTO • DESPLACAMENTO
CORRIDAS	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rochas, detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance.

O estudo dos escorregamentos foi intensificado pela área de geologia de engenharia com o intuito de implementar grandes obras civis. No entanto, os escorregamentos têm sido considerados cada vez mais, um problema de caráter social, na medida em que os acidentes estão relacionados à própria demanda sócio-econômica do meio ambiente.

5.2 Mecanismos que deflagram os escorregamentos

Considerando-se o escorregamento como uma ruptura de solo ou rocha, há diversos fatores que podem ocasionar sua deflagração, tanto pelo aumento da sollicitação do terreno, quanto pela diminuição da sua resistência. Varnes (1978) *apud* Augusto Filho (1995) afirma que o aumento da sollicitação pode se dar pela remoção de massa, sobrecarga, sollicitação dinâmica ou pressões laterais. A redução da resistência pode se dar pelas características do material ou por variações em alguns fatores determinantes, tais como a redução da coesão e a elevação do nível do lençol freático.

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.

As causas dos escorregamentos, de acordo com Guidicini e Nieble (1976), estão relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Agentes/causas dos escorregamentos (GUIDICINI e NIEBLE, 1976).

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
AGENTES	PREDISPONENTES	- Complexo geológico, complexo geomorfológico, complexo hidrológico , gravidade, calor solar, tipo de vegetação original	
	EFETIVOS	PREPARATÓRIOS	- pluviosidade , erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura , dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana
		IMEDIATOS	- chuvas intensas , 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 discontinuidades - Rebaixamento rápido do lençol freático - Erosão subterrânea retrogressiva (‘piping’) - Diminuição do efeito de coesão aparente	

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

5.3 A precipitação como agente deflagrador

Conforme descrito por vários autores como Augusto Filho (1995) e Ogura e Macedo (2002), a instabilização de encostas pela precipitação ocorre por vários mecanismos:

- a) elevação do nível d'água e geração de forças de percolação;
- b) preenchimento temporário de fendas, trincas e/ou estruturas em solos saprolíticos e rochas, com geração de pressões hidrostáticas;
- c) formação de 'frentes de saturação' sem formação de lençol freático, reduzindo a resistência dos solos pela perda de 'coesão aparente'.

Dois mecanismos são descritos por WOLLE *apud* CERRI (1992a) para instabilização de taludes na Serra do Mar:

- a) mecanismo clássico: subida da superfície freática (afluxo da água de chuva) ao encontrar horizonte impermeável ou menos permeável. Isso causa um aumento das pressões neutras, passível de deflagrar a ruptura;
- b) mecanismo alternativo: solos não saturados cuja resistência por coesão é produzida pela tensão da sucção, perdem sensivelmente esta resistência com a infiltração das águas pluviais.

Tanto a quantidade, quanto a intensidade da precipitação são fatores importantes nos processos de escorregamento, na medida em que influenciam no modo como a água da chuva infiltra no maciço rochoso ou terroso, alterando sua resistência.

O grau de saturação prévio do solo também se mostra determinante para a deflagração de escorregamentos. Carvalho (1989) conclui: "A influência da umidade inicial na velocidade de avanço das frentes de

saturação revelou-se claramente, tendo sido observado que a precipitação necessária para deflagrar escorregamentos numa situação de umidade reduzida é bem mais rara do que aquela correspondente a uma elevada umidade inicial.”

5.4 A ocupação como agente indutor

O processo mundial da urbanização vem causando uma grande pressão nas áreas urbanas. A solicitação crescente por espaço do meio físico leva à ocupação cada vez maior de áreas vulneráveis a escorregamentos. Com isso, há um aumento de situações de risco ambiental, ameaçando a integridade física, os bens e a qualidade de vida de um número de pessoas cada vez maior. Os resultados são perdas humanas, danos ambientais vultosos e profundas transformações sócio-econômicas.

Entre as principais ações do homem que influenciam a estabilidade das encostas estão: o desmatamento, o lançamento e concentração de águas pluviais ou servidas, os vazamentos na rede de abastecimento, a presença de fossas, a sobrecarga de edificações, a execução incorreta de cortes e aterros e o lançamento de lixo.

As intervenções antrópicas podem aumentar a freqüência e a intensidade dos escorregamentos, principalmente no período chuvoso, nos centros urbanos, com ocupação desordenada em áreas geotecnicamente favoráveis ao processo.

Cerri (1992a) cita o acidente ocorrido em Petrópolis em fevereiro de 1988, um dos maiores acidentes associados a escorregamentos no Brasil (171 mortes, 600 feridos, 1.100 moradias interditadas e 4.263 desabrigados). De acordo com este autor, mais de 90% dos escorregamentos registrados foram induzidos pela ocupação desordenada das encostas.

5.5 Impactos econômicos e sociais dos escorregamentos

A avaliação do impacto dos escorregamentos vai além dos custos das perdas humanas e da reconstrução de bens públicos e privados (danos diretos). Em países em desenvolvimento, estes danos atingem principalmente a parcela mais pobre da população, resultando em significativas transformações da estrutura sócio-econômica de seu meio. Wolke (2003) discute a importância do conceito de 'injustiça ambiental' da qual sofre a população de baixa renda, que vive em áreas mais propensas a escorregamentos e a outros riscos ambientais.

A quantificação dos impactos econômicos de um escorregamento está intimamente ligada ao contexto social e, portanto, aos impactos sociais por eles gerados. Nogueira (2002) cita alguns exemplos de perdas indiretas, baseados em vários trabalhos (OLSHANSKY e ROGERS, 1987; WOLD JR. e JOCHIM, 1989; CARDONA, 1993; FARAH, 1998 *apud* NOGUEIRA, 2002):

- interrupção dos serviços públicos e dos meios de informação;
- imagem desfavorável de um local, propriedade ou empreendimento;
- alteração nas atividades do comércio e da indústria;
- geração de gastos de reabilitação e reconstrução da região afetada;
- perda de produtividade de terras agrícolas;
- custos para prevenir ou mitigar futuros danos por escorregamentos;
- efeitos adversos sobre a qualidade de água superficial;
- perda de produtividade humana, devido a ferimentos ou morte.

Além dessas perdas, a Organização Mundial da Saúde (OMS), também cita como efeitos dos desastres naturais relacionados a fatores climáticos, a depressão e as perturbações na saúde mental que podem durar muito tempo, associadas à perda material e à interrupção nas relações sociais (WHO Regional Office for Europe, 2003).

5.6 Escorregamentos no Brasil

A desigualdade econômica, mais presente em países em desenvolvimento como o Brasil, conduz a uma ocupação desordenada e agressiva de áreas mais suscetíveis a acidentes geológicos, sobretudo nos grandes centros urbanos.

De acordo com o Cerri (1992b), escorregamentos são mundialmente, o tipo de acidente geológico que menos causa mortes, enquanto que no Brasil, são os processos mais associados a vítimas fatais.

Levantamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) indicam que 1.550 pessoas morreram entre 1988 e fevereiro de 2005, vítimas de escorregamentos no Brasil. Na Figura 3 está indicado o número de mortes por estado de acordo com esse Banco de Acidentes. A análise dos municípios de maior ocorrência de vítimas fatais indica que a incidência está concentrada principalmente nos grandes centros urbanos da Região Sudeste, a mais densamente povoada. O Estado do Rio de Janeiro lidera o ranking com 551 mortes registradas, seguido pelos Estados de São Paulo, com 298 mortes e de Minas Gerais, com 236.

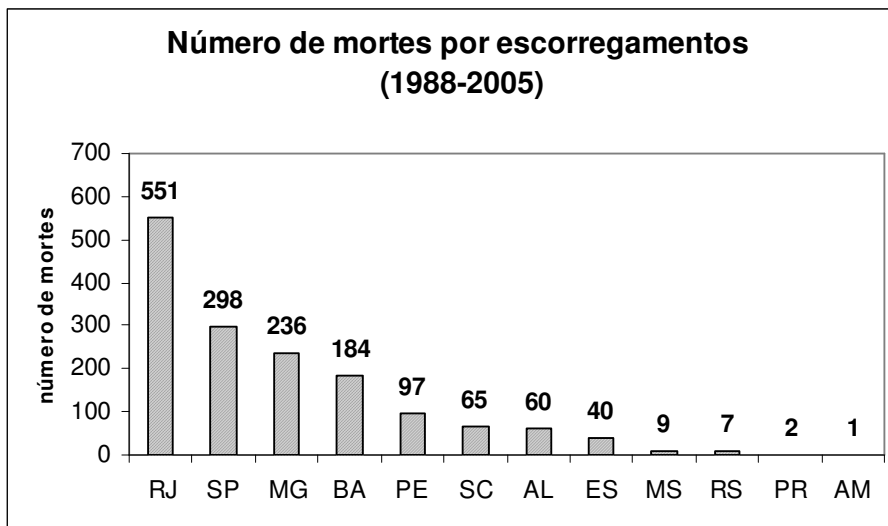


Figura 3 – Gráfico do número de mortes por estado, provocadas por escorregamentos no Brasil no período de 1988 a 2005. (Fonte: IPT, 2005).

6 A METEOROLOGIA E OS ESCORREGAMENTOS

Este capítulo fornece conceitos gerais da meteorologia, importantes ao entendimento da interação dos processos atmosféricos e os escorregamentos. Uma breve descrição é dada dos principais sistemas meteorológicos que atuam no Brasil. Uma ênfase particular é dada à precipitação e suas ferramentas de monitoramento e de previsão.

6.1 Conceito de sistema meteorológico e análise meteorológicas

A radiação solar aquece a superfície terrestre de formas diferenciadas em todo o globo, ocasionando um excesso de energia nas regiões tropicais e um déficit nas regiões polares. O transporte de energia das regiões tropicais para as polares dá-se por meio de uma ampla gama de sistemas atmosféricos com escalas espaço-temporais de movimentos que variam desde a escala planetária (extensão de milhares de quilômetros e duração de meses a anos) até microescala (extensão de dezenas de metros e duração de minutos).

Aplicando-se para o meio atmosférico o conceito de “sistema”, discutido por Cristofolletti (1999), temos que um sistema meteorológico pode ser definido como um conjunto de variáveis atmosféricas que interagem entre si e produzem um padrão de comportamento único, que não o fariam separadamente. Os sistemas podem ser identificados pela sua extensão vertical e horizontal, duração e propagação.

A determinação das características dos sistemas meteorológicos é realizada por métodos de análise de campos espaciais de variáveis atmosféricas, usualmente utilizados nos centros de previsão do tempo.

Saucier (1969) descreve as bases conceituais de análise da estrutura física e matemática da atmosfera por meio de observações que variam no tempo e no espaço.

Conforme descrito por Bittencourt (1998), o método de análise meteorológica é a sistemática com que os parâmetros são obtidos e tratados com o intuito de se diagnosticar o estado geral da atmosfera e interpretar os campos fornecidos por modelos de previsão numérica de tempo. As principais informações e procedimentos realizados para o diagnóstico atmosférico são:

- a) análise de observações meteorológicas de superfície e altitude (pressão, temperatura, vento, dentre outros): permite analisar a estrutura horizontal e vertical da atmosfera;
- b) interpretação de imagens de satélite: permite uma análise da extensão, tipo da cobertura de nuvens e/ou conteúdo de vapor d'água e evolução temporal do sistema meteorológico envolvido;
- c) observações de radar meteorológico: permite estimar a intensidade da precipitação, velocidade de deslocamento (radar Doppler), extensão vertical da célula e o campo de vento, além de auxiliar as previsões de curtíssimo prazo;
- d) análise de prognósticos de modelos numéricos: permite a previsão da formação e da evolução temporal e espacial dos sistemas atmosféricos, por meio da interpretação dos campos espaciais das variáveis atmosféricas geradas pelos modelos.

6.2 Chuvas intensas e mecanismos físicos de formação

Chuva intensa é aquela na qual registra-se grande volume de água precipitada em um curto período de tempo. Dependendo de vários fatores

como o grau de saturação e a permeabilidade 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 escorregamentos. No caso das enchentes, a maior parte da água da chuva escoar superficialmente, elevando rapidamente o nível dos rios. No caso dos escorregamentos, a água eleva o grau de saturação do solo e diminui sua resistência e coesão.

A definição do que seja um evento extremo de chuva envolve a adoção de critérios, não existindo um consenso em torno de um único valor. O método de determinação necessita estabelecer o que seja uma ocorrência relativamente rara de precipitação, que justamente por sua anormalidade, tenha potencial para causar impactos no meio e na sociedade.

A base de dados pluviométricos no Brasil consiste, na sua maior parte, em observações de valores acumulados diários. O estabelecimento de uma porcentagem da média anual de precipitação local tem sido comumente adotado como meio de determinação do valor-limite de classificação de um evento extremo de uma estação. Este critério permite comparar espacialmente a frequência de eventos extremos, uma vez que um mesmo valor-limite para uma estação pode ocorrer com maior frequência do que em outra.

Os períodos mais quentes do ano são os preferenciais para a ocorrência de tempestades, e conseqüentemente, de episódios de chuva intensa, uma vez que a maior disponibilidade de energia solar favorece a instabilização do ar na baixa atmosfera. No entanto, mecanismos de levantamento do ar provocados por sistemas como frentes frias ou mesmo pela topografia também podem favorecer a ocorrência do fenômeno em qualquer época do ano.

Episódios de chuvas intensas são provocados por células de tempestade, que são grandes massas de nuvens de forte desenvolvimento vertical, do tipo *Cumulonimbus*, geralmente associadas a descargas elétricas, rajadas de vento e por vezes, granizo. São elementos necessários

para o desenvolvimento de células de tempestade: o suprimento persistente de vapor d'água, a instabilidade convectiva do ar e um mecanismo físico de levantamento de ar, que propicie a formação de chuva sobre um local.

6.3 Sistemas meteorológicos associados a chuvas intensas no Brasil

Os sistemas meteorológicos constituem mecanismos físicos de produção de chuva e de acordo com Hjelmfelt (1999), podem ser específicos de cada parte do globo. Eles organizam ou intensificam as células de tempestade, os quais podem ocorrer em forma de linhas (por exemplo, linhas de instabilidade) ou aglomerados (p.e., Complexos Convectivos de Mesoescala). As tempestades também podem ser organizadas por sistemas de escalas maiores tais como os sistemas frontais, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), furacões ou ciclones extratropicais.

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

O Brasil é um país de grande extensão territorial, que abrange desde regiões subtropicais até equatoriais. Padrões distintos de relevo, hidrografia e vegetação contribuem para que os sistemas meteorológicos ocorram de forma diferenciada nas diversas regiões do país e nas diversas épocas do ano, tal como indicado em Quadro *et al.* (1996).

Devido às características físicas da região, pela alta concentração populacional e importância econômica, a Região Sudeste do Brasil tem sido palco da maior parte dos eventos catastróficos dessa natureza e por isso, objeto de parte dos estudos relacionados ao tema nos últimos anos.

Estudos meteorológicos de eventos de acumulação de chuva extrema no Estado de São Paulo, entre 1975 e 1980, foram desenvolvidos por

Raykowiski (1983). Este autor detectou que situações pós-frontais (logo após a passagem de frentes frias), em situações sob regime de ventos vindos de sudeste, estavam associadas aos maiores eventos de chuva extrema na região da Serra do Mar.

Menezes *et al.* (2000) estudaram as condições atmosféricas durante a propagação de sistemas de mesoescala que provocaram fortes chuvas no município do Rio de Janeiro, freqüentemente relacionados a escorregamentos.

Satyamurty *et al.* (2000) diagnosticaram os campos de variáveis meteorológicas associadas às calamidades ocorridas pelas precipitações históricas com escorregamentos no começo do ano 2000, na Serra da Mantiqueira.

Dentre os poucos trabalhos que abordam diretamente a relação entre as condições meteorológicas e a ocorrência de escorregamentos pode-se citar Blanco e Massambani (2003), que realizaram um estudo de caso de intensificação da chuva orográfica na Serra do Mar, que levou a uma série escorregamentos na região, em janeiro de 1998.

Embora os estudos ainda não sejam conclusivos, os processos de mudanças climáticas globais, as influências locais na circulação atmosférica, como ilhas de calor, produzidas pelo adensamento da urbanização, ou as anomalias climáticas periódicas como El Niño, também podem influenciar a ocorrência de episódios pluviométricos extremos (CORDANI,1996 *apud* NOGUEIRA, 2002).

O El Niño, fenômeno caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais da parte central e leste do Oceano Pacífico e seu fenômeno oposto, a La Niña, causam uma alteração na circulação atmosférica no Pacífico (Célula de Walker), que se reflete na mudança nos 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 tem pouca aplicação nas previsões de risco de escorregamento a curto ou

médio prazo, mas pode indicar a possibilidade de uma estação mais ou menos chuvosa, de forma a orientar ações preventivas. Um levantamento bibliográfico de pesquisas relacionadas aos mecanismos e aos impactos dos fenômenos El Niño e La Niña na América do Sul e particularmente, no Brasil, é realizado por Silva Dias e Marengo (1999).

Os itens a seguir descrevem sucintamente os principais sistemas meteorológicos associados a eventos de chuva no Brasil: os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), os sistemas frontais, a ciclogênese e a frontogênese, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Alta da Bolívia (AB) e as Ondas de Leste (OL).

6.3.1 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) são sistemas de mesoescala (escala espacial da ordem de dezenas de quilômetros e escala temporal da ordem de horas). Os SCM são grandes aglomerados de nuvens de tempestade, que se formam pela interação entre os jatos (intensas correntes de ar) na alta e baixa atmosfera. Fortes correntes zonais de ar frio e seco em altitude (jato subtropical de altos níveis) se acoplam com correntes meridionais de ar quente e úmido em superfície (jato meridional de baixos níveis), ocasionando uma forte instabilidade térmica.

O modelo de agrupamento de nuvens dos SCM apresenta quatro estágios de ciclo de vida:

- a) estágio de formação: células convectivas espalhadas são disparadas por alguma convergência de mesoescala em baixos níveis;

- b) estágio de intensificação: mais células convectivas se formam enquanto que as células existentes crescem e se fundem levando a uma grande área contínua precipitação estratiforme moderada;
- c) estágio maduro: mistura de precipitação convectiva e estratiforme, e contendo correntes ascendentes e descendentes de mesoescala;
- d) estágio de dissipação: a razão de formação de novas células diminui, mas a área de nuvem estratiforme em altura persiste por algum tempo com chuva leve.

Estes quatro estágios duram aproximadamente um dia, com as circulações convectivas dominando os primeiros estágios e as circulações de mesoescala, os últimos estágios.

Vários tipos de sistemas foram estudados na década de 70 e início dos anos 80, definindo-se diferentes tipos de SCM tais como: Linhas de Instabilidade (LI) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM).

Linhas de instabilidade (LI) são aglomerados de nuvens tipo *Cumulonimbus* em forma de linha, que podem ocasionar episódios de chuvas fortes. Estes sistemas ocorrem em todas as regiões do Brasil, mais comumente no Verão.

Em latitudes médias, observa-se precipitações fortes associadas as LI, as quais podem se formar paralelas ou perpendiculares às frentes frias (SILVA DIAS e MARENGO, 1999). Nestes casos, o ar quente, úmido e instável na vanguarda da frente (200 a 300 km) se eleva abruptamente, gerando convecção profunda.

Na Amazônia, as LI se formam preferencialmente ao sul da Zona de Convergência Intertropical (item 6.3.5) e na época do ano quando a ZCIT está mais ativa na região (CAVALCANTI, 1982). De acordo com Cohen *et al.* (1989) este sistema é responsável por 45% da chuva do período chuvoso na Amazônia.

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) são um outro tipo de SCM, definidas inicialmente por Maddox (1980). CCM alcançam dimensão espacial de centenas de quilômetros e duração de mais de seis horas. Eles correspondem a grandes aglomerados de nuvens tipo *Cumulonimbus*, de forma circular, associados a tempestades, granizo, rajadas de vento e até tornados. A velocidade dos ventos em superfície, devido às rajadas descendentes, pode atingir 60 a 90 km/h. Devido à severidade das condições de tempo que provocam, os CCM geralmente causam relevantes impactos econômicos e sociais.

Um estudo de Conforte (1997) sobre a ocorrência de CCM na América do Sul, com o uso de imagens de satélite, indicou que o tempo médio de duração desses sistemas é de 15 horas e que o fenômeno ocorra com maior frequência na Primavera e no Outono. A área preferencial de formação dos CCM é próxima ao Paraguai (entre 40°S e 20°S e entre 65°W e 50°W) onde se forma no período noturno. Normalmente, estes sistemas se deslocam em direção à Região Sul do Brasil, onde são responsáveis por significativa parcela da precipitação (SILVA DIAS, 1999). Ocasionalmente, os CCM também podem avançar para as Regiões Sudeste e Centro-Oeste e causar grandes volumes de precipitação, sobretudo quando interagem com a convecção local.

Os CCM ocorrem também na região Nordeste causando chuvas fortes, de curta duração (FUNCEME, 2002).

6.3.2 Sistemas frontais

Os sistemas frontais são superfícies de separação entre massas de ar de características diferentes. São sistemas de escala sinótica (extensão da ordem de centenas de quilômetros e duração da ordem de dias), que atuam no sentido de diminuir os gradientes térmicos horizontais entre duas regiões.

Eles ocorrem durante o ano todo sobre o Brasil, onde são os principais causadores de distúrbios meteorológicos (LEMOS e CALBETE, 1996). A frequência destes sistemas é maior nas latitudes altas do que nas latitudes baixas e são identificáveis em imagens de satélite como bandas de nuvens organizadas que se formam na região de intensos gradientes horizontais de temperatura nos baixos níveis da atmosfera, devido à confluência entre a massa de ar frio e a massa de ar quente. Além dos contrastes de temperatura, são características dos sistemas frontais em superfície: a convergência de ventos, a baixa pressão atmosférica e a máxima vorticidade relativa (circulação giratória do ar em torno de um centro de baixa pressão).

Os sistemas frontais podem atingir a Região Nordeste, porém é nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste onde causam os maiores efeitos em termos de precipitação e temperatura (BITTENCOURT, 1998). Na Amazônia e na região Nordeste, estes sistemas também desempenham um papel importante na produção de chuva, organizando a convecção tropical (OLIVEIRA, 1986; KOUSKY, 1979).

A classificação dos sistemas frontais depende do tipo de movimento das massas de ar frio e quente envolvidas.

As frentes frias consistem no tipo mais freqüente de sistema frontal no Brasil, e ocorrem quando uma massa de ar frio avança em direção a uma mais quente. Neste caso, a convecção profunda causada pelo levantamento abrupto do ar quente (menos denso) sobre a rampa frontal da massa de ar frio (mais denso) provoca o resfriamento da coluna de ar e a formação de nuvens bastante carregadas, do tipo *Cumulonimbus*, associadas a chuvas e ventos fortes, com descargas elétricas.

As frentes quentes são outro tipo de sistema frontal que ocorrem quando uma massa de ar quente avança em direção à outra mais fria, geralmente causando a elevação da temperatura após a sua passagem. São menos freqüentes no Brasil do que as frentes frias e também estão

associadas à ocorrência de pancadas de chuva forte e aumento da intensidade do vento no momento de sua passagem.

As frentes estacionárias ocorrem quando a intensidade das massas de ar frio e quente é semelhante, ocasionando uma área de nebulosidade e chuva persistente sobre uma região. A condição de chuva contínua ou intermitente pode durar vários dias, saturando o solo, diminuindo sua coesão e favorecendo a instabilização de encostas.

As frentes oclusas são caracterizadas por uma frente fria que se adianta em altos níveis da atmosfera e ultrapassa uma frente quente, gerando uma oclusão. São observadas em alto mar, no período de maturação e enfraquecimento de um ciclone.

6.3.3 Ciclogênese e Frontogênese

Ciclogênese e frontogênese são sistemas meteorológicos de escala sinótica. A ciclogênese é caracterizada pela formação de sistemas de baixa pressão atmosférica em superfície, provocada por perturbações no escoamento de ar na média e alta atmosfera. De acordo com Silva Dias e Marengo (1999), estes sistemas exercem importante influência na organização da precipitação na Região Sul do Brasil e na maioria dos casos, estão associados ao alinhamento de frentes frias ou à interação com sistemas convectivos.

Gan e Rao (1991) verificaram que na América do Sul, o litoral sul do Brasil e o Uruguai são áreas preferenciais para a ocorrência de ciclogêneses, principalmente no Inverno e na Primavera.

Frontogênese é o nome dado à formação de um sistema frontal, identificado pelo pronunciamento do gradiente horizontal de temperatura em superfície. A região entre dois anticiclones (áreas de alta pressão atmosférica com movimentos anti-horários do vento, no Hemisfério Sul) de

forte intensidade em uma atmosfera baroclínica é favorável à ocorrência de frontogênese. Geralmente, a frontogênese é antecedida por uma ciclogênese, ocorrendo principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (BITTENCOURT, 1998). Assim como as frentes frias, estes sistemas também podem ocasionar um grande volume de precipitação.

6.3.4 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN)

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) correspondem a cavados (áreas de baixa pressão atmosférica), que se formam na alta troposfera onde os ventos giram no sentido ciclônico (sentido horário no Hemisfério Sul). Os VCAN são identificáveis pela análise da circulação atmosférica no nível isobárico de 200 mb e seu tempo de vida pode variar de horas a semanas. Em determinadas situações, os VCAN interagem com outros sistemas meteorológicos e causam grande volume de precipitação.

Os VCAN podem se formar em latitudes subtropicais (chamados de Vórtices do tipo Pálmen) ou em latitudes tropicais (chamados de Vórtices do tipo Palmer).

Os VCAN subtropicais se formam em qualquer época do ano. De acordo com Lourenço *et al.* (1986), este tipo de vórtice atua nas regiões Sul e Sudeste por 1 ou 2 dias causando chuvas e ventos fortes. Silva Dias e Grammelsbacher (1991) relacionaram a ocorrência deste tipo de sistema a um tornado ocorrido em São Bernardo do Campo (SP) no dia 26 de abril de 1991. Sakuragi (1992) apontou o VCAN como responsável pelas chuvas intensas em São Paulo no dia 19 de março de 1991.

Os VCAN tropicais geralmente formam-se no Oceano Atlântico entre outubro e março, próximo à costa da Região Nordeste do Brasil e se movimentam para oeste, atingindo o continente. Na periferia do VCAN,

ocorre a formação de nuvens convectivas associadas a grande volume de chuva, enquanto no centro do vórtice ocorre inibição da formação de nuvens.

6.3.5 Zona da Convergência Intertropical (ZCIT)

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos principais sistemas meteorológicos das Regiões Norte e no Nordeste do Brasil, onde é responsável por modular a estação chuvosa (HASTENRATH e LAMB, 1977; UVO e NOBRE, 1989).

A ZCIT é caracterizada por uma faixa permanente de nebulosidade ao longo do Equador. O aquecimento terrestre na faixa equatorial do planeta forma um cinturão de baixas pressões atmosféricas, que ocasiona a convergência dos ventos em superfície (ventos alísios), que divergem nos altos níveis. A convergência dos ventos alísios dos Hemisférios Norte e Sul forma uma faixa de cobertura de nuvens convectivas, precipitação e convergência de massa.

A ZCIT oscila ao longo do ano na direção norte-sul, mas sua intensidade e alcance latitudinal variam de ano para ano. Durante os meses de Verão no Hemisfério Norte, por volta de agosto e setembro, ela desloca-se mais para o norte, chegando até por volta de 14°N. Por volta de março e abril, a ZCIT migra para o sul, atingindo aproximadamente 2°S. Anos nos quais a ZCIT desloca-se para latitudes mais ao sul do Hemisfério Sul, estão associados a um generoso regime de chuva na parte norte do Brasil. Estudos mostram que a posição da ZCIT está fortemente relacionada com a distribuição da temperatura da superfície do Oceano Atlântico Tropical.

6.3.6 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) consiste em uma extensa faixa de nuvens carregadas, alimentada pelo calor e pela umidade da Amazônia. Esta faixa de nebulosidade é caracterizada pela orientação noroeste-sudeste, estendendo-se desde a Amazônia até o Atlântico Sul. Também é observável a convergência de ventos e umidade na baixa troposfera em forma de jato (forte corrente de vento) desde o leste dos Andes até a Região Sudeste do Brasil. Em altos níveis, geralmente observa-se a circulação anticiclônica na região central da América do Sul e um cavado (área de baixa pressão) quase estacionário no Nordeste do Brasil, podendo formar um VCAN, conforme mostrado por Kousky e Gan (1981) e Kayano *et al.* (1997).

Quadro (1994) analisou as características da ZCAS:

- a) permanência do sistema frontal por mais de 4 dias;
- b) convergência de umidade em baixos e médios níveis;
- c) vortacidade ciclônica em 850 mb e anticiclônica em 200 mb, associadas a regiões de baixa pressão e alta pressão respectivamente;
- d) penetração de ar frio ao sul da faixa de nebulosidade em baixos níveis.

A ZCAS costuma estar associada a eventos de precipitação intensa e é um dos principais sistemas causadores de chuva entre o final da Primavera e o começo do Outono na Região Sudeste. Satyamurty *et al.* (2000) diagnosticou que o padrão da ZCAS foi o responsável por uma das maiores calamidades naturais que ocorreram na região de Campos do Jordão no início do ano 2000. Chuvas fortes entre 31 de dezembro de 1999 e 6 de janeiro de 2000 chegaram a totalizar 400 mm de precipitação nessa região.

