UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

Departamento de Geografia

Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

Fabrizio de Luiz Rosito Listo

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO GRAU
DE RISCO A ESCORREGAMENTOS RASOS NA
BACIA DO ALTO ARICANDUVA, RMSP (SP)**

São Paulo
2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

Departamento de Geografia

Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

Fabrizio de Luiz Rosito Listo

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO GRAU DE RISCO A ESCORREGAMENTOS RASOS NA BACIA DO ALTO ARICANDUVA, RMSP (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Departamento de Geografia da
Faculdade de Filosofia, Letras e
Ciências Humanas da Universidade
de São Paulo como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Bianca Carvalho Vieira
Área de concentração: Geografia Física
Linha de pesquisa: Estudos interdisciplinares em
Pedologia e Geomorfologia
Agência Financiadora: FAPESP

São Paulo
2011

ILUSTRAÇÃO DA CAPA: Encosta ocupada por assentamentos urbanos precários na bacia do rio Limoeiro, Alto Aricanduva, RMSP (SP).

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Listo, Fabrizio de Luiz Rosito

Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP) / Fabrizio de Luiz Rosito Listo; orientadora: Bianca Carvalho Vieira - São Paulo, 2011.
151 f.; il.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1.Geomorfologia. 2.Escorregamentos rasos. 3. Mapeamento de áreas de risco. 4. Modelos matemáticos. 5. Área urbana.
I. Vieira, Bianca Carvalho. II. Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. III. Título de Mestre.

CDD 551.4

LOMBADA

FABRIZIO DE LUIZ ROSITO LISTO	Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP)		MESTRADO FFLCH\USP 2011
--	---	--	--

Fabrizio de Luiz Rosito Listo

**Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na Bacia do Alto
Aricanduva, RMSP (SP)**

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Bianca Carvalho Vieira (orientadora)

Departamento de Geografia – Universidade de São Paulo (USP)

Prof. Dr. Emerson Galvani

Departamento de Geografia – Universidade de São Paulo (USP)

Prof^a. Dr^a. Kátia Canil

Laboratório de Riscos Ambientais – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)

AGRADECIMENTOS

Embora acompanhada de alguns momentos de solidão, como naturalmente deve ser uma dissertação de Mestrado, muitas pessoas passaram neste caminho me ajudando a tecer esta pesquisa para conclusão de mais uma etapa acadêmica. Por este apoio, quero nesse momento, manifestar minha gratidão e meus agradecimentos.

Em primeiro lugar, a uma das grandes responsáveis pelo bom andamento deste projeto: minha orientadora, professora Bianca Carvalho Vieira. Uma pessoa que mesmo sem me conhecer, confiou e acreditou em mim para conclusão deste trabalho. Agradeço por sua orientação sempre presente e irrestrita, pela boa forma de conduzir seus orientandos, sobretudo, pela capacidade de amenizar e tranquilizar os momentos mais difíceis e inevitáveis desta pesquisa, pelo incentivo constante de minha formação acadêmica, por todos os seus ensinamentos e principalmente pela amizade, rodeada de muitos bons momentos. Nesse sentido, agradeço à professora Lylian Zulma Doris Coltrinari (USP), pela leitura de minha monografia de conclusão de curso e indicação da professora Bianca como possível orientadora.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa de Mestrado. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física e a Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade de São Paulo, especialmente no apoio financeiro para a participação em dois eventos científicos de grande magnitude na área de Geografia Física, onde pude apresentar resultados parciais da minha dissertação e obter diversos conselhos acadêmicos.

À professora e ex-orientadora Kátia Canil (IPT), que me despertou, ainda nos tempos de graduação, o interesse de entrar academicamente na linha de pesquisa em que se insere esta dissertação. Agradeço a ajuda constante, tanto nesta pesquisa, quanto para o ingresso na pós-graduação. Ao professor Luis Antonio Bittar Venturi (USP), pelas diversas contribuições teórico-metodológicas, quando cursei sua disciplina na pós. A ambos pelos apontamentos dados durante o exame de qualificação. Certamente foram refletidos e estão aqui expressados.

Aos membros da Defesa Civil de São Paulo que me acompanharam durante os trabalhos de campo: Sandro (subprefeitura de São Mateus), Coronel Xavier e Denise (subprefeitura de Cidade Tiradentes) e seus respectivos técnicos. Pelo mesmo motivo, agradeço a líder comunitária de São Mateus, Maria Suely. Sem a presença destas pessoas, seria muito difícil realizar os campos, etapa fundamental na execução deste projeto.

Aos amigos do grupo de estudos, Tullius, Willian, Evandro, Fabi, Rodrigo, Carol, Dani e Patrícia que sempre ajudaram e incentivaram, cada um da sua forma, diversas etapas desta pesquisa. Da mesma maneira, agradeço os momentos de lazer proporcionados por cada um, também fundamentais durante esta etapa. À colega de orientação e amiga, Cristiane Incau, que para minha sorte, desenvolveu um dos objetivos específicos desta dissertação para o desenvolvimento de seu Trabalho de Graduação Individual, contribuindo significativamente nesta etapa da pesquisa.

Às professoras do Departamento de Geografia da USP, Cleide Rodrigues, pelo auxílio na elaboração da ficha de campo e Lígia Vizeu Barroso pelas palavras de incentivo.

Aos membros do IPT: Eduardo Soares de Macedo, Marcelo Gramani, Fabrício Araujo Mirandola, Nabil Alameddine, Maria Cristina Jacinto de Almeida e Aroldo, pelas dicas, sugestões e pela disponibilização de materiais fornecidos durante a execução da dissertação.

Aos professores Nelson Ferreira Fernandes e Telma Mendes (UFRJ) e Roberto Trancoso Gomes (UNB) pelas sugestões fornecidas.

Aos amigos do Laboratório de Geomorfologia da Universidade de São Paulo (Marisa, Alex, Ket, Vivi, Breila e Juliana) pelas sugestões dadas.

Aos membros da Coordenadoria Municipal da Defesa Civil de São Paulo (COMDEC-SP), Ronaldo Malheiros Figueira e Capitão Benedito, pelas sugestões fornecidas.

Ao Departamento de Geografia da Universidade Cruzeiro do Sul, em especial à professora Vivian Fiori, pelas sugestões dadas e, sobretudo, pela oportunidade de expandir esta pesquisa para fora das fronteiras da universidade, no qual pude ministrar um curso de áreas de risco para líderes comunitários da bacia do rio Aricanduva e para os alunos de graduação do curso de Geografia da UNICSUL.

Ao Laboratório de Informática Geológica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, em especial, professores Marcelo Monteiro da Rocha e Arlei Benedito Macedo, administrador Antonio Tadashi Kikuda e alunos\monitores Sidney Schaberle Goveia e Fabricio Bau Dalmas pela oportunidade de utilizar o *software ArcGIS*, e pela ajuda dada em seus comandos.

À Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA), nos nomes de Eloisa Raymundo Holanda Rolim e Luisão pelo fornecimento de ortofotos e de mapeamentos temáticos.

Aos professores da PUC-SP, Edson Cabral e Vilma Alves Campanha, que em alguns momentos, mesmo depois de formado, deram contribuições para este projeto.

Aos meus amigos de longa data, André, Paci, Vera, Thaís, Fernanda, Susana, Cláudia, Ana Ribeiro, Ricardo e Marina por todas as ajudas, palavras de incentivo e pelos momentos de lazer.

À professora de Inglês, Nívia Marcello, que muito me ajudou com suas aulas e suas dicas a lidar melhor com o idioma, principalmente na escrita de textos científicos internacionais.

Ao geólogo e amigo Roger Abs e a sua esposa Cecília, pessoas que conheço desde a infância, pelas palavras de incentivo e pelas sugestões dadas para encarar a vida acadêmica.

Ao meu amigo Renato Queiróz, por proporcionar um sobrevôo de helicóptero e conseguir contatos importantes para os trabalhos de campo, etapas indispensáveis desta pesquisa.

À minha família, em especial, minha mãe Hortênsia, meu maior referencial de perseverança, meu irmão Thomas e meus tios e primos, sobretudo, Edi, Frederico, Fabiana, Letícia, Melina e Gustavo pelas palavras constantes de incentivo.

MUITO OBRIGADO!

“Justamente por essa ocasião vendeu-se também um sobrado que ficava à direita da venda, separado desta apenas por aquelas vinte braças; e de sorte que todo o flanco esquerdo do prédio, coisa de uns vinte e tantos metros, despejava para o terreno do vendeiro as suas nove janelas de peitoril. Comprou-o um tal Miranda, negociante português, estabelecido na rua do Hospício com uma loja de fazendas por atacado. E durante dois anos o cortiço prosperou de dia para dia, ganhando forças, socando-se de gente. E ao lado o Miranda assustava-se, inquieto com aquela exuberância brutal de vida, aterrado diante daquela floresta implacável que lhe crescia junto da casa, por debaixo das janelas, e cujas raízes piores e mais grossas do que serpentes miravam por toda parte, ameaçando rebentar o chão em torno dela, rachando o solo e abalando tudo.”

Trecho de *O Cortiço*

Aluísio Azevedo

Publicado originalmente em 1890

RESUMO

Na cidade de São Paulo, é freqüente a ocorrência de escorregamentos, causando a destruição de moradias e muitos danos econômicos com vítimas fatais e aumentando, a cada ano, o número de áreas de risco. O objetivo geral desta pesquisa é analisar o grau de risco e a suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na bacia do rio Limoeiro, localizada na cabeceira da bacia do rio Aricanduva, uma das principais da cidade de São Paulo. Especificamente, objetivava-se, identificar e analisar as principais intervenções antropogênicas (classes de uso do solo) no período 1973-2007, identificar em escala de zoneamento e caracterizar espacialmente as áreas de risco, caracterizar e analisar o papel dos parâmetros topográficos e avaliar a concordância entre o mapa de risco e o de suscetibilidade. No mapeamento de risco, foi elaborada uma ficha de campo para avaliar o grau de risco em quatro escalas: R1 (baixo risco), R2 (médio), R3 (alto) a R4 (muito alto). A análise evolutiva do uso do solo foi realizada pela interpretação de fotografias aéreas. A partir de um Modelo Digital do Terreno foram gerados os mapas de ângulo, aspecto, curvatura e área de contribuição e calculada a Frequência de Distribuição (FD), que foram correlacionados com o mapa de risco, gerando-se dois índices: Concentração de Risco (CR) e Potencial de Risco (PR). Na análise da suscetibilidade a escorregamentos foi utilizado o modelo matemático SHALSTAB (*Shallow Landsliding Stability*) e calculados os índices de FD, de CR e de PR. A última etapa consistiu numa análise conjunta entre os mapas de risco e de suscetibilidade, na qual foi verificada a concordância ou discordância em cada setor de risco. A análise evolutiva do uso do solo, mostrou uma redução de 36% de cobertura vegetal e o aumento de 23% de áreas urbanas no período 1973-2007. Foram mapeados 16 setores de risco contendo aproximadamente 1872 moradias, sendo 6 setores com grau muito alto de risco (R4). Topograficamente, as áreas mais suscetíveis foram aquelas com ângulos superiores a 16,8°, orientadas para SW, com formas côncavas e com os maiores valores de área de contribuição. O mapa de suscetibilidade apresentou 41% de áreas Estáveis e 20% de áreas Incondicionalmente Instáveis que, embora em menor proporção, apresentaram uma CR de 40% com PR de 12%. Concluiu-se que houve concordância entre as áreas previstas como instáveis pelo modelo com as áreas de risco mapeadas, acreditando-se que a combinação destes métodos possa ser aplicada na avaliação final do risco a escorregamentos em áreas urbanas, podendo subsidiar a gestão pública na definição de áreas instáveis para a ocupação.

Palavras-chave: Geomorfologia, Escorregamentos rasos, Mapeamento de áreas de risco, Modelos matemáticos, Área urbana.

ABSTRACT

In the city of São Paulo, landslides occur frequently, causing the destruction of houses and economic damage with fatalities and the number of areas threatened by landslides has been increasing each year. The general objective of this research is to analyze the probability of risk and susceptibility to shallow landslides in the Limoeiro River basin, which is located at the head of the Aricanduva River basin, one of the main in the city of São Paulo. Specifically, the objective is to identify and analyze major anthropogenic interventions (land use classes) in 1973 to 2007 period, identify scale zoning and characterize spatially the risk areas, characterize and analyze the role of topographic parameters and assess the correlation between the risk areas and susceptibility maps. To map risk areas, we created a cadastral survey form to evaluate landslide risk in the field into four levels: R1 (low risk), R2 (average risk), R3 (high risk), and R4 (very high risk). To land use evolutionary analyses, was made the aerial photographs interpretation. From a Digital Elevation Model were generated slope angle, aspect, curvature and contributing area maps and calculated the Frequency Distribution (FD), that subsequently, these maps were correlated with the risk map, generating two indexes: Risk Concentration (RC) and Risk Potential (RP). To analyze susceptibility to landslides, we used the SHALSTAB (*Shallow Landsliding Stability*) mathematical model and calculated the FD, RC and RP. The last step was a joint analysis of the risk areas and of the susceptibility maps, which was verified the agreement or disagreement on each risk sector. From the land use evolutionary analysis, there was a 36% reduction of plant cover and increase of 23% in urban areas in the period 1973-2007. We mapped 16 risk sectors containing approximately 1872 at-risk homes, with 6 sectors with very high risk degree (R4). Topographically, the most susceptible areas those located at slope angles above $16,8^{\circ}$, oriented southwest quadrant, with concave forms with the largest contributing area. In the susceptibility map, 41% of the area was classified as stable and 20% as unconditionally unstable. Although the latter category accounted a smaller proportion of the total area, it contained a RC of 40% with a RP of 12%. We found that the locations of areas predicted to be unstable coincided with the risk areas mapped and this combination of methods can be applied to evaluate the landslides risk in urban areas and can assist public managers in defining areas that are unstable for occupation.

Keywords: Geomorphology, Shallow landslides, Risk areas mapping, Mathematical models, Urban area.

LISTA DE FIGURAS

FIG.1.1: O gráfico mostra o número de vítimas fatais por acidentes de escorregamentos no Brasil, no período de 1988 a 2010.....	04
FIG.1.2: Localização da bacia hidrográfica do rio Aricanduva.....	06
FIG.1.3: Episódios de inundação na Av. Aricanduva em 2002 (A), 2009 (B) e 2010 (C) atingindo áreas marginais e equipamentos urbanos.....	07
FIG.2.1: Tipos e formas geométricas (curvatura em planta e em perfil) das encostas.....	16
FIG.2.2: Classificações de riscos.....	25
FIG.2.3: Elementos para análise de riscos.....	26
FIG.2.4: Exemplo de ficha atualizada desenvolvida e aplicada pelo IPT no mapeamento 2009-2010 em áreas de risco a escorregamentos (página 1).....	31
FIG.2.4: Exemplo de ficha atualizada desenvolvida e aplicada pelo IPT no mapeamento 2009-2010 em áreas de risco a escorregamentos (página 2).....	32
FIG.2.5: Exemplos de delimitações de setores de risco.....	33
FIG.2.6: Metodologia para elaboração de cartas de risco de escorregamentos desenvolvida por AUGUSTO FILHO (1994).....	35
FIG.2.7: Roteiro metodológico aplicado para o mapeamento de áreas de risco a erosão no Município de Franca (SP).....	36
FIG.3.1: Modelo Digital do Terreno (sombreado) da bacia do rio Aricanduva.....	40
FIG.3.2: Mapa Hipsométrico da bacia do rio Aricanduva.....	41
FIG. 3.3: Solos com textura argilo-siltosa a areosa fina (A) e micaxistos (B).....	43
FIG.3.4: A foto superior mostra um exemplo de relevo dissecado (setas amarelas).....	44
FIG.3.5: Mapa de Declividade (em %) da bacia do rio Aricanduva.....	45
FIG.3.6: Visão aérea de parte da bacia do Limoeiro (alto Aricanduva).....	46
FIG.3.7: Visão aérea parcial da Área de Proteção Ambiental do Parque do Carmo.....	46
FIG.3.8 : Padrão de ocupação no baixo Aricanduva.....	48
FIG.3.9: Padrão de ocupação no alto Aricanduva.....	48
FIG.3.10: Mapa de áreas críticas quanto à produção de sedimentos da bacia do Rio Aricanduva.....	50
FIG.4.1: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.....	51
FIG.4.2: Localização da área piloto.....	53

FIG.4.3: Distribuição de processos morfodinâmicos por Subprefeituras da bacia do rio Aricanduva no ano de 2005.....	54
FIG.4.4: Exemplo da interpretação das ortofotos 2007 (EMPLASA).....	56
FIG.4.5: Modelo de ficha de campo preenchida (setor 15).....	58
FIG.4.6: Mapa de setores de risco a escorregamentos (zoneamento das áreas de risco).....	61
FIG.4.7: Mapa da rota/percurso realizada em sobrevôo de helicóptero.....	62
FIG.4.8: Mapa e histograma gerados (ex. ângulo da encosta) pelo programa <i>ArcGIS</i> 9.3..	64
FIG.4.9: Exemplo do procedimento de correlação entre um parâmetro topográfico (neste caso, ângulo da encosta) e áreas de risco a escorregamentos (em preto).....	66
FIG.4.10: Mapa de ângulo da encosta gerado pelo <i>software ArcGIS</i> 9.3 com a distribuição espacial das classes de ângulo afetadas pelas áreas de risco a escorregamentos.....	66
FIG.4.11: Exemplo da análise conjunta entre o grau dos setores de risco classificados em campo e o número de células de estabilidade de cada setor.....	70
FIG.5.1: Mapa de uso do solo (1973) da bacia do rio Limoeiro.....	73
FIG.5.2: Percentual das classes de uso do solo (1973).	74
FIG.5.3: Mapa de uso do solo (2007) da bacia do rio Limoeiro.....	75
FIG.5.4: Percentual das classes de uso do solo (2007).....	76
FIG.5.5: Exemplo de cobertura vegetal densa de Mata Atlântica e campos antrópicos (setas vermelhas).....	76
FIG.5.6: A imagem superior demonstra a cobertura aerofotogramétrica de parte da bacia do rio Limoeiro representada em 3 dimensões com exagero vertical de 3 vezes.....	77
FIG.5.7: Exemplos dos diferentes estágios de urbanização presentes na bacia.....	79
FIG.5.8: Exemplo de superfícies de solo em exposição (seta vermelha).....	80
FIG.5.9: Vista área do Piscinão Limoeiro, localizado na foz da bacia.....	80
FIG.5.10: Vista área do aterro sanitário <i>Sítio São João</i> , instalado sob as nascentes da bacia do rio Limoeiro.....	80
FIG.5.11: Percentual da evolução de duas classes de uso do solo (cobertura vegetal e áreas urbanas) no período 1973-2007.....	82
FIG.5.12: Mapa de áreas de risco a escorregamentos da bacia do rio Limoeiro sob o Modelo Digital de Elevação do Terreno.....	84
FIG.5.13: Mapa Hipsométrico da bacia do rio Limoeiro e perfis topográficos.....	86
FIG.5.14: Sobreposição dos setores de risco mapeados à cobertura aerofotogramétrica da bacia do rio Limoeiro (2007).....	87

FIG.5.15: Exemplo de áreas não incluídas neste mapeamento.....	88
FIG.5.16: Destaque ao limite dos 5 setores R1 mapeados.....	91
FIG.5.17: A foto superior (oblíqua) mostra o setor 4.....	92
FIG.5.18: Visão aérea do setor 12 (vermelho).....	93
FIG.5.19: Detalhe de algumas infra-estruturas urbanas presentes no setor 12.....	93
FIG.5.20: Destaque ao limite dos 3 setores R2 mapeados.....	95
FIG.5.21: Visão aérea parcial do setor 2.....	95
FIG.5.22: Exemplo de moradias localizadas em altas declividades no setor 7.....	96
FIG.5.23: Exemplo de sulcos erosivos (setor 7).....	96
FIG.5.24: Destaque ao limite dos 2 setores R3 mapeados.....	98
FIG.5.25: As três fotos mostram detalhes do setor 11.....	98
FIG.5.26: A foto A (oblíqua) mostra o limite do setor 11 (linha tracejada preta), com dois detalhes do setor em vermelho (foto B) e em verde (foto C) que indicam a proximidade das moradias à base da encosta.....	99
FIG.5.27: Visão panorâmica parcial do setor 11 (A).....	100
FIG.5.28: Destaque ao limite dos 6 setores R4 mapeados.....	102
FIG.5.29: Destaque a cicatrizes de escorregamentos provavelmente induzidos por ação antrópica nos setores 9 (A), 15 (B) e 14 (C).....	103
FIG.5.30: Forma de ocupação do setor 15 (A), onde podem ser observados diversos cortes no relevo, vias não pavimentadas cortando a encosta inadequadamente e cicatriz de escorregamento.....	104
FIG.5.31: Exemplo de evidências de movimentação no setor 1: trincas (A) e degraus de abatimento (B).....	105
FIG.5.32: Mapa de Ângulo da Encosta da bacia do rio Limoeiro e Histograma de Ângulo da Encosta.....	107
FIG.5.33: Exemplo de ocupações precárias em altas declividades, que contrariam a determinação da Lei Lehman (setor 6).....	108
FIG.5.34: Mapa de Aspecto da bacia do rio Limoeiro e Histograma de Aspecto.....	110
FIG.5.35: Mapa de Curvatura (planta/perfil) da bacia do rio Limoeiro e Histograma de Curvatura.....	112
FIG.5.36: A foto superior (oblíqua) mostra um exemplo de uma planície fluvial da bacia com a presença de ocupações ribeirinhas sujeitas ao risco de inundação.....	113

FIG.5.37: A foto superior indica um exemplo de encosta convexa (vermelho) na qual se encontra o setor 16 (seta amarela) e outro exemplo de encosta convexa-retilínea (verde) na qual se encontra o setor 12 (seta azul).....	114
FIG.5.38: Mapa de Área de contribuição da bacia do rio Limoeiro e Histograma de Área de contribuição.....	116
FIG.5.39: Mapa de Suscetibilidade simulado pelo modelo SHALSTAB na bacia do rio Limoeiro.....	120
FIG.5.40: O mapa mostra a localização das classes estáveis de suscetibilidade indicadas pelo SHALSTAB com alguns detalhes.....	121
FIG.5.41: O mapa mostra a localização das classes instáveis de suscetibilidade indicadas pelo SHALSTAB com alguns detalhes.....	122
FIG.5.42: Comparação entre as classes de suscetibilidade e os três parâmetros topográficos (ângulo da encosta, área de contribuição e curvatura).....	123

LISTA DE TABELAS

TAB.2.1: Principais tipos de movimentos gravitacionais de massa associados a encostas.	12
TAB.2.2: Diferentes métodos de análise de suscetibilidade e de previsão de movimentos de massa e suas características principais.....	21
TAB.2.3: Alguns termos internacionais correspondentes a Eventos/Acidentes/Desastres..	27
TAB.2.4: Tipos de Cartas Geotécnicas, segundo processos do meio físico e empreendimentos de obras civis.....	28
TAB. 2.5: Exemplo de processos morfodinâmicos causadores de acidentes no Brasil e os principais condicionantes naturais e as ações antrópicas indutoras.....	30
TAB.4.1: Formas de uso do solo em áreas urbanas.....	55
TAB.4.2: Critérios para determinação do grau de risco a escorregamentos.....	59
TAB.4.3: Classes dos quatro mapas topográficos.....	64
TAB.4.4: Classes de estabilidade do mapa gerado pelo modelo SHALSTAB.....	69
TAB.5.1: Classes de uso do solo/pressões antropogênicas da bacia do rio Limoeiro no período 1973-2007.....	81
TAB. 5.2: Listagem dos 16 setores de risco mapeados indicando o grau de risco, o número de moradias (aproximadamente) e a área em m ²	85
TAB.5.3: Distribuição dos 16 setores de risco mapeados em relação ao grau de risco e ao número de moradias.....	85
TAB.5.4: Localização (acesso principal e subdistrito) dos setores de risco mapeados.....	88
TAB. 5.5: Análise conjunta entre as classes de suscetibilidade e o grau de risco de cada setor mapeado.....	127

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	01
1.1 Hipóteses e Objetivos	09
2. EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO	10
2.1 Movimentos de massa: conceitos, tipologias e fatores condicionantes.....	11
2.1.1 Parâmetros topográficos	14
2.1.2 Parâmetros antrópicos.....	16
2.2 O papel da geomorfologia antrópica e da análise sistêmica na investigação de movimentos de massa.....	18
2.3 Métodos para o mapeamento de suscetibilidade	20
2.4 Áreas de risco: bases conceituais e métodos de mapeamento	24
2.5 O papel da urbanização brasileira no processo de formação de áreas de risco	37
3.0 CÓRREGO DO LIMOEIRO NO CONTEXTO DA BACIA DO RIO ARICANDUVA:CARACTERIZAÇÃO GERAL	40
3.1 Meio físico.....	41
3.2 Meio antrópico: uso do solo e produção de sedimentos	47
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	51
4.1 Orientação teórica.....	52
4.2 Seleção da área piloto	52
4.3 Mapeamento evolutivo do uso do solo	54
4.4 Mapeamento das áreas de risco a escorregamentos.....	56
4.5 Análise dos parâmetros topográficos.....	63
4.6 Mapeamento da suscetibilidade.....	67
4.7 Análise conjunta	70
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	71

5.1	Análise evolutiva do uso do solo.....	72
5.2	Áreas de risco a escorregamentos.....	83
5.3	Análise dos parâmetros topográficos.....	106
5.4	Avaliação da suscetibilidade e análise conjunta.....	118
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Desde o ano de 2007, metade da população mundial vive em áreas urbanas. Este número pode duplicar nos próximos trinta anos (VÉRON, 2007), aumentando, conseqüentemente, a vulnerabilidade das cidades e tornando a gestão de riscos a escorregamentos mais complexa, principalmente nos países em desenvolvimento, onde o número de pessoas que habitam áreas de risco tem crescido de setenta a oitenta milhões por ano (ONU, 2005).

A acelerada urbanização dos países em desenvolvimento contribuiu para a instalação de moradias em encostas íngremes, na maioria das vezes de forma inadequada, intensificando a ocorrência de escorregamentos e resultando na expansão de áreas de risco. Além disso, outros fatores contribuíram para esta expansão, tais como, cenários relacionados a crises socio-econômicas com soluções de longo prazo, políticas habitacionais ineficientes para baixa renda, ineficácia dos sistemas de controle de uso do solo, bem como de legislação adequada para as áreas mais suscetíveis e de apoio técnico para as populações (AYALA, 2002; CARVALHO et al., 2007; entre outros).

WIJKAMA & TIMBERLAKE (1985), SIDLE et al. (1985), ANDERSON & DECKER (1992), ALEXANDER (1993), AMARAL (1997), AYALA (2002), entre outros, verificaram que o impacto de escorregamentos nos países em desenvolvimento está associado, na maioria das vezes, a perdas humanas em áreas urbanas densamente ocupadas, enquanto nos países desenvolvidos, são principalmente perdas econômicas. Tal fato, pode ser explicado em função de maiores iniciativas de prevenção nos países mais desenvolvidos, enquanto nas principais metrópoles dos países mais pobres, os escorregamentos assumem proporções catastróficas, em razão de inúmeros cortes, de aterros, de depósitos de lixo, de desmatamentos, de alterações da rede de drenagem, entre outras pressões antropogênicas desprovidas de um planejamento preventivo (BRUNSDEN & PRIOR, 1984; SIDLE et al., 1985; CROZIER, 1986; FERNANDES et al., 2004).

Em diversos idiomas, o conceito de risco possui como significado mais amplo, a possibilidade de um escorregamento (ou outro processo natural) causar consequências sociais ou econômicas significativas com efeito adverso para uma determinada população, sendo as áreas de risco, portanto, os locais passivos de serem atingidos por escorregamentos naturais ou induzidos (CERRI & AMARAL, 1998; MACEDO et al., 2004, entre outros). A suscetibilidade, por sua vez, compreende o conjunto de fatores naturais do terreno que determina a potencialidade de deflagrar estes processos. Em outras palavras, encostas podem

apresentar uma pré-disposição natural para a ocorrência de escorregamentos em função das características geológicas e climáticas, das formas do relevo, entre outras, que, ao serem ocupadas de maneira inadequada, podem causar riscos a população, principalmente, quando a suscetibilidade já é naturalmente elevada. Dessa forma, acidentes associados a escorregamentos, causando danos sociais significativos, estão, freqüentemente, relacionados às favelas em áreas urbanas forçando os diversos gestores públicos a realizarem a identificação, a análise e o gerenciamento de áreas de risco (ARNOULD, 1976; AUGUSTO FILHO, 1994; FELL et al., 1998; CERRI & AMARAL, 1998; GUZZETTI et al., 1999; VAN WESTEN et al., 2003; MACEDO et al., 2004; REMONDO et al., 2008; KORUP et al., 2010; entre outros).

Várias pesquisas voltadas à prevenção e à redução de riscos foram elaboradas, dentre as quais, pode-se destacar: a Carta ZERMOS (Zonas Expostas a Riscos de Movimentos de Solo), metodologia de mapas de risco aplicada na França, que objetiva fornecer detalhes de uma área quanto às condições de instabilidade para movimentos de massa e para outros processos (ANTOINE, 1977; HUMBERT, 1977); a metodologia desenvolvida pela Geotechnical Control Office (CGC) que elabora mapas para avaliação da instabilidade do terreno na região de Hong Kong, bastante suscetível a escorregamentos (BRAND, 1988) e a Década Internacional de Redução de Desastres Naturais (*IDNDR*, 1990-1999) instituída pela Organização das Nações Unidas (ONU) em razão do crescimento de vítimas, de acidentes e de prejuízos econômicos em todo o mundo devido à ocorrência de processos naturais (WP/WLI, 1990). Além destas, destacam-se as propostas de VARNES et al. (1985); EINSTEIN (1988; 1997); TERLIEN et al. (1995); IUGS (1997); WILSON & JAIKO (1997); HARTLÉN & VIBERG (1998); JIBSON et al. (1998); CAMPBELL et al. (1999); entre outras.

No Brasil, a elaboração de mapas de áreas de risco teve início por volta de 1965 na cidade do Rio de Janeiro, que passou a apresentar favelas em escarpas elevadas a partir do final do século XIX e que desde então ocorrem acidentes em função de escorregamentos. A partir daí, diversas metodologias de risco foram desenvolvidas, atualizadas e aplicadas por muitos institutos de pesquisa e universidades brasileiras em outras áreas urbanas, visando à utilização de mapas de risco no planejamento urbano, implementação de obras civis corretivas e mitigadoras, criação de sistemas para situações de emergência na ocorrência de acidentes, aprimoramento das legislações ligadas às questões de uso do solo e na disseminação de informações públicas e treinamentos (DINIZ, 1998; ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998; BITAR, 1995; AUGUSTO FILHO, 1994; MACEDO, 2001, entre outros). Entretanto, apesar

das inúmeras pesquisas desenvolvidas, o Brasil se encontra atualmente diante de uma questão complexa: o número de áreas de risco cresce rapidamente, o poder público, em geral, não possui condições técnicas para revolver este problema e uma das principais ferramentas para o gerenciamento, os mapas de áreas de risco, são de difícil confecção, além de exigirem um alto custo em função das muitas atividades necessárias (ex. vistorias de campo) para a sua elaboração.

Nesta pesquisa será proposta uma combinação entre diferentes métodos, que pode ser adicionada ao gerenciamento de áreas de risco a escorregamentos, que envolve o conhecimento prévio da instabilidade do relevo por meio da aplicação de modelos matemáticos em bases físicas (ex. o modelo matemático SHALSTAB). Esses modelos, em sua maioria, avaliam a suscetibilidade por meio da combinação de modelos de estabilidade baseados na teoria do talude infinito e hidrológicos, independente da ocorrência anterior de processos, e têm sido muito difundidos na literatura internacional especialmente após a década de 1990 com o desenvolvimento e o aperfeiçoamento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Estes foram responsáveis pelas modificações e pelo surgimento de novas abordagens de identificação e de avaliação de áreas instáveis, podendo, portanto, minimizar os custos e facilitar o gerenciamento de áreas de risco (DIETRICH et al., 1992; MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; CARRARA et al., 1995; WU & SIDLE, 1995; PACK et al., 1998; GUZZETTI et al., 1999; IVERSON, 2000; MORRISEY et al., 2001; PACK et al., 2001; DHAKAL & SIDLE, 2003; VAN WESTEN et al., 2003; CALCATERRA et al., 2004; VAN WESTEN, 2004; VAN WESTEN, 2006; entre outros).

Essa proposta pode ser mais reforçada em razão dos escorregamentos serem os processos naturais que mais causam vítimas em áreas urbanas no Brasil (Fig.1.1), além de prejuízos econômicos e de bloqueios de vias expressas, sobretudo no verão. Tais áreas urbanas, precariamente ocupadas, são resultantes de um déficit habitacional de mais de 7 milhões de moradias no país (IBGE, 2005), refletindo, portanto, um quadro de exclusão social que leva milhares de pessoas a ocuparem locais inadequados, como encostas íngremes e várzeas de rios, resultando no aparecimento de diversas favelas. Surgidas no cenário brasileiro com mais intensidade a partir da década de 1960, as favelas expandiram-se rapidamente caracterizando-se como invasões ilegais de terrenos públicos ou privados com habitações dispostas de forma densa e inadequada, compreendendo áreas carentes de infra-estrutura e de serviços públicos essenciais (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998, entre outros).

