

**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico – CTC
Departamento de Engenharia Civil - ECV
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC**

Gabriel Muniz de Araujo Lima

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS POR
CRITÉRIOS TOPOGRÁFICOS
UM ESTUDO NO ALTO DA BACIA DO RIBEIRÃO BELCHIOR,
GASPAR – SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de concentração Cadastro e Gestão Territorial, do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários a obtenção do grau acadêmico de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lia Caetano Bastos.

Florianópolis, 2013

Ficha de identificação da obra

Lima, Gabriel Muniz de Araujo
Análise da Suscetibilidade a Deslizamentos por Critérios Topográficos, um Estudo no Alto da Bacia do Ribeirão Belchior, Gaspar SC / Gabriel Muniz de Araujo Lima ; orientadora, Lia Caetano Bastos - Florianópolis, SC, 2013.
114 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Deslizamentos translacionais. 3. Suscetibilidade a deslizamentos. 4. Sistema de informação geográfica. 5. Modelo probabilístico. I. Bastos, Lia Caetano . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Gabriel Muniz de Araujo Lima

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS POR
CRITÉRIOS TOPOGRÁFICOS
UM ESTUDO NO ALTO DA BACIA DO RIBEIRÃO BELCHIOR,
GASPAR – SC**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 1 de Abril de 2013.

Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Lia Caetano Bastos
Orientadora
Universidade UFSC

Prof. Dr. Irani dos Santos
Universidade UFPR

Prof. Dr. Antônio Edésio Jungles
Universidade UFSC

Prof. Dr. Joel Robert Georges Marcel Pellerin
Universidade UFSC

RESUMO

Em novembro de 2008 Santa Catarina foi palco de mais uma catástrofe, um evento pluvial intenso desencadeou inundações e movimentos de massa, atingindo diversos municípios. A mesorregião do Vale do Itajaí foi a mais atingida. As geotecnologias vêm se desenvolvendo e ampliando suas áreas de atuação e a mais de vinte anos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos e aplicados em mapeamentos de deslizamentos (CHI *et al.* 2002). Este estudo aplicou o modelo probabilístico proposto por Chung e Fabbri (1999) para mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa. Com a utilização de um SIG para o processamento de informação cartográfica indireta em um modelo matemático, analisaram-se quais variáveis tem maior ou menor probabilidade de promover a suscetibilidade a deslizamentos na área em estudo e foi elaborado o mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior. Realizou-se também um inventário de deslizamentos translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior, complementando o inventário realizado por Bauzys (2010). O modelo aplicado revelou um grande potencial para a análise da suscetibilidade a deslizamentos, porém, não obteve com as variáveis utilizadas um ótimo resultado. De acordo com a taxa de predição com 10% e 30% da área de maior suscetibilidade foram preditos aproximadamente 20% e 40% dos deslizamentos, respectivamente.

Palavras-chave: Deslizamentos translacionais, sistema de informação geográfica, modelo probabilístico.

ABSTRACT

In November 2008, Santa Catarina was affected by another catastrophe, a heavy rain event triggered floods and mass movements, affecting several municipalities. The Vale do Itajaí region was the worst hit. Geotechnology has been developing and expanding its areas of applicability. In the past twenty years mathematical models have been developed and applied in landslide mapping (CHI *et al.* 2002). This study applied a probability model proposed by Chung and Fabbri (1999) for landslide susceptibility mapping. Using GIS for processing indirect cartographic information in a mathematical model, variables were analyzed to see which had more or less likelihood to promote landslide susceptibility in the study area and the Translational Slides

Susceptibility Map by Alto da Bacia do Ribeirão Belchior was drafted. An inventory of translational landslides by Alto da Bacia do Ribeirão Belchior was also done, complementing the inventory performed by Bauzys (2010). The model applied revealed a great potential for the landslides susceptibility analysis, however, it not achieved a great result with the variables used. According to the prediction rate of 10% and 30% of the increased susceptibility area were predicted approximately 20% and 40% of the landslides, respectively.

Keywords: Translational slides, geographic information system, probability model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Movimentos de massa generalizados e corrida de detritos em Timbé do Sul.	13
Figura 2 – Classificação de movimentos de massa.	20
Figura 3 – Degrau provocado por escorregamento rotacional lento, município de Blumenau – SC.....	22
Figura 4 – Imagem ilustrativa de um escorregamento rotacional.....	25
Figura 5 – Piping na região do Alto Baú.	26
Figura 6 – Deslizamento translacional na área de estudo.	27
Figura 7 – Imagem ilustrativa de queda de blocos.	29
Figura 8 – A- Fluxo no Braço do Baú. B- Fluxo no Alto Baú.	31
Figura 9 – Fluxo de detritos induzido por um terremoto no nevado Huascarán, Peru, 1970.....	32
Figura 10 – Modelo conceitual de um sistema de informação geográfica onde podem ser vistas diversas camadas ou planos de informação.....	36
Figura 11 – Plano geral de trabalho.....	42
Figura 12 – Localização da área de estudo e da área teste.	51
Figura 13 – Imagem de satélite do dia 22/11/2008.	52
Figura 14 – Total acumulado da precipitação entre os dias 21 e 25 de novembro, no Vale do Itajaí, Santa Catarina.....	53
Figura 15– Movimentos de massa em Gaspar – SC.....	55
Figura 16 – Inventário dos deslizamentos translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior. Os polígonos preenchidos com a cor preta representam as cabeceiras dos deslizamentos translacionais (DT).....	56
Figura 17 - Declividade.....	59
Figura 18 – Forma da encosta.	59
Figura 19 – Orientação da encosta.	60
Figura 20 – Probabilidades a Priori e Probabilidades Condicionadas para a Orientação da Encosta.	62
Figura 21 – Probabilidades a Priori e Probabilidades Condicionadas para a Forma da Encosta.	62
Figura 22 – Probabilidades a Priori e Probabilidades Condicionadas para a Declividade.....	63
Figura 23 – Suscetibilidade a deslizamentos translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior com as cabeceiras dos deslizamentos sobrepostos.	66
Figura 24 - Suscetibilidade a deslizamentos translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior, com os dados classificados em ordem decrescente de suscetibilidade e com as cabeceiras dos deslizamentos sobrepostos.	67

Figura 25 – Área de deslizamentos translacionais preditos para a área de maior suscetibilidade.	68
Figura 26 - área teste com as probabilidades geradas pelos dados da área de estudo e a cabeceira dos deslizamentos translacionais utilizados para validação.	69
Figura 27 – Área de deslizamentos translacionais de teste preditos para a área de maior suscetibilidade.	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Episódios de deslizamentos mais significativos que ocorreram no território brasileiro no período de 1928-2012.	12
Quadro 2 – Proposta de classificação de movimentos de massa.	23
Quadro 3– Síntese dos tipos de mapas referentes a escorregamentos. ...	39
Quadro 4– Mapas temáticos, suas classes e fontes de informação.	45
Quadro 5– Síntese dos números do desastre nos municípios que decretaram calamidade pública.	54
Quadro 6– Características físicas dos movimentos de massa.	57
Quadro 7– Relação dos movimentos de massa com os fatores condicionantes da instabilidade.	58
Quadro 8 - <i>Scores</i> das variáveis utilizadas na construção do modelo de suscetibilidade. As variáveis com maior influência na distribuição dos movimentos estão assinaladas em negrito.	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo geral	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
1.2. JUSTIFICATIVA	14
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. PROCESSO EROSIVO: MOVIMENTOS DE MASSA	17
2.1.1. Caracterização dos Movimentos de Massa	19
2.1.1.1. Velocidade dos Movimentos	20
2.1.2. Tipos de Movimentos de Massa	22
2.1.2.1. Rastejo	23
2.1.2.4. Deslizamentos ou escorregamentos	24
2.1.2.3. Quedas	28
2.1.2.2. Fluxos ou corridas	29
2.2. ÁREAS DE RISCO DE MOVIMENTOS DE MASSA	32
2.3. GEOTECNOLOGIAS NA GESTÃO DE RISCO	35
2.4. MÉTODOS DE MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS	38
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
3.1. MÉTODO	43
3.1.1. Construção da base de dados	44
3.1.2. Modelo de avaliação da suscetibilidade: função de favorabilidade e probabilidade condicionada	46
3.1.3. Validação e Classificação dos Dados	49
4. ESTUDO DE CASO	50
4.1. ÁREA DE ESTUDO	50
4.2. O DESASTRE DE 2008	52
4.3. INVENTÁRIO DOS DESLIZAMENTOS	55
4.4. ANÁLISE DOS INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS	58
4.5. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS	65
4.5.1. Validação dos Resultados da Suscetibilidade a Deslizamentos Translacionais	67
4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	71
5.1. CONCLUSÕES	71
5.2. RECOMENDAÇÕES	72

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXO.....	81

1. INTRODUÇÃO

A temática de desastres naturais é complexa, onde se relacionam intimamente sociedade e natureza. As dinâmicas atmosféricas e tectônicas modelam continuamente a superfície ocupada pelo ser humano e este, cada vez em maiores proporções, gera impacto, causando mudanças em seu habitat. Desta relação, dos processos naturais com a presença humana, surgem os desastres¹.

Em novembro de 2008 Santa Catarina foi palco de mais uma catástrofe. Um evento pluvial intenso desencadeou inundações e movimentos de massa, atingindo diversos municípios. A mesorregião do Vale do Itajaí foi a mais atingida. Segundo relatório publicado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, 2009) uma das regiões mais afetadas por enchentes e deslizamentos foi o Complexo do Morro do Baú, situado no triângulo formado pelos municípios de Ilhota, Luiz Alves e Gaspar.

O Quadro 1 mostra os episódios de desastres naturais, envolvendo deslizamentos, mais significativos que ocorreram no território brasileiro no período de 1928 a 2012.

¹ Desastre – acontecimento calamitoso, especialmente o que ocorre de súbito e ocasionando grande dano ou prejuízo (Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, Ed Nova Fronteira, 1986).

Quadro 1 - Episódios de deslizamentos mais significativos que ocorreram no território brasileiro no período de 1928-2012.

Data	Local	Prejuízos
1928	Santos (SP)	60 mortes e destruição parcial da Santa Casa
1948	Vale do Paraíba (SP/RJ)	250 mortes e destruição de centenas de residências
1956	Santos (SP)	43 mortes e destruição de 100 residências
1956	Rio de Janeiro (RJ)	100 mortes
1967	Serra das Araras (RJ)	1.200 mortes e destruição de centenas de residências
1967	Caraguatatuba (SP)	120 mortes e destruição de 400 residências
1971	Salvador (BA)	104 mortes e milhares de desabrigados
1972	Campos do Jordão (SP)	10 mortes e destruição de 60 residências
1974	Tubarão (SC)	199 mortes e 65 mil desabrigados
1986	Lavrinhas (SP)	11 mortes
1988	Cubatão (SP)	10 mortes
1988	Petrópolis (RJ)	171 mortes e 1.100 desabrigados
1988	Rio de Janeiro (RJ)	30 mortes
1989	Salvador (BA)	100 mortes
1990	Blumenau (SC)	10 mortes
1992	Contagem (MG)	36 mortes e centenas de desabrigados
1995	Região Sul de Santa Catarina (SC)	40 mortes
2001	Petrópolis (RJ)	65 mortes e destruição de centenas de residências
2002	Angra dos Reis (RJ)	35 mortes
2008	Vale do Itajaí (SC)	135 mortes, destruição de milhares de residências e centenas de vias
2010	Angra dos Reis (RJ)	53 mortes e centenas de residências destruídas
2010	Niterói (RJ)	56 mortes
2011	Teresópolis/Friburgo (RJ)	905 mortes, milhares de residências e centenas de vias destruídas

2012	Sapucaia (RJ)	13 mortes
------	---------------	-----------

Fonte: Marcelino, 2003. (Adaptado e complementado pelo autor de 2001 a 2012, fonte: Defesa Cívil do Estado de Santa Catarina, Jornal O Globo e Uol Notícias).

De acordo com Bigarella (2003), em 1974 ocorreu o desastre com maior número de mortos das últimas quatro décadas em Santa Catarina. Durante os dias 23, 24 e 25 de março, as bacias dos rios Tubarão e Araranguá sofreram com intensas precipitações originando enchentes e deslizamentos; 199 pessoas morreram e 65 mil ficaram desabrigadas.

No dia 23 de dezembro de 1995, desmoronamentos e enchentes arrasaram 24 municípios da Região Sul de Santa Catarina. Após três horas de chuvas torrenciais, um fluxo de detritos transportando troncos, blocos e matacões, modificou completamente a paisagem (Figura 1). Este evento contabilizou 28 mil desabrigados e 40 mortos. Araranguá, Forquilha, Jacinto Machado e Timbé do Sul foram os municípios mais atingidos (PELLERIN, 1997).

Figura 1 – Movimentos de massa generalizados e corrida de detritos em Timbé do Sul.



Foto: Pellerin (1995).

Como se observa, a precipitação constitui o agente desencadeador dos deslizamentos, tendo um papel essencial na sua

frequência no território brasileiro. Os fatores do terreno explicam, assim, a forma como os deslizamentos se distribuem espacialmente.

Levando em consideração os prejuízos constantes causados pelos movimentos de massa, este estudo visa aplicar o modelo probabilístico proposto por Chung e Fabbri (1999) para mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa. A aplicação será realizada em uma área do município de Gaspar que foi assolada pelos deslizamentos de novembro de 2008.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. **Objetivo geral**

- Aplicar o modelo probabilístico proposto por Chung e Fabbri (1999) para mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa.

1.1.2. **Objetivos específicos**

- Complementar o inventário dos deslizamentos da área de estudo e elaborar o Mapa de Inventário de Deslizamentos Translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior;

- Analisar quais variáveis tem maior ou menor probabilidade de promover a suscetibilidade a deslizamentos translacionais no alto da bacia do Ribeirão Belchior;

- Elaborar o Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior utilizando o modelo probabilístico propostos por Chung e Fabbri (1999).

1.2. JUSTIFICATIVA

Os desastres naturais são ocasionados tanto pela dinâmica interna quanto pela dinâmica externa da Terra. O Brasil, apesar de não sofrer com desastres relacionados a dinâmica interna da Terra como terremotos e vulcanismo, tem sido severamente afetado por intempéries climáticas.

Informações provenientes do relatório Índice de Risco Global Climático de 2013, lançado em novembro de 2012 em Doha, no Catar, durante a Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas, afirmam

que o Brasil está entre os mais afetados por desastres climáticos no ano de 2011. De acordo com o relatório 530 mil pessoas morreram como consequência de 15 mil desastres ao redor do mundo, com perdas de 1,68 trilhão de dólares nos últimos 20 anos (ONU, 2012a)

Segundo estudo lançado pelo Banco Mundial no ano passado, os prejuízos causados pelos últimos desastres no Brasil chegaram a 15 bilhões de reais, destes, 7 bilhões foram gastos no setor de habitação. O estudo refere-se às enchentes em Santa Catarina em 2008, às chuvas em Alagoas e Pernambuco em 2010 e às inundações e deslizamentos de terra na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011 (ONU, 2012b).

Em Santa Catarina, o município de Gaspar foi fortemente afetado pelos movimentos de massa ocorridos em novembro de 2008 no leste do Estado. A população do município foi inteiramente afetada, 16 pessoas morreram, 280 ficaram feridas e 4.300 ficaram desabrigadas. Os danos estruturais também foram enormes, com 600 km de rodovias e 8.700 residências danificadas. A bacia do Ribeirão Belchior, situada integralmente dentro do município, foi profundamente atingidas por deslizamentos.

Herrmann *et al.* (2006) salienta que os eventos catastróficos de inundações, deslizamentos e secas sofrem influência tanto das mudanças climáticas globais como da pressão antrópica sobre os recursos naturais. A mesma autora ressalta que é necessário concentrar esforços no sentido de minimizar seus efeitos adversos e procurar respeitar cada vez mais os limites de uso do solo impostos pela natureza.

Traçando um paralelo entre a ocupação das encostas e o planejamento, Castro (2003) profere que:

A ocupação das encostas é possível, desde que realizada de forma racional e de acordo com parâmetros técnicos adequados e bem definidos. (CASTRO, 2003, p.116)

Contudo, é consenso que a ação mais eficaz para minimizar os efeitos nocivos da movimentação de material das encostas é um planejamento do uso da terra que respeite as características intrínsecas do ambiente. Através de políticas de planejamento, as áreas ocupadas e susceptíveis a sofrer dispersão de massa podem ser classificadas como áreas de risco, podendo ser orientadas para um uso compatível com tal característica.

Por outro lado, os órgãos públicos responsáveis pelo ordenamento do espaço carecem de base científica para tornar o

ambiente ocupado, seja ele urbano ou rural, menos vulnerável a riscos geoambientais.

O mapa de suscetibilidade, ao indicar a potencialidade de ocorrência de movimentos de massa, torna-se assim, imprescindível em medidas de planejamento. Uma área que dispõe de um mapa de suscetibilidade a deslizamentos pode ser explorada de acordo com os graus de suscetibilidade, proporcionando uma maior segurança a população na medida em que se conhecem as encostas instáveis.

Este trabalho aplicou um método indireto de avaliação de suscetibilidade utilizando um SIG, permitindo deste modo, a análise probabilística das relações entre os deslizamentos e as variáveis que os condicionaram (REIS *et al.*, 2003). Esse método baseia-se no pressuposto de que os deslizamentos futuros tendem a ocorrer sob condições semelhantes aos deslizamentos deflagrados no passado. Foi realizada também uma análise probabilística em que as variáveis foram cruzadas de forma independente com os deslizamentos, obtendo, dessa maneira, *scores* de cada classe das variáveis (mapas temáticos), sabendo assim, quais variáveis foram mais influentes nos deslizamentos mapeados no alto da bacia do Ribeirão Belchior. A utilização destes métodos permite uma avaliação de suscetibilidade objetiva, na medida em que os fatores condicionantes e suas inter-relações são quantificadas estatisticamente, com base na relação entre as áreas das classes das entidades, nomeadamente os polígonos de deslizamentos e as áreas das variáveis com suas respectivas classes.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos.

No primeiro capítulo apresentam-se as motivações que levaram a escolha do tema bem como os objetivos que se quer alcançar com este estudo.

No capítulo dois almeja-se elucidar os conceitos utilizados no decorrer da pesquisa acerca dos principais tópicos abordados: movimentos de massa; geotecnologias na gestão do risco e metodologias de mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa.

No terceiro capítulo constam os procedimentos metodológicos, com os materiais utilizados e a descrição dos métodos que foram empregados para a efetivação da pesquisa.

O capítulo quatro se refere ao estudo de caso, apresentando a caracterização da área de estudo e do desastre de 2008, assim como os resultados obtidos no decorrer da investigação.

No quinto capítulo apresentam-se algumas constatações reveladas no decorrer da pesquisa e na análise dos resultados obtidos e algumas recomendações para futuros estudos referentes ao tema aqui tratado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos envolvendo movimentos de massa, sua caracterização quanto a velocidade e aos tipos de movimentos. Também serão elucidados alguns conceitos a cerca das áreas de risco de deslizamentos. A fim de se aprofundar a discussão sobre os desastres foi feita uma breve explanação sobre os desastres naturais e a questão política. De modo a entender a aplicação das geotecnologias na gestão de risco foi incluída uma seção referente a este tema. E a seção final deste capítulo visa esclarecer a respeito dos métodos que podem ser utilizados para mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos.

2.1. PROCESSO EROSIVO: MOVIMENTOS DE MASSA

Segundo Guerra (2003) alguns fatores controlam a perda de solo ou as taxas de erosão. São eles: a cobertura vegetal, a erosividade da chuva, a erodibilidade decorrente das propriedades do solo e as características da encosta. A erosão do solo dependerá da interação entre estes fatores. Contudo, a intervenção do ser humano pode alterá-los, acelerando ou retardando a erosão.

Press *et al.* (2006) conceitua movimento de massa como um movimento de solo ou de rocha encosta abaixo causado pela força da gravidade. Podem ser desencadeados por agentes externos como a água e o gelo ou por ações tectônicas como terremotos. Representam-se pelo deslocamento de material na encosta quando a força da gravidade supera a força de coesão entre os materiais (MIDDELMANN, 2007). A água é um agente que está freqüentemente reduzindo a resistência dos materiais das vertentes, deixando-as mais susceptíveis a movimentos.