Variações intrasazonais da intensidade convectiva e no posicionamento da ZCAS estão relacionadas a distúrbios de latitudes médias e a oscilações atmosféricas globais com período de 30 a 60 dias, conhecidas como Oscilação de Madden-Julian (OMJ). Estudos observacionais relacionam períodos de intensa atividade da ZCAS (com enchentes e deslizamentos na costa da Região Sudeste), com a ocorrência da OMJ (CASARIN e KOUSKY, 1986; KAYANO e KOUSKY, 1992). A análise de imagens multi-espectrais de satélite realizada por Machado *et al.* (1996) indicou que a convecção da ZCAS seja forçada pelo ciclo diurno e pela penetração de frentes frias, dentre outros.

De acordo com Liebmann *et al.* (2001), a maior duração da ZCAS não necessariamente está associada à maior ocorrência de eventos extremos de chuva. Situações de grande intensidade convectiva da ZCAS podem causar mais eventos desta natureza, apesar do tempo de vida menor, enquanto situações de intensidade moderada da ZCAS podem causar maiores valores acumulados de precipitação, durante um período mais prolongado.

6.3.7 Alta da Bolívia (AB)

De acordo com Silva Dias e Marengo (1999), o sistema da Alta da Bolívia (AB) corresponde a uma formação de um anticiclone em altos níveis troposféricos (200 mb) na região do altiplano boliviano. Este sistema é característico da circulação de ar superior durante o Verão (SOUZA e AMBRIZZI, 2002). A AB é identificável pela análise das linhas de corrente de vento em 200 mb, formando um grande centro de divergência próximo ao Paraguai, com circulação anticiclônica (sentido anti-horário no Hemisfério Sul).

A divergência em altitude favorece a formação de convergência de vento, umidade e calor em superfície, estimulando a formação de

tempestades nesta época do ano em parte do Brasil, que inclui a região da Amazônia e o Brasil Central (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul). Durante o Inverno, a AB normalmente migra para norte e se torna estreita meridionalmente.

6.3.8 Ondas de Leste (OL)

Ondas de leste (OL) são formadas por perturbações no escoamento atmosférico em médios e baixos níveis, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios. Estas perturbações se deslocam de leste para oeste, ou seja, desde a costa da África até o litoral do Brasil. As OL são observadas na costa leste da Região Nordeste e costumam ocorrer com maior intensidade no período de maio a agosto sendo responsáveis por uma parte significativa do volume total do período chuvoso do Agreste, Zona da Mata e Litoral dos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Vários estudos como o de Mota (1997) sugerem que as OL estejam associadas a eventos de chuva forte na faixa norte e leste da costa nordestina.

Por serem ondas atmosféricas de amplitude menor do que a dos cavados e cristas tropicais, estes sistemas são pouco detectados nos modelos globais de previsão. O mesmo ocorre em cartas sinóticas, uma vez que os pontos de observação sobre a área oceânica, onde dá-se a formação das OL, encontram-se esparsamente distribuídos. O acompanhamento de imagens de satélite e a análise do campo de vento em altos níveis auxiliam no diagnóstico e acompanhamento das OL.

6.4 A previsibilidade da precipitação

A precipitação, variável meteorológica de maior interesse na avaliação e antecipação de riscos de escorregamento, é caracterizada pelo seu total de água, pela sua duração, pela sua distribuição espacial e temporal.

De acordo com a definição da WMO, a previsão meteorológica pode ser dividida nas seguintes escalas temporais (WMO, 2005):

- (a) '*nowcasting*' - até 2 horas
- (b) muito curto prazo – de 2 até 12 horas;
- (b) curto prazo - de 12 a 72 horas;
- (c) médio prazo – de 72 horas até 10 dias;
- (d) prazo estendido – de 10 até 30 dias;
- (e) longo prazo - de 30 dias a 2 anos;
- (e) previsão climática – além de 2 anos.

A previsão '*nowcasting*' e de muito curto prazo de chuva presta-se a emissão de alertas e ações imediatas para a redução de riscos de escorregamento. Avalia-se a quantidade de precipitação ocorrida e se prevê o comportamento nas horas seguintes, utilizando-se principalmente observações de satélite e radar, acopladas a modelos estatísticos ou numéricos.

Wieczorek *et al.* (2004) compararam estimativas de precipitação via radar Doppler e imagens de satélite com dados de precipitação coletados por pluviômetros em dois grandes eventos de escorregamento (um em Virgínia, EUA, em 27 de junho de 1995 e outro em Vargas, Venezuela, de 14 a 16 de dezembro de 1999). Os autores observaram que as duas formas de sensoriamento remoto tanto subestimam quanto superestimam a quantidade real de precipitação observada em um fator de pelo menos 2. Este resultado reflete como a precisão da projeção cartográfica dos mapas e a resolução

temporal e espacial pode influir na precisão das estimativas, e mostra também a necessidade de aprimoramento das técnicas e da instrumentação destas ferramentas para a sua aplicação em sistemas de monitoramento e prevenção de riscos de escorregamento.

Os modelos numéricos são mais utilizados para a previsão de curto prazo (12 a 72 horas). Um modelo numérico consiste em um conjunto de equações que descreve os movimentos da atmosfera e os projeta no futuro, baseado-se nas leis de conservação de massa, umidade, energia e momento angular, dentre outros. No entanto, há limitações. Variáveis como a temperatura e a pressão são geralmente melhor prognosticadas do que a precipitação, que apresenta grande variabilidade temporal e espacial.

Além da margem de erro inerente à previsão numérica de tempo, os modelos geram prognósticos de quantidade de chuva acumulada a cada 12 ou 24 horas (modelos globais) ou a cada 3 ou 6 horas (modelos regionais). Uma mesma quantidade prevista pode ocorrer de forma contínua ou concentrada dentro de um mesmo intervalo de tempo. Para tal avaliação, o meteorologista analisa o sistema meteorológico em questão e o tipo mais provável de precipitação. Cabe também a este profissional considerar as características locais como orografia, maritimidade e período do dia, fatores que podem se combinar, ocasionando chuvas mais fortes.

As previsões de médio prazo (até 10 dias) exigem análises mais acuradas e envolvem maior margem de erro uma vez que são usualmente realizadas com modelos globais, com resolução temporal e espacial menor que os modelos regionais (geralmente, 24 horas e grade de 100 km). Os prognósticos destes modelos também perdem rapidamente sua confiabilidade quanto maior é o número de dias à frente que os prognósticos atingem, sobretudo no caso da precipitação.

A partir de escalas temporais maiores de previsão meteorológica, os prognósticos geralmente indicam o comportamento médio da precipitação no período, sem prever a quantidade ou intensidade específicas em determinada localidade. Alguns centros internacionais de previsão do tempo

estão implementando a geração de prognósticos de precipitação diária até 15 dias a partir de modelos globais, mas a confiabilidade das estimativas ainda limita a aplicação destes prognósticos em sistemas de alerta.

As previsões de longo prazo são mais voltadas a orientar medidas preventivas que antecedem os meses mais chuvosos, tais como treinamento de equipes, intensificação das vistorias das áreas de risco, dentre outros.

7 RELAÇÃO ENTRE CHUVA E ESCORREGAMENTO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

O presente capítulo mostra que a avaliação de risco de escorregamentos por meio do monitoramento e da previsão da precipitação é uma prática adotada em várias partes do mundo. Neste sentido, são apresentados alguns métodos de investigação da relação entre a precipitação e os escorregamentos em âmbito nacional e internacional.

7.1 Históricos de correlação

A busca de relações empíricas e matemáticas que expressem as quantidades e taxas críticas de precipitação que deflagrem escorregamentos tem sido objeto de pesquisas na comunidade nacional e internacional, a fim de elevar o grau de previsibilidade deste processo.

Não existe até o momento, consenso acerca do método da determinação deste valor-limite ou do papel exato de chuvas precedentes (COROMINAS *et al.*, 2004). A questão-chave consiste em modelar corretamente como se dá a elevação da pressão da água nos poros do solo conforme a água da chuva se infiltra. Esta infiltração, por outro lado, depende da intensidade e da duração da precipitação. De acordo com Kay e Chen (1995) é duvidoso que esta questão possa ser tratada com um único fundamento, mas a investigação de vários modos de relacionamento de dados observacionais ainda é a melhor alternativa.

Turner e Nielsen (1975) indicaram a importância do estudo da intensidade e duração da chuva na ocorrência de escorregamentos, assim como a existência de um valor crítico a partir do qual o processo se inicia.

Na Nova Zelândia, Eyles (1979) *apud* Tatizana *et al.* (1987a) encontrou o valor crítico de 50 a 90 mm por evento para a instabilização de encostas.

Contribuições importantes também podem ser citadas, acerca da influência de períodos prolongados de chuva na deflagração dos escorregamentos. Peck (1967) *apud* Kay e Chen (1995) mostrou que a chuva acumulada dos 10 dias anteriores tinha boa correlação com os escorregamentos no Havaí.

Abordagem semelhante foi realizada por Lumb (1975), o qual verificou uma correlação da precipitação acumulada de 15 dias e a precipitação do dia do escorregamento em Hong Kong. Nesse trabalho, Lumb determinou faixas de intensidade para ocorrências de escorregamento, conforme apresentado na Figura 4. Símbolos diferentes indicam faixas distintas de número de ocorrências de deslizamento: isolado (pouco ou nenhum evento), pequeno porte (poucos eventos), severo (dezenas de eventos) e desastroso (centenas de eventos).

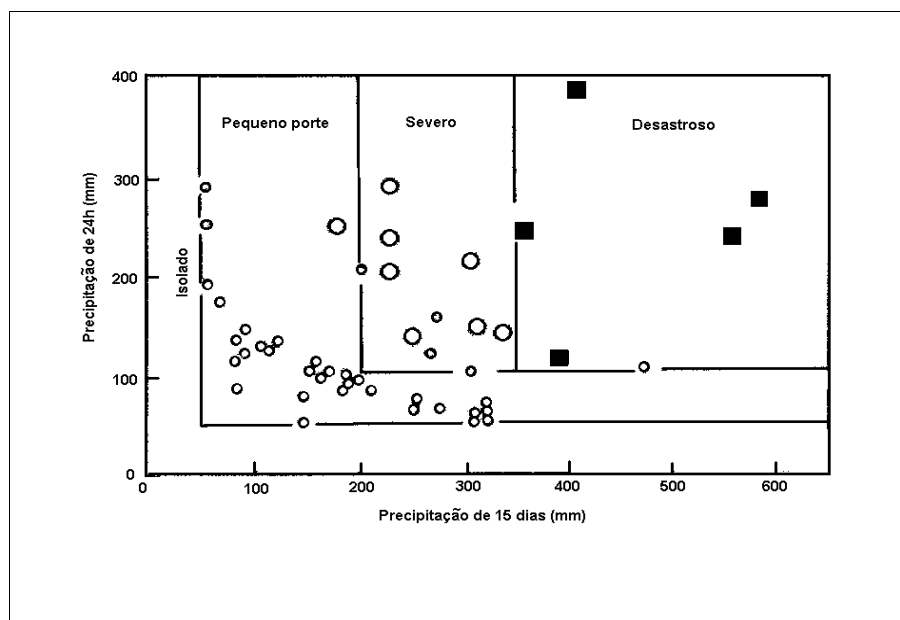


Figura 4 – Gráfico da relação entre precipitação de 15 dias e de 24h para eventos de escorregamento em Hong Kong (modificado de Lumb, 1975).

Uma abordagem alternativa ao método de Lumb (1975) foi realizada por Kay e Chen (1995). Nesse caso, foram consideradas todas as ocorrências de precipitação diária acima de 50 mm, incluindo aquelas nas quais não houve escorregamento, conforme ilustra a Figura 5.

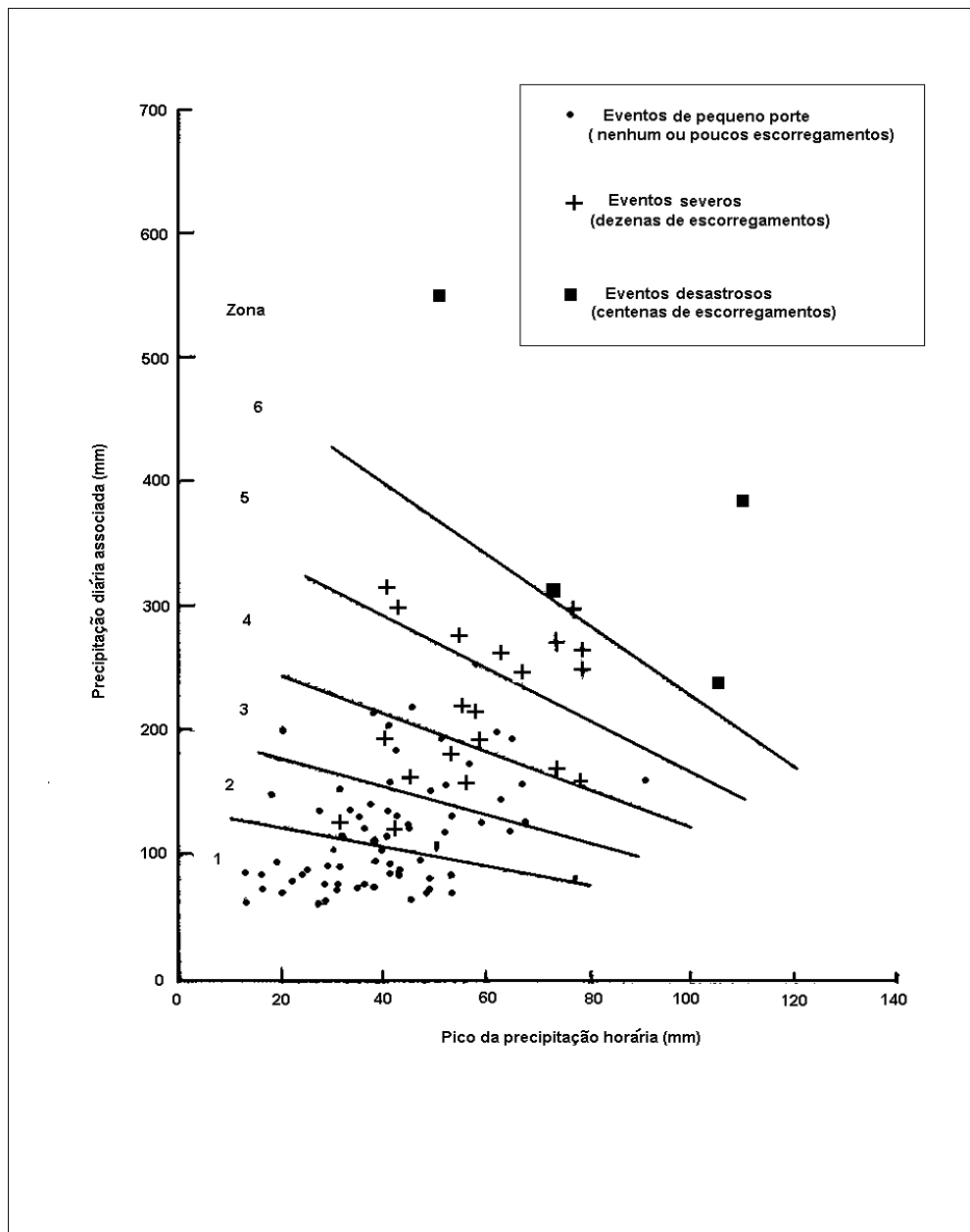


Figura 5 – Gráfico do pico da precipitação horária x precipitação de 24h para Hong Kong (Kay e Chen, 1995).

Baseados neste resultado gráfico, os autores estabeleceram zonas nas quais foi possível calcular a probabilidade de ocorrência de escorregamentos. Os valores de probabilidade associados a cada zona são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Probabilidade de escorregamento por zonas de precipitação em Hong Kong (Kay e Chen, 1995).

Zona	Probabilidade de ocorrência de escorregamento
1	Desprezível para ocorrências severas de escorregamento
2	5 – 25% para ocorrências severas de escorregamento
3	25 – 45% para ocorrências severas de escorregamento
4	45 – 75% para ocorrências severas de escorregamento
5	75 – 95% de para ocorrências severas de escorregamento
6	70-90% para ocorrências desastrosas de escorregamento

As zonas fronteiriças são expressas pela equação:

$$d = \frac{(180-h)}{s}$$

onde d= chuva diária (mm);
h= chuva horária (mm);
s=coeficiente de inclinação da reta.

s=1,3 para fronteira entre Zonas 1 e 2;
s=0,9 para fronteira entre Zonas 2 e 3;
s=0,65 para fronteira entre Zonas 3 e 4;
s=0,48 para fronteira entre Zonas 4 e 5 e
s=0,35 para fronteira entre Zonas 5 e 6.

A vantagem deste método é a análise qualitativa da probabilidade de escorregamento de acordo com a combinação entre valores da chuva horária e diária.

Fukuoka (1980) estudou a relação numérica da precipitação antecedente e a intensidade horária da chuva no Japão, elaborando um diagrama de probabilidade de ocorrência de escorregamentos (Figura 6). A área total do diagrama é dividida em 4 regiões, as quais indicam o potencial de frequência de deflagração do processo. O autor ressalta que os resultados devem ser aplicados para pequenas áreas (1 a 2 km²), uma vez que aspectos geológicos e climáticos podem variar significativamente, conforme a área de estudo aumenta.

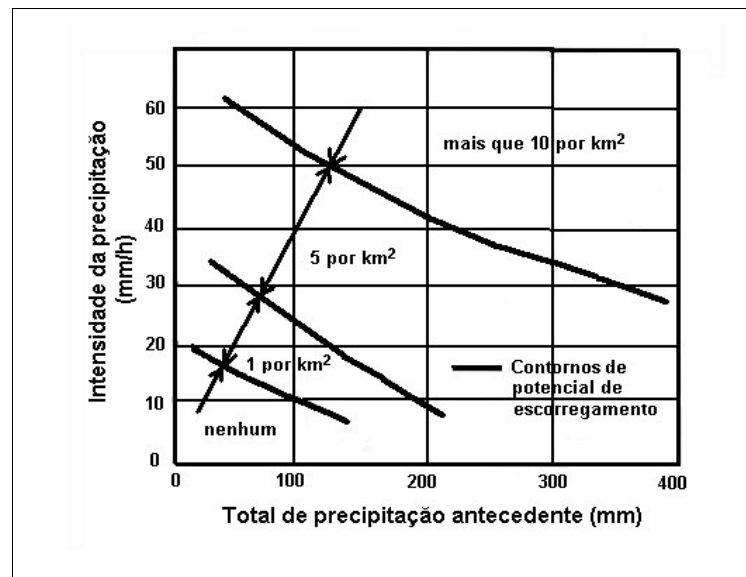


Figura 6 – Gráfico do potencial de ocorrência de escorregamentos (modificado de Fukuoka, 1980).

Brand *et al.* (1984), estudando a região de Hong Kong, já investigada por Lumb (1975), mostraram que a chuva de curta duração, dentro de uma hora, era um indicador relevante para a ocorrência de escorregamentos.

Estudos hidrológicos e estatísticos realizados por Bozzano *et al.* (1998) apontaram que a chuva acumulada dos 30 dias antecedentes tinha relação com a ocorrência de escorregamentos rasos no sul da Itália. Neste trabalho, as chuvas intensas se mostraram efetivas no processo de

instabilização imediata das encostas, mas não foi possível a determinação de valor crítico de intensidade da precipitação.

A análise empírica da série de precipitação de Lisboa (Portugal) realizada por Zêzere *et al.* (2003) resultou em relações diferenciadas:

- a) intensidades moderadas de precipitação (220 mm em 15 dias) são responsáveis por escorregamentos de pequeno porte;
- b) episódios de elevada precipitação (160 a 130 mm em 1 dia) deflagram enchentes-relâmpago e numerosos escorregamentos;
- c) períodos prolongados de chuva (459 mm em 40 dias a 690 mm em 75 dias) são responsáveis pela elevação do nível de água no solo, pelo aumento da pressão da água nos poros e escorregamentos de solo mais profundos.

Séries temporais de precipitação e escorregamento na região dos Pirineus (Espanha), comprovaram que intensidades elevadas de chuva podem causar escorregamentos mesmo sem chuvas anteriores (COROMINAS *et al.*, 2004). Por outro lado, chuvas antecedentes diminuem os valores críticos de precipitação necessários para a ocorrência dos movimentos de solo, enquanto locais que já apresentem instabilização de massa são altamente sensíveis a pequenos volumes de precipitação.

Os escorregamentos em rocha, condicionados por planos de fraqueza, são mais suscetíveis à deflagração por índices de chuva concentrada enquanto escorregamentos induzidos pelo uso e ocupação do solo tendem a ser acionados por menores taxas de chuva do que os escorregamentos naturais (AUGUSTO FILHO, 1995).

Percebe-se por estas afirmações, que a busca da relação físico-matemática entre a precipitação e escorregamento necessita não apenas considerar as características geológicas, geomorfológicas e climáticas, como também as características de uso e ocupação do solo. Pesquisas em

regiões de condições geológicas e meteorológicas distintas vêm apresentando resultados diversos.

No Brasil, estudos de Terzaghi (1950) para a região de Cubatão (SP), já apontavam um importante relacionamento entre a chuva e a ocorrência de escorregamentos. O autor observou que os processos ocorreriam no final da estação chuvosa e após chuvas intensas de 100 mm/dia. Uma revisão histórica realizada por Vargas (1999) ressaltou posteriormente, que de acordo com a análise de outros eventos catastróficos como o de Santos (SP), em 1963 e da Serra das Araras (RJ) e Caraguatatuba (SP), em 1967, os escorregamentos poderiam ocorrer fora do período chuvoso e que um limiar de 50 mm/hora de precipitação poderia ocasionar grandes avalanches.

O primeiro ensaio de correlação entre a precipitação e escorregamentos no Brasil data de 1957 com Pichler (1957). Uma pesquisa mais completa em nove regiões do território brasileiro, desenvolvida por Guidicini e Iwasa (1977), mostrou a importância da precipitação anterior na deflagração dos escorregamentos de terra e de rocha e indicou que tais processos tendem a ocorrer quando os índices pluviométricos atingem 8 a 17% da precipitação média anual. Episódios de chuva superiores a 20% deste valor tendem a ser catastróficos. Guidicini e Iwasa (*op.cit*) introduziram ainda, a idéia de coeficiente de ciclo e coeficiente de episódio que representam, respectivamente, a porcentagem da precipitação acumulada até a data do escorregamento e a precipitação do episódio, com relação à média pluviométrica anual. Com base na determinação destes coeficientes, os autores desenvolveram cartas de periculosidade das nove localidades brasileiras.

Tatizana *et al.* (1987a) desenvolveram uma relação numérica entre chuva acumulada de 4 dias e a intensidade da precipitação, baseados na análise de eventos de chuva de 100 mm em 1 dia, 150 mm em 2 dias e 200 mm em 3 dias, na região da Serra do Mar. A relação encontrada, que separa eventos chuvosos com registro de escorregamentos, daqueles sem registros, é dada pela função:

$$I (Ac) = 2.603 \times Ac^{-0,933}$$

onde Ac = precipitação acumulada de 4 dias (mm)

I = intensidade da precipitação (mm/h)

Esta relação permite determinar a situação a partir da qual é grande a chance de escorregamentos. O gráfico da envoltória de escorregamentos obtido para o posto pluviométrico da Curva da Onça, na região de Cubatão (SP) é mostrado na Figura 7. Esse trabalho também se destacou pelo desenvolvimento de um índice adimensional de suscetibilidade de escorregamento para Cubatão (SP), baseado no acompanhamento dos volumes de precipitação.

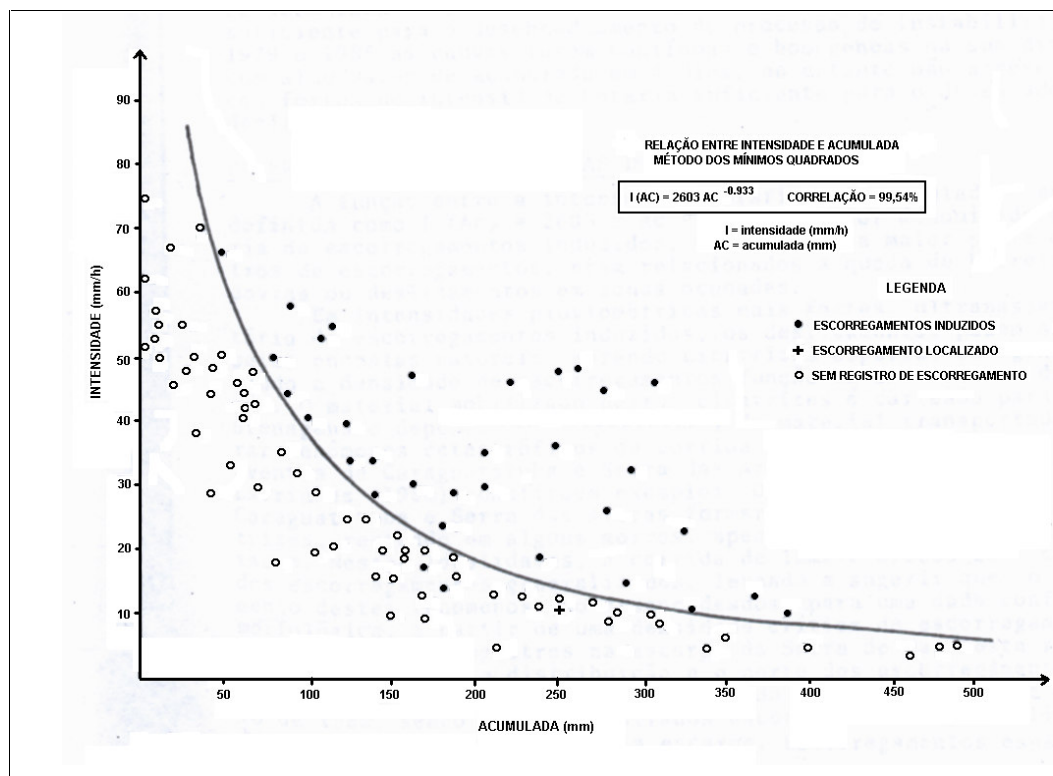


Figura 7 - Gráfico da envoltória para escorregamentos induzidos para o posto pluviométrico da Curva da Onça, na Serra do Mar (modificado de Tatizana *et al.*, 1987a).

A correlação entre chuva e escorregamento também foi investigada por Cerri (1992a) para 8 municípios do litoral paulista, a partir dos resultados de Tatizana *et al.* (1987a e b).

Uma análise temporal dos escorregamentos em Belo Horizonte (MG), no período de 1990 a 1995, realizada por Xavier (1996) mostrou que há um comportamento sazonal dos escorregamentos, concentrados no período de outubro a março (meses de maior pluviometria). O autor concluiu que a suscetibilidade aumenta na região de Belo Horizonte (MG) quando volumes de chuva superam 30 mm em 24 horas e é ainda maior quando ocorrem 50 mm em 48 horas. Períodos prolongados de chuva constituem as situações mais críticas.

Elbachá *et al.* (1992) não encontraram uma relação satisfatória entre a precipitação diária e os escorregamentos na região de Salvador (BA), com base em dados observacionais do período de 1980 a 1990. Tal fato provavelmente está relacionado com os critérios de seleção dos eventos de escorregamento, muitos dos quais podem ter causas puramente antrópicas (mudança na geometria das encostas, vazamentos etc). Os autores também aplicaram o conceito de ciclo móvel introduzido por Guidicini e Iwasa (1977), que se mostrou insatisfatório neste caso. A alternativa promissora consistiu na análise de gráficos de dispersão de chuva acumulada de 1 a 8 dias x chuva horária. Gráficos de acumulada de 4 dias mostraram melhor representação com os eventos de escorregamento, coincidindo com o número de dias encontrado por Tatizana *et al.* (1987a) para a Serra do Mar.

Vieira (2004) também concluiu que as acumuladas de 3 a 4 dias explicavam de forma mais satisfatória as ocorrências de escorregamento na região de Blumenau (SC) para determinados períodos que apresentaram elevada incidência de instabilidades nas encostas.

A obtenção por vários autores da acumulada em 4 dias como bom indicativo de processos de instabilidade nas encostas, tem feito com que esse parâmetro seja aplicado em sistemas de monitoramento em algumas partes do país. É o caso da operação Alerta-Rio, que monitora a ocorrência

de escorregamentos nos morros cariocas no período chuvoso, por meio do acompanhamento dos índices de chuva de 24 horas e de 4 dias antecedentes (GEO-RIO, 2000).

Alheiros *et al.* (2003) cita um método inovador de investigação da relação entre a chuva e instabilidade nas encostas. Com dados observacionais dos níveis piezométricos dos morros de Olinda, no período entre 1985 e 1986, foi identificada a seguinte relação entre ambos:

$$R = P_{ac} \cdot I_i$$

onde,

R = Relação entre os níveis piezométricos e a precipitação (mm²/dia)

P_{ac} = Precipitação acumulada desde o início da estação chuvosa (mm)

I_i = Intensidade da chuva em 24 horas (mm).

Analisando os valores de R e os níveis piezométricos para várias ocorrências de escorregamento, encontrou-se o valor-limite de R=60.000 mm² para a ocorrência de escorregamentos, por representar o máximo nível d'água suportado, em condições de estabilidade. Uma dificuldade na aplicação deste método consiste na realização de campanhas de medida dos níveis piezométricos, acarretando em custos com equipamento e equipe técnica especializada.

Feijó *et al.* (2001) realizaram um aprofundamento na investigação da relação chuva e escorregamento no Brasil, relacionando a duração e a intensidade da precipitação com a tipologia do processo no município do Rio de Janeiro (RJ).