Fig. 1.1: O gráfico mostra o número de vítimas fatais por acidentes de escorregamentos no Brasil, no período de 1988 a 2010. Observar que em anos recentes o número de vítimas continua crescendo, como por exemplo, os episódios de escorregamentos, em 2008, no município de Gaspar, estado de Santa Catarina (A); Ilha Grande no estado do Rio de Janeiro em 2009 (B) e no município de Francisco Morato na Região Metropolitana de São Paulo em 2010 (C). Fonte do gráfico: Arquivo IPT. Fonte das figuras: A e B: Arquivo UOL Imagens (respectivamente 2008 e 2009); C: JB/Neto (2010).

Somente no estado de São Paulo, existe o maior déficit habitacional do Brasil, com cerca de 4 milhões de habitações (IBGE, 2005). A cidade de São Paulo, com cerca de 11 milhões de habitantes, em uma área de pouco mais de 1.500 Km², obteve entre as décadas de 1960 a 1990, um crescimento territorial de 40%, acompanhado da retirada de 31% de cobertura vegetal, substituída por avenidas em fundos de vale e nas encostas, além da instalação de muitos assentamentos precários (MEYER et al., 2004).

Em 2004, por exemplo, foram identificadas 562 áreas de risco a escorregamentos na cidade de São Paulo, das quais mais de 50% foram avaliadas como de alto ou muito alto grau de risco para a população (SVMA & IPT, 2004). Dados preliminares do mapeamento de áreas de risco realizado em 2010 na cidade de São Paulo pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) indicam uma baixa redução deste valor, onde 420 áreas de risco geológico foram cadastradas (JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO, 2011). Consequentemente, todos os anos, durante o período chuvoso, ocorrem mortes e danos deflagrados por precipitações em encostas instáveis, como por exemplo, em janeiro de 2010, quando foram registrados cerca de 630 mm em 27 dias deflagrando muitos escorregamentos que provocaram a morte de 60 pessoas e deixaram mais de 20 mil desabrigadas. Este foi o maior volume pluviométrico medido neste período desde os últimos 63 anos em São Paulo, quando em janeiro de 1947 foram registrados cerca de 480 mm (CGE, 2010; IAG, 2010).

A maior bacia da cidade de São Paulo e uma das mais críticas é a do Rio Aricanduva, localizada na porção leste do município (Fig. 1.2), com uma área de cerca de 100 Km², que apresenta significativos problemas de inundação em seu curso principal, onde existe uma importante avenida que atravessa a parte oriental da cidade (Av. Aricanduva), caracterizada pelo intenso processo de urbanização e impermeabilização do solo. Há anos, durante o trimestre do verão, são registrados eventos catastróficos quanto à ocorrência de inundações em função do rápido escoamento superficial, onde o volume de água transbordado atinge inúmeras moradias (CANHOLI, 2005; IPT, 2005).

As primeiras ocorrências de inundações urbanas na bacia do rio Aricanduva aconteceram em 1970 em virtude da canalização de seu curso principal e de grandes avenidas e, posteriormente, em 1985, pela construção da linha LESTE (vermelha) do Metrô (DAEE, 1999). Entre dezembro de 2002 a março de 2003, ocorreram mais de dez inundações provocadas por chuvas com duração entre 30 a 120 minutos e volumes entre 60 mm a 80 mm e, mais recentemente, em 2009 e 2010, novos episódios de inundação também foram registrado (Fig. 1.3) (GONÇALVES & BARROS, 2003; CANHOLI, 2005; IPT, 2005).

Fig. 1.2: Localização da bacia hidrográfica do rio Aricanduva no contexto da Região Metropolitana de São Paulo.

Fig. 1.3: Episódios de inundação na Av. Aricanduva em 2002 (A), 2009 (B) e 2010 (C) atingindo áreas marginais e equipamentos urbanos. Fonte: (A) JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO (2002), (B) UOL NOTÍCIAS (2009) e (C) UOL NOTÍCIAS (2010). Último acesso em dezembro/2010.

A bacia do Rio Aricanduva possui 22 afluentes ao longo de sua extensão, que apresentam muitas favelas em suas encostas e muito próximas aos canais de drenagem, principalmente nas áreas a montante da bacia. Em função de cortes e de aterros mal executados, de desmatamentos e de outras pressões antropogênicas, há uma maior produção de sedimentos, que não são retidos na planície aluvionar em função da ausência de mata ciliar e, portanto, são transportados, agravando a ocorrência de assoreamentos e de inundações. Em outras palavras, o entulhamento e o assoreamento dos canais de drenagem, causados pelo aporte de sedimentos provenientes de erosão e de escorregamentos e pelo lançamento e acúmulo de lixo, obstruem e reduzem a passagem de água, diminuindo a sua capacidade de vazão (GONÇALVES & BARROS, 2003; CANHOLI, 2005; IPT, 2005).

Das cinco sub-bacias que compõe o alto curso da bacia do rio Aricanduva (córregos Palanque, Caguaçu, Dos Cochos, Guabiruba e Limoeiro), foi selecionada como área de estudo desta pesquisa, a bacia do córrego do Limoeiro, que possui uma área de 9 Km², em função da

freqüente ocorrência de escorregamentos que ocorrem nas favelas em relevos dissecados e causam diversas perdas sócio-econômicas (IPT, 2005). No verão de 2005, do número de ocorrências na bacia do Aricanduva, mais de 50% dos assoreamentos, das erosões laminares, dos sulcos, das ravinas, dos solapamentos de margem fluvial e dos escorregamentos ocorreram nesta sub-bacia, indicando sua representatividade no alto curso da bacia do rio Aricanduva (IPT, 2005).

Mais recentemente, em janeiro de 2010, a bacia do rio Limoeiro foi atingida por chuvas intensas (103 mm em 24 horas) que deflagraram escorregamentos rasos provocando seis vítimas fatais e diversos prejuízos econômicos, como a destruição e a interdição de assentamentos precários, obrigando cerca de 300 moradores da região a saírem de suas residências. Além disso, o funcionamento do transporte público foi comprometido, principalmente a circulação de trens e de automóveis, a distribuição de luz e de água foi interrompida e diversos pontos da bacia ficaram alagados (JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

Embora a deflagração destes processos em janeiro de 2010 tenha sido ocasionada por um evento pluviométrico extremo, a atual forma de uso do solo e as condições naturais da bacia podem estar contribuindo como agentes aceleradores dos escorregamentos nessa área. Diante desta premissa, o estudo de áreas de risco se inscreve no quadro das relações meio-ambiente/sociedade que, na Geografia, constituem a análise ambiental. Esta pesquisa enquadra-se, portanto, nos eixos teórico-metodológicos da Geografia Física como ciência de base e aplicada ao planejamento do território, que permitirá a interface entre outros eixos da ciência geográfica, como a Geografia Urbana, a Pedologia, a Climatologia, o Geoprocessamento, entre outros, enquadrando-se na perspectiva da Geografia Sistêmica. Trata-se, portanto, de uma pesquisa que apresentará uma abordagem metodológica sistêmica, na qual os escorregamentos que causam risco podem ser resultantes e controlados pela interação entre os diversos agentes naturais e antrópicos.

1.1 HIPÓTESES E OBJETIVOS

Essa pesquisa pretende verificar as seguintes **hipóteses**:

- a. **A ocorrência de áreas de risco pode estar ligada à interação de fatores naturais e de fatores antrópicos e;**
- b. **O uso combinado de diferentes métodos (mapeamento de áreas de risco em campo e mapeamento de suscetibilidade por meio de modelos matemáticos) pode facilitar a avaliação final do risco a escorregamentos em áreas urbanas, podendo subsidiar a gestão pública na definição de áreas instáveis para a ocupação.**

O **objetivo geral** desta pesquisa é **analisar o grau de risco e a suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na bacia do rio Limoeiro, Alto Aricanduva, RMSP (SP)**. Visando atingir o objetivo principal, os seguintes **objetivos específicos** foram estabelecidos:

- a. **Identificar e analisar as principais intervenções antropogênicas (classes de uso do solo) no período de 1973 a 2007;**
- b. **Identificar em escala de zoneamento e caracterizar espacialmente as principais áreas de risco a escorregamentos rasos;**
- c. **Caracterizar e analisar o papel dos parâmetros topográficos (ângulo, aspecto e curvatura da encosta e área de contribuição) como subsídio para avaliação das áreas de risco a escorregamentos rasos e;**
- d. **Avaliar a concordância entre o mapa de áreas de risco e o mapa de suscetibilidade.**

2. EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO

O desenvolvimento adequado de uma pesquisa necessita a compreensão de importantes fundamentos teórico-metodológicos, que possam fornecer subsídios aos resultados encontrados. Dada a elevada quantidade de aspectos presentes na paisagem, apresenta-se a seguir uma revisão de tópicos e de autores importantes para a fundamentação deste trabalho. Dessa forma, a correta análise do grau de risco e da suscetibilidade a escorregamentos rasos em ambientes tropicais úmidos deve ser precedida pelo levantamento de algumas questões teórico-metodológicas, a saber:

1. *Quais os fatores condicionantes deflagram a ocorrência de movimentos de massa?*
2. *De qual forma metodológica estes processos devem ser analisados?*
3. *Qual o método adotar para o mapeamento de suscetibilidade e de áreas de risco? Em qual escala?*
4. *Qual o papel da urbanização brasileira no processo de formação de áreas de risco?*

Portanto, neste capítulo de forma a contemplar parte das questões expostas acima, serão descritas e analisadas as principais definições e os principais fatores condicionantes de movimentos de massa (2.1); o papel da Geomorfologia Antrópica e da Análise Sistêmica na investigação destes processos (2.2); os principais métodos para o mapeamento de suscetibilidade (2.3); as bases conceituais de áreas de risco e os seus principais métodos de mapeamento (2.4) e por fim a relação entre a urbanização, a ocupação de encostas e o risco (2.5).

2.1 MOVIMENTOS DE MASSA: CONCEITOS, TIPOLOGIAS E FATORES CONDICIONANTES

Escorregamentos e demais processos gravitacionais correlatos fazem parte do conjunto dos movimentos de massa interligados à dinâmica das encostas. Logo, movimentos de massa são processos que envolvem uma massa ou um volume de solo e/ou rocha que se deslocam em conjunto, configurando um dos maiores processos de evolução e de desenvolvimento de encostas, especialmente em regiões íngremes (ZARUBA & MENCIL, 1976; GUIDICINI & NIEBLE, 1984, SELBY, 1993, entre outros).

Segundo AUGUSTO FILHO (1992), os movimentos de massa são classificados em quatro grandes grupos (Tab. 2.1): **rastejos (*creep*)**, **escorregamentos *stricto sensu* (*slides*)**, **quedas (*falls*)** e **corridas (*flows*)**. O rastejo (*creep*) se caracteriza por ser lento, de poucos centímetros ao ano. As quedas de blocos são deslocamentos gravitacionais de blocos rochosos favorecidos pela presença de descontinuidades (ex. fratura, bandeamentos) e pela dilatação e contração provocada pela oscilação da temperatura. Essas descontinuidades contribuem para o surgimento de caminhos preferenciais para a água, favorecendo a ruptura da encosta (AUGUSTO FILHO, 1992). As corridas de detritos (*debris-flow*) são movimentos rápidos nos quais os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos. Geralmente esses movimentos se iniciam sob a forma de escorregamentos que quando se encaixam na linha de drenagem assumem a forma de corridas (AUGUSTO FILHO, 1992).

Escorregamentos são movimentos rápidos, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. A velocidade de um escorregamento cresce de zero a mais ou menos 0,30 m por hora, decrescendo, em seguida, até se estabilizar. Podem atingir velocidades maiores, da ordem de alguns metros por segundo. A velocidade máxima do movimento depende da inclinação da superfície de escorregamento, da causa inicial de movimentação e do tipo de terreno (TERZAGHI, 1967; AUGUSTO FILHO, 1992; ALMEIDA FILHO et al., 1999, entre outros). Cada tipo de escorregamento é definido em função da forma e do tamanho, bem como pelo tipo de material (solo, rocha) (TERZAGHI, 1967; AUGUSTO FILHO, 1992; ALMEIDA FILHO et al., 1999, entre outros). Segundo FERNANDES & AMARAL (1996), os escorregamentos podem ser divididos com base na forma do plano de ruptura (rotacional ou translacional), bem como no tipo de material em movimento: solo, rocha, tálus, colúvio e detritos.

Os movimentos mais bruscos ocorrem em terrenos relativamente homogêneos, que combinam coesão e atrito interno elevado. Nestes terrenos a superfície de escorregamento é mais inclinada. Em termos gerais, um escorregamento ocorre quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão do cisalhamento na superfície potencial decresce até atingir uma unidade. Este decréscimo, geralmente, é gradual, com uma deformação progressiva da massa de material situada acima da superfície potencial de escorregamento. As rupturas por cisalhamento, ao longo de uma superfície de escorregamento, ocorrem quando há uma diminuição da resistência ao cisalhamento do material. Na primeira fase do escorregamento, a massa em movimento avança com velocidade acelerada. Ao acontecer o escorregamento, diminuem as forças que determinaram o movimento e a massa vai se estabilizando. Assim o movimento cessa, ou assume caráter de rastejo. Basicamente, os escorregamentos ocorrem em função da movimentação do manto de alteração de uma encosta, deslocando e abrindo fendas nas partes inferiores (solo residual e rocha) (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; ALMEIDA FILHO et al., 1999, entre outros).

Tab. 2.1

Principais tipos de movimentos gravitacionais de massa associados a encostas.

PROCESSOS	DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL
Rastejos (<i>creep</i>)	Vários planos de deslocamento (internos); Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada e; Geometria indefinida.
Escorregamentos (<i>slides</i>)	Poucos planos de deslocamento (externos); Velocidades médias (m/h) a altas (m/s); Pequenos a grandes volumes de material; Geometria e materiais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> • Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com 1 plano de fraqueza; • Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; • Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza.
Quedas (<i>falls</i>)	Sem planos de deslocamento; Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado; Velocidades muito altas (vários m/s); Material rochoso; Pequenos a médios volumes; Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc; Rolamento de matacão e; Tombamento.
Corridas (<i>flows</i>)	Muitas superfícies de deslocamento; Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; Desenvolvimento ao longo das drenagens; Velocidades médias a altas; Mobilização de solo, rocha, detritos e água; Grandes volumes de material e; Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: AUGUSTO FILHO (1992).

Os escorregamentos rotacionais (*slumps*) possuem uma superfície de ruptura curva na qual o material sofre movimentação côncava para cima. Estão associados a ambientes com presença de solos profundos que permitem a maior infiltração e a percolação profunda da água (FERNANDES & AMARAL, 1996).

Os translacionais, mais freqüentes na paisagem do sudeste brasileiro, possuem superfícies com a forma planar condicionados pela presença de estruturas geológicas (acamamentos, fraturas, entre outros), depósitos de encostas, contatos entre solo e rocha e entre horizontes do solo. São deflagrados em encostas mais íngremes com presença de solos rasos. Seus planos de ruptura se encontram em profundidades que variam de 0,5 a 5,0 m (FERNANDES & AMARAL, 1996, entre outros). Segundo INFANTI & FORNASARI (1998), os escorregamentos translacionais podem ocorrer em maciços rochosos, sendo condicionados pela xistosidade, pelo fraturamento, pela foliação, entre outros aspectos.

CARVALHO et al. (2007) indicam um terceiro tipo de escorregamento (em cunha). Estes estão associados à saprolitos e a maciços rochosos, onde a existência de dois planos de fraqueza condicionam o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos. São processos mais comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosões ou escorregamentos pretéritos (CARVALHO et al., 2007).

De forma geral, pode-se afirmar que a deflagração de movimentos de massa em encostas é controlada por uma série de fatores condicionantes naturais e antrópicos, muitas vezes com caráter cíclico, que possuem origem na formação da própria rocha e na sua história geológica e geomorfológica (ex. movimentos tectônicos, intemperismo, erosão, entre outros) além da ação antrópica (AUGUSTO FILHO & VIRGILLI, 1998).

GUIDICINI & NIEBLE (1984) utilizam a terminologia de agentes e de causas de instabilização para discutir estes condicionantes, entendendo como causa o modo de atuação de um determinado agente na instabilização de um talude ou de uma encosta. Segundo estes autores, os agentes são subdivididos nos seguintes grupos: **predisponentes** (unidades geológicas, topografia, clima, hidrologia, gravidade, calor solar e tipo de cobertura vegetal), **efetivos preparatórios** (pluviosidade, erosão pela água e pelo vento, congelamento e degelo, variações de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos, das marés e do lençol freático e ação antrópica) e **efetivos imediatos** (chuvas intensas, fusão do gelo e da neve, erosão, terremotos, ondas, vento e ação antrópica acelerada, entre outros). Quanto às causas, destacam-se as **internas** (efeito das oscilações térmicas, redução dos parâmetros de resistência por intemperismo), as **externas** (mudanças da geometria do sistema, efeitos de vibrações, mudanças naturais na inclinação das camadas) e as

intermediárias (elevação do nível piezométrico em massas homogêneas, elevação da coluna de água em descontinuidades, rebaixamento rápido do lençol freático, erosão subterrânea do tipo *pipping* e diminuição do efeito de coesão aparente).

AUGUSTO FILHO & VIRGILLI (1998) apontam os principais condicionantes dos movimentos de massa na dinâmica ambiental brasileira, destacando as características climáticas, em especial o regime pluviométrico, as características e a distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (xistossidades, fraturas, etc.), as características topográficas, com destaque à declividade, amplitude e forma das encostas (retilíneo, convexo e côncavo), o regime das águas de subsuperfície, as características do uso do solo, incluindo cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros, concentração de água pluvial e servida, entre outros.

FERNANDES & AMARAL (1996) complementam estes condicionantes, considerando também a área de contribuição, a orientação da encosta (aspecto), a (as)simetria dos vales e a elevação. Visando um melhor detalhamento destes condicionantes, serão descritos, a seguir, apenas os principais fatores condicionantes que serão analisados nos resultados desta pesquisa: os parâmetros topográficos (2.1.1) e os parâmetros antrópicos (2.1.2).

2.1.1 PARÂMETROS TOPOGRÁFICOS

Parâmetros topográficos devem ser levados em consideração como fatores condicionantes dos movimentos de massa, seja pelas diferenças de declividade ou de ângulo da encosta, pela distribuição dos fluxos na encosta por meio das formas geométricas (côncavas, retilíneas e convexas), pelo controle de entrada de umidade no solo garantido pela exposição de suas faces (orientação ou aspecto) e mesmo pelos diferentes níveis hipsométricos (O'LOUGHLIN, 1986; GAO, 1993; FERNANDES & AMARAL, 1996 entre outros).

Do conjunto de fatores condicionantes naturais, a topografia se destaca por permitir o levantamento de importantes informações morfométricas do relevo, principalmente em áreas de difícil acesso (FERNANDES et al., 2001). Com o desenvolvimento e a difusão dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e a conseqüente automação das rotinas relacionadas ao levantamento desses dados, a topografia é um elemento fundamental para a compreensão dos processos existentes na paisagem, dando suporte à tomada de decisões no planejamento urbano (PIKE, 2000, entre outros).

No conjunto dos parâmetros topográficos, a curvatura representa a forma da encosta, conforme se observa na Fig. 2.1, e o delineamento das curvas e suas transições (LOPES, 2006, entre outros). A forma da encosta (em planta e em perfil), possui um papel importante na distribuição do conteúdo de água, em especial na rápida descarga de água nos mantos de alteração durante episódios chuvosos (SIDLE et al., 1985). As porções côncavas concentram maior volume de água e de sedimentos, permitindo a elevação da pressão e reduzindo a estabilidade da encosta, durante eventos pluviométricos intensos (DIETRICH & DUNNE, 1978; DIETRICH et al., 1986, MONTGOMERY et al., 1991, entre outros).

O aspecto refere-se à posição das faces do terreno, frente à distribuição da radiação solar. Este parâmetro pode influenciar o teor de umidade sobre o terreno, inferindo nos processos biofísicos, tais como tipo de vegetação e espessura do solo (COLÂNGELO, 1995; CANTÓN et al., 2004, entre outros). Desta forma, a maior ou menor quantidade de umidade influenciará a formação e a tipologia da cobertura vegetal, a espessura e a porosidade do solo, entre outras características. As encostas cujo material de alteração sofre maior ciclo de umedecimento e secamento podem ser mais suscetíveis à ruptura, em função do aumento das fissuras e da porosidade, responsáveis também pelo acréscimo de água e de elevação das pressões dentro do material (GUIMARÃES et al., 1998; GAO, 1993).

O ângulo da encosta representa a inclinação do terreno do topo à sua base e este por sua vez, pode influenciar na velocidade de deslocamento do material, assim como na capacidade de transporte (LOPES, 2006, entre outros). Este parâmetro, assim como a declividade, vem sendo utilizado como o principal fator condicionante topográfico incorporado aos estudos de previsão e de definição de áreas instáveis gerando análises, muitas vezes, incompletas na ocorrência de movimentos de massa, em especial os escorregamentos. Como consequência, áreas pouco declivosas, definidas como de baixa suscetibilidade, apresentam com frequência, a presença de deslizamentos (geralmente verificados em campo), evidenciando que mais fatores topográficos devem ser considerados nestas análises (GUIMARÃES, 2000; ZAIDAN, 2006, entre outros).

Como último parâmetro topográfico, destaca-se a área de contribuição, que se refere à concentração dos fluxos de água vindos das porções mais altas da encosta, que conseqüentemente podem levar à saturação dos solos. É calculada, numa bacia hidrográfica, por unidade de contorno para cada ponto (célula) dentro da bacia e possui um papel relevante na análise da suscetibilidade (BEVEN & KIRKBY, 1979; DIETRICH et al. 1995, FERNANDES et al., 2004, ZAIDAN, 2006, entre outros).

Fig. 2.1: Tipos e formas geométricas (curvatura em planta e em perfil) das encostas. Fonte: CHORLEY (1975).

2.1.2 PARÂMETROS ANTRÓPICOS

Muitos movimentos de massa são deflagrados em função da ação direta ou indireta do homem sobre o relevo. Dessa forma, como principais agentes deflagradores antrópicos, podem-se citar: a remoção da cobertura vegetal, o lançamento e a concentração de águas pluviais e/ou servidas, o vazamento na rede de água e de esgoto, a presença de fossas, a execução de cortes com alturas e com inclinações acima de limites tecnicamente seguros, a execução deficiente de aterros (compactação, geometria e fundação), a execução de patamares (aterros lançados) com o próprio material de escavação dos cortes lançados sobre o terreno natural, o lançamento de lixo e de entulho nas encostas, a retirada do solo superficial expondo os horizontes mais suscetíveis deflagrando processos erosivos e movimentos de massa, entre outros (ALHEIROS et al, 2004; MACEDO et al., 2004, CARVALHO et al, 2007, entre outros).

Um grande problema presente em áreas de assentamentos urbanos precários é a implementação de obras que provocam a obstrução da drenagem natural, levando a saturação do solo e a redução de sua resistência, o que é agravado pelo lançamento de detritos e de lixo

e pela ação das chuvas de verão. Raramente um escorregamento pode ser associado a um único e definitivo fator condicionante, devendo ser observado como o produto de uma cadeia de fatores e efeitos que acabam determinando sua deflagração (ALHEIROS et al, 2004; MACEDO et al., 2004, CARVALHO et al, 2007, entre outros).

Segundo SIDLE et al. (1985), no caso da construção de estradas e de rodovias, considerando as condições locais e as técnicas de construção, a deflagração de rupturas se dá por meio do aumento do peso da encosta, da alteração da declividade tanto no corte, quando no preenchimento do talude, remoção do suporte da base da encosta e reorganização da rede de drenagem. Outros fatores como, condições precárias de infra-estrutura urbana, projetos mal concebidos, práticas de parcelamento do solo inadequadas, estabelecimento de vilas e de cidades e seu desenvolvimento (adensamento populacional) e construção de loteamentos sem os devidos critérios técnicos, também podem deflagrar estes processos (INFANTI & FORNASARI, 1998; ALMEIDA FILHO et. al.; 1999, entre outros).

A vegetação, como tipo de uso do solo, é um elemento da paisagem diretamente associado à manutenção da estabilidade das encostas, seja pela redução ou dissipação do impacto das gotas de água no solo pelas folhas, diminuindo também a infiltração destas, ou no decréscimo da resistência do solo provocado pelo sistema radicular. Seu efeito negativo na estabilidade da encosta pode ocorrer por meio do efeito alavanca, que consiste em forças cisalhantes transferidas pelos troncos ao terreno. Este efeito ocorre quando a copa das árvores é atingida por ventos, bem como pelo efeito cunha, representado pela pressão lateral causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras ou quaisquer espaços pelos quais essas raízes possam se alojar no solo ou na rocha, ou ainda a sobrecarga exercida pela vegetação nos solos, contribuindo na deflagração de movimentos de massa (SIDLE et al., 1985; GREENWAY, 1987; KURIAKOSE et al., 2009, entre outros).

O desmatamento, no seu estágio inicial, pode até aumentar a estabilidade da encosta em função da perda do poder de alavancamento provocado pelo vento nos caules dos vegetais e pelo peso, porém com o passar do tempo, provoca a perda do equilíbrio dinâmico no conjunto vegetação e substrato pela perda da resistência ao cisalhamento conferida pelo apodrecimento do sistema radicular. Acelera num primeiro momento o processo de escoamento superficial deflagrando processos erosivos e ao longo do tempo, o solo exposto desprotegido vai saturando-se de água proveniente ou da chuva ou de condicionantes antrópicos precários (ex. lançamento de esgoto na encosta), reduzindo os efeitos estabilizadores da vegetação e provocando, desta forma, movimentos de massa (SIDLE et al., 1985; GREENWAY, 1987; ZAIDAN, 2006, entre outros).

2.2 O PAPEL DA GEOMORFOLOGIA ANTRÓPICA E DA ANÁLISE SISTÊMICA NA INVESTIGAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA

Movimentos de massa e demais processos morfodinâmicos atuam esculpindo e modelando o relevo desde a origem da superfície da Terra e estabelecem um cenário para o desenvolvimento da vida. A intervenção do homem na paisagem iniciou-se com sua presença na superfície terrestre já que, seus primeiros passos, assim como os demais seres vivos, os fazem agentes das transformações que modelam a superfície. A paisagem pode ser vista como uma resultante da inter-relação sistêmica de seus elementos (físicos, biológicos e antrópicos) e o homem, dotado de razão, assume um papel mais determinante, por possuir um forte poder de interferência negativa ou positiva. O homem sozinho não altera a paisagem, isto é, ele não age individualmente, mas como parte de uma sociedade. Assim, a Geomorfologia Antrópica depende dos aspectos sociais (BERTRAND, 1971; TRICART; 1977; NIR, 1983; TOY & HADLEY, 1987; BERGER, 1988, entre outros).

A preocupação com a transformação da paisagem tornou-se o objeto da Geomorfologia Antrópica, que obteve destaque após a Segunda Guerra Mundial (segunda metade do século XX). Naquele contexto, foi realizada uma tentativa de dar a Geomorfologia uma base científica apoiada e com ênfase na quantificação e na análise dos processos (CHORLEY, 1971; CHORLEY, 1975; NIR, 1983, entre outros). Para avaliar os efeitos dos processos nas áreas degradadas, requer-se o entendimento dos processos de modelado da paisagem, cuja natureza complexa resulta da interação entre dinâmicas da atmosfera, da hidrosfera, da litosfera e da biosfera com a superfície do relevo terrestre (CHORLEY, 1969; CHORLEY, 1971; COOKE, 1976; TOY & HADLEY; 1987, DREW; 1989; CASSETI; 1991, entre outros).

Do ponto de vista geomorfológico, as intervenções antrópicas modificam o relevo, as rochas e os solos, o regime hidrológico e a dinâmica dos processos morfodinâmicos em vários graus e, em consequência, a estabilidade da superfície (GRIGORYEV, 1968; GERASIMOV, 1980, entre outros). Intervenções antrópicas sobre as diversas formas de relevo alteram, portanto, a paisagem original, destroem algumas de suas características básicas e geram, induzem, intensificam e modificam processos morfodinâmicos. Trata-se da quebra do equilíbrio dinâmico (quando entradas e saídas são constantes dentro de um sistema) destes processos (INFANTI & FORNASARI, 1998). A teoria do equilíbrio dinâmico foi sistematizada por HACK (1960), na qual, o autor propõe que o equilíbrio dinâmico nos sistemas e nos subsistemas geomorfológicos está diretamente associado à resistência dos

materiais que sustentam as formas do relevo. A teoria parte de uma concepção sistêmica, da qual as entradas (*input*) e as saídas (*output*) de energia e de matéria (nos sistemas geomorfológicos) influenciam diretamente os processos que modificam os materiais litológicos e, conseqüentemente, as formas do relevo.

Segundo ROSS (1992), PELOGGIA (1998) e FUJIMOTO (2005), de acordo com a tipologia e o estágio das alterações, pode-se descrever algumas atividades antrópicas que geram novos padrões de comportamento morfodinâmico, a saber: a eliminação da cobertura vegetal e as modificações, por meio de cortes ou de aterros elaborados para a execução de arruamentos e de moradias, acabam por alterar a geometria das vertentes, aumentando a declividade e expondo o material anteriormente protegido da ação direta dos agentes climáticos. Os arruamentos, quando não respeitam a topografia, acabam cortando e direcionando os fluxos hídricos, gerando padrões de drenagem antes não existentes. As ruas transformam-se em verdadeiros leitos pluviais durante os eventos chuvosos, canalizando e direcionando os fluxos para setores que anteriormente possuíam um sistema de drenagem diferente. A impermeabilização do solo modifica o fluxo da água, tanto na superfície como em profundidade. As superfícies impermeabilizadas não permitem a infiltração da água no solo. As canalizações de águas pluviais existentes em moradias acabam por mudar a direção do fluxo natural das águas da chuva. Os aterros recobrem a vegetação original e os materiais de cobertura superficial de formação natural, criam áreas de descontinuidade entre materiais heterogêneos, além de elevarem altimetricamente a superfície original, alterando sua declividade.

Para INFANTI & FORNASARI (1998), quase todas as atividades antrópicas alteram ou aceleram a ocorrência de movimentos de massa, a partir da movimentação e da desestruturação de terrenos geológicos, da alteração no escoamento das águas de superfície e de subsuperfície, da impermeabilização do solo, da remoção da cobertura vegetal, da introdução de substâncias e de elementos químicos, entre outros.

Considerando-se que as situações de risco possam resultar de uma associação entre fatores do meio físico e social, os processos envolvidos na dinâmica de áreas de risco devem ser analisados de forma integral, com uma visão sistêmica do meio (RECKZIEGEL & ROBAINA, 2005, entre outros). Segundo CHRISTOFOLETTI (1999), a Teoria Geral dos Sistemas é um exemplo de uma visão holística na causa destes processos, ao considerar aspectos físicos e antrópicos, caracterizando portanto, uma análise geográfica. Ainda segundo o autor, a visão holística concebe o mundo como um todo integrado e não como uma coleção de partes dissociadas. A abordagem sistêmica tem-se mostrado uma metodologia unificada

dentro da Geografia Física, especialmente na Geomorfologia e por esta razão, o princípio metodológico desta pesquisa é baseado na análise sistêmica.

GREGORY (1992), destaca que a Geomorfologia passou a utilizar as contribuições da Teoria Geral dos Sistemas quando Chorley em 1962 realizou uma revisão da abordagem sistêmica, afirmando que: “*A Geomorfologia realizará o seu mais pleno desenvolvimento somente quando as formas e os processos forem relacionados em termos de sistemas dinâmicos*”. Segundo CHRISTOFOLETTI (1999), a aplicação da Teoria dos Sistemas aos estudos geomorfológicos tem servido para melhor focalizar as pesquisas e para delinear o setor de estudo dessa ciência. É muito difícil, por exemplo, analisar as características do relevo sem a compreensão do funcionamento e da interação de todos os processos que participam da sua formação e modelagem. Por isso, analisando-se os fatores desencadeadores de risco a movimentos de massa, considera-se que as diversas situações de risco possam derivar das características geológicas, da remoção da cobertura vegetal, das características do terreno, do uso do solo, entre outros.

No caso de bacias hidrográficas, que constituem sistemas ambientais complexos na sua estrutura, funcionamento e evolução, estas são classificadas como sistemas abertos e dinâmicos, uma vez que o sistema recebe energia exterior e a devolve. Trata-se de uma unidade funcional integrativa, em função de sua análise morfodinâmica ser condicionada por diversas variáveis que precisam ser integradas para se chegarem as reais causas de suas alterações (CHRISTOFOLETTI, 1999).

2.3 MÉTODOS PARA O MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE

CARVALHO et al. (2007), entre outros, definem como mapa de suscetibilidade aqueles que apresentam os fatores naturais que influenciam a ocorrência de movimentos de massa (ou outros processos) a partir da classificação de unidades da paisagem em diferentes graus de suscetibilidade. Com o aperfeiçoamento dos Sistemas de Informação Geográfica, surgiram diversos métodos para a análise da suscetibilidade a escorregamentos, assumindo importância crescente na literatura geomorfológica e geotécnica. No entanto, existem diferentes concepções do problema e diversas formas de investigação para o entendimento destes processos (Tab. 2.2) e, portanto, seleccionar uma torna-se uma tarefa complexa, pois cada uma corresponde a uma finalidade, cabendo ao pesquisador utilizar uma ou combinar várias delas, quando possível.

Nesta abordagem, destacam-se como os principais métodos utilizados, os **mapas de inventários** (ou análise de distribuição), baseados em modelagem probabilística; **métodos heurísticos** (ex. mapas geomorfológicos e combinação de mapas base qualitativos); uso de ferramentas **estatísticas** e **modelos determinísticos** (CARRARA, et al., 1995; GUZZETTI et al., 1999; VAN VESTEN, 2004).