Dependendo das características físicas do terreno e dos fatores externos atuantes sobre ele, os movimentos podem ser rápidos ou lentos, pequenos e quase imperceptíveis ou gigantescos e arrasadores, em encostas escarpadas ou suavemente onduladas. Entretanto, para Reis *et al.* (2003), os movimentos de massa tem como principal causa a precipitação e os fatores do terreno condicionam sua distribuição espacial.

As áreas susceptíveis a movimentos de massa geralmente possuem uma combinação de alguns destes atributos: intemperismo profundo das rochas ou solos rasos em contato com a rocha sã; presença de estruturas favoráveis; presença de argilas expansivas; teor elevado de umidade; ação criogênica perene ou sazonal; abalos sísmicos; vertentes fragilizadas por rios ou ondas (BIGARELLA, 2003; PRESS *et al.*, 2006).

No Brasil, ocorrendo sempre posterior a um significativo evento pluvial, os movimentos de massa são praticamente sazonais, seguindo o calendário das estações chuvosas. Chuvas intensas, de curta ou longa duração, provocam a diminuição da resistência do solo e consistem no principal agente deflagrador dos movimentos de massa em ambientes tropicais úmidos (GUIDICINI E IWASA 1976).

Os processos que regem a dinâmica da crosta e promovem as mudanças no relevo podem ser divididos, de acordo com Castro (2003), em dois grandes grupos que permanentemente se inter-relacionam. O primeiro grupo está relacionado às dinâmicas internas da Terra. São processos geológicos que impulsionados pela energia interna da Terra transformam as rochas e conformam o relevo, são eles: o metamorfismo, tectonismo e a atividade ígnea. O segundo grupo representa os agentes externos, relacionados à geodinâmica terrestre atuantes sobre o relevo e podem ser divididos em: intemperismo, erosão e transporte de sedimentos e sedimentação.

A inter-relação entre os agentes internos e externos da geodinâmica terrestre dão origem e forma à superfície da Terra e o movimento de massa é um processo erosivo que faz parte da regulação natural do terreno (BIGARELLA, 2003; MIDDELMANN, 2007). No entanto, a ação do homem pode gerar condições propícias para a deflagração de movimentos de vertentes, acelerando o processo natural. Conforme Alcantara-Ayala (2002), a presença do homem transformou os eventos geofísicos em desastres naturais, visto que inundações, terremotos, escorregamentos sempre ocorreram na natureza. Logo, os deslizamentos só se configuram em desastres quando atingem áreas habitadas ou com presença de estruturas.

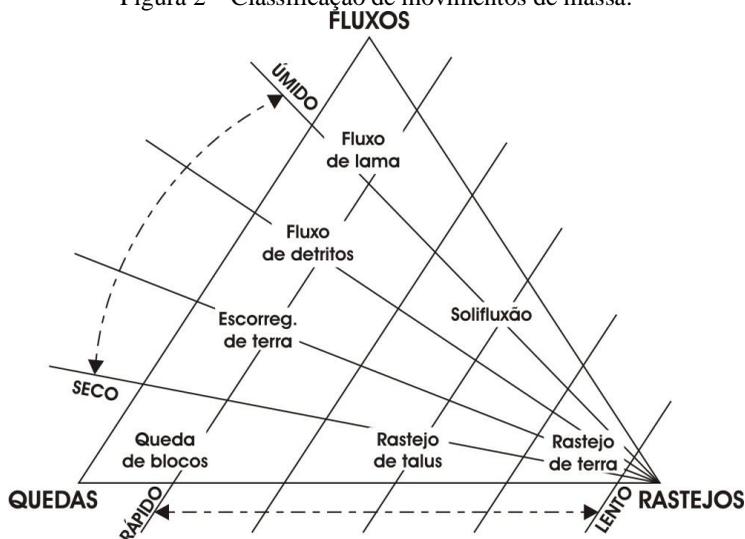
Em áreas mais densamente ocupadas, como áreas urbanas, os movimentos de massa tendem a provocar mais perdas de vidas que em áreas rurais. Sendo justamente em áreas urbanas onde as intervenções antrópicas nas encostas provocam grande aumento da instabilidade das mesmas, taludes de corte e aterro são práticas corriqueiras na ocupação de vertentes urbanas. Para Farah (2003), vazios urbanos como morros ou áreas inundáveis são ocupados por população mais pobre, na maioria das vezes estes vazios se traduzem em favelas e com a ausência do Estado estes agrupamentos tornam-se altamente vulneráveis aos movimentos de massa ou cheias.

Desastres relacionados a deslizamentos não é uma exclusividade do Brasil ou de regiões tropicais. Como expõe Goetz *et al.* (2011), apesar dos avanços na análise de risco de deslizamento e gestão de risco, os deslizamentos continuam a apresentar uma grave ameaça às vidas e propriedades em regiões montanhosas em todo o mundo. Estima-se, por exemplo, que na China, no Japão e no Nepal ocorra em média mais de 150 mortes por ano causadas direta ou indiretamente por deslizamentos.

2.1.1. Caracterização dos Movimentos de Massa

Os movimentos de massa podem ser de natureza diversa e a quantificação das variáveis envolvidas no processo representa uma dificuldade para a classificação. Os critérios para a distinção dos vários tipos de movimentos são o material, o conteúdo de água no subsolo, a velocidade de deslocamento, o mecanismo e o próprio modo como a massa se desloca (CARSON E KIRKBY, 1975; SELBY, 1982 FERNANDES E AMARAL, 2003), como pode ser observado na Figura 2. No caso dos deslizamentos pode, por exemplo, ser como uma “lâmina” caracterizando um movimento translacional ou planar ou fazendo a forma de uma “colher” caracterizando um deslizamento rotacional.

Figura 2 – Classificação de movimentos de massa.



Fonte: Adaptada de Carson e Kirkby (1975) por Marcelino (2003).

Segundo Fernandes e Amaral (2003), há uma grande confusão na literatura sobre as definições das variedades de movimentos de massa. Saito (2004), também encontrou divergências na bibliografia, atribuindo à origem deste problema a atuação, nestas temáticas, de profissionais de diversas áreas.

Os termos de classificação não são uniformes na literatura e muitas vezes são imprecisos com definições pouco rigorosas. Podem-se distinguir movimentos lentos, quase imperceptíveis, como o rastejamento e; os movimentos rápidos como as quedas de blocos, deslizamentos, e fluxos (BIGARELLA, 2003).

Mesmo com divergências quanto à classificação, observa-se que a maioria dos autores consultados classificam os movimentos de massa da seguinte maneira: rastejo; deslizamentos ou escorregamentos; fluxos ou corridas e quedas, tombamentos e rolamentos. Salienta-se que alguns autores (BIGARELLA, 2003; PRESS *et al.*, 2006) subdividem esta classificação, entretanto, neste trabalho, utilizaremos desta maneira, de acordo com o Manual de Desastres da Defesa Civil Nacional (CASTRO, 2003).

2.1.1.1. Velocidade dos Movimentos

A velocidade dos movimentos depende de uma combinação entre a inclinação da encosta, seu tamanho e o peso do material que, quando está inconsolidado é incrementado pela água. Quando uma massa se dispersa da encosta geralmente leva consigo a cobertura vegetal adjacente que muitas vezes funciona como uma barreira podendo diminuir inicialmente seu movimento, entretanto, depois que a vegetação se incorpora ao corpo da massa em movimento, proporciona um acréscimo no peso total e conseqüentemente na velocidade do deslocamento. Dependendo da viscosidade do material o deslocamento pode ser rápido ou lento. O movimento lento é provocado por tensões baixas, porém com frequência elevada, como o rastejamento. Os movimentos rápidos, como os deslizamentos e fluxos têm principal origem pela perda da fricção interna dos materiais quando a pressão nos poros atinge grandes proporções. A liquefação de uma camada, ocasionada pelo encharcamento de água provocado pela impermeabilidade da camada subjacente, diminui o atrito interno do material tornando-o vulnerável a ação da gravidade (BIGARELLA, 2003). Este último caso é representativo do deslizamento translacional, movimento de massa que será analisado no presente trabalho, característicos de solos pouco profundos e vertentes íngremes.

Quando se diz que os deslizamentos são movimentos rápidos, há de se levar em consideração a escala de tempo. Um movimento rotacional pode dar-se em poucos minutos ou em alguns dias desde a primeira movimentação até a estabilização da pendente. Moradores do município de Blumenau (Figura 3) presenciaram um escorregamento rotacional que durou alguns dias, deixando a encosta escalonada em grandes degraus e fazendo o piso de uma residência se separar em dois por um plano vertical de aproximadamente 5m de altura (LIMA, 2009).

Figura 3 – Degrau provocado por escorregamento rotacional lento, município de Blumenau – SC.



Foto: Grando, 2009.

2.1.2. Tipos de Movimentos de Massa

A proposta de classificação dos movimentos de massa de Augusto Filho (1994), representando os principais processos que ocorrem no Brasil, condiz com a classificação adotada nesta pesquisa e está esquematizada no Quadro 2.

Quadro 2 – Proposta de classificação de movimentos de massa.

PROCESSO	CARACTERÍSTICAS DOS MOVIMENTOS DE MASSA/MATERIAL/GEOMETRIA
Rastejos (<i>creep</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -vários planos de deslocamento (internos) -velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade -movimentos constantes, sazonais e intermitentes -solo, depósitos, rocha alterada, fraturada -geometria definida
Escorregamentos (<i>slides</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -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 ou translacionais: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza - Circulares ou rotacionais: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas - Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (<i>Falls</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -sem planos de deslocamento -movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado -velocidades muito altas (vários m/s) -material rochoso -pequenos e médios volumes -geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. - Rolamento de matacão -Tombamento
Corridas (<i>Flows</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -muitas superfícies de deslocamentos (internas e externas à massa de movimentação) -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 -extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Augusto Filho (1994).

2.1.2.1. Rastejo

Rastejo é um movimento de massa lento, porém contínuo, que pode movimentar toda uma encosta englobando uma vasta área. Provocado por tensões relativamente baixas, no rastejamento não é possível distinguir a massa estacionária da que está em movimento, não apresentando via de regra, uma superfície de ruptura definida (plano de movimentação). Geralmente este processo implica num material com certo grau de plasticidade. A principal diferença entre o rastejamento e o deslizamento está no mecanismo de deformação e na velocidade. No rastejamento o mecanismo assemelha-se a um líquido viscoso, proporcionando uma superfície enrugada em larga escala de tempo (com unidade de medida de mm/ano) enquanto o deslizamento ocorre pela superfície de cisalhamento, deslocando o material com maior

velocidade. Entretanto, uma massa em processo de rastejo, ao atingir um talude mais íngreme pode volver-se num escorregamento (GUIDICINI E NIEBLE, 1984; BIGARELLA, 2003).

A velocidade do deslocamento do rastejo varia de acordo com o tipo de solo, clima, cobertura vegetal e declividade da encosta. Para Press *et al.* (2006) o rastejo varia desde 1 até 10mm/ano.

O rastejo pode dar-se nos mantos de alteração, originados no próprio local ou em depósitos de tálus, provenientes do transporte de material de outros locais. As evidências de ocorrência deste tipo de movimento são trincas que evoluem vagarosamente, deixando árvores e qualquer outro marco fixo inclinado. A principal causa antrópica é a execução de cortes no talude (FARAH, 2003; CARVALHO *et al.*, 2007).

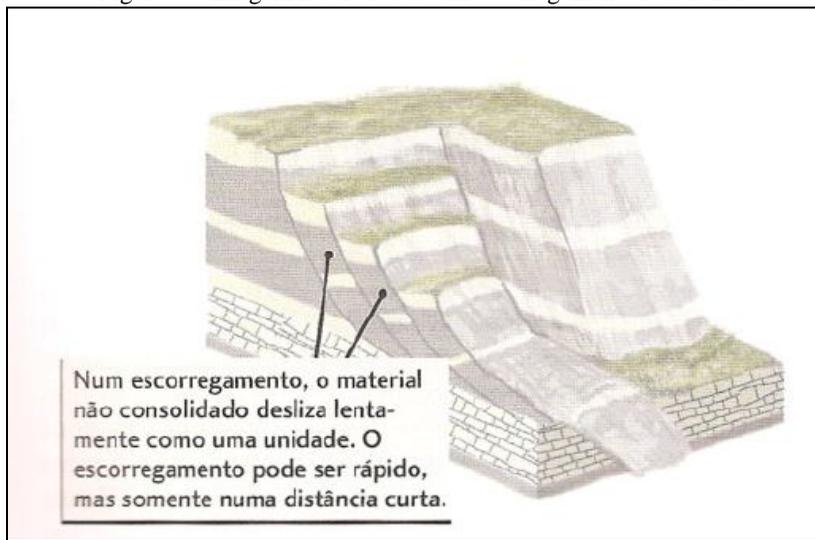
2.1.2.4. Deslizamentos ou escorregamentos

Caracterizam-se por movimentos gravitacionais de massa que ocorrem de forma rápida, cuja superfície de ruptura é nitidamente definida por limites laterais, existindo a possibilidade de identificar o material deslizado e o que não foi movimentado. Em relação ao material envolvido, este pode ser formado por solos, colúvio, rochas, detritos e lixo doméstico. Em função da existência de planos de fraqueza nos horizontes movimentados, que condicionam a formação das superfícies de ruptura, a geometria desses movimentos é definida, assumindo a forma planar (deslizamento translacional) ou circular (deslizamento rotacional) (CASTRO, 2003; FERNANDES E AMARAL, 2003; GUIDICINI E NIEBLE, 1984; IPT, 1991).

Os movimentos rotacionais (Figura 4) são recorrentes em superfícies côncavas e com espesso manto de intemperismo, entretanto, também ocorrem em rochas duras altamente fraturadas (FERNANDES E AMARAL, 2003). Caracterizam-se por um movimento uniforme, podendo deformar muito ou pouco a superfície pela qual sucede. Ele é precedido pela formação de fendas de tração no alto do talude, as quais muitas vezes auxiliam a identificar um futuro movimento. É comum o movimento rotacional rebaixar a parte superior do talude e soerguer a inferior, o material da parte superior ao movimentar-se de modo circular empurra o material da parte inferior para cima. Dependendo do material pode ocorrer a formação de língua na porção inferior do movimento ou até mesmo originar um fluxo de terra. Geralmente solos muito espessos situam-se em vertentes pouco íngremes, restringindo, em tese, estes deslizamentos a encostas de baixa declividade. O desencadeamento de

um movimento rotacional no Brasil está sempre associado à pluviosidade e quase sempre a eventos intensos (BIGARELLA, 2003).

Figura 4 – Imagem ilustrativa de um escorregamento rotacional.



Fonte: Press *et al.*, 2006.

Para Fernandes e Amaral (2003), a gênese dos movimentos rotacionais está frequentemente vinculada a cortes na base das vertentes, sejam eles artificiais (implementação de estradas ou outras estruturas) ou naturais (erosão fluvial).

Bauzys (2010), observa que uma das evidências que precedem o movimento rotacional é o piping, uma formação de “olhos d’água” no sopé do talude pela erosão tubular a qual provoca o movimento e a liquefação do material (Figura 5).

Figura 5 – Piping na região do Alto Baú.



Foto: Bauzys (2009).

Os deslizamentos translacionais (Figura 6) são recorrentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras. Predominam em solos pouco desenvolvidos e vertentes de alta declividade, sua geometria caracteriza-se pela forma alongada, com comprimento bem superior a largura. Estes movimentos associam-se a períodos de chuvas fortes ou de longa duração, promovendo o aumento da poro-pressão positiva da camada superior do solo, saturando-a e desagregando parte do material da encosta (CARVALHO *et al.*, 2007). De acordo com Fernandes e Amaral (2003) os planos de ruptura encontram-se em profundidades rasas que variam entre 0,5 m e 5,0 m.

Figura 6 – Deslizamento translacional na área de estudo.



Foto: Lima (2011).

Em trabalho realizado na região do Morro do Baú, Tomazzoli *et al.* (2009) identificou os deslizamentos translacionais rasos como os movimentos de maior porte e mais importantes na área, pois foram os que deslocaram os maiores volumes de solo, rochas e detritos. O presente trabalho, realizado na mesma região, corrobora a observação do referido autor, pois todos os deslizamentos mapeados foram classificados como translacionais, embora não se tenha feito distinção entre deslizamento translacional raso e deslizamento translacional.

Para Tomazzoli *et al.* (2009) esse tipo de deslizamento movimentava quase que exclusivamente o horizonte superior do solo, logo abaixo das raízes das plantas. Somente em seu local de origem (chamado de cabeceira), ocorre a mobilização de horizontes mais profundos. O movimento inicia sempre em vertentes com declividades superiores a 30° e costuma evoluir sob a forma de corridas de lama e detritos que muitas vezes atingem as áreas planas no sopé dos morros.

Segundo Bigarella (2003) os deslizamentos translacionais iniciam-se na parte superior da vertente e quando não encontram obstáculo deslocam-se a grandes distâncias como uma avalanche. Os deslizamentos deste tipo podem deslocar dezenas de metros cúbicos de material, podendo atingir velocidades de mais de 100 km/h e percorrer quilômetros de distância. Se a quantidade de argila, água e a velocidade do movimento são altas, parte dos detritos pode comportar-se como fluxo, nesse caso a classificação dependerá das características predominantes. Movimentos de massa de caráter complexo são comuns (PRESS *et al.*, 2006).

Devido a sua grande área de distribuição e pela frequência em que ocorrem, os deslizamentos translacionais são os que carecem de maior atenção (SANTOS, 2004).

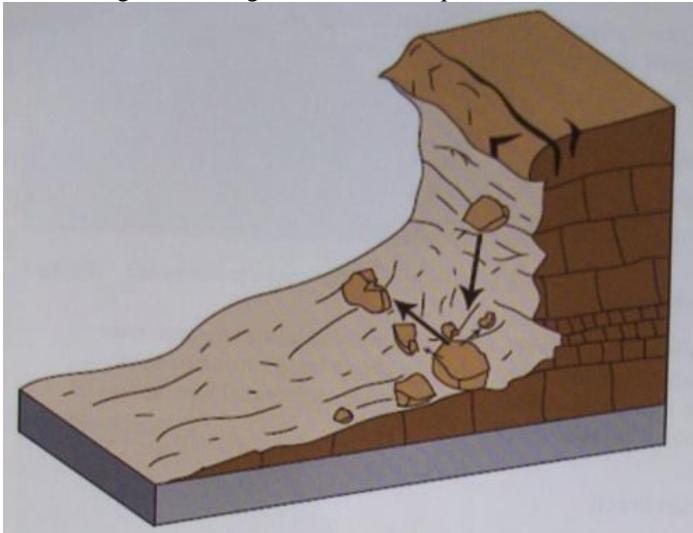
2.1.2.3. Quedas

Augusto Filho (1994) define este movimento como desprendimento de materiais rochosos diversos e de volumes variáveis, em um movimento tipo queda livre, ou em plano inclinado. Para este autor as quedas englobam o tombamento de rocha e o rolamento de matacões.

Castro (2003) caracteriza separadamente a queda de blocos, o tombamento de blocos e o rolamento de matacões.

A queda de blocos (Figura 7) é um movimento extremamente rápido, envolvendo blocos ou fragmento de rocha em queda livre (CASTRO, 2003). Este processo está condicionado a afloramentos rochosos em encostas íngremes ou taludes de escavação, sendo causados pelas descontinuidades no maciço rochoso, como falhas e fraturas, podendo ser acelerado pela ação antrópica (CARVALHO *et al.*, 2007).

Figura 7 – Imagem ilustrativa de queda de blocos.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

O tombamento de blocos ocorre em encostas íngremes de rocha que dispõe de diaclases e fraturas verticais. São, em geral, movimentos mais lentos que as quedas e acontecem principalmente em taludes de corte, onde a mudança na geometria desconfinha as discontinuidades, propiciando o tombamento das paredes do talude (CARVALHO *et al.*, 2007).

Os rolamentos de matacões são provocados por processos erosivos que, ao desestabilizarem a base sobre a qual o matacão se assenta, abala seu equilíbrio estático, provocando o rolamento do bloco encosta abaixo. O termo matacão provém do francês *moutonée* porque a dispersão desses blocos nas encostas, vista de longe, lembrava um rebanho de carneiros (CASTRO, 2003).

2.1.2.2. Fluxos ou corridas

Segundo Fernandes e Amaral (2003), os fluxos de massa são movimentos rápidos medidos em metros por segundo (m/s), nos quais os materiais se comportam como fluídos altamente viscosos.