A Tabela 4 mostra alguns resultados internacionais da análise da relação entre a precipitação e os escorregamentos, baseados em Tatizana *et al.* (1987a) e atualizados com base no levantamento bibliográfico da presente pesquisa.

Tabela 4 – Resumo de algumas pesquisas internacionais da relação entre chuva e escorregamento.

Autor e ano	Local	Característica associada a escorregamento
Endo, 1970	Hokkaido	Limite de 200 mm/dia
Campbel, 1975	Los Angeles	Limite de 262 mm/evento de chuva
Nielsen et al., 1976	Alameda Country, Califórnia	Limite de 180 mm/ evento de chuva
Govi, 1976	Bacino Padano, Itália	Limite de 100 mm/3 dias
Eyles, 1979	Wellington City, Nova Zelândia	Limite de 50-90 mm/evento de chuva. Escorregamentos de grande porte com 100 mm/evento de chuva.
Brand <i>et al.</i> , 1984	Hong Kong	Limite de 100 mm/24 horas 70 mm /hora
Kay e Chen, 1995	Hong Kong	Relação: $d = (180-h)/s$ Onde d é a chuva diária (mm), h é a chuva horária (mm) e s é o coeficiente de inclinação da reta que limita as zonas de probabilidade de ocorrência de escorregamento
Finlay <i>et al.</i> , 1997	Hong Kong	Boa relação com chuva de 1 a 12 horas anteriores. Limite de 8 a 17 mm /hora
Zêzere et al., 2003	Lisboa, Portugal	Limite de 220 mm/15 dias para escorregamentos de pequeno porte/ translacionais rasos Limite de 130 mm/dia para escorregamentos múltiplos translacionais Limite de 459 mm/40 dias a 690 mm/75 dias (chuvas prolongadas) para movimentos de massa profundos

Na Tabela 5 é apresentado um resumo de algumas pesquisas entre a relação da precipitação e os processos de escorregamento no Brasil.

Tabela 5 – Resumo de algumas pesquisas nacionais da relação entre chuva e escorregamento.

Autor e ano	Local	Característica da precipitação associada ao escorregamento
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 a	Serra do Mar, Brasil	Boa relação com 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
GEO-RIO, 2000	Rio de Janeiro, Rio de Janeiro	Boa relação com chuva acumulada de 4 dias.
Alheiros, 2003	Olinda, Pernambuco	Maior chance de instabilidade de massa para $R > 60.000 \text{ mm}^2$ 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.

O presente capítulo mostra a importância das séries climáticas de precipitação na investigação da relação entre a chuva e os processos de escorregamentos. Enquanto os escorregamentos são processos dinâmicos e contínuos da evolução dos taludes, medidas de precipitação tomadas em postos convencionais são observações pontuais, quase sempre com baixa resolução temporal. Além disso, há limitações espaciais: os postos encontram-se esparsamente distribuídos, sobretudo nas Regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil.

8 PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO METEOROLÓGICA DOS EVENTOS DE ESCORREGAMENTO

Neste capítulo apresenta-se o método elaborado para investigação dos sistemas meteorológicos e da relação chuva-escorregamento. O roteiro consiste de uma apresentação ordenada de procedimentos para promover a aquisição de informações, o tratamento dos dados e interpretação dos resultados. Procurou-se abordar as principais dificuldades com as respectivas alternativas para a realização da investigação.

8.1 Fundamentos do Roteiro Metodológico

O roteiro metodológico está baseado nos seguintes fundamentos:

- a) Público alvo: profissionais da área de gerenciamento de riscos naturais, meteorologistas, técnicos associados à Defesa Civil e outras instituições do Poder Público relacionadas às áreas de segurança, de proteção e de defesa. Profissionais de instituições particulares relacionadas à segurança patrimonial, ao monitoramento ambiental e a empresas de seguro, dentre outros, também poderão fazer uso deste instrumento;
- b) Linguagem: visto que o público alvo possui formações diversificadas, deve haver uma preocupação em traduzir termos técnicos, a fim de permitir a compreensão geral;
- c) Recursos técnicos: considerando-se a multiplicidade de fases de desenvolvimento tecnológico e financeiro em que se encontram as regionais da Defesa Civil no Brasil (principal público-alvo), este roteiro privilegia a obtenção de informações via Internet como forma de diminuir custos e agilizar o processo de análise. Desta forma, parte-se

do princípio que para a sua execução haja uma estrutura de informática básica capaz de prover acesso à Internet.

d) Recursos humanos: pressupõe-se que o usuário tenha conhecimentos de navegação na Internet e habilidade para manipulação de informações numéricas, como planilhas de cálculo e análises estatísticas fundamentais. A parte da execução da análise meteorológica é mais indicada a profissionais da área da Meteorologia, enquanto a análise dos tipos de processos de escorregamento é mais indicada a profissionais da Geologia.

8.2 Principais etapas do roteiro

Os procedimentos para o desenvolvimento da investigação dos fatores meteorológicos associados aos escorregamentos estão divididos em 8 etapas: o planejamento, o levantamento das informações de escorregamento, o levantamento de informações meteorológicas, a filtragem, o diagnóstico meteorológico, a caracterização da precipitação e a investigação da relação entre a precipitação e os escorregamentos.

A primeira etapa consiste no planejamento da investigação, na qual se define a área de estudo. Procede-se também à reunião de dados complementares os quais serão úteis na execução das etapas posteriores.

As etapas 2 e 3 consistem no levantamento das informações de escorregamento e das informações meteorológicas, respectivamente. Estas são etapas que possuem uma interdependência, uma vez que há necessidade que a cobertura espacial e temporal de ambas as informações coincidam.

Na etapa 4 procede-se à análise e filtragem dos eventos de escorregamento, de forma a eliminar casos não relacionados diretamente à

precipitação. A investigação das causas do escorregamento e da condição meteorológica faz-se necessário, conjuntamente.

Após selecionados os eventos de interesse (escorregamentos associados à precipitação), procede-se ao diagnóstico meteorológico de cada evento (etapa 5) com o intuito de identificar o sistema meteorológico vigente. Paralelamente, este procedimento permite a caracterização do tipo de regime pluviométrico e do processo de instabilização de massa por meio da análise individualizada dos eventos (etapa 6).

Na etapa 7 é realizada a análise dos padrões de circulação atmosférica dos sistemas meteorológicos predominantes nos eventos de escorregamento, caracterizando assim, os cenários meteorológicos mais favoráveis ao processo na região.

A etapa 8 consiste na investigação da relação entre a precipitação e o escorregamento por meio de testes numéricos. Alguns métodos são sugeridos como o Lumb (1975), Kay e Chen (1995) e Tatizana *et al.* (1987a).

A realização dos procedimentos resulta na caracterização meteorológica do processo de escorregamento da região, que pode ser aplicada na previsão do tempo para monitoramento de riscos. O fluxograma das etapas do roteiro é apresentado na Figura 8. Cada etapa é descrita nos itens subseqüentes.

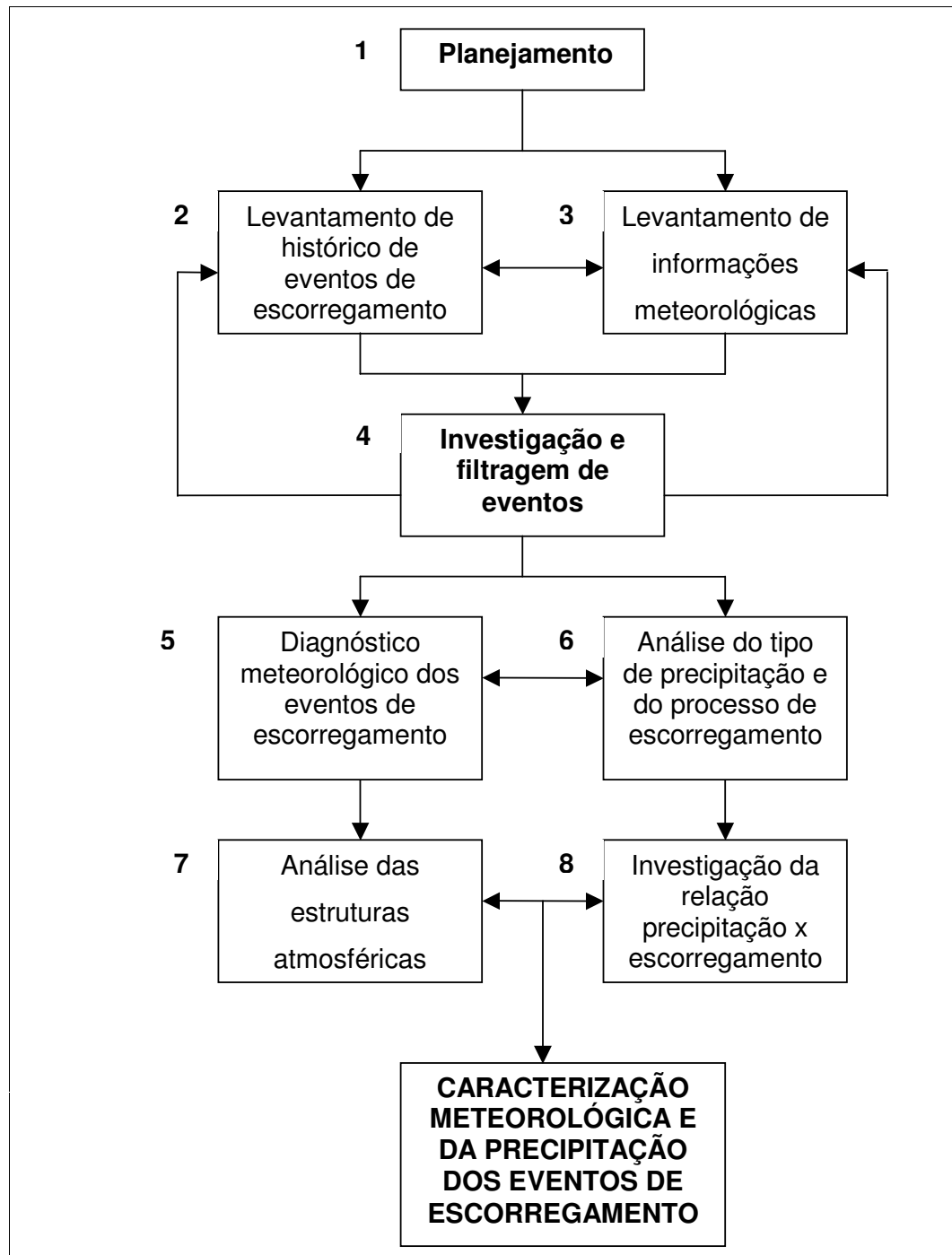


Figura 8 – Fluxograma das etapas do roteiro de investigação dos aspectos meteorológicos e os escorregamentos.

8.2.1 Planejamento da investigação

A delimitação geográfica da área de estudo é o ponto de partida da investigação. O levantamento de mapas topográficos, da hidrografia, da declividade, geologia e do uso e ocupação do solo é necessário para as etapas de filtragem e caracterização dos casos de escorregamento, conforme será descrito no item 8.2.2.2.

A *homepage* do IBGE (www.ibge.gov.br) disponibiliza um servidor de mapas com diversas informações dos aspectos físicos, climáticos e divisões políticas que poderão ser úteis no cruzamento de informações e no desenvolvimento da pesquisa.

8.2.2 Levantamento de ocorrências de escorregamentos no Brasil

O levantamento de informações de escorregamento consiste em uma das etapas mais trabalhosas e mais importantes do roteiro. A Defesa Civil, principal fonte de informações desta natureza, não dispõe até o momento, de um banco nacional de registros de ocorrências. De forma geral, as coordenadorias estaduais e comissões municipais da Defesa Civil são responsáveis pelo próprio gerenciamento, manutenção e arquivamento de ocorrências. Essa fragmentação dificulta o desenvolvimento das pesquisas na área de gerenciamento de desastres, seja de origem natural ou tecnológica. A diversidade de fontes requer análises individualizadas para se chegar ao objetivo final, que é o de levantar datas, locais e características de escorregamentos associados à pluviometria.

Os escorregamentos podem ser freqüentemente descritos por outros termos menos técnicos, os quais devem ser considerados em qualquer critério de busca de informações. Os termos mais comumente encontrados são **deslizamento**, **desbarrancamento**, **desabamento** e **soterramento**.

Nos próximos itens serão analisados o período de coleta dos dados, a pré-filtragem dos eventos, a Defesa Civil e a mídia como fontes de dados.

8.2.2.1 Período de coleta de dados

As ocorrências de interesse concentram-se no período chuvoso do ano, devido ao umedecimento do solo pela maior frequência da precipitação. Ainda que não se exclua a análise de eventos de outros períodos do ano, a pesquisa deve se concentrar nesta época. A distribuição da média mensal de precipitação de uma estação meteorológica da região de interesse, poderá dar indicações dos meses historicamente mais chuvosos, fornecendo uma idéia da época do ano preferencial para a análise.

É importante ressaltar que não necessariamente este período se concentra no Verão, como ocorre na maior parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. A Tabela 6 mostra as épocas aproximadas do início e final da estação chuvosa nas cinco regiões do Brasil, baseada nos critérios de Kousky (1988), fornecendo assim, uma indicação geral da época mais propensa a escorregamentos associados à precipitação.

Tabela 6 - Início e final aproximados da estação chuvosa em cada região do Brasil de acordo com Kousky (1988).

Região	Início	Final
Norte	Agosto a dezembro	junho
Nordeste	fevereiro	maio
Centro-Oeste	setembro	maio
Sudeste	setembro a outubro	abril
Sul	julho	novembro

O levantamento do trimestre mais chuvoso elaborado por Rao e Hada (1990) *apud* Silva Dias e Marengo (1999) fornece uma indicação da variabilidade espacial dos três meses de maior índice pluviométrico em todo o Brasil. A Figura 9 mostra o resultado desta análise onde as letras correspondem às iniciais dos três meses consecutivos de maior índice pluviométrico médio.

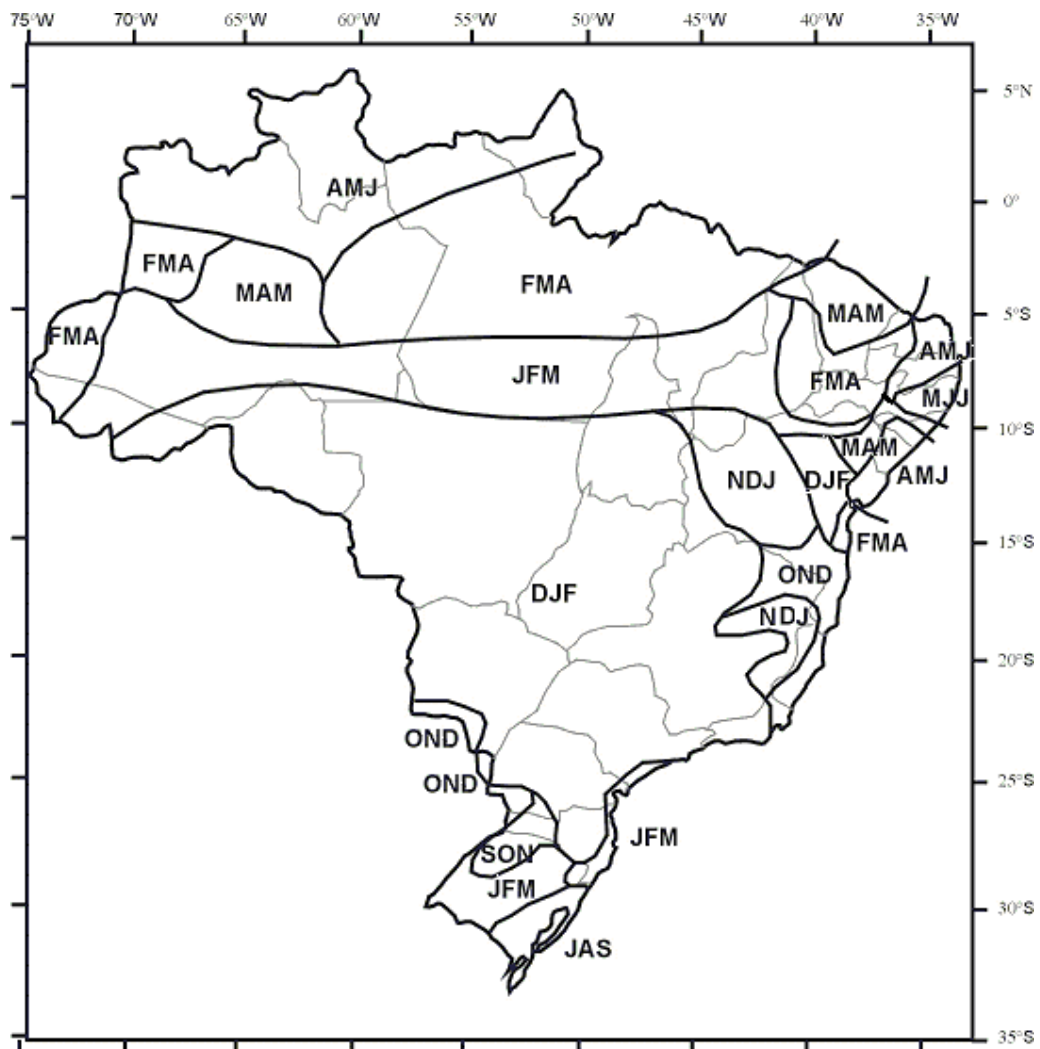


Figura 9 - Levantamento do trimestre mais chuvoso no Brasil (modificado de RAO e HADA, 1990 *apud* SILVA DIAS e MARENGO, 1999). As letras correspondem às iniciais dos meses consecutivos mais chuvosos.

Apesar da idéia aproximada do período do ano de maior interesse para o estudo fornecida pela Tabela 6 e pela Figura 9, recomenda-se a

análise dos dados históricos de precipitação de postos da própria região. Há algumas áreas do Brasil que apresentam máximos secundários de precipitação ao longo do ano, como é o caso de parte da região costeira da Bahia. Neste caso, os dois períodos devem merecer especial atenção na busca de ocorrências de escorregamento.

8.2.2.2 Pré-filtragem de eventos de escorregamentos

Várias causas podem ser atribuídas ao escorregamento, devendo ser eliminados os casos não relacionados à precipitação. Independente da fonte de consulta utilizada, deve-se investigar cuidadosamente as causas para a filtragem de informações. Ainda que os eventos de escorregamento estejam na maioria das vezes relacionados à água, eles podem ser conseqüências diretas de outra natureza, que não a infiltração da água da chuva propriamente dita. Entre as causas mais freqüentes, cujos casos de escorregamento devem ser eliminados do estudo estão:

- a) erosão;
- b) alagamento ou enxurrada;
- c) obras e construções;
- d) escavação ou cortes inadequados do terreno;
- e) fossas ou vazamentos na tubulação de água e esgoto.

O cruzamento dos locais dos escorregamentos com informações do meio físico pode ser de grande valia nesta etapa de filtragem de casos para a pesquisa. Neste tipo de procedimento, os sistemas de informação geográfica encontram larga aplicação, propiciando agilidade e precisão à análise. Deve-se atentar a locais de ocorrência próximos a rios, córregos e/ou em planícies de inundação, os quais podem estar relacionados à

erosão ou solapamento de margem e, portanto, potenciais candidatos à exclusão. Da mesma forma, áreas com características geológicas e geomorfológicas distintas podem apresentar diferentes tipos de processo de instabilidade de solo.

8.2.2.3 Registros de escorregamentos da Defesa Civil

A Defesa Civil, entidade responsável pelo monitoramento, prevenção e operacionalização emergencial no Brasil, ainda não aplica uma política nacional de gerenciamento dos registros de ocorrências.

As solicitações da população são encaminhadas às Comissões Municipais de Defesa Civil (COMDEC), que procedem ao registro e atendimento das mesmas. No momento da comunicação, são elaboradas fichas de registro, contendo dados do solicitante, tipo de ocorrência e local. A Secretaria Nacional de Defesa Civil adota um código numérico e um alfabético para descrever a natureza das chamadas, denominado CODAR – Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (SEDEC, 2004). Ocorrências de **escorregamento** são descritas pelo código NIGDZ, o qual contém vários sub-códigos, dependendo da tipologia e causa do processo.

Adicionalmente, é aconselhável investigar eventos de outra natureza, que possam ter como conseqüência, os escorregamentos, tais como aqueles relacionados a danos em edificações (HTCDH), os quais podem ter sido causados por movimentos de solo.

As fichas de registro, além do código CODAR e das informações fornecidas pelo solicitante, um diagnóstico do técnico da Defesa Civil, ao vistoriar o local. No entanto, as fichas são geralmente encontradas na forma impressa, tornando mais lenta a consulta e seleção de informações.

A vantagem deste tipo de registro é a possibilidade de resgatar a hora aproximada do escorregamento, por meio da verificação do horário da

comunicação. Outro ponto positivo é a descrição do evento realizada por equipe técnica especializada, dando maior confiabilidade e detalhamento às informações. A descrição mais precisa da natureza da ocorrência, volume de terra ou dano produzido facilita o entendimento do processo físico envolvido em cada caso. Esta informação é essencial para a associação do evento de escorregamento com índices pluviométricos críticos.

Uma questão a ser levantada é que um mesmo evento de escorregamento poderá originar várias fichas de registro, uma vez que mais de um cidadão no local da ocorrência poderá ter a iniciativa de informar o órgão. A observação de ocorrências em várias localidades distintas em um curto período de tempo (intervalo de poucas horas) pode ser indicativa de processos ocasionados pela precipitação.

Os eventos de escorregamento com características semelhantes e em localidades próximas, geológica e geotecnicamente semelhantes, podem ser eventualmente agrupados. De forma geral é necessária a análise individual de cada evento e o cruzamento da localização, da data e das características físicas da região dos mesmos. A consulta simultânea a mapas de ruas, do relevo, hidrografia, geologia, geomorfologia e do uso e ocupação do solo são indicados para orientar este agrupamento, os quais podem ser facilitados com o uso de Sistemas de Informação Geográfica.

Outras instituições, como Corpo de Bombeiros, Departamento de Estradas e Rodagem (DER) e concessionárias de estradas também podem auxiliar o resgate de informações com registros de escorregamentos.

8.2.2.4 Registros de escorregamentos na mídia

A mídia é uma eficiente ferramenta de comunicação de desastres em todo o mundo. Eventos relevantes, com repercussão na opinião popular, são geralmente registrados por órgãos de imprensa e as notícias publicadas

auxiliam a caracterização de acidentes naturais, tal como os escorregamentos.

Apesar de mais restritos a eventos catastróficos em áreas urbanas, sobretudo envolvendo vítimas fatais e/ou grande número de desabrigados, as notícias de jornais, revistas, televisão e mídia digital relatam os fatos com agilidade, geralmente situando o local e a hora aproximada da ocorrência.

Segue abaixo um trecho de uma reportagem do Jornal Folha de São Paulo do dia 13 de janeiro de 2004 (MENA e IAVELBERG, 2004) que ilustra o tipo de informações relevantes que podem ser extraídas para a investigação de escorregamentos.

“ DESLIZAMENTOS MATAM 9 EM SÃO BERNARDO”

*“...**Na madrugada de ontem, às 3h, os dois barracos vizinhos ao de Vera Lucia Trindade, 59, na favela do Jardim Silvina¹, em São Bernardo do Campo (Grande São Paulo), foram arrastados e soterrados pelo equivalente a mais de 15 caminhões de terra². Sete crianças e um adulto morreram.***

*No mesmo município, na favela de Vila Esperança, outra criança – Juliano César de Oliveira, 7 - morreu, vítima de um desabamento **causado pela forte chuva que caiu durante o dia e madrugada de ontem³.***

Folha de São Paulo, 13 de janeiro de 2004.

O trecho 1 em negrito indica o local, a data e a hora da ocorrência de escorregamento. O trecho 2 dá uma indicação do tipo de processo envolvido (deslizamento de terra e não de rocha). O volume de terra descrito pode ser uma medida imprecisa, por não se tratar de uma avaliação técnica especializada, mas dá uma idéia da quantidade de material envolvido. As imagens freqüentemente utilizadas para ilustrar reportagens desta natureza também podem dar indícios da geometria do deslizamento, do tipo de solo e do tipo de ocupação. O trecho 3 confirma a associação da ocorrência de escorregamento com a precipitação, assim como indica o período e intensidade da chuva associada.

É importante notar, que muitas vezes, a reportagem poderá conter erros, uma vez que o autor geralmente é leigo no assunto, limitando-se apenas a descrever depoimentos e sua versão dos fatos.

Atualmente, a migração de agências de notícias para a Internet e o desenvolvimento de mecanismos de procura de matérias por palavra-chave nos *sites*, proporciona uma grande facilidade no levantamento de ocorrências relativas a escorregamentos de grande porte. As palavras **deslizamento**, **desabamento** ou **desmoronamento**, vinculados ao nome da região de estudo nos *sites* de busca, geralmente retornam assuntos correlatos ao processo na área de interesse.

Agências de comunicação como a Folha de São Paulo (www.folhasp.com.br), o Estado de São Paulo (www.estadao.com.br) e o Globo (www.oglobo.com) possuem, além do mecanismo de busca de matérias atuais específicas, também um banco de informações no qual é possível recuperar notícias relativas a determinado assunto, dentro de determinado período, incluindo vários anos anteriores.

Um outro aspecto que deve ser ressaltado é que quanto maior a circulação da mídia escolhida, menor a possibilidade de se encontrar registros de acidentes localizados ou de menor impacto. Por essa razão, a busca de registros de escorregamentos na mídia deve passar também por uma busca em meios de comunicação regional ou local, como jornais de pequeno porte, rádios locais, etc.

O Banco de Acidentes elaborado pelo IPT (IPT, 2005) é um exemplo do resultado deste tipo de mecanismo de busca de registros de escorregamento via mídia. Este banco de dados apresenta registros de escorregamentos com vítimas fatais em todo o Brasil desde 1988, sendo possível selecionar informações por estado, cidade ou por data da ocorrência. Estes registros foram recuperados de reportagens divulgadas pela imprensa escrita e digital e atualmente fornecem a base de conhecimento para vários estudos na área de riscos naturais. As bases deste *software* estão descritas em Macedo *et al.* (1999).

8.2.3 Levantamento de informações meteorológicas no Brasil

Para a execução desta etapa do roteiro, é recomendável a atuação de um profissional da área de ciências atmosféricas. No entanto, profissionais de áreas afins, familiarizados com técnicas e procedimentos de previsão do tempo, tais como interpretação de imagens de satélite e análise de campos diagnósticos de variáveis atmosféricas, também poderão efetuar tal análise satisfatoriamente.

Para a caracterização climática da precipitação na região de interesse, deve-se buscar o maior número de postos de observação meteorológica disponível. As séries são consideradas representativas a partir de 15 anos de observação, sendo recomendável pela Organização Meteorológica Mundial, uma série de pelo menos 30 anos de dados.

Para a análise meteorológica dos eventos de escorregamento, deve-se buscar informações para as respectivas datas das ocorrências. Ocasionalmente, será útil a investigação de dias anteriores ao evento, para melhor caracterização do sistema meteorológico em vigor.

Atualmente, a disseminação de informações pela Internet tem facilitado a consulta e obtenção de dados meteorológicos em formato digital.

As principais instituições provedoras de informação e análise climática e meteorológica no Brasil pela Internet são o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão vinculado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), instituição ligada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

Os Núcleos Estaduais de Meteorologia e Recursos Hídricos criados nas últimas décadas são importantes fontes de informação meteorológica estadual. Tais núcleos são resultado do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH), implementado pelo MCT. A Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) foi o primeiro núcleo

criado dentro do Programa em 1991. A instituição elabora previsões e produtos regionais, além de gerenciar informações meteorológicas e hidrológicas (NOBRE *et al.*, 2004).

Outras instituições governamentais como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional das Águas (ANA), Empresa de Infra-Estrutura Aeroportuária (INFRAERO), centros de pesquisa como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e universidades também mantêm estações meteorológicas e hidrológicas que complementam a cobertura espacial da rede de observação meteorológica nacional. No entanto, a ausência de um organismo centralizador dificulta a consulta simultânea a essas informações.

8.2.3.1 Dados de Superfície

Para a utilização de dados meteorológicos, é necessário averiguar junto às fontes de informação, as condições com que os mesmos foram coletados (horário ou período de observação, localização e tipo de equipamento, etc). De acordo com Nunes (1997), a mudança da localização de postos meteorológicos, falhas nos instrumentos ou equívocos dos observadores são questões comuns na realidade brasileira e que podem comprometer a confiabilidade das observações. No caso de séries históricas de dados de precipitação, testes de consistência podem ser aplicados, conforme descrito por Tucci (2001).

A rede de estações do INMET é composta por cerca de 450 estações de superfície no Brasil e monitora grande diversidade de parâmetros meteorológicos, que são observados na sua maior parte, 3 vezes ao dia. Observações diárias de variáveis como precipitação acumulada, temperatura, umidade e vento estão disponíveis para consulta pela internet (www.inmet.gov.br), referentes ao dia atual. As observações históricas

podem ser solicitadas diretamente em um dos 10 distritos do INMET mediante pagamento e são fornecidos geralmente em forma de planilhas eletrônicas. No endereço digital, na seção 'Climatologia' estão disponíveis mapas e gráficos das normais climatológicas (médias de 30 anos) de precipitação mensal e outras variáveis atmosféricas que podem contribuir na análise climática da região.