Tab. 2.2

Diferentes métodos de análise de suscetibilidade e de previsão de movimentos de massa e suas características principais.

Métodos	Características principais
Análise de Distribuição	Mapeamento direto das feições do movimento de massa em um mapa que fornece informações apenas daqueles locais onde os escorregamentos ocorreram no passado (inventário de escorregamentos).
Análise Qualitativa	Direto ou semi-direto, métodos em que o mapa geomorfológico é renumerado para um mapa de perigo, ou diversos mapas são combinados em um único mapa usando a regra de decisão subjetiva, baseado sobre a experiência do pesquisador.
Análise Estatística	Método indireto, onde as análises estatísticas são usadas para obter uma previsão do perigo ao movimento de massa a partir de um número de mapas de parâmetro.
Análise Determinística	Métodos indiretos, são aqueles em que os mapas de parâmetros são combinados por meio de cálculos de estabilidade da encosta.
Análise de Frequência de escorregamento	Métodos indiretos, são aqueles onde os registros de terremotos e/ou chuvas ou modelos hidrológicos são usados para correlacionar com datas de escorregamentos conhecidas, para obter valores de entrada com certa frequência.
Análise Heurística	Método direto ou semi-direto, onde fundamenta-se sobre o peso atribuído por julgamento, permitindo realizar combinações de mapas.

Fonte: Modificado de VAN WESTEN (1993).

Os **mapas de inventário** possuem como principais características a distribuição espacial dos eventos contendo tipo, tamanho, forma e estado de atividade de, por exemplo, cicatrizes de escorregamentos. Dessa forma, são identificados e localizados os escorregamentos ocorridos no pretérito por meio da interpretação de fotografias aéreas ou de imagens de satélites, trabalhos de campo, dados históricos, entre outros. A depender da metodologia adotada, este mapa pode servir como base para o mapeamento de suscetibilidade, fornecendo um registro dos processos ocorridos no passado e no presente, que podem subsidiar a determinação de ocorrências no futuro (análise probabilística) (RENEAU & DIETRICH, 1987; AMARAL, 1992, FERNADES & AMARAL, 1996; MACEDO et al., 1999; GRAMANI & KANJI, 2000; CARVALHO et al., 2007).

O **método heurístico** é o mais subjetivos dos métodos, uma vez que, para realizá-lo, um especialista decide o tipo e o grau de suscetibilidade com base em mapas temáticos

qualitativos e levantamentos de campo (CARRARA, et al., 1995). Sendo assim, em análises heurísticas podem ser realizadas combinações de diferentes mapas (pedológico, geológico, topográficos, entre outros) com base no conhecimento a priori do pesquisador sobre as causas e os fatores de instabilidade dos movimentos de massa (XAVIER DA SILVA et al., 1996; GUZZETI et al., 1999, entre outros). Dessa forma, a falta de conhecimento sobre alguns fatores pode induzir a generalizações, prejudicando a eficiência da análise do perigo, sendo portanto aplicável somente a uma área específica (VAN WESTEN, 1993; SIDLE & OCHIAI, 2006, entre outros).

A **análise estatística** possui como princípio básico a existência de inter-relações entre os fatores condicionantes de instabilização e a distribuição de escorregamentos antigos e recentes na paisagem. Assim, assume-se que os fatores que causaram os escorregamentos em uma determinada área correspondam aos mesmos que poderão gerar escorregamentos futuros em outros locais (CARRARA et al., 1995). A partir das ferramentas estatísticas (análises bivariadas, multivariadas e regressões múltiplas) é possível, de forma mais objetiva, identificar a influência dos fatores responsáveis pela instabilidade de encostas na distribuição dos movimentos de massa. Nas análises bivariadas cada fator é avaliado separadamente e nas multivariadas são consideradas as inter-relações entre vários fatores e a ausência ou presença desses processos na paisagem (GUZZETI et al., 1999; SIDLE & OCHIAI, 2006).

Os **modelos determinísticos (ex. modelos matemáticos determinísticos em bases físicas)** possuem como base os modelos de estabilidade, que levam em consideração informações detalhadas das encostas e são baseados nos princípios da mecânica dos solos. Este método, assim como o estatístico, também busca diminuir a subjetividade, quantificando os graus de suscetibilidade em valores absolutos, por meio do cálculo do Fator de Segurança (TERLIEN et al., 1995, entre outros). O Fator de Segurança (FS) representa a razão entre a resistência e a tensão de cisalhamento, sendo que este valor sempre terá que ser igual ou maior que um para que haja estabilidade (MORGENSTERN & SANGREY, 1978).

O uso de modelos sempre foi muito difundido na área das Geociências, tornando-se mais explícito a partir da década de 1960 com o lançamento das obras *An Introduction to Statistical Models in Geology* (KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965) e a coletânea de ensaios *Models in Geography* (CHORLEY & HAGGETT, 1967). Ambas as obras foram mencionadas por CHRISTOFOLLETI (1999), foram traduzidas para o português e ganharam um grande avanço por meio da teoria probabilística e da adoção de modelos matemáticos na década de 1970, reforçado pela introdução da informática a partir da década de 1980, sendo nos dias atuais, uma das mais importantes linhas de pesquisa geomorfológica no Brasil e em outros

países, como Itália e EUA (CHISTOFOLLETI, 1999).

Os modelos matemáticos determinísticos são fundamentados em noções matemáticas clássicas de relações exatamente previsíveis entre variáveis independentes e dependentes (causa e efeito), consistindo num conjunto de afirmações matemáticas exatamente especificadas. Tais modelos são baseados em processos e leis físicas naturais e suas maiores limitações podem estar associadas à dificuldade de obtenção de parâmetros exigidos pelos modelos (ex. propriedades físicas dos solos), principalmente quando aplicados a grandes áreas. Dessa forma, sua aplicabilidade é mais aconselhada em áreas de maior detalhe (ex. em escala de bacias hidrográficas) (CHORLEY, 1975; CHRISTOFOLLETTI, 1999). Nesse sentido, na análise determinística, como método para previsão de escorregamentos, ocorre uma associação matemática entre os registros de movimentos de massa e os modelos de estabilidade de encostas e os modelos hidrológicos (DIETRICH et al., 1992; WU & SIDLE, 1995; PACK et al., 1998; IVERSON, 2000).

Tais modelos exigem dados de entrada para realizarem os cálculos do Fator de Segurança, sendo estes a espessura da camada do solo, resistência do solo (coesão e ângulo de atrito interno), condições de poro-pressão, parâmetros topográficos, entre outros. Uma vez que estes dados em escala média a regional são insuficientes e variam ao longo da área, ratifica-se a sua aplicação em escalas de detalhe (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; VAN WESTEN, 1993). Como exemplos destes modelos utilizados na previsão de áreas suscetíveis a **escorregamentos translacionais rasos** destacam-se: **SHALSTAB** (*Shallow Landslide Stability*) (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994); **SINMAP** (*Stability Index Mapping*) (PACK et al., 1998); **TRIGRS** (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional*) (IVERSON, 2000 e BAUM et al., 2002), entre outros.

O modelo SHALSTAB, que foi utilizado nesta pesquisa, já foi aplicado com sucesso em diferentes regiões, como por exemplo, na costa oeste dos Estados Unidos (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; DIETRICH et al., 1995; CASADEI et al., 2003), na Argentina (RAFAELLI et al., 2001), na Itália (SANTINI et al., 2009; CERVI et al., 2010), na Nova Zelândia (CLAESSENS et al., 2005), entre outras, apresentando resultados com excelente precisão. Nas paisagens tropicais úmidas brasileiras, também foi utilizado com sucesso por RAMOS et al. (2002); GUIMARÃES et al. (2003); FERNANDES et al. (2004); REDIVO et al. (2004); GOMES (2006); VIEIRA (2007); ZAIDAN & FERNANDES (2009), entre outros.

2.4 ÁREAS DE RISCO: BASES CONCEITUAIS E MÉTODOS DE MAPEAMENTO

A noção de riscos envolve a possibilidade de ocorrência de um acidente, ou seja, possibilidade de perdas materiais ou de vidas. **Risco**, portanto, é a possibilidade de eventos perigosos produzirem consequências indesejáveis. É o perigo pressentido, é a incerteza em relação à perda (CUNHA, 1991; ZUQUETE et al. 1990; CERRI & AMARAL, 1998; CASTRO, 1998; ONU, 2005; IPT, 2005, VEYRET, 2007, entre outros).

CERRI & AMARAL (1998) dividem o risco em duas situações: **atual**, quando ocorre em áreas densamente ocupadas, e **potencial** que expressa a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em áreas ainda não ocupadas. Ainda segundo os mesmos autores, tais riscos fazem parte dos fenômenos geológicos exógenos e dos fenômenos hidrológicos, dentro do grupo dos riscos do meio físico (riscos ambientais) (Fig. 2.2).

ZUQUETE et al. (1990) apresentam uma proposta em que os riscos são enquadrados em quatro grupos básicos, de acordo com os condicionantes que os desencadeiam, a saber:

- ❑ Riscos relacionados a fenômenos naturais, independentemente da forma de ocupação, como é o caso das situações de vulcanismo, terremotos, tsunamis, entre outros;
- ❑ Riscos relacionados a fenômenos naturais induzidos pela ocupação em áreas potencialmente problemáticas, como por exemplo, a ocupação indiscriminada de encostas, os problemas de erosão acelerados pela ação antrópica, aterramento de nascente, entre outros;
- ❑ Riscos decorrentes de ocupações implementadas de forma inadequada em terrenos potencialmente sem problemas. Esse tipo de risco está associado a cortes e a aterros mal executados, coberturas e taludes de aterros sanitários, entre outros e;
- ❑ Riscos decorrentes de limitações controláveis do meio físico, porém não detectadas antes da ocupação. Os problemas mais comuns relacionados a esta situação dizem respeito à queda de material rochoso e trincas em edificações devido à colapsividade dos materiais inconsolidados sobre a qual se assentam.

Segundo MINISTÉRIO DAS CIDADES & IPT (2004), os principais conceitos envolvidos nesta temática são:

- ❑ **Evento:** fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo;
- ❑ **Vulnerabilidade:** grau de perda para um dado elemento ou grupo dentro de uma área afetada por um processo;
- ❑ **Perigo:** condição com potencial para causar danos;

- ❑ **Suscetibilidade:** indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e/ou induzidos em áreas de interesse do uso do solo, expressando a suscetibilidade segundo classes de probabilidade de ocorrência;
- ❑ **Risco:** probabilidade de ocorrer um evento adverso de um processo sobre um elemento. Relação entre perigo e vulnerabilidade pressupondo sempre a perda;
- ❑ **Área de risco:** área passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzidos que causam efeito adverso. A população que habita essas áreas está sujeita a danos a integridade física, perdas materiais e vidas. Geralmente, correspondem a comunidades habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).

Fig. 2.2: Classificações de riscos. Fonte: CERRI & AMARAL (1998).

De acordo com ALHEIROS et al. (2004), o risco é condicionado pelo perigo, pela vulnerabilidade, pela suscetibilidade e pelo grau de exposição (Fig. 2.3). Nesta classificação, o perigo indica a probabilidade de ocorrência do acidente. As alterações antrópicas (densidade populacional, equipamentos públicos, redes de infra-estrutura existentes e tipologia das edificações) expressam a vulnerabilidade, isto é, a predisposição de um sujeito, de um sistema ou de um elemento, ser afetado por ocasião de um acidente. Áreas mais vulneráveis implicam

maiores perdas e, conseqüentemente, maior grau de risco. O grau de exposição indica a duração ou intensidade do acidente e os componentes do meio físico (litologia, geomorfologia, hidrografia, clima, entre outros) expressam a suscetibilidade natural dos terrenos. Áreas mais suscetíveis terão maior grau de risco e, portanto, a suscetibilidade é uma característica inerente ao meio que representa a fragilidade do ambiente frente aos movimentos de massa (ALHEIROS et al., 2004).

Numa perspectiva internacional, AUGUSTO FILHO et al. (1990) coloca que os "*Natural Events*" (eventos naturais) consistem em eventos sem perdas sociais ou econômicas, enquanto os "*Hazards*" (perigos) e os "*Disasters*" (desastres) sempre estão associados a alguma perda ou dano social ou material (Tab. 2.3).

Fig. 2.3: Elementos para análise de riscos. Fonte: ALHEIROS et al. (2004).

Tab. 2.3

Alguns termos internacionais correspondentes a Eventos / Acidentes / Desastres.

Terminologia	Conceituação	Autoria
<i>Natural Event</i> (Evento Natural)	Um evento natural, seja geológico, climático, entre outros é simplesmente uma ocorrência natural sem consequências socioeconômicas ou perigos potenciais.	ENGINEERING GEOLOGY – ENVIROMENTAL APROACH (1986)
<i>Natural Hazard</i> (Perigo)	Eventos que ocorrem naturalmente e são capazes de causar danos ou mortes de pessoas e/ou estragos em propriedades.	NATURAL HAZARD RISK ASSESSMENT AND PUBLIC POLICY (1982).
<i>Natural Hazard</i> (Perigo)	Significa a probabilidade de ocorrência, dentro de um período de tempo específico, numa dada área, de um estrago potencial por fenômenos naturais.	UNDRO – ONU (1979)
<i>Geologic Hazard</i> (Perigo Geológico).	Condição geológica ou fenômeno geológico que apresenta um risco ou um perigo potencial à vida e à propriedade, ocorrem naturalmente ou por interferência do homem.	AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (1984)
<i>Natural Disaster</i> (Desastres Naturais).	Um desastre natural é resultado da ocorrência de um Hazard.	ENGINEERING GEOLOGY – ENVIROMENTAL APROACH (1986)

Fonte: Modificado de AUGUSTO FILHO et al. (1990).

Existem na literatura diversos métodos para o mapeamento de áreas de risco e, dessa forma, sua escolha e sua aplicabilidade são definidas a partir do objetivo do mapeamento e da escala mapeada. Tais métodos, derivados daqueles aplicados para a Cartografia Geotécnica¹ (Tab. 2.4), começaram a ser desenvolvidos a partir dos anos 1940 na Alemanha e nos Estados Unidos, em função da necessidade de planejamento e de reconstrução de diversas cidades nestes países (MACEDO, 2001). No Brasil, a elaboração deste tipo de mapeamento se iniciou por volta de 1965 no Rio de Janeiro pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), sendo atualmente aplicada por diversos institutos: IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), IG (Instituto Geológico de São Paulo) e as Universidades de Pernambuco (UFPE), de Brasília (UNB), entre outras (MACEDO, 2001).

¹ Cartografia que expõem as limitações e as potencialidades dos terrenos e define as diretrizes de ocupação para um ou mais usos (ZUQUETE, 1993, entre outros).

Tab. 2.4

Tipos de Cartas Geotécnicas, segundo processos do meio físico e empreendimentos de obras civis.

Tipos de Cartas Geotécnicas		
Planejamento Regional e Urbano	Suscetibilidade e riscos geológicos (processos do meio físico)	Viabilidade para implantação de empreendimentos (processos tecnológicos)
Aptidão física ao uso do solo urbano	Erosão	Hidrovia
Aptidão física ao uso do solo agrícola	Escorregamento	Rodovia
	Assoreamento	Ferrovia
	Inundação	Dutovia
	Afundamento cárstico	Uso e ocupação do solo
	Colapso de solo	Barragem
	Expansão de solo	Indústria
	Recalque de solo	Aeroporto
	Dinâmica costeira	Porto
	Sismo	Linhas de transmissão
		Mineração

Fonte: Modificado de DINIZ (1998).

Especificamente, com relação ao mapeamento de áreas de risco a escorregamentos no Brasil, um dos métodos pioneiros foi proposto por CERRI (1993), sendo aperfeiçoado por CERRI & AMARAL (1998) e diversos outros pesquisadores e órgãos de pesquisa (ex. IPT), a partir do levantamento destas áreas por meio de fichas de campo. Segundo CERRI & AMARAL (1998), o mapa de áreas de risco a escorregamentos indica a representação da distribuição do risco, “*no qual são plotados os pontos notáveis sujeitos a risco*”, com grau de risco, fotografias locais, entre outros aspectos e outros documentos. CERRI (1993) já relatava que a utilização de fichas elaboradas exclusivamente para o cadastro de risco em áreas vistoriadas é sempre recomendável. Nestas fichas, segundo CERRI & AMARAL (1998), são verificados alguns condicionantes naturais e ações antrópicas indutoras, que podem potencializar o risco (Tab. 2.5).

Em 2003, este método de cadastramento foi aperfeiçoado pelo IPT (MACEDO et al., 2004) durante o mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e demais processos em 90 cidades da região administrativa de Campinas², a partir da publicação da ficha de cadastro indicada na Fig. 2.4. Nestas fichas, estão presentes os aspectos de suscetibilidade do meio físico e os condicionantes antrópicos, que potencializam o risco, permitindo uma conclusão satisfatória dos aspectos que possam afetar a segurança de moradias implantadas em

² Este método foi também utilizado pela Prefeitura do Município de São Paulo em 2004 a partir da contratação do IPT em parceria com a UNESP.

assentamentos urbanos precários, bem como a magnitude dos processos atuantes na região. Em primeiro lugar, são identificados os indicadores naturais como vegetação, relevo, cobertura superficial e drenagem e os antrópicos, tais como, padrão urbano e social de uso do solo, tipologia das construções, estágio da urbanização, densidade de ocupação, condição e padrão das vias de acesso, redes de infra-estrutura existentes, distância das moradias em relação à encosta, sistemas de drenagem superficial e intervenções na área. Posteriormente, são verificadas as evidências de movimentação, tais como cicatrizes de escorregamentos, trincas, degraus de abatimento, árvores, postes e muros inclinados, muros e paredes embarrigados, entre outros (MACEDO et al., 2004).

Esta ficha pode ser aplicada em duas diferentes escalas: **zoneamento ou cadastramento de risco**. O zoneamento corresponde à identificação dos processos destrutivos atuantes, à avaliação do risco de ocorrência de acidentes, à delimitação e à distribuição espacial de setores homogêneos em relação ao grau de probabilidade de ocorrência do processo ou mesmo ocorrência de risco, estabelecendo as classes de risco necessárias (ex. **R1** – risco baixo - a **R4** - risco muito alto). Permite ainda, a individualização de setores (setorização) (Fig. 2.5), fornecendo informações sobre os níveis de risco a que cada um está sujeito. O cadastramento de risco fornece informações específicas, como a quantidade de moradias localizadas nos setores de risco, identificando aquelas que são passíveis de uma imediata remoção, sendo portanto, um subsídio para as ações que necessitam de rápidas intervenções e/ou medidas mitigadoras aplicadas pelos órgãos públicos responsáveis. Dessa forma, é um detalhamento das situações de risco caso a caso (moradia por moradia) (MACEDO et al., 2004).

Tab. 2.5

Exemplo de processos morfodinâmicos causadores de acidentes no Brasil e os principais condicionantes naturais e as ações antrópicas indutoras. Em destaque (cinza) os processos comuns na Bacia do Rio Aricanduva.

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

Fonte: Modificado de CERRI & AMARAL (1998).

ROTEIRO DE CADASTRO DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS	
Município: _____	Nº do Cadastro: _____
Bairro: _____	Data: / /
LOCALIZAÇÃO: _____	
NOME DE MORADORES: _____	
CONDIÇÕES DE ACESSO À ÁREA: _____	
TIPOS DE MORADIAS: ☐ Alvenaria ☐ Madeira ☐ Misto (alvenaria e madeira)	
☐ Encosta Natural altura _____ m Inclinação (marque com "x" o desenho que apresenta a condição mais parecida com a situação)

☐ Talude de corte altura _____ m Inclinação (marque com "x" o desenho que apresenta a condição mais parecida com a situação)

Dist. das moradias: _____ m da base da encosta/talude OU _____ m do topo da encosta/talude	
☐ Aterro Lançado altura _____ m Inclinação (marque com "x" o desenho que apresenta a condição mais parecida com a situação)

Dist. das moradias: _____ m da base do aterro OU _____ m do topo do aterro	

Fig. 2.4: Exemplo de ficha atualizada desenvolvida e aplicada pelo IPT no mapeamento 2009-2010 em áreas de risco a escorregamentos (página 1). Fonte: Arquivo IPT.

Continuação da Fig. 2.4

☐ Presença de parede rochosa altura _____ m Inclinação (marque com "x" o desenho que apresenta a condição mais parecida com a situação)

☐ Presença de blocos de rocha e matacões ☐ Presença de lixo/entulho					
☐ Concentração de água de chuva em superfície (enxurrada)	☐ Lançamento de água servida em superfície (a céu aberto ou no quintal)				
Sistema de drenagem superficial ☐ inexistente ☐ precário ☐ satisfatório					
Para onde vai o esgoto? ☐ fossa ☐ canalizado ☐ lançamento em superfície (céu aberto)					
De onde vem a água para uso na moradia? ☐ Prefeitura/Concessionária ☐ mangueira					
Existe vazamento na tubulação? ☐ SIM (☐ esgoto ☐ água) ☐ NÃO					
Minas d'água no barranco (talude) ☐ no pé ☐ no meio ☐ topo do talude ou aterro					
☐ Presença de árvores	☐ Vegetação rasteira (arbustos, capim, etc)				
☐ Área desmatada	☐ Área de cultivo (banana) _____				
Trincas ☐ no terreno ☐ na moradia	☐ Degraus de abatimento
Inclinação ☐ árvores ☐ postes ☐ muros	☐ Muros/paredes "embarrigados"				
☐ <i>Cicatriz de escorregamento próxima à moradia</i>					
Escorregamentos ☐ no talude natural ☐ no talude de corte ☐ no aterro					
☐ Queda de blocos	☐ Rolamento de blocos				
☐ RISCO MUITO ALTO/Providência imediata					
☐ RISCO ALTO/Manter local em observação					
☐ RISCO MÉDIO/Manter local em observação					
☐ RISCO BAIXO OU INEXISTENTE (pode incluir situações sem risco)					
Número de moradias em risco: _____	Estimativa do nº de pessoas p/ remoção: _____				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">EQUIPE TÉCNICA NOME / INSTITUIÇÃO</th> <th style="width: 50%;">ASSINATURA</th> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"></td> <td></td> </tr> </table>		EQUIPE TÉCNICA NOME / INSTITUIÇÃO	ASSINATURA		
EQUIPE TÉCNICA NOME / INSTITUIÇÃO	ASSINATURA				

Fig. 2.4: Exemplo de ficha atualizada desenvolvida e aplicada pelo IPT no mapeamento 2009-2010 em áreas de risco a escorregamentos (página 2). Fonte: Arquivo IPT.

Fig. 2.5: Exemplos de delimitações de setores de risco. A foto A mostra os setores de risco na Favela Real Parque (RMSP) delimitados a partir de fotografias aéreas, escala 1:6.000 da PMSP/RESOLO. A foto B indica um setor de risco delimitado a partir de fotografia oblíqua de baixa altitude obtida por meio de sobrevôo de helicóptero realizado no município de São Paulo. Fonte: (A): CANIL et al. (2004), (B): CERRI et al. (2007).

Outras propostas metodológicas também utilizam fichas de cadastro (ex. AUGUSTO FILHO, 1994 e ALHEIROS, 1998). Na proposta de AUGUSTO FILHO (1994), segundo a Fig. 2.6, também aplicada no IPT, as fases e as atividades propostas em seu roteiro indicam a necessidade de **inventário**, de **investigação**, de **análise** e de **síntese**. O **inventário** envolve a preparação, o levantamento e o tratamento dos dados existentes, a partir de visitas de campo e de identificação de dados preliminares. A **investigação** engloba a definição das unidades de análise e dos condicionantes/atributos, trabalhos de cartografia e de fotointerpretação, cadastro de escorregamentos, ensaios em laboratórios, entre outros. A **análise** corresponde a fase do roteiro onde se realiza o tratamento dos dados e, por fim, na **síntese** realiza-se a elaboração da carta de risco, acompanhada de legenda explicativa. Segundo AUGUSTO FILHO (1994), este método é mais adequado para a elaboração de cartas de risco de detalhe (escalas maiores que 1:5.000) até escalas médias (1:50.000) e a depender da escala adotada, algumas atividades referentes aos métodos e às técnicas de investigação propostas podem ser suprimidas.

A proposta de ALHEIROS (1998), utilizada no município de Recife (PE), é aplicada em setores individualizados nas encostas. Durante os trabalhos de campo, é observada determinada parte da encosta, verificando suas características de ocupação urbana e infraestrutura, dividindo-a em setores homogêneos. As fichas de campo utilizadas uniformizam os dados na análise do risco, considerando fatores geológicos, topográficos e ambientais (vegetação, drenagem, cortes, densidade populacional, entre outros). Neste caso, o fator topográfico e o fator geológico têm como atributos os elementos da suscetibilidade e o fator ambiental envolve tanto os atributos de suscetibilidade, quanto vulnerabilidade.

Existem ainda outros métodos que não utilizam fichas de campo e são indicadas para áreas de menor detalhe, como municípios (ex. CANIL, 2000 e RODRIGUES, 2005). O método adotado por CANIL (2000), foi realizado para análise de risco a erosão no município de Franca-SP (Fig. 2.7). Nesta proposta é necessário caracterizar a suscetibilidade natural dos terrenos a partir da elaboração de mapas temáticos (geologia, declividade, formas da vertente e pedologia) que combinados e associados ao mapeamento de feições erosivas resultam no mapa de suscetibilidade. Dessa forma, a carta de risco nesta metodologia é resultante da combinação do mapeamento de suscetibilidade com o mapeamento de uso e ocupação do solo, mais a ocorrência de processos morfodinâmicos (ex. erosão), dispensando a necessidade de aplicação de fichas de campo.

O método sistematizado por RODRIGUES (2005) é indicado para estudos do meio físico que considerem seus diversos graus de intervenções antrópicas (ex. áreas de risco).

Nesta proposta são investigadas categorias de intervenções antrópicas capazes de alterar sistemas geomorfológicos, tais como retirada da vegetação original, padrão de arruamento, densidade de edificações, densidade de lotes, fases de consolidação urbana, distribuição e densidade de materiais superficiais, profundidade e extensão de cortes e de aterros, volume de materiais remanejados *in loco* ou importados, entre outros. Estes dados podem ser levantados de diversas formas, como fotointerpretação de seqüências cronológicas de intervenções, análise de cartografia de base de diversas épocas, por entrevistas e por levantamentos de campo.

Fig. 2.6: Metodologia para elaboração de cartas de risco de escorregamentos desenvolvida por AUGUSTO FILHO (1994). Fonte: AUGUSTO FILHO (1994).

Fig. 2.7: Roteiro metodológico aplicado para o mapeamento de áreas de risco a erosão no Município de Franca (SP). Fonte: CANIL (2000).

2.5 O PAPEL DA URBANIZAÇÃO BRASILEIRA NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO

Os efeitos dos riscos associados a escorregamentos manifestam-se nas cidades, às vezes, em diferentes escalas espaciais e em diferentes momentos no tempo. Os efeitos da concentração e da densidade urbana, a desigual mobilidade dos cidadãos e o impacto das práticas de urbanismo acelerado induzem o aparecimento de diversas pressões antropogênicas (VEYRET, 2007, entre outros).

No caso da **urbanização brasileira** que na maior parte do país ocorreu de forma espontânea, sem a formulação de um planejamento urbano eficaz, registra-se cada vez mais, a apropriação de espaços a partir de práticas inadequadas. A habitação é um dos bens cujo acesso é seletivo: parcela enorme da população não tem acesso, ou seja, não possui renda para pagar o aluguel de uma habitação com boa infra-estrutura e, menos ainda, para adquirir um imóvel próprio. O efeito da especulação imobiliária implica o aparecimento de inúmeros assentamentos urbanos precários sem infra-estrutura em áreas que podem ser naturalmente menos adequadas para ocupação (ROSS, 1993; CORRÊA, 2004, entre outros). Esses assentamentos são, geralmente, localizados em terrenos públicos ou privados invadidos por grupos sociais excluídos que se tornam agentes transformadores da paisagem e que podem alterar seu equilíbrio dinâmico (SANTOS, 1993; CORRÊA, 2004, entre outros).

O adensamento populacional é um elemento que pode ter grande importância na formação do risco, particularmente em ocupações espontâneas. Neste caso, os próprios ocupantes são os agentes modificadores da paisagem e a decisão de onde e como habitar passa a ser estabelecida à medida que tal assentamento cresce. De acordo com as necessidades das diversas comunidades, criam-se novas ocupações inadequadas sendo responsáveis pelo desequilíbrio de encostas e de planícies fluviais. Este tipo de ocupação precária apresenta, geralmente, as seguintes características: inexistência de reserva de áreas de servidão, rede viária descontínua e sem hierarquização, corte da barreira para criar terreno, aumento do talude de corte para ampliação de terreno, lançamento de aterro não compactado (bota-fora) na borda da encosta, remoção da vegetação natural, árvores de grande porte no talude de corte e na crista da encosta, baixo padrão construtivo das habitações, inexistência de calhas, biqueiras e impermeabilização no entorno das moradias, inexistência de canaletas para a drenagem das águas servidas e pluviais, inexistência de rede de coleta e de estações de tratamento de esgotos, fossa localizada na borda da encosta, deficiência do sistema de coleta

do lixo domiciliar e obstrução da drenagem pelo lixo jogado sobre os taludes e canaletas (ALHEIROS et al., 2004, entre outros).

De maneira oposta, as ocupações planejadas, podem resultar em menor risco à população, pois, neste caso, geralmente, as ocupações são construídas com lotes e vias definidas, possuem rede viária hierarquizada, reserva de espaço para lazer e equipamentos de uso público, definição de espaços para uso não habitacional e adoção de terraplenagem generalizada aplainando o topo dos morros (ALHEIROS et al., 2004, entre outros).

Segundo PANIZZI (1990), a maior parte das metrópoles brasileiras caracteriza-se pelo crescimento e pela expansão da sua periferia, marcada pela presença de favelas e pela expansão da ocupação inadequada. RODRIGUES (1997), indica que a diversidade de tipos de habitações nas áreas urbanas ocorre em função da produção diferenciada das cidades e a diferente capacidade de pagar dos possíveis compradores, tanto pelo terreno e moradia, quanto pelos equipamentos e serviços coletivos.

A **Região Metropolitana de São Paulo** obteve um ritmo de crescimento acelerado, com a expansão da área urbana de forma essencialmente horizontal que avançou por terrenos de topografia irregular (SANTOS, 1993; ARQUIVO DO ESTADO, 2001). A partir da Segunda Guerra Mundial (segunda metade do século XX), a Região Metropolitana de São Paulo passou a abrigar atividades fabris intensivas, evoluindo como centro comercial, financeiro e empresarial gerando um novo surto de expansão, sendo este ritmo também acompanhado por municípios adjacentes. O processo de conurbação começou a se intensificar e áreas rurais foram loteadas e ocupadas num curto espaço de tempo. Este crescimento escapou a qualquer tipo de controle e planejamento urbano e o forte adensamento populacional transformou a Região Metropolitana no maior aglomerado da América do Sul, colocando-se, portanto entre as metrópoles mais populosas do mundo.

Segundo OSTROWSKY & ZMITROWICZ (1991), a mancha urbana metropolitana em 1914 era de aproximadamente 4 hectares (0,77% da bacia do Alto Tietê). Em 1930 passou para 18 hectares (3,2% da bacia), em 1952 para 42 hectares (7% da bacia), em 1962 para 73 hectares (13% da bacia), em 1974 para 106 hectares (19% da bacia) e em 1987 para 152 hectares (27% da bacia). O desenvolvimento urbano que hoje caracteriza a RMSP é marcado pelo crescente assoreamento dos cursos d'água e por diversas ocupações inadequadas (OSTROWSKY & ZMITROWICZ, 1991).

A partir dos anos 1970, o traçado urbano da Região Metropolitana sofreu mais alterações em virtude dos novos parâmetros de ocupação, da implantação do Metrô, das políticas de desapropriação, das grandes obras viárias, entre outros. É durante a década de

1970, que se intensifica a expansão da mancha urbana em direção às áreas periféricas (KOWARICK, 1979). Tais áreas (ex. Represas Billings e Guarapiranga, bacia do Pirajussara, bacia do Aricanduva, entre outras) por apresentarem solos suscetíveis à erosão, declividades acentuadas e por conterem remanescentes de Mata Atlântica e mananciais de abastecimento da Metrópole, são, na sua grande maioria, consideradas desfavoráveis à ocupação. Essa década marca, ainda, o incremento da população moradora de favelas, uma vez que no período entre 1973 a 1980 os valores passam de 1% a 5% do total da população paulistana (SECRETARIA DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE & IPT, 2004).

O censo realizado em 1999³ pela Secretaria de Habitação e Desenvolvimento Urbano do município, indica que existiam em São Paulo 1855 favelas distribuídas pelas Subprefeituras do município. Segundo o censo, a maior concentração destas favelas se localiza nas áreas periféricas do município, com destaque as zonas sul e leste da cidade (TAKIYA et al., 2002). Este quadro é bastante favorável à existência de áreas de risco, em função da instalação e da consolidação da miséria nas porções mais periféricas da cidade, desprovidas de condições mínimas de infra-estrutura urbana.

Com relação à pluviometria, a frequência das chuvas de **grande magnitude** (chuvas concentradas), na Região Metropolitana de São Paulo até os anos de 1944 não apresentava mais que 10 eventos anuais. A partir de 1945, passam de 10 a 15 episódios e em 1970 foram constatados 23 episódios (CABRAL, 1994). Na Região Metropolitana de São Paulo, chove de 5 a 10% a mais do que em áreas rurais próximas, e esse aumento tem maior elevação (quase generalizada) no trimestre do verão (CABRAL, 1994, entre outros).