O excesso de água ocasiona a perda de atrito interno dos materiais, promovendo um movimento de caráter essencialmente hidrodinâmico. A massa desloca-se como um fluido viscoso, com ou

sem uma superfície definida de movimentação. São provocadas pela saturação de água no solo, por uma intensa chuva ou por uma chuva de menor intensidade que dure vários dias. A resistência do material é fator determinante, quanto mais argiloso o material mais provável de ocorrer tal movimento. Muitas vezes os fluxos têm origem em um deslizamento rotacional que, ao chegar à parte mais íngreme da vertente, evolui como fluxo. De acordo com a composição e o grau de fluidez do material utiliza-se o termo fluxo de terra, fluxo de lama ou fluxo de detritos (BIGARELLA, 2003). Nesse sentido, o fluxo de lama difere-se do fluxo de terra pela quantidade de água dentro do material transportado, possuindo o primeiro mais água que o segundo. E o fluxo de detritos difere-se dos demais em função do material transportado. Neste fenômeno, dentro da matriz viscosa encontram-se blocos de rochas, troncos de árvores e diversos outros detritos que possam ser carregados e agregados a massa deslizada.

Castro (2003) classifica as corridas como movimentos gravitacionais de massa gerados a partir de um grande aporte de material de drenagem, sobre terrenos pouco consolidados. O mesmo autor esclarece que esses movimentos têm grande capacidade de transporte, grande raio de ação e alto poder destrutivo, escorrendo inclusive através de áreas planas.

A característica viscosa dos fluxos de massa é responsável pelo rápido deslocamento e grande alcance do material dispersado. Para Carvalho *et al.* (2007) estes fenômenos são mais raros que os deslizamentos, porém podem alcançar dimensões catastróficas, devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance.

Em Novembro de 2008 a região do Morro do Baú foi arrasada por vários movimentos de massa, dentre eles os fluxos. A Figura 8 mostra fluxos de massa em dois locais da região.

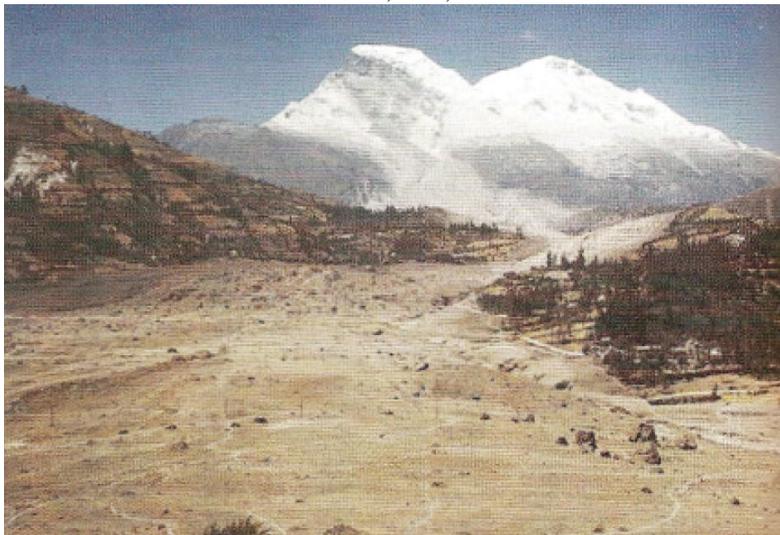
Figura 8 – A- Fluxo na região do Braço do Baú. B- Fluxo na região do Alto Baú.



Foto: A - Pellerin, 2009; B - Bauzys, 2009.

Em 1970, um fluxo de detritos induzido por um terremoto no nevado Huascarán, no Peru (Figura 9) soterrou os vilarejos de Yungay e Ranrahirca. O fluxo percorreu 17 km numa velocidade superior a 280 km/h e estima-se que tenha atingido um volume de 100 milhões de metros cúbicos de água, lama e rochas. As mortes provocadas pelo terremoto e o movimento de massa foram de 66.700 pessoas (PRESS *et al.*, 2006).

Figura 9 – Fluxo de detritos induzido por um terremoto no nevado Huascarán, Peru, 1970.



Fonte: Press *et al.*, 2006.

2.2. ÁREAS DE RISCO DE MOVIMENTOS DE MASSA

Ao se falar em áreas de risco de movimentos de massa nas encostas faz-se necessário esclarecer alguns conceitos. Os movimentos de massa representam um perigo. Quando pessoas habitam uma encosta onde já ocorreram ou, tem-se a possibilidade de ocorrer movimentos elas tornam-se vulneráveis a desastres desta natureza. O risco nesta situação está justamente quando uma encosta susceptível a movimentos de massa é ocupada, estando às pessoas em situação vulnerável frente a um perigo e, conseqüentemente em risco de sofrer perdas e danos; caracterizando a área ocupada como área de risco. De forma simplificada, como trata Marcelino (2008), risco é a probabilidade (mensurável) de um perigo transformar-se num desastre.

Áreas de risco são áreas que podem ser atingidas por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos a integridade física e/ou perdas materiais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (CARVALHO *et al.*, 2007).

A maioria dos movimentos de massa tem causa natural, todavia, o ser humano além de ocupar áreas suscetíveis a este perigo, algumas vezes contribui para desencadeamento de fenômenos desta natureza. As áreas tidas como de risco em muitos municípios já se conhecem, no entanto continuam sendo habitadas. Castro (2003) considera que ocupação caótica das encostas contribui para desencadeamento de escorregamentos e faz com que a população destes locais fique vulnerável frente a este fenômeno.

Entretanto, os deslizamentos causam sérios danos também a população rural, como nos mostrou o desastre de 2008 no Estado de Santa Catarina, onde a parte rural de alguns municípios foi arrasada por movimentos de massa e inundações. É motivo de um vasto debate o quanto a intervenção antrópica influencia os deslizamentos nas áreas rurais. Constatou-se, por exemplo, em estudo realizado em uma área rural do município de Ilhota – SC, localizada no Complexo do Morro do Baú, que os movimentos de massa predominaram nas áreas de mata (LIMA *et al.*, 2010). Este resultado revela que os deslizamentos ocorrem, também, por fatores exclusivamente naturais e que fazem parte da geodinâmica do nosso planeta.

Marcelino *et al.* (2006) pensa que, associando o conhecimento do perigo, da vulnerabilidade e da resposta do sistema social aos desastres naturais, como elementos chaves na equação de risco, é possível capacitar as comunidades para enfrentar, resistir e recuperar-se de um desastre natural, através de medidas preventivas e políticas públicas, que visem principalmente diminuir o número de pessoas afetadas.

Em diversos países vêm sendo empregadas diferentes metodologias para o mapeamento de risco a deslizamento, entretanto, a elaboração de tais produtos cartográficos é relativamente complexa. Além da identificação e caracterização das ocorrências, o mapa de risco deve levar em consideração os elementos naturais e humanos em exposição, estimar os valores de suas perdas; especificar o espaço sob ameaça; a probabilidade de ocorrência e a magnitude de destruição (PARISE, 2001). Tais características tornam difícil a elaboração de mapas de risco, visto que este seria o produto final de uma série de outros mapas.

Para Saito (2004), a dificuldade de realizar mapas de risco tem levado muitos pesquisadores a voltarem suas atenções para os fatores naturais que contribuem para as movimentações da encosta. Trabalhando, desse modo, com os mapas de suscetibilidade a movimentos de massa. Não menos importante, os mapas de

suscetibilidade a movimentos de massa expressam a potencialidade de ocorrência em função das características do meio físico local, sem estimar um período de tempo específico (PARISE, 2001). Porém, determinar quais características do meio físico, encaradas como fatores de instabilidade, de fato contribuem para o desencadeamento de um movimento consiste em um grande desafio. Como descreve com clareza *Zêzere et al.* (2006):

A identificação dos factores condicionantes mais eficazes para a discriminação entre áreas estáveis e instáveis no território é uma etapa extremamente importante no processo de avaliação da suscetibilidade, pois só assim a relação custo-benefício poderá ser otimizada, aspecto indispensável quando se pensa na aplicabilidade destes estudos ao Ordenamento do Território. (ZÊZERE *et al.* 2006, p. 2)

De acordo com Carvalho *et al.* (2007), suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência. Segundo Alheiros *et al.* (2003), o conceito de suscetibilidade a movimentos massa é entendido como as características inerentes do meio, que representam a fragilidade do ambiente em relação aos movimentos de massa.

O conceito de suscetibilidade diferencia-se do de vulnerabilidade. Este último representa o grau de perda, seja de vidas humanas, bens materiais ou infra-estrutura, refletindo a fragilidade dos sistemas encontrados (ALHEIROS *et al.*, 2003). Para Garcia Tornel (1997), o conceito de vulnerabilidade é utilizado como avaliação da possibilidade que um evento catastrófico se produza como expressão dos danos potenciais que podem incluir, expressado nas perdas de bens ou vidas humanas. De acordo com Veyret (2007), a capacidade de um sistema complexo (como uma cidade) para se restabelecer e melhorar sua reatividade após uma catástrofe é hoje levada em conta na determinação da vulnerabilidade. A mesma autora considera que, a vulnerabilidade revela a fragilidade de um sistema em seu conjunto e sua capacidade para superar a crise provocada por um acontecimento possível.

Alcantara-Ayala (2002), ressalta que os grandes desastres naturais ocorrem, via de regra, nos países em desenvolvimento e as causas, em parte, podem ser atribuídas à ocupação da população em

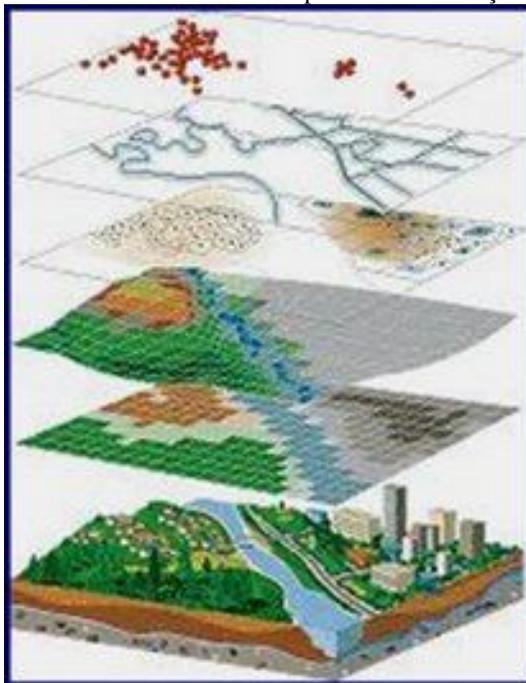
áreas susceptíveis a estes fenômenos. Desse modo, a vulnerabilidade é proporcional ao nível de miséria, ou seja, quanto mais carentes as populações, mais estão sujeitas a sofrer perdas e danos em decorrência de estarem instaladas sem infra-estrutura adequada. O mesmo autor reforça que, a presença do homem transformou os eventos geofísicos em desastres naturais, visto que inundações, terremotos e movimentos de massa sempre ocorreram. Mas quando uma sociedade é afetada por estes fenômenos, configura-se um desastre natural.

2.3. GEOTECNOLOGIAS NA GESTÃO DE RISCO

Atualmente as geotecnologias consistem em uma das principais ferramentas para a gestão de risco. Elas são representadas especialmente pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto e Sistema de Posicionamento Global (GPS) (MARCELINO, 2008).

Para Goodchild (1992), os sistemas de informação geográfica (SIG) referem-se aos softwares utilizados para coletar, visualizar, transformar, analisar e armazenar dados georreferenciados (Figura 10). Surgindo como uma solução para armazenar, manipular e gerar saídas gráficas do grande volume de informação geográfica existente, proveniente de diversas fontes (LACRUZ *et al.* 2009).

Figura 10 – Modelo conceitual de um sistema de informação geográfica onde podem ser vistas diversas camadas ou planos de informação.



Fonte: Lacruz *et al.* (2009).

Os sistemas de informação geográfica podem melhorar a qualidade da análise dos desastres naturais, orientar as atividades de planejamento, definir medidas de mitigação e implementar ações de resposta em casos de emergência (LACRUZ *et al.* 2009).

Sensoriamento Remoto é a técnica de se adquirir informações sobre um alvo na superfície da Terra, por meio da captação da energia eletromagnética refletida ou emitida por ele e sem que haja contato físico entre este alvo e o sistema sensor que capta esta energia. Posteriormente, estas informações são gravadas e processadas para serem analisadas nas diversas áreas de aplicações (SAUSEN, 2008). A gestão de risco consiste em uma destas áreas.

O GPS (Global Positioning System ou Sistema de Posicionamento Global) é um sistema de propriedade dos Estados Unidos da América, desenvolvido com o objetivo de fornecer informações precisas de posicionamento, navegação e tempo. Inicialmente desenvolvido para fins militares, atualmente está

disponível à sociedade civil e consiste em uma das mais importantes ferramentas para determinação de distâncias, direções e coordenadas, informações indispensáveis para quem usa ou produz cartografia ou necessita dessas informações para atender necessidades específicas, tais como resgate a vítimas de desastres naturais (ALBUQUERQUE, 2008).

A principal vantagem do uso das geotecnologias na gestão de risco é o baixo custo e a economia de tempo, possibilitando a coleta, armazenamento e análise de grande quantidade de dados. As geotecnologias assumem importante papel em todas as etapas da gestão de risco: prevenção, preparação, resposta e reconstrução.

Na prevenção podem auxiliar nas avaliações de risco. As imagens de satélites, fotos aéreas e pontos GPS são transformados em planos de informação no SIG, que são cruzados, através de modelos matemáticos, para obtenção de nova informação. Na preparação as geotecnologias são utilizadas na definição de rotas de evacuação, identificação de abrigos e centros de operações de emergência, criação e gerenciamento de sistemas de alerta e elaboração de modelos meteorológicos e hidrológicos utilizados na previsão. Na fase de resposta um banco de dados associado a um mapa da área urbana, poderá fornecer informações completas sobre abrigos, hospitais, polícia, bombeiro, entre outros. Já o GPS é extremamente útil nas operações de busca e salvamento em áreas que foram devastadas. Na Reconstrução, as geotecnologias são amplamente usadas na realização do inventário, avaliação dos danos e na identificação de áreas seguras para a realocação e reconstrução das comunidades afetadas. As informações geradas nesta fase posteriormente são inseridas em um banco de dados para serem utilizadas novamente na fase de Prevenção e Preparação (MARCELINO, 2008).

As geotecnologias vêm se desenvolvendo e ampliando suas áreas de atuação. Desde o começo dos anos 90 modelos matemáticos têm sido desenvolvidos e aplicados em mapeamentos de deslizamentos utilizando SIG (CHI *et al.* 2002).

Para Reis *et al.* (2003), a utilização de SIG tem possibilitado o desenvolvimento de modelos de avaliação de suscetibilidade cada vez mais complexos, baseados em métodos quantitativos, pois permite o cruzamento de um grande número de temas cartográficos e a análise estatística da relação entre os deslizamentos conhecidos e as variáveis que os condicionam.

2.4. MÉTODOS DE MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS

O mapa de suscetibilidade a deslizamentos, ao indicar a potencialidade de ocorrência de deslizamentos, é de suma importância para a gestão de territórios afetados por estes eventos, entretanto, existem outros produtos cartográficos relativos aos movimentos de massa. Parise (2001) sintetizou as informações dos tipos de mapas de movimentos de massa: mapa de inventário, de atividade dos escorregamentos, de suscetibilidade e de vulnerabilidade, como pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3– Síntese dos tipos de mapas referentes a escorregamentos.

TIPO DE MAPA	MATERIAL NECESSÁRIO	ANÁLISE DE DADOS	DADOS MOSTRADOS NOS MAPAS	UTILIDADE
Inventário	Mapas topográficos	Fotointerpretação; trabalhos de campo; pesquisa de arquivos e histórica	Distribuição dos Escorregamentos, tipologia e estado de atividade	Mostra distribuição espacial fornece zoneamento preliminar entre as áreas afetadas e não afetadas pelos processos de movimentos nas encostas
Atividade dos Escorregamentos	Fotos aéreas multi-temporais; mapas históricos, se disponível; mapas topográficos	Fotointerpretação multi-temporal; comparação qualitativa e quantitativa dos mapas; trabalhos de campo; pesquisa de arquivos e histórica	Distribuição, tipologia, estado e atividade dos Escorregamentos; orientação evolutiva dos Escorregamentos.	Auxíliam administradores locais e planejadores de uso do solo para reduzir as perdas socioeconômicas dos Escorregamentos
Suscetibilidade	Mapas topográficos; mapas geológicos; fotos aéreas; registros hidrológicos; dados de histórico	Fotointerpretação; trabalhos de campo; levantamento geológico; testes de campo e laboratório	Distribuição dos escorregamentos, tipologia e estado de atividade; orientação evolutiva dos escorregamentos; geologia e geomorfologia; propriedades de geologia de engenharia	Mesmo que não inclua a probabilidade temporal de ocorrência dos futuros movimentos, fornece um zoneamento que pode ser útil para planejadores
Vulnerabilidade	Como o anterior, incluindo: distribuição dos elementos em risco; evolução socio-econômica dos elementos em risco	Como o anterior, incluindo: análise das relações entre os elementos desencadeadores dos eventos (chuva, terremotos, ação antropogênica)	Como o anterior incluindo tipo, distribuição e avaliação sócio-econômica dos elementos em risco; relação com fatores desencadeadores (para ser explicado em texto acompanhando o mapa)	Na teoria, são os melhores mapas para as propostas de planejamento; na prática, dificuldades na coleta de dados, cooperação entre as diferentes disciplinas e o tempo gasto tornam esses mapas muito difíceis de serem produzidos

Fonte: Parise (2001). Tradução e adaptação: Saito, (2004).

Segundo Zêzere *et al.* (2006), a quantidade e qualidade da informação de base têm grande importância na relevância dos resultados de qualquer avaliação de suscetibilidade, independentemente do método de análise utilizado. No Brasil, não é fácil obter informação cartográfica detalhada, sistemática e com qualidade, que represente diretamente os parâmetros físicos intervenientes na instabilidade das vertentes, como: a distribuição das tensões tangenciais; as propriedades de resistência por parte dos materiais envolvidos e a variação, espacial e temporal, da pressão intersticial da água nos vazios das rochas e dos solos. Deste

modo, é usual o recurso a informação cartográfica indireta, cuja correlação com os fatores atrás referidos nem sempre é óbvia (ZÊZERE *et al.*, 2006).

Com a evolução dos sistemas de informação geográfica vem sendo desenvolvidos, com maior intensidade a partir da década de noventa, alguns métodos de mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos. Em geral estes métodos partem da premissa básica de que os fatores que geraram instabilidades no passado sugerem futuros padrões de comportamento das instabilidades (FERNANDES *et al.* 2001).

Especialistas em geomorfologia, com base em levantamentos de campo, desenvolveram mapas geomorfológicos e observaram a distribuição dos deslizamentos em cada unidade geomorfológica, classificando a área de uma unidade ou de combinação de uma ou mais unidades geomorfológicas em graus de suscetibilidade como: alto, médio e baixo (CHUNG E FABRRI, 2003).

Posteriormente foram inseridas outras variáveis na análise (geologia, uso do solo, declividade, vegetação etc.). Desse modo, realizou-se combinações de mapas onde ocorre a atribuição de pesos, a partir da experiência adquirida pelo pesquisador, aos mapas que configuram os fatores condicionantes da instabilidade. Fernandes *et al.* (2001), atribui como o principal obstáculo a aplicação deste método a subjetividade na atribuição de pesos aos mapas, característica que dificulta a comparação com outros trabalhos e a análise dos resultados obtidos.

Saito (2004), baseada nos trabalhos de Dias (2000) e Cristo (2002), mesmo sabendo das inúmeras ressalvas às metodologias atreladas a atribuição de pesos aos fatores condicionantes da instabilização, utilizou esta metodologia com a justificativa do conhecimento detalhado das características físicas da área de seu estudo. Contudo, a crítica mais consistente a esta metodologia consiste na dificuldade de comparação com outros trabalhos.

Orientados por princípios matemáticos, engenheiros civis desenvolveram modelos determinísticos para instabilidade de encostas baseados nos processos físicos dos deslizamentos. Utilizando variáveis como capacidade de saturação e coesão do solo, ângulo da encosta e resistência ao cisalhamento foram elaborados os mapas conhecidos como *safety factor maps*, ou mapas de fator de segurança (TERLIEN *et al.* 1995). Enquanto os mapas de suscetibilidade baseados exclusivamente em critérios geomorfológicos consideram de três a cinco níveis de suscetibilidade, os mapas derivados a partir de modelos

determinísticos geralmente apresentam uma escala contínua de valores (CHUNG E FABRRI, 2003). Para Fernandes *et al.* (2001), a aquisição dos dados para efetivação deste modelo é difícil, especialmente quando aplicado a grandes áreas. O mesmo autor reconhece que raramente são incorporadas a questão da variabilidade espacial e temporal das propriedades físicas da encosta.