O CPTEC disponibiliza em sua página (www.cptec.inpe.br) dados de Plataforma de Coleta de Dados (PCD) de várias localidades do Brasil contendo observações a cada 3 horas de precipitação, vento, temperatura e radiação que estão disponíveis para *download*, em forma de planilha eletrônica ou texto. Parte destas PCDs pertencem a outras instituições governamentais como a ANA e ANEEL.

Observações de superfície também podem ser obtidas, ainda que de forma mais trabalhosa, pela decodificação dos arquivos SYNOP, que contém informações da rede meteorológica mundial em horários pré-fixados: 00 GMT, 06 GMT, 12 GMT e 18 GMT (GMT = "*Greenwich Mean Time*" - Tempo Médio de Greenwich, Londres). As informações incluem medidas de pressão, temperatura, umidade, vento, chuva acumulada nas últimas 6 ou 24 horas e fenômenos atmosféricos como nuvens, hidrometeoros e litometeoros. Existem vários *sites* internacionais que disponibilizam estes dados em tempo real, geralmente ligados às instituições de ensino e pesquisa.

As estações meteorológicas ligadas à segurança de operação dos aeroportos são mantidas pela INFRAERO (Empresa de Infraestrutura Aero-Portuária) ou pela iniciativa privada, no caso de aeroportos particulares. Destinadas a informar pilotos sobre as condições de tempo no momento da observação, as informações meteorológicas horárias denominadas METAR estão disponíveis no *site* www.redemet.aer.mil.br. Neste endereço é possível recuperar dados observacionais de tempo presente de postos localizados nos aeroportos nacionais e internacionais desde novembro de 2002, mas não apresentam registros de quantidade de chuva.

Vários núcleos regionais de meteorologia foram criados na última década e também constituem importante fonte de dados meteorológicos. Instituições de pesquisa como a EMBRAPA (www.embrapa.br) e universidades possuem estações meteorológicas em várias localidades do país, mantendo as informações com boa qualidade e em formato digital, embora as séries sejam mais recentes.

Iniciativas da construção de banco de consulta de dados meteorológicos estão surgindo como uma opção viável para aquisição de informações. O *site* do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico – Agritempo, reúne dados de postos localizados em todos os estados do Brasil, sendo possível estabelecer critérios de busca por parâmetro (temperatura mínima, temperatura máxima e chuva diária), período do ano e estação. Este banco de informações permite a consulta de registros meteorológicos diários da rede oficial de observações meteorológicas e de outras instituições parceiras, totalizando 666 estações agrometeorológicas no endereço www.agritempo.gov.br (EVANGELISTA *et al.*, 2003).

Arquivos digitais de precipitação diária da ANA distribuídos em todo o Brasil podem ser obtidos no *site* www.ana.gov.br. A rede de observação da ANA é composta por 2.448 estações próprias e 5.789 estações operadas por outras entidades. A distribuição é mais densa nos estados altamente urbanizados como São Paulo (uma estação por 169 km²), Distrito Federal (uma por 166 km²) e Paraná (uma por 214 km²).

Entre os exemplos de banco de dados estaduais pode-se citar o *site* CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas), pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas, que disponibiliza uma base de consulta de dados do Estado de São Paulo (www.ciagronline.com.br). O Banco de dados do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) disponibiliza arquivos digitais pluviométricos e pluviográficos de centenas de localidades paulistas no *site* www.daee.sp.gov.br/hidrometeorologia/bancodedados.htm .

8.2.3.2 Dados de altitude, radar, imagens de satélite, mapas sinóticos e reanálise de modelos

Além de disponibilizar dados de superfície, o *site* do CPTEC (www.cptec.inpe.br) também fornece outros produtos meteorológicos do Brasil e da América do Sul. Dentre os principais produtos de interesse para análise meteorológica dos eventos de escorregamento destacam-se:

- imagens dos satélites GOES e METEOSAT para as bandas espectrais visível, infra-vermelho e vapor d'água da América do Sul e regiões do Brasil, desde 1996;
- análises da situação sinótica e de modelos numéricos globais e regionais, com campos espaciais diagnósticos de variáveis de superfície e altitude, atualizados diariamente;
- relatórios climatológicos mensais (Climanálise) contendo a descrição e avaliação do comportamento atmosférico e de sistemas meteorológicos atuantes em todas as regiões do Brasil (boletins disponíveis desde 1996).

O Laboratório MASTER (Monitoramento de Sistemas Atmosféricos Regionais) do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP) é outra fonte de imagens de satélite e produtos provenientes de radiossondagem. No entanto, não é possível recuperar a maior parte dos produtos referentes aos dias anteriores (www.master.iag.usp.br).

Mapas sinóticos da América do Sul, referente à condição meteorológica observada as 00 e 12 GMT de cada dia, com a localização de sistemas como frentes frias, linhas de instabilidade, centros de alta e baixa pressão podem ser acessados no *site* do Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN) pertencente à Marinha do Brasil (www.dhn.mar.mil.br). Apenas os mapas do mês corrente são disponibilizados pela instituição.

Os radares meteorológicos fornecem informações sobre a intensidade e distribuição espacial da precipitação, as quais podem ser úteis na caracterização meteorológica dos eventos de escorregamento. Os radares tipo Doppler detectam a velocidade de deslocamento das células de precipitação e realizam previsões a curtíssimo prazo. No Estado de São Paulo a UNESP/Bauru (Universidade Estadual Paulista) opera dois radares Doppler com alcance de 400 km: um em Bauru e outro em Presidente Prudente (www.ipmet.unesp.br). O DAEE opera um radar em Ponte Nova que monitora a bacia urbana de São Paulo (www.saisp.br). Um radar banda S de apoio à navegação aérea localiza-se em São Roque, administrado pela Aeronáutica (www.redemet.aer.mil.br).

A Região Sul dispõe do radar do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), localizado na região de Curitiba (www.simepar.br). O Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) mantém um radar banda S em operação (www.ufpel.tche.br). A Aeronáutica mantém radares meteorológicos no estado do Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (www.redemet.aer.mil.br).

Na Região Nordeste, a Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) opera um radar para monitoramento de nuvens e precipitação em Fortaleza (www.funceme.br). O estado de Alagoas dispõe de um radar meteorológico da banda C, localizado na região de Maceió, com cobertura de 400 km (www.radar.ufal.br).

A região amazônica dispõe de uma rede de radares para proteção de tráfego aéreo e monitoramento ambiental mantido pelo SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia - www.sipam.gov.br)

A estimativa e a previsão da intensidade de sistemas convectivos a partir da análise espectral de imagens de satélite é disponibilizada em tempo real pelo CPTEC (www.cptec.inpe.br/satelite). Outra fonte de consulta de estimativa de precipitação pode ser encontrada em (<ftp://140.90.195.110/pub/arad/ht/gilberto/BSL/>).

Reanálises de campos meteorológicos de superfície e altitude reproduzem a condição atmosférica de datas passadas. Entre as fontes de informação de reanálise estão os modelos do NCEP (*National Centers of Environmental Prediction*) e do ECMWF (*European Centre for Medium Range Forecast*), conforme indicados no endereço (dss.ucar.edu/pub/reanalyses.html).

O NCEP disponibiliza reanálises de campos meteorológicos com intervalo de 6 horas, desde 1948, para qualquer região do globo no endereço (www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml). Entre as dezenas de campos disponíveis estão: pressão, componentes zonal e meridional do vento, cobertura de nuvens, índices de instabilidade atmosférica e altura geopotencial em níveis isobáricos, desde superfície até 200 mb. Os campos das variáveis meteorológicas mais utilizadas em superfície, altitude e níveis isentrópicos estão disponíveis em CD-ROM, por ftp e também na forma *on line*, via internet no endereço (www.cdc.noaa.gov/HistData).

8.2.3.3 Análises climáticas e meteorológicas

Várias instituições disponibilizam periodicamente, diagnósticos de eventos meteorológicos, que podem orientar a análise dos aspectos atmosféricos dos eventos de escorregamento.

Conforme descrito no item 8.2.3.2, relatórios climáticos mensais CLIMANÁLISE são disponibilizados no *site* do CPTEC. Este periódico descreve os principais sistemas meteorológicos que atuaram no Brasil em cada mês, seus principais impactos e cenários atmosféricos associados (www.cptec.inpe.br/clima).

O relatório elaborado mensalmente pelo GREC (Grupo de Estudos Climáticos), pertencente ao IAG, descreve o comportamento atmosférico

mais relevante em termos locais (Grande São Paulo), regionais (Estado de São Paulo) e nacionais com valores médios de temperatura e precipitação (www.master.iag.usp.br/GREC).

8.2.4 Diagnóstico de sistemas meteorológicos dos eventos de escorregamentos

O sistema meteorológico a ser identificado deverá ser aquele capaz de promover taxas de precipitação contínuas ou intermitentes suficientes para ocasionar a instabilização do solo. Diferentes fatores, tais como a tipologia de solo e a declividade, determinam diferentes suscetibilidades a instabilização para uma mesma taxa de precipitação. Desta forma, a análise de mapas geológicos e geomorfológicos, ou mesmo a verificação *in loco* de cicatrizes de escorregamento dos locais da amostra de eventos são recomendáveis para a melhor caracterização do processo de escorregamento na região.

Sabendo-se o tipo de processo de instabilidade de massa, deve-se investigar qual o fenômeno atmosférico atende às seguintes condições:

- ocorrência climatológica no período chuvoso da região;
- promoção de característica de precipitação (intensidade e duração) mais favoráveis à deflagração, considerando-se o tipo de escorregamento em questão.

Após esta análise prévia, a análise individualizada do cenário meteorológico de cada episódio de escorregamento possibilitará a determinação estatística das características atmosféricas mais freqüentes na amostra de eventos. Entre as características mais relevantes a serem analisadas em cada evento estão:

- distribuição espacial e temporal da pressão atmosférica em superfície;
- duração e frequência da precipitação;
- ocorrência de fenômenos adversos (tempestades, rajadas de vento, granizo etc.);
- distribuição espacial da temperatura e umidade nos baixos e médios níveis da atmosfera (superfície, 850 mb e 700 mb);
- padrão de nebulosidade/radiação de onda longa;
- campo de geopotencial, linha de corrente e temperatura nos baixos, médios e altos níveis;
- campo de divergência em altos níveis.

A análise destas características, baseada na sistemática de previsão do tempo (conforme descrito no capítulo 6) possibilitará o diagnóstico do sistema meteorológico de cada evento ou grupo de eventos de escorregamento. O levantamento da frequência de toda a amostra indicará o sistema de maior relevância no monitoramento para prevenção de riscos a escorregamentos na região. Este conhecimento poderá ser aplicado para implementar procedimentos operacionais de previsão do tempo, reforçando a análise de campos prognósticos daquelas variáveis mais significativas à detecção deste sistema.

8.2.5 Correlação entre a precipitação e os escorregamentos

Após a filtragem criteriosa dos casos de escorregamento e de posse das datas, locais e características das ocorrências, passa-se à análise de correlação chuva e escorregamento. O objetivo é determinar uma relação

numérica entre estes dois parâmetros, de modo a orientar a prevenção de riscos de escorregamentos por meio do monitoramento e da previsão dos índices de precipitação.

A escolha dos postos pluviométricos para o estudo deve considerar os seguintes aspectos a cobertura e a distribuição espacial e temporal dos eventos de escorregamentos e a qualidade das informações. No caso de haver mais de um posto pluviométrico com boa qualidade de dados na região de interesse, e com uma série histórica que inclua o período de estudo, é possível realizar um agrupamento de eventos de escorregamento em torno destes postos, de acordo com a proximidade e a similaridade geográfica entre o posto e os locais dos escorregamentos. Neste caso, procede-se separadamente à investigação da relação chuva x escorregamento para a área de abrangência de cada posto pluviométrico.

A precipitação média em uma área pode ser estimada com base nos dados de vários postos, aplicando-se métodos como o da média aritmética, ou o método de Thiessen, dentre outros, conforme descrito por Tucci (2001). No entanto, uma vez que a investigação da relação chuva x escorregamento está baseada em eventos extremos de precipitação, os quais podem apresentar significativas variações espaciais e temporais, o cálculo de médias pode diminuir a qualidade dos resultados obtidos.

8.2.5.1 Análise do número de dias de chuva acumulada mais efetivo nos processos de escorregamentos

A construção de diagramas de dispersão dos valores acumulados de chuva com a indicação dos dias em que houve ocorrência de escorregamento constitui o melhor método para análise do número de dias de influência mais efetiva no processo. Há necessidade de experimentação de valores acumulados de 1, 2, 3, 4 a N dias para verificação da melhor

distribuição. O objetivo é determinar o menor número de dias a partir do qual existe uma melhor separação entre os eventos de chuva acumulada com e sem escorregamento, isto é, busca-se a melhor indicação do valor-limite de chuva acumulada que seja mais provável para a ocorrência de escorregamentos. Este método, utilizado por Tatizana *et al.* (1987a) para a Serra do Mar, foi aplicado também por Elbachá *et al.* (1992) em Salvador (BA) e por Vieira (2004) em Blumenau (SC).

Pode ser testado um número bastante grande de dias, de 15 ou 30 dias. No entanto, este intervalo perde sua aplicabilidade em termos operacionais uma vez que os modelos regionais e globais de previsão numérica de tempo perdem atualmente, muita confiabilidade no prognóstico conforme se aumenta o número de dias previstos, principalmente a partir de 120 horas. De qualquer forma, o ideal é que se estabeleça o menor número de dias possível.

Uma importante questão a ser observada no cruzamento de informações de precipitação diária e de escorregamentos é referente aos horários de medição da chuva acumulada. O padrão internacional o qual seguem os postos de observações do Instituto Nacional de Meteorologia é o de medições diárias às 12GMT (09:00h local ou 10:00h no Horário de Verão). Postos de monitoramento hidrológico pertencentes ao DAEE e ANA coletam dados as 7:00h da manhã. Em poucos casos, principalmente quando as estações são automáticas, os dados correspondem efetivamente a medições entre 00:00 e 24:00h do referido dia.

Considerando-se que em um país tropical como Brasil, os episódios de chuva sejam predominantemente resultantes de processos de aquecimento diurno, ocorrendo preferencialmente no período da tarde ou início da noite, o valor registrado no dia não corresponderá, na maioria das vezes, à precipitação efetivamente ocorrida no dia e sim, da manhã do dia anterior até a madrugada do próprio dia. Sendo assim, pode ser necessária uma adaptação para melhor correspondência dos valores de chuva e a ocorrência de escorregamentos. Neste caso, considera-se a chuva ocorrida

naquele dia como aquela medida na manhã do dia seguinte, para que seja lançada nos gráficos de dispersão.

8.2.5.2 Relação numérica entre a precipitação e os escorregamentos

O objetivo desta etapa é a determinação de uma relação matemática entre a quantidade de precipitação e os escorregamentos, que expresse quantitativamente o grau de suscetibilidade ao processo. Esta determinação se dá pela tentativa de vários métodos de correlação entre os dados de precipitação. A equação numérica obtida pode ser implementada na rotina operacional de previsão de tempo, de forma a facilitar o acompanhamento de eventos chuvosos. A partir dos dados de precipitação já registrados e os previstos para as próximas horas ou dias (baseada na avaliação do meteorologista ou em modelos de previsão), tem-se uma indicação numérica da possibilidade de ocorrência do processo.

8.2.5.2.1 Relação numérica com dados pluviográficos

Supondo-se a existência de dados pluviográficos na região de estudo, a determinação da relação numérica entre a precipitação e os escorregamentos pode ser realizada pelo método aplicado por Tatizana *et al.* (1987a), que relaciona o valor acumulado dos dias anteriores à intensidade horária da precipitação (mm/h) na hora do escorregamento.

Sabendo-se a hora do escorregamento e o número N de dias de precipitação acumulada que apresenta melhor correspondência com as ocorrências de escorregamento (descrito no item 8.2.5.1), determina-se a intensidade da precipitação (mm/h) no momento dos eventos e lança-se em

um sistema cartesiano, juntamente com o respectivo valor de chuva acumulada dos N dias anteriores até a hora do escorregamento.

A caracterização dos eventos de escorregamento pelo porte (pequeno, médio e grande porte) ou por número de ocorrências (isoladas ou múltiplas) poderá ajudar na identificação de zonas de separação geométrica dos graus de suscetibilidade no gráfico, tal como na Figura 5, encontrada por Kay e Chen (1995) para Hong Kong. A equação poderá ser obtida por meio de ajuste pelo método dos mínimos quadrados.

Caso não existam informações de intensidade de precipitação mas existam informações de precipitação acumulada com intervalos menores que 1 hora, uma aproximação pode ser testada para se obter a intensidade da chuva, tomando-se a quantidade de precipitação acumulada em um intervalo de 60 minutos antes da hora do escorregamento. Neste caso, assume-se que o total de chuva tenha caído a uma taxa constante dentro desta hora.

8.2.5.2.2 Relação numérica sem dados pluviográficos

Caso as observações de precipitação disponíveis para a região sejam valores diários, ou caso não tenha sido possível precisar a hora dos escorregamentos, outras relações numéricas podem ser buscadas como a de Lumb (1975). Neste caso, são realizados testes de correlação entre os dados de precipitação acumulada dos dias anteriores ao evento de escorregamento e os valores de precipitação do próprio dia.

Deve-se comparar os gráficos para os vários números de dias e verificar aquele no qual ocorre melhor organização dos eventos de escorregamento por grau de severidade (vide Figura 4). Pode-se lançar todos dos dados de precipitação disponíveis, com e sem escorregamento, na busca de uma curva de separação entre os tipos de dados, que determinada algebricamente, fornecerá a relação numérica desejada.

Poderão ser testadas outras formas de correlação como o cruzamento de dados de precipitação dos N dias antecedentes e o de 48 horas, 15 dias antecedentes de 3 dias, dentre outros, até que se estabeleça o melhor critério de avaliação da possibilidade de escorregamentos por meio do monitoramento e previsão da precipitação.

9 APLICAÇÃO DO MÉTODO NA ÁREA PILOTO: CAMPINAS (SP)

O município de Campinas (SP) foi escolhido como área-piloto para a aplicação do roteiro de investigação dos aspectos meteorológicos associados aos processos de escorregamentos. Esta região é um dos pólos industriais e tecnológicos mais importantes do Brasil e o maior centro econômico do interior paulista. A região de Campinas registra anualmente acidentes provocados por escorregamentos, com perdas humanas e danos materiais.

Atualmente, a operação do Plano Preventivo da Defesa Civil para escorregamentos na região de Campinas adota o valor de referência de 100 mm de chuva acumulada em 3 dias. Esse valor foi adotado para a operação do PPDC em caráter provisório, baseado apenas na análise de alguns eventos recentes de acidentes de escorregamento ocorridos na região, em razão da ausência de um estudo mais preciso de correlação da precipitação e os escorregamentos. Os resultados da aplicação do método proposto poderão fornecer subsídios para a melhoria dos parâmetros pluviométricos do plano, visando o controle e a prevenção de escorregamentos em Campinas.

9.1 A área de estudo

O município de Campinas está situado na parte leste do Estado de São Paulo, entre as longitudes 47° 15'W e 46° 45'W e as latitudes 22° 13'S e 23°05'S. A altitude média de Campinas é de 680 m e o município está a cerca de 100 km da capital do estado. Campinas está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do

Piracicaba/Capivari/Jundiaí e abrange uma área de 796 km², com população estimada em 1 milhão de habitantes (IBGE, 2004).

A localização geográfica do município de Campinas é apresentada na Figura 10.

A ocupação do município apresenta diferenças regionais. O centro histórico de Campinas está na zona sul/sudeste da cidade, onde se concentra a malha urbana, com alto grau de verticalização. O sudoeste também apresenta intensa ocupação. A zona noroeste constitui um pólo mais recente da expansão da malha urbana, enquanto o norte é mais esparsamente ocupado (PREFEITURA DE CAMPINAS, 2004).

A localização das áreas urbanas do município é mostrada no ANEXO A (Mapa de áreas de escorregamento em Campinas-SP), juntamente com a hidrografia da região.

A erosão, a instabilidade de taludes e o assoreamento de cursos d'água constituem os mais importantes processos do meio físico na região de Campinas (DER, 2003).

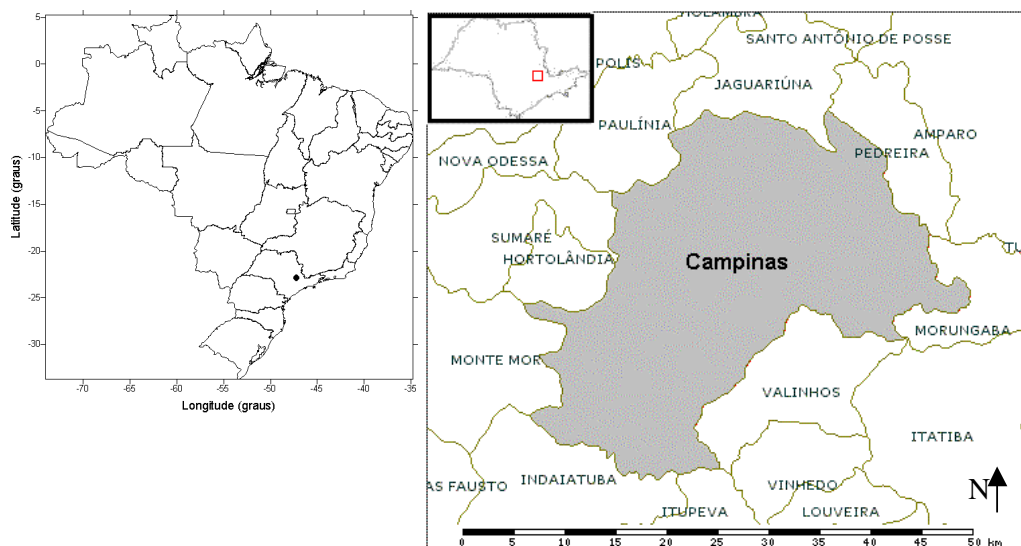


Figura 10 – Localização geográfica do município de Campinas -SP.

9.1.1 Características geológicas e geomorfológicas de Campinas

O município de Campinas está localizado em área de transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica, apresentando variadas formas de relevo. A Figura 11 mostra o mapa hipsométrico de Campinas, baseado nos arquivos de dados do IPT.

Conforme pode ser visto na Figura 11, o terreno apresenta maior altitude e relevo mais acidentado na parte leste do município, onde predominam morros ondulados a inclinados. O restante do município é dominado por formas mais suaves do terreno, tais como colinas e planícies.

Esta disposição do relevo reflete principalmente, os tipos de rocha existentes na região. Conforme descrito por Santoro (2000), as rochas cristalinas encontram-se na parte leste de Campinas, no Planalto Atlântico, e são compostas por gnaisses diversos, granitos e rochas miloníticas. A oeste, na Depressão Periférica, localizam-se as rochas sedimentares (arenitos, ritmitos e lamitos) do Subgrupo Itararé e diabásios do evento magmático gerador da Formação Serra Geral. As rochas básicas estão localizadas na parte norte do município, enquanto o sul possui materiais de sedimentação mais recente (areias e cascalhos).

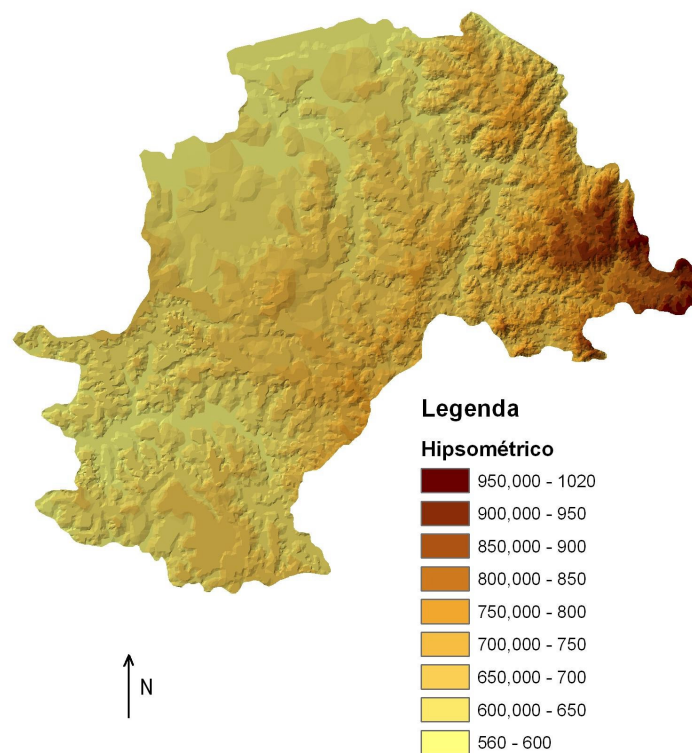


Figura 11 – Representação da hipsometria do município de Campinas -SP.

A distribuição esquemática das unidades geológicas do município de Campinas é apresentada na Figura 12, a qual mostra o local de ocorrência de seis tipos de rocha (SANTORO, 2000):

- a) rochas intrusivas básicas e diabásios;

- b) arenitos;
- c) lamitos, diamictitos e ritmitos associados;
- d) milonitos de rochas gnássicas e graníticas;
- e) rochas granitóides;
- f) biotita gnaiss de composição granítica a tonalítica.

Temos, então desta forma, 3 grupos básicos de terrenos geológicos no município: rochas graníticas (embasamento cristalino) a leste e sul do município (tipos d, e e f), rochas sedimentares a oeste e sudoeste (tipos b e c), e diabásios, a oeste e noroeste (tipo a).

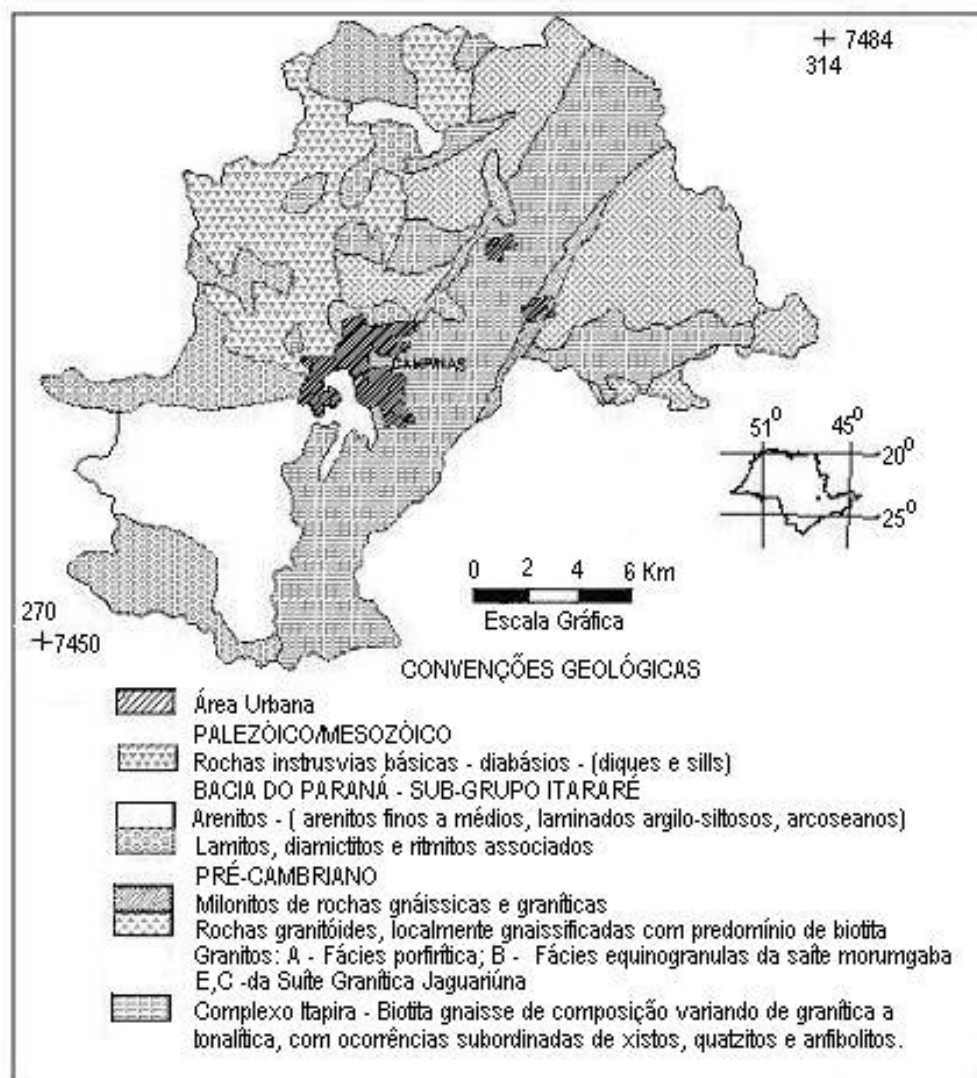


Figura 12 – Distribuição esquemática das unidades geológicas do município de Campinas (SANTORO, 2000).

9.1.2 Principais características climáticas de Campinas

A região de Campinas tem um clima tropical, modificado parcialmente pela sua altitude que varia de cerca de 500 até 1.100 m. Segundo a

classificação Köppen, a região é do tipo Cwa – subtropical úmido, caracterizado pelo clima quente com Verão chuvoso e Inverno seco, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C.

O total médio anual de precipitação no município varia de 1.200 a 1.400 mm, com médias ligeiramente maiores a nordeste, e ligeiramente menores a sudoeste do município. A Figura 13 mostra a distribuição das isoietas médias anuais (linhas de igual precipitação, em milímetros) em parte do leste paulista, elaborada por DAEE (2000) , com base na interpolação de dados climáticos das estações pluviométricas do Estado de São Paulo. A isolinha de 1.400 mm passa pelo nordeste de Campinas e a isolinha de 1.300 mm passa pela região central.