³ Trata-se ainda do censo mais atual. O censo de 2010 encontra-se em elaboração.

3. O CÓRREGO DO LIMOEIRO NO CONTEXTO DA BACIA DO RIO ARICANDUVA: CARACTERIZAÇÃO GERAL

Embora a área de estudo desta pesquisa seja a bacia do córrego do Limoeiro, antes é preciso contextualizá-la na bacia da qual é afluente, a bacia do Rio Aricanduva, que se localiza no setor leste-sudeste do município de São Paulo. Suas nascentes estão próximas a cidade de Mauá (RMSP), adjacentes ao divisor norte das cabeceiras do Rio Tamanduateí. A bacia possui 22 afluentes, sendo o córrego do Limoeiro um dos cinco afluentes de seu alto curso, localizado na margem esquerda da bacia (Fig. 3.1).

Neste item serão descritos, **na escala da bacia do Rio Aricanduva**, aspectos do meio físico (3.1) e do meio antrópico (uso do solo e produção de sedimentos) (3.2), que possam contribuir para o melhor entendimento dos fatores de suscetibilidade e de vulnerabilidade visando facilitar a compreensão dos movimentos de massa atuantes. Esta caracterização tem, portanto, um papel auxiliador na discussão dos resultados obtidos nesta pesquisa.

Fig. 3.1: Modelo Digital do Terreno (sombreado) da bacia do rio Aricanduva e localização da bacia do córrego do Limoeiro, afluente pela margem esquerda da bacia.

3.1 MEIO FÍSICO

Morfologicamente, a bacia do rio Aricanduva está orientada na direção geral SSE-NNW, tendo o talvegue de seu curso principal uma extensão total de 20 Km, desde a cota 1000 m, nas suas nascentes, até 720 m de altitude na foz (Fig. 3.2). Neste percurso, pertence à bacia parcial ou integralmente os distritos do Carrão, do Tatuapé, da Penha, da Vila Matilde, do Aricanduva, da Vila Formosa, de Cidade Líder, do Parque do Carmo, de José Bonifácio, de Sapopemba, de São Mateus, do Iguatemi, de São Rafael e de Cidade Tiradentes, todos localizados na zona leste do município de São Paulo (DAEE, 1999).

Fig. 3.2: Mapa Hipsométrico da bacia do rio Aricanduva, com destaque a bacia do córrego do Limoeiro.

Geologicamente, a bacia do Rio Aricanduva constitui-se predominantemente de rochas do Proterozóico Superior e em apenas 1/3 da área por sedimentos Terciários da bacia de São Paulo pertencente ao Grupo São Paulo (EMPLASA, 1980). Em seu **alto curso** predominam rochas metamórficas pré-cambrianas, representadas sobretudo por micaxistos do complexo Pilar (Grupo Açungui) (Fig. 3.3). A elevada densidade de drenagem promove um padrão quase dentrítico em áreas de micaxisto. O médio curso, além de micaxistos, apresenta a ocorrência pouco expressiva de gnaisses e de migmatitos e de intrusões graníticas do grupo Fácies Cantareira. Finalmente, o baixo curso é composto por sedimentos Terciários da bacia de São Paulo. Tais sedimentos constituem-se por siltes argilosos intercalados por camadas contínuas de areias finas argilosas (EMPLASA, 1980). Segundo INFANTI & FORNASARI (1998), a presença de rochas pré-cambrianas, em especial os micaxistos, bastante porosas, permeáveis e friáveis, favorece o desenvolvimento de intenso processo erosivo, como ravinas e voçorocas e de movimentos de massa.

As características geológicas e geotécnicas dos micaxistos e o seu comportamento bastante sensível às intervenções antrópicas condicionam processos de instabilização notáveis nas áreas onde estão localizados na bacia. Segundo IPT (2005), 75% dos escorregamentos ocorreram em áreas de micaxisto no verão de 2005, comprovando tal situação.

A calha dos principais córregos da bacia é composta por sedimentos aluvionares quaternários. Apresentam larguras geralmente compreendidas entre 50 e 100 metros, com espessuras de 2 ou 3 metros nas nascentes até 4 ou 5 metros na foz. Estes sedimentos constituem-se por sucessões de areais médias e grossas com cascalho na base, sucedidas por argilas orgânicas moles (intermediariamente) e por areias médias e finas argilosas na superfície (EMPLASA, 1980).

Associados a todos estes litotipos devem ser mencionados os depósitos tecnogênicos: aterros lançados para regularização topográfica das superfícies (ex. várzeas) para fins de ocupação diversa. São de grande heterogeneidade e abrangência, compreendendo inclusive entulhos diversos e lixo. Recobrem os aluviões, principalmente nas áreas de maior ocupação urbana e viária (EMPLASA, 1980).

Em termos pedológicos, predominam argissolos vermelho-amarelo e cambissolos com texturas argilo-siltosa a arenosa fina nos cursos **alto** e médio (Fig. 3.3), o que confere a estas porções da bacia, sob o aspecto hidrológico, um elevado potencial de escoamento superficial (ROSS & MOROZ, 1997; DAEE, 1998). Dada a quase total impermeabilização do solo no baixo curso do rio Aricanduva, não é possível apresentar uma análise pedológica significativa desta porção da bacia.

Fig. 3.3: Solos com textura argilo-siltosa a areosa fina (A) e micaxistos (B) na bacia do rio Limoeiro, Alto Aricanduva.

Em relação ao relevo, onde neste caso o substrato rochoso apresenta grande peso em sua formação, o alto e médio cursos da bacia estão inseridos na unidade morfoescultural do Planalto Paulistano/Alto Tietê, pertencente ao cinturão orogênico do Atlântico (ROSS & MOROZ, 1997). A presença do micaxisto, por sua marcante xistosidade, orientada regionalmente na direção geral NE-SW, com mergulhos quase verticais, associadas a fraturas com ou sem cisalhamento, condiciona um relevo acentuado com encostas íngremes. A unidade caracteriza-se por apresentar formas denudacionais, cujo modelado se manifesta por relevos decorrentes de erosão, com morros médios e altos de topos convexos de origem cristalina. Este planalto apresenta formas de relevo bastante dissecadas, no qual os processos intempéricos atuantes na denudação dos terrenos e na conformação da paisagem ajudaram a formar um relevo local bastante acidentado, onde também se encontram anfiteatros de erosão nas cabeceiras de drenagem (Fig. 3.4) (EMPLASA, 1980; ROSS & MOROZ, 1997; DAEE, 1999).

Segundo a Carta Geotécnica do Município de São Paulo (IPT, 1984), as condições topográficas são desfavoráveis à ocupação nesta porção da bacia, quando não planejadas corretamente, pois se encontram em áreas de severa restrição à ocupação por serem mais sujeitas a processos erosivos e a movimentos de massa.

O baixo curso do Aricanduva corresponde à unidade morfoescultural denominada Planalto de São Paulo, pertencente ao compartimento do Planalto Atlântico. Nesta unidade, suas formas de relevo apresentam colinas e patamares aplanados (EMPLASA, 1980; ROSS & MOROZ, 1997; DAEE, 1999). A declividade destas unidades geomorfológicas é inferior a 20% à jusante da bacia e superior a 20% a montante da bacia, onde chegam a atingir declividades superiores a 80% nas cabeceiras de drenagem, que podem facilitar a ocorrência de escorregamentos (Fig. 3.5).

Fig. 3.4: A foto superior mostra um exemplo de relevo dissecado (setas amarelas), com fragmentos de vegetação arbórea e avanço de loteamentos precários em direção aos morros cristalinos. A foto inferior mostra a presença de ocupações precárias em relevos do tipo anfiteatro, sujeitas a escorregamentos na bacia do rio Limoeiro.

Fig. 3.5: Mapa de Declividade (em %) da bacia do rio Aricanduva, com destaque a bacia do córrego do Limoeiro.

Em razão da alta altitude, do tipo de relevo e de sua localização, o clima da bacia do rio Aricanduva é classificado como Tropical de Altitude, com boa definição dos regimes pluviométricos. Numa classificação de 1972, a média anual da bacia já estava compreendida entre 1300 e 1400 mm, no qual a estação chuvosa (outubro a março) apresentava um total médio de 1000 mm; enquanto a estação seca (abril a setembro), um total médio inferior a 300 mm (DAEE, 1972). Atualmente, PEREIRA FILHO et al. (2009), verificaram que o clima no município de São Paulo se alterou, tornando-se mais quente e menos úmido, causando mais tempestades, menos garoas e mais poluição. As tempestades severas são, portanto, fenômenos

meteorológicos associados a correntes ascendentes e descendentes intensas. Particularmente na zona leste de São Paulo, onde se localiza a bacia, ocorre à entrada de frentes e de brisas marinhas vindas da Serra do Mar que, acompanhadas de umidade, intensificam a ocorrência de precipitações de grande magnitude (PEREIRA FILHO et al., 2009).

A grande quantidade de umidade na região permite a existência da formação florestal ombrófila densa de Mata Atlântica (Fig. 3.6), com desenvolvimento do estrato arbóreo e a presença de espécies higrófilas com folhas latifoliadas no **trecho alto** e no trecho médio da bacia, incluindo-se a Área de Proteção Ambiental do Parque do Carmo (Fig. 3.7). O baixo curso não apresenta cobertura vegetal significativa, dada sua impermeabilização, conforme será apresentado no item seguinte.

Fig. 3.6: Visão aérea de parte da bacia do Limoeiro (alto Aricanduva), com muitos trechos com vegetação arbórea densa de Mata Atlântica, ora em estágio natural, ora secundário (capoeiras).

Fig. 3.7: Visão aérea parcial da Área de Proteção Ambiental do Parque do Carmo (médio Aricanduva), onde se observam também áreas de lazer.

3.2 MEIO ANTRÓPICO: USO DO SOLO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

De acordo com a divisão político-administrativa do município de São Paulo, a bacia do rio Aricanduva abrange as Subprefeituras da Mooca (MO), do Aricanduva (AF), da Penha (PE), de Itaquera (I), de Vila Prudente – Sapopemba (VP), de São Mateus (SM) e de Cidade Tiradentes (CT). As obras de canalização do Rio Aricanduva e de vários de seus afluentes, executadas pela Prefeitura do Município de São Paulo, desenvolveram-se entre 1970 e meados da década de 1980, com algumas readequações na década de 1990, iniciando-se com a implantação do trecho compreendido entre a foz do rio Aricanduva e as imediações da Avenida Radial Leste (DAEE, 1999). Posteriormente, a partir de 1985, por ocasião da implantação da linha LESTE do Metrô, a Companhia do Metropolitano de São Paulo efetuou a canalização parcial ou total de inúmeros outros afluentes da bacia, tais como os córregos Rincão, Gamelinha, Rapadura, entre outros (DAEE, 1999).

No último mapeamento de uso do solo realizado na Região Metropolitana de São Paulo pela EMPLASA (1999), foi verificado que o uso dominante na bacia do Rio Aricanduva corresponde às áreas urbanizadas. Os demais usos, em menor proporção, constituíam-se de áreas de utilidade pública (ex. cemitérios), de zonas industriais, de campos e de áreas cultivadas, de mata natural, de reflorestamento e de vegetação de brejo e de áreas suscetíveis a erosão (mineração e loteamentos) (EMPLASA, 1999).

Enquanto o baixo e o médio curso da bacia estão quase totalmente ocupados, **o alto Aricanduva**, é caracterizado por áreas urbanas em consolidação. São ainda cobertos por vegetação dos tipos natural (Mata Atlântica), rasteira, de várzea e de horticulturas (ex. cultivos de bananeiras) (EMPLASA, 1999). Esta situação revela cenários urbanísticos bastante diferenciados na bacia (Fig. 3.8 e Fig. 3.9). Segundo DAEE (1999), ocorre uma expansão da ocupação urbana para as cabeceiras do Aricanduva, que implicam em desmatamentos e em desenvolvimentos de novos loteamentos para populações de baixa renda, resultando no surgimento de áreas potencialmente erodíveis. Nessa porção da bacia, a ocupação desenvolve-se tanto nos fundos de vale, como nas encostas. Em relação às atividades econômicas presentes na bacia do Aricanduva, estas estão vinculadas a um perfil de população em geral de baixa renda.

Fig. 3.8 : Padrão de ocupação no baixo Aricanduva: área urbana consolidada, com médio a alto padrão construtivo, alta densidade de ocupação, impermeabilização do solo e baixa quantidade de cobertura vegetal. Notam-se diferentes tipos de usos do solo: residencial, industrial, vias de circulação (neste caso, observa-se a Avenida Aricanduva, principal via de circulação na região) e solo exposto (usos futuros), que funcionam como obstáculos, que ao estarem localizados nos fundos de vale da bacia, potencializam a ocorrência de inundações.

Fig. 3.9: Padrão de ocupação no alto Aricanduva: área urbana em consolidação, com baixo padrão construtivo. Embora se observe a presença significativa de vegetação, a crescente densidade de ocupação, nos terrenos mais dissecados e declivosos, potencializa a ocorrência de movimentos de massa, conforme se pode verificar a presença de cicatrizes de escorregamentos (vermelho). Local da foto: bacia do rio Limoeiro.

Das áreas verdes protegidas pela gestão municipal, a única existente é a Área de Proteção Ambiental do Parque do Carmo. Nas áreas verdes de Mata Atlântica do **alto Aricanduva** não foi verificada a existência de proteção e de conservação destas áreas por parte da gestão pública (DAEE, 1999).

As duas unidades morfoesculturais que estão presentes na bacia do rio Aricanduva (Planalto Paulistano/ Alto Tietê e Planalto de São Paulo), apresentam naturalmente intensa atividade erosiva, em função de suas características morfológicas, principalmente na unidade em que está assentada o alto curso da bacia (Planalto Paulistano), manifestada por erosão linear em voçorocas e também por movimentos de massa. Agravando ainda mais tal tendência erosiva natural da bacia, a ação do extensivo processo de ocupação em direção às suas cabeceiras vêm destruindo a cobertura vegetal, removendo os horizontes superiores dos solos e expondo aos processos erosivos os horizontes inferiores, mais desagregáveis e, portanto, grandes geradores de sedimentos (IPT, 1984; ROSS & MOROZ, 1997; DAEE, 1999).

A constituição litológica da bacia resultou em solos de constituição argilo-siltosa a arenosa fina. Levantamentos do DAEE (1999) encontraram sedimentos granulares (frações arenosas) nos fundos dos canais de drenagem da bacia, que provêm ou de inclusões quartzosas, naturalmente ocorrentes nos micaxistos e em seus solos de alteração ou de atividades de ocupação antrópica. Estes sedimentos possuem cerca de 0,400 mm, classificando-se como areias finas e médias, tratando-se portanto de sedimentos finos. No entanto, localmente verifica-se a presença de materiais mais grosseiros, como cascalhos, blocos e matacões de dimensões centimétricas (DAEE, 1999). Incluem-se ainda a presença de lixo urbano, de entulho e de materiais da construção civil que expõem os produtos resultantes da erosão dos horizontes mais imaturos dos solos, expostos por meio de obras de escavação (loteamentos, empréstimos, cortes, desmatamentos, entre outros) (DAEE, 1999).

Quanto à produção de sedimentos, mapeamentos do IPT (2005) (Fig. 3.10) realizado em 85 áreas fonte (críticas em relação a esta produção), apontaram cerca de 60% destas áreas nas cabeceiras da bacia, especialmente nas subprefeituras de São Mateus e Cidade Tiradentes, que correspondem aos afluentes Caguaçu, Palanque e **Limoeiro**. Em 1997, mapeamentos do IPT já apontavam tais sub-bacias como as mais críticas para ocorrência de processos erosivos e de movimentos de massa (IPT, 1997).

Segundo DAEE (1999), entre todos os afluentes da bacia do Alto Tietê, a bacia do rio Aricanduva é a que mais contribui na produção e no transporte de sedimentos, potencializando o assoreamento da bacia da qual é afluente. Nesse sentido, os processos erosivos e gravitacionais provocam *output* de matéria que passam a ser o *input* nos sistemas

subseqüentes (rio Aricanduva – rio Tietê). Confirmando a ordem de grandeza desta avaliação, trabalhos de desassoreamento e de dragagem realizados ao longo de 7 Km de extensão do leito do rio Aricanduva removeram um volume de sedimentos acumulados segundo uma taxa anual de cerca de 6000 m³/ano (90.000 m³ em 15 anos) (DAEE, 1999).

Fig. 3.10: Mapa de áreas críticas quanto à produção de sedimentos da bacia do Rio Aricanduva, com destaque a bacia do córrego do Limoeiro. Observar maior volume de produção de sedimentos no alto curso da bacia do Aricanduva. Fonte: Modificado de IPT (2005).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Visando alcançar o objetivo principal desta pesquisa, que consiste em **analisar o grau de risco e a suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos no córrego do Limoeiro**, e com base no embasamento teórico-metodológico apresentado anteriormente, a orientação metodológica desta pesquisa foi dividida em **sete etapas** (Fig. 4.1): orientação teórica (4.1), seleção da área piloto (4.2), mapeamento evolutivo do uso do solo (4.3), mapeamento das áreas de risco a escorregamentos (4.4), análise dos parâmetros topográficos (4.5), mapeamento de suscetibilidade (4.6) e análise conjunta (4.7).

Fig. 4.1: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.

4.1 ORIENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento adequado de uma pesquisa pressupõe a escolha ideal de métodos científicos de acordo com o objetivo principal proposto. Assim, para análise do grau de risco e da suscetibilidade a escorregamentos foi necessário selecionar um método que pudesse ser capaz de integrar as diversas variáveis físicas e antrópicas, que em conjunto sejam suficientes para responder a questão central deste trabalho.

Nesse sentido, a escolha da organização do raciocínio e a da condução da pesquisa, implica a utilização do método da **Análise Sistêmica** (integrada), resultante da Teoria Geral dos Sistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999). O uso deste método justifica-se pela possibilidade de analisar o meio, com o qual é possível a integração de aspectos físicos e antrópicos, atuais e passados, comparando-os, sobrepondo-os e relacionando-os, estabelecendo e examinando tais inter-relações, assim como compreendendo os vínculos de dependência entre estes fatores. Dessa forma, os procedimentos metodológicos, apresentados nos itens seguintes, são resultantes desta orientação teórica.

4.2 SELEÇÃO DA ÁREA PILOTO

A priori foi necessário selecionar dentro da Região Metropolitana de São Paulo uma bacia representativa, que periodicamente apresentasse problemas de ordem social e econômica, em função da ocorrência de processos morfodinâmicos. Com base nessa premissa inicial, a partir da leitura de diversas bibliografias: PMSP (1996), IPT (1997), DAEE (1999), CANHOLI (2005) e PEREIRA FILHO et al. (2009) foi possível verificar que a bacia do Rio Aricanduva atendia esta necessidade. De fato, a leitura destas bibliografias, foi também direcionada pela divulgação de órgãos da imprensa escrita e da mídia que há anos, durante o período do verão, anunciam registros catastróficos quanto à ocorrência de processos, sobretudo, as inundações na Av. Aricanduva, que constantemente fica interditada, uma vez que o volume de água transbordado atinge diversas moradias.

Após tal seleção, entretanto, em função do objetivo deste trabalho e em função da extensão total da bacia do rio Aricanduva, buscou-se definir uma sub-bacia como área piloto. Em outras palavras, foi preciso selecionar um subsistema (sub-bacia) dentro de um sistema maior (bacia do Aricanduva) com um estado de desequilíbrio evidente, confirmado pelo elevado número de áreas de risco a escorregamentos rasos. Conforme já dito anteriormente,

mapeamentos do IPT (1997), já indicavam que a ocorrência destes processos está restrita ao curso alto da bacia e, portanto, dentro deste trecho deveria ser selecionada tal área.

A partir da leitura de relatórios mais específicos (DAEE, 1999 e IPT, 2005) e por meio de trabalhos de campo preliminares, definiu-se a bacia do **córrego do Limoeiro, Alto Aricanduva** (Fig. 4.2) como área piloto desta pesquisa. Esta sub-bacia é representativa pela existência de diferentes tipos de uso do solo (áreas urbanas em consolidação, remanescentes de Mata Atlântica, solo exposto, entre outros), por ser crítica quanto à produção de sedimentos, pelo seu tipo de relevo (dissecado e declivoso) e finalmente pelo elevado número de ocorrências de escorregamentos rasos (Fig 4.3) quando comparada a demais sub-bacias do alto curso. Estes aspectos foram decisivos na escolha desta sub-bacia uma vez que tais fatores foram fundamentais também para aplicação dos métodos propostos.

Fig. 4.2: Localização da área piloto.

Fig. 4.3: Distribuição de processos morfodinâmicos por subprefeituras da bacia do rio Aricanduva no ano de 2005. Observar a maior ocorrência de processos, inclusive de escorregamentos, na subprefeitura de São Mateus, onde se localiza a área piloto. Fonte: Modificado de IPT (2005).

4.3 MAPEAMENTO EVOLUTIVO DO USO DO SOLO

Com o objetivo de analisar as principais intervenções antropogênicas ocorridas na bacia, foi realizada uma análise evolutiva do uso do solo no período de 1973 a 2007. A seleção deste intervalo de tempo foi baseada na ocorrência de transformações urbanas mais intensas, permitindo uma análise qualitativa e quantitativa, tais como, o aumento de áreas urbanas sem infra-estrutura, a diminuição da cobertura vegetal, entre outras, que podem contribuir para a potencialização de escorregamentos que causam risco.

Inicialmente, as categorias de uso do solo (Tab. 4.1) foram estabelecidas segundo o trabalho de ALMEIDA & FREITAS (1996), sintonizadas de acordo com a realidade da bacia ora enfocada. Estes autores estabeleceram tais categorias no estudo de áreas urbanas que efetivamente possam potencializar a morfodinâmica dos terrenos. Posteriormente, foram digitalizadas e georreferenciadas no *software ArcGIS 9.3* seis fotografias aéreas do ano de 1973 (escala 1:25.000) cedidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas⁴ do estado de São Paulo (IPT) e seis fotografias aéreas (ortofotos) do ano de 2007 (escala 1:5.000) cedidas pela

⁴ Cedidas pelo IPT e referentes a aerolevantamentos realizados pela EMPLASA.

Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). A fim de se realizar uma comparação entre os dois mapeamentos, a escala de saída das ortofotos de 2007 foi reduzida para a escala 1:25.000, tornando-se uniforme em relação à escala das fotografias de 1973.

Tab. 4.1

Formas de uso do solo em áreas urbanas.

Formas de uso e ocupação do solo	Características
Cobertura vegetal (mata)	Inclui áreas urbanas cobertas principalmente por matas em espaços de preservação ou restritas às áreas urbanas.
Campo antrópico/pastagens	Áreas onde predominam vegetação herbácea, com alguns arbustos e árvores esparsas. Localizam-se próximos às áreas rurais ou de expansão urbana.
Área urbana parcelada	Corresponde à ocupação periférica, de densidade média/baixa, caracterizada por loteamentos em implantação, destinados à classe social menos favorecida, em que há falta de infra-estrutura e de equipamentos urbanos.
Área urbana em consolidação	Constitui áreas com densidade de ocupação de baixa à alta, mas apresentam ainda alguns vazios urbanos e infra-estrutura/equipamentos restritos. Destacam-se nessas áreas os grandes loteamentos.
Área urbana consolidada	Caracterizam-se por ser densamente ocupadas, e pela disponibilidade de infra-estrutura básica e de equipamentos, atividades de comércio e de serviços, etc.
Área agrícola	Áreas destinadas a cultivos perenes ou temporários (ciclo estabelecido). Nas áreas urbanas, destacam-se a horticultura e as chácaras rurais (que destinam parte dos lotes a pequenos cultivos).
Solo exposto	Incluem as áreas mais críticas quanto à produção de sedimentos, bem como superfícies de solo em exposição.
Disposição de resíduos	Locais para destinação final do lixo urbano, na forma de aterro sanitário, lixão ou aterro controlado.

Fonte: Modificado de ALMEIDA & FREITAS (1996).

A interpretação destas fotografias, realizada no *software ArcGIS 9.3* (Fig. 4.4), foi baseada a partir da elaboração de polígonos segundo a legenda estabelecida e explicada acima. O programa permite o cálculo da área de cada polígono em m^2 que posteriormente foi multiplicada por 100 para ser apresentada em porcentagem.

Fig. 4.4: Exemplo da interpretação das ortofotos 2007 com escala original de 1:5.000 (EMPLASA) reduzidas para a escala 1:25.000 no *software* ArcGIS 9.3 (tracejado vermelho) para a elaboração do mapa de uso do solo (2007).

4.4 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS

O mapeamento das áreas de risco foi realizado em escala de zoneamento, compreendendo a identificação dos processos de escorregamentos atuantes, a delimitação dos setores de risco e a avaliação do grau de risco de ocorrência de acidentes. A partir da delimitação da escala, as etapas de trabalho para este mapeamento são detalhadas a seguir.

As fichas de cadastro utilizadas nas vistorias em campo (Fig. 4.5), visando à identificação e o mapeamento das áreas com probabilidade de risco, foram elaboradas a partir da compilação de diversos trabalhos realizados em áreas urbanas no Brasil: ALHEIROS & AUGUSTO FILHO (1997); CERRI & AMARAL (1998); MACEDO et al. (2004); MINISTÉRIO DAS CIDADES & IPT (2004); OGURA et al. (2004); IPT (2005); CARVALHO et al. (2007) e MIRANDOLA (2008). Estas fichas contêm indicadores naturais (vegetação, cobertura superficial e relevo), indicadores antrópicos (ex. número de moradias, tipologia das construções e distância das moradias em relação à encosta), bem como, evidências de instabilização (ex. cicatrizes de escorregamentos, trincas na moradia e no

terreno, árvores, postes e muros inclinados), que permitiram determinar a potencialidade e a magnitude da ocorrência de acidentes que podiam gerar situações de risco à população local. A sistematização e os resultados das fichas aplicadas em campo permitiram determinar o grau de risco em: **R1 (baixo risco), R2 (médio), R3 (alto) a R4 (muito alto risco)**. Os critérios adotados para determinar o grau de risco (Tab. 4.2) foram baseados na metodologia desenvolvida por MINISTÉRIO DAS CIDADES & IPT (2004), que vem realizando mapeamentos de áreas de risco em diversas regiões do Brasil, cujos aspectos mais determinantes são:

- A. Padrão construtivo:** o material construtivo de cada moradia (madeira ou alvenaria) resulta em diferentes resistências que cada tipo de material possui quando atingido pelos escorregamentos. Usualmente, as moradias de alvenaria apresentam maior resistência do que aquelas construídas em madeira;
- B. Tipos de encostas:** as encostas naturais se apresentam normalmente mais estáveis, enquanto aquelas que sofrem cortes e aterros são mais propensas à ocorrência de instabilizações;
- C. Distância entre as moradias e as encostas:** a distância entre a moradia e a encosta define o grau de risco do local, pois na ocorrência de um escorregamento, quanto maior esta distância, maior é a área de amortecimento dos sedimentos e menor é a probabilidade de moradias serem atingidas. As moradias muito próximas ao topo da encosta possuem geralmente o fundo ou a frente da construção voltado para a crista da encosta, tornando-as vulneráveis ao desabamento de seus muros;
- D. Lançamentos de água:** as moradias desprovidas de saneamento básico adequado que lançam esgoto diretamente na encosta, que possuem tubulações precárias com presença de vazamentos ou ainda que são construídas sobre minas de água podem saturar rapidamente o solo ao longo do tempo desencadeando escorregamentos. Dessa forma, durante os cadastramentos, a origem e o destino da água são fatores essenciais que devem ser verificados, pois, embora a água seja reconhecidamente um dos principais agentes deflagradores de escorregamentos em ambientes tropicais úmidos, esta não é necessariamente proveniente de índices pluviométricos intensos em áreas onde a ocupação é precária e;
- E. Evidências de instabilização:** a presença expressiva destas evidências indica a ocorrência pretérita de escorregamentos e, conseqüentemente, a possibilidade de novos eventos, ou ainda, de sinais de instabilização que antecedem a ruptura (ex. trincas nas moradias e no terreno), sendo este um dos parâmetros mais importantes para aumentar o grau de risco.

FICHA DE CAMPO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS			
Equipe de mapeamento: Fabrizio Listo, Cristiane Incau, Bianca Vieira e Tullius Nery			Data: 28/05/2009
Setor: 15	Endereço: Travessa Canal de Suez. Subdistrito: Terceira Divisão. Distrito: São Mateus		N.º da Ficha: 06
Coordenadas Geográficas: N(m): 356740 E(m): 7386977		Número de moradias em risco: aproximadamente 100.	
1. INDICADORES NATURAIS		2. INDICADORES ANTRÓPICOS	
<ul style="list-style-type: none"> Vegetação: ☒ Arbórea ☒ Herbácea ☒ Área desmatada ☒ Área de cultivo: <u>bananeiras</u> Cobertura superficial: ☐ Solo maduro ☒ Solo saprolítico ☐ Rocha alterada ☐ Rocha sã ☒ Colúvio Relevo: ☒ Encosta Natural ☒ Talude de corte ☒ Talude de aterro ☐ Paredão rochoso ☐ Matações Perfil da encosta: ☒ Côncava ☐ Convexa ☐ Retilínea ☐ Mista Declividade: ☐ 0°-10° ☐ 11°-17° ☒ > 18° 		<ul style="list-style-type: none"> Padrão construtivo: ☐ Alvenaria ☐ Madeira ☒ Misto Presença de sedimentos: ☒ Lixo ☒ Entulho ☒ Construção Civil ☒ Sedimentos provenientes de movimentos de massa/erosão Densidade da ocupação: ☐ Alta ☒ Média ☐ Baixa Vias de circulação: ☐ Pavimentadas ☐ Não pavimentadas ☒ Misto Redes de infra-estrutura: ☒ Viária ☒ Água ☒ Esgoto ☒ Luz ☐ Coleta de lixo Água: ☒ Concentração de água pluvial em superfície ☒ Lançamento de Esgoto ☒ Vazamento de Tubulação ☒ Fossa ☐ Surgência de água 	
3. EVIDÊNCIAS DE MOVIMENTAÇÃO		4. TIPOLOGIA DOS ESCORREGAMENTOS	
<ul style="list-style-type: none"> ☒ Trincas (moradia/terreno); ☒ Muros e paredes embarrigados; ☒ Árvores, postes e muros inclinados; ☒ Degraus de abatimento; ☒ Cicatrizes de escorregamentos; ☒ Construções comprometidas. 		<ul style="list-style-type: none"> ☐ Escorregamentos em encosta natural; ☒ Escorregamentos em talude de corte; ☐ Escorregamentos em talude de aterro; ☐ Ausentes. 	
5. ENTREVISTAS		6. OBSERVAÇÕES	
<p>A. Ano do processo: Não soube informar. Magnitude: Alta Consequências: Escorregamentos que atingiram moradias. É moradora há 5 anos. Fonte: ☒ Morador ☐ Prefeitura ☐ Defesa civil Nome: <u>Maria Helena</u></p> <p>B. Ano do processo: Não soube informar. Magnitude: Alta Consequências: Enxurradas que atingiram moradias. Fonte: ☒ Morador ☐ Prefeitura ☐ Defesa civil Nome: <u>Maria Aparecida</u></p>		<p>- As redes de infra-estrutura em geral são precárias, instaladas pelos próprios moradores.</p>	
		7. GRAU DE RISCO	
		☐ R1 (baixo)	
		☐ R2 (médio)	
		☐ R3 (alto)	
		☒ R4 (muito alto)	
8. FOTOS			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>			
<p style="text-align: center;">LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> A: Foto de campo do setor (parcial) demonstrando a ocupação inadequada em relevos do tipo anfiteatro com concavidades bastante pronunciadas; B: Detalhamento de moradia construída muito próxima à base da encosta sujeita ao risco de queda de materiais à montante; C: Foto oblíqua parcial do setor indicando a presença de cortes no relevo por meio de moradias e de vias de circulação e; D: Detalhamento de cicatriz de escorregamento em talude de corte. 			

Fig. 4.5: Modelo de ficha de campo preenchida (setor 15) para o mapeamento das áreas de risco a escorregamentos nas áreas vistoriadas.

Tab. 4.2

Critérios para determinação do grau de risco a escorregamentos.

Grau de probabilidade	Descrição
A. R1 (BAIXO)	<p>1.Os condicionantes geológicos e geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo do terreno, entre outros) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de escorregamentos.</p> <p>2.Não se observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processo de instabilização de encostas. 3.Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
B. R2 (MÉDIO)	<p>1.Os condicionantes geológicos e geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, entre outros) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de escorregamentos.</p> <p>2.Observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento.</p> <p>3.Mantidas as condições existentes é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
C. R3 (ALTO)	<p>1.Os condicionantes geológicos e geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, entre outros) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de escorregamentos.</p> <p>2.Observa-se a presença significativa(s) de sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, entre outros). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo.</p> <p>3.Mantidas as condições existentes é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
D. R4 (MUITO ALTO)	<p>1.Os condicionantes geológicos e geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, entre outros) e o nível de intervenção no setor são de muita alta potencialidade para o desenvolvimento de escorregamentos.</p> <p>2.Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, entre outros) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>

Fonte: MINISTÉRIO DAS CIDADES & IPT (2004).

Após a elaboração das fichas de cadastro e da sistematização dos critérios de risco, foram utilizadas as ortofotos cedidas pela EMPLASA (2007) e as fotografias oblíquas de baixa altitude obtidas em um sobrevôo de helicóptero para definição dos limites de cada setor de risco (Fig.4.6). Este sobrevôo, embora focado na bacia do rio Limoeiro, teve como percurso toda a extensão da bacia do rio Aricanduva, no qual foram contempladas as principais áreas de risco, os piscinões, as avenidas, os divisores da bacia, entre outros (Fig. 4.7).