Fernandes *et al.* (2001) aplica um modelo matemático determinístico para a previsão de áreas susceptíveis. Utilizando o modelo SHALSTAB de Dietrich e Montgomery (1998), este autor dá ênfase ao papel desempenhado pela topografia, englobando tanto a declividade quanto a área de contribuição. O modelo SHALSTAB analisa, para cada célula dentro de um *grid*, obtido a partir de um modelo digital de terreno, o resultado da combinação de um módulo hidrológico (condições de saturação do solo) com um módulo de estabilidade (talude infinito – estabilidade do solo situado sobre embasamento rochoso). Entretanto, este modelo foi elaborado para aplicação em áreas sem ocupação e necessita da coleta de dados *in situ* sobre condutividade hidráulica e espessura do solo.

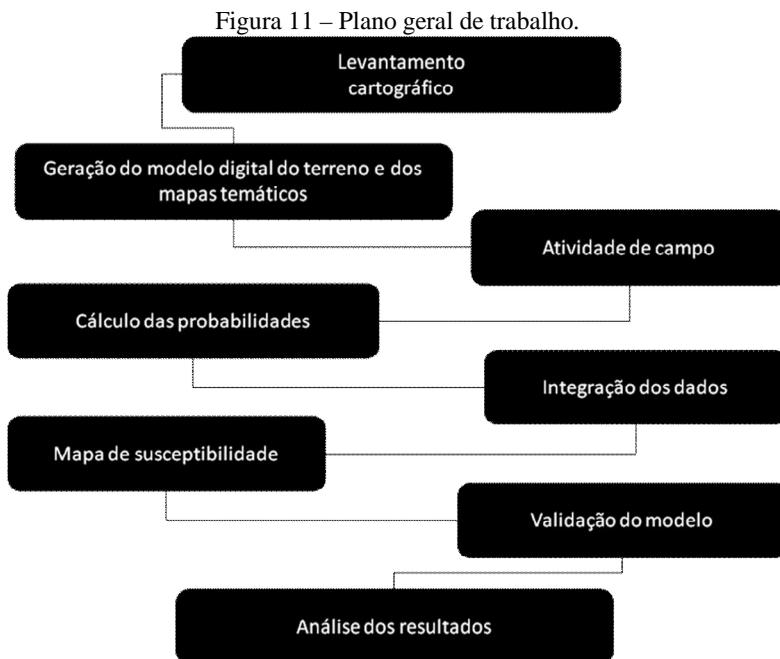
Modelos com bases estatísticas ou modelos quantitativos baseiam-se na existência de relações funcionais entre os fatores condicionantes dos deslizamentos e sua distribuição na paisagem. Nestes modelos os níveis de suscetibilidade, obtidos por funções matemáticas como a função de favorabilidade (*favourability function*), apresentam-se como valores contínuos. (CHUNG E FABRRI, 1999; FABRRI, 2002; CHUNG E FABRRI, 2003; REIS *et al.*, 2003). O presente trabalho aplicou e analisou um modelo quantitativo utilizando a função de favorabilidade proposta por Chung e Fabbri (1999). O método utilizado encontra-se descrito na seção seguinte.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado consiste no modelo estatístico/probabilístico proposto por Chung e Fabbri, (1999) e Reis *et al.* (2003). Este método baseia-se na relação probabilística entre as áreas instabilizadas pelos deslizamentos e as áreas das variáveis com suas respectivas classes. Com a utilização de um SIG obteve-se a probabilidade de ocorrência dos eventos (deslizamentos translacionais) e de cada classe das variáveis, assim como, a probabilidade de ocorrerem os eventos condicionados pelas classes de cada tema cartográfico. Ainda em

ambiente SIG foi realizado a integração das probabilidades, culminando no mapa de suscetibilidade, este foi validado utilizando um conjunto de deslizamentos diferentes dos que o originou.

As etapas da pesquisa podem ser resumidas em oito, como se apresenta no esquema da Figura 11.



Posteriormente à análise do material cartográfico disponível foram elaborados o modelo digital do terreno e os mapas temáticos. Com a base cartográfica pronta realizou-se uma visita a campo para validar os mapas temáticos, classificar e cadastrar os deslizamentos. Conforme a avaliação feita no campo foram realizados ajustes na base cartográfica. Após a atividade de campo foi dado início a execução do método, procedendo com o cálculo das probabilidades a priori e condicionadas. Com a regra de integração das probabilidades condicionadas foi elaborado o mapa de suscetibilidade. De modo a validar o modelo foi elaborado um mapa de suscetibilidade em uma área vizinha, denominada área teste, com os mesmos parâmetros utilizados no mapa da área de estudo. Finalmente, foram analisados e discutidos os resultados.

Os materiais utilizados neste trabalho encontram-se listados abaixo:

- Carta Digital Planialtimétrica em escala 1:10.000 de 2007. Fonte: Departamento de Geoprocessamento da Prefeitura Municipal de Gaspar;
- Imagens do satélite ALOS com 10 metros de resolução espacial de abril de 2009. Fonte: IBGE;
- Mapa de Inventário de Movimentos de Massa do Alto da bacia do Ribeirão Belchior em escala 1:30.000 de 2010. Fonte: Bauzys (2010);
- Aplicativo Arcgis, versão 9.2;
- Aplicativo Idrisi, versão Andes.

3.1. MÉTODO

Utilizando-se de algoritmos estatísticos avaliou-se a relação espacial entre a distribuição dos deslizamentos de um tipo particular (deslizamento translacional), entendidos como variável dependente, e um conjunto de três fatores de predisposição para a instabilidade, entendidos como variáveis independentes. De acordo com Zêzere *et al.* (2006) cada tipo de deslizamento sofre diferentes influências dos fatores condicionantes, sendo necessário analisar cada tipo de deslizamento separadamente. Os fatores condicionantes da instabilidade considerados neste trabalho são: declividade, orientação da encosta e forma da encosta.

O primeiro passo para a execução deste método consiste na construção de uma base de dados relacional para processamento num ambiente SIG. A análise estatística/probabilística de modo a estabelecer as relações entre os deslizamentos translacionais e os fatores que os condicionam representa o segundo passo e a integração dos dados espaciais para elaboração do mapa de suscetibilidade o terceiro passo. Por último, a validação do modelo de predição utilizando um grupo de deslizamentos diferentes dos que originaram o mapa de suscetibilidade, provenientes de uma área designada por área teste, representa a etapa final.

3.1.1. Construção da base de dados

O material cartográfico utilizado e elaborado por Bauzys (2010) foi cedido para esta pesquisa com vista a dar continuidade a análise dos deslizamentos do alto da bacia do Ribeirão Belchior, culminando no mapa de suscetibilidade.

O Mapa de Inventário consiste em um material imprescindível para a análise da suscetibilidade, pois representa o registro dos deslizamentos ocorridos na área de estudo e como já colocado, neste método, assume-se que os futuros movimentos de massa têm maior probabilidade de ocorrência sob condições semelhantes às que originaram instabilidade no passado. Bauzys (2010), elaborou um mapa de inventário de movimentos de massa do alto da bacia do Ribeirão Belchior, o qual foi utilizado neste trabalho. Entretanto, foram mapeados mais nove deslizamentos não identificados pela autora, sendo três deles provenientes de uma divisão, do que foi considerado por Bauzys (2010) um único deslizamento. Faz-se importante lembrar que a área de estudo de Bauzys (2010) é todo o alto da bacia do Ribeirão Belchior, enquanto nesta pesquisa foi feito um recorte, abrangendo somente uma sub-bacia do Alto Ribeirão Belchior. Por abranger uma área menor o nível de detalhe alcançado neste trabalho possibilitou mapear alguns eventos de difícil acesso e pouco visíveis na imagem do satélite Alos. Os movimentos de massa foram mapeados como polígonos fechados, seguindo o contorno das cicatrizes deixadas no terreno, desde o local onde ocorreu a ruptura até a área de deposição. Entretanto, diversos deslizamentos evoluíram como fluxo de detritos, terra ou lama e considerando que cada tipo de movimento de massa é influenciado de maneira distinta pelos fatores condicionantes, foi necessário separar os deslizamentos translacionais dos fluxos. A área de origem do deslizamento (cabecreira) foi separada do restante da cicatriz, pois as características geomorfológicas da área de ruptura são distintas da área de deposição. De acordo com Chung e Fabbri (2003), após a identificação da probabilidade de ocorrer os deslizamentos translacionais, a partir de suas áreas de ruptura, pode-se realizar outro modelo para identificar a probabilidade de uma área ser afetada pelos fluxos originados pelos deslizamentos translacionais.

Através da carta digital planialtimétrica em escala 1:10.000, foi gerado o Modelo Digital de Terreno (MDT). Os mapas de orientação da encostas, forma da encosta e declividade foram gerados com base no MDT.

A resolução utilizada foi de um pixel de 5m (célula de 25m²), aceitável para os objetivos propostos, de acordo com Reis *et al.* (2003), e para os dados de entrada provenientes da carta digital planialtimétrica (1:10.000).

Os dados utilizados no modelo devem cobrir a totalidade da área de estudo, permitindo que toda a informação seja tratada a um mesmo nível. Dessa forma, os deslizamentos foram classificados de acordo com a presença (1) ou ausência (0) do evento. Ficando os temas cartográficos constituídos por um conjunto de classes ou categorias que dividem a área de estudo e não são coincidentes entre si, possuindo probabilidade de ocorrência superior a zero (REIS *et al.*, 2003).

As classes dos mapas temáticos podem ser observadas no Quadro 4 e foram definidas de acordo com trabalhos pretéritos (ZÉZERE *et al.* 2006 e REIS *et al.*, 2003).

Quadro 4– Mapas temáticos, suas classes e fontes de informação.

Mapas Temáticos	Classes	Fontes de Informação
Declividade (graus)	0 -- 5 5--10 10--15 15--20 20--25 25--30 30--40 >40	Modelo Digital de Terreno
Orientação de Encosta	N NW W SW S SE E NE F	Modelo Digital de Terreno
Forma da Encosta	Côncavo Plano Convexo	Modelo Digital de Terreno

Como pode-se observar, nesta pesquisa foram utilizadas somente três variáveis. Inicialmente estava previsto a realização do

modelo utilizando seis variáveis, as três que foram utilizadas acrescidas da geologia, da geomorfologia e do uso do solo.

A geologia foi descartada do modelo por apresentar na área de estudo praticamente uma classe, o Complexo Luiz Alves (ALa), acrescida apenas de uma faixa de depósito fluvial nas margens do córrego principal. A escala da base geológica disponível (1:100.000, do GERCO, 2003) não seria suficiente para afirmar que na área de estudo só houvesse efetivamente a classe ALa, entretanto, tal característica foi confirmada em campo.

A geomorfologia, classificada em modelados de dissecação de acordo com os intervalos da declividade (método utilizado pelo IBGE em 2003, referente ao Projeto Gerenciamento Costeiro – GERCO) apresentou uma relação direta com esta outra variável, sendo desconsiderada do modelo.

Durante o trabalho de campo verificou-se que o uso do solo da área em questão é composto basicamente por mata e reflorestamento, estando este último representado por pequenos fragmentos. Essa característica justifica a retirada do uso do solo do modelo, já que não foi possível identificar uma relação direta desta variável com os deslizamentos. Como coloca Zêzere *et al.* (2006) o uso extensivo da variável uso do solo em trabalhos deste tipo deve-se em maior parte a facilidade de obtenção de dados do que com a importância do fator para a instabilidade de encostas. A variável uso do solo ocupou o último lugar na hierarquia dos sete fatores condicionantes da instabilidade considerados por este autor em trabalho realizado ao norte de Lisboa, Portugal. De acordo com Zêzere *et al.* (2006), é possível obter resultados muito satisfatórios recorrendo a um número limitado de fatores condicionantes da instabilidade.

As variáveis empregadas no modelo foram geradas a partir da mesma base cartográfica na escala 1:10.000 e de forma automática, utilizando-se das ferramentas do software ArcGis 9.2. Dessa forma a comparação com outros trabalhos será facilitada. As ferramentas utilizadas foram: “Curvature” para a forma da encosta, “slope” para declividade e “aspect” para orientação de encosta.

3.1.2. Modelo de avaliação da suscetibilidade: função de favorabilidade e probabilidade condicionada

O modelo utilizado é baseado na análise estatística/probabilística, comparando as unidades de terreno

correspondente aos deslizamentos conhecidos e as correspondentes as características físicas das encostas.

O primeiro passo para aplicação deste método é o cálculo das probabilidades *a priori* e das probabilidades condicionadas. Com base na correlação entre os mapas temáticos que representam os fatores de instabilidade e o mapa de um tipo particular de deslizamento, assim como na correlação entre as áreas instabilizadas e as áreas totais, é possível determinar:

- A probabilidade *a priori* de ocorrência de deslizamento translacional: área afetada por deslizamento translacional / área total

- A probabilidade *a priori* de ocorrência de uma classe *j* de um tema *T*: área da classe *j* do tema *T* / área total

- A probabilidade condicionada de encontrar um deslizamento translacional na classe *j* do tema *T*: área afetada por deslizamento translacional na classe *j* do tema *T* / área da classe *j* do tema *T*.

As áreas afetadas por deslizamentos translacionais, de cada classe dos mapas temáticos e da área de estudo foram obtidas através de uma simples consulta a base de dados. As áreas afetadas por deslizamentos translacionais em cada classe dos mapas temáticos foram obtidas através do cruzamento de duas camadas de informação, a dos deslizamentos e a de cada classe de cada mapa temático.

Os resultados obtidos com o cálculo das probabilidades condicionadas podem ser entendidos como valores de favorabilidade, ou indicadores de suscetibilidade, dando origem a *scores* de suscetibilidade para as classes de cada mapa temático em relação aos deslizamentos translacionais (ZÊZERE *et al.* 2006). Quando aplica-se a probabilidade condicionada considerando isoladamente cada um dos fatores condicionantes da instabilidade é possível identificar quais fatores contribuem em maior ou menor grau para a instabilidade das vertentes, permitindo uma análise mais elaborada da suscetibilidade a deslizamentos daquela área.

Segundo Reis *et al.* (2003), quando se conhece a probabilidade de um acontecimento independente (classe *J* do tema *T*) ocorrer na área de estudo, é possível obter a probabilidade de qualquer outro acontecimento (movimento translacional) ocorrer condicionado por cada uma das classes.

De acordo com Chung e Fabbri (1999), a probabilidade de encontrar um deslizamento na presença dos diversos mapas temáticos, usando a regra de integração da probabilidade condicionada, é obtida com a equação 2.1:

$$\frac{(P_{pT1} \times P_{pT2} \times \dots \times P_{pTn})(C_{pT1} \times C_{pT2} \times \dots \times C_{pTn})}{Ppslide^{Tn-1} \times (T1 \times T2 \times \dots \times Tn)} \quad (2.1)$$

Onde $T1, T2, \dots, Tn$ são os vários mapas temáticos utilizados como fatores condicionantes da instabilidade; Pp é a probabilidade *a priori* de ocorrência de uma classe j de um tema T ; $Ppslide$ é a probabilidade *a priori* de ocorrência de um deslizamento translacional; e Cp é a probabilidade condicionada de encontrar um deslizamento translacional na classe j do tema T . A aplicação desta equação resulta em um *score* para cada um dos pixels da imagem digital, variando entre 0 e 1. Estes podem ser interpretados como indicadores da suscetibilidade de ocorrência futura de deslizamentos translacionais na área de estudo (ZÉZERE *et al.* 2006).

A integração das probabilidades é realizada em ambiente SIG, onde cada classe dos mapas temáticos possuem seus respectivos valores de Cp e Pp . Assim, para cada tema cartográfico (forma da encosta, declividade e orientação da encosta) deverão ser gerados duas camadas de informação, uma com as probabilidades *a priori* e outra com as probabilidades condicionadas. Através da multiplicação dos temas cartográficos com seus respectivos valores de Cp e Pp , obtém-se o numerador da equação 2.1.

O denominador da equação 2.1 consiste na probabilidade *a priori* de ocorrência de um deslizamento translacional elevada ao número de temas cartográficos utilizados menos 1 ($Ppslide^{Tn-1}$) multiplicado pela probabilidade de interseção das classes dos temas cartográficos ($T1 \times T2 \times T3$). Como nesta pesquisa foram utilizado três temas cartográficos, $Ppslide$ será elevada a 2 ($Ppslide^2$). A probabilidade de interseção das classes dos temas cartográficos ($T1 \times T2 \times T3$) se traduz na probabilidade de condições únicas de terreno, provenientes do cruzamento entre todas as classes dos mapas temáticos.

Após se obter a camada de informação referente ao numerador e ao denominador da equação 2.1, realiza-se o cálculo. O resultado

consiste em uma camada de informação com valores que indicam a suscetibilidade de ocorrência futura de deslizamentos translacionais na área de estudo.

3.1.3. Validação e Classificação dos Dados

Segundo Chung e Fabbri (2003) a etapa mais importante no desenvolvimento de um modelo de suscetibilidade a deslizamentos é a validação dos resultados. De acordo com os mesmos autores, sem algum tipo de validação, o modelo perde o significado científico.

Para validar e analisar a capacidade preditiva do mapa de suscetibilidade foi realizado dois procedimentos. O primeiro consiste em cruzar o mapa de suscetibilidade com os mesmos deslizamentos que o originaram, desse modo gerando as taxas de sucesso do modelo.

O segundo procedimento representa a capacidade de predição do modelo, que é alcançada cruzando o mapa de suscetibilidade com um conjunto de deslizamentos de teste. Para Remondo *et al.* (2003) esta tarefa pode ser realizada de três maneiras: dividindo a área de estudo em duas partes, selecionando uma amostra aleatória de deslizamentos dentro da área de estudo ou selecionando 2 amostras de deslizamentos ocorridos em épocas distintas. Cabe destacar que esta última alternativa incorpora ao modelo a variável temporal, sendo a mais indicada quando se dispõe destes dados (REMONDO *et al.* 2003). Nesta pesquisa a validação foi feita conforme a primeira alternativa, dividindo a área em duas partes. A parte onde foi efetuado o modelo, ou seja, de onde foram obtidas as probabilidades é denominada área de estudo. E a parte que foi usada para validar o modelo é denominada área teste.

Desse modo, a taxa de sucesso mede a qualidade do ajuste do modelo aos seus dados de entrada e a taxa de predição fornece a validação da suscetibilidade, independente do modelo. Espera-se, então, que a taxa de sucesso seja melhor que a taxa de predição (CHUNG E FABRI, 2003).

Para realizar ambos os procedimentos, torna-se necessário obter os valores exclusivos dentre os indicadores de suscetibilidade, isto é, os valores que se repetem dentre os 242436 da área de estudo e dos 170991 da área teste. É preciso, também, obter a frequência destes valores para representá-los em porcentagem. Quando se cruza os deslizamentos com os valores de suscetibilidade obtêm-se os valores de suscetibilidade nas áreas instabilizadas. A partir da identificação dos valores exclusivos e sua frequência na área total e na área instabilizada pode-se realizar a análise da porcentagem de deslizamentos preditos em relação a

porcentagem dos valores de suscetibilidade, geralmente dispostos em ordem decrescente de suscetibilidade.

O processo de classificação dos dados representa o agrupamento de valores contínuos em classes. Como salienta Garcia *et al.* (2007) o mapa classificado configura-se em uma simplificação do resultado, entretanto, esta simplificação pode ser a melhor maneira de apresentar os dados, tendo em vista o objetivo final do mapa.

Garcia *et al.* (2007) realiza testes com seis métodos de classificação de dados que considera estatisticamente corretos (igual número de unidades de terreno, igual amplitude entre as classes, distribuição de todas as unidades de terreno baseada no diagrama de dispersão, distribuição das unidades de terreno instáveis, distribuição das unidades de terreno instáveis nos níveis elevados de suscetibilidade, análise das rupturas de declive da curva de sucesso [taxa de sucesso] e dos valores que a originaram) e conclui que o que apresentou melhor resposta foi o de análise das rupturas de declive da curva de sucesso. Neste trabalho os dados foram classificados com base nesta análise.