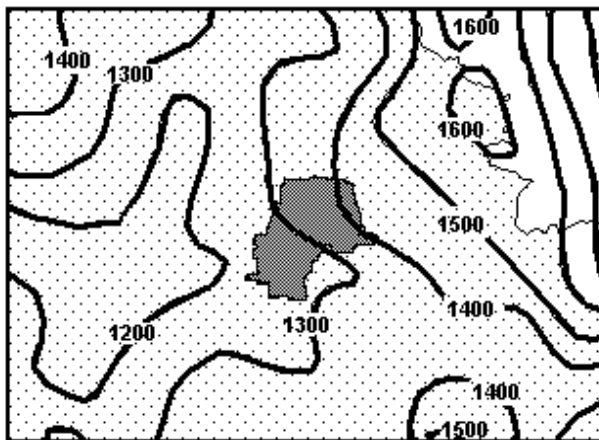


Figura 13– Distribuição espacial da precipitação média anual (mm) na região de Campinas (modificado de DAEE, 2000).

A estação seca, vai de abril a setembro e a estação chuvosa, vai de outubro a março. O período chuvoso, é caracterizado por precipitações predominantemente convectivas, em forma de pancadas de fim de tarde e começo de noite.

Para a análise da climatologia mensal de precipitação do município utilizou-se como base de dados, as observações do posto D4-044 do DAEE,

a qual situa-se em uma porção mais centralizada no município e possui maior série de dados. As características deste e de outros postos meteorológicos de Campinas serão descritas detalhadamente no item 9.2 (Fontes de informação meteorológica para Campinas).

A Figura 14 mostra a variação da precipitação média mensal no município de Campinas, com base nas observações mensais da estação meteorológica do DAEE D4-044, nos anos de 1941 a 2004. O total médio anual encontrado para este período foi de 1.373,9 mm.

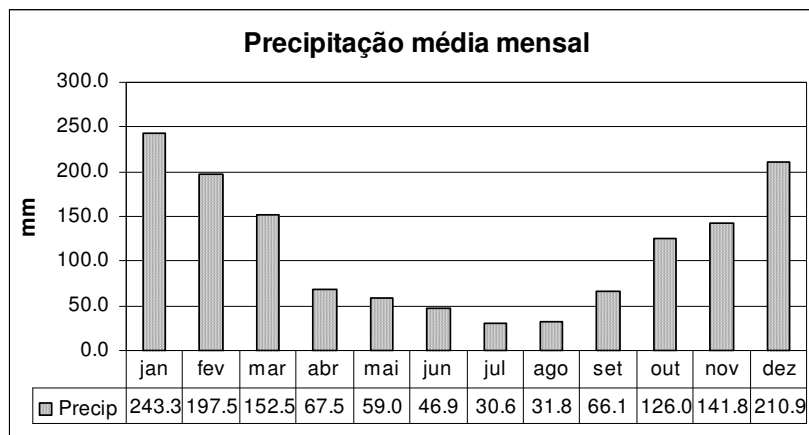


Figura 14 – Precipitação média mensal no município de Campinas. Fonte de dados: estação DAEE D4-044 – 1941 a 2004.

Os dados levantados demonstram que o Verão (trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro) concentra 47,4% do total médio anual de precipitação, seguindo da Primavera (24,3%), o Outono (20,3%) e o Inverno (8,0%).

Foram calculadas também as freqüências de observação de 6 intervalos de precipitação diária: inferior ou igual a 1 mm, entre 1 e 5 mm, entre 5 e 10 mm, entre 10 e 25 mm, entre 25 e 50 mm e acima de 50 mm/dia, respectivamente. Os resultados são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Freqüência relativa (%) de classes de precipitação diária (mm) em Campinas. Fonte de dados: estação DAEE D4-044 entre 1941 e 2004.

Mês	p<=1 mm	1<p<=5 mm	5<p<=10 mm	10<p<=25 mm	25<p<=50 mm	p>50 mm
Janeiro	55,8	11,9	7,9	13,9	7,5	2,9
Fevereiro	59,8	11,3	8,7	12,2	6,6	2,3
Março	68,6	10,1	5,5	9,5	5,0	1,2
Abril	83,4	4,7	3,7	5,6	2,0	0,6
Maiο	84,9	4,7	3,4	4,9	1,4	0,4
Junho	87,2	5,0	2,5	3,8	1,2	0,3
Julho	91,2	3,2	2,2	2,5	0,7	0,2
Agosto	90,5	3,5	2,1	3,1	0,8	0,1
Setembro	81,1	7,3	3,4	5,8	2,2	0,3
Outubro	73,1	8,0	5,5	8,5	3,7	1,2
Novembro	69,3	8,7	6,8	8,7	5,7	1,0
Dezembro	60,0	10,1	8,2	12,7	7,2	1,7

Chuvas de até 1 mm/dia, associadas a chuvas fracas ou a pancadas de curta duração, ocorrem durante todo o ano e são mais freqüentes, principalmente na estação seca (abril a setembro) quando correspondem a mais de 90% das ocorrências. No pico do Verão, a freqüência de precipitações de até 1 mm/dia é a menor do ano, com valor máximo de 60% em dezembro. As classes de precipitação diária maior que 1 mm/dia mostram o comportamento mensal oposto, com valores máximos na estação chuvosa (especialmente no trimestre dezembro-janeiro-fevereiro). Este resultado reflete o aumento da instabilidade atmosférica e a intensificação dos processos convectivos típicos do Verão.

As ocorrências de precipitação diária acima de 50 mm são raras, com freqüência de 0,1 a 0,3% no período seco e 1,0 a 2,9% no período chuvoso, com máximos no mês de janeiro. O maior valor de precipitação diária registrada na série foi de 185 mm, em 25 de dezembro de 1997.

O balanço hídrico climatológico de Campinas foi calculado por Sentelhas *et al.* (2002), para uma capacidade de água disponível de 100 mm. O gráfico, elaborado com dados climáticos mensais de 1961 a 1990, da

estação meteorológica do INMET em Campinas, mostra que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os que apresentam maior excedente hídrico (diferença entre a quantidade de água precipitada, menos a quantidade de água evaporada e evapotranspirada).

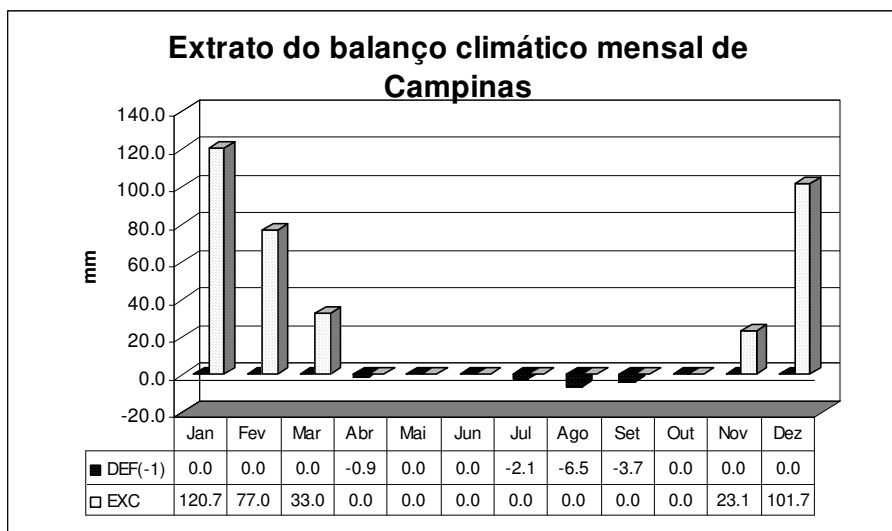


Figura 15 – Extrato do balanço hídrico mensal em Campinas (Sentelhas *et al.*, 2002).

9.2 Fontes de informação meteorológica para Campinas

Com base nos procedimentos apresentados no item 8.2.3 (Levantamento de informações meteorológicas no Brasil), seguem abaixo as principais fontes de informação levantadas para o município de Campinas:

- DAEE: valores diários históricos de precipitação de 6 postos em períodos variados compreendido entre 1941 e 2004;
- CPTEC/INPE: imagens de satélite GOES da América do Sul, canal infravermelho com intervalo de 3 horas, desde 1995 até o presente;

- CEPAGRI/UNICAMP: dados diários e a cada 10 minutos de precipitação, temperatura, umidade, radiação e vento da região de Campinas, desde 1988;
- INMET: dados diários de temperatura mínima, máxima e precipitação;
- EMBRAPA : dados horários e diários de vento, temperatura, umidade e precipitação, entre outros, desde março de 2003;
- NCEP: campos espaciais médios diários das variáveis meteorológicas de superfície e altitude de 1948 a 2004.

As informações do DAEE, CPTEC, EMBRAPA e NCEP podem ser consultadas via Internet. As demais fontes disponibilizam livremente apenas informações atuais (do dia corrente). A UNICAMP pode fornecer gratuitamente dados voltados para a área de pesquisa, mediante requisição. O INMET, de forma geral, comercializa as informações históricas.

Com relação aos dados pluviométricos de Campinas, essenciais à investigação da relação entre a chuva e os escorregamentos, foram considerados inicialmente, as observações dos 6 postos pluviométricos do DAEE, do posto da EMBRAPA e do posto da UNICAMP. As coordenadas geográficas e o período de abrangência dos dados de precipitação dos postos pluviométricos estão listados na Tabela 8. A localização destes postos é mostrada no ANEXO A (Mapa de áreas de escorregamentos em Campinas-SP).

Tabela 8 – Postos pluviométricos e respectivos períodos de dados disponíveis para o estudo de correlação de chuva e escorregamento em Campinas.

Nome e código do posto	Instituição	Altitude (m)	Lat	Lon	Início	Final
Salto Grande – D3-002	DAEE	690	-22°56'	-46°54'	1936	2002
Campinas – D4-044	DAEE	710	-22°58'	-47°08'	1941	2004
Faz.Sete Quedas – D4-011	DAEE	620	-22°53'	-47°08'	1954	1999
Faz.Monte Deste – D4-046	DAEE	600	-22°47'	-47°03'	1958	2004
Barão Geraldo – D4-047	DAEE	630	-22°50'	47°07'	1958	2004
Viracopos – E4-123	DAEE	640	-23°01'	47°13'	1970	1996
Campinas	EMBRAPA	685	-22°52'	-47°02'	2003	2004
Campinas	UNICAMP	640	-22°49'	-47°04'	1988	2004

Dentre as estações pluviométricas citadas, a estação do DAEE Campinas (D4-044) foi considerada a mais representativa para o estudo devido à existência de dados em todo o período de investigação dos escorregamentos (1997 a 2004) e maior proximidade aos locais dos escorregamentos selecionados (o item 9.3 descreverá detalhadamente o levantamento de escorregamentos realizados no município de Campinas e os resultados obtidos). A localização dos postos pluviométricos pode ser vista no ANEXO A (Mapa de áreas de escorregamento em Campinas (SP)).

Dados pluviográficos (frequência de 10 minutos) foram utilizados da estação da UNICAMP para caracterizar o regime de chuva associado aos eventos de escorregamento.

O diagnóstico dos sistemas meteorológicos associados aos escorregamentos foi realizado baseando-se nos campos espaciais das variáveis atmosféricas do projeto de reanálise do NCEP/NCAR, e pelas imagens de satélite visível e infravermelho do CPTEC.

9.3 Levantamento de escorregamentos no município de Campinas

A Comissão Municipal da Defesa Civil (COMDEC) do município de Campinas mantém um banco informatizado de consulta a registros de ocorrências. Técnicos registram, em fichas impressas, os dados da pessoa que comunicou a ocorrência, o local, uma breve descrição do fato e a respectiva classificação CODAR (descrito no item 8.2.2.1). Nas fichas de ocorrências também estão descritos: o nome do profissional encarregado do atendimento, a observação após a vistoria e as providências tomadas. O resumo de cada ficha é inserido em um Banco de Dados em linguagem Clipper, com o qual é possível realizar consultas dos registros desde 1997, aplicando-se vários tipos de filtros, tais como código CODAR, ano ou região da cidade.

9.3.1 Filtragem de casos para o estudo

Com base no Banco de Ocorrências da COMDEC Campinas foram selecionadas as ocorrências com a classificação CODAR NIGDZ (escorregamentos e deslizamentos) de 1997 a 2004. Adicionalmente, foram selecionadas as ocorrências sob o código CODAR HTCDH neste período, referente a danos às edificações e construções.

Deste grupo de ocorrências foram identificados 299 casos cuja descrição continha os seguintes termos: risco de deslizamento, deslizamento de terra, risco à residência, desabamento, queda de muro e desbarrancamento.

A análise individualizada das fichas de ocorrência possibilitou a eliminação daqueles casos explicitamente relacionados a outras causas, que não à causas meteorológicas. Entre as causas mais comumente encontradas nos eventos excluídos estavam:

- viela obstruída;
- tubulação ou encanamento estourados;
- deslizamento de terra com alagamento;
- deslizamento de terra com erosão/beira de córrego ou ponte;
- corte irregular do terreno;
- escavação.

Restaram desta forma, 67 casos. Passou-se então à investigação dos índices pluviométricos próximos à data do evento e da localização de cada um. Nove casos foram eliminados por possuírem endereços não oficiais, como número do lote ou quadra, impossibilitando sua localização no mapa oficial do município.

Apesar da aplicação dos diversos critérios de filtragem, poderiam ter restado casos de escorregamento com causas distintas à pluviometria, não identificados pela descrição. Foi necessário, desta forma, a verificação do registro pluviométrico referente às datas dos 67 casos. A princípio, a existência de 8 postos pluviométricos no município (listados na Tabela 8) permitiria uma regionalização espacial da análise de chuva, dependendo da distância entre os postos e os locais dos escorregamentos. No entanto, a série de dados de 4 postos não abrangia todo o período de estudo (1997 a 2004). Dos 4 postos restantes, 3 deles (Faz. Monte Deste/D4-046, Barão Geraldo/D4-047 e Campinas/UNICAMP) localizavam-se ao norte, onde houve menor ocorrência de escorregamentos. Sendo assim, tomou-se como referência os dados da estação do DAEE D4-044. Esta estação foi escolhida por possuir uma série contínua de observações (1941 a 2004) para todo o período de interesse (1997 a 2004) e por sua proximidade dos locais dos escorregamentos.

Desta forma, foram identificados 13 eventos nos quais não houve registro de precipitação no dia ou no dia seguinte à ocorrência de escorregamento. Como as medidas de chuva acumulada são realizadas

diariamente, às 7:00h, a ausência de precipitação no dia e no dia seguinte ao escorregamento indica que o tempo permaneceu seco na região pelo menos desde as 7:00h do dia anterior até as 07:00h do dia seguinte à ocorrência. Tal fato pode estar relacionado com as seguintes causas:

- a) a precipitação não foi a causa do escorregamento e o caso deve, portanto ser eliminado da amostra;
- b) a precipitação foi a causa do escorregamento, mas a mesma se distribuiu irregularmente no município, não sendo observada na estação de controle;
- c) a precipitação teve um efeito preparatório, mas a instabilidade do terreno foi deflagrada várias horas após o término da chuva (antes da manhã do dia anterior), talvez induzida por causas antrópicas;
- d) a precipitação pode ter sido a causa do escorregamento, mas houve um intervalo de tempo entre a deflagração do processo e a comunicação à Defesa Civil, de modo que a data da ocorrência e a data do escorregamento não coincidem.

Pelas incertezas envolvidas, estas 13 ocorrências foram eliminadas da amostra, a fim de evitar contaminações no resultado final da análise dos eventos de escorregamento.

Adicionalmente, a verificação da localização de cada evento de escorregamento indicou 15 ocorrências situadas às margens de rios ou córregos. Estes eventos obedeciam ao critério de estarem associadas a um sistema meteorológico, com registro de precipitação. No entanto, apesar da descrição contida nas fichas cadastrais não darem indicações de processos erosivos ou inundação, haveria a possibilidade de os escorregamentos terem sido provocados por estes processos ou por solapamento de margem. Sendo assim, optou-se também pela eliminação destas ocorrências na amostra.

A amostra final conteve 30 eventos de escorregamento no período de 1997 a 2004. O resumo das fichas cadastrais destes 30 eventos, obtidos junto ao Banco de Ocorrências da COMDEC Campinas é apresentado no ANEXO B (Tabela de escorregamentos em Campinas-SP). Os eventos estão numerados de 1 a 30, seguindo a ordem cronológica de suas respectivas datas. A localização dos 30 eventos no município pode ser observada no ANEXO A (Mapa de áreas de escorregamento Campinas-SP), seguindo esta mesma numeração.

9.3.2 Distribuição espacial e temporal das ocorrências de escorregamentos

O município de Campinas está subdividido em cinco distritos administrativos: Sudoeste, Sul, Leste, Norte e Noroeste. A divisão regional de Campinas é mostrada no mapa de áreas de escorregamento do município (ANEXO A).

A distribuição espacial das 30 ocorrências selecionadas apresenta alta concentração na região Sul (frequência de 40%) e Leste (frequência de 27%), que são áreas do município mais densamente povoadas, conforme descrito no item 9.1. As regiões Noroeste e Sudoeste apresentaram 5 eventos cada uma, ou frequências de 17%. A região Norte não apresentou ocorrências na amostra.

A análise da distribuição anual dos 30 eventos selecionados indicou 43% das ocorrências no ano de 1999, conforme mostra a Figura 16. Esta frequência elevada deveu-se principalmente às condições meteorológicas anômalas no mês de janeiro deste ano, no qual ocorreram três episódios de ZCAS, com altos índices pluviométricos em Campinas, sobretudo na primeira quinzena do mês. A análise meteorológica dos eventos será

discutida mais detalhadamente no item 9.4 (Diagnóstico de sistemas meteorológicos associados aos escorregamentos).

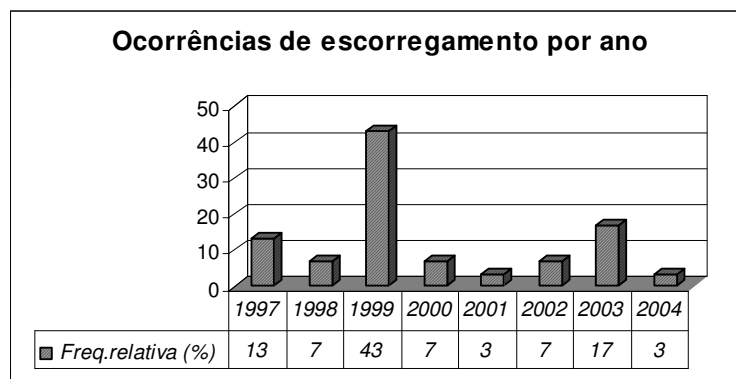


Figura 16 - Frequência relativa (%) de ocorrências de escorregamento por ano em Campinas (SP).

A análise da distribuição mensal da amostra revelou que dos 30 eventos, 25 ocorreram no mês de janeiro (83%). A alta incidência de casos em janeiro é esperada, pelo fato de ser este o mês mais chuvoso em termos climatológicos (vide Figura 14). Além disso, analisando-se o balanço hídrico climático de Campinas, mostrado na Figura 15 com base no trabalho de SENTELHAS *et al.* (2002), tem-se que este é o mês que apresenta o maior excedente hídrico do ano (diferença positiva entre a taxa de precipitação e a taxa de evaporação e evapotranspiração). Isto indica a existência de um superávit de água para ser escoado superficialmente ou infiltrado nesta época do ano.

Em fevereiro ocorreram 2 dos 30 eventos (7%). Os meses de novembro e dezembro registraram apenas 1 caso cada um (3%). Não houve registro de ocorrências nos meses de abril a outubro, período mais seco do ano. A distribuição da frequência relativa mensal dos escorregamentos é apresentada na Figura 17.

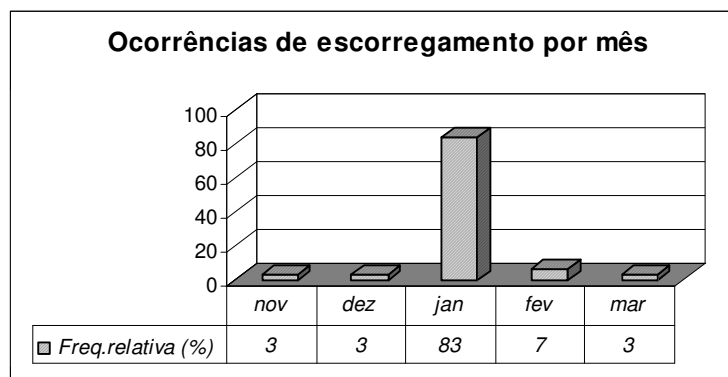


Figura 17 - Frequência relativa (%) de ocorrências de escorregamento por mês em Campinas.

9.4 Diagnóstico de sistemas meteorológicos associados aos escorregamentos

O tipo de precipitação que ocorre no leste do Estado de São Paulo, em particular no litoral e nas encostas da Serra do Mar pode diferir consideravelmente daquele que ocorre no interior paulista. Isto se deve ao fato de que a presença da barreira física da Serra do Mar e a proximidade do oceano influenciam diferentemente o comportamento dos sistemas atmosféricos em uma parte e outra do estado. Resultados de estudos anteriores do comportamento atmosférico em episódios de escorregamento na Serra do Mar (por ex. BLANCO e MASSAMBANI, 2003) não necessariamente podem ser aplicados a outras regiões do estado.

A análise individual dos padrões meteorológicos de escala sinótica e de grande escala dos 30 eventos de escorregamento possibilitou uma avaliação da frequência dos sistemas atmosféricos. Também foram analisadas as características da precipitação (quantidade, duração e intensidade) ocorrida em cada uma dos referidos eventos. Esta análise baseou-se em imagens do satélite GOES e METEOSAT nos canais infravermelho e visível do CPTEC/INPE.

Foram utilizados também, campos diagnósticos médios diários de variáveis meteorológicas provenientes do projeto de reanálise do NCEP da América do Sul (variáveis: pressão ao nível do mar e vetor vento em superfície, geopotencial e linhas de corrente em 700, 500 e 200 mb, temperatura em superfície e em 850 mb e água precipitável). Foram analisados os dados pluviométricos diários da estação do DAEE e dados pluviométricos a cada 10 minutos da estação da UNICAMP. A descrição dos padrões sinóticos da publicação mensal *Climanálise*, do CPTEC serviu de apoio à caracterização dos sistemas meteorológicos que atuaram durante os eventos de escorregamento.

Por meio da interpretação destes campos, dados e imagens e mediante técnicas de previsão de tempo, foi possível realizar um agrupamento de ocorrências de escorregamento por semelhança de cenários atmosféricos. O diagnóstico meteorológico dos 30 eventos de escorregamento é apresentado no ANEXO B (Tabela de escorregamentos do município de Campinas).

Três grupos básicos de situações meteorológicas foram identificados. O maior grupo, chamado **Grupo 1** está associado à atuação da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). O **Grupo 2** está associado à atuação de frentes frias (FF) e o **Grupo 3**, relacionado à interação de sistemas frontais e VCAN (Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis).

A descrição das características dinâmicas e termodinâmicas encontradas para cada grupo é apresentada a seguir.

9.4.1 Grupo 1 – Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A ZCAS foi o sistema responsável em 18 das 30 ocorrências analisadas (60%). Destes, a quase totalidade ocorre em janeiro (16 eventos) e 2 em fevereiro. Vale ressaltar que este resultado está fortemente

influenciado por um evento excepcional em janeiro de 1999, no qual houve três manifestações da ZCAS no mês: entre 5 e 10/01/99, entre 11 e 14/01/99 e entre 15 e 18/01/99. Este fato causou vários episódios seguidos de chuvas moderadas a fortes em Campinas, com um volume acumulado de 349,3 mm entre os dias 5 e 18 de janeiro (dados da estação D4-044 do DAEE). Das 16 ocorrências de escorregamento em janeiro no município, muitos deles ocorreram em um mesmo dia, em regiões distintas.

A característica da precipitação dos casos associados a ZCAS foi o de chuvas intermitentes com intensidade variável. Foram encontrados casos de escorregamento associados tanto a chuvas fortes e concentradas, quanto a chuvas fracas e prolongadas. Em todos os casos, houve precedência de chuva nos dias anteriores, indicando a importância do efeito preparatório da precipitação antecedente na instabilidade das encostas.

A distribuição temporal da precipitação no dia 6 de janeiro de 1999 (um dos casos de escorregamento sob influência da ZCAS), foi utilizada para ilustrar o padrão da chuva deste sistema (Figura 18). O total pluviométrico registrado entre as 00:00 e 24:00h foi de 54,0 mm. Neste dia, foram registrados 4 eventos de escorregamentos em Campinas: 3 na região Sudoeste e 1 na região Sul. Os dados de precipitação são provenientes do pluviógrafo da UNICAMP.

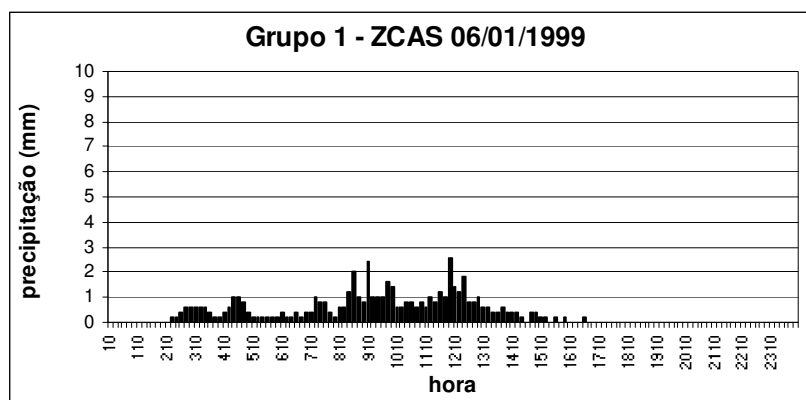


Figura 18 – Variação temporal da precipitação em um caso de escorregamento associado a ZCAS (Fonte de dados: UNICAMP).

Os padrões atmosféricos observados nestes eventos foram típicos da ZCAS:

- a) forte confluência entre o ar nos baixos níveis da Alta Subtropical do Atlântico Sul e o ar de latitudes mais altas, ocasionando convergência de umidade nos baixos e médios níveis e formação de nebulosidade;
- b) um cavado a leste dos Andes em 500 mb, com alinhamento pelo Paraguai e Região Sul do Brasil;
- c) divergência em altos níveis (200 mb) com a presença da Alta da Bolívia deslocada para leste de sua posição normal, sobre o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.
- d) presença do VCAN na costa da Região Nordeste do Brasil, na região leste de Pernambuco e da Paraíba.

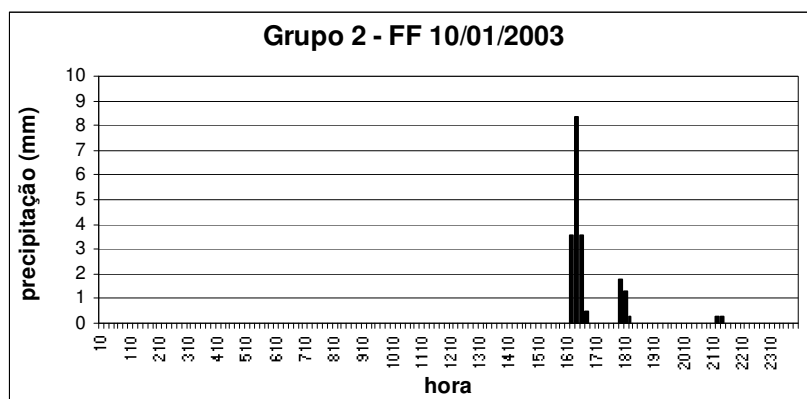
A divergência do ar em altos níveis e a presença do cavado à oeste do Estado de São Paulo em 500 mb mostraram ser mecanismos físicos favoráveis para a manutenção da atividade convectiva na região, em concordância com trabalhos como o de Gandu e Silva Dias (1998). A presença do VCAN no Litoral do Nordeste, que é uma característica de ar superior da formação da ZCAS, contribuiu para a estacionariedade das bandas de nebulosidade e das frentes frias na Região Sudeste do Brasil e, em particular, no Estado de São Paulo.

9.4.2 Grupo 2 – Frentes frias (FF)

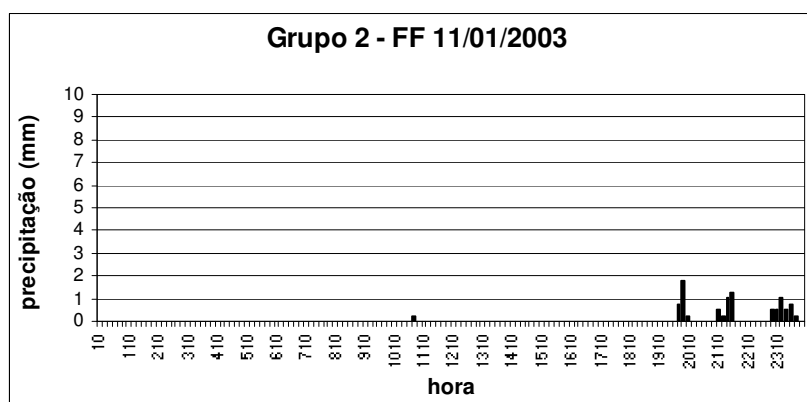
As Frentes Frias foram responsáveis por 6 das 30 ocorrências de escorregamentos, 5 delas em janeiro e 1 em março. De forma geral, observou-se nestes casos, que as frentes frias, ao atingir a Região Sul do Brasil, apresentaram um rápido deslocamento para a Região Sudeste,

organizando a convecção tropical e causando chuvas fortes na sua trajetória. É possível que anomalias positivas da temperatura da superfície do mar na costa da Região Sudeste, tenham contribuído para a intensificação das frentes frias no litoral, organizando também instabilidades isoladas no interior da região. Distinguiu-se dois tipos de regime de precipitação nestes casos: chuvas moderadas a fortes mais concentradas em um curto período e/ou durações mais prolongadas.