Foram realizadas quatro vistorias de campo, aplicadas 25 fichas e delimitados 16 setores de risco com base na interpretação destas fotografias, na declividade do terreno, na malha viária, no padrão de arruamento e a partir de coordenadas geográficas fornecidas por GPS em campo. Alguns setores, em função de sua extensão, necessitaram da aplicação de mais de uma ficha, bem como, nos locais em que havia apenas cobertura vegetal, ausência de probabilidade de risco ou ainda, somente riscos a outros processos (ex. inundação e erosão), não foram mapeados setores.

Os dados coletados durante os trabalhos de campo foram sistematizados e armazenados em banco de dados (*Microsoft Excel*) e distribuídos espacialmente no *software ArcGIS 9.3* com o auxílio também das coordenadas geográficas fornecidas por GPS em campo, permitindo a delimitação dos setores de risco na base cartográfica digital da bacia por meio de polígonos, sendo também calculada a área de cada setor em m², para elaboração final do ***Mapa de áreas de risco a escorregamentos***.

Como o grau de risco a escorregamentos foi analisado em escala de zoneamento para cada um dos setores avaliados, o valor final do risco foi definido segundo os parâmetros naturais e antrópicos observados. Embora existam moradias específicas que necessitem de um cadastramento e que se diferenciem do grau geral classificado para o setor, este não foi um objetivo desta pesquisa e, deste modo, os resultados apresentados no capítulo seguinte foram baseados nas características gerais dos setores.

Fig. 4.6: Mapa de setores de risco a escorregamentos (zoneamento das áreas de risco). Os setores, por exemplo, o setor 11 (círculo), foram delimitados a partir de ortofotos (2007) cedidas pela EMPLASA com escala original de 1:5.000 (A) e a partir de fotografias oblíquas de baixa altitude (sobrevôo de helicóptero) (B). O limite dos setores, baseado na interpretação destas fotografias, considerou a declividade do terreno, a malha viária, o padrão de arruamento e as coordenadas geográficas fornecidas por GPS em campo.

4.5 ANÁLISE DOS PARÂMETROS TOPOGRÁFICOS

Com o objetivo de melhor avaliar a suscetibilidade da bacia, foram analisados quatro parâmetros topográficos: ângulo, aspecto e curvatura da encosta e área de contribuição. Para a geração destes mapas, foi elaborado um Modelo Digital do Terreno (MDT) com resolução de 4 m² por meio do módulo *Topo to Raster* do *software ArcGIS 9.3* a partir da digitalização de uma carta topográfica⁵ em escala 1:10.000, com equidistância de 5 metros (Folha Rio dos Cochos, São Paulo-SP, numeração SF-23-Y-D-IV-I-NO-F).

Com o MDT finalizado, os mapas de ângulo, aspecto e curvatura foram gerados com as ferramentas respectivamente *Slope*, *Aspect* e *Curvature* referentes ao módulo *Raster Surface* da extensão *3D Analyst* (*software ArcGIS - 9.3*). O mapa de área de contribuição foi gerado em outro SIG (*ArcVIEW 3.2*), no qual foi exportado o mesmo MDT utilizado, pois este é o único *software* que permite a execução do modelo de previsão a escorregamentos rasos **SHALSTAB** – *Shallow Landslide Stability* (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994) capaz de gerar a área de contribuição. Dessa forma, o mapa de área de contribuição foi obtido por meio do módulo SHALtopo do modelo SHASTAB, que remove do MDT as depressões residuais provenientes da carta topográfica, representando melhor a área de contribuição.

Conforme a Tab. 4.3, as classes de ângulo da encosta (0°-9,6°/9,7°-16,7°/16,8°>)⁶ foram definidas a partir da Lei Lehman (Lei Federal 6.766/79), responsável por regulamentar a ocupação urbana em encostas no Brasil. De acordo com esta lei, as ocupações em áreas urbanas são permitidas no primeiro intervalo; no segundo há necessidade de laudos técnicos que a regulamentem, e no terceiro a ocupação é proibida, em função da maior probabilidade de movimentos de massa.

O mapa de aspecto (ou orientação da encosta) foi classificado em oito intervalos, selecionados a cada 45° em sentido horário, representando as 8 direções da rosa dos ventos, para as quais as encostas estão voltadas. As categorias do mapa de curvatura (ou forma da encosta) foram definidas após diversos testes para adequação dos tipos de curvatura às informações das curvas de nível. Nesta etapa, os cálculos adotados pelo programa fornecem valores positivos para as curvaturas convexas, valores negativos para as côncavas e valores nulos para as retilíneas. Por fim, no mapa de área de contribuição foram delimitadas 9 classes temáticas, que variaram desde a menor contribuição (0-1,4) até a maior (3,7 >) (Tab. 4.3).

⁵ Esta carta foi obtida na EMPLASA, com última atualização em 1996.

⁶ Quando analisados em Declividade (%), os valores expressos em graus equivalem respectivamente em: 0%-17%; 17%-30% e 30%>.

Com os mapas finalizados, foi gerado um histograma da distribuição do número de células dessas classes, que foram exportadas para uma planilha gráfica (*Microsoft Excel*) para o cálculo da **Frequência de Distribuição (FD)** de cada classe, que consiste na razão entre o número de células das classes de cada parâmetro e o total de células na bacia (Fig. 4.8).

Tab. 4.3

Classes dos quatro mapas topográficos.

Mapas	Classes Temáticas
Ângulo da encosta	0°-9,6°/9,7°-16,7°/16,8°>
Aspecto	N / NE / E / SE / S / SW / W / NW
Curvatura	Côncavo / Retilíneo / Convexo
Área de contribuição	0-1,4 / 1,5-1,7 / 1,8-2 / 2,1-2,3 / 2,4-2,7 / 2,8-3 / 3,1-3,3 / 3,4-3,6 / 3,7>

Fig. 4.8: Mapa e histograma gerados (ex. ângulo da encosta) pelo programa *ArcGIS 9.3*. O histograma indica a distribuição espacial das classes de ângulo da encosta, sendo o eixo y o número de células de cada classe e o eixo x, as classes do mapa.

Em seguida, os polígonos dos setores de risco foram colocados em formato *raster* por meio da ferramenta *Conversion Tools – Polygon to Raster* (software *ArcGIS 9.3*) para que fosse possível analisar a relação da topografia com as áreas de risco *pixel a pixel*. Dessa forma, a partir da sobreposição realizada por meio do módulo *Raster Calculator (Spatial Analyst)* do mesmo *software*, que inter-relaciona os mapas topográficos ao mapa de áreas de risco, foi gerado um novo mapa com a distribuição dessas áreas e as classes topográficas que as sobrepõe (Fig. 4.9 e Fig. 4.10), gerando novos histogramas que permitiram o cálculo de dois novos índices: **Concentração de Risco (CR)** e **Potencial de Risco (PR)**. O primeiro é a razão entre o número de células de cada classe afetada (ex. ângulo da encosta superior a 16,8°) pelas áreas de risco e o total de células na bacia e o segundo indica a razão entre o número de células de cada classe afetada pelas áreas de risco e o total de células dessa mesma classe.

A Concentração de Risco indica somente a distribuição do total de setores de risco entre todas as categorias. Já o Potencial de Risco calcula a distribuição destes setores em cada categoria, considerando a representatividade de cada um no total da área da bacia. Deste modo, os valores de Frequência de Distribuição e Concentração de Risco geram percentuais totais equivalentes a 100%, já que tais índices são referentes respectivamente, ao total de células da bacia e ao total de setores de risco mapeados. No Potencial de Risco como são apresentadas somente as células afetadas pelo risco dentro de cada categoria, esses valores são sempre menores que os demais índices (inferiores a 100%).

Fig. 4.9: Exemplo do procedimento de correlação entre um parâmetro topográfico (ângulo da encosta) e áreas de risco a escorregamentos (em preto) por meio do módulo *Raster Calculation*, ferramenta *Spatial Analyst* (ArcGIS 9.3).

Fig. 4.10: Mapa de ângulo da encosta gerado pelo *software* ArcGIS 9.3 com a distribuição espacial das classes de ângulo da encosta afetadas pelas áreas de risco a escorregamentos. Esta correlação foi exportada para o *software* Microsoft Excel para os cálculos dos índices de **Concentração de Risco (CR)** e de **Potencial de Risco (PR)**.

4.6 MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE

Dentre os diversos modelos matemáticos em bases físicas existentes, foi escolhido para este trabalho, o modelo **SHALSTAB** (*Shallow Landslide Stability*) que possibilita definir na paisagem as zonas suscetíveis a ocorrência de escorregamentos translacionais rasos no contato solo/rocha (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994).

O modelo *Shallow Landsliding Stability* surgiu a partir de trabalhos de DIETRICH et al. (1993) e MONTGOMERY & DIETRICH (1994), posteriormente automatizado em uma rotina denominada SHALSTAB por DIETRICH & MONTGOMERY (1998). Calcula a suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos, em escala de bacia hidrográfica, a partir da compilação de um modelo de estabilidade baseado na Equação do Talude Infinito (teoria do Fator de Segurança – FS) e de um modelo hidrológico (*steady-state*), considerando fluxos subsuperficiais constantes, conforme os trabalhos realizados por BEVEN & KIRKBY (1979) e O'LOUGHLIN (1986).

Na combinação entre os modelos de estabilidade e hidrológico, são incorporados respectivamente os parâmetros topográficos (ângulo da encosta e área de contribuição), obtidos a partir de um Modelo Digital do Terreno, e as propriedades físicas do solo (coesão, ângulo de atrito interno, espessura do solo e peso específico) (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994). Dessa forma, o modelo baseia-se na premissa de que os solos, na presença de água, possuem uma baixa coesão e ângulo de atrito e associado às características topográficas da área de estudo, calcula o equilíbrio de forças do sistema. Suas limitações estão relacionadas à aplicação do modelo em áreas de solo espesso, áreas com baixa declividade, afloramentos de rochas e áreas muito escarpadas. Em função destes fatores, sua aplicação é restrita à avaliação da suscetibilidade de escorregamentos somente do tipo translacionais rasos onde esteja bem definido um plano de transição, como a transição solo/rocha (GUIMARÃES, 2000).

A combinação destes modelos, resolvida pela rotina automatizada do SHALSTAB, é demonstrada na Equação 1, que contempla todas as variáveis do modelo, e que também pode ser escrita sem considerar a variável coesão do solo (C'), conforme a Equação 2. Em razão da dificuldade de se determinar a transmissividade do solo (produto entre a condutividade hidráulica saturada e a espessura do solo), MONTGOMERY & DIETRICH (1994) fizeram uma classificação para os valores de $\text{Log}(Q/T)$, demonstrada na Equação 3, permitindo a hierarquização da área em termos de suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos, indicando que, quanto maior for o valor absoluto da razão (Q/T), na qual Q equivale à chuva

em estado crítico ($m\ dia^{-1}$) e T à transmissividade do solo saturado ($m^2\ dia^{-1}$), maior será a instabilidade do local (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994).

O mapa de suscetibilidade gerado pelo modelo apresenta sete classes de estabilidade (Tab. 4.4) que seguem a condição apresentada pela igualdade entre a razão da área de contribuição pela unidade de contorno (a/b) e a razão hidrológica (Q/T) em que o logaritmo é aplicado em função dos baixos valores obtidos nessa razão (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994). Maiores detalhes do arcabouço teórico-conceitual do modelo podem ser obtidos em: DIETRICH et al. (1993); MONTGOMERY & DIETRICH (1994); DIETRICH et al. (1995); DIETRICH & MONTGOMERY (1998) e DIETRICH et al. (1998).

$$Q = \frac{T}{(a/b)} \operatorname{sen}\theta \frac{C'}{\rho_w g z \cos^2\theta \tan\phi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \quad \text{Equação (1)}$$

$$Q = \frac{T}{(a/b)} \operatorname{sen}\theta \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \quad \text{Equação (2)}$$

$$\operatorname{Log}(Q/T) = \frac{\operatorname{sen}\theta}{\left(\frac{a}{b}\right)} \left[\frac{C'}{\rho_w g z \cos^2\theta \tan\phi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right) \right] \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: Q é a chuva em estado crítico necessária para a ruptura ($m\ dia^{-1}$); T é a transmissividade do solo saturado ($m^2\ dia^{-1}$), θ é o ângulo da encosta ($^\circ$); a é a área de contribuição ou área drenada a montante (m^2); b é o comprimento de contorno unitário (resolução do grid dada em m); C' é a coesão efetiva do solo (kPa); ρ_w é a densidade da água (kg/m^3); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); z é a espessura do solo (m); ϕ é o ângulo de atrito interno do solo ($^\circ$) e ρ_s é a densidade (massa específica) do solo saturado (Kg/m^3).

Tab. 4.4

Classes de estabilidade do modelo SHALSTAB.

Classes originais do modelo log (Q/T)	Classes de Estabilidade	Significado*
Estável	Incondicionalmente estável e saturado	<u>ÁREAS MAIS ESTÁVEIS</u>
>-2.2	Incondicionalmente estável e não saturado	
-2.5 - - 2.2	Estável e não saturado	<u>ÁREAS DE MÉDIA INSTABILIDADE</u>
-2.8 - - 2.5	Instável e não saturado	
-3.1 - - 2.8	Instável e saturado	
<-3.1	Incondicionalmente instável e não saturado	<u>ÁREAS MAIS INSTÁVEIS</u>
Incondicionalmente Instável	Incondicionalmente instável e saturado	

*Trata-se de uma releitura realizada a partir do arcabouço teórico conceitual do modelo com um possível agrupamento de classes de suscetibilidade para simplificação da interpretação do mapa gerado pelo modelo.

Fonte: Modificado de DIETRICH & MONTGOMERY (1998).

Os parâmetros topográficos utilizados pelo modelo (ângulo da encosta e área de contribuição) foram obtidos a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT) de alta resolução (4 m²), já explicado no item anterior. Em função da ausência dos valores das propriedades físicas dos solos *in situ*, estes foram retirados indiretamente a partir da litologia (micaxistos) e da textura dos solos (argilo-siltosa a arenosa fina) indicados na literatura por SOUSA PINTO et al. (1993), sendo eles: coesão (C') de 0 kPa; ângulo de atrito interno (ϕ) de 35°; espessura do solo (z) de 2 m e massa específica (ρ_s) de 1700 Kg/m³. Tais autores obtiveram esses valores por meio de ensaios de laboratório em amostras de solos residuais indeformados. Os autores analisaram e correlacionaram os parâmetros referentes à constituição granulométrica, às características de compactabilidade, à permeabilidade, à deformabilidade em ensaio edométrico, à resistência ao cisalhamento em termos de tensões efetivas, à resistência em solução não drenada no estado natural e na condição de saturação e finalmente, à resistência residual.

A análise das zonas estáveis e instáveis produziu um histograma de distribuição do número de células de cada classe de suscetibilidade (Frequência de Distribuição - FD) e a partir de duas análises correlativas utilizando-se o mapa de áreas de risco e o mapa de suscetibilidade, foi também identificado o número de células, de cada classe de suscetibilidade, que coincidiu com as áreas de risco, gerando-se os índices, Concentração de Risco (CR) e Potencial de Risco (PR), igualmente realizado no item anterior.

4.7 ANÁLISE CONJUNTA

Visando avaliar a concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade fornecidas pelo modelo SHALSTAB, foi realizada uma análise conjunta e mais específica entre os dois mapeamentos. Utilizando-se novamente o módulo *Raster Calculator (Spatial Analyst)* foi calculado em cada setor de risco o número de células de cada classe de suscetibilidade (Fig. 4.11). Desta forma, foi possível verificar se os setores classificados em campo como R1 (risco baixo) e R2 (risco médio) apresentaram maior número de células classificadas como estáveis e, portanto, pouco suscetíveis a escorregamentos rasos. Da mesma forma, se os setores classificados como R3 (risco alto) ou R4 (risco muito alto) coincidiram com as células instáveis classificadas pelo SHALSTAB, ou se houve discordância entre os dois valores (ex. R1 – maior frequência de células instáveis).

Fig. 4.11: Exemplo da análise conjunta entre o grau dos setores de risco classificados em campo e o número de células de suscetibilidade de cada setor. Neste procedimento foi avaliado cada setor, visando verificar a concordância ou discordância entre os dois mapeamentos. Na figura, observa-se que o setor 15 (R4) apresentou maior quantidade de células em classes estáveis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são descritos e discutidos os resultados referentes à análise do grau de risco e da suscetibilidade a escorregamentos rasos na bacia do rio Limoeiro (objetivo geral desta pesquisa), assim como, os objetivos específicos estabelecidos.

No primeiro capítulo (5.1) é descrita a análise evolutiva do uso do solo (pressões antropogênicas) no período compreendido entre os anos 1973 e 2007.

No segundo capítulo (5.2) apresentam-se os resultados do mapeamento das áreas de risco, compreendendo as particularidades de cada setor conforme o grau de risco (R1, R2, R3 a R4).

Em seguida, no item 5.3, são analisados e discutidos por meio dos índices: Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Risco (CR) e Potencial de Risco (PR), o papel de quatro parâmetros topográficos importantes na deflagração de escorregamentos (ângulo, aspecto e curvatura da encosta e área de contribuição) como subsídio para a melhor avaliação das áreas de risco.

Por fim, no último capítulo (5.4) é interpretado e discutido o mapa de suscetibilidade a escorregamentos rasos gerado pelo modelo SHALSTAB, também a partir dos índices FD, CR e PR, bem como uma análise conjunta e mais específica entre o mapa de áreas de risco e o mapa de suscetibilidade, na qual se verificou a concordância ou a discordância entre a suscetibilidade apresentada pelo modelo em cada setor de risco com a classificação do grau de risco estabelecida em campo.

5.1 ANÁLISE EVOLUTIVA DO USO DO SOLO

A análise evolutiva do uso do solo permite a identificação do aumento de áreas impermeabilizadas e sem infra-estrutura, das superfícies de solo em exposição, assim como, à redução da cobertura vegetal, entre outros fatores, que podem contribuir para a potencialização de escorregamentos, principalmente quando desprovidos do planejamento urbano. Dessa forma, como subsídio para a melhor avaliação das áreas de risco atualmente presentes na bacia do rio Limoeiro, apresenta-se a seguir uma análise das formas de uso do solo em um período comparativo de 34 anos (1973 a 2007).

A partir do mapa de uso do solo de 1973 (Fig. 5.1), verifica-se que a bacia apresentava uma baixa diversificação na frequência das classes de uso (Fig. 5.2), destacando-se como uso mais elevado a cobertura vegetal de Mata Atlântica, ocupando 70% da área total e presente, principalmente, nas cabeceiras da bacia.

O segundo uso do solo mais frequente são os campos antrópicos/pastagens (21% da área total) localizados, principalmente, no médio curso e em menor proporção no baixo curso da bacia. ALMEIDA & FREITAS (1996) verificaram que em relevos mais dissecados, este tipo de uso pode implicar em movimentos de massa, sendo potencializados quando associados a casos de exposição do solo.

A presença de pastagens na bacia neste período era comum, sendo ainda instalados os primeiros loteamentos urbanos, que passaram a se expandir de forma mais acelerada ao final da década de 1970, e em anos anteriores, a bacia era comporta por fazendas, caracterizando-se como área rural do município de São Paulo (DÉLI, 2005). Dessa forma, a área urbana em consolidação, assim classificada em função da baixa densidade de ocupação e pela ausência dos serviços de infra-estrutura urbana, corresponde ao uso em menor expressão (9%), ocorrendo de forma dispersa no médio e baixo cursos da bacia.

DÉLI (2005) verificou que a ocupação urbana começou a se consolidar na bacia de forma mais promissora a partir de 1979, quando o primeiro trecho da Avenida Aricanduva foi concluído, integrando o Anel Viário Metropolitano, que, além de consolidar a integração da bacia do rio Limoeiro (e demais sub-bacias do alto curso) ao centro de São Paulo, o colocou em contato direto com várias rodovias, intensificou a ligação com o ABC paulista e impulsionou uma forte expansão terciária.

Fig. 5.1: Mapa de uso do solo (1973) da bacia do rio Limoeiro. Fonte: fotografias aéreas - EMPLASA (1973), escala 1:25.000.

Fig. 5.2: Percentual das classes de uso do solo (1973). Observar maior concentração (70%) na classe de cobertura vegetal (Mata Atlântica).

Quando comparado ao mapa de uso do solo de 2007 (Fig. 5.3 e Fig. 5.4), verificou-se que a cobertura vegetal ainda se mantém como o uso mais frequente (55%), sendo 35% de cobertura vegetal remanescente de Mata Atlântica e 20% de campos antrópicos. Por se tratar de uma área periférica do município, onde a especulação imobiliária ainda é pouco expressiva, a cobertura vegetal ainda representa o uso mais expressivo, embora em menor quantidade em relação ao ano de 1973. Entretanto, apesar de inúmeras encostas apresentarem expressiva cobertura vegetal, algumas cicatrizes de escorregamentos foram identificadas, indicando possíveis sinais de suscetibilidade (Fig. 5.5).

Em campo, verificou-se que a cobertura vegetal de Mata Atlântica possui muitas espécies nativas, mas existem áreas reflorestadas com eucaliptos e bananeiras em altas declividades, destacando-se o fato de bananeiras serem vegetações herbáceas com raízes curtas que acumulam água, contribuindo para a ocorrência de escorregamentos. Segundo TAKIYA et al. (2002), o tipo de vegetação presente na bacia é importante para o município, mas vem apresentando atualmente os maiores índices de desmatamento da cidade (Fig. 5.6), ainda que de acordo com a Lei Orgânica do Município de São Paulo de 1990 (artigo 185), a manutenção de áreas verdes implique num fator de equilíbrio ambiental para a cidade. Estas áreas protegem e conservam a qualidade ambiental e os recursos naturais presentes e disciplinam o uso do solo.

Fig. 5.3: Mapa de uso do solo (2007) da bacia do rio Limoeiro. Fonte: ortofotos - EMLASA (2007), escala original 1:5.000.

Fig. 5.4: Percentual das classes de uso do solo (2007). O somatório das classes de cobertura vegetal (mata e campo antrópico) totaliza 55% e o somatório das classes de áreas urbanas (parcelada, em consolidação e consolidada) totaliza 32% da área total da bacia.

Fig. 5.5: Exemplo de cobertura vegetal densa de Mata Atlântica e campos antrópicos (setas vermelhas) (A). Encosta com alta declividade ainda sem ocupação e com expressiva cobertura vegetal, mas que apresenta cicatriz de escorregamentos (círculo) (B).

Fig. 5.6: A imagem superior mostra a cobertura aerofotogramétrica de parte da bacia do rio Limoeiro representada em 3 dimensões com exagero vertical de 3 vezes, na qual é possível verificar o avanço de ocupações antrópicas irregulares na bacia com consequentes desmatamentos em terrenos cristalinos bastante acidentados. A foto inferior (obliqua) mostra um detalhe dessa situação na bacia. Fonte (imagem superior): ortofotos - EMPLASA (2007), escala original 1:5.000.

Com relação às áreas urbanas, estas foram identificadas em três estágios distintos de consolidação, isto é, em parcelamento (3%), em consolidação (7%) ou já consolidadas (22%) (Fig.5.7). Assim, de forma geral, a área urbana recobre um total de 32% da bacia, sendo as áreas urbanas consolidadas e mais densamente ocupadas aquelas que se concentram no médio e baixo curso, enquanto o alto curso, que compreende os terrenos com relevos mais dissecados, ainda encontra-se com ocupações em consolidação.

Apesar da existência de áreas urbanas consolidadas, a bacia encontra-se em consolidação, isto é, ainda nos estágios iniciais da urbanização e vem sendo ocupada ao longo do tempo por assentamentos urbanos precários desprovidos de infra-estrutura básica e por uma população, em sua maioria, de baixa renda. Segundo IPT (2005), uma explicação para este fato remete ao processo de apropriação do espaço urbano, no qual áreas mais próximas ao centro apresentam valorização imobiliária, diferente das áreas periféricas, que aliadas a uma política habitacional precária para a população de baixa renda sofrem uma exclusão sócio-espacial, levando esta população a assentar-se em áreas consideradas impróprias à ocupação, sem que ocorra um controle eficiente do uso do solo por parte da gestão pública.

A partir da disponibilidade da escala analisada nas ortofotos, outros usos puderam ser verificados, como por exemplo, a presença de 4% de áreas com superfícies de solo exposto. Embora esta classe contribua para a produção de sedimentos, principalmente porque a mata ciliar é inexistente e, portanto, tais sedimentos não ficam retidos e fixados na planície aluvionar, há uma baixa quantidade deste uso. Este cenário ocorre em geral por apresentar um período de duração relativamente curto e não definitivo, sendo substituído por outros tipos de uso ao longo do tempo (Fig. 5.8). Dessa forma, a grande disposição de sedimentos está vinculada a presença das áreas urbanas, que em geral lançam lixo e entulho nas encostas e utilizam técnicas construtivas sem critérios técnicos, mobilizando sedimentos, que ao longo do tempo obstruem os canais de drenagem.

Na foz da bacia identificou-se a presença de reservatório de retenção (piscinão) representando 3% da área total (Fig. 5.9). Tal medida, iniciada a partir de Fevereiro do ano 2000, foi adotada em função da elevada ocorrência de inundações na bacia, mas que atenuou parcialmente o problema, uma vez que estes episódios ainda ocorrem com certa frequência. Já nas cabeceiras da bacia, observa-se a presença de aterro sanitário para disposição de resíduos (3% da área total). O aterro sanitário em questão, denominado *Sítio São João* (Fig. 5.10) foi iniciado em 1994 e é operado pela concessionária EcoUrbis desde outubro de 2004. Nele, os resíduos sólidos são depositados em camadas e compactados, alcançando uma altura de aproximadamente 120 metros. Recebe diariamente 6000 toneladas de resíduos domiciliares e

1500 toneladas de resíduos hospitalares, produzindo cerca de 100 carretas diárias de chorume (SILVA et al., 2007). Por fim, verificam-se dois usos em menor proporção na bacia: área agrícola (2%) e linha de transmissão (1%).

Fig.5.7:Exemplos dos diferentes estágios de urbanização presentes na bacia: (A) áreas urbanas parceladas; (B) áreas urbanas em consolidação e (C) áreas urbanas consolidadas. Verifica-se que nas áreas parceladas ainda há vias não pavimentadas e alguns loteamentos urbanos em implementação, enquanto nas áreas urbanas em consolidação já há loteamentos implantados mas sem alguns serviços básicos de infra-estrutura. Nas áreas urbanas consolidadas já existem vias completamente pavimentadas e pouco espaço para expansão.

Fig. 5.8: Exemplo de superfícies de solo exposto (seta vermelha). Este uso apresenta um período de duração relativamente curto e não definitivo, como neste caso, onde o parcelamento do terreno indica que logo será substituído por ocupações urbanas.

Fig. 5.9: Vista área do Piscinão Limoeiro, localizado na foz da bacia.

Fig. 5.10: Vista área do aterro sanitário *Sítio São João*, instalado sob as nascentes da bacia do rio Limoeiro.

Considerando-se o somatório das classes de cobertura vegetal (mata e campos antrópicos/pastagens) e de áreas urbanas (parceladas, em consolidação e consolidadas) houve na bacia uma redução de 36% de cobertura vegetal e aumento de 23% de áreas urbanas ao longo do período 1973-2007 (Fig. 5.11 e Tab. 5.1). O aumento de áreas urbanas pode ser explicado em função da construção da Avenida Aricanduva e pela ocupação densa e contínua de áreas industriais (ex. Parque Industrial do distrito da Mooca) durante este período, expulsando parte da população que se instalava na região para áreas contíguas (DÉLI, 2005).

Em campo, foi recorrente a observação da precariedade da ocupação pela falta ou ineficácia de infra-estrutura e de equipamentos urbanos, pela proximidade de moradias aos canais de drenagem ou às encostas e pelo predomínio de autoconstrução de casas e de cortes no relevo para aplainamento do terreno. Além disso, algumas áreas classificadas como campo antrópico no mapa de uso de 2007 já foram parceladas e estão sendo ocupadas, principalmente nas áreas muito íngremes da bacia, geralmente nas suas cabeceiras de drenagem, onde também havia cicatrizes de escorregamentos.

Resultados semelhantes foram encontrados em outros estudos, como por exemplo no de CANIL (2006), que verificou um aumento de cerca de 7% de área urbana na bacia do córrego Poá (RMSP) em 1962 para 60% em 2003 e conseqüente redução de aproximadamente 60% da cobertura vegetal nesse mesmo período de 40 anos (1963-2003), sendo verificados no período entre 1987 e 2003 os eventos de inundação de maior magnitude nesta bacia. SILVA & RODRIGUES (2004), na bacia do córrego Salto (Uberlândia-MG), constataram um aumento de 25% da ocupação urbana entre 1965 e 2002, responsável pela redução da mata ciliar do córrego, potencializando o assoreamento da bacia. ABELLA & WESTEN (2007), em regiões da Serra Maestra (Cuba), constataram que houve aumento de áreas urbanas na região, principalmente em encostas íngremes, sendo este um fator altamente potencializador na deflagração do risco de escorregamentos. Por fim, outros autores, como FORNASARI FILHO (1992), ALMEIDA & DINIZ (1994), NAKAZAWA (1994), AUGUSTO FILHO (1995) e PRANDINI (1995) também constataram que, de forma geral, as formas de uso do solo em diferentes áreas, da forma como foram executadas ao longo do tempo, potencializaram escorregamentos a partir da remoção acelerada da cobertura vegetal e da ocupação antrópica inadequada a partir de cortes com geometria incorreta (altura e inclinação) e da execução deficiente de aterros (compactação, geometria e fundação), entre outros.

Fig. 5.11: Percentual da evolução de duas classes de uso do solo (cobertura vegetal e áreas urbanas) no período 1973-2007. A barra verde compreende o somatório das classes cobertura vegetal (mata) e campos antrópicos/pastagens e a barra vermelha compreende o somatório das classes de área urbana parcelada, de área urbana em consolidação e de área urbana consolidada.

Tab. 5.1

Classes de uso do solo/pressões antropogênicas da bacia do rio Limoeiro no período 1973-2007.

Classes de uso	1973		2007		Aumento (>) ou redução (<) da classe ao longo do período analisado (%)
	%	Km²	%	Km²	
Cobertura Vegetal (mata)	70	6,3	35	3,15	< 35
Campo antrópico/pastagem*	21	1,89	20	1,8	< 1
Área urbana parcelada	0	0	3	0,27	> 3
Área urbana em consolidação	9	0,81	7	0,63	< 2
Área urbana consolidada	0	0	22	1,98	> 22
Área agrícola	0	0	2	0,18	> 2
Solo exposto	0	0	4	0,36	> 4
Disposição de resíduos	0	0	3	0,27	> 3
Piscinão	0	0	3	0,27	> 3
Linha de transmissão	0	0	1	0,09	> 1
Área total da bacia	100	9	100	9	-

*Em 2007, não foi identificada a classe *pastagem* e por esta razão esta classe aparece associada a *campo antrópico* apenas no ano de 1973.

5.2 ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS

No mapeamento das áreas de risco, foram identificados 16 setores que ocupam 18% (1599.703 m²) da área total da bacia (9000.000 m²) e contêm 1872 moradias em risco. Dos 16 setores de risco mapeados, 5 foram classificados com grau de risco R1 (350 moradias), 2 com grau de risco R2 (805 moradias), 2 com grau de risco R3 (100 moradias) e 6 com grau de risco R4 (617 moradias) com áreas que variam entre 20.825 m² (menor setor) a 289.218 m² (maior setor) (Fig. 5.12 e Tab. 5.2), indicando que, embora o maior número de moradias esteja em setores R2, a maioria dos setores possui grau de risco muito alto (Tab. 5.3).

A partir da sobreposição do mapa de risco ao Modelo Digital de Elevação do Terreno (Fig. 5.12) é possível verificar que as áreas de risco a escorregamentos encontram-se em sua maioria em feições morfológicas mais dissecadas e nas áreas mais elevadas da bacia (Fig. 5.13). Embora a hipsometria não tenha um papel determinante na classificação de risco, isto é, topograficamente existem outros parâmetros mais importantes na deflagração de escorregamentos, verifica-se que há uma tendência do aumento de setores de risco conforme aumenta a altitude, com exceção dos setores 1, 4 e 10 que se localizam nas menores altitudes da bacia.

Considerando apenas a área urbana da bacia em m² (2880.000 m²), os setores de risco recobrem 56% dessa classe (Fig. 5.14). Este valor ocorre porque, neste mapeamento, as áreas de risco a inundação e a erosão não foram consideradas, bem como, algumas áreas mais consolidadas e com ocupações mais antigas, onde não foram identificadas evidências de risco à população, também não foram mapeadas (Fig. 5.15).

A Tab. 5.4 indica o logradouro dos setores de risco mapeados visando facilitar sua localização na bacia. Nos itens seguintes serão descritos os condicionantes e os parâmetros naturais e antrópicos que permitiram a classificação em campo dos setores em R1 (5.2.1), R2 (5.2.2), R3 (5.2.3) e R4 (5.2.4).

Fig. 5.12: Mapa de áreas de risco a escorregamentos da bacia do rio Limoeiro sob o Modelo Digital de Elevação do Terreno.

Tab. 5.2

Listagem dos 16 setores de risco mapeados indicando o grau de risco, o número de moradias (aproximadamente) e a área em m².