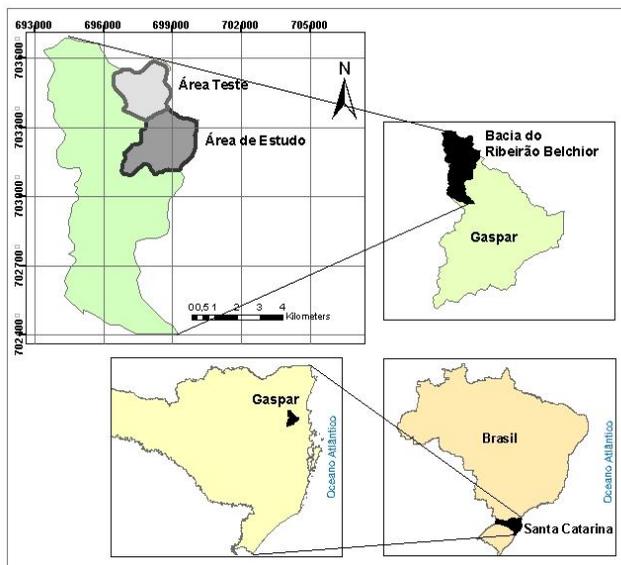
4. ESTUDO DE CASO

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Gaspar situa-se na porção nordeste do Estado de Santa Catarina, e faz divisa com os municípios de Ilhota, Blumenau, Massaranduba, Luis Alves, Itajaí, Brusque e Guabiruba. Localiza-se na latitude 26°55'53" Sul e longitude 48°57'32" Oeste. A área total do município é de 386 km², sendo aproximadamente 40 km² em área urbana e 346,35 km² em área rural (IBGE).

A área de estudo, situada dentro do Município de Gaspar, é uma sub-bacia localizada na parte nordeste da bacia do Ribeirão Belchior e possui 6,06 km². A área teste é um sub-bacia ao norte da área de estudo e possui 4,27 km² (Figura 12). O Ribeirão Belchior é afluente do rio Itajaí-Açu pela margem esquerda e se desenvolve no sentido Noroeste-Sudeste.

Figura 12 – Localização da área de estudo e da área teste.



A geologia da área de estudo é bastante homogênea, constituindo-se basicamente pelo Complexo Luis Alves (ALa) correspondente a rochas metamórficas da fácies granulito, unidade estratigráfica predominante na região do Vale do Itajaí, e por planície aluvial. Apesar de o Complexo Luis Alves apresentar, em algumas partes, espessos mantos de intemperismo, tal característica não se faz presente na área de estudo, conforme verificou-se em campo.

A área de estudo encontra-se inserida na unidade geomorfológica Serras Cristalinas Litorâneas, estando a pluviosidade influenciada pelos relevos montanhosos que barram os ventos úmidos provenientes do oceano contribuindo para que a Região do Vale do Itajaí registre os maiores totais de precipitação anual de Santa Catarina. Segundo Monteiro e Mendonça (2005), a influência de fatores como o relevo, a altitude, a continentalidade e a maritimidade é que determinam as variações climáticas locais no Estado de Santa Catarina.

A área da pesquisa foi afetada por 25 deslizamentos translacionais, do total da área (6 km^2) $0,31 \text{ km}^2$ foram afetados por deslizamentos, representando um total de 5,1%. As maiores áreas afetadas localizam-se ao nordeste da bacia em estudo, em vertentes voltadas para a direção Sul-Sudeste. Observa-se também uma predominância das áreas afetadas em vertentes com a forma côncava.

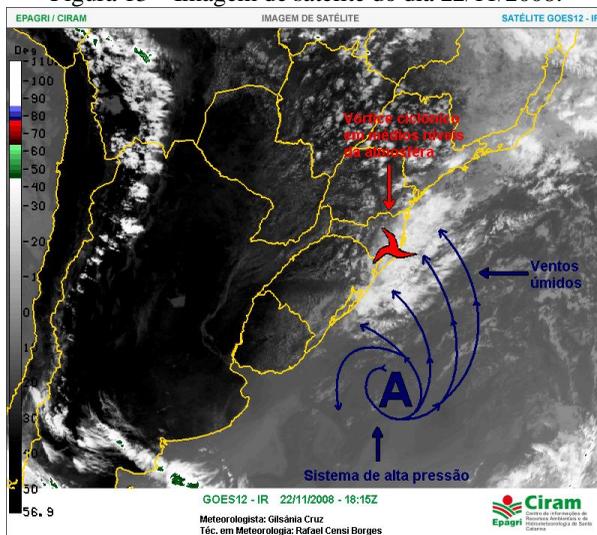
Contudo, a discussão em torno da distribuição espacial dos deslizamentos será melhor explorada nos resultados.

4.2. O DESASTRE DE 2008

Não há registro de um novembro tão chuvoso nas regiões da grande Florianópolis, Vale do Itajaí e litoral norte como observado em 2008. Em Blumenau e Joinville, os totais do mês ficaram em torno de 1000mm, para uma média pluviométrica mensal de aproximadamente 150mm (MINUZZI & RODRIGUES, 2008).

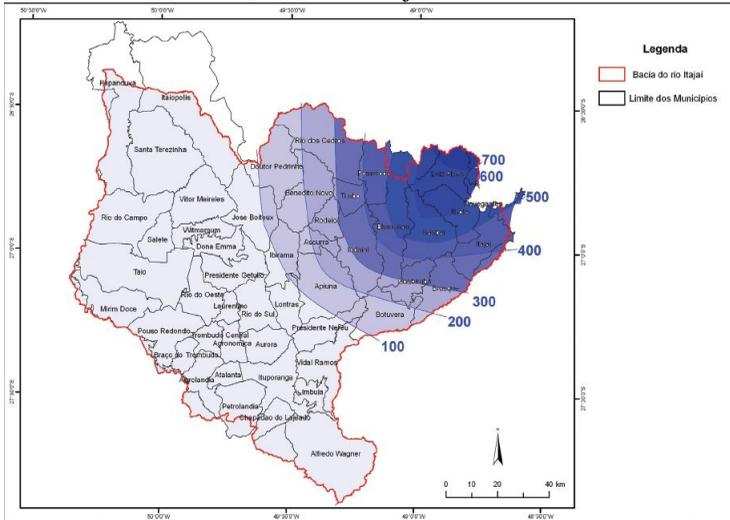
A intensa chuva foi ocasionada pelo estabelecimento de um bloqueio atmosférico no oceano atlântico associado a um intenso anticiclone sobre o oceano. Este fenômeno favoreceu a intensificação dos ventos do quadrante leste e nordeste sobre a costa leste de Santa Catarina e Paraná. Formou-se também um sistema de baixa pressão (vórtice ciclônico) de altitude entre 4.000 e 5.000 m, localizando-se entre o leste de Santa Catarina e o leste do Paraná (Figuras 13 e 14). A combinação destes dois fatores, o vórtice ciclônico em altitude e o intenso anticiclone em superfície favoreceram a intensificação das chuvas. A persistência desta situação meteorológica fez com que o fenômeno tenha sido ainda mais significativo (CPTEC, 2008).

Figura 13 – Imagem de satélite do dia 22/11/2008.



Fonte: Epagri.

Figura 14 – Total acumulado da precipitação entre os dias 21 e 25 de novembro, no Vale do Itajaí, Santa Catarina.



Fonte: Frank e Sevegnani (2009).

Aliada a influência dos fatores climáticos, a litologia do Vale do Itajaí contribuiu para desencadear os inúmeros movimentos de massa responsáveis, em grande parte, pelo desastre. O Complexo Luis Alves (ALa) é a unidade estatigráfica predominante na região do Vale do Itajaí e corresponde a rochas metamórficas da fácies granulito, por vezes capeadas por um manto de intemperismo bastante espesso. Outra unidade expressiva na região do Vale do Itajaí é constituída pelo Grupo Itajaí (Psit), rochas metassedimentares representadas principalmente por argilitos, siltitos e arenitos de natureza turbidítica, associadas com rochas vulcânicas e sub-vulcânicas, dando origem a um relevo acidentado e solos com espessura média de 3m (TOMAZZOLI *et al.* 2009).

O Estado de Santa Catarina decretou situação de emergência no dia 22 de novembro de 2008. Segundo os dados divulgados pela Defesa Civil Estadual foram confirmados 135 óbitos (sendo mais de 97% das mortes causadas por soterramento), 2 desaparecidos e 78.656 desalojados ou desabrigados (Quadro 5). No total, 99 municípios decretaram situação de emergência e 14 decretaram estado de calamidade pública.

Quadro 5– Síntese dos números do desastre nos municípios que decretaram calamidade pública.

Município	População		Pessoas					Residências danificadas	Rodovias danificadas (km)
	total	afetada	deslocadas	desalojadas	desabrigadas	feridas	mortas		
Benedito Novo	9.841	31%	102	712	210	-	2	191	576
Blumenau	292.972	35%	-	25.000	5.209	2.383	24	18.000	centenas
Brusque	94.962	100%	-	8.000	1.200	66	1	1.220	120
Gaspar	52.428	100%	-	7.100	4.300	280	16	8.700	600
Ilhota	11.552	100%	3.500	3.500	1.300	67	26	406	total
Itajaí	163.218	100%	100.000	18.208	1.929	1.800	5	28.400	centenas
Luis Alves	8.986	100%	-	3.232	239	41	10	220	40
Pomerode	25.261	1%	-	182	48	-	1*	50	100
Rio dos Cedros	9.685	88%	-	595	96	-	-	283	300
Rodeio	10.773	5%	-	27	42	-	4	35	144
Timbó	33.326	2%	-	-	-	-	-	264	-

* 2 pessoas constam como desaparecidas

Fonte: Frank e Sevegnani (2009).

Os movimentos de massa foram os principais responsáveis pela catástrofe de 2008. Em diversos municípios ocorreram de forma generalizada (Figura 15), destruindo residências, infra-estrutura, áreas agrícolas e provocando mortes por soterramento. Eles ocorreram em enorme quantidade, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais. Em áreas urbanas os escorregamentos, além de causarem perdas humanas, danificaram e destruíram residências e infra-estrutura pública e privada. Na área rural também causaram um grande número de mortes e destruíram residências, agroindústrias, estradas e acessos (BAUZYS, 2010).

Figura 15– Movimentos de massa em Gaspar – SC.



Foto: Joel Pellerin (2009).

4.3. INVENTÁRIO DOS DESLIZAMENTOS

O inventário de deslizamentos foi elaborado, primeiramente, através da aquisição de dados de trabalhos pretéritos realizados na mesma área, principalmente a dissertação de Bauzys (2010). Posteriormente, analisando as imagens do satélite ALOS de abril de 2009 verificou-se alguns indícios de deslizamentos não mapeados. Em dezembro de 2011 foi realizado um trabalho de campo para verificar *in loco* os indícios observados nas imagens, validar os deslizamentos mapeados, classificá-los e fotografá-los.

Cada deslizamento mapeado por Bauzys (2010) na área do presente estudo foi fotografado e analisado. Alguns indícios de deslizamentos não mapeados foram confirmados e assim acresceram-se mais seis novos deslizamentos à análise. Ao total foram mapeados 25 deslizamentos, todos do tipo translacional.

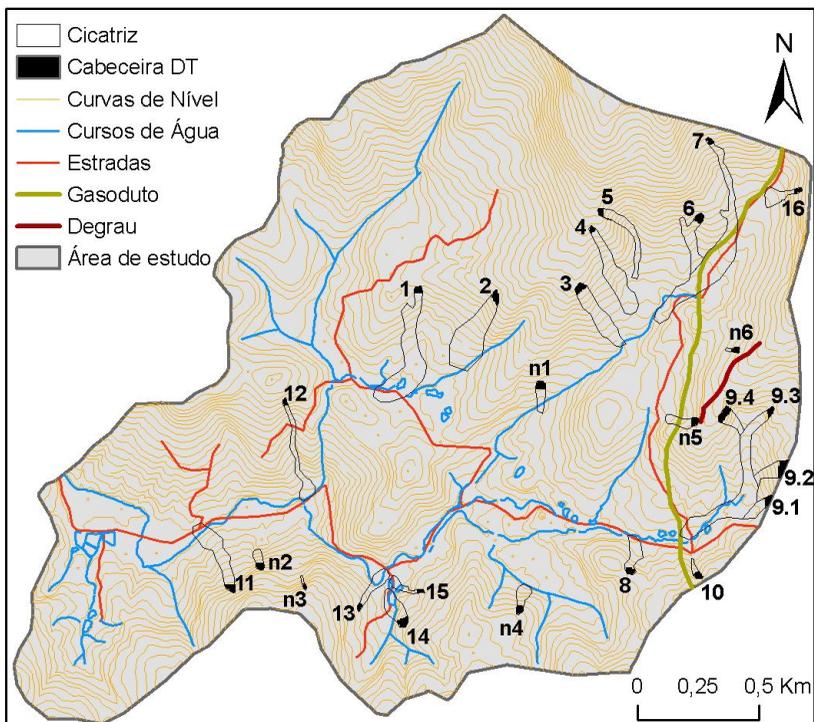
Os deslizamentos estão enumerados de 1 a 16, entretanto, um conjunto de deslizamentos considerados por Bauzys (2010) como uma unidade foi dividido em quatro movimentos (9.1, 9.2, 9.3 e 9.4). Os seis novos deslizamentos identificados em campo foram enumerados de 1 a

6 com a letra “n” antes dos números, fazendo referencia aos deslizamentos não mapeados.

Alguns deslizamentos translacionais evoluíram como fluxos e como o objetivo desta pesquisa é analisar a suscetibilidade a deslizamentos translacionais foi necessário separar os deslizamentos dos fluxos. De modo a fazer esta separação, o local de ruptura ou cabeceira do movimento foi separado do restante da cicatriz. Somente a cabeceira serviu como dado de entrada no modelo referente às áreas instabilizadas.

Na Figura 16 é possível verificar a distribuição espacial dos movimentos de massa, suas cabeceiras e cicatrizes. Os quadros 6 e 7 representam as características físicas dos deslizamentos e a relação dos deslizamentos com os fatores condicionantes da instabilidade, respectivamente.

Figura 16 – Inventário dos deslizamentos translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior. Os polígonos preenchidos com a cor preta representam as cabeceiras dos deslizamentos translacionais (DT).



Quadro 6– Características físicas dos movimentos de massa.

Movimento	Área (m ²)	Comprimento (m)	Plano de Ruptura (m)	Desnível (m)
1	3775	520	1-1,5	80
2	31650	350	1-1,5	120
3	17125	300	1	110
4	20900	400	1	140
5	10100	360	0,5	130
6	10775	220	1	70
7	47950	900	1	200
8	6750	160	2,5	60
9.1	4625	80	1	40
9.2	6375	150	1	70
9.3	38000	150	1,5	50
9.4	5625	140	1	50
10	1825	110	0,5-1	40
11	17250	315	1,5	120
12	10825	420	1	170
13	6550	200	1	50
14	9150	170	0,5	40
15	3450	100	0,5	30
16	5950	160	1	70
n1	4225	130	2	30
n2	2750	100	0,5	70
n3	650	60	0,5	50
n4	4750	120	1	60
n5	4875	130	1	50
n6	900	55	0,5	20

Quadro 7– Relação das cicatrizes dos movimentos de massa com os fatores condicionantes da instabilidade.

Movimento	Declividade na Ruptura (graus)	Forma da encosta na ruptura	Orientação predominante
1	15-30	Côncava	Sudeste
2	20-40	Côncava	Sudoeste
3	25-40	Convexa	Sudeste
4	20-30	Côncava	Sudeste
5	30-40	Côncava	Sudeste
6	25-30	Côncava	Sudeste
7	25-30	Côncava	Sul
8	15-20	Côncava	Nordeste
9.1	25-40	Côncava	Sudoeste
9.2	30-40	Côncava	Sudoeste
9.3	30-40	Côncava	Sudoeste
9.4	30-40	Côncava	Sudeste
10	30-40	Côncava	Norte
11	30-40	Convexa	Noroeste
12	30-40	Côncava	Sudeste
13	20-25	Convexa	Nordeste
14	25-30	Convexa	Noroeste
15	30-40	Côncava	Noroeste
16	30-40	Convexa	Oeste
n1	30-40	Côncava	Sul
n2	>40	Convexa	Norte
n3	>40	Convexa	Noroeste
n4	30-40	Côncava	Norte
n5	>40	Côncava	Oeste
n6	20-25	Convexa	Oeste

As fotografias e a descrição detalhada de cada movimento, assim como as do degrau de abatimento de 420 metros de extensão localizado durante o trabalho de campo, encontram-se no anexo 1.

4.4. ANÁLISE DOS INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS

A identificação dos fatores condicionantes de suscetibilidade que mais contribuem para desencadear os deslizamentos é uma etapa de suma importância no processo de avaliação da suscetibilidade. Sabendo que são os fatores do terreno que condicionam a distribuição espacial dos deslizamentos, faz-se necessário analisar quais fatores contribuem em maior ou menor grau para a instabilidade das vertentes. As figuras 17, 18 e 19 representam os temas considerados como fatores condicionantes dos deslizamentos translacionais da área de estudo com as cabeceiras dos deslizamentos sobrepostos.

Figura 17 - Declividade

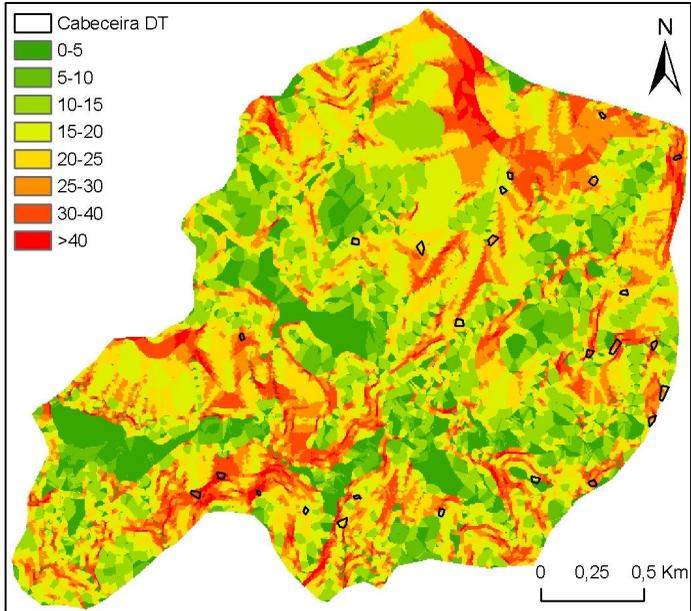


Figura 18 – Forma da encosta.

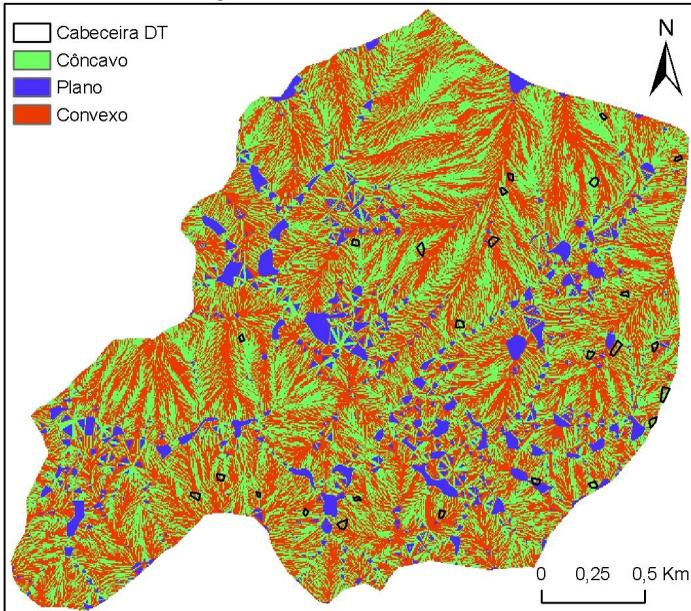
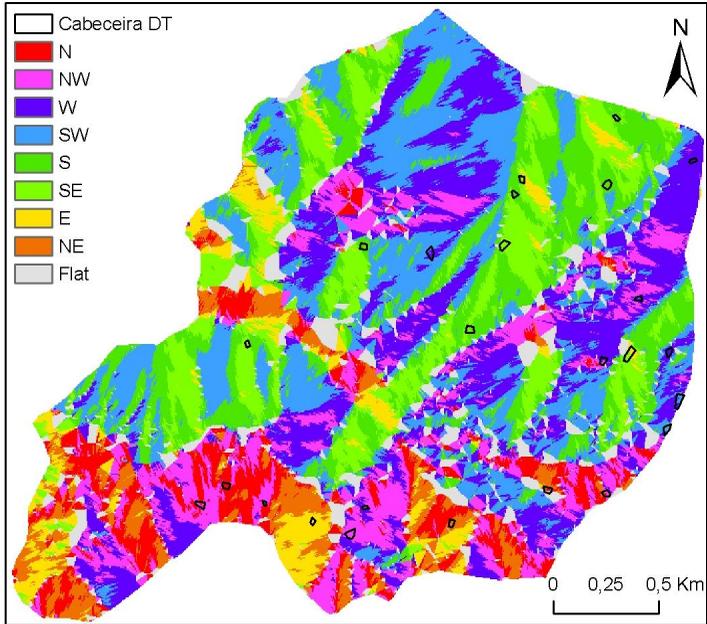


Figura 19 – Orientação da encosta.