O dia 11 de janeiro de 2003 exemplifica o tipo de chuva dos casos de escorregamentos associados à frente fria. Na tarde do dia anterior (dia 10/01/2003), pancadas de chuva moderadas a fortes foram observadas em Campinas, devido à aproximação da frente fria (Figura 19a), totalizando 19,8 mm. No dia seguinte, a passagem deste sistema voltou a causar precipitação, principalmente no período noturno, quando ocorreram chuvas prolongadas, mas de fraca intensidade que somaram 9,7 mm (Figura 19b).



(a)



(b)

Figura 19 – Variação temporal da precipitação em um caso de escorregamento associado à frente fria em (a) 10/01/2003 e (b) 11/01/2003 (Fonte de dados:UNICAMP).

Os campos atmosféricos médios indicaram a convergência de umidade da região Amazônica até o centro e o sudeste da América do Sul. Um cavado migratório das altas para as latitudes médias foi observado na baixa atmosfera, devido ao próprio deslocamento da frente fria. A zona frontal foi detectada pelo contraste do campo de temperatura, convergência de vento nos baixos níveis e pela formação de nuvens convectivas. A incursão de ar frio na retaguarda da frente promove o levantamento do ar quente e úmido nos baixos níveis da atmosfera, intensificando a convecção. A Alta da Bolívia apresentou-se bem caracterizada na maioria dos casos,

mas deslocada para leste de sua posição média de janeiro, com centro sobre a Região Centro-Oeste. A divergência na alta atmosfera, observada nestes casos, tem um papel importante na manutenção desta circulação vertical. Na média troposfera (500 mb), observou-se uma circulação anticiclônica.

9.4.3 Grupo 3 – Interação de Frentes Frias (FF) e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).

A associação de frentes frias no oceano com vórtices ciclônicos mostrou-se um padrão atmosférico relevante em 6 das 30 ocorrências da amostra, sendo 4 em janeiro, 1 em novembro e 1 em dezembro. Na maioria dos casos, observou-se um vórtice ciclônico nos altos níveis (200 mb) na Região Sul, que se associou a um sistema frontal no Oceano Atlântico, originando uma frontogênese e uma ciclogênese no Sul do Brasil. Nos casos estudados, este sistema teve um rápido deslocamento meridional e produziu intensificação das áreas de chuva ao atingir a Região Sudeste. A condição de instabilidade atmosférica durou por várias horas ou dias. Observou-se na região de Campinas, tanto regimes de precipitação contínua e duradoura como pancadas intermitentes em vários horários.

A Figura 20 mostra a distribuição temporal da precipitação registrada na estação da UNICAMP no dia 30/01/1999, quando um VCAN no Rio Grande do Sul moveu-se para leste, interagindo com uma frente fria formada a partir de uma frontogênese. Pancadas de chuva moderadas a fortes foram registradas por volta das 12h00. Durante a tarde e a noite, ocorreram chuvas intermitentes de pouca intensidade. O total pluviométrico entre 00:00h e 24:00h deste dia foi de 20,8 mm.

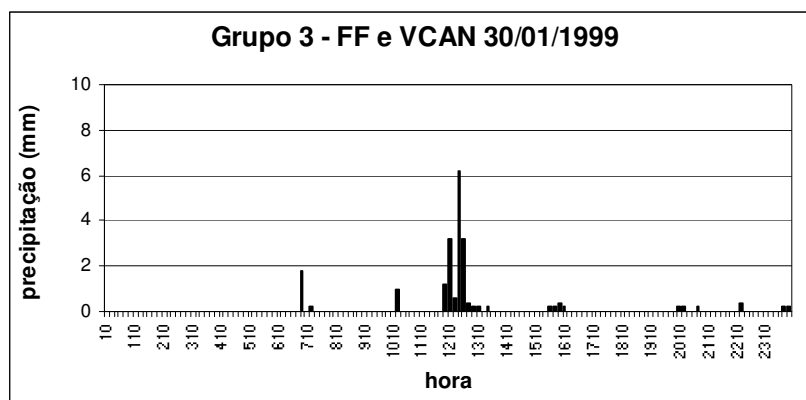
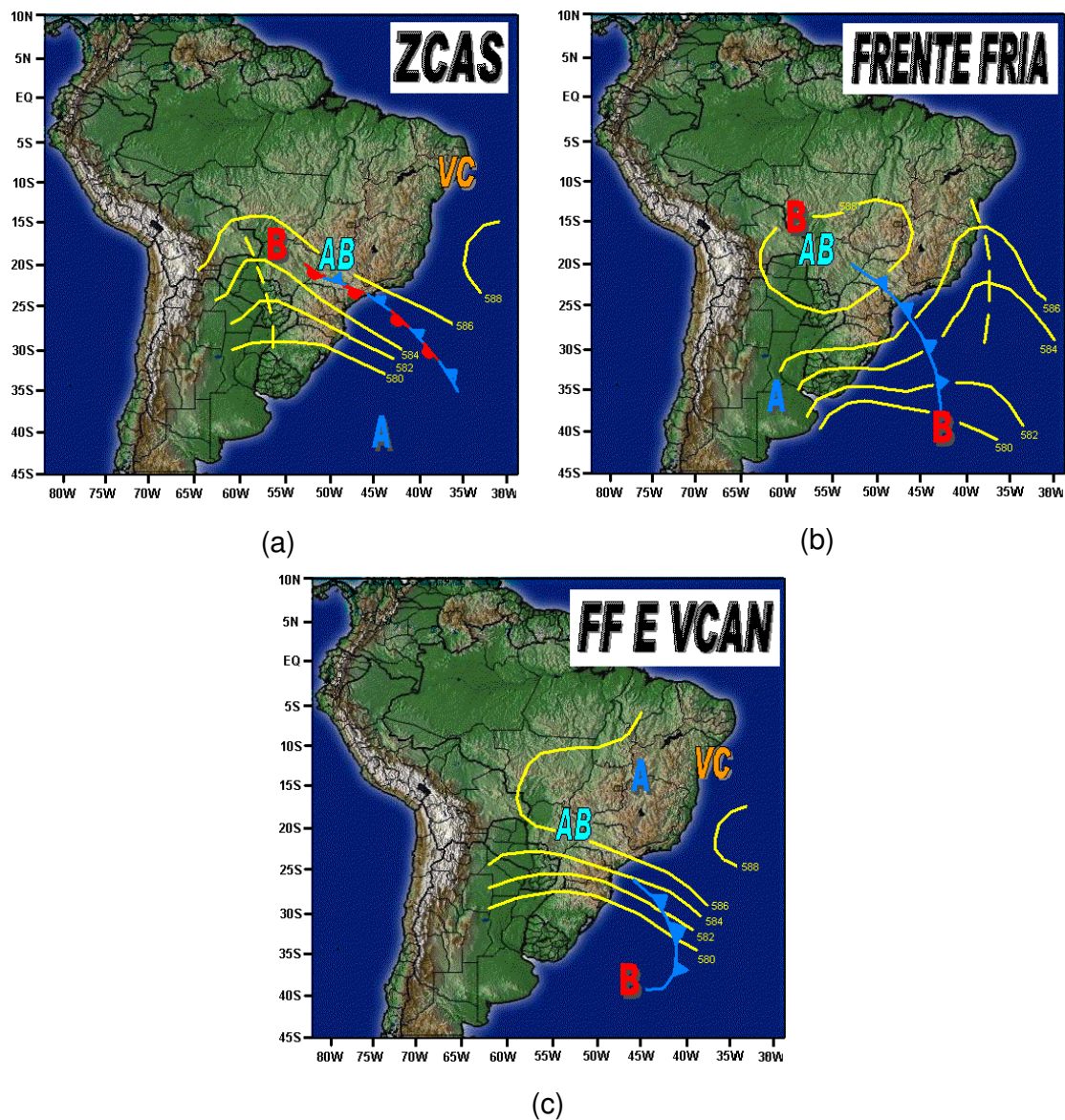


Figura 20 – Variação temporal da precipitação em um caso de escorregamento associado à interação entre frente fria e VCAN (Fonte de dados: UNICAMP).

O padrão sinótico do Grupo 3 foi caracterizado por uma grande área de baixa pressão em superfície no interior da região central da América do Sul em todos os eventos. Observou-se que um cavado migratório nos médios níveis atmosféricos (500 mb), associado à frente fria no litoral da Região Sul tende a organizar e potencializar a convecção sobre o Estado de São Paulo. O surgimento de altas pressões em altos níveis devido ao aquecimento da coluna atmosférica, configura a Alta da Bolívia, que permaneceu sobre a Região Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, a leste de sua posição normal. A divergência da AB, por sua vez, alimentou a convecção. Nos níveis médios, observou-se a circulação anticiclônica sobre a Região Sudeste.

A representação esquemática das principais características meteorológicas dos 3 grupos de sistemas meteorológicos analisados (ZCAS, frente fria e associação de sistemas frontais com VCAN) é mostrada nas Figuras 21(a), 21(b) e 21(c).



LEGENDA

A	Centro de alta pressão atm. em superfície		Frente fria
B	Centro de baixa pressão atm. em superfície		Frente semi-estacionária
AB	Alta da Bolívia		Isolinha de geopotencial em 500 mb (x 10MGP)
VC	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis		Cavado em 500 mb

Figura 21 – Representação esquemática dos padrões atmosféricos dos grupos de sistemas meteorológicos: (a) ZCAS, (b) Frente Fria e (c) Frente fria e VCAN.

Estes três tipos de estruturas atmosféricas são coerentes com a climatologia de propagação de convecção na América do Sul realizada por Siqueira e Machado (2004a). Esta análise, baseada em dados de variáveis atmosféricas do NCEP e observação de nuvens via satélite no período de 1983 a 1993, indicou a existência de 3 tipos básicos de atividade convectiva diária na América do Sul. O primeiro tipo refere-se à penetração de frentes frias pelo sul da América do Sul, que organiza a convecção tropical enquanto desloca-se em direção ao Equador. O segundo tipo é caracterizado pela organização da convecção tropical pelas frentes frias nos subtrópicos e pela intensificação e propagação da convecção dos trópicos para os subtrópicos e latitudes médias. No terceiro tipo, as frentes frias têm uma fraca interação com a convecção tropical, permanecendo semi-estacionárias nos subtrópicos.

O Grupo 1 definido no presente trabalho (ZCAS) corresponde ao segundo tipo do trabalho de Siqueira e Machado (*op.cit*), com a característica de permanência do sistema frontal por mais de 4 dias, caracterizando a estrutura da ZCAS. O Grupo 2 (frentes frias) corresponde ao primeiro tipo descrito por Siqueira e Machado (*op.cit*).

Em um trabalho posterior de Siqueira e Machado (2004b) não foi encontrada nenhuma relação linear entre a ocorrência dos primeiros dois tipos de estrutura atmosférica e os eventos de El Niño e La Niña, embora a ocorrência do primeiro tipo na faixa latitudinal de 16° a 26° S, tenha sido maior em anos de El Niño.

A predominância da estrutura da ZCAS com relação aos demais sistemas meteorológicos associados aos processos de escorregamento em Campinas é coerente com os resultados obtidos por IDE e MACEDO (2004). Em um estudo de casos de escorregamentos com vítimas fatais em todo o estado de São Paulo no período de 1996 a 2004, o principal sistema responsável pelos escorregamentos com vítimas fatais foi a ZCAS (38% de um total de 130 eventos), indicando a importância deste sistema nas outras áreas paulistas.

9.5 Relação precipitação x escoamento em Campinas

A investigação da relação entre a precipitação e a ocorrência de escoamentos em Campinas procedeu-se de acordo com os passos descritos no item 8.2.5. Foram testados vários métodos de correlação entre os valores de precipitação diária e entre os valores de precipitação acumulada dos dias anteriores.

A aplicação de métodos que utilizam correlações da intensidade da chuva no momento do escoamento foi impossibilitada pela ausência da informação da hora da deflagração dos 30 eventos da amostra. A listagem dos eventos e respectivas descrições encontram-se no ANEXO B.

Uma vez que as medidas diárias de precipitação são realizadas às 7:00h, apenas a chuva ocorrida no período entre 00:00h e 07:00h deu-se efetivamente naquela data (vide item 8.2.5.1). Sendo assim, optou-se por adotar o valor de chuva do dia seguinte como sendo aquele referente a determinado dia.

A estação pluviométrica de referência utilizada no estudo foi a estação do DAEE D4-044- Campinas.

9.5.1 Análise do número de dias de precipitação acumulada mais efetivo nos processos de escoamento.

Baseando-se no método aplicado por Tatizana *et al.* (1987a e b), Elbachá (1992) e Vieira (2004) foram elaborados gráficos de dispersão e testados valores acumulados de precipitação de 1 a 10 dias e mais 15, 20, 25 e 30 dias. O objetivo era estabelecer um número de dias que indicasse mais claramente um limiar de chuva acumulada a partir do qual aumentaria a ocorrência de escoamentos. Na pesquisa de Tatizana (*op.cit*), que

utilizou dados pluviométricos de um posto na Serra do Mar, foram lançados nos gráficos todos os valores de precipitação acima de 100 mm em 1 dia, ou 150 mm em dois dias ou 200 mm em três dias, havendo ou não registro de escorregamento.

No caso de Campinas, optou-se por lançar todos os dados de chuva do período de 1997 a 2004 nos gráficos de dispersão de precipitação acumulada. As Figuras 22 a 25 mostram os resultados para todos os números de dias testados. Os valores de precipitação a cada dia são indicados pelos pontos. Os 30 casos de escorregamento corresponderam a 27 datas distintas nas quais houve escorregamento, que são destacados nos gráficos por um triângulo. No dia 6/01/1999 houve um caso múltiplo de quatro escorregamentos (3 na região Sudoeste e 1 na região Sul).

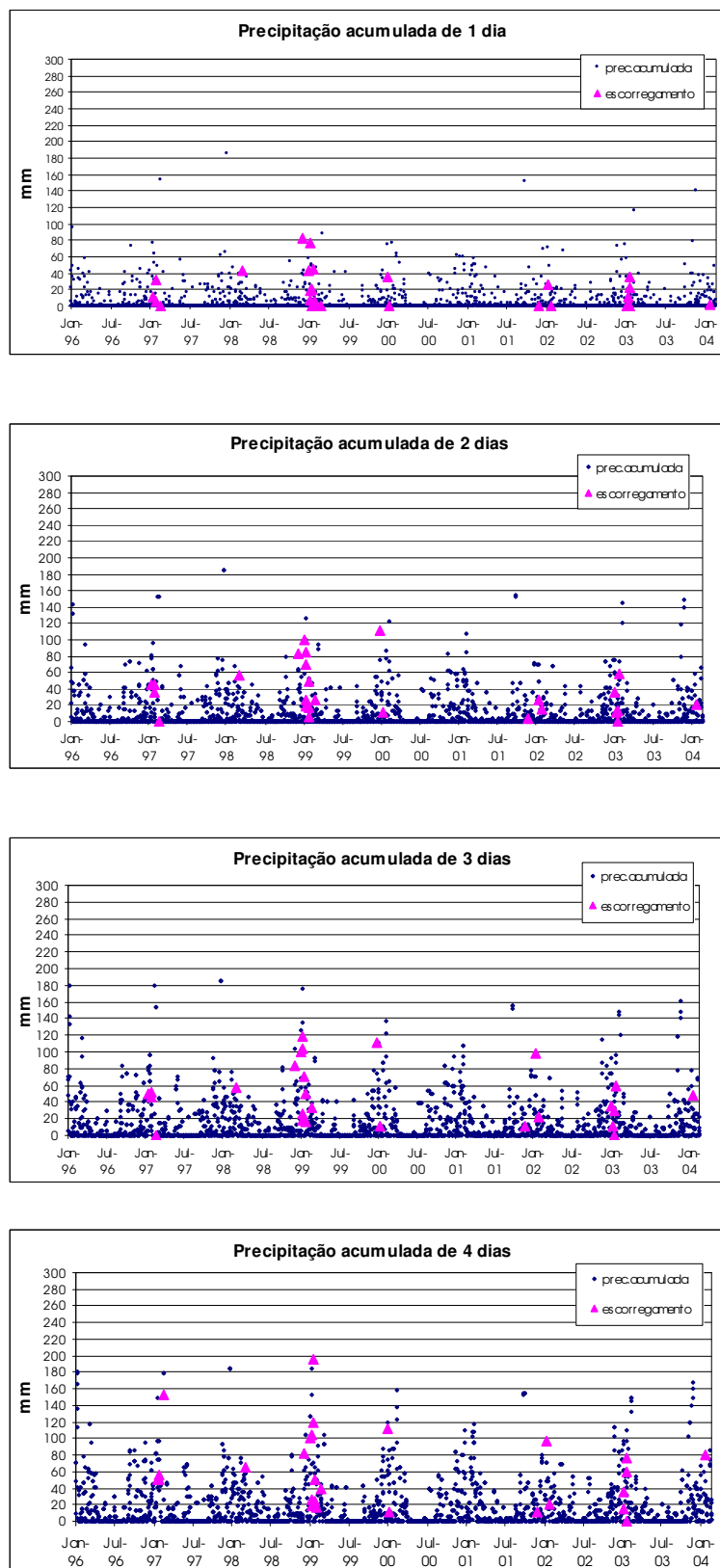


Figura 22 – Gráficos de dispersão de precipitação acumulada (1 a 4 dias).

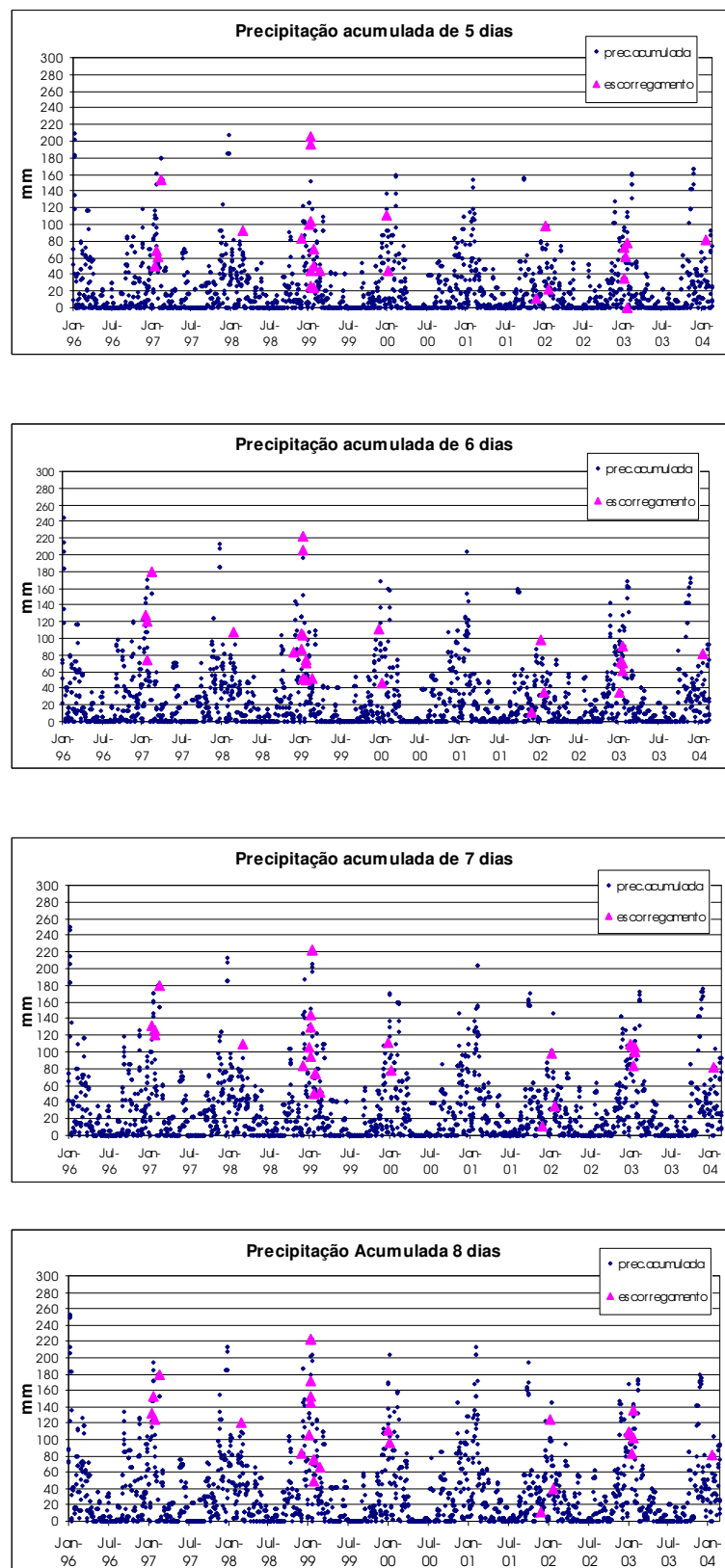


Figura 23– Gráficos de dispersão de precipitação acumulada (5 a 8 dias).

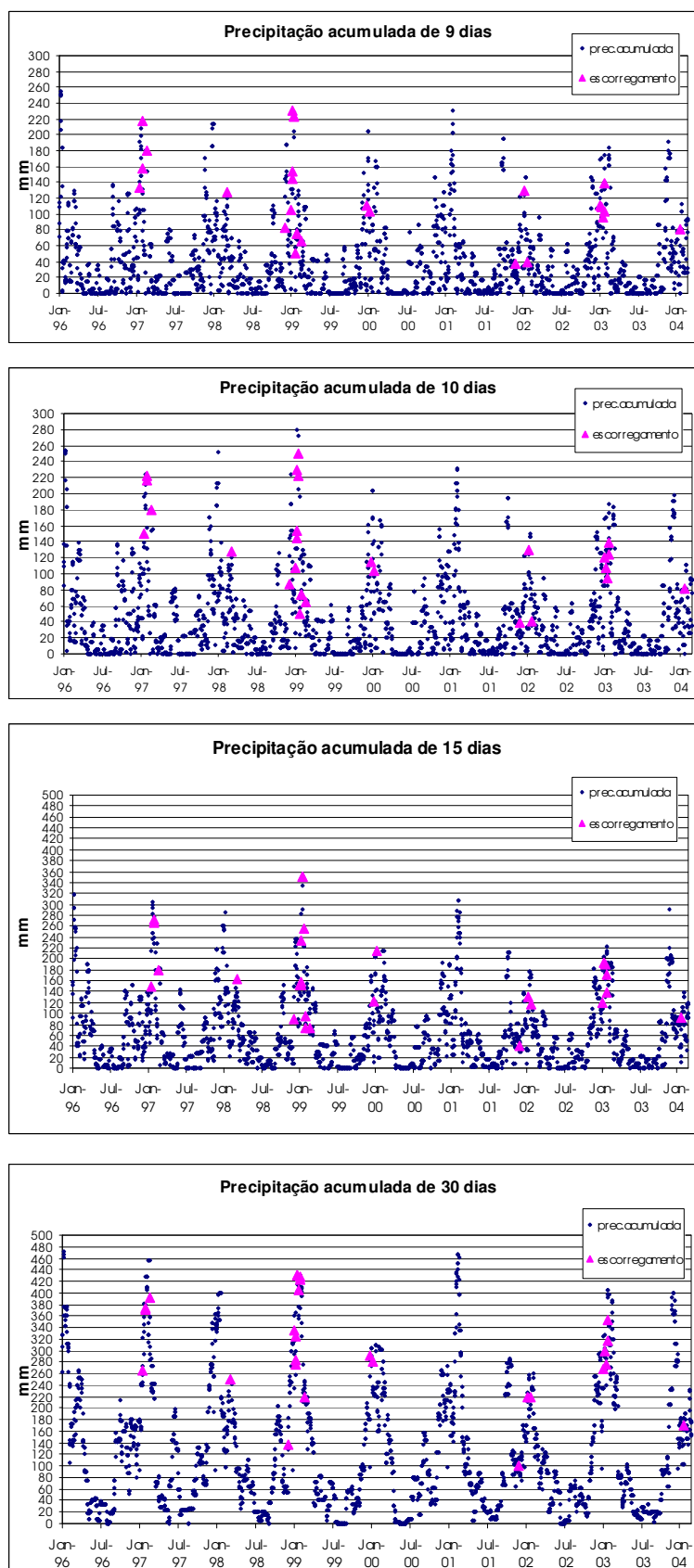


Figura 24 – Gráficos de dispersão de precipitação acumulada (9,10, 15 e 20 dias)

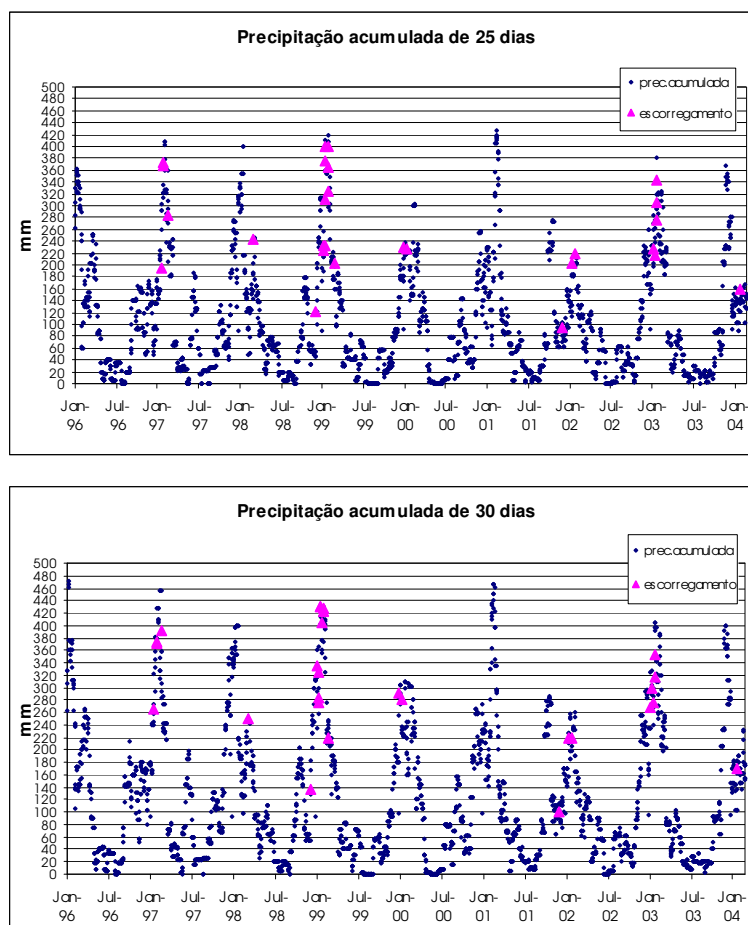


Figura 25 – Gráficos de dispersão de precipitação acumulada (25 e 30 dias).

Como pode ser visto nos gráficos apresentados, há grande dispersão dos eventos de escoamento até 4 dias de chuva acumulada, quando há vários casos associados a valores próximos de zero mm de precipitação. A partir de 5 dias, é possível notar a ocorrência de escoamento a partir de um limiar próximo de 40 mm, embora o mesmo não satisfaça a todos os casos. O estabelecimento de um valor limite é um pouco mais perceptível a partir do gráfico de chuva acumulada de 7 dias.

No gráfico de dispersão de 7 dias, verificou-se que 25 das 27 datas com escoamento dão-se a partir de 50 mm de chuva acumulada. Os casos 22 (30/11/2001) e 24 (11/01/2003) ficaram abaixo deste limite. De 8 a 30 dias, os limiares críticos de chuva acumulada a partir dos quais ocorrem eventos de escoamento tornam-se mais elevados. Os dados referentes

aos casos 22 e 24, de forma geral, continuam apresentando um comportamento distinto dos demais pontos, ficando abaixo do limite aparente de chuva dos demais eventos.

Apesar do valor de 50 mm em 7 dias ser um indicativo da maior possibilidade de escorregamentos em Campinas, a dispersão dos dados ainda apresenta-se como um resultado insatisfatório. Considerou-se então, a hipótese de que diferentes processos de escorregamento estejam sendo analisados, refletindo portanto, em comportamentos distintos de instabilização do solo frente à precipitação.

Conforme descrito no item 9.1.1, o município de Campinas abrange basicamente, três tipos de terrenos geológicos: rochas graníticas (cristalinas) a leste e sul, rochas sedimentares do Sub-Grupo Itararé a oeste e sudoeste, e diabásios a oeste e noroeste (Figura 12).

A geomorfologia da área de terrenos sedimentares de Campinas é dominada por colinas e planícies de inundação, enquanto a área de terrenos cristalinos apresenta relevo mais acentuado, com maiores declividades. Esta diferença geológica e geomorfológica reflete graus diferenciados de suscetibilidade a processos do meio físico. Enquanto a área de rochas sedimentares é mais propícia à ocorrência de processos erosivos, a área de rochas cristalinas apresenta-se mais propícia à ocorrência dos processos de escorregamentos.