Setor	Grau de risco	Número de moradias em risco (aproximadamente)	Área (m²)
1	R4	54	145.932
2	R2	205	91.897
3	R2	400	289.218
4	R1	80	70.498
5	R1	20	62.533
6	R3	70	198.860
7	R2	200	120.102
8	R4	40	29.421
9	R4	300	206.785
10	R1	30	38.001
11	R3	30	34.101
12	R1	200	60.439
13	R4	25	89.518
14	R4	100	80.692
15	R4	100	60.881
16	R1	20	20.825

Tab. 5.3

Distribuição dos 16 setores de risco mapeados em relação ao grau de risco e ao número de moradias.

Grau de risco	Número de setores	Número de moradias
R1	5	350
R2	3	805
R3	2	100
R4	6	617
Total	16	1872

Fig. 5.13: Mapa Hipsométrico da bacia do rio Limoeiro e perfis topográficos: (A) setor 3 e (B) setor 9: representam setores localizados nas altitudes mais elevadas da bacia e (C) setor 10: representa um setor localizado em altitudes mais baixas. A linha vermelha no mapa indica os locais onde foram traçados os perfis.

Fig. 5.14: Sobreposição dos setores de risco mapeados à cobertura aerofotogramétrica da bacia do rio Limoeiro (2007). Os setores de risco recobrem 56% da área urbana da bacia. Fonte: ortofotos – EMPLASA (2007), escala original 1:5.000.

Fig. 5.15: Exemplo de áreas não incluídas neste mapeamento: (A) assentamentos precários muito próximos ao canal de drenagem (azul) sujeitos ao risco de inundação; (B) áreas de risco a erosão (retângulo); (C) áreas urbanas planas consolidadas mais antigas em que não foi verificada a presença de evidências de escorregamentos e (D) encostas não ocupadas por assentamentos urbanos.

Tab. 5.4

Localização (acesso principal e subdistrito) dos setores de risco mapeados.

Setor	Acesso principal ¹	Subdistrito ²
1	R. Maria Garcia Betim	Jardim Roseli
2	R. Pirâmide dos Piques	Jardim Roseli
3	Estrada Terceira Divisão	Terceira Divisão
4	R. Tauro	Terceira Divisão
5	R. Tauro	Terceira Divisão
6	Estrada do Rio Claro	Jardim Santo André
7	Estrada dos Fidelis	Iguatemi
8	R. São Pedro	Iguatemi
9	R. do Caminho	Iguatemi
10	R. do Mariano Leite	Iguatemi
11	R. dos Girassóis	Iguatemi
12	R. das Magnólias	Iguatemi
13	Travessa Mar Morto	Terceira Divisão
14	Estrada do Limoeiro	Iguatemi
15	Travessa Canal de Suez	Terceira Divisão
16	Travessa Golfo da Califórnia	Terceira Divisão

¹Destaca-se o fato de muitos setores não possuírem nome das ruas;

²Pertencem ao distrito maior (subprefeitura) de São Mateus.

5.2.1 SETORES DE RISCO R1

Os setores mapeados com grau de risco R1 (4, 5, 10, 12 e 16), que podem ser observados na Fig. 5.16, representam 31% do total de setores de risco na bacia. Estão localizados, em geral, nos terrenos de menores altitudes, com a maioria das encostas protegida pela vegetação arbórea e rasteira e pela instalação de diversas intervenções geotécnicas, como muros de contenção, cortinas gunitadas, gabião e retaludamento de encostas (Fig. 5.17). Embora alguns destes setores se encontrem em declividades acentuadas, o sistema corte-aterro possui alturas em geral de 3 metros, verticais a subverticais, com sistemas de drenagem adequados. Em linhas gerais, os setores com grau de risco R1 são aqueles em que a ocupação está mais consolidada, com a presença de alguns serviços básicos de infra-estrutura urbana (Fig. 5.18).

A maior parte das moradias foi construída em alvenaria, apresentando maior resistência quando afetadas por escorregamentos, sendo que a maioria apresentou critérios técnicos em sua construção, tendo em vista a condução de suas águas superficiais, os acessos e vielas ao entorno, os cuidados na proteção das encostas com fundações realizadas adequadamente. Além disso, as moradias apresentaram algumas redes de infra-estrutura (ex. água, luz e coleta de lixo) e a presença de um sistema de saneamento básico satisfatório, sem lançamento de água ou de esgoto diretamente na encosta, bem como, boa distribuição de água pluvial, minimizando as concentrações, em razão do pavimento das vias de acesso e da pequena quantidade de solo exposto e da disposição de resíduos (ex. lixo) (Fig. 5.19). Dessa forma, a água pluvial passa por um espraçamento sendo, portanto, bem distribuída no terreno.

A distância das moradias, tanto em relação ao topo, quanto à base da encosta, é superior a 2 metros, reduzindo a possibilidade de queda e de atingimento de materiais mobilizados. Além disso, nos cortes e nos aterros observados, não foram identificadas evidências de instabilização e tampouco relatos de escorregamentos pretéritos pela população e, dessa forma, não são esperados eventos destrutivos com alto grau de risco, se mantidas as condições existentes.

Cabe destacar que estes setores foram avaliados com grau de risco baixo, porém não inexistente, pois, apesar das boas condições apresentadas, deve-se considerar que as características do solo (arenosos e frágeis) podem refletir certo potencial de movimentos de massa. Entretanto, estes setores ocupam os locais mais suaves das encostas em condições mais favoráveis, em termos de estabilidade. Embora seja necessária a instalação de medidas mitigadoras e de equipamentos urbanos (ex. obras de infra-estrutura), tais moradias podem

estar aptas a permanecerem na área, ainda que, a inserção continuada de melhorias de infraestrutura urbana (ex. reurbanização de favelas) tende a melhorar consideravelmente as condições de vida das comunidades presentes.

Resultados semelhantes foram encontrados por IPT (2007) ao mapear as áreas de risco geológicos e geotécnicos nos bairros cota 95/100, 200 e 400 no município de Cubatão (SP). Ao mapear 23 setores nesta região, verificou que aqueles que apresentaram baixa probabilidade de ocorrência (3 setores classificados como R1) possuíam proteção superficial nos cortes e nos aterros e a presença de um sistema de drenagem superficial satisfatório, que impedia a concentração de água pluvial. Eram áreas com baixas declividades, com alto grau de adensamento demográfico e alta taxa de consolidação urbana. Além disso, não havia lançamento de água servida ou de esgoto em superfície e as moradias eram de alvenaria em sua totalidade, apresentando critérios técnicos em sua construção.

MIRANDOLA (2008), ao mapear as áreas de risco na Favela Real Parque (SP), identificou um setor com grau de risco R1, com 65% de casas construídas em madeira, das quais 50% não apresentaram nenhum tipo de drenagem superficial, 30% eram precárias e 20% apresentavam algum sistema de drenagem superficial satisfatório, também evitando a concentração de água de chuva em superfície. O autor verificou que este setor foi aquele que apresentou as melhores condições de água e de esgoto, aterros compactados (fator que diminui a probabilidade de deflagração de escorregamentos) e pequena quantidade de disposição de resíduos e de entulhos em razão de coleta de lixo realizada frequentemente. Essas características, semelhantes com algumas dos setores R1 mapeados na bacia do rio Limoeiro, implicaram em condições pouco críticas no grau de probabilidade de ocorrência de processos de instabilização que, mantidas as condições existentes, não são esperadas a ocorrência de eventos destrutivos.

Fig. 5.16: Destaque ao limite dos 5 setores R1 mapeados. Fonte: ortofotos EMPLASA/2007 (escala original 1:5.000).

Fig. 5.17: A foto superior (oblíqua) mostra o setor 4 onde é possível verificar o retaludamento da encosta (seta azul) garantindo a maior estabilidade do relevo, principalmente porque se verifica próximo a presença de cicatriz de escorregamento (preto). A foto inferior (campo) mostra um detalhe das casas de alvenaria com maior infra-estrutura e espaço mais seguro entre a construção e a base da encosta.

Fig. 5.18: Visão aérea do setor 12 (vermelho), com a presença de vias pavimentadas e construções em alvenaria.

Fig. 5.19: Detalhe de algumas infra-estruturas urbanas presentes no setor 12: (A) impermeabilização do solo (azul), estrutura que garante maior segurança à encosta, pois reduz a mobilização de sedimentos e (B) presença de bocas-de-lobo (seta preta) e canaleta (seta vermelha) que permitem o melhor escoamento da água pela encosta, evitando concentrações e, conseqüentemente, reduzindo o risco.

5.2.2 SETORES DE RISCO R2

Os setores mapeados com grau de risco R2 (2, 3 e 7) representam 19% do total de setores mapeados (Fig. 5.20) e possuem algumas condições mais críticas que os setores R1. Nestes setores as áreas apresentam ainda certo nível de consolidação urbana, mas algumas vias não pavimentadas (com solo exposto) foram identificadas e as encostas naturais, taludes de corte e de aterro apresentaram maiores alturas (superiores a 20 metros). Embora não foi verificada a ocorrência expressiva de ocupações em meia encosta, onde predomina vegetação arbórea, a distância com relação à base e ao topo é menor, diminuindo a segurança das moradias.

Há pontos em que ocorrem cultivos de bananeiras nas encostas (Fig. 5.21), ainda de forma pouco expressiva, entretanto, deve-se destacar que esta vegetação é preponderante ao risco. Além disso, não foi verificada a instalação de medidas mitigadoras e as redes de infraestrutura básicas apresentaram sinais de precariedade.

As moradias também são predominantemente de alvenaria, e neste caso apresentam uma razoável técnica construtiva, com poucas ocupações construídas em madeira. As vielas e ruas dos setores apresentam vias pavimentadas, a exceção de algumas localizadas nos terrenos de maior declividade, onde há vegetação arbórea ou solo exposto. Dessa forma, embora poucas moradias lancem água servida em superfície nas áreas mais declivosas, as águas superficiais destes setores escoam pelas ruas e vielas (Fig. 5.22), podendo gerar pequenos processos de escorregamentos e sulcos erosivos (Fig. 5.23).

Nestes setores foram identificadas poucas evidências de instabilização (ex. muros e paredes embarrigados e algumas construções comprometidas), mas entrevistas com moradores antigos da região (há mais de 20 anos) relataram a ocorrência de escorregamentos, embora esse dado não tenha sido confirmado pela Defesa Civil do Distrito. Há evidências de aterros e de cortes com pequenas trincas, indicando que talvez houve falta de critério técnico na execução dessas obras, sendo também necessária a reavaliação técnica de muitas moradias, cadastramentos e melhoria dos serviços de infra-estrutura urbana.

Fig. 5.20: Destaque ao limite dos 3 setores R2 mapeados. Fonte: ortofotos EMPLASA/2007 (escala original 1:5.000).

Fig. 5.21: Visão aérea parcial do setor 2, com cultivos de bananeira na encosta (amarelo). Embora não ocorram moradias em meia encosta e/ou muito próximas a base da encosta, que possuem maior grau de risco de atingimento de sedimentos à montante, as moradias estão localizadas muito próximas ao topo da encosta com moderado grau de risco, principalmente em função das bananeiras, que ao longo do tempo saturam o solo, apesar da existência de uma boa estrutura construtiva.

Fig. 5.22: Exemplo de moradias localizadas em altas declividades no setor 7 com escoamento de água (setas azuis) podendo gerar processos de escorregamentos ou sulcos erosivos. Verifica-se a presença de uma única moradia em madeira localizada em meia encosta (vermelho) com maior grau de risco em relação ao setor, necessitando de um cadastramento mais específico em função da maior probabilidade de queda de materiais.

Fig. 5.23: Exemplo de sulcos erosivos (setor 7).

5.2.3 SETORES DE RISCO R3

Os setores mapeados com grau de risco R3 (6 e 11, 13% do total de setores de risco), conforme apresentados na Fig. 5.24, são aqueles que apresentam alta probabilidade ao risco de escorregamentos. Estes estão assentados em encostas naturais, taludes de corte e de aterros com alturas superiores a 30 metros, sendo também identificada a presença de alguns paredões rochosos. As moradias encontram-se muito próximas ao topo e a base da encosta e algumas delas em meia encosta, onde a maior parte das moradias escoam toda a sua água no corpo do talude (Fig. 5.25, fotos A e B). Com relação à cobertura vegetal, verificou-se a presença de espécies arbóreas, herbáceas e bananeiras. A maioria dos cortes e dos aterros não possui reforço ou critério técnico de execução e são prejudicados pelo plantio de bananeiras, esperando-se, dessa forma, processos de rupturas de corte-aterro e processos erosivos intensos (Fig. 5.25, foto C)

As moradias também são de alvenaria, com técnicas construtivas e redes de infraestrutura mais precárias (Fig. 5.26, fotos A, B e C). Há significativas evidências de movimentações, como trincas nas moradias e nos terrenos, construções comprometidas (Fig. 5.26, foto D), árvores, postes e muros inclinados (Fig. 5.26, foto E) e degraus de abatimento. Muitas delas lançam água servida ao longo da encosta ou há vazamento de tubulações, contribuindo para a saturação constante do solo exposto (Fig. 5.26, foto F) e, dessa forma, outros processos correlatos também são esperados, como erosões laminares e rastejos. Verificou-se a presença de surgência de água que, em alguns casos, foi condicionada pelo assoreamento da nascente original e há significativa disposição de resíduos, principalmente entulho, construção civil e demais sedimentos provenientes de escorregamentos e de erosões.

Quanto à instalação de medidas mitigadoras, foi identificada a presença de escadas hidráulicas, muros de contenção e gabião apenas no setor 11 (Fig. 5.27). Dessa forma, embora existam medidas mitigadoras, estas foram instaladas de forma parcial no setor, garantindo maior segurança à algumas moradias, mas a maioria se encontra em situação de risco alto, principalmente porque a distância entre as moradias e a base da encosta é praticamente inexistente, implicando em alta probabilidade de atingimento de materiais no caso da ocorrência de escorregamentos.

Em outros estudos PMRR (2004) mapeou 55 favelas e loteamentos precários no município de Guarulhos (SP) e encontrou 62 setores de risco, dos quais 24 apresentaram grau de risco alto (R3). Segundo este estudo, os setores de risco R3 foram as áreas em que os sistemas de drenagem e de coleta de esgoto eram extremamente precários e lançados

diretamente na encosta, além da precariedade na estrutura das moradias, que necessitavam de obras de reforço em suas fundações.

Fig. 5.24: Destaque ao limite dos 2 setores R3 mapeados. Fonte: ortofotos EMPLASA/2007 (escala original 1:5.000).

Fig. 5.25: As três fotos mostram detalhes do setor 11. É possível observar a distância inexistente entre a encosta e a moradia (seta vermelha) (A); o caminho percorrido pela água à montante de moradias localizadas no topo da encosta que podem contribuir para a deflagração de escorregamentos (B) e os cortes inadequados do relevo que provavelmente deflagraram rupturas de corte (C).

Fig. 5.26: A foto A (oblíqua) mostra o limite do setor 11 (linha tracejada preta), com dois detalhes do setor em vermelho (foto B) e em verde (foto C) que indicam a proximidade das moradias à base da encosta. O círculo da foto C indica um exemplo de moradia comprometida, detalhada na foto D. A foto E apresenta o fundo de uma das moradias, onde foi identificada a presença de muros embarrigados e sedimentos, provavelmente provenientes de escorregamentos (setas vermelhas). A foto F mostra três exemplos de lançamento de água diretamente no solo exposto da encosta (setas vermelhas).

Fig. 5.27: Visão panorâmica parcial do setor 11 (A). É possível visualizar a presença de medidas mitigadoras que resolveram parcialmente o problema, como muro de contenção (1) e gabião (2). Existe no setor moradias com técnicas construtivas melhores (círculo) mas que se encontram muito próximas a encosta. A foto B demonstra a instalação de escadas hidráulicas (visão frontal), detalhada na foto C (visão traseira). A foto D indica um detalhe do muro de contenção e a foto E destaca a presença de bananeiras no setor.

5.2.4 SETORES DE RISCO R4

Os setores mapeados com grau de risco R4 (1, 8, 9, 13, 14 e 15), que representam a maioria dos setores (38%) e são indicados na Fig. 5.28, estão assentados nos terrenos mais instáveis, constituídos por solos residuais e coluvionares provenientes de rochas pré-cambrianas metamórficas (micaxistos), bem como por depósitos de materiais mais recentes, resultantes do acúmulo de materiais transportados por processos erosivos e por diversos tipos de detritos antropogênicos (ex. lixo e entulho). Devido à alta fragilidade do substrato rochoso, alguns escorregamentos foram identificados por meio de cicatrizes e, em alguns casos, pelo material mobilizado que atingiu as moradias (Fig. 5.29). Quanto ao relevo, há um predomínio de encostas côncavas com altas declividades e algumas encostas retilíneas abruptas. Em ambas destaca-se a presença do cultivo de bananeiras e de cortes excessivos no relevo (Fig. 5.30, fotos A e B).

As moradias apresentam distanciamentos pequenos ou inexistentes, tanto em relação ao topo, quanto em relação à base da encosta (Fig. 5.30, fotos C e D) e diversos problemas técnicos de execução (Fig. 5.30, foto E). Fatores estes que potencializam o risco, sobretudo, daquelas localizadas na meia ou na base da encosta, pois em geral, é mais freqüente a probabilidade de moradias serem atingidas pela mobilização de materiais de montante, do que a probabilidade de queda de moradias localizadas na crista da encosta. Além disso, as vias de acesso, em geral não pavimentadas, cortam a encosta de maneira inadequada, alteram sua geometria original e contribuem para a mobilização de sedimentos.

A tipologia das moradias consiste em um misto de madeira (em menor quantidade) (Fig. 5.30, foto F) e de alvenaria com alta densidade de ocupação e com ausência de serviços básicos de infra-estrutura. No caso das moradias de madeira, a maioria apresenta técnicas construtivas inadequadas, desde a fundação até o próprio tipo de madeira que foi utilizado na sua construção (frágeis e de menor rigidez) que não mantiveram a geometria original das encostas, com profundos cortes e aterros sem o devido controle técnico e sem a análise da estabilidade do relevo. Além disso, há um elevado desgaste natural da madeira presente nessas moradias, provavelmente em função da ausência de manutenção, aumentando a sua vulnerabilidade.

Os sistemas de saneamento básico são precários, pois apresentam vazamento nas tubulações e são lançados diretamente na encosta que, ao longo do tempo, facilitam a saturação do solo (Fig. 5.30, foto G). Portanto, a falta de disciplinamento da água superficial resultante do lançamento de esgoto ou de vazamentos, principalmente junto às casas de

madeira, é um fator importante para o aumento das instabilizações, podendo ocorrer escorregamentos rasos nas encostas e nos aterros.

Estes setores apresentam muitas evidências de risco em diversas moradias, como trincas, muros, postes e árvores inclinadas, degraus de abatimento (estágio avançados das trincas nas moradias ou nos terrenos) e construções comprometidas (Fig. 5.31). Embora relatos de moradores e de técnicos da Defesa Civil confirmem um expressivo número de escorregamentos pretéritos, não há possibilidade de se estabelecer uma categoria de frequência, ainda que, para eventos de escorregamentos e de demais processos naturais se utilize o conceito de recorrência.

Fig. 5.28: Destaque ao limite dos 6 setores R4 mapeados. Fonte: ortofotos EMPLASA/2007 (escala original 1:5.000).

Fig. 5.29: Destaque a cicatrizes de escorregamentos provavelmente induzidos por ação antrópica nos setores 9 (A), 15 (B) e 14 (C). No setor 9 trata-se de uma cicatriz em talude de corte em que sedimentos mobilizados já atingem o fundo das moradias. No setor 15 trata-se de uma cicatriz em talude de aterro, e no setor 14 verifica-se uma cicatriz em encosta ainda natural que pode atingir as moradias localizadas na base na encosta, caso as características atuais não sejam modificadas.

Fig. 5.30: Forma de ocupação do setor 15 (A), onde podem ser observados diversos cortes no relevo, vias não pavimentadas cortando a encosta inadequadamente e cicatriz de escorregamento. Na foto B observam-se moradias de parte do setor 1 em relevo côncavo ocupando as três porções da encosta (topo, base e meia). As fotos C e D representam trechos do setor 8, onde se observam, respectivamente, a presença de moradias muito próximas ao topo da encosta com risco de queda, bem como moradias muito próximas à base, com cortes excessivos no relevo e presença de sedimentos. A foto E indica ausência de critério técnico de uma das moradias do setor 1, com ausência de fundação. A foto F apresenta um exemplo de moradia precária de madeira no setor 14 e a foto G mostra tubulações hidráulicas (setas vermelhas) instaladas de forma inadequada sobre a encosta no setor 1.

Fig. 5.31: Exemplo de evidências de movimentação no setor 1: trincas (A) e degraus de abatimento (B).

Com relação aos resultados do mapeamento das áreas de risco apresentados, embora a classificação do grau de risco seja julgada pelo pesquisador e, portanto, esta análise está inteiramente relacionada à sua experiência, a aplicação deste método contribuiu para a redução da subjetividade, quando os mapeamentos de áreas de risco eram feitos sem a aplicação de fichas de campo. Dessa forma, este tipo de mapeamento já foi aplicado por diversos autores em muitas áreas urbanas, que indicaram a remoção de moradias, a instalação de algumas intervenções geotécnicas, entre outras alternativas, que muito contribuíram para a definição de áreas impróprias para a ocupação.

MACEDO et al (2004), por exemplo, mapearam 96 favelas das zonas sul e oeste da cidade de São Paulo, cadastraram 302 setores de risco, dos quais, 16% apresentaram grau muito alto (R4), 27% grau alto (R3), 32% grau médio (R2) e 25% grau baixo (R1), com mais de 28 mil moradias. OGURA et al (2004) mapearam sete bairros do município de Campos do Jordão (SP), que foram severamente atingidos por escorregamentos rasos no verão de 2000, que causaram a morte de 10 pessoas e destruíram centenas de moradias. Tais autores classificaram 100% dos setores com grau de risco muito alto (R4), em função da ocupação precária em encostas com elevados ângulos (acima de 30°), com elevada concentração de rupturas de grandes extensões e impacto destrutivo. Os autores concluíram que as encostas com ângulos acima de 30° apresentaram-se bastante suscetíveis a ocorrência de processos de instabilização, sendo os parâmetros topográficos, portanto, elementos fundamentais na melhor avaliação de áreas de risco, conforme serão apresentados no capítulo seguinte.

5.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS TOPOGRÁFICOS

Com relação ao parâmetro **ângulo da encosta**, cerca de 40% das encostas da bacia possuem ângulos acima de $16,8^\circ$ (FD), o que demonstra predominância de áreas proibidas, segundo a Lei Lehman, à ocupação urbana (Fig. 5.32). Estas correspondem aos terrenos mais dissecados, principalmente aqueles localizados nas áreas de cabeceiras, com altitudes superiores a 880 m que favorecem a maior infiltração de água; parâmetro morfométrico importante a ser considerado na dinâmica dos processos gravitacionais. Esta situação é comprovada pelos elevados índices de CR (61%) e PR (3,3%) verificados nesta classe, indicando que não houve restrição adequada ou aplicação correta desta Lei quanto ao parcelamento do uso do solo e conseqüente ocupação urbana (Fig. 5.33).

A primeira classe (0° - $9,6^\circ$), embora possua uma frequência (FD) considerável na bacia (33%), está ligada às feições do relevo mais suaves, principalmente às planícies fluviais estreitas e localizadas em vales bem encaixados, pouco atingida pelos setores de risco, conforme os baixos valores de CR (9%) e de PR (0,5%), mais comuns para processos fluviais (inundações e solapamentos de margem). A segunda classe ($9,7^\circ$ - $16,7^\circ$) apresenta a menor FD (25%), entretanto possui o segundo maior valor de CR (30%) e de PR (2%), o que é um fator positivo, uma vez que estas classes são, segundo a Lei Lehman, permitidas à ocupação urbana, ainda que neste último caso sejam necessários laudos técnicos que avaliem a estabilidade do terreno para a ocupação urbana. Entretanto, de forma geral, destaca-se que a ocupação urbana e os setores de risco mapeados deveriam estar restritos aos primeiros intervalos do mapa de ângulo da encosta.

Reconhece-se, ainda, que a influência isolada do papel desempenhado pelo ângulo da encosta na instabilidade do relevo é uma tarefa difícil de ser alcançada, pois se torna evidente a relação desta com outros parâmetros, tais como, a espessura do solo e a xistosidade, além de outros parâmetros topográficos, que também exercem influência na estabilidade das encostas.

Fig. 5.32: Mapa de Ângulo da Encosta da bacia do rio Limoeiro e Histograma de Ângulo da Encosta com os percentuais de (A) Frequência de Distribuição (FD); (B) Concentração de Risco (CR) e (C) Potencial de Risco (PR).

Fig. 5.33: Exemplo de ocupações precárias em altas declividades, que contrariam a determinação da Lei Lehman (setor 6).

Mesmo considerando a rigidez que a Lei Lehman apresenta na definição de intervalos de ângulos da encosta sobre a determinação de ocorrência de escorregamentos, em muitos estudos foram também verificados resultados semelhantes. CANIL (2006), por exemplo, verificou na bacia do ribeirão Pirajuçara (RMSP), que nos ângulos entre 3° e 11° ocorreram processos fluviais, favorecidos pela maior concentração do escoamento superficial, que propicia a produção e o transporte de sedimentos, podendo implicar em assoreamentos, em inundações e em solapamentos de margem. RODRIGUES & AUGUSTO FILHO (2009) também obtiveram no município de Jaú (SP) resultados bastante semelhantes, nos quais, nos menores ângulos foram identificados processos fluviais e nos ângulos superiores a 16° , movimentos de massa.

Em âmbito internacional, a ocorrência de escorregamentos também está, na maioria das vezes, ligada a elevados ângulos da encosta. GAO (1993), em Nelson County, Virgínia (EUA) constatou que os intervalos entre 22° e 31° foram mais suscetíveis a ocorrência de escorregamentos. D'AMATO AVANZI et al. (2004), ao estudarem a região da Toscana (Itália), constataram que a maioria dos escorregamentos ocorreu entre 30° e 45° . Os autores verificaram que a deflagração dos escorregamentos também esteve condicionada à ocorrência de fraturas nas encostas e à litologia, cujo material de alteração tornou as encostas muito suscetíveis ao aparecimento de rupturas.

O **aspecto** influencia de forma direta ou indireta a distribuição de áreas suscetíveis a ocorrência de escorregamentos, uma vez que determina a maior frequência e incidência da radiação solar, a tipologia da cobertura vegetal e o conteúdo de umidade dos solos. COLANGELO (1995) e CANTÓN et al. (2004) completam afirmando que o aspecto pode interferir nos processos biofísicos, como o tipo de vegetação e a espessura dos solos.

Segundo a Fig. 5.34, a bacia possui uma FD equivalente a 44% de suas encostas orientadas para o quadrante Norte (14% N; 14% NW e 16% NE). Entretanto, os maiores índices de CR e de PR foram observados no quadrante Sul. Considerando percentuais acumulativos destas classes (S, SE e SW), os valores de CR representam 44% e de PR equivalem a 8,7%, indicando uma maior suscetibilidade destas encostas, associadas à presença de material rochoso ou à cobertura vegetal menos preservada. Enquanto isso, o quadrante Norte (N, NW e NE) apresenta uma CR de 35% e PR de 4,2%. Considerando os valores individuais de cada classe, o maior índice de CR foi verificado na classe S (21%) com PR na classe SW (4%), sendo estas classes, portanto, mais suscetíveis à ocorrência de escorregamentos rasos.

Em outros estudos, como por exemplo, VIEIRA (2007), a autora verificou na Serra do Mar paulista uma maior FD e CC¹ de escorregamentos em encostas orientadas para o quadrante S, mas um maior PE² em encostas orientadas para o quadrante N. Segundo este trabalho, aquelas voltadas para S possuem menor suscetibilidade em função da cobertura vegetal mais preservada, devido ao maior sombreamento e à manutenção da umidade dos solos, enquanto aquelas voltadas para N foram mais suscetíveis aos escorregamentos rasos.

GUIMARÃES (2000), no Maciço da Tijuca (RJ), verificou que as encostas orientadas para N foram também as mais frequentes, mas diferentemente desta pesquisa, foram também as mais suscetíveis, pois apresentaram os maiores valores de CC e de PE. Neste estudo, o mergulho preferencial das unidades estruturais e litológicas em direção a N, favoreceu a ocorrência de escorregamentos. Resultados opostos foram identificados por GAO (1993) que identificou, em Nelson County, Virginia (EUA), uma maior FD de encostas direcionadas para o quadrante S e maior PE em encostas voltadas para o quadrante N. Segundo este autor, a distribuição da precipitação e a radiação solar influenciaram diretamente o conteúdo de umidade das encostas e a sua suscetibilidade. Esta comparação com outros trabalhos tem como objetivo facilitar a compreensão da influência de outros fatores condicionantes no aspecto da encosta e, conseqüentemente, na sua suscetibilidade.

¹ O índice CC (Concentração de Cicatrizes) equivale ao índice CR (Concentração de Risco) deste estudo.

² O índice PE (Potencial de Escorregamentos) equivale ao índice PR (Potencial de Risco) deste estudo.

Fig. 5.34: Mapa de Aspecto da bacia do rio Limoeiro e Histograma de Aspecto com os percentuais de (A) Frequência de Distribuição (FD); (B) Concentração de Risco (CR) e (C) Potencial de Risco (PR).

Quanto à **curvatura** (forma da encosta), um dos parâmetros de maior importância para a ocorrência de escorregamentos, encostas convexas e côncavas apresentaram maior FD, comportando-se quase em igual proporção na bacia, respectivamente 38% e 37%. As encostas retilíneas apareceram em menor quantidade (25%) (Fig. 5.35). Nos demais índices observou-se essa mesma tendência na bacia, com o maior valor de CR equivalente à forma côncava (52%), seguida de 41% na forma convexa e 7% na forma retilínea. Com relação ao PR, a forma côncava apresentou 12%, a convexa 7% e a retilínea apenas 2%. Segundo a Fig. 5.35, verifica-se que a forma retilínea coincide, em maior proporção, aos fundos de vale (planícies) da bacia, sendo estas áreas mais planas e suavizadas, onde foi observada a ocorrência de processos fluviais (Fig. 5.36).

Contrariadamente, as formas côncavas, principalmente os anfiteatros de cabeceiras de drenagem, e as formas convexas representam os terrenos mais dissecados, declivosos e com maiores altitudes, nos quais, em campo, verificou-se a maior presença de áreas de risco a escorregamentos (Fig. 5.37). Além disso, verificou-se também, em campo, que estas encostas sofreram cortes no terreno, desmatamentos e sobrepesos por meio de aterros e de lixo, elevando a sua instabilidade.

RENEAU & DIETRICH (1987) e DIETRICH & MONTGOMERY (1998) já haviam verificado que as formas côncavas são áreas preferenciais para a concentração de água e de elevação mais rápida das cargas de pressão durante um evento pluviométrico e, portanto, necessitam de um menor volume de chuva para ocorrer ruptura. As formas convexas, por outro lado, possuem um fluxo preferencialmente divergente e a água no solo aparece localmente em razão de fortes chuvas ou da heterogeneidade da rocha, que força o fluxo subsuperficial em direção ascendente para o manto de solo. Assim, mesmo sendo áreas divergentes e declivosas, estas necessitam de uma grande descarga de chuva para que se aumente a sua instabilidade.

Diversos outros trabalhos da literatura também indicaram a maior suscetibilidade a escorregamentos em encostas côncavas em diferentes áreas, tais como, ANDERSON & BURT, 1978; DIETRICH & DUNNE, 1978; RENEAU et al., 1984; DIETRICH et al., 1986; MONTGOMERY et al., 1991, FERNANDES et al., 1994; GUIMARÃES et al., 1998 e GUIMARÃES et al., 2003. Entretanto, outros trabalhos encontraram maior proporção de cicatrizes de escorregamentos rasos em encostas retilíneas, como por exemplo, TATIZANA et al. (1987), IPT (1988), WOLLE & CARVALHO (1989), LOPES (2006) e VIEIRA (2007) na Serra do Mar paulista.

Fig. 5.35: Mapa de Curvatura (planta/perfil) da bacia do rio Limoeiro e Histograma de Curvatura (planta/perfil) com os percentuais de (A) Frequência de Distribuição (FD); (B) Concentração de Risco (CR) e (C) Potencial de Risco (PR).

Fig. 5.36: A foto superior (oblíqua) mostra um exemplo de uma planície fluvial da bacia com a presença de ocupações ribeirinhas sujeitas ao risco de inundação. A foto inferior mostra um detalhe observado em campo, onde se notam as ocupações muito próximas ao canal de drenagem e o processo de solapamento desenvolvendo-se na margem oposta (seta amarela).

Fig. 5.37: A foto superior indica um exemplo de encosta convexa (vermelho) na qual se encontra o setor 16 (seta amarela) e outro exemplo de encosta convexa-retilínea (verde) na qual se encontra o setor 12 (seta azul). A foto inferior demonstra um detalhe de um anfiteatro com concavidade bastante pronunciada (preto) no qual se localiza parte do setor 9.

No trabalho de LOPES (2006), por exemplo, o autor identificou 61% de cicatrizes de escorregamentos ocorridos em 1985, na Serra do mar paulista, em encostas retilíneas e 70% de cicatrizes de escorregamentos ocorridos em 1994, nessa mesma área, também em encostas retilíneas. VIEIRA (2007) ao estudar a bacia da Copebrás (Serra do Mar paulista) verificou uma maior FD de encostas retilíneas (43%) e convexas (cerca de 40%) e, em menor proporção, das côncavas (cerca de 17%). Neste trabalho, a CC acompanhou essa mesma distribuição, com as formas retilíneas concentrando 44%, seguidas pelas convexas (41%) e côncavas (15%). A autora concluiu que o menor índice de CC em áreas côncavas pode estar relacionado à localização mais freqüente dessas formas nos vales fluviais da rede de drenagem, ao contrário das demais formas (convexas e retilíneas), que apareceram nas encostas onde foram mapeados os escorregamentos.