De modo a fazer a análise dos indicadores de suscetibilidade a deslizamentos translacionais procedeu-se com os cálculos das probabilidades condicionadas de ocorrer deslizamentos translacionais em cada classe dos mapas temáticos considerados como fatores condicionantes da suscetibilidade a deslizamentos. Os resultados podem ser observados no Quadro 8 (onde ID são os identificadores de cada classe, P_p são as probabilidades a priori de ocorrer cada classe e C_p são as probabilidades condicionadas de ocorrer deslizamentos translacionais em cada classe) e nas Figuras 20, 21 e 22.

Quadro 8 - Scores das variáveis utilizadas na construção do modelo de suscetibilidade. As variáveis com maior influência na distribuição dos movimentos estão assinaladas em negrito.

<u>Orientação da Encosta</u>					
Classe	ID	Área	Á. Afetada	<i>Pp</i>	<i>Cp</i>
N	1	17202	77	0,070954809	0,004476224
NW	2	26348	146	0,108680229	0,005541218
W	3	42540	172	0,17546899	0,004043253
SW	4	46693	94	0,192599284	0,00201315
S	5	37488	170	0,1546305	0,004534784
SE	6	28597	163	0,117956904	0,005699899
E	7	12212	59	0,050372057	0,004831313
NE	8	13302	47	0,054868089	0,003533303
F	9	18054	15	0,074469138	0,000830841
<u>Forma da Encosta</u>					
Classe	ID	Área	Á. Afetada	<i>Pp</i>	<i>Cp</i>
CONCAVO	1	106389	495	0,438833342	0,004652737
PLANO	2	17964	12	0,074097906	0,000668003
CONVEXO	3	118083	436	0,487068752	0,003692318
<u>Declividade</u>					
Classe	ID	Área	Á. Afetada	<i>Pp</i>	<i>Cp</i>
0--5	1	26853	15	0,110763253	0,000558597
5--10	2	16040	0	0,066161791	0
10--15	3	39024	7	0,160966193	0,000179377
15--20	4	51791	200	0,213627514	0,003861675
20--25	5	49580	224	0,204507581	0,004517951
25--30	6	31095	200	0,128260654	0,006431902
30--40	7	22866	249	0,094317676	0,01088953
>40	8	5187	48	0,021395337	0,009253904

Figura 20 – Probabilidades a Priori e Probabilidades Condicionadas para a Orientação da Encosta.

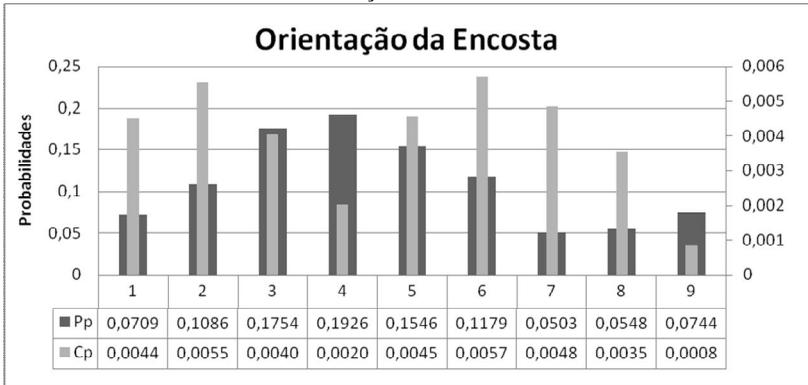


Figura 21 – Probabilidades a Priori e Probabilidades Condicionadas para a Forma da Encosta.

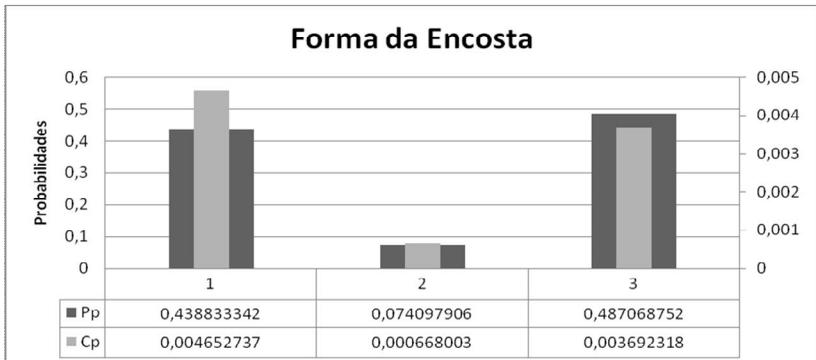
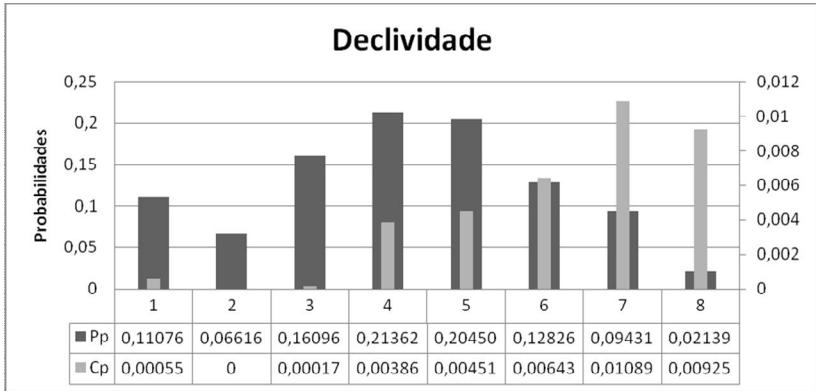


Figura 22 – Probabilidades a Priori e Probabilidades Condiçionadas para a Declividade.



Ao analisar os resultados nota-se um baixo valor de probabilidade condicionada para as classes, dos três mapas, relativas às áreas planas ou de baixa declividade (classe 0-5 graus da Declividade com valor 0,00055, classe plano da Forma da Encosta com valor 0,00066 e classe flat da Orientação da Encosta com valor 0,00083). Faz-se necessário lembrar que somente a cabeceira dos deslizamentos translacionais foi considerada no modelo, sendo desconsiderada a área de deposição do material deslizado, a qual, na maioria dos casos, coincide com as áreas planas ou de baixa declividade. Sabe-se do risco a que estão submetidas às áreas abaixo de encostas instáveis, pois como enfatiza Kobiyama (2004), há mais prejuízos sócio-econômicos nas áreas de deposição do que nas áreas próximas a ruptura do movimento. No entanto, o material deslizado que alcançou as áreas de baixa declividade foi proveniente de um processo de fluxo, caracterizado pela evolução dos deslizamentos translacionais desencadeados em alta declividade. Como cada movimento de massa sofre diferentes influências dos fatores condicionantes foi necessário separar os deslizamentos dos fluxos. Posteriormente pode-se realizar outro modelo de suscetibilidade referente aos fluxos (CHUNG E FABBRI, 2003).

No que se refere aos valores das classes da declividade observa-se um valor de C_p de 0,00055 na classe de menor declividade. Ocorreu que alguns deslizamentos tiveram suas áreas de ruptura muito próximas aos topos de morro, afetando uma pequena porção destas áreas. A partir da segunda classe ocorreu o esperado, a classe 5-10 graus não foi afetada por deslizamentos e sucedeu um aumento gradativo de C_p até a classe 30-40 graus, com uma pequena diminuição na classe >40. A

diminuição do valor de C_p na classe de maior declividade deve-se a pequena área representada por esta classe na área de estudo, com valor de P_p muito inferior as outras classes (0,02). Estes resultados eram esperados, pois assemelham-se aos obtidos em outros trabalhos (ZÊZERE *et al.* 2006; REIS *et al.* 2003) e como coloca Carvalho e Galvão (2006) os planos de ruptura dos deslizamentos translacionais ocorrem em alta declividade com solos pouco desenvolvidos.

Com relação aos indicadores da suscetibilidade do fator orientação da encosta, a classe SE possui o maior valor de C_p , 0,0057 e as classes L e S também apresentaram valores elevados, cada uma com 0,0048 e 0,0045, respectivamente. Esta situação pode ter sofrido influência das condições atmosféricas presentes no desastre de 2008. De acordo Frank e Sevegnani (2009) a evolução do centro de baixa pressão ocasionou ventos de Sudeste no dia 21 de novembro, virando gradativamente para Nordeste até o dia 24. Segundo Aumond *et al.* (2009), a entrada de ventos de Sudeste a Nordeste no Vale do Itajaí é favorecida pela sua posição geográfica voltada para Leste. Tais ventos trazem umidade do oceano para as Serras do Leste Catarinense, localizada paralela à linha de costa. A elevada altitude do relevo dificulta a passagem dos ventos úmidos em direção ao interior, resultando no aumento da precipitação (BINI, 2012). Acrescenta-se a este quadro a elevada umidade a que estão submetidas às vertentes voltadas para o quadrante Sul, levando em consideração que o sol atinge as superfícies abaixo do Trópico de Capricórnio sempre a partir do Norte. Porém, a segunda classe com maior valor de P_c foi a NW, com 0,0055. Considerando que esta classe representa as vertentes voltadas para a direção contrária da classe SE o que se conclui desta análise é que a orientação da encosta não apresenta uma forte correlação com os deslizamentos translacionais na área de estudo.

Observando os valores das classes da forma da encosta nota-se um valor elevado na classe côncavo (0,0046). O relevo côncavo se traduz em fluxos convergentes, aumentando os gradientes hidráulicos na direção dos vértices da encosta, sendo responsável por forças de percolação elevadas que são importantes na deflagração dos movimentos (CARVALHO *et al.*, 2009). Dietrich & Montgomery (1998), concordam que formas côncavas são áreas de concentração de água e elevação mais rápida das cargas de pressão durante as chuvas, sendo mais suscetíveis a rupturas, uma vez que necessitam de menor volume de água para atingirem esse limiar. Para Fernandes *et al.* (2001), a forma da encosta exerce grande influência no controle da distribuição espacial dos deslizamentos. Ao aplicar o modelo matemático

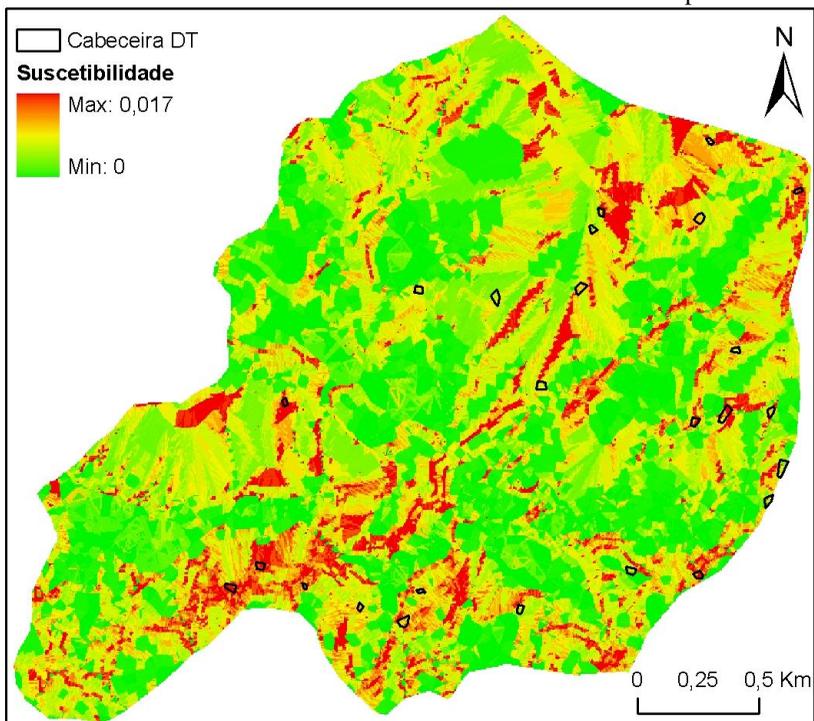
SHALSTAB, o referido autor encontrou nas vertentes côncavas um potencial de deslizamento três vezes maior que nas outras classes.

4.5. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS

O modelo aplicado, baseado na análise estatística/probabilística, comparou as unidades de terreno correspondente aos deslizamentos conhecidos e as correspondentes as características físicas das encostas. As características físicas do terreno, consideradas como fatores de instabilidade, analisadas nesta pesquisa foram: Declividade, Orientação da Encosta e Forma da Encosta.

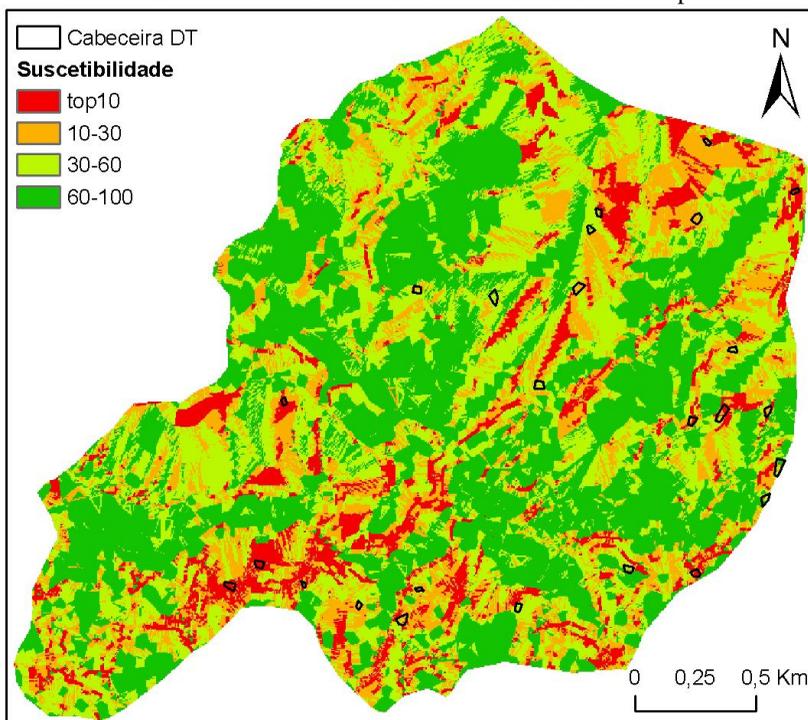
Com o objetivo de obter a probabilidade de encontrar um deslizamento na presença dos diversos mapas temáticos procedeu-se com a integração das probabilidades. O resultado da integração das probabilidades pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Suscetibilidade a deslizamentos translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior com as cabeceiras dos deslizamentos sobrepostas.



Considerando a utilização do mapa de suscetibilidade a deslizamentos, para o planejamento do território ou fins pedagógicos, é recomendável a classificação dos dados. Neste trabalho o método utilizado para a divisão em classes dos valores contínuos do resultado foi com base na análise da taxa de sucesso. Os dados foram classificados em quatro classes em ordem decrescente de suscetibilidade: 0-10, 10-30, 30-60 e 60-100% da área de maior suscetibilidade, conforme a Figura 24.

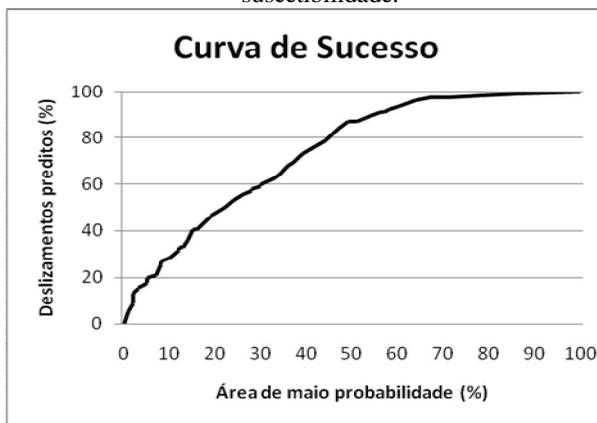
Figura 24 - Suscetibilidade a deslizamentos translacionais do alto da bacia do Ribeirão Belchior, com os dados classificados em ordem decrescente de suscetibilidade e com as cabeceiras dos deslizamentos sobrepostos.



4.5.1. Validação dos Resultados da Suscetibilidade a Deslizamentos Translacionais

Os resultados foram validados de duas maneiras, a primeira sobrepondo o mapa de suscetibilidade com os mesmos deslizamentos que o originaram, gerando as taxas de sucesso do modelo, estas podem ser observadas na Figura 25 que representa a curva de sucesso.

Figura 25 – Área de deslizamentos translacionais preditos para a área de maior suscetibilidade.

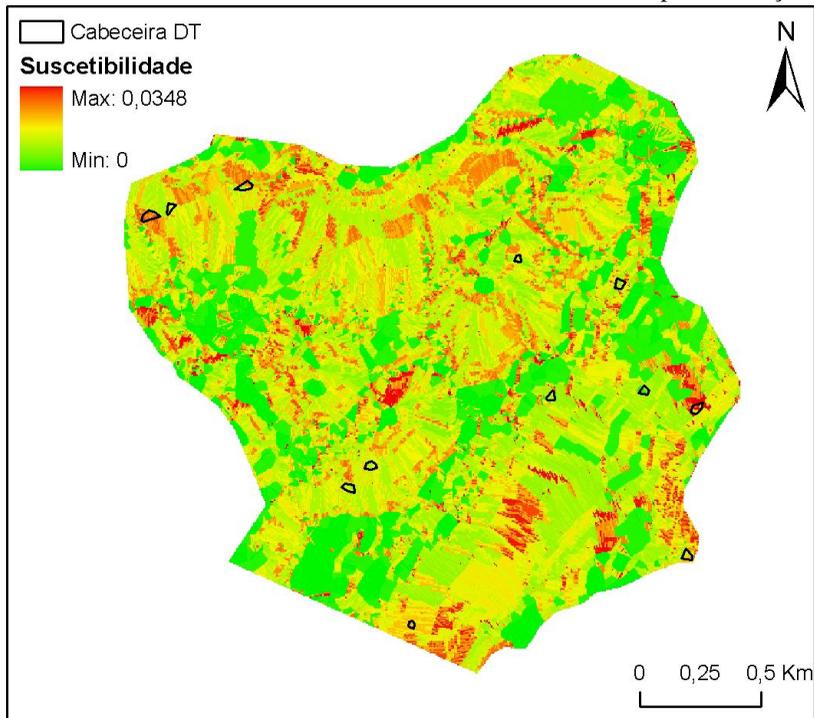


Através da curva de sucesso observa-se que com 10% de área de maior suscetibilidade foram preditos aproximadamente 30% dos deslizamentos, com 30% da área de maior suscetibilidade foram preditos aproximadamente 60% dos deslizamentos e com 60% da área de maior suscetibilidade foram preditos mais de 90% dos deslizamentos.

No entanto, a taxa de sucesso mede a qualidade do ajuste do modelo aos seus dados de entrada e, mesmo assumindo que os deslizamentos futuros ocorram sob condições semelhantes aos deflagrados no passado, a validação pode ser mais bem realizada com um conjunto de deslizamentos independentes dos que foram usados na geração das probabilidades, desse modo gerando a taxa de predição (REMONDO *et al.* 2003).

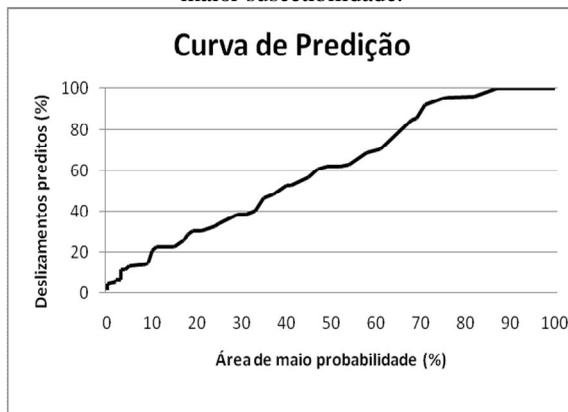
A Figura 26 representa a área teste com as probabilidades geradas pelos dados da área de estudo e a cabeceira dos deslizamentos translacionais utilizados para validação.