Desta forma, verificou-se que dos 30 eventos de escorregamento em Campinas, 15 localizavam-se em áreas de rochas cristalinas e 15, em sedimentares. Na amostra analisada, não houve casos localizados na área de diabásios. Novos gráficos de dispersão foram elaborados, separando-se os eventos de escorregamento em dois grandes grupos (áreas sedimentares e áreas cristalinas). Os resultados para as áreas sedimentares indicaram grande variabilidade do comportamento dos dados de chuva com escorregamento para todos os números de dias testados. Por outro lado, os gráficos relativos aos casos em áreas cristalinas apresentaram um

comportamento mais consistente, delineando um limiar de precipitação a partir de 5 dias.

O valor de chuva acumulada de 7 dias mostrou-se novamente, o melhor indicador da ocorrência de escorregamentos. O valor-limite encontrado neste caso foi de 78 mm, conforme mostra a Figura 26. Nessa figura também é mostrado o gráfico referente aos casos em áreas sedimentares, os quais apresentaram significativa dispersão, impossibilitando a determinação do valor-limite.

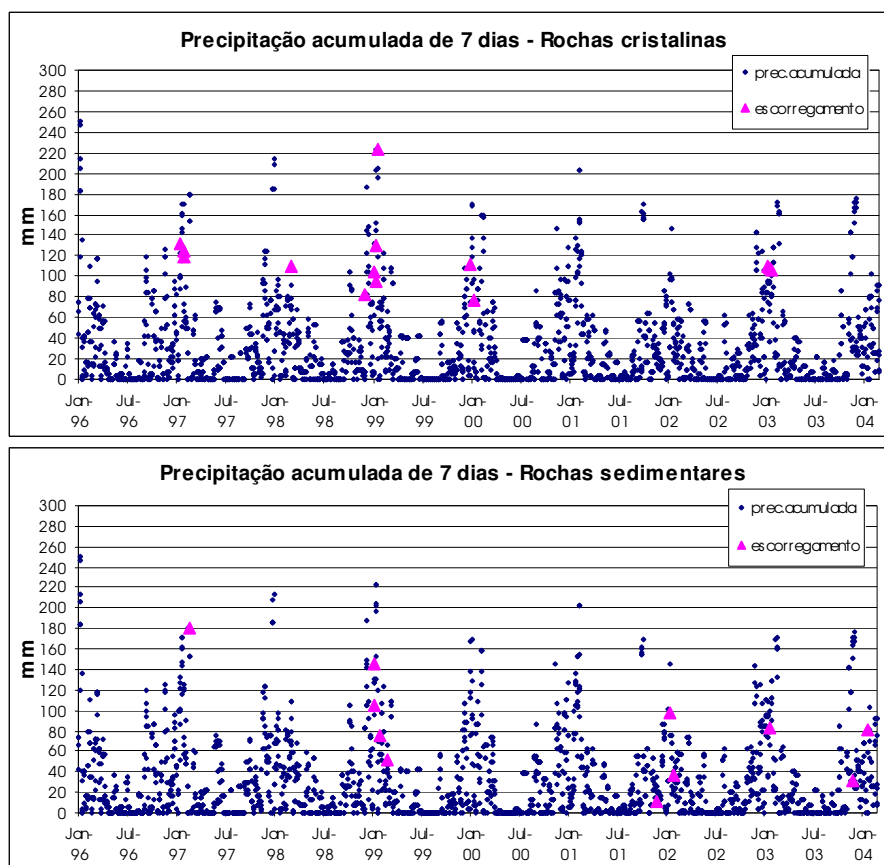


Figura 26 – Gráfico de dispersão para 7 dias em áreas de rochas cristalinas e sedimentares.

9.5.2 Investigação da relação matemática entre a precipitação e os escorregamentos.

A aplicação do método utilizado por Tatizana *et al.* (1987a), que relaciona a intensidade da chuva horária e os escorregamentos, tornou-se inviável na amostra de eventos de Campinas devido à ausência de informações da hora do escorregamento, sem o qual não foi possível identificar a intensidade da precipitação que deflagrou o processo. Além disso, não havia uma base física para a adoção de um valor numérico para a filtragem de eventos, como foi utilizado por Tatizana *et al.* (*op.cit*), na Serra do Mar (100 mm/dia ou 150 mm/2 dias ou 200 mm/3 dias). Os dias com escorregamento em Campinas apresentaram desde valores próximos de zero até 100 mm.

Sendo assim, foram realizadas várias tentativas de investigação da relação chuva x escorregamento que utilizassem dados diários de precipitação. Semelhante ao método utilizado por Lumb (1975), foram construídos gráficos de chuva acumulada de N dias x chuva acumulada de 24h (N=2,3,4,5,6,7,8,9,10,15,20,25,30). A chuva de 24 horas corresponde à observação da chuva diária do dia posterior à data do escorregamento, e N corresponde ao número de dias antecedentes à data do escorregamento. Nos gráficos foram lançados todos os dados de precipitação de 1997 a 2004 da estação DAEE D4-044, destacando-se os dias com escorregamento. O objetivo era identificar o número N no qual o gráfico apresentasse uma separação mais clara (e uma indicação de relação numérica) entre os dias com e sem escorregamentos.

Os gráficos mostraram grande dispersão dos dados com escorregamento até 4 dias. A partir de 5 dias, observa-se que os pontos com escorregamento começam a distanciar-se dos demais, os quais tendem a ficar concentrados na parte inferior esquerda do gráfico, ou seja, na área correspondente a totais menores de chuva acumulada nos dias antecedentes e de 24h. Este padrão de separação, ainda que não

satisfatório, é mais perceptível para 6 dias. A partir de 7 dias, os pontos com escorregamento voltam a se dispersar. A Figura 27 mostra os gráficos de precipitação de N dias x 24 horas para N igual a 4, 6 e 7 dias.

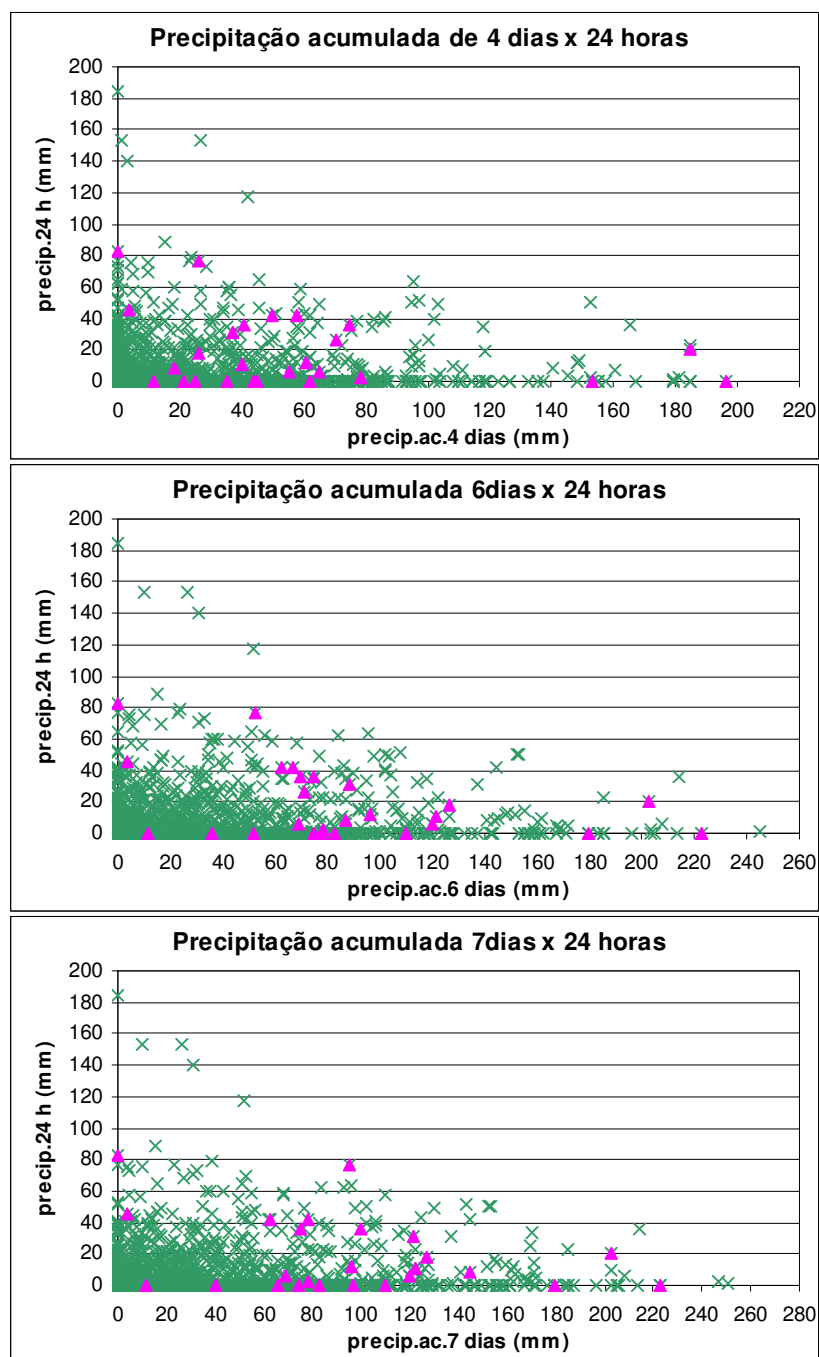


Figura 27 – Gráficos de precipitação acumulada de 4, 6 e 7 dias x 24 horas (cruz corresponde a dados diários de precipitação; triângulo indica dias com escorregamento).

Uma vez que os gráficos não indicaram um comportamento nítido da relação da precipitação dos dias com e sem escorregamento, aplicou-se a divisão dos casos em dois grupos, de acordo com o tipo de terreno (cristalino e sedimentar), conforme realizado anteriormente. Os gráficos de chuva acumulada de N dias x 24h foram repetidos para estes dois grupos.

O estudo dos casos em áreas cristalinas resultou em um padrão mais claro de separação de dias de precipitação com e sem escorregamento. Da mesma maneira como o que ocorreu no estudo de todo o conjunto de casos, o gráfico de 6 dias foi o que mostrou melhor separação de pontos com escorregamento. A Figura 28 mostra o gráfico de precipitação acumulada de 6 dias x 24h para áreas de rochas cristalinas. Os pontos correspondentes aos dias com escorregamento, os quais aparecem como um triângulo na Figura 28, permaneceram aproximadamente alinhados na parte superior direita dos demais pontos, indicando uma separação entre os dias com e sem escorregamento.

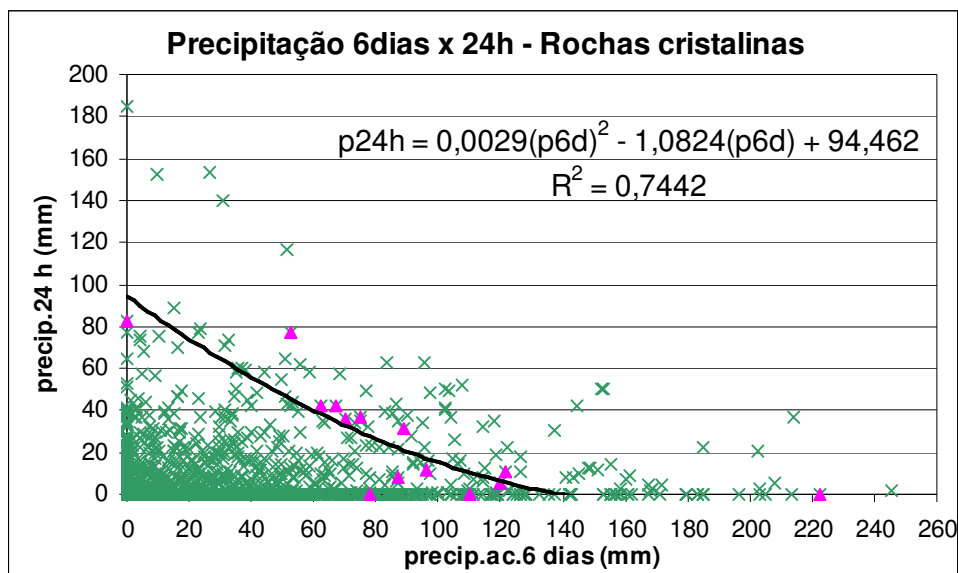


Figura 28 – Gráfico de precipitação acumulada de 6 dias x 24h para casos em área de rochas cristalinas (cruz corresponde a dados diários de precipitação; triângulo indica os dias com escorregamento; a curva representa a equação ajustada aos pontos com escorregamento).

Dentre os possíveis tipos de equação a serem ajustados aos pontos com escorregamento, a equação do tipo polinomial foi aquela que apresentou o melhor ajuste ao conjunto, pelo método dos mínimos quadrados. A equação obtida foi:

$$p_{24h} = 0,0029(p_{6d})^2 - 1,0824(p_{6d}) + 94,462$$

$$R^2 = 0,7442$$

onde p_{24h} = precipitação acumulada em 24 horas (mm)

p_{6d} = precipitação acumulada nos 6 dias anteriores ao escorregamento (mm)

R^2 = coeficiente de determinação da curva

Como mostra a Figura 28, a separação determinada pela curva resultante do ajuste polinomial não é exata. É possível observar pontos acima da curva não associados aos escorregamentos. Mesmo assim, a maior parte do universo de dados de precipitação localiza-se na área inferior do gráfico, área a qual pode ser atribuída uma suscetibilidade menor a escorregamentos na região de áreas cristalinas de Campinas.

O coeficiente R^2 mede a qualidade do ajuste da curva, sendo mais representativo quanto mais próximo de 1. Este coeficiente corresponde ao quadrado do coeficiente de correlação, sendo mais conservador que este último. O coeficiente de ajuste (R^2) de 0,7442 também indica que 74% da variação dos valores de precipitação de 24 horas (p_{24h}) são explicados pela variação de precipitação acumulada dos 6 dias anteriores (p_{6d}).

A análise da equação mostra que precipitações intensas, com acumulado diário de 95 mm, podem ocasionar escorregamento no município de Campinas mesmo sem registro de chuva nos dias anteriores. Este padrão de precipitação é comumente associado à sistemas meteorológicos como frentes frias, as quais após um período relativo de estabilidade do ar,

causam brusco aumento da instabilidade, com chuvas convectivas de forte intensidade no início do evento chuvoso.

Por outro lado, a análise da equação indica que o aumento dos totais acumulados nos dias antecedentes diminui a quantidade de precipitação necessária para a deflagração do processo. Chuvas contínuas ou intermitentes que ocorram na região, promovem o gradual umedecimento do solo e a diminuição da sua resistência. Frentes frias estacionárias e em particular, a ZCAS, são sistemas meteorológicos importantes neste tipo de situação, uma vez que promovem mecanismos físicos para a formação de chuvas persistentes e duradouras na região. A partir de valores de 140 mm nos 6 dias anteriores, a continuidade da ocorrência de chuva deixa de influenciar o desencadeamento de escorregamentos.

Na previsão operacional de risco de escorregamentos, a quantidade de precipitação acumulada nos últimos 6 dias é conhecida por meio do acompanhamento dos registros pluviométricos da região. A equação encontrada permite obter o valor-limite de precipitação de 24 horas a partir do qual são maiores as chances de deflagração do processo. A comparação deste valor com a precipitação prevista fornece um critério mais apurado para a avaliação de riscos e eventual emissão de alertas.

A fim de facilitar a avaliação e o acompanhamento de eventos chuvosos na área de rochas cristalinas, pode-se estabelecer um coeficiente adimensional, relacionando o valor de precipitação previsto e o valor-limite (obtido numericamente), semelhante ao procedimento de Tatizana *et al.* (1987a). Neste caso, tem-se que:

$$CP = \frac{p_{24h_{prev}}}{p_{24h_{lim}}}$$

onde CP = Coeficiente de Precipitação

$p_{24h_{prev}}$ = precipitação prevista para 24 horas

$p_{24h_{lim}}$ = precipitação-limite de 24 horas, calculada por

$$p_{24h_{lim}} = 0,0029(p_{6d})^2 - 1,0824(p_{6d}) + 94,462$$

Desta forma, é possível estabelecer uma relação entre o Coeficiente de Precipitação (CP) e a possibilidade de escorregamentos no município de Campinas em áreas de rochas cristalinas:

- $CP \ll 1$ - baixa possibilidade de ocorrência de escorregamentos;
- CP próximo de 1 - faixa provável de início de escorregamentos;
- $CP > 1$ - alta possibilidade de ocorrência de escorregamentos.

Os gráficos de áreas sedimentares por outro lado, apresentaram grande dispersão em todas as tentativas de correlação, não sendo possível definir um comportamento médio para os dias com e sem escorregamento. A Figura 29 mostra os gráficos obtidos para as áreas sedimentares, para valores acumulados de precipitação de 6 dias. A elevada dispersão dos pontos está possivelmente relacionada à inclusão de outros processos físicos na amostra de dados, principalmente de origem erosiva, apesar de todos os critérios de filtragem utilizados para selecionar os casos para o estudo.

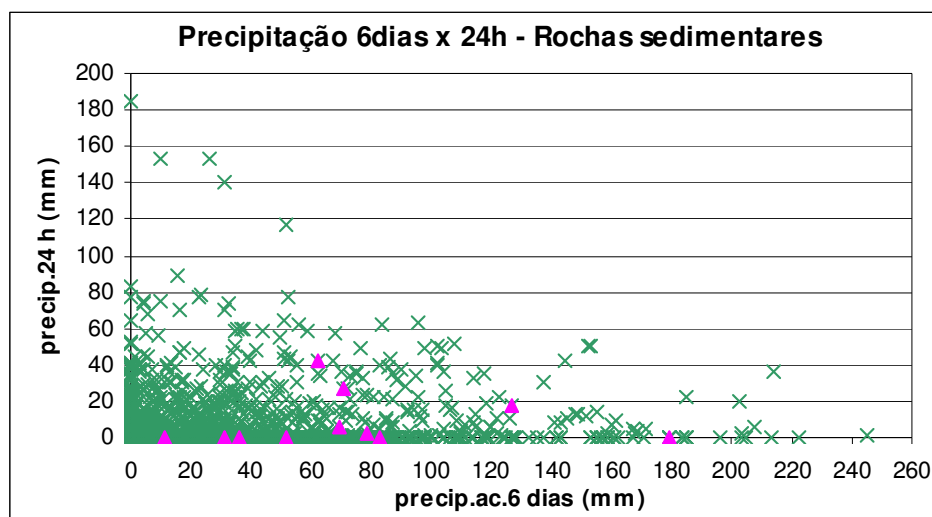


Figura 29 - Gráfico de precipitação acumulada de 6 dias x 24h para casos em área de rochas sedimentares (cruz corresponde a dados diários de precipitação; triângulo indica os dias com escorregamento).

Também foram realizadas tentativas de correlacionar dados de precipitação de 48h com a precipitação dos dias antecedentes (dias antecedentes contados a partir de 2 dias anteriores ao escorregamento). Foram testadas relações de precipitação de 4, 5 e 7 dias antecedentes x 48h. Os gráficos apresentaram grande dispersão quando considerados todos os 30 casos de escorregamento. Ao proceder-se à separação das áreas cristalinas e sedimentares, o gráfico de 5 dias mostrou melhor separação dos eventos com e sem escorregamento. A Figura 30 mostra o gráfico e a equação ajustada pelo método dos mínimos quadrados.

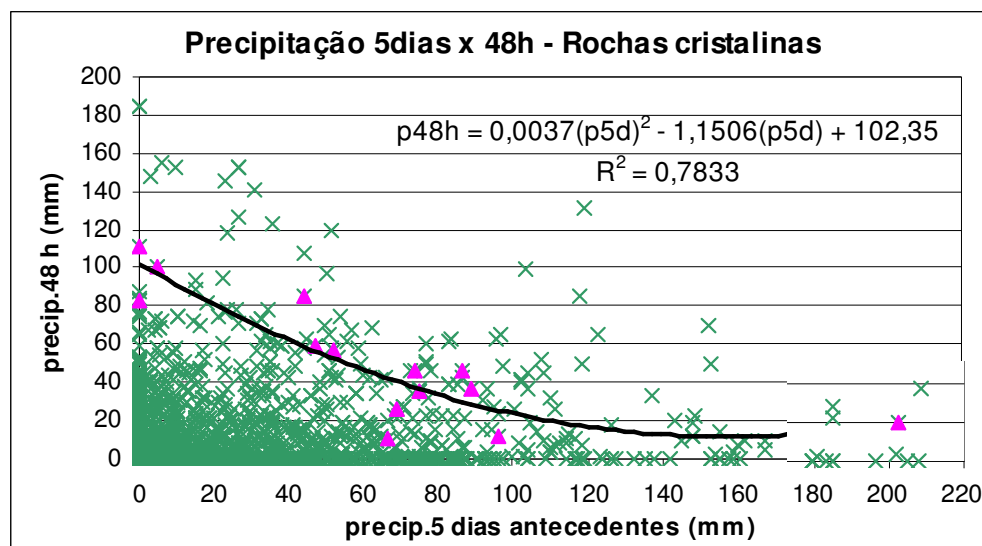


Figura 30 – Gráfico de precipitação acumulada de 5 dias antecedentes x 48h para casos em áreas de rochas cristalinas. (cruz corresponde a dados diários de precipitação; triângulo indica os dias com escorregamento; a curva representa a equação ajustada aos pontos com escorregamento).

A equação polinomial foi aquela que apresentou melhor ajuste aos pontos correspondentes aos eventos de escorregamento:

$$p_{48h} = 0,0037(p_{5d})^2 - 1,1506(p_{5d}) + 102,35$$

$$R^2 = 0,7833$$

onde p_{48h} = precipitação acumulada em 48 horas (mm)

p_{5d} = precipitação acumulada nos 5 dias antecedentes a 2 dias do escorregamento (mm)

R^2 = coeficiente de determinação da curva

O coeficiente de ajuste (R^2) de 0,7833 indica um ajuste ligeiramente superior àquele encontrado entre a precipitação de 6 dias e de 24 horas. Cerca de 78% da variação dos valores de precipitação acumulada de 48 horas são explicados pela variação dos valores de precipitação de 5 dias.

Conforme mostra a Figura 30, totais pluviométricos de 103 mm podem ocasionar escorregamentos mesmo sem registro de chuva nos dias antecedentes. Conforme a precipitação se acumula ao longo dos dias, a saturação progressiva do solo reduz a quantidade de chuva necessária para que o escorregamento ocorra. Para totais superiores a 150 mm em 5 dias antecedentes, a quantidade de precipitação em 48 h para a ocorrência do processo se estabiliza em torno dos 15 mm.

A obtenção da relação da precipitação de 6 dias x 24h e de 5 dias x 48h como melhores indicadores da avaliação de risco de escorregamento corroboram os resultados obtidos dos gráficos de dispersão, os quais apontaram a importância da precipitação dos últimos 7 dias no monitoramento e previsão de escorregamentos em Campinas.

Vale ressaltar que por tratar-se de um resultado empírico, a qualidade da aplicação das equações é altamente dependente do tamanho da amostra dos dados utilizados. Por esta razão, é recomendável realizar freqüentes atualizações, inserindo-se novos casos de escorregamento e ampliando a amostra de dados a cada estação chuvosa.

Devido ao fato dos casos de escorregamento terem sido levantados a partir das ocorrências da Defesa Civil, elas correspondem basicamente a eventos em áreas ocupadas. Desta forma, os resultados empíricos que relacionam a precipitação e os escorregamentos podem estar mais relacionados a processos induzidos do que a naturais.

10 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação dos aspectos meteorológicos mais favoráveis à ocorrência de escorregamentos permite um ganho de previsibilidade deste tipo de acidente. Os sistemas meteorológicos possuem padrões de circulação atmosférica bem conhecidos dentro da climatologia dinâmica regional, que podem ser previstos pelos modelos numéricos com vários dias de antecedência. Da mesma forma, a investigação da relação entre a precipitação e os processos de escorregamento em uma região fornece critérios objetivos para a avaliação de riscos.

Apesar do grande número de fatores e agentes condicionantes influenciar os processos de escorregamentos, é possível estabelecer-se relações numéricas a partir de uma única variável, a precipitação, as quais dão indicação da probabilidade da ocorrência de movimentações de solo ou de rocha. A investigação destas relações numéricas por meio da retroanálise de eventos passados de escorregamentos é uma técnica amplamente utilizada na problemática de previsão deste tipo de acidente. No entanto, devido à complexidade de fatores físicos que atuam no processo e à variabilidade climática e geomorfológica existente de uma região para outra, os resultados obtidos mostram-se aplicáveis a nível local, sendo recomendáveis atualizações a cada estação chuvosa.

O roteiro de investigação dos aspectos meteorológicos associados aos escorregamento proposto nesta pesquisa, apresenta de forma ordenada os procedimentos para: o levantamento das ocorrências de escorregamentos e das informações meteorológicas; o diagnóstico dos sistemas meteorológicos relacionados aos escorregamentos; e a análise da relação numérica entre a precipitação e os escorregamentos. Este roteiro poderá contribuir para o aprimoramento dos sistemas de monitoramento e prevenção de escorregamentos em várias partes do Brasil que ainda não dispõem de estudos desta natureza.

A aplicação do roteiro na área-piloto de Campinas (SP), proporcionou um importante teste para a elaboração do método de investigação dos aspectos meteorológicos e os escorregamentos.

A existência do Banco de Registro de Ocorrências em forma digital pela Comissão Municipal de Defesa Civil de Campinas contribuiu para agilidade da pesquisa de eventos de escorregamentos no município. A descrição técnica de cada ocorrência também foi importante para a filtragem de eventos não relacionados diretamente à precipitação. No entanto, a ausência de informações sobre o horário das ocorrências inviabilizou a aplicação de alguns métodos de correlação entre a intensidade da precipitação e os escorregamentos, tais como o de Tatizana *et al.* (1987b) e Kay e Chen (1995).

Testes de correlação utilizando-se dados diários de precipitação mostraram a importância da análise da chuva dos últimos 7 dias no monitoramento e previsão de riscos de escorregamento em Campinas. A análise separada dos casos de acordo com as características geológicas do terreno mostrou resultados significativos para áreas de rochas cristalinas, onde a possibilidade de escorregamento parece ser maior a partir de totais pluviométricos de 78 mm acumulados em 7 dias. A investigação dos eventos em áreas de rochas cristalinas também permitiu a determinação de relações numéricas entre a precipitação de 6 dias x 24h e a precipitação de 5 dias x 48h. A investigação de casos em áreas de rochas sedimentares, mostrou-se pouco conclusiva, possivelmente pelo fato de muitos dos eventos desta amostra estarem localizados em planícies aluviais, locais favoráveis a processos de outra natureza, como a erosão e o solapamento de margem.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) mostrou ser o sistema atmosférico mais favorável à ocorrência de escorregamentos em Campinas. Este resultado concorda com estudos observacionais que mostram que a ZCAS também está relacionada ao aumento de registros de

escorregamentos em outras partes do Estado de São Paulo, assim como em Minas Gerais e no Rio de Janeiro, dentre outros.

Neste sentido, um estudo mais aprofundado das forçantes dinâmicas dos eventos de ZCAS associados a escorregamentos poderá gerar maior conhecimento de outros fatores meteorológicos importantes na previsão de risco de escorregamentos, tais como a Oscilação de Madden Julian (explicado no item 6.3.6). A análise da relação entre os escorregamentos e a umidade do solo também pode mostrar-se um caminho investigativo para trabalhos futuros.

Há necessidade de intensificar e estender este estudo entre os aspectos meteorológicos e os escorregamentos, principalmente nas áreas de maior risco, nos grandes centros urbanos do país. A implementação conjunta das relações numéricas de avaliação de risco de escorregamento por meio da precipitação, e os prognósticos de modelos de previsão do tempo, podem elevar sensivelmente o grau de previsibilidade operacional do processo por parte da Defesa Civil.

REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M.M. et al. Manual de ocupação de morros da Região Metropolitana de Recife. Recife: Fundação de Desenvolvimento Municipal (Recife), 2003. 384p. Disponível em: <<http://www.proventionconsortium.org/toolkit.htm>>. Acesso em 10.mai. 2004.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS,1.,1992, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ, 1992. v.2, p.721-33.

AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE/IPT,1995. cap.3.4, p.77-100.

AUGUSTO FILHO, O. Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para implantação de seguros em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatuba (SP). Rio Claro, 2001. 196f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

BITTENCOURT D.P. Mini curso de previsão e monitoramento de tempo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília, DF. Anais...Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. 1 CD-ROM.

BLANCO, C.M.R, MASSAMBANI,O. Intensificação orográfica e sua relação com escorregamentos de encostas: o caso de janeiro de 1998. Tópicos de Hidrometeorologia no Brasil. Disponível em: <<http://hidroweb.anell.gov.br/doc/topicos/topicos/oral4.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2003.

BOZZANO F.; FLORIS, M.; POLEMIO, M. Rainfall as triggering factor of slope movements in southern Italy: Montalbano Ionico case record. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 8.,. 1998, Vancouver. Proceedings...Balkema Rotterdam, 1998. p.1889-96,

BRAND, E.W. et al. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 4., 1984. Proceedings...Toronto: [s.n.], 1984. v.1, p.377-84.

CARVALHO, C.S. Estudo da infiltração em encostas de solos insaturados na Serra do Mar. São Paulo, 1989. 112f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

CASARIN, D.P.; KOUSKY, V.E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.1, p.83-90, 1986.

CAVALCANTI, I.F.A. Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais. São José dos Campos: INPE, 1982. 113p. (Relatório técnico)

CERRI, L.E.S. Análise de riscos geológicos em planos de defesa civil. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Curso de geologia de engenharia aplicada a problemas ambientais. São Paulo: DIGEM/AGAMA, 1992a. p.233-54.