O parâmetro **área de contribuição** (Fig. 5.38) ou área drenada à montante, define segmentos na paisagem nos quais há convergência, estando associados à concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais e relacionados com a saturação dos solos, tendo este parâmetro uma relação direta entre a forma da encosta e os processos hidrológicos e movimentos de massa, possuindo um papel relevante na análise da suscetibilidade (BEVEN & KIRKBY, 1979; O'LOUGHLIN, 1986; RAMOS et al., 2003; FERNANDES et al., 2004, entre outros). Dessa forma, a maior FD de área de contribuição na bacia foi a classe 1,8-2 $\log_{10}$ (m^2), com um percentual equivalente a 32%, que também concentrou cerca de 30% do total de áreas de risco (CR). Entretanto, o maior valor de PR (10%) foi mapeado na classe 3,4-3,6 $\log_{10}$ (m^2), que indica os locais mais íngremes com os maiores ângulos da encosta e onde predominam grandes anfiteatros com concavidades bastante pronunciadas. Assim, os menores valores de PR correspondem aos menores valores de áreas de contribuição, que representam as porções mais basais das encostas, isto é, seus canais de drenagem e o seu entorno imediato, onde se localizam os vales fluviais que compõem a rede de drenagem principal com os menores ângulos da encosta.

Resultados semelhantes foram obtidos por CASTRO et al. (2002) ao estudarem os riscos a escorregamentos na área urbana de Barra Mansa, município do Rio de Janeiro. Segundo este trabalho, as áreas de risco coincidiram com os valores mais elevados de área de contribuição que correspondiam a grandes anfiteatros de cabeceiras de drenagem. Ainda neste estudo, os escorregamentos foram potencializados por chuvas concentradas e intensas que implicaram uma descarga elevada das encostas e conseqüentes escorregamentos, além de outros processos.

Fig. 5.38: Mapa de Área de contribuição da bacia do rio Limoeiro e Histograma de Área de contribuição com os percentuais de (A) Frequência de Distribuição (FD); (B) Concentração de Risco (CR) e (C) Potencial de Risco (PR).

Assim como no estudo de CASTRO et al. (2002), a pluviometria também tem um papel importante na deflagração de escorregamentos na bacia do rio Limoeiro, pois a ocorrência de precipitações de grande magnitude vem causando diversas instabilizações nas encostas, somadas ao solo previamente saturado em função de causas antrópicas (ex. lançamento de água servida e vazamentos de tubulações).

Por outro lado, no trabalho de VIEIRA (2007) na bacia da Copebrás (Serra do Mar), diferentemente desta pesquisa, os maiores valores de área de contribuição estavam associados aos fundos de vales fluviais, onde também predominavam os menores ângulos das encostas. De qualquer forma, estes tipos de terrenos também apresentaram valores muito baixos de CC e de PE.

Considerando-se, agora, somente o índice Potencial de Risco (PR), uma vez que tal índice indica a maior representatividade do papel da topografia na avaliação das áreas de risco, dos quatro parâmetros topográficos analisados, verifica-se que as áreas mais suscetíveis na bacia do rio Limoeiro são aquelas em que há ângulos superiores a $16,8^\circ$, orientadas para SW e nas formas côncavas com os maiores valores de área de contribuição, isto é, principalmente na classe $\log_{10} (m^2)$ 3,4-3,6.

Em geral, com algumas exceções, ocorre coincidência destes condicionantes topográficos na bacia, ou seja, os ângulos superiores a $16,8^\circ$ estão ligados às formas côncavas e, em alguns casos, orientados para SW e com valores elevados de área de contribuição. Entretanto, visando avaliar de forma mais precisa a suscetibilidade natural da bacia, será apresentado no capítulo seguinte, os locais de maior probabilidade natural quanto à ocorrência de escorregamentos rasos a partir da aplicação do modelo matemático SHALSTAB.

5.4 AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E ANÁLISE CONJUNTA

Este item contempla, inicialmente, os resultados do modelo de previsão de áreas suscetíveis a escorregamentos rasos aplicado na bacia do rio Limoeiro por meio dos índices FD, CR e PR. Posteriormente, é apresentada uma análise conjunta e mais específica entre o grau de cada setor de risco e as classes de suscetibilidade apontadas pelo modelo, visando verificar a sua concordância ou a sua discordância.

Conforme a Fig. 5.39, a análise da Frequência de Distribuição (FD) indica que cerca de 21% da bacia foi classificada como Incondicionalmente Instável, 41% como Estável e as classes de suscetibilidade entre as categorias extremas ($\log Q/T < -3.1$ a $\log Q/T > -2.2$) variaram entre 7% e 11%. Considerando os percentuais acumulativos de cada classe, segundo o grau de estabilidade, as classes de áreas instáveis (Inc. Instável e $\log Q/T < -3.1$) perfazem 28% da bacia, as classes de média instabilidade ($\log Q/T -3.1 - -2.8$; $\log Q/T -2.8 - -2.5$ e $\log Q/T -2.5 - -2.2$) perfazem 27% e as classes estáveis ($\log Q/T > -2.2$ e Estável) 45% da área total da bacia do rio Limoeiro.

As classes mais estáveis localizam-se principalmente nos fundos de vale da bacia, em regiões de baixas declividades e menores elevações (Fig. 5.40). As classes mais instáveis localizam-se, por sua vez, nos relevos mais acidentados, onde a probabilidade de ruptura é maior, com um forte controle topográfico (Fig. 5.41). No que diz respeito ao uso do solo, muitas áreas instáveis ainda coincidem com locais onde há somente vegetação de mata Atlântica sem ocupação antrópica, o que pode ser muito útil ao planejamento da bacia para restringir futuras ocupações urbanas (Fig. 5.41).

A classe Incondicionalmente Instável aparece associada a ângulos da encosta superiores a $16,8^\circ$, acima dos 800 m de altitude e orientadas preferencialmente para S e SW (Fig. 5.42). Tais áreas estão associadas à presença de material rochoso mais instável e à cobertura vegetal menos preservada onde existe um menor sombreamento e uma menor manutenção de umidade do solo. Quanto à presença de material rochoso mais instável, destaca-se que o substrato rochoso presente na bacia (micaxistos com alta fragilidade) implicam em descontinuidades no solo (ex. xistosidades), funcionando como condicionantes geológico-geotécnicos quanto à ocorrência de escorregamentos. Além disso, nas encostas muito íngremes, tal formação litológica permitiu à formação de solos residuais de constituição argilo-siltosa a arenosa fina com baixa profundidade (espessuras médias entre 2 a 3 metros), que favorecem a ocorrência de escorregamentos rasos.

Esse cenário revelou que as classes de maior instabilidade correspondem, em maior proporção, aos terrenos localizados nas áreas da cabeceira da bacia, onde há maior infiltração de água e maior probabilidade de escorregamentos. Ao contrário das áreas estáveis localizadas, principalmente, em baixos ângulos da encosta próximos ao canal principal de drenagem, onde são mais comuns os solapamentos de margem, os assoreamentos e as inundações. Verificou-se também uma relação direta entre os valores mais elevados de área de contribuição e a localização de áreas instáveis com maior probabilidade de escorregamentos, em função da maior saturação dos solos e do desenvolvimento de elevada poro-pressão, aumentando a suscetibilidade destas encostas (Fig. 5.42).

Com relação à curvatura, houve um predomínio de encostas mais suscetíveis com formas côncavas, com elevados ângulos e com camadas de solo menos espessas, embora se verificou instabilidade também em formas convexas (Fig. 5.42). As formas retilíneas, em geral, estão associadas aos canais de drenagem da bacia e o seu entorno imediato, que foram apontadas como estáveis pelo SHALSTAB. Entretanto, cabe destacar que estes terrenos coincidem com planícies fluviais muito estreitas (em geral não ultrapassam a largura de 300 metros) localizadas em vales encaixados onde não há mata ciliar, o que potencializa a ocorrência de inundações e também pode gerar risco à população.

Ainda segundo a Fig. 5.39, embora o modelo não considere os fatores antrópicos, na combinação entre os mapas de áreas de risco e o de suscetibilidade, cerca de 40% das áreas de risco coincidiram com a classe Incondicionalmente Instável, e apenas 1.2% com a classe Estável (CR). A acurácia do mapa de suscetibilidade, mostrando sua potencialidade na previsão de escorregamentos rasos, mesmo em áreas ocupadas, foi confirmada pelo índice de PR, que apresentou valores elevados para a classe Incondicionalmente Instável (12%), sofrendo uma redução em direção as classes mais estáveis, com valores inferiores a 1% na classe Estável (Fig. 5.39). Ainda nesse sentido, não houve nenhum setor de risco que estivesse completamente inserido (100%) na classe Estável, embora esta tenha apresentado a maior FD, indicando um alto percentual de acerto, uma vez que, o mapa de suscetibilidade ideal deve maximizar a correlação entre as áreas previstas como instáveis e o mapa de áreas de risco.

Fig. 5.39: Mapa de Suscetibilidade simulado pelo modelo SHALSTAB na bacia do rio Limoeiro ($C'=0$ kPa; $\Phi=35^\circ$; $z=2$ m; $\rho_s=1700$ Kg/m³) e Histograma de Suscetibilidade com os percentuais de (A) Frequência de Distribuição (FD); (B) Concentração de Risco (CR) e (C) Potencial de Risco (PR).

Fig. 5.40: O mapa mostra a localização das classes estáveis de suscetibilidade indicadas pelo SHALSTAB com alguns detalhes: (A) áreas mais planas com moradias muito próximas ao canal de drenagem sujeitas ao risco de inundação, (B) destaque ao processo de solapamento de margem fluvial (setas vermelhas), (C) processo de alagamento, (D) foto de campo indicando a construção de moradias nas margens dos córregos e (E) encostas ainda não ocupadas por moradias que, segundo o modelo, possuem uma pequena faixa de estabilidade, somente na sua base e no seu topo (onde se encontra instalado atualmente o aterro sanitário *Sítio São João*).

Fig. 5.41: O mapa mostra a localização das classes instáveis de suscetibilidade indicadas pelo SHALSTAB com alguns detalhes: (A) visão de campo de trecho do setor 6, onde se verifica a ocupação em grande anfiteatro, com dois detalhes em azul (A1) e em verde (A2); (B) detalhe do setor 8 com ocupações muito próximas ao topo da encosta, (C) cortes excessivos no relevo em áreas naturalmente suscetíveis e (D) encosta pouco ocupada com cicatriz de escorregamento, confirmando a sua suscetibilidade. Fator este importante para o planejamento da bacia no sentido de restringir futuras ocupações urbanas.

Fig. 5.42: Comparação entre as classes de suscetibilidade e os três parâmetros topográficos (ângulo da encosta, área de contribuição e curvatura). Verifica-se que as áreas mais instáveis coincidem com os ângulos superiores a 16,8°, com os valores mais elevados de área de contribuição e com as formas côncavas (principalmente) e convexas, observando-se, portanto, um forte controle topográfico na distribuição das classes de suscetibilidade do modelo.

O modelo SHALSTAB já foi amplamente utilizado na previsão de escorregamentos em áreas com baixa intervenção antrópica, sendo correlacionado com mapas de cicatrizes de escorregamentos e apresentando resultados bastante satisfatórios. Entretanto, em áreas urbanas densas com presença de áreas de risco, o seu uso é ainda pouco comum. DIETRICH et al. (1998), por exemplo, aplicaram o modelo em sete bacias hidrográficas na cadeia do Oregon próximo a Coos Bay, Califórnia (EUA), com cerca de 844 escorregamentos deflagrados entre 1979 a 1996, e encontraram 94% de cicatrizes de escorregamentos que coincidiram com a classe Incondicionalmente Instável, mostrando a eficiência do modelo nesse tipo de abordagem. Dessa forma, mesmo considerando que estes autores aplicaram o modelo em áreas pouco ocupadas e o correlacionaram com um mapa de cicatrizes de escorregamentos e não com um mapa de áreas de risco, como apresentado nesta pesquisa, os valores mais elevados do índice Concentração de Risco (CR) na bacia do rio Limoeiro também coincidiram com a classe Incondicionalmente Instável, assim como ocorreu no trabalho de DIETRICH et al. (1998).

No Brasil, essa situação seguiu a mesma tendência, na qual a maioria dos estudos também aplicou o modelo em áreas pouco ocupadas. GUIMARÃES et al. (2003), por exemplo, aplicaram o modelo no Maciço da Tijuca, no município do Rio de Janeiro, onde ocorreram centenas de escorregamentos em 1996 associados a chuvas intensas, e encontraram 70% de cicatrizes de escorregamentos rasos em áreas instáveis e 30% em áreas estáveis. VIEIRA (2007) mapeou 356 cicatrizes na Serra do Mar (SP), obtendo índices acima de 60% de Concentração de Cicatrizes (CC)³ nas áreas mais instáveis e um Potencial de Escorregamentos (PE)⁴ elevado na classe Incondicionalmente Instável. Portanto, nestes estudos, os valores mais elevados dos índices de Concentração e de Potencial também coincidiram com a classe Incondicionalmente Instável.

Um dos poucos estudos usando o modelo em áreas urbanas densamente ocupadas no Brasil foi ZAIDAN & FERNANDES (2009) em uma bacia hidrográfica do município de Juiz de Fora (Minas Gerais). Estes autores correlacionaram o modelo com um mapa de cicatrizes (30 cicatrizes mapeadas) e segundo o mapa de suscetibilidade, identificaram 34% de áreas estáveis, 47% de áreas com média instabilidade e 19% de áreas instáveis que, embora em menor quantidade, concentraram a maior parte das cicatrizes (CC), indicando sucesso na previsão feita pelo modelo nessa área. Essa mesma situação ocorreu na bacia do rio Limoeiro,

³ CC = CR (Concentração de Risco).

⁴ PE = PR (Potencial de Risco).

pois houve maior quantidade de áreas estáveis definidas pelo SHALSTAB, entretanto, a maior CR e o maior PR coincidiram com classe Incondicionalmente Instável.

Com base nos resultados desta pesquisa, foi possível verificar que os setores R3 e R4 compreenderam, de forma geral, os assentamentos de padrões mais precários, enquanto os setores R1 e R2, um conjunto de moradias com condições mais favoráveis. Entretanto, visando verificar a concordância entre a classificação do grau de risco realizada em campo com as classes de suscetibilidade indicadas pelo modelo, foi realizada uma análise conjunta e mais específica em todos os setores mapeados (Tab. 5.5).

Segundo a Tab. 5.5, dos 16 setores mapeados, apenas 4 (setores 1, 5, 15 e 16) apresentaram discordância entre o grau de risco e o percentual de células em cada classe de suscetibilidade. Admite-se como critério para concordância nesta análise, a maior quantidade de células em classes de estabilidade⁵ em setores R1 e R2 e maior quantidade de células em classes de instabilidade⁶ para setores R3 e R4, indicando que quando ocorrem situações inversas, como por exemplo, no setor 1, que foi classificado em campo com o grau de risco R4 e apresentou maioria de células em classes de estabilidade (75%), houve discordância entre os dois mapeamentos. Nos três demais casos, o setor 5 foi classificado com grau de risco R1 e apresentou 54% de células em classes instáveis, o setor 15 foi classificado com grau de risco R4 e apresentou 34% de células em classes estáveis e o setor 16 foi classificado com grau de risco R1, mas apresentou 35% de células em classes de instabilidade.

A discordância entre o mapa de suscetibilidade e o de risco não necessariamente indica algum tipo de erro nos métodos aplicados, pois nos casos analisados, verificou-se que os setores 1 e 15, ambos R4, apresentavam uma suscetibilidade natural baixa para a ocorrência de escorregamentos, entretanto os tipos de intervenções antrópicas inadequadas levaram a uma classificação muita alta de risco. Por outro lado, os setores 5 e 16 (R1) apesar de apresentaram uma alta suscetibilidade natural quanto à ocorrência de escorregamentos, foram classificados com grau de risco baixo, por apresentarem infra-estrutura necessária e coerente ao tipo de terreno, demonstrando que mesmo áreas com alta suscetibilidade podem ser ocupadas, desde que haja infra-estrutura adequada, sendo este tipo de resultado importante para o planejamento urbano de bacias hidrográficas urbanas.

Ainda segundo a Tab. 5.5, os demais setores (2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14) apresentaram concordância entre ambos os mapeamentos, no sentido de que setores R1 ou R2 apresentaram maior quantidade de células em classes de estabilidade, e os setores R3 ou R4

⁵ Classes log Q/T >-2.2 e Estável.

⁶ Classes Inc. Instável e log Q/T <-3.1.

maior quantidade de células em classes de instabilidade. Destaca-se que não estão sendo analisados os casos onde não foram mapeados setores de risco ou sem ocupação urbana, principalmente nas nascentes das cabeceiras da bacia, que ainda apresentam, em sua maioria, vegetação arbórea (Mata Atlântica).

Dentre os setores concordantes, cabe a discussão do setor 6 (R3 com 41% de células em classes de instabilidade), pois foi nesta área onde, em janeiro de 2010, ocorreram escorregamentos rasos deflagrados por chuvas de 103 mm em 24 h. Neste setor, em razão de determinadas características naturais e antrópicas e de algumas evidências de instabilização, este foi classificado com grau de risco alto (R3) em campo. Assim, a suscetibilidade natural a escorregamentos indicada pelo modelo, as atuais pressões antropogênicas e o evento pluviométrico extremo deflagraram escorregamentos, gerando inúmeras perdas sócio-econômicas, indicando que a classificação em campo, feita anteriormente a este evento, bem como a previsão do modelo foram corretas. Essa concordância apontou, portanto, a influência da suscetibilidade na geração de áreas de risco e a compreensão do papel da intervenção humana na deflagração dos escorregamentos.

Tab. 5.5

Análise conjunta entre as classes de suscetibilidade e o grau de risco de cada setor mapeado.

Setor	Detalhe	Classes de suscetibilidade (log Q/T) (%)	Descrição*
1			Setor classificado em campo com grau de risco R4. Apresentou 13,3% de células em classes de instabilidade, 11,7% de média instabilidade e 75% de estabilidade, indicando que houve discordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.
2			Setor classificado em campo com grau de risco R2. Apresentou 21% de células em classes de instabilidade, 31% de média instabilidade e 48% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.
3			Setor classificado em campo com grau de risco R2. Apresentou 27% de células em classes de instabilidade, 33% de média instabilidade e 40% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.
4			Setor classificado em campo com grau de risco R1. Apresentou 3% de células em classes de instabilidade, 17% de média instabilidade e 80% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.

*Na descrição, as classes de suscetibilidade foram somadas de acordo com o grau de estabilidade: classes instáveis (Inc. Instável e <-3.1); classes de média instabilidade (-3.1 - -2.8, -2.8 - -2.5 e -2.5 - -2.2) e classes estáveis (>-2.2 e Estável).

Continuação da Tab. 5.5

5		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p>	<p>Setor classificado em campo com grau de risco R1. Apresentou 54% de células em classes de instabilidade, 21% de média instabilidade e 25% de estabilidade, indicando que houve discordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.</p>
6		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p>	<p>Setor classificado em campo com grau de risco R3. Apresentou 41% de células em classes de instabilidade, 37% de média instabilidade e 22% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.</p>
7		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p>	<p>Setor classificado em campo com grau de risco R2. Apresentou 31% de células em classes de instabilidade, 36% de média instabilidade e 33% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.</p>
8		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p>	<p>Setor classificado em campo com grau de risco R4. Apresentou 42% de células em classes de instabilidade, 45% de média instabilidade e 13% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.</p>

Continuação da Tab. 5.5

9		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p> <p> 33, 12, 9, 7, 14, 5, 20 </p>	<p>Setor classificado em campo com grau de risco R4. Apresentou 45% de células em classes de instabilidade, 30% de média instabilidade e 23% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.</p>
10		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p> <p> 90, 2, 1, 0,5, 1, 0,5, 5 </p>	<p>Setor classificado em campo com grau de risco R1. Apresentou 3% de células em classes de instabilidade, 6,5% de média instabilidade e 90% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.</p>
11		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p> <p> 27, 16, 8, 9,5, 6, 0,5, 33 </p>	<p>Setor classificado em campo com grau de risco R3. Apresentou 43% de células em classes de instabilidade, 23,5% de média instabilidade e 33,5% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.</p>
12		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p> <p> 15, 1, 5, 30, 17, 7, 25 </p>	<p>Setor classificado em campo com grau de risco R1. Apresentou 6% de células em classes de instabilidade, 57% de média instabilidade e 37% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.</p>

Continuação da Tab. 5.5

13		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p>	Setor classificado em campo com grau de risco R4. Apresentou 46% de células em classes de instabilidade, 29% de média instabilidade e 25% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.
14		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p>	Setor classificado em campo com grau de risco R4. Apresentou 36% de células em classes de instabilidade, 35% de média instabilidade e 29% de estabilidade, indicando que houve concordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.
15		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p>	Setor classificado em campo com grau de risco R4. Apresentou 28,5% de células em classes de instabilidade, 37,5% de média instabilidade e 34% de estabilidade, indicando que houve discordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.
16		<p> ■ Inc. Instável ■ <-3.1 ■ -3.1 - -2.8 ■ -2.8 - -2.5 ■ -2.5 - -2.2 ■ >-2.2 ■ Estável </p>	Setor classificado em campo com grau de risco R1. Apresentou 35% de células em classes de instabilidade, 33,2% de média instabilidade e 31,8% de estabilidade, indicando que houve discordância entre o grau de risco e as classes de suscetibilidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas cidades brasileiras possuem áreas de risco a escorregamentos em função do predomínio de baixo padrão construtivo e da ausência de infra-estrutura e quando associados a períodos chuvosos são frequentemente sujeitas a acidentes, com perdas humanas e danos materiais. A cidade de São Paulo se inclui nesse cenário, pelo alto número de habitantes que vivem em áreas de risco, compreendendo favelas construídas em encostas instáveis nas áreas periféricas da cidade.

A bacia do rio Limoeiro, em razão da sua localização em uma área periférica da cidade de São Paulo, sofreu a instalação de pressões antropogênicas bastante severas em locais naturalmente suscetíveis a escorregamentos, antes ocupados por vegetação de Mata Atlântica, resultando em muitas áreas de risco. Muitas vezes, os perfis de alteração ficaram expostos por longo período e, no verão, os altos índices pluviométricos vêm sendo responsáveis pela deflagração de escorregamentos rasos, potencializados também por fatores desencadeadores antrópicos, tais como, cortes em terrenos declivosos, ausência de infra-estrutura (obras de drenagem e saneamento básico), vazamento de tubulações, concentração das águas pluviais, entre outros.

O objetivo geral desta pesquisa (análise do grau de risco e da suscetibilidade) e os objetivos específicos (análise evolutiva do uso do solo, mapeamento das áreas de risco em escala de zoneamento, análise do papel dos parâmetros topográficos e análise conjunta entre os mapas de risco e de suscetibilidade) foram alcançados. Nesse sentido, no caso deste estudo, supõe-se que a ação antrópica a partir de condições adversas em áreas de risco funcione como uma variável aleatória, mas de efeito esperado, no sentido de diminuir a estabilidade do terreno e de aumentar o risco a escorregamentos.

A primeira hipótese definida nesta pesquisa, que pressupõe que a ocorrência de áreas de risco possa estar ligada à interação de fatores naturais e de fatores antrópicos, foi parcialmente confirmada. Isso ocorreu, pois houve discordância em quatro setores na análise conjunta entre o mapa de risco e o de suscetibilidade, ou seja, dois setores classificados com grau de risco muito alto (R4) apresentaram maior parte de células em classes estáveis (SHALSTAB) e outros dois setores classificados com risco baixo (R1) apresentaram maioria de células em classes instáveis (SHALSTAB). Dessa forma, embora a maioria dos setores tenha concordado nesta análise conjunta, confirmando a hipótese apontada, há casos em que não é preciso existir interligação de fatores naturais e antrópicos para a ocorrência de áreas de risco.

Com base nessa consideração, a segunda hipótese foi confirmada, pressupondo a combinação do mapeamento de risco com o de suscetibilidade a partir de modelos matemáticos, neste estudo o modelo SHALSTAB. Primeiramente, destaca-se o fato de não terem sido encontrados na literatura trabalhos anteriores, que aplicaram o modelo em áreas urbanas e o correlacionaram com mapas de áreas de risco, somente com mapeamentos de cicatrizes. Posteriormente, uma vez que esta combinação metodológica mostrou-se positiva em áreas urbanas densamente ocupadas, o uso de um modelo matemático pode facilitar a conclusão de locais mais instáveis para a ocupação, auxiliando o gerenciamento de áreas de risco pelos órgãos públicos.

As etapas metodológicas utilizadas permitiram o uso conjunto de métodos de análises qualitativas e quantitativas, diretas e indiretas, baseadas no entendimento dos agentes deflagradores de escorregamentos em áreas urbanas. Desta forma, acredita-se que a combinação das duas metodologias (mapeamentos das áreas de risco e de suscetibilidade por meio de um modelo matemático), pôde estabelecer as condições e as circunstâncias para a ocorrência de escorregamentos, isto é, onde eles podem ocorrer. Além disso, indicou a diferenciação clara entre o mapa de suscetibilidade e o mapa de áreas de risco, acreditando-se que a adoção da denominação diferenciada para os termos suscetibilidade e risco, possa facilitar a adequação destes conceitos em uma terminologia científica.

Reforça-se a possibilidade de combinação destas duas metodologias em função da dificuldade de elaboração de mapeamentos de cicatrizes de escorregamentos em áreas urbanas densamente ocupadas, pois é muito comum a ocupação ocorrer sobre as cicatrizes. Foi o que aconteceu com a bacia do rio Limoeiro, onde a ocupação intensa contribuiu para a alteração rápida da paisagem, ocultando a maior parte dos registros dos escorregamentos.

Por meio das análises correlativas da Concentração de Risco (CR) e do Potencial de Risco (PR), foi verificado que o uso do modelo matemático SHALSTAB, assim como a análise dos parâmetros topográficos, forneceram subsídios importantes para a compreensão da distribuição das áreas de risco a escorregamentos, principalmente porque o mapa de suscetibilidade apresentou significativa concordância com as áreas de risco mapeadas em campo. Dessa forma, este modelo pode ser utilizado pelo poder público, para a definição de áreas suscetíveis e para o planejamento do uso do solo, principalmente porque existem algumas áreas instáveis definidas pelo SHALSTAB e que ainda não foram ocupadas.

A partir dos resultados encontrados na avaliação da suscetibilidade e por meio da descrição e da discussão comparativa com outros trabalhos, verificou-se que o modelo SHALSTAB confirmou as principais vantagens de uso, dentre as quais, podem-se destacar: a

aplicação em diferentes áreas com diferentes usos do solo sem custos elevados para a aquisição dos dados de entrada (ex. os parâmetros topográficos) e a facilidade de uso em ambiente SIG.

Da mesma forma, acredita-se que o mapeamento de áreas de risco é uma ferramenta que pode apontar os locais que necessitam de ações emergenciais, de projetos sócio-ambientais, de remoção de moradias, bem como pode auxiliar a gestão pública a negociar prioridades com as lideranças locais.

Com relação ao cálculo de moradias nos setores de risco, como este foi realizado em campo e conferido a partir de fotografias oblíquas (sobrevôo) e pelas ortofotos de 2007 (EMPLASA), em certos pontos a grande proximidade de moradias e a divisão do mesmo telhado dificultaram a avaliação do número exato. Entretanto, durante o mapeamento, foi importante considerar a quantidade de moradias presentes em cada setor de risco, pois esta questão esteve diretamente relacionada à magnitude dos danos e das conseqüências causadas por escorregamentos.

A análise evolutiva do uso do solo permitiu concluir a ineficácia do planejamento urbano aplicado na bacia e também possibilita a conclusão de cenários futuros, uma vez que, se a expansão urbana continuar acelerada, novas áreas de risco e novos processos de escorregamentos podem ocorrer, gerando prejuízos sociais e econômicos.

Das principais dificuldades encontradas durante a pesquisa, destaca-se a ausência de materiais secundários (fotografias aéreas, mapeamentos temáticos, entre outros) principalmente em escala de detalhe, o que impossibilitou a análise de mais dados, como por exemplo, mapas de uso do solo em décadas anteriores a 1973 e no intervalo entre 1973-2007, análise do substrato rochoso, da pedologia, entre outros.

Destaca-se também, a falta de dados oficiais quantitativos e qualitativos da ocorrência de escorregamentos na bacia, que ainda estão quase que restritos a busca em fontes jornalísticas (jornais, revistas e internet). Como o mapeamento de áreas de risco aplicado exige muitos passos e não é uma tarefa fácil de ser realizada, demandando muitas atividades (ex. trabalhos de campo) e tempo para ser executada, a presença dos dados supracitados poderia melhorar sobremaneira a qualidade das análises realizadas. Nesse sentido, destaca-se novamente a importância do conhecimento prévio da suscetibilidade do terreno, que pode amenizar as atividades necessárias para a verificação do grau de risco, principalmente em atividades de gerenciamento urbano realizadas pela Defesa Civil dos municípios.

Como trabalhos futuros, sugerem-se inicialmente o cadastramento de algumas moradias nos setores de risco, que estão em condições mais críticas e que necessitam de

remoções imediatas, aplicações de medidas mitigadoras e/ou de planos preventivos da Defesa Civil. Posteriormente, como existem também diversas áreas de risco a inundação e a solapamento de margem fluvial nesta bacia e, em menor quantidade, a processos erosivos nas encostas, indica-se a análise da suscetibilidade e do mapeamento de áreas de risco a estes processos.

Por fim, apesar dos escorregamentos serem processos geomorfológicos com grande importância na modelagem dinâmica do relevo, mesmo considerando as diferentes condições sociais, econômicas e climáticas, o modelo de gestão e de conservação de encostas, estes processos resultam ainda em muitas consequências catastróficas. Embora a previsão de escorregamentos seja complexa, pois são muitos os fatores deflagradores naturais e antrópicos, acredita-se, que o conhecimento da instabilidade do terreno por meio de modelos matemáticos, bem como a indicação de um grau de probabilidade de risco, possua interesse científico relevante para a sociedade, podendo evitar vítimas fatais e proteger as estruturas urbanas.

Na medida em que se apontam os locais mais instáveis e que possuem maior grau de probabilidade de acidentes, aumenta-se o tempo de evacuação de pessoas ou a definição de locais proibidos para a ocupação. Especificamente no caso da bacia do rio Limoeiro, os resultados obtidos podem ter efeito positivo para as futuras ocupações, caso sejam utilizados pelo poder público, no planejamento do uso do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELLA, E.A.C. & WESTEN, C.J.V. (2007). **Generation of a landslide risk map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation**. *Landslides* (4). p. 311-325.
- ALEXANDER, D.E. (1993). **Natural Disasters**. University College London Press & Kluwer Academic Publishers, Dordrecht & Boston, 632 pp.
- ALHEIROS, M.M. & AUGUSTO FILHO, O. (1997). **Landslides and coastal erosion hazards in Brazil**. *International Geology Review* (398). p. 756-763.
- ALHEIROS, M.M. (1998). **Risco de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese (Doutorado) – Geologia Sedimentar, UFBA, Salvador – BA, 129p.
- ALHEIROS, M.M.; SOUZA, M.A.A.; BITOUN, J.; MEDEIROS, S.M.G.M. de; AMORIN JÚNIOR, W.M. (2004). **Manual de ocupação dos morros da região metropolitana do Recife**. Fundação de Desenvolvimento Municipal – FIDEM. Recife: Ensol. 32p.
- ALMEIDA, M.C.J. & DINIZ, N. (1994). **A expansão urbana no entorno metropolitano de São Paulo e os problemas decorrentes: o caso das regiões de Campinas e Vale do Paraíba**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Comburui. Anais...Comburui: SBG, v.1, pp. 519-520.
- ALMEIDA, M.C. J. de & FREITAS, C.G.L. de. (1996). **Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes**. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2., São Carlos. Anais...São Paulo: ABGE, p. 195-200.
- ALMEIDA FILHO, G. S. de; FARIA GOUVEIA, M. I.; CANIL, K. (1999). **Mapa de Suscetibilidade à erosão no Estado de São Paulo, Brasil**. Projeto Orientações para o Combate a Erosão no Estado de São Paulo. Período 1985 a 1997. São Paulo. DAEE\IPT. 11p.
- AMARAL, C. (1992). **Inventário de Escorregamentos no Rio de Janeiro**. In: 1ª. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), Rio de Janeiro. p. 239-244.
- AMARAL, C. (1997). **Landslides disasters management in Rio de Janeiro**. 2nd Pan-American Symposium on Landslides (II PSL/2a COBRAE). ABMS, ABGE & ISSMGE, Rio de Janeiro, pp. 209-212.
- ANDERSON, M.G. & BURT, T.P. (1978). **The role of topography in controlling throughflow generation**. *Earth surface processes and landforms* (3), pp. 331-344.
- ANDERSON, J.L. & DECKER, R.W. (1992). **Volcano risk mitigation through training**. In: MCCALL, G.J.H., LAMING, D.J.C., SCOTT, S.C. (Eds), *Geohazards: Natural and Man-Made*. Chapman & Hall, Londres, pp. 7-12.