Figura 26 - área teste com as probabilidades geradas pelos dados da área de estudo e a cabeceira dos deslizamentos translacionais utilizados para validação.



Com os deslizamentos de teste foi gerada a taxa de predição, representada pela curva de predição na Figura 27.

Figura 27 – Área de deslizamentos translacionais de teste preditos para a área de maior suscetibilidade.



De acordo com a curva de predição com 10% da área de maior suscetibilidade foram preditos 20% dos deslizamentos, com 30% da área de maior suscetibilidade foram preditos aproximadamente 40% dos deslizamentos e com 60% da área de maior suscetibilidade foram preditos aproximadamente 70% dos deslizamentos.

Como a taxa de sucesso mede a qualidade do ajuste do modelo aos seus dados de entrada e a taxa de predição fornece a validação da suscetibilidade, independente do modelo, é esperado uma taxa de sucesso melhor que a taxa de predição (CHUNG E FABBRI, 2003), como pode-se notar tal expectativa se confirmou nesta pesquisa.

4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a curva de sucesso tenha revelado um ajuste aceitável do modelo aos dados de entrada, prevendo 30% e 60% dos deslizamentos com 10% e 30% da área de maior suscetibilidade respectivamente; a curva de predição, onde a validação pode ser analisada de maneira mais consistente, nos mostra que com 10% e 30% da área de maior suscetibilidade foram preditos aproximadamente 20% e 40% dos deslizamentos, respectivamente.

Buscar padrões de comportamento na natureza por meio de modelos matemáticos é uma tarefa impossível de ser realizada com perfeição. Almeja-se com os modelos uma resposta rápida e com a maior qualidade possível. O modelo aplicado nesta pesquisa revelou um grande potencial para a análise da suscetibilidade a deslizamentos,

mesmo não obtendo com as variáveis aqui utilizadas um ótimo resultado.

A maioria dos trabalhos desenvolvidos no Brasil utiliza métodos diretos para avaliação da suscetibilidade (SAITO, 2004; DIAS, 2000; CRISTO, 2002). A subjetividade dos métodos diretos, onde a suscetibilidade é definida qualitativamente para uma dada área, foi nesta investigação, substituída por um método estatístico/probabilístico.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A qualidade e quantidade dos temas cartográficos considerados como fatores condicionantes dos deslizamentos têm importância vital na avaliação da suscetibilidade. A escolha da informação de base influenciará diretamente o resultado. Entretanto, obter informação cartográfica de qualidade e com elevada correlação com os deslizamentos nem sempre é possível.

5.1. CONCLUSÕES

O modelo probabilístico proposto por Chung e Fabbri (1999) se mostrou uma alternativa para a avaliação da suscetibilidade a deslizamentos. A aplicação do modelo na região do Morro do Baú permitiu quantificar as unidades de terreno com relação à suscetibilidade a deslizamentos translacionais.

O cruzamento dos temas cartográficos em ambiente SIG permitiu avaliar separadamente cada um dos fatores condicionantes dos deslizamentos considerados neste trabalho. A declividade e a forma da encosta apresentaram resultados esperados, de acordo com pesquisas pretéritas (CARVALHO *et al.*, 2009; REIS *et al.*, 2003), todavia a orientação da encosta não apresentou uma forte correlação com os deslizamentos translacionais da área de estudo.

Ao validar o modelo, as taxas de sucesso mostraram-se aceitáveis, porém, as taxas de predição revelaram a necessidade de ajustes. A baixa correlação do fator orientação de vertente influenciou negativamente o resultado. Os deslizamentos que não foram corretamente preditos pelo modelo foram influenciados por fatores condicionantes que não foram considerados neste trabalho, podendo estes, serem adicionados em futuras análises.

5.2. RECOMENDAÇÕES

Apesar de se ter trabalhado com um modelo estatístico, a dificuldade de aquisição de dados cartográficos com qualidade que permita uma análise criteriosa representou uma dificuldade para realização desta pesquisa. Optou-se por se trabalhar com três fatores condicionantes, porém, com a confiabilidade de que todos foram gerados a partir da mesma base cartográfica, a Carta Digital Planialtimétrica em escala 1:10.000 proveniente da Prefeitura do Município de Gaspar.

Sabendo que a disponibilidade de dados cartográficos tende a aumentar, em quantidade e qualidade, recomenda-se, quando possível, a utilização de mais variáveis, possibilitando, dessa maneira, a realização de testes no modelo até efetuar-lo somente com as variáveis mais relevantes referentes a distribuição espacial dos deslizamentos.

Aconselha-se também, caso haja disponibilidade de dados, incluir na análise o fator temporal, isto é, utilizar duas ou mais amostras de deslizamentos de épocas distintas, com este procedimento será possível estimar a probabilidade de ocorrência de futuros deslizamentos em um certo período, como por exemplo, nos próximos 30 anos uma área poderá ser afetada por deslizamentos. Conforme Chung e Fabbri (2003), este tipo de análise servirá melhor ao planejamento do território.

Da mesma forma é recomendável que posterior a avaliação de suscetibilidade a deslizamentos translacionais, realize-se a avaliação da suscetibilidade aos fluxos, que muitas vezes representam a evolução dos movimentos translacionais e tendem a causar danos ainda maiores que este último ao atingirem as áreas de baixa declividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. C. G. **Desastres Naturais e Geotecnologias: GPS**. INPE/CRS: Santa Maria, 2008. 24p. Disponível em: http://www.inpe.br/crs/geodesastres/imagens/publicacoes/cadernos/Caderno3_pdf. Acesso em: 20 de julho de 2010.

ALCANTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, 1167, 2002, 18p.

ALHEIROS, M. M. **Manual de ocupação dos morros da região metropolitana de Recife.** Programa Viva o Morro. Recife: FIDEM/ATEPE, 2003. 384 p.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco a escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP.** 1994. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994.

AUMOND, J. J.; SVEGNANI, L.; TACHINI, M.; BACCA, L. E. Condições Naturais que tornam o Vale do Itajaí Sujeito aos Desastres. In: FRANK Beate e SEVEGNANI, Lucia. (Org.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política.** Blumenau: Agência das águas do Itajaí, 2009, p. 22 –37.

BAUZYS, F. **Identificação, Análise e Mapeamento dos Movimentos de Massa Ocorridos em Novembro de 2008, no Alto da Bacia do Ribeirão Belchior, Gaspar – SC.** 2010. 237 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais.** Volume 3. Ed. Florianópolis: UFSC, 2003.

BINI, G. M. P. **Análise dos Movimentos de Massa nas Microbacias Fluviais: Saltinho, Belchior Baixo, Sertão e Porto Arraial - Gaspar – SC.** 2012. 185 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2012.

CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. **Hillslope form and process.** London: Cambridge University Press, 1975. 475 p.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO T. (org.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais.** Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 111 p.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA A. T. (org.). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios.** Brasília:

Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

CARVALHO, C. S.; SEABRA F. M.; FERREIRA L. A.; GALVÃO T. (org.) **Gestão e Mapeamento de Riscos Socioambientais – Curso de Capacitação**. Brasília: Ministério das Cidades – Secretaria de Programas Urbanos, 2009. 193 p.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres. Volume 1: Desastres Naturais**. Brasília: MPO, 2003. 177 p.

CEPED. **Resposta ao desastre em Santa Catarina no ano de 2008: avaliação das áreas atingidas por movimentos de massa e dos danos em edificações durante o desastre**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED, 2009.

CHI, K.; PARK, N.; CHUNG, C. **Fuzzy logic integration for landslides hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea**. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications. Japan, Ottawa. 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos processos de planejamento. *In*: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs.) Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos. 5ª. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2003, p. 415 - 440.

CHUNG, C.F.; FABBRI, A. **Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping**. Natural Hazards, 30. Kluwer: Dordrecht p. 451–472, 2003.

CHUNG, C.F.; FABBRI, A. **Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 65 (12), p. 1389-1399. 1999.

CPTEC. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliEsp10a/chuesp.html>
Acesso em: 22/08/2012.

CRISTO, S. S. V. **Análise de suscetibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor Leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis – SC**. 2002. 211 f.

Dissertação (Mestrado em geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DA PARAÍBA. Disponível em: <http://www.defesacivil.pb.gov.br/paginas/comodeclarar.htm>. Acesso em: 12/02/2012.

DIAS, F. P. **Análise da suscetibilidade a escorregamentos no bairro Saco Grande, Florianópolis-SC.** 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2000.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D.R. **SHALSTAB: A digital terrain model for mapping shallow landslide potential.** National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, Technical Report: 26p. 1998.

ERBA D. A. **Catastro Multifinalitario y las Intervenciones Urbanísticas.** Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge, 2005. 26p.

FARAH, F. **Habitação e encostas.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente.** 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 123-194.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. **Condicionantes geomorfológicos dos escorregamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, n. 1, 2001 p. 51-71,

FRANK, B.; SEVEGNANI, L (org). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: Água, gente e política.** Blumenau: Agencia de água do Vale do Itajaí, 2009. 192 p.

GARCÍA-TORNEL, F. C. **Algunas cuestiones sobre geografía de los riesgos.** Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Nº 10, 1997.

GOODCHILD, M. F.; KEMP, K. K. (Ed.). NCGIA Core Curriculum in GIS. Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, 1990. Disponível em: <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/toc.html#UNIT23>. Acesso em: 10 jun. 2012.

GOETZ J. N.; GUTHRIE R. H.; BRENNING A. **Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models:** *Geomorphology*, 2011. 46p.

GRANDO A.; MACIEL C. B.; CORSEUIL C. W.; MACCARINI M.; KOBIYAMA M.; HIGASHI R. A. R. **Desastres Naturais e Antropogênicos: estudo de caso do projeto resposta ao desastre em Santa Catarina no Ano de 2008.** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, 2009.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. *In:* GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.) *Geomorfologia, uma Atualização de Bases e Conceitos.* 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 149-199.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e escavação.** São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

GUIDICINI, G.; IWASA O.Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido.** São Paulo: IPT. Publicação nº. 1080. 1976, 48 p.

HERRMANN, M.L (org.) **Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina.** Florianópolis: IOESC, 2006. 146 p.

HIGHLAND, L.M., and BOBROWSKY, P. **The landslide handbook: A guide to understanding landslides.** Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008.129 p.

IBGE. **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Geologia.** Florianópolis, 2003 (a). 61p.

IBGE. **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Geomorfologia.** Florianópolis, 2003 (b). 56p.

IBGE. **Projeto Gerenciamento Costeiro, 3ª fase-Solos.** Florianópolis, 2003 (c). 703p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 12 de março 2011.

IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Ocupação de encostas.** São Paulo: 1991, p. 69-93.

JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO. Edição de 29/11/2008. É preciso aprender com os erros e as tragédias. O Estado de São Paulo digital. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/impreso,e-preciso-aprender-com-os-erros-e-as-tragedias,285986,0.htm> Acesso em: 20/02/2012.

KOBIYAMA, M.; SILVA, R.V.; CHECCHIA, T.; ALVES, A. Mapeamento de área de perigo com consideração do alcance da massa deslizada: estudo de caso. *In*: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.117-128.

KÖPPEN, Wilhelm. **Climatologia.** México: Fondo de Cultura, 1948.

LACRUZ, M.S.P.; JÚNIOR, M.A. **Desastres naturais e geotecnologias: Sistemas de Informação Geográfica.** INPE/CRS: Santa Maria, 2008. 28p. Disponível em: http://www.inpe.br/crs/geodesastres/imagens/publicacoes/cadernos/Caderno4_sig.pdf. Acesso em: 20 de julho de 2010.

LAVELL, A. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. *In*: FERNÁNDEZ, M. A. **Ciudades en riesgo.** Degradación ambiental, riesgos urbanos e desastres em América Latina. Disponível em: <<http://www.lared.org.pe>> Acesso em: 20 mar. 2011.

LIMA, G. M. A. **Correlação Entre os Movimentos de Massa e a Cobertura Vegetal na Bacia do Braço do Baú, Município de Ilhota – SC.** 2009. Monografia (Monografia em Geografia) – Departamento de

Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

LIMA, G. M. A. ; BASTOS, L. C.; BELTRAME, A. V. **Correlação Entre os Movimentos de Massa e a Cobertura Vegetal na Bacia do Braço do Baú, Município de Ilhota – SC.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – III SIMGEO. Recife, 2010.

MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos básicos.** INPE/CRS: Santa Maria, 2008. 38p. Disponível em: http://www.inpe.br/crs/geodesastres/imagens/publicacoes/cadernos/Caderno1_Desastres%20Naturais-conceitosbasicos.pdf. Acesso em: 28 nov. 2010.

MARCELINO, E.V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto.** 2003. 228f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos. 2003.

MIDDELMANN, M. H. (org.) **Natural Hazards in Australia: Identifying Risk Analysis Requirements.** Canberra: Geoscience Australia, 2007.

MINUZZI, R.; RODRIGUES, L. **Novembro com recordes de chuva em SC: 1000 mm em Blumenau.** Epagri/Ci RAM. Florianópolis-SC, 2009.

ONU a. Disponível em: <http://www.onu.org.br/brasil-entre-os-mais-afetados-pelos-desastres-climaticos-em-2011-alerta-onu/>. Acesso em: 13/12/2012.

ONU b. disponível em: <http://www.onu.org.br/desastres-naturais-no-brasil-causaram-perdas-de-15-bilhoes-de-reais-diz-banco-mundial/>. Acesso em: 13/12/2012.

PARISE, M. **Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard.** Physics and Chemistry of the Earth. Vol 26, no 9, p. 697-703, 2001.

PELLERIN, Joel et al. **Timbé do Sul - Jacinto Machado: Avaliação preliminar da extensão da catástrofe de 23 - 24/12/95.** *Geosul*, Florianópolis, v. 12, n. 23, p. 71-86, jan./ jun. 1997.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. **Para Entender a Terra.** Tradução: Rualdo Menegat. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

REIS, E.; ZÉZERE, J.L.; VIEIRA, G.T.; RODRIGUES, M.L. **Integração de dados espaciais em SIG para avaliação da suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos.** *Finisterra*, XXXVIII, 76, Lisboa, p.3-34. 2003.

REMONDO, J.; GONZÁLEZ, A.; TERÁN, J.R.D.; CENDRERO, A.; FABBRI, A.; CHUNG, C.F. **Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain.** *Natural Hazards*, 30. Kluwer: Dordrecht p. 437-449, 2003.

SAITO, Silvia M. **Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no Maciço Central de Florianópolis-SC.** 2004. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Florianópolis, 2004.

SANTA CATARINA. **Plano Integrado de Prevenção e Mitigação de Riscos de Desastres Naturais na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí.** Florianópolis, 2009. 46p.

SANTOS, A. R. **A Grande Barreira da Serra do Mar – da Trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Bandeirantes.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2004. 122p.

SAUSEN T. M. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Sensoriamento Remoto.** INPE/CRS: Santa Maria, 2008. 39p. Disponível em: http://www.inpe.br/crs/geodesastres/imagens/publicacoes/cadernos/Caderno2_pdf. Acesso em: 20 de julho de 2010.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and process.** Oxford: Oxford University Press, 1982. 264p.

SILVA L. A. A.; MOURA R. Desastres Naturais ou Negligência Humana? **Revista Eletrônica Geografar**, Curitiba, v.3, n.1, 58-72 p. Jan./jun, 2008.

SMYTH, C.G.; ROYLE, S.A. Urban landslide hazards: incidence and causative factors in Niteroi, Rio de Janeiro State, Brazil. **Applied Geography**, nº20, p. 95-117. 2000.

TERLIEN, M. T. J., VAN WESTEN, C. J., VAN ASCH, T. W. J. Deterministic modeling in GIS-based landslide hazard assessment, **In**: A. CARRARA AND F. GUZZETTI (org.), *Geographic Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer: Dordrecht, 1995. p. 57-78.

VEYRET, Yvette (Org). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. Dílson Ferreira da Cruz (trad.). São Paulo: Contexto, 2007. 319p.

VIANNA, L. F. N.; SOUZA, J. M. **Relatório Sobre o Levantamento dos Deslizamentos Ocasionalmente Pelas Chuvas de Novembro de 2008 no Complexo do Morro Do Baú Municípios De Ilhota, Gaspar E Luiz Alves**. Epagri: Florianópolis, 2009. p. 101. Disponível em: http://ciram.epagri.sc.gov.br/areas_risco/Relatorio_Morro_Bau.pdf. Acesso em: 15 de junho de 2010.

ZÊZERE, J.L.; GARCIA, R.A.C.; OLIVEIRA, S.C.; REIS, E. **Análise sensitiva na avaliação da suscetibilidade a deslizamentos na Região a Norte de Lisboa**. Actas do X Colóquio Ibérico de Geografia “A Geografia Ibérica no contexto europeu”, Évora. 2006.

ANEXO

ANEXO 01

DESCRIÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA DA ÁREA DE ESTUDO

As fotografias coloridas podem ser encontradas na versão digital, a disposição na Biblioteca da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

- Deslizamento 1

O Deslizamento 1 ocorreu em uma propriedade produtora de carvão vegetal. Na lateral esquerda e acima do deslizamento ocorrem plantações de pinus e eucalipto, predominando este último. A área localiza-se em uma bacia suspensa. A ruptura ocorreu próxima ao topo da vertente. Este movimento caracteriza-se pelo plano de ruptura entre 1 e 1,5 metros com um substrato mais coeso por onde a massa deslizou, sendo classificado como translacional. A amplitude da vertente em questão possui um desnível de 80 metros, orientada preferencialmente para a direção Sudeste com declividade leve a moderada, tendo o movimento se iniciado em declividade entre 15 e 30 graus, gerando uma corrida de detritos que encaixou no eixo de drenagem (concavidade) percorrendo a porção inferior da vertente e 250 metros de área praticamente plana, onde depositou grande parte do material. Ao todo este deslizamento percorreu uma distancia de 520 metros, afetando uma área de 37775 m². De acordo com Bauzys (2010) foram soterrados 1000 eucaliptos, 250 pinus e 2 lagoas.

Deslizamento 1. Visto de longe parece um movimento rotacional, devido a sua amplitude e baixa declividade na porção inferior da vertente (A), entretanto, ao se aproximar observa-se um plano de ruptura entre 1 e 1,5 metros (B) e um substrato mais coeso por onde a massa deslizou (C).

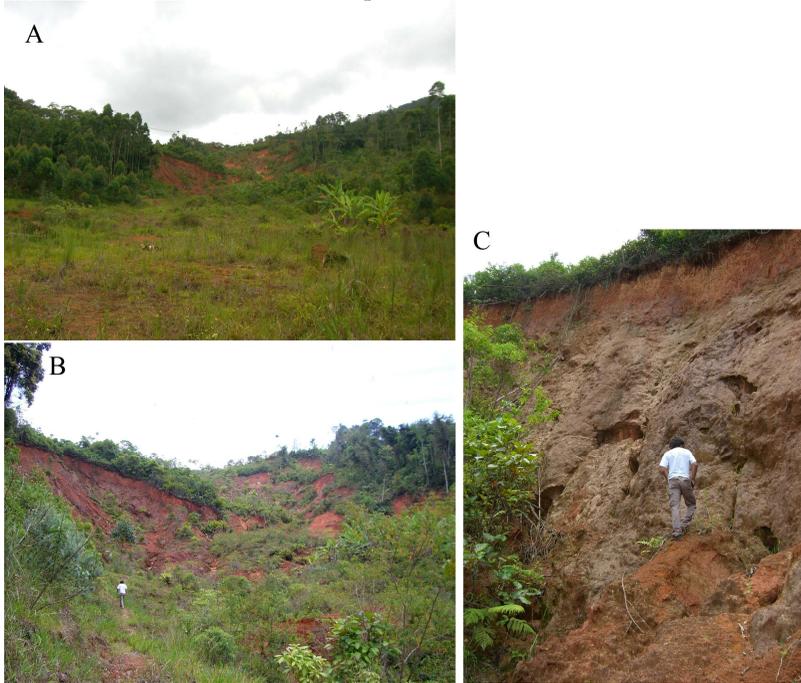


Foto: Lima (2011).

Na porção inferior da vertente, a esquerda do Deslizamento 1, há um movimento estagnado, porém recente, logo acima de uma residência e a direita do Deslizamento 1, a uma distância de aproximadamente 150 metros aconteceu o Deslizamento 2, mostrando que esta vertente pode estar sofrendo um processo único de evolução.

Ruptura circular atrás de residência.



Foto: Bauzys (2010).