CERRI, L.E.S. Prevenção e controle de acidentes geológicos urbanos associados à escorregamentos no Brasil: proposições técnicas fundamentadas na realidade sócio-econômica brasileira. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2, 1992, Pereira. Anais...Pereira, Colômbia: CARDER/INGEOMINAS/EAFIT/ AGID/ IUGS/IAEG/ONAD, 1992b.

CERRI, L.E.S. Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes. Rio Claro, 1993. 197f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

CONFORTE, J.C. Um estudo de complexos convectivos de mesoescala sobre a América do Sul. São José dos Campos, 1997. 140f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

COHEN, J.C.P.; SILVA DIAS, M.A.F.; NOBRE, C.A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. Climanálise Boletim de Monitoramento e Análise Climática, Cachoeira Paulista: INPE/CPTEC, v. 4, p.34-40, 1989.

COROMINAS, J.; MOYA, J.; HÜRLIMANN, M. Landslide rainfall triggers in the Spanish Eastern Pyrenees. Disponível em: <<http://www.cosis.net/abstracts/PLC04/00034/PLC04-A-00034.pdf>>. Acesso em: 13. maio 2004.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - DAEE. Banco de dados pluviográficos do Estado de São Paulo (atualizados até 1998). São Paulo: FCTH, 2000. 1 CD-ROM.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER. Aspectos do meio físico, biótico e antrópico das diversas regiões do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/mambiente/fichascap4.pdf>>. Acesso em 11 abr. 2003.

ELBACHÁ, A.T., CAMPOS, L.E.P.; BAHIA, R.F.C. Tentativa de correlação entre precipitação e escorregamentos na cidade de Salvador. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro, RJ. Anais...Rio de Janeiro: ABMS, 1992. p.647-56.

EVANGELISTA, S.R.M. et al. Agroclima – Sistema de monitoramento agroclimático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2003, Santa Maria, RS. Anais...Santa Maria: SBAGRO, 2003. p.603-5. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: 20 jul. 2004.

FEIJÓ, L.F.; PAES, N.M.; D'ORSI, R.N. Chuvas e movimentos de massa no município do Rio de Janeiro. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 3, 2001, Rio de Janeiro, RJ. Anais...Rio de Janeiro: ABMS, 2002. p.223-30.

FUKUOKA, M. Landslides associated with rainfall. Geotechnical Engineering, Bangkok, v.2, p.1-29, 1980.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA - FUNCEME - Sistemas meteorológicos causadores de chuvas no Nordeste do Brasil. Fortaleza: FUNCEME, 2002. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 20 abr. 2004.

GAN, M.A.; RAO, V.B. Surface cyclogenesis over South América. Monthly Weather Review, Boston, v.19, n.5, p.1293-1302, 1991.

GANDU, A.W.; SILVA DIAS, P.L. Impact of heat sources on the south american troposphere upper circulation and subsidence. Journal of Geophysical Research, USA, v. 103-D6, p. 6001-15, 1998.

GEO-RIO FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA. Manual técnico das encostas: análise e investigação. Rio de Janeiro: GEO-RIO, 2000. v.1, 253p.

GUIDICINI, G; NIEBLE, C. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 1976. 170p.

GUIDICINI, G.; IWASA, O.Y. Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. Bulletin International Association Engineering Geology, Krefeld, v.16, p.13-20, 1977.

HASTENRATH,S.; LAMB, P. Climate atlas for the tropical Atlantic and eastern Pacific oceans. [S.I.]: University of Wiscosin Press, 1977. 177p.

HJELMFELT, M. Flash floods associated with convective storms. In: PIELKE JR, R. (Ed.). Storms. Londres: Routledge Tayler/Francis Group, 1999. v.1, p. 80-101.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Consulta a Homepage. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 jul.2004.

IDE, F.S.; MACEDO, E.S. Sistemas meteorológicos associados a escorregamentos com vítimas fatais no Estado de São Paulo no período de 1996 a 2004. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, 2004, Florianópolis,SC. Anais...Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. 1 CD-ROM.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 517p. (Special Report of IPCC Working Group II)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Banco de acidentes com vitimais fatais associados a escorregamentos. São Paulo: IPT, 2005. 1 CD-ROM.

KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American Meteorological Society, Easton, v.77, n.3, p. 437-71, Mar. 1996.

KANAMITSU, M. et al. NCEP-DOE AMIP III Reanalysis (R-2). Bulletin of the American Meteorological Society, Easton, p.1631-43, Nov. 2002. Disponível em:<<http://fpcluster.ccit.arizona.edu/khirschboeck/dendro/PDFs.04/kanamitsu2002.pdf>>. Acesso em: 20 jul.2004.

KAY, J.N.; CHEN, T. Rainfall-landslide relationship for Hong Kong. Proc. ICE. Geotechnical Engineering, Bangkok, v.113, p.117-18, Apr. 1995.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.7, p.593-602, 1992.

KAYANO, M.T.; FERREIRA, N.J.; RAMIREZ, M.C.V. Summer circulation patterns related to the upper tropospheric vortices over the tropical South Atlantic. Meteorology and Atmospheric Physics, Wien, v.64, n.3/4, p.203-13, Sept. 1997.

KOUSKY, V.E. Frontal influences on northeast Brazil. Monthly Weather Review, Boston, v.107, n.9, p.1140-53, 1979.

KOUSKY, V.E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American Sector. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.3, p.21-31, 1988.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclone vortices in the tropical South Atlantic. Tellus, v.33, p.538-51, 1981.

LEITE, E.A. Perspectiva da Meteorologia no Brasil. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v.25, n.2, p.39-41, ago, 2001.

LEMOS, C.F.; CALBETE, N.O. Sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil (período 1987-1995). In: Climanálise Edição Especial Comemorativa 10 anos. São José dos Campos: Publicação INPE, 1996.

LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO, L.M.V. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the State of São Paulo, Brazil. Journal of Climate, Boston, v.14, p.208-18, 2001.

LOURENÇO, M.C.M.; FERREIRA, N.J.; GAN, M.A. Vórtices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical. In: Climanálise Edição Especial Comemorativa 10 anos. São José dos Campos: Publicação INPE, 1996.

LUMB, P. Slope failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, v.8, p.31-35, 1975.

MACHADO, L.A.T.; GUEDES, R.L.; ALVES, M.A.S. Características estruturais de sistemas convectivos e forçantes da convecção na América do Sul, observados por satélite. In: Climanálise Edição Especial Comemorativa 10 anos. São José dos Campos: Publicação INPE, 1996.

MACEDO, E.S. Elaboração de cadastro de risco iminente relacionado a escorregamentos: avaliação considerando experiência profissional, formação acadêmica e subjetividade. Rio Claro, 2001. Tese (Doutorado) – Departamento de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

MACEDO, E.S.; ALBERTO, M.C., SALLES, E.R. Informatização do cadastro de acidentes de escorregamento com vítimas fatais ocorridos no Brasil, no período de 1988 a 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9, 1999, São Pedro, SP. Anais...São Paulo: ABGE, 1999. 1CD-ROM.

MACEDO, E.S.; AUGUSTO FILHO, O. Gerenciamento de riscos geológicos: uma resenha da base técnica utilizada pela divisão de geologia do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. São Paulo: IPT, 2002. (Publicação IPT 2790)

MADDOX, R.A. Meso-scale convective complexes. Bulletin of the American Meteorological Society, Easton, v.61, p.1374-87, 1980.

MASTER – LABORATÓRIO DE METEOROLOGÍA APLICADA A SISTEMAS DE TEMPO REGIONAIS. Tópicos de ensino de meteorologia sinótica. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br>>. Acesso em: 10 set. 2004.

MENA, F.; IAVELBERG, C. Deslizamentos matam 9 em São Bernardo. Folha de São Paulo, São Paulo, 13 jan. 2004. p.C1

MENEZES, W.I. et al. Estudo do ambiente favorável à propagação de sistemas convectivos de mesoescala sobre o município do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro, RJ. Anais...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. 1CD-ROM.

MOTA, G.V. Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro. São Paulo, 1997. 93f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto Astronomico Geofisico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

NOBRE, C.A et al. Monitoramento climático. In: O Estado das águas no Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/texto/169-174.html>>. Acesso em: 20 jul. 2004.

NOGUEIRA, F.R. Políticas públicas municipais para gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos em áreas de ocupação subnormal. Rio Claro, 2002. 256f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

NUNES, L.H. Distribuição espaço-temporal da pluviosidade no Estado de São Paulo: variabilidade, tendências, processos intervenientes. São Paulo, 1997. 192f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OGURA, A. T.; MACEDO, E.S. Procesos y riesgos geologicos. In: CURSO INTERNACIONAL DE ASPECTOS GEOLÓGICOS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 3., 2000, Campinas, SP. Notas...Montevideo: Escritório Regional de Ciência da UNESCO para América Latina e Caribe, 2002. p.124-47.

OLIVEIRA, A.S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia. São José dos Campos, 1986. Dissertação

(Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS. Uma visão estratégica da cidade. Disponível em: <<http://www.campinas.sp.gov.br>>. Acesso em: 19. jul. 2004.

PICHLER, E. Aspectos Geológicos dos escorregamentos de Santos. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v.6, n.2, p.69-77, set., 1957.

QUADRO, M.L. et al. Climatologia de precipitação e temperatura no período de 1986 a 1996. In: Climanálise - Boletim de monitoramento e análise climática. São José dos Campos:INPE/MCT, 1996. 235p. (Edição especial)

QUADRO, M.F.L. Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. São José dos Campos, 1994. 97f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

RAYKOWISKI, J.A.S.A. Acumulações extremas de precipitação em São Paulo no período de 1975-1980: estudo sinótico de casos individuais. São Paulo, 1983. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

SAKURAGY, J. Sondagens TOVS: impacto na análise sinótica entre 18 e 19 de março de 1991 na Região Sul e Sudeste do Brasil. São José dos Campos:INPE, 1992. (INPE- 5497/TDI/512).

SANTORO, J. Análise da ocorrência de processos erosivos no município de Campinas (SP), a partir da interação entre a suscetibilidade natural à erosão hídrica e o uso e ocupação do solo. Rio Claro , 2000. 142f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

SANTORO, J.; MACEDO, E.S. O Plano Preventivo de Defesa Civil - PPDC - Específico para Escorregamentos. São Paulo:IPT, 2000. Disponível em:<<http://www.defesacivil.sp.gov.br>>. Acesso em: 22 jul. 2004.

SATYAMURTY, P. et al. Campos diagnósticos associados ao episódio de chuvas fortes na Região da Serra da Mantiqueira do começo do ano 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro, RJ. Anais...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. 1CD-ROM.

SAUCIER, W.J. Princípios de análise meteorológica. Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1969. 462 p.

SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL- SEDEC. Codificação de desastres, ameaças e riscos – CODAR. Disponível em:<<http://www.defesacivil.gov.br/codar.doc>>. Acesso em 20 set. 2004.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. BHBRASIL – Balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras. Disponível em: <<http://ce.esalq.usp.br/nurma.htm>>. Acesso em 20 dez.2002.

SILVA DIAS, M.A.F. Storms in Brazil. In: PIELKE JR, R. (Ed.). Storms. Londres: Routledge Tayer/Francis Group, 1999. v.2, p. 207-219.

SILVA DIAS, M.A.F.; GRAMMELSBACHER, E. A possível ocorrência de tornado em São Paulo no dia 26 de abril de 1991: um estudo de caso. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v.6, p.1-2, 1991.

SILVA DIAS, P.L.; MARENGO, J.A. Águas atmosféricas. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA B.; TUNDISI J.G. (Org.) Águas doces no Brasil. São Paulo: Editora Escritura, 1999. p.46-51.

SIQUEIRA, J. L.; MACHADO, M.A.T. Climatologia da propagação meridional da convecção na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza, CE. Anais...Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004a. 1CD-ROM.

SIQUEIRA, J. L.; MACHADO, M.A.T. Influence of the frontal systems on the day- to-day convection variability over South America. Journal of Climate, Boston, v.17, p.1754-66, 2004b.

SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. Precipitação climatológica pentadal sobre o Brasil e os mecanismos atmosféricos associados: resultados preliminares.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu, PR. Anais...Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002. 1CD-ROM.

TATIZANA,C. et al. Análise da correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA,5, 1987a, São Paulo, SP. Anais...São Paulo:ABGE, 1987a. v.2, p.225-236.

TATIZANA,C. et al. Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., 1987, São Paulo,SP. Anais...São Paulo:ABGE, 1987b. v.2, p.237-248.

TERZAGHI, K. Mechanism of landslides. In: Application of Geology Engineering Practice. Baltimore: Geological Society of America, 1950.

TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS:ABRH, 2001. 942p.

TURNER, B.L.; NIELSEN, T.H. Influence of rainfall and ancient landslides deposits on recent landslides. Geological Survey Bulletin, Washington, n.1388, 1975. 18p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. Real time monitoring of active landslides. Disponível em: <http://geohazards.cr.usgs.gov/factsheets/FS091_99.pdf>. Acesso em 24. out. 2003.

UVO,C.R.B.; NOBRE,C.A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. Climanálise, São José dos Campos, v.4, n.7, p.34, 1989.

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

VIEIRA, R. Um olhar sobre a paisagem e o lugar como expressão do comportamento frente ao risco de deslizamento. 2004. 197f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change. Copenhagen: WHO, 2003. (Série Health and Global Environmental Change)

WIECKZOREK, G.; McWEATH, H.; DAVENPORT, C. Remote rainfall sensing for landslide hazard analysis. Disponível em: <<http://www.copernicus.org/EGS/topconf/plc3/abstracts/p3c003.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2004.

WOLKE, V. Poluição afeta mais os pobres. Correio Braziliense, Brasília, 6 fev.2003. Disponível em <<http://www.correio braziliense.com.br>>. Acesso em: 15 abr. 2003.

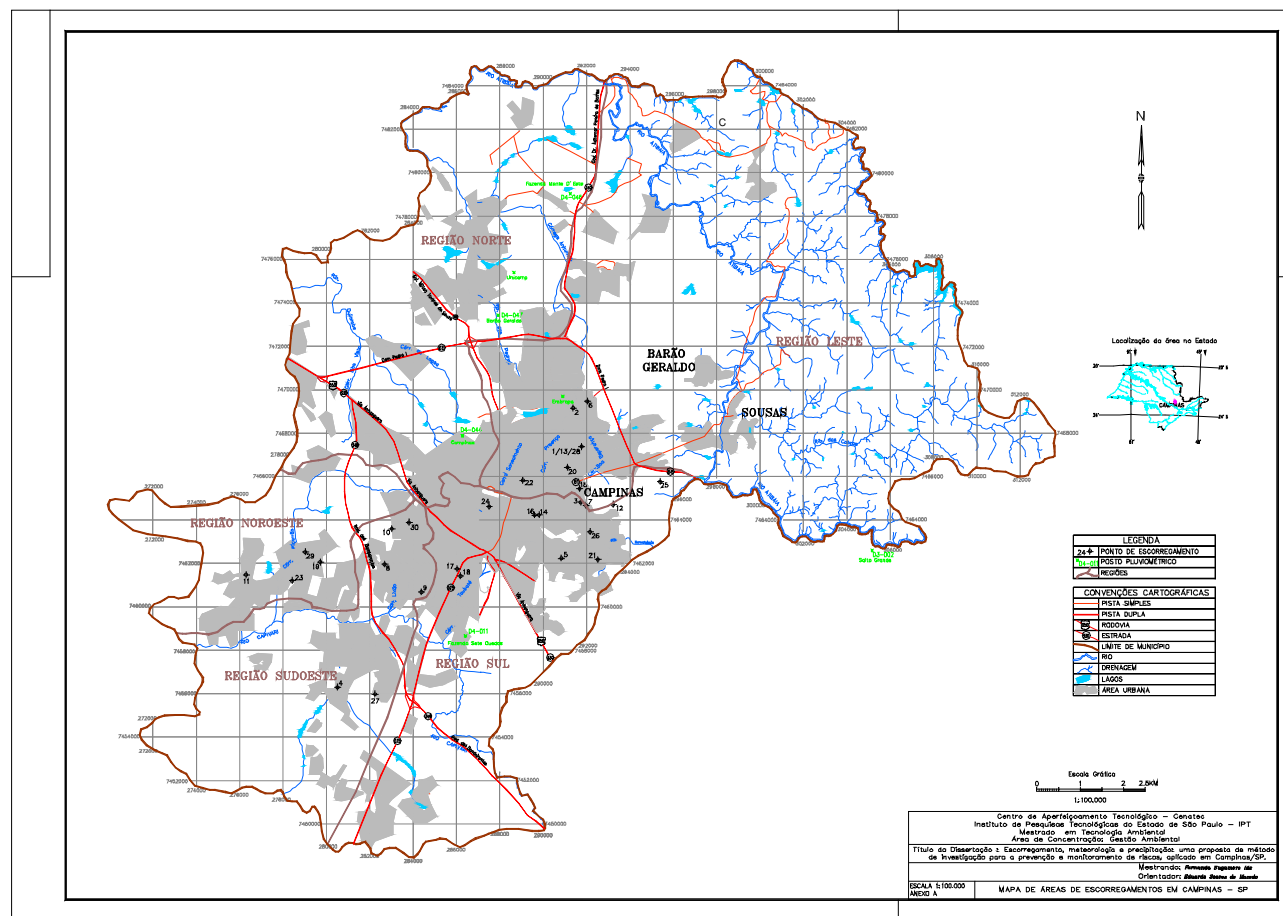
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. Definitions of meteorological forecasting ranges. Disponível em: <<http://www.wmo.int/web/www/DPS/GDPS-Supplement5-Appl-4.html>>. Acesso em: 13 janeiro 2005.

XAVIER, H. Percepção geográfica dos deslizamentos de encostas em áreas de risco no município de Belo Horizonte, MG. Rio Claro, 1996. 222f. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

ZÊZERE, J.L.; RODRIGUES, M.L.; FERREIRA, A.B. Recent landslide activity in relation to rainfall in the Lisbon region (Portugal). Geophysical Research Abstracts, v.5, 2003.

ANEXO A

MAPA DE ÁREAS DE ESCORREGAMENTO EM CAMPINAS - SP



ANEXO B

TABELA DE ESCORREGAMENTOS EM CAMPINAS -SP

Nº	DATA	CODAR	LOCAL	BAIRRO	ZONA	DESCRIÇÃO	PROV	SISTEMA
1	16-Jan-97	NIGDZ	RUA 03 Nº 22	J. FLAMBOYANT	LESTE	BARRANCO	solicita apoio em área de risco onde houve um deslizamento de terra, colocando 04 famílias em risco.	FF C/VCAN
2	27-Jan-97	NIGDZ	R. ENEDINA DE OLIVEIRA BRAZ, 50	J. STA EUDOXIA	SUL	TRATA-SE DE UM POSTINHO LOCALIZADO SOBRE UM BARRANÇO, O QUAL ESTÁ DESBARRANCANDO, COLOCANDO BARRACO EM RISCO. OBS. NO LOCAL RESIDE UMA SENHORA E 6 CRIANÇAS.		ZCAS
3	28-Jan-97	NIGDZ	RUA CENTRAL - VIELA 31 Nº 288 J	J. PARANAPANEMA	SUL	BARRANCO DESMORONOU E DERRUBOU MURO DA SOLICITANTE. TEME NOVO DESMORONAMENTO.		ZCAS
4	18-Feb-97	NIGDZ	RUA 29 Nº 117	V. AEROPORTO	SUDOESTE	SOLICITANTE INFORMA DESLIZAMENTO DE BARRANCO NA RUA 28, PODENDO VIR A AFETAR A RESIDENCIA.(DEVIDO A FORTES CHUVAS)	C.R. 12 AS 16:10HS. SERVIÇO SOCIAL	ZCAS
5	04-Mar-98	HTCDH	RUA CYNIRA ARRUDA VALENTE Nº 1.057	J. DAS OLIVEIRAS	SUL	SUB-HABITAÇÃO C/ RISCO DE QUEDA; MEIO METRO DO BARRANCO, MORAM NO LOCAL 05 PESSOAS, SENDO 04 CRIANÇAS.	DC - ZENON E FEIJÓ	FF
6	05-Dec-98	NIGDZ	RUA CARLOS GRIMALDIS/N	V. 31 DE MARCO	LESTE	DESLIZAMENTO DE TERRA DEIXANDO ESCORREGADIA A PISTA C/ RISCO DE ACIDENTES.	CCO/ RICARDO/DESP	FF C/VCAN
7	06-Jan-99	NIGDZ	RUA FRANCISCO COELHO Nº 70	V. UNIÃO	SUDOESTE	DESLIZAMENTO DE TERRA C// RISCO DE ATINGIR RESIDENCIA.(BARRANCO DE 4M ESTA COM VARIOS PONTOS DE DESLIZAMENTO. ORIENTAÇÃO PARA CONSTRUIR MURO DE ARRIMO)	DC - ROBERTO / ROMEIRO	ZCAS
8	06-Jan-99	NIGDZ	RUA PAULO CAMARGO MORAES, 107	J. N. CAMPOS ELISEOS	SUDOESTE	AREA DA RESIDENCIA DESMORONOU E O DESBARRANCAMENTO JA ATINGIU O ALICERCE DA MESMA.(BARRACO VEIO ADESLIZAR , COLOCANDO EM RISCO EMINENTE A SUB-HABITAÇÃO DA VIELA)	DC/GEREMIAS/ MARIO	ZCAS
9	06-Jan-99	NIGDZ	RUA CAMINHO DA NOSSA LUTA, 119	FAV JD LONDRES	SUDOESTE	DESBARRANCAMENTO PROXIMO AO POSTE DA CPFL, C/ RISCO DE QUEDA SEBRE AS RESIDENCIAS.	DC/CPFL ISAC 17:03 H. PEDIDO 1180840.	ZCAS
10	06-Jan-99	NIGDZ	RUA CENTRAL Nº 112	FAV PARANAPANEMA	SUL	CASA C/ RISCO DE DESABAMENTO, DEVIDO DESLIZAMENTO DE BARRANCO. COLOCANDO POSTINHO DA RESIDENCIA EM RISCO.(DC CONSTATOU QUE DEVIDO A CHUVAS FORTES ESTÁ OCORRENDO MOVIMENTAÇÃO DE SOLO COLOCANDO EM RISCO CAIXA DE RELÓGIO,MEDIDOR DE ENERGIA E PONTE)	DC - MARIO / ROMEIRO	ZCAS
11	11-Jan-99	NIGDZ	RUA PROF. FLAVIO WESTEMBERG Nº 15	J. TAMOIO	SUL	DESMORONAMENTO DE BARRANCO COLOCANDO RESIDENCIA DA SOLICITANTE EM RISCO.OBS: NAO AFETOU A RESIDENCIA SOLICITADA	DC/ENGº MARCOS/AMAUURI	ZCAS
12	12-Jan-99	NIGDZ	RUA 28 Nº 623	J. ITATIAIA	SUL	DESMORONAMENTO DE BARRANCO DEIXA + OU - 5 BARRACOS COM RISCO DE DESABAMENTO.	DC/ENGº GERSON/NETO	ZCAS
13	13-Jan-99	HTCDH	RUA 03 Nº 120	J. FLAMBOYANT	LESTE	DESBARRANCAMENTO PROXIMO SUA RESIDENCIA, PODE PROVIDENCIAS TEMENDO ALGUM ACIDENTE.	DC/AMAUURI/ENGº ROMEIRO	ZCAS
14	16-Jan-99	NIGDZ	AV. ANGELO SIMÕES Nº 08	PONTE PRETA	SUL	DESLIZAMENTO DE BARRANCO NA LINHA FERREA.	FEPASA - SILVIO AS 17:43HS.	ZCAS

15	17-Jan-99	NIGDZ	RUA SALIM FERES C/ ALDEMAR BOLDRINI	J STA. MARCELINA	LESTE	DESLIZAMENTO DE TERRA PONDO EM RISCO DE LEVAR TUBULAÇÕES ONDE HA PASSAGEM DE VEICULOS.	LAERCIO CLAUDINE ÀS 11:55HS. - NÃO ESTAVA EM CASA.	ZCAS
16	26-Jan-99	NIGDZ	RUA HENRIQUE DIAS Nº 5	PONTE PRETA	SUL	TALUDE DA LINHA FERREA ESTA C/ RISCO DE ELIZAMENTO.(RESIDENCIA PROX. A VIA FERREA DA FEPASA SOBRE TALUDE DE 8M DE ALTURA, ONDE OCORRERAM DESLIZAMENTOS DE TERRA)	DC - GERSON	ZCAS
17	30-Jan-99	NIGDZ	RUA MARCELINO PASCHOAL Nº 14	J. DO LAGO	SUL	DESMORONAMENTO DE BARRANCO JA INTERDITADO PELA DC. SEGUNDO SOLICITANTE, EM CIMA DO MESMO HA UM BARRACO ONDE A FAMILIA PERMANECE, PODENDO VIR A DESABAR.(BARRANCO EM RISCO PELA FORTE CHUVA)	DC - MARIO / ROBERTO	FF C/ VCAN
18	31-Jan-99	NIGDZ	RUA 23 TRAVESSA 02 Nº 532	J. DO LAGO	SUL	DESLIZAMENTO DE BARRANCO, COLOCANDO EM RISCO RESIDENCIA.(BARRANCO DESLIZOU AFETANDO ALICERCE DA CASA)	DC - ALEX / GEREMIAS ENC. COORD. HABITAÇÃO	FF C/ VCAN
19	26-Feb-99	NIGDZ	RUA 6-A Nº 317	J. IEDA	SUDOESTE	DESBARRANCAMENTO DO QUINTAL DA SOLICITANTE	DC - AMAURI	ZCAS
20	01-Jan-00	NIGDZ	RUA JOÃO ALVES DOS SONHOS, 1250	J. DAS PAINEIRAS	LESTE	SOLICITANTE INFORMA DESLIZAMENTO DE BARRANCO DE UM TERRENO BALDIO ATINGINDO VIA PUBLICA, OBSTRUINDO TRANSITO. PEDE REMOÇÃO DA TERRA.	ENGº PEDRO DESP	ZCAS
21	11-Jan-00	NIGDZ	RUA ENGº AUGUSTO FIGUEIREDO Nº 2220	J. BOM SUCESO	SUL	DESLIZAMENTO DE TERRA COM RISCO DE QUEDA DE RESIDÊNCIA (QUEDA DE MURO DE ARRIMO QUE SUSTENTE BARRANCO DE+ - 4M NA QUAL HOVE DESLIZAMENTO-TENDENCIA A NOVOS DESLIZAMENTOS)	DC/DOQUE/VALMIR/AR 09 VALDOMIRO 12/01	FF C/ VCAN
22	30-Nov-01	NIGDZ	AV. ANCHIETA Nº 200 - CAMARA	CENTRO	LESTE	DESLIZAMENTO DE TERRA, COLOCANDO RES. EM RISCO.	TRATA-SE DE PEDIDO DE DOAÇÃO P/ MURO DE ARRIMO.	FF C/ VCAN
23	15-Jan-02	NIGDZ	RUA 148 Nº30	J. FLORENCE	NOROESTE	RESIDÊNCIA EM RISCO DE QUEDA.(BARRANCO DESLIZOU)	Laerte e Antônio dos Santos DC-dia 16/01 eng. Romeiro/William SEHAB E COORDENADORA.	FF
24	29-Jan-02	NIGDZ	RUA PASTOR CICERO C. LIMA Nº 401	PQ ITALIA	SUL	DESLIZAMENTO DE BARRANCO, PODENDO ATINGIR RESIDENCIA.	DC – CARLOS COHAB-WILIAN SERV.SOCIAL - CELIA	FF
25	11-Jan-03	HTC	RUA PROF. DEA E. DE CARVALHO, 300- CASA 2	CH GRAMA DO	LESTE	DESLIZAMENTO DE TERRA.(RESIDÊNCIA INVADIDA POR GRANDE QUANTIDADE DE LAMA)		FF
26	16-Jan-03	HTCDH	RUA PAULO DECOURT, 429	J. CARLOS LOURENCO	SUL	QUEDA DE PAREDE, MURO, BARRANCO		ZCAS
27	24-Jan-03	HTCDH	AV. 02 Nº 31 QUADRA 02	LAGO II	NOROESTE	QUEDA DE BARRANCO E MURO.(DESLIZAMENTO)	DC - VALDOMIRO / LAUDETTE	FF
28	28-Jan-03	NIGDZ	RUA 03 Nº 112	J FLAMBOYANT	LESTE	CASA C/ RISCO DEVIDO DESMORONAMENTO DE BARRANCO	DC - AMAURI / MARIO ENC. SEHAB / HABITAÇÃO P/ REMOÇÃO	ZCAS
29	27-Nov-03	HTCDH	RUA APARECIDA CANDIDO SILVA	B CD SATELITE IRIS	NOROESTE	DESBARRANCAMENTO DE BARRANCO, CAUSANDO RACHADURAS NAS PAREDES DO IMOVEL.(DEVIDO A CHUVA)	DC - MARIO / ISRAEL ENC. HABITAÇÃO.	FF
30	28-Jan-04	HTCDH	RUA PASSAGEM DA SE Nº 90	FAV JD LONDRES	SUDOESTE	BARRANCO DESABANDO PODENDO ATINGIR O MURO QUE JA ESTA C/ TRINCAS LARGAS, ALEM DE EROSAO NA RUA.	DC - DOQUE / ISRAEL	ZCAS

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)