- ANTOINE, P. (1977). **Réflexions sur la cartographie ZERMOS el bilan des expériences en cours.** Bulletin Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (2), pp. 9-20.
- ARNOULD, M. (1976). **Geological hazards – insurance and legal and technical aspects.** Bulletin of the International Association of Engineering Geology (14), pp. 263-274.
- ARQUIVO DO ESTADO (2001). **Memória Urbana: a Grande São Paulo até 1940.** São Paulo: Imprensa oficial & EMPLASA.
- AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S.; AMENOMORI, C. J. (1990). **Riscos geológicos: aspectos conceituais.** In: 1º Simpósio Latino-Americano sobre risco geológico urbano, 1990, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1990, p.334-341.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992). **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** In: 1ª. Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (COBRAE). Rio de Janeiro. p. 721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. (1994). **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela (SP).** Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 168 p.
- AUGUSTO FILHO, O. (1995). **Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle.** In: Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente, 5, São Paulo: ABGE/IPT – Digeo, pp. 96-125.
- AUGUSTO FILHO, O. & VIRGÍLI, J.C. (1998). **Estabilidade de taludes.** In: OLIVEIRA, A.M. dos S. & BRITO, S.N.A. de. (org). *Geologia de Engenharia.* São Paulo: ABGE-CNPq-FAPESP. p.243-269.
- AYALA, I.A. (2002). **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries.** *Geomorphology* (47). p. 107-124.
- BAUM; R. L.; SAVAGE, W. Z.; GODT, J. W. (2002). **TRIGRS: A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis.** USGS. Colorado. 35 p.
- BERGER, A. R. (1988). **Environmental change, geoindicators, and the autonomy of nature.** *GSA Today*, v. 8, jan., p.3-8.
- BERTRAND, G. (1971). **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico.** *Revista IGEO-USP. Caderno Ciências da Terra*, 13. São Paulo: IGEO/USP, p. 1-27.
- BEVEN, K. J. & KIRKBY, M. J. (1979). **A physically based, variable contributing area model of basin hydrology.** *Bulletin of Hydrological Sciences*, v.24, n.1. p. 43-69.

- BRAND, E.W. (1988). **Landslide risk assessment in Hong Kong**. Proce. 5th Intern. Sympo. On Landslides. A.A. Balkema, Lausanne, pp. 1059-1074.
- BRUNSDEN, D. & PRIOR, D.B. (1984). **Slope Instability**. John Wiley, Chichester, 620 pp.
- CABRAL, E. (1994). **Eventos pluviais concentrados sobre a grande São Paulo ocorridos em 1991: seus reflexos na vida urbana**. Sitienbus: Revista da Universidade Estadual de Feira de Santana, ano 1, n.12, p 31-54.
- CALCATERRA, D., DE RISO, R., DI MARTIRE, D. (2004). **Assessing shallow debris slide hazard in the Agnano Plain (Naples, Italy) using SINMAP, a physically based slope stability model**. Proc. 9th Intern. Symp. On Landslides. Taylor & Francis Group, Rio de Janeiro, pp. 177-183.
- CAMPBELL, R.H., BERNKNOPF, R.L., SOLLER, D.R. (1999). **Mapping time-dependent changes in soil-slip-debris-flow probability**. U.S. Geological Survey Open-File Report in press.
- CANIL, K. (2000). **Processos Erosivos e Planejamento Urbano: Carta de Risco de Erosão das Áreas Urbana e Periurbana do Município de Franca, SP**. São Paulo, 96 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- CANIL, K.; MACEDO, E. S.; GRAMANI, M. F.; ALMEIDA FILHO, G. S.; YOSHIKAWA, N. K.; MIRANDOLA, F. A.; VIEIRA, B. C.; BAIDA, L. A.; AUGUSTO FILHO; O.; SHINOHARA, E. J. (2004). **Mapeamento de risco em assentamentos precários nas zonas sul e parte oeste no município de São Paulo**. In: 5^o Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos. Anais do 5^o Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos.
- CANIL, K. (2006). **Indicadores para monitoramento de processos morfodinâmicos: aplicação na Bacia do Ribeirão Pirajuçara, RMSP (SP)**. São Paulo, 169 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- CANHOLI, A. P. (2005). **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos. p. 257-271.
- CANTÓN, Y.; DEL BARRIO, G.; SOLÉ-BENET, A.; LARAZO, R. (2004). **Topographic controls on the spatial distribution of ground cover in the Tabernas badlands of SE Spain**. Catena, 55, p. 341-365.

- CARRARA, A. M.; CARDINALI, M.; GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P. (1995). **GIS technology in mapping landslide hazard**. Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. In: CARRARA, A. & GUZZETTI, F. (Eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 135-175.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (2007). **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades & Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 176 p.
- CASADEI, M.; DIETRICH, W.E.; MILLER, N.L. (2003). **Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes**. Earth Surface Processes and Landforms (28), pp. 925-950.
- CASSETI, V. (1991). **Ambiente e Apropriação do relevo**. São Paulo: Ed. Contexto. 146 p.
- CASTRO, A. L. C. de. (1998). **Glossário de Defesa Civil: Estudos de riscos e medicina de desastres**. 2 ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento/Departamento de Defesa Civil. 173p.
- CASTRO, C.M., MELLO, E.V., PEIXOTO, M.N. (2002). **Tipologia de processos erosivos canalizados e escorregamentos – proposta para avaliação de riscos geomorfológicos urbanos em Barra Mansa (RJ)**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Volume 25, 14 p.
- CERRI, L. E. S. (1993). **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes**. 197 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CERRI, L. E. S. & AMARAL, C. P. (1998). **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S. & BRITO, S. N. A. de. (org). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE-CNPq- FAPESP. p. 301-310.
- CERRI, L. E. S.; NOGUEIRA, F. R.; CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; AUGUSTO FILHO, O. (2007). **Mapeamento de risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP)**. Revista de Geociências da UNESP (26). n. 2. p. 143-150.
- CERVI, F., BERTI, M., BORGATTI, L., RONCHETTI, F., MANENTI, F., CORSINI, A. (2010). **Comparing predictive capability of statistical and deterministic methods for landslide susceptibility mapping: a case study in the northern Apennines (Reggio Emilia Province, Italy)**. Landslides, Online First. doi: 10.1007/s10346-010-0207-y.

- CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS (CGE, 2010). **Janeiro de 2011 é o mês mais chuvoso**. Disponível em: <http://noticias.terra.com.br/brasil/noticias/0,,OI4238464-EI8139,00.html>. Último acesso em: 01/02/2011.
- CHORLEY, R. J. (1969). **Water, earth and man**. London: Methuen & Co Ltd, 558 p.
- CHORLEY, R. J. (1971). **A Geomorfologia e a teoria dos Sistemas Gerais**. Nota. Geomorfologia, Campinas, 11 (21): jun. p. 3-22.
- CHORLEY, R. J. (1975). **Modelos em geomorfologia**. In CHORLEY, R. J.; HAGGET, P. Modelos físicos e de informação em Geografia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; São Paulo: Edusp, 60 p.
- CHORLEY, R. J. & HAGGETT, P. (1967). **Models in Geography**. London: Methuen.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1999). **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, p. 3-42.
- CLAESSENS, L., HEUVELINK, G.B.M., SCHOORL, J.M., VELDKAMP, A. (2005). **DEM resolutions effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modeling**. Earth Surface Processes and Landforms (30). p. 461-477.
- COLÂNGELO, A. C. (1995). **Os mecanismos de compensação e o equilíbrio de forças na dinâmica dos materiais de vertente**. Revista do Departamento de Geografia, USP, 9, p. 13-20.
- COOKE, R. U. (1976). **Urban Geomorphology**. The Geographical Journal, v. 142. 336 p.
- CORRÊA, R. L (2004). **O espaço urbano**. São Paulo: Ática. p. 23-30.
- CROZIER, M. J. (1986). **Landslides: causes, consequences and environment**. New Zeland. Capítulo 2. Classification of slope movements. p.02- 31.
- CUNHA, M. A. (1991). **Ocupação de Encostas**. São Paulo: IPT. 234 p.
- D'AMATO AVANZI, G, GIANNECCHINI, R., PUCCINELLI, A. (2004). **The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperature climate environment: the june 1996 event in northwestern Tuscany (Italy)**. Engineering Geology (73), pp. 215-228.
- DÉLI, F.R. (2005). **O povoamento e a circulação no vale do Aricanduva, da colonização ao início da urbanização: momentos da fragmentação do espaço numa porção da zona leste paulistana**. Revista GEOUSP (18), pp. 81-103.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE, 1972). **Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo**. Período 1941-1970. 84 p.

- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE, 1998). **Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê –Análise Geológica e Caracterização dos Solos da Bacia do Alto Tietê para Avaliação do Coeficiente de Escoamento Superficial** (Relatório PDAT1-GL-RT-037 – Dezembro/1998 – Rev. 0).
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE, 1999). **Plano diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – Bacia do Rio Aricanduva: diagnóstico geral e ações recomendadas.** (Relatório PDAT1 – HI – RT – 159 – Dezembro/1999 – Rev. 0).
- DHAKAL, A.S. & SIDLE, R.C. (2003). **Long-term modelling of landslides for different forest managment pratices.** Earth Surface and Landforms (28), pp. 853-868.
- DIETRICH, W. E. & DUNNE, T. (1978). **Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain.** 29: 191-206.
- DIETRICH, W. E., WILSON, C. J; RENEAU, S. L. (1986). **Hollows, colluvion and lanslides in soil-mantled landscapes.** In m. Abraha, A.D and A. a. Unwin (eds), Winchester, pp. 361-388.
- DIETRICH, W. E.; WILSON, C. T.; MONTGOMERY, D. R.; MCKEAN, J.; BAUER, R. (1992). **Erosion thresholds and land surface morphology.** Geology (20). p. 675-679.
- DIETRICH, W.E., WILSON, C.J., MONTGOMERY, D.R., MCKEAN, J. (1993). **Analysis of erosion thresholds, channel networks and landscape morphology using a digital terrain model.** Journal of Geology (101), 259-278.
- DIETRICH, W. E., REISS, R.; HSU, M. L.; MONTGOMERY, D.R. (1995). **A Process-Base Model for Colluvium Soil Depth and Shallow Landsliding Using Digital Elevation Data.** Hydrol. Process., 9: 383-400.
- DIETRICH, W. E. & MONTGOMERY, D. R. (1998). **SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential.** NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement). 29 p.
- DIETRICH, W.E., ASUA, R.R., ORR, J.C.B., TRSO, M. (1998). **A validation study of the shallow slope stability model, SHALSTAB, in the forest lands of Northern California.** Stillwater Ecosystem, Watershed & Riverine Sciences 2532. Durante Avenue, Suite, 201. Berkeley, CA 94704, 59 pp.
- DINIZ, N.C. (1998). **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental.** Tese (Doutorado) – Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- DREW, D. (1989). **Processos interativos homem – meio ambiente**. Trad. J. A. dos Santos. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 206 p.
- EINSTEIN, H.H. (1988). **Landslide risk assessment procedure**. Proc. 5th Intern. Symp. On Landslides. A.A. Balkema, Lausanne, pp. 1075-1090.
- EINSTEIN, H.H. (1997). **Landslide risk-systematic approaches to assessment and management**. In: CRUDEN, D. & FELL, R. (Eds), Landslide risk assessment. A.A. Balkema, Rotterdam, pp.-25-49.
- EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO (EMPLASA, 1980). **Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo**. Escala 1: 100.000.
- EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO (EMPLASA, 1999). **Carta de Uso e Ocupação do Solo da Região Metropolitana de São Paulo**. Baseada nos levantamentos aerofotogramétricos de 1986-1989 e 1993-1994. Escala: 1:25.000.
- FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W.Z. (2008). **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning**. Engineering Geology 102: 85–98.
- FERNANDES, N.F., COELHO NETTO, A.L., LACERDA, W.A. (1994). **Subsurface Hydrology of Layered Colluvium Mantles in Unchannelled Valleys – Southeastern Brazil**. Earth Surface Processes and Landforms (19), pp. 609-626.
- FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. (1996). **Movimentos de massa: uma abordagem Geológico-Geomorfológica**. In: CUNHA, A. J. T. G. S. B.. Rio de Janeiro: Geomorfologia e Meio Ambiente. P. 123-194.
- FERNANDES, N.F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. (2001). **Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Número 1. p. 51-71.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARAES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H (2004). **Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling**. CATENA, v.55, n.2. p. 163-181.
- FORNASARI, F.N. (1992). **Alterações do meio físico decorrentes de obras de engenharia**. IPT. Publicação, Boletim 61. 161 p.
- FUJIMOTO, N.S.V.M. (2005). **Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana**. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo: FFLCH/USP. n. 16. p. 76-80.

- GAO, J. (1993). **Identification of Topographic Settings Conductive to Landsliding from Nelson County, Virginia, U.S.A.** Earth Surface Processes and Landforms: 579-591p.
- GERASIMOV, T. P. (1980). **Theoretical and methodological problems of studying anthropogenic impacts in natural ecosystems.** In: Symposium of the commission on environmental problems. (Study and control of anthropogenic transformation of natural ecosystems) 1979, Moscou, URSS, Proceedings. Moscou: UGI – Unesco, MAB, 1960.
- GOMES, R.A.T. (2006). **Modelagem de previsão de movimentos de massa a partir da combinação de modelos de escorregamentos e corridas de massa.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 102 p.
- GONÇALVES, F. M. & BARROS, M. T. L. **Meteorological radar and flood forecasting.** In: XXXI Conference on Radar Meteorology. Annals of XXXI Conference on Radar Meteorology. Seattle. United States of America. p. 1-5. 2003.
- GRAMANI, M. F. & KANJI, M. A. (2000). **Debris flows in Brazil: geological setting and parameters.** In: International Geological Congress. Boletim de resumos. Rio de Janeiro: 31.
- GREGORY, K. J. (1992). **A Natureza da Geografia Física.** (Tradução de Eduardo Almeida Navarro). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 367 p.
- GREENWAY, D.R. (1987). **Vegetation and slope stability.** In: ANDERSON, M.G.; RICHARDS, K.S. Slope Stability. John Wiley & Sons Ltd, pp. 187-229.
- GRIGORYEV, A. A. (1968). **The Theoretical fundamentals of modern physical geography.** The interaction of sciences in the study of the Earth. Moscou.
- GUIDICINI, G & NIEBLE, C.M. (1984). **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** São Paulo: Edgard Blücher. 196p.
- GUIMARÃES, R. F.; VIEIRA, B. C; GOMES, R. A. T; FERNANDES, N. F. (1998). **Avaliação Estatística de Parâmetros Fito-Morfológicos nas Cicatrizes dos Movimentos de Massa da Bacia do Rio Quitite, Jacarepaguá (RJ).** In XL Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte/MG: 417.
- GUIMARÃES, R. F. (2000). **Utilização de um Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos Rasos com Controle Topográfico: Adequação e Calibração em Duas Bacias de Drenagem.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 150 p.
- GUIMARÃES, R.F., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. M., FERNANDES, N.F., GOMES, R. A.T., CARVALHO JÚNIOR, O.A. (2003). **Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro.** Engineering Geology (69). p. 99-108.

- GUZZETI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. (1999). **Landslides hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy.** Geomorphology (31). p. 181-216.
- HACK, J. T. (1960). **Interpretation of erosional topography in humid temperate regions.** American Journal of Science. Bradley. V. 258. p. 80-97.
- HARTLÉN, J. & VIBERG, L. (1998). **Evaluation of landslide hazard.** Proc. 5th Intern. Symp. On Landslides. A.A. Balkema, Lausanne, pp. 1038-1057.
- HUMBERT, M. (1977). **La cartographie ZERMOS.** Modalités d'établissement des cartes des zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol. Bulletin Bureau de Recherches Géologiques et Minières (2), PP. 5-8.
- INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS (IAG, 2010). **Em 20 dias, estação da USP registra recorde de chuva em janeiro.** Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u686793.shtml>. Último acesso em: 08/08/2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE, 2005). **Síntese da contextualização da questão habitacional no país: censo demográfico 1991 e 2000.** Boletim do Censo. Relatório Técnico.
- INFANTI, N. J. & FORNASARI, N. F. (1998). **Processos de Dinâmica Superficial.** In: OLIVEIRA, A. M. dos S. & BRITO, S. N. A. de. (org). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE-CNPq- FAPESP. p. 131-152.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT, 1984). **Carta Geotécnica da Grande São Paulo.** Subsídios geotécnicos para o planejamento urbano. São Paulo, IPT (Relatório IPT n.º 19.817).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT, 1988). **Estudo das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno de corrida de lama e da prevenção dos seus efeitos.** Relatório IPT, São Paulo.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT, 1997). **Mapa de localização das áreas de risco de enchentes e escorregamentos nas bacias do Alto Tietê e Baixada Santista.** São Paulo, IPT (Relatório IPT n.º 36.040/97).

- INTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT, 2005). **Produção de sedimentos e ocorrências de inundações na bacia do Rio Aricanduva, município de São Paulo.** In: XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Florianópolis. Anais do XII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. p. 1-11.
- INTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT, 2007). **Análise de riscos geológicos e geotécnicos dos bairros cota 95/100, 200 e 400 no município de Cubatão.** São Paulo, IPT. (Relatório Técnico n.º 97765-205).
- INVERSON, R. M. (2000). **Landslide triggering by rain infiltration.** Water Resources Research (36). p. 1897-1910.
- IUGS (INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES, 1997). **Quantitative risk assessment for slopes and landslides – the state of the art.** In: CRUDEN, D. & FELL, R. (Eds.), Landslide risk assessment. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 3-14.
- JIBSON, R.W., HARP, E.L., MICHAEL, J.A. (1998). **A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard: an example from the Los Angeles, California, Area: U.S.** Geological Survey Open-File.
- JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO (2010). **Estado de SP tem 18 mil casas em áreas de risco.** Disponível em: <http://noticias.br.msn.com/brasil/artigo.aspx?cp-documentid>. Último acesso em: 10/05/2010.
- JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO (2011). **SP tem 420 áreas de risco.** Disponível em: http://www.vermelho.org.br/sp/noticia.php?id_secao=39&id_noticia=143433. Último acesso em: 01/02/2011.
- KORUP, O., DENSMORE, A.L., SCHLUNEGGER, F. (2010). **The role of landslides in mountain range evolution.** Geomorphology (120), pp. 77-90.
- KOWARICK, L. (1979). **A Espoliação Urbana.** Rio de Janeiro: Paz e Terra. p. 29-53.
- KURIAKOSE, S. L.; VAN BEEK, L. P. H; VAN WESTEN C. J. (2009). **Parameterizing a physically based shallow landslide model in a data poor region.** Earth Surface Processes and Landforms 34, 867–881.
- KRUMBEIN, W.C. & GRAYBILL, F. A. (1965). **An introduction to Statistical Models in Geology.** New York: McGraw Hill.
- LOPES, E. S. S. (2006). **Modelagem Espacial Dinâmica Aplicada ao Estudo de Movimentos de Massa em uma Região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.000.** Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 302p.

- MACEDO, E. S.; ALBERTO, M. C.; SALLES, E. R. (1999). **Informatização do cadastramento de acidentes de escorregamentos com vítimas fatais ocorridos no Brasil no período de 1988 a 1999**. In: 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia (CBGE). CD-ROM, São Pedro (SP).
- MACEDO, E. S. (2001). **Elaboração de cadastro de risco iminente relacionado a escorregamentos: avaliação considerando experiência profissional, formação acadêmica e subjetividade**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 275 p.
- MACEDO, E. S.; OGURA, A. T.; CANIL, K.; ALMEIDA FILHO, G. S.; GRAMANI, M. F.; SILVA, F. C.; CORSI, A. C.; MIRANDOLA, F. A. (2004). **Modelos de fichas descritivas para áreas de risco de escorregamento, inundação e erosão**. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., Florianópolis: GEDN/UFSC, p. 892-907. (CD-ROM).
- MEYER, R.M.P; GROSTEIN, M.D.; BIDERMAN, C. (2004). **São Paulo Metrópole**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo / Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. Pesquisa desenvolvida no Laboratório de Urbanismo da Metrópole da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo no âmbito do CEPID – FAPESP / Centro de Estudos da Metrópole (CEM) / LUME-FAU-USP. 269 p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES & INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (2004). **Manual de treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações**. CPRM\SGB: Rio de Janeiro, 90 p.
- MIRANDOLA, F. A. (2008). **Carta de risco de escorregamento em ambiente tecnogênico: o caso da favela Real Parque, São Paulo**. Dissertação (Mestrado) em Tecnologia Ambiental. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 217 p.
- MORGENSTERN, N. R. & SANGREY, D. A. (1978). **Methods of Stability Analysis**. In: SCHURTER, R.L. & KRIZEK, R.J. (Eds.). *Landslides: Analysis and Controls*. Washington, D.C. NAS-NRC. p. 155-171.
- MORRISEY, M.M., WIECZORECK, G.F., MORGAN, B.A. (2001). **A comparative analysis of hazard models for predicting debris flows in Madison Country, Virginia, USGS**. Open-File Report 01-0067.
- MONTGOMERY, D. R.; WRINGHT, R. H; BOOTH, T. (1991). **Debris Flows Hazard Mitigation for Colluvium-Filled Swales**. Bulletin of the Association of Engineering Geologists XXVIII: 303-323.

- MONTGOMERY, D.R. & DIETRICH, W.E. (1994). **A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding**. Water Resources Research (30). p. 1153-1171.
- NAKAZAWA, V.A. (1994). **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo: escala 1:500.000**. São Paulo: IPT. Publicação 2089. 22 p.
- NIR, D. (1983). **Man, a geomorphological agent**. Jerusalem, Israel: Keter Publishing House. 165 p.
- OGURA, A. T.; SILVA, F. C.; VIEIRA, A. J. N. L. (2004). **Zoneamento de risco de escorregamento das encostas ocupadas por vilas operárias como subsídio à elaboração do plano de gerenciamento de áreas de risco da estância climática de Campos do Jordão – SP**. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1. Florianópolis. Anais...Florianópolis: GEDN\UFSC. P. 44-58. (CD-ROM).
- O'LOUGHLIN, E. M. (1986). **Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis**. Water Resources Research, 22(5): 794-804.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU, 2005). **Living with risk. A global review of disaster reduction initiatives**. Inter – Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra, Suíça. Disponível em www.unisdr.org. Último acesso em 03/02/2010.
- OSTROWSKY, M. S. B. & ZMITROWICZ, W. (1991). **Urbanização e controle de enchentes: o caso de São Paulo: seus conflitos e inter-relações**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. 16p.
- PACK, R. T.; TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N. (1998). **SINMAP – a stability index approach to terrain stability hazard mapping**. User's manual. Terratech Consulting Ltd. Salmon Arm, B. C. Canada. 68 p.
- PACK, R.T., TARBOTON, D.G., GOODWIN, C.N. (2001). **Assessing Terrain stability in a GIS using SINMAP**. Proc. 15th annual conference GIS. British Columbia, Vancouver, pp. 56-68.
- PANIZZI, W. M. (1990). **Da Legalidade para a Ilegalidade: a formação de microterritórios urbanos**. In: OLIVEIRA, N.; BARCELLOS, T. O Rio Grande do Sul urbano. Porto Alegre: FEE, 1990, p. 190-213.
- PELOGGIA, A. (1998). **O Homem e o Ambiente Geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo**. São Paulo, Xamã. 271 p.

- PEREIRA FILHO, A. J.; HALLAK, R.; VEMADO, F.; ROCHA, K. (2009). **Impactos da urbanização nas chuvas de verão**. Pesquisa do Laboratório de Hidrometeorologia – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – USP/CNPq/FAPESP.
- PIKE, R.J. (2000). **Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis**. In: Progress in Physical Geography, vol.24, n.1. SAGE Publications. pp.1-20.
- PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCOS (PMRR, 2004). **Programa urbanização, regularização e integração de assentamentos precários**. Prefeitura do município de Guarulhos (SP). Relatório Final. Disponível em: <http://www.scribd.com/doc/6911530/Plano-Municipal-de-Reducao-de-Riscos-relatorio-final>. Último acesso em: 28/10/2010.
- PRANDINI, F.L. (1995). **Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais**. In: Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo:ABGE/IPT-Digeo, 247 p.
- RAFAELLI, S.G., MONTGOMERY, D.R., GREENBERG, H.M. (2001). **A comparison of thematic of erosional intensity to GIS-driven process models in an Andean drainage basin**. Journal of Hydrology (244). p. 33-42.
- RAMOS, V.M., GUIMARÃES, R.F., REDIVO, A.L., GOMES, R.A.T., FERNANDES, N.F., CARVALHO FILHO, O.A. (2002). **Aplicação do modelo SHALSTAB em ambiente arcview para o mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos rasos na região do Quadrilátero Ferrífero-MG**. Espaço e Geografia (5), 49-57.
- RAMOS, V.M., GUIMARÃES, R.F., REDIVO, A.L., CARVALHO JUNIOR, O.A., FERNANDES, F.N., GOMES, R.A.T. (2003). **Avaliação de Metodologias de Determinação do Cálculo de Áreas de Contribuição**. Revista Brasileira de Geomorfologia (2), pp. 41-49.
- RECKIEGEL, B. W. & ROBAINA, L. E. de S. (2005). **Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual**. Revista Ciência e Natura, UFSM, Número 27. v. 2. p. 65-83.
- REDIVO, A.L., RAMOS, V.M., GUIMARÃES, R.F., JÚNIOR, O.A.D.C., GOMES, R.A.T. (2004). **Determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na BR 256 no município de Ouro Preto-MG**. Ciência e Natura (26), 31-46.
- REMONDO, J., BONACHEA, J., CENDRERO, A. (2008). **Quantitative Landslide risk assessment and Mapping on the basis of recent occurrences**. Geomorphology (94), pp. 496-507.

- RENEAU, S.L., DIETRICH, W.E., WILSON, C.J., ROGER, D. (1984). **Colluvial deposits and associated landslide on the northern San Francisco Bay area, California, USA.** In: IV International Symposium on Landslides, Toronto, Canada, pp. 425-430.
- RENEAU, S. L. & DIETRICH, W.E. (1987). **Size and Location of colluvial landslides in a steep forested landscape.** Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim (IAHS Publication) (165). p. 39-47.
- RODRIGUES, A. M. (1997). **Moradia nas Cidades Brasileiras.** 7 ed. São Paulo: Contexto. p. 1-72.
- RODRIGUES, C. (2005). **Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista.** Revista do Departamento de Geografia n. 17. São Paulo, FFLCH, p. 101-111.
- RODRIGUES, V.L. & AUGUSTO FILHO, O. (2009). **Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú (SP).** Revista Brasileira de Geociências 39 (1), pp. 01-15.
- ROSS, J.L.S. (1992). **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo.** In: Revista do Departamento de Geografia 6. São Paulo FFLCH/USP, p. 17-29.
- ROSS, J.L.S. (1993). **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** Revista do Departamento de Geografia. Número 8. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, FFLCH – USP, p. 63-74.
- ROSS, J.L.S. & MORROZ. I. (1997). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Escala 1:500.000. São Paulo: FFLCH-USP/IPT/FAPESP. 2 v. mapa.
- SANTINI, M., GRIMALDI, S., NARDI, F., PETROSELLI, A., RULLI, M.C. (2009). **Pre-processing algorithms and landslide modelling on remotely sensed DEMs.** Geomorphology (113), pp. 110-125.
- SANTOS, M. (1993). **A urbanização brasileira.** São Paulo: HUCETEC. 157 p.
- SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE & INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SVMA& IPT, 2004). **Geocidade de São Paulo: panorama do meio ambiente urbano.** São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo/ SVMA; Brasília: PNUMA, 204 p.

- SECRETARIA DE HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO DE SÃO PAULO (1999). **Mapa da exclusão social**. In: Prefeitura do Município de São Paulo – Secretaria do Verde e do Meio Ambiente. Agenda 21 local. Compromisso do Município de São Paulo. PMSP. 165 p.
- SELBY, M. J. (1993). **Hillslope: materials & processes**. New York. Publisher: Oxford University Press. USA. 2 editions. 480 p.
- SIDLE, R. C.; PEARCE, A. J.; O'LOUGHLIN, C. L. (1985). **Hillslope stability and land use**. American Geophysical Union. Washington, D. C. Capítulo 01. p. 1-9.
- SIDLE, R. C. & OCHIAI, H. (2006). **Landslides: Processes, Prediction and Land use**. Washington, D.C.
- SILVA, J. F. & RODRIGUES, S. C. (2004). **Síntese ambiental e evolução do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego do Salto, Uberlândia (MG)**. Revista Caminhos de Geografia 6 (12). p. 114-127.
- SILVA, F. B.; BALLESTERO, D. S.; MOLINA, C. V. C. (2007). **APA Cabeceiras do Aricanduva: Utopia ou realidade?** In: Revista Espaço e Movimento, número 3. Universidade Cruzeiro do Sul – São Paulo. p. 51-55.
- SOUZA PINTO, C.; GOBARA, W.; PERES, J. E. E.; NADER, J. J. (1993). **Propriedades dos solos residuais**. In: CINTRA, J. C. & ALBIERO, J. H. (org). Solos do interior de São Paulo. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos – Núcleo Regional de São Paulo – ABMS & Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos – USP. p. 97-144.
- TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S; ROCHA, M.C.M. (1987). **Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão**. In: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE.
- TAKIYA, H; SEPE, P. M.; FATIGATI, F. L.; JACINTHO, L. R. C.; PRADO, O.; GARCIA; R. J. F.; FRIES, B. G. (2002). **Atlas Ambiental do Município de São Paulo**. Disponível em: <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/>. Último acesso em: 20\10\2009.
- TERLIEN, M T. J.; ASCH, T. W. J.; VAN WESTEN, C. J. (1995). **Deterministic modeling in GIS-Based landslide hazard assessment**. In: CARRARA, A. & GUZZETTI, F. (Eds.): Geographical information system in assessing hazards. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 57-78.

- TERZAGUI, K. (1967). **Mecanismos dos escorregamentos de terra.** Publicado pela Revista da Escola Politécnica da USP. 41 p.
- TOY, T. J. & HADLEY, R. F. (1987). **Geomorphology and reclamation of disturbed lands.** Orlando, Flórida: Academic Press Inc. 480 p.
- TRICART, J. (1977). **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN. p. 18-33.
- VAN WESTEN, C. J. (1993). **Application of Geographic Information System to Landslide Hazard Zonation.** ITC Publication. Enschede. The Netherlands. 245 p.
- VAN WESTEN, C.J., RENGERS, N., SOETERS, R. (2003). **Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment.** Natural Hazards (30), pp. 399-419.
- VAN WESTEN, C. J. (2004). **Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent development in landslides: evaluation and stabilization.** Taylor & Francis Group. Rio de Janeiro. p. 39-53.
- VAN WESTEN, C.J., VAN ASCH, T.W.J., SOETERS, R. (2006). **Landslides hazard and risk zonation: why is it still so difficult?** Bulletin Engineering Geology Environmental (65), pp. 167-184.
- VARNES, D.J. & INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY COMMISSION ON LANDSLIDES AND OTHER MASS MOVEMENTS ON SLOPES (1985). **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice.** UNESCO, Paris, 63 p.
- VÉRON, J. (2007). **La moitié de la population mondiale vit en ville.** Institut National D'études Démographiques –INED, França. Population & Sociétés n. 435, jun. p. 1-4.
- VEYRET, Y (2007). **Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo: Contexto. 319p.
- VIEIRA, B. C. (2007). **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 193p.
- WIJCKMAN, A. & TIMBERLAKE, L. (1985). **Desastres naturales. ¿Fuerza mayor u obra del hombre?** Desastres naturales: Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo, Washington, D.C., 179 pp.
- WILSON, R.C. & JAIKO, A.S. (1997). **Preliminary maps showing rainfall thresholds for debris-flow activity, San Francisco Bay Region, CA: U.S. Geological Survey Open-File Report.**

- WOLLE, C.M. & CARVALHO, C.S. (1989). **Deslizamentos em encostas da Serra do Mar-Brasil**. Revista Solos e Rochas (12). São Paulo: ABGE, pp.27-36.
- WP/WLI (WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY, 1990). **A suggested method for reporting a landslide**. Bulletin of the International Association of Engineering Geology (41), pp. 5-12.
- WU, W. & SIDLE R. C. (1995). **A distributed slope stability model for steep forested basins**. Water Resources Research 31: 2097-2110.
- XAVIER DA SILVA, J.; GOES, M. H. B.; FERREIRA, A. L.; BERGAMO, R. B. A. A.; LERVOLINO, P.; ROCHA, E. N.; PACHECO, E. A.; SILVEIRA, R. S.; MACHADO, R. D.; COSTA, W. P. (1996). **Estimativa de riscos de deslizamento/desmoronamento no Maciço do Tinguá e arredores**. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador – Bahia. Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador – Bahia. p. 273-276.
- ZAIDAN, R. T. (2006). **Risco de escorregamentos numa bacia de drenagem urbana no Município de Juiz de Fora – MG**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 100p.
- ZAIDAN, R.T. & FERNANDES, N.F. (2009). **Zoneamento de suscetibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego da Independência – Juiz de Fora (MG)**. Revista Brasileira de Geomorfologia (10), pp. 57-76.
- ZARUBA, Q & MENCIL, V. (1976). **Landslides and their control**. Amsterdam: Elsevier. 205 p.
- ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N.; PEJON, O. J. (1990). **O mapeamento geotécnico na prevenção de riscos geológicos em áreas urbanas**. In: 1º SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1990, São Paulo. Anais...São Paulo: ABGE, 1990, p.305-315.
- ZUQUETTE, L.V. (1993). **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamento e guia para elaboração**. São Carlos. 2v. Tese (Livre-Docência em Geotecnia). Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 368 p.
- ZUQUETTE, L.V. & NAKAZAWA, V.A. (1998). **Cartas de geologia de engenharia**. In: OLIVEIRA & BRITO (Eds.). Geologia de engenharia. São Paulo. p. 283-300. (ABGE).