- Deslizamento 2

O Deslizamento 2 ocorreu ao lado direito do Deslizamento 1, a uma distância de 150 metros. Mesmo sendo praticamente na mesma área e possuindo características semelhantes, a ruptura deste movimento deu-se em uma zona de menos impacto antrópico, sua cabeceira encontra-se em mata nativa a uma distância de 100 metros do reflorestamento de eucalipto. Seu plano de ruptura é 1 a 1,5 metros, tendo se iniciado na cota 350 e se estabilizado na cota 230. O substrato por onde a massa deslizou varia entre rocha sã e rocha podre, ficando este movimento classificado como translacional. A massa se dispersou por uma distância de 350 metros para a direção Sudoeste, afetando uma área de 31650 m². Nos primeiros 160 metros passa por declividade entre 20 e 40 graus, se estabilizando em declividade entre 10 e 20 graus. Estas características fizeram com que o movimento evoluísse para uma corrida de detritos até se estabilizar a uma declividade mais suave. Na pequena concavidade por onde a massa deslizou estabeleceu-se uma drenagem, esta é inexistente na base cartográfica, não se pode afirmar se ela já existia ou passou a existir depois do evento.

Cabeceira do Deslizamento 2.

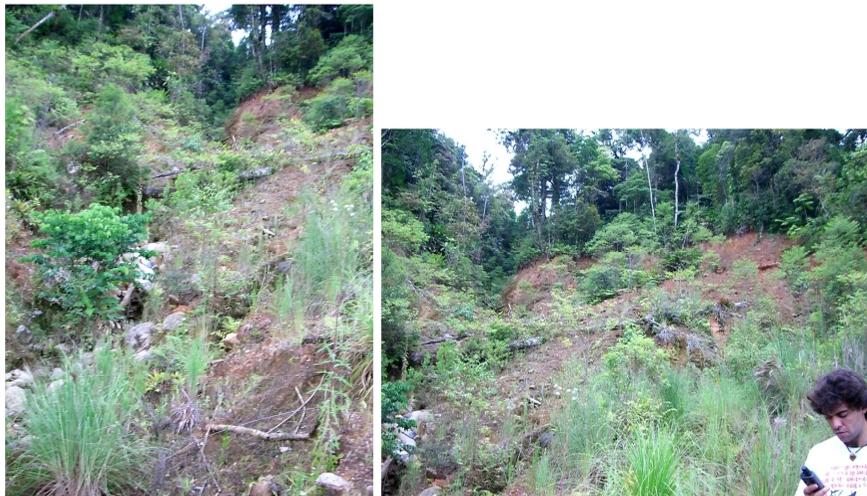


Foto: Lima (2011).

Vista panorâmica do Deslizamento 2.



Foto: Bauzys (2010).

- Deslizamento 3 e 4

Os deslizamentos 3 e 4 fazem parte do conjunto de 5 deslizamentos (deslizamentos 3, 4, 5, 6 e 7) de grandes dimensões que afetaram as vertentes recobertas de vegetação nativa voltadas para Sudeste de uma das bacias da área de estudo. Esta zona ficou bastante conhecida devido a explosão do gasoduto da empresa TBG, que corta a área de estudo no sentido norte – sul (BAUZYS, 2010). Ambos os deslizamentos encontram-se em declividade elevada (entre 20 e 30 graus), com planos de ruptura, próximos ao divisor de águas, em torno de 1 metro e foram classificados como translacional.

O Deslizamento 3 atravessa uma distância de 110 metros com declividade de 25 e 40 graus, possuindo comprimento total de 300 metros, quando chega a uma declividade mais suave perde força de transporte, entretanto, o volume de massa deslizada é tamanho que, mesmo com uma declividade entre 15 e 20 graus, transporta a massa em forma de corrida de detritos por mais 190 metros. Este deslizamento instabilizou uma área de 17125 m^2 , se encaixando em uma forma côncava – convexa voltada para a direção Sudeste. Iniciou-se na cota 400 e se estabilizou no eixo de drenagem na cota 290.

O Deslizamento 4 percorre 280 metros com declividade entre 20 e 30 graus, carreando o material dispersado a uma distância de 400 metros, também evoluindo como corrida de detritos. Seu plano de ruptura ocorreu na cota 460, enquanto o do Deslizamento 3 se deu na cota 400 metros. O Deslizamento 4 ocorreu em uma leve concavidade e instabilizou uma área de 20900 m². Ambos deslizaram por um substrato bastante coeso, fazendo aflorar a laje da rocha.

Vista panorâmica dos deslizamentos 3 (à esquerda), 4 (à direita) e detalhe em vermelho do Deslizamento 5, mostrando a proximidade entre estes três movimentos.



Foto: Bauzys (2010).

- Deslizamento 5

A ruptura do Deslizamento 5 distancia-se apenas 50 metros da ruptura do Deslizamento 4. Sua forma alongada e estreita é típica de deslizamentos translacionais rasos. Percorrendo 130 metros com declividade acima de 30 graus, deslocou-se a uma distância de 360 metros, deixando em sua parte superior aproximadamente 50 metros de rocha sã exposta. Assim como o Deslizamento 4, ocorreu em vertente côncava, perfeitamente encaixado no eixo de drenagem. Seu plano de ruptura, assim como dos deslizamentos 3 e 4, ocorreu próximo ao divisor de águas, na cota 480. Sua direção predominante é Sudeste-Sul e a massa deslizada afetou uma área de 10100 m².

Vista panorâmica do Deslizamento 5.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento 6

O Deslizamento 6 trata-se de um movimento de massa translacional com plano de ruptura em torno de 1 metro. Seu plano de ruptura ocorreu em declividade entre 25 e 30 graus, mas logo atingiu a base da vertente, onde depositou o material dispersado no eixo de drenagem principal desta bacia, bem como os deslizamentos 3, 4, 5 e como veremos em seguida o Deslizamento 7. Percorrendo uma distância de 220 metros para a direção Sudeste, o material dispersado encaixou-se numa forma côncava, instabilizando uma área de 10775 m². Diferentemente dos outros deslizamentos deste conjunto, o Deslizamento 6 ocorreu no terço inferior da encosta, próximo a cota 430 metros, longe do divisor de águas. Segundo Bauzys (2010) o rompimento da tubulação do gasoduto foi próximo a área de deposição deste movimento. Provavelmente o rompimento foi causado pela união das forças dos deslizamentos 6 e 7, este último de dimensão extraordinária logo a montante do mesmo vale.

Deslizamento 6 visto do outro lado do vale e da Rua Pedro Krause, onde observa-se a área por onde passa o gasoduto entre as estacas amarelas.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento 7

Este movimento foi o que percorreu o maior percurso da área de estudo, aproximadamente 900 metros desde o seu plano de ruptura, na cota 520, até o final de sua área de deposição na cota 320, instabilizando uma área de 47950 m². Sua ruptura ocorreu em declividade entre 25 e 30 graus de inclinação com o material sendo dispersado para a direção Sul-Sudeste. Quando chegou na cota 450 metros a declividade diminuiu mas o movimento já tinha evoluído como corrida de detritos e a velocidade já era suficiente para deslocar a massa mais adiante no decorrer do eixo do talvegue (forma côncava). Em seu percurso, na cota 420 metros, ganhou força ao desestabilizar a base do eixo de drenagem e gerar um pequeno movimento, como observa-se à esquerda da figura. Um pouco mais adiante, na cota 360, uni forças com o Deslizamento 6 e percorre mais 250 metros até a estabilização do movimento. Estima-se que o plano de ruptura do Deslizamento 7 siga o mesmo padrão dos demais deste conjunto (deslizamentos 3, 4, 5, 6 e 7) variando em torno de 1 metro.

Deslizamento 7 visto próximo ao eixo de drenagem pelo qual se encaixou o movimento e do outro lado do vale, sinalizado pela seta vermelha que direciona seu percurso em direção ao Deslizamento 6.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento 8

O Deslizamento 8 possui plano de ruptura de 2,5 metros ocorrendo próximo ao topo do morro, na cota 280. Se estendeu por 160 metros em direção Nordeste, deslocando-se por uma leve concavidade até atingir a cota 240 no fundo do vale. Próximo ao plano de ruptura a declividade varia entre 15 e 20 graus, entretanto, na meia encosta o movimento atravessa uma declividade entre 30 e 40 graus, o que provavelmente contribuiu para carrear o material dispersado por mais alguns metros. A massa deslizou sobre um substrato composto de blocos de rochas preservadas em meio a uma matriz de rocha podre.

Deslizamento 8 já com vegetação pioneira (A). Plano de ruptura com alinhamento da rocha, solo com pouca espessura (B).



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento 9.1, 9.2, 9.3 e 9.4

Bauzys (2010), em seu Mapa de Inventário do Alto da Bacia do Ribeirão Belchior, tratou esse conjunto como um único movimento. De acordo com a escala de detalhe adotada neste trabalho, esta área instabilizada foi dividida em quatro deslizamentos, todos eles translacionais. Verificou-se, durante o trabalho de campo, que este conjunto de deslizamentos, por encaixarem em uma estreita concavidade, possuem influência uns sobre os outros, principalmente o 9.3 e o 9.4 com 9.2. Já o Deslizamento 9.1 está situado há alguns metros do vale encaixado, sofrendo menos influência dos que estão mais a montante. As rupturas dos deslizamentos deste conjunto se deram em mata nativa e a área total instabilizada por estes quatro deslizamentos foi de 55950 m².

Vista panorâmica dos deslizamentos 9.1(à direita) e 9.2 (à esquerda).



Foto: Lima (2011).

O Deslizamento 9.1 é um movimento translacional com plano de ruptura em torno de 1 metro. Iniciou-se na cota 320 metros, próximo ao divisor de águas, dispersando a massa de terra por 80 metros até unir-se com a corrida de detritos dos deslizamentos 9.2, 9.3 e 9.4. Trata-se de um movimento de pequena dimensão encaixado em uma leve concavidade voltada para Sudoeste, com declividade entre 25 e 40 graus na porção superior.

Deslizamento 9.1.



Foto: Lima (2011).

O Deslizamento 9.2 possui plano de ruptura de aproximadamente 1 metro, iniciando-se próximo ao divisor de águas na

cota 370. A massa composta de pequenos blocos de rocha envoltas a uma matriz de terra deslizou sobre um substrato coeso, provavelmente representado pela rocha podre, em um desnível de 70 metros até se juntar ao material proveniente dos deslizamentos 9.3 e 9.4. A declividade desde a ruptura até a base da vertente é superior a 30 graus, o que deve ter aumentado significativamente a energia de transporte do fluxo de detritos gerado por todo esse conjunto de deslizamentos. A massa foi dispersada na direção Sudoeste-Oeste.

Deslizamento 9.2.



Foto: Lima (2011).

O Deslizamento 9.3 ocorreu encaixado em uma concavidade bem definida, deixando ainda mais rebaixado o eixo pelo qual deslizou. Estima-se seu plano de ruptura em 1,5 metros, estando classificado como deslizamento translacional. A ruptura ocorreu em declividade superior a 30 graus, na cota 370 e a massa dispersou-se por 150 metros, na direção Sudoeste-Oeste, até unir-se com o material dispersado pelo Deslizamento 9.4, direcionando-se para Sudeste. Pelo arranjo destes

deslizamentos no campo acredita-se que o Deslizamento 9.3 possa ter sido o principal deste conjunto, ajudando a deflagrar os demais.

Deslizamento 9.3 visto de uma de suas laterais.



Foto: Lima (2011).

O Deslizamento 9.4 se dispersou para a direção Sudeste-Leste em vertente côncava – convexa. Seu plano de ruptura é em torno de 1 metro e ocorreu próximo ao divisor de águas, na cota 390 metros. Desde a cabeceira percorreu 80 metros com declividade superior a 30 graus, percorrendo mais 60 metros em declividade entre 15 e 20 graus até se juntar com o material do Deslizamento 9.3.

Deslizamento 9.4 visto desde a interseção com o Deslizamento 9.3.



Foto: Lima (2011).

Os quatro deslizamentos que compõe este conjunto ocorreram em declividade alta, proporcionando uma energia de transporte que foi capaz de carrear a massa dispersada em forma de fluxo de detritos por aproximadamente 750 metros de distância. Felizmente não houve nenhuma vítima e nenhuma edificação foi atingida.

Deslizamentos 9.1 (à direita) e 9.2 (à esquerda) vistos da área de deposição do conjunto de deslizamentos 9.1, 9.2, 9.3 e 9.4. Ao lado esquerdo está o eixo de drenagem no qual o fluxo se encaixou.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento 10

O Deslizamento 10 ocorreu em uma forma concava com fragmentos de mata, em sua volta observa-se vegetação rasteira e um pequeno reflorestamento. Possui plano de ruptura entre 0,5 e 1 metro, tendo se iniciado na cota 310, próximo ao topo da vertente, e deslizado por relevo com declividade superior a 30 graus para a direção Norte. Dispersando-se por cerca de 110 metros, chegou a interromper a Rua José Schmitt Sobrinho. Identificou-se uma drenagem fluindo sobre a rocha sã no eixo da concavidade. Este substrato impermeável proporcionou um plano de fraqueza, por onde a água infiltrou-se, instabilizando o pacote de solo subjacente, favorecendo desse modo sua dispersão. A área total instabilizada foi de 1825 m².

O Deslizamento 10 ocorreu em uma leve concavidade com fragmentos de mata, em sua volta pasto com vegetação rasteira.



Foto: Bauzys (2010).

Cabeceira do Deslizamento 10, passados três anos após o evento a vegetação começa a se recuperar. Observa-se uma “ilha” com vegetação arbustiva que provavelmente deslizou como uma unidade até estabilizar-se no meio do anfiteatro.



Foto: Lima (2011).

Eixo de drenagem no Deslizamento 10.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento 11

Este movimento é do tipo translacional com plano de ruptura de 1,5 metros. Ocorreu em encosta levemente convexa, voltada para a direção Noroeste-Norte, recoberta de mata nativa. Sua ruptura deu-se na cota 190, em declividade entre 30 e 40 graus. A alta declividade na parte superior do movimento favoreceu sua força de transporte, o material dispersado percorreu uma distância de 315 metros até a Rua José Schimitt Sobrinho. Apesar de sua ruptura dar-se em declividade alevada, a parte média e inferior do movimento, de 265 metros de extensão, ocorreu em declividade entre 15 e 25 graus. A massa deslizou no contato solo/rocha. A área total instabilizada foi de 17290 m².

Deslizamento 11 com sua área de deposição (à esquerda) e com detalhe de sua cabeceira com a laje da rocha exposta e entorno de mata nativa (à direita).



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento 12

Segundo Bauzys (2010) o Deslizamento 12 constitui-se de pequenos movimentos translacionais que encaixaram no eixo de drenagem, formando um fluxo de detritos. De acordo com a mesma autora o movimento atingiu uma residência e provocou a morte de duas pessoas.

Estima-se o plano de ruptura em torno de 1 metro. O movimento se estendeu por cerca de 420 metros, praticamente do topo (cota 250) a base (cota 80) da vertente recoberta por mata nativa. Na parte superior do movimento a declividade está entre 30 e 40 graus, diminuindo levemente em direção a parte inferior, onde a declividade varia entre 20 e 25 graus. O fluxo deu-se, prioritariamente, na direção Sudeste em relevo nitidamente côncavo e instabilizou uma área de 10825 m^2 .

Cicatriz do Deslizamento 12.



Foto: Lima (2011).

Concavidade por onde fluiu o Deslizamento 12.



Foto: Bauzys (2010).

- Deslizamento 13

Classificado como translacional, o Deslizamento 13 possui plano de ruptura de 1 metro, assim como os deslizamentos 14 e 15. O Deslizamento 13 alcançou uma residência sem causar nenhum dano, chegou até a base da vertente e obstruiu o ribeirão a jusante, mudando seu curso. Sua ruptura ocorreu na cota 185 metros, em declividade moderada, entre 20 e 25 graus, aumentando para o intervalo 25-30 graus na porção intermediária da cicatriz, o que provavelmente fez com que o movimento tivesse energia suficiente para obstruir a drenagem na base da encosta. Seu entorno é de mata nativa. A massa dispersou-se por 200 metros em direção leste/nordeste por uma forma convexa, instabilizando uma área de 6550 m².

Local do Deslizamento 13 com obras de contenção e retaludamento.



Foto: Bauzys (2010).

- Deslizamento 14

O Deslizamento 14 foi classificado como translacional e instabilizou uma área de 9150 m² de mata nativa. Seu plano de ruptura foi estimado em 0,5 metros, ocorrendo na cota 190 em declividade moderada entre 15 e 30 graus, entretanto, na parte inferior da encosta passa por um desnível de 20 metros com declividade acentuada, superior a 40 graus, possuindo energia suficiente para carrear o material por mais 100 metros em declividade inferior a 5 graus. O movimento ocorreu em uma vertente convexa voltada para Noroeste e percorreu 170 metros até estabilizar-se no eixo do talvegue.

Deslizamento 14 envolto de mata nativa.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento 15

Este movimento ocorreu em encosta de mata nativa e chegou a atingir uma residência sem causar maiores danos. Foi classificado como translacional e possui plano de ruptura de 0,5 metros. A massa dispersada encaixou em uma forma côncava voltada para a direção Noroeste-Oeste. Seu plano de ruptura ocorreu na cota 170 com uma declividade entre 30 e 40 graus, gerando um pequeno fluxo de detritos que se estendeu por aproximadamente 100 metros até se estabilizar na planície aluvial. O Deslizamento 15 instabilizou uma área de 3450 m². Foi possível observar uma residência sendo construída em frente a este deslizamento.

Plano de ruptura do Deslizamento 15.



Foto: Lima (2011).

Residência sendo construída em frente ao Deslizamento 15.



Foto: Bauzys (2010).

- Deslizamento 16

O Deslizamento 16 ocorreu em área de mata nativa próximo ao topo da vertente, sendo classificado como translacional. Segundo Bauzys (2010) o material, que deslizou sobre uma laje de rocha, se comportou como fluxo de detritos e destruiu uma residência. Seu plano de ruptura de 1 metro ocorreu na cota 480 em declividade entre 30 e 40 graus, porém, em sua porção intermediária passa por uma declividade superior a 40 graus, o que pode ter acrescentado velocidade ao movimento que se estendeu por 160 metros na direção Oeste-Sudoeste e afetou uma área de 5950 m².

Deslizamento 16 visto desde a área de deposição.



Foto: Bauzys (2010).

- Deslizamento n1

O Deslizamento n1 localiza-se em local de difícil acesso, em um vale encaixado no qual corre uma drenagem perene. Acima de sua cabeceira nota-se um reflorestamento de eucalipto. Este movimento foi classificado como translacional, apesar de a cicatriz se apresentar de maneira similar a de um movimento rotacional, contatou-se um plano de ruptura raso, de 2 metros de altura e um substrato mais coeso por onde a massa deslizou. A ruptura deu-se na cota 260 com declividade entre 30 e 40 graus com a massa deslizando por 130 metros, ultrapassando o córrego subjacente e o obstruindo. Afetando uma área de 4225 m² o material dispersou-se por relevo levemente côncavo voltado para a direção Sul-Sudeste.

Deslizamento n1 com reflorestamento de eucalipto acima da cabeceira.

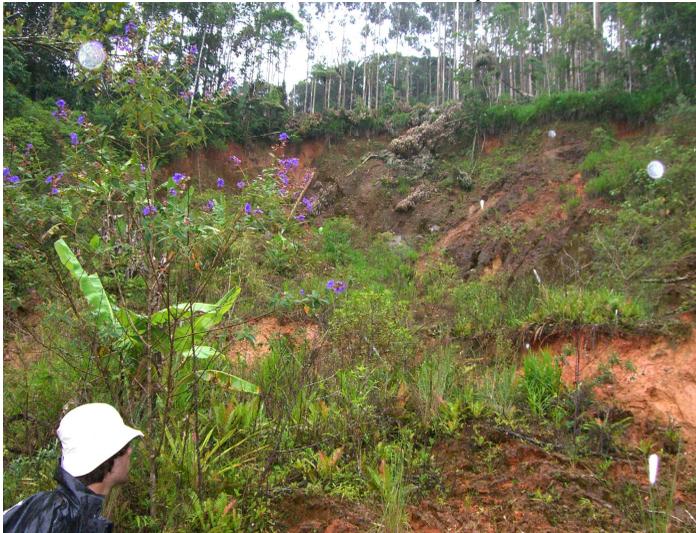


Foto: Lima (2011).

- Deslizamento n2

Este deslizamento ocorreu em ambiente de mata nativa e foi classificado como translacional. Sucedeu aqui um processo característico de deslizamento translacional raso, com um fino pacote de solo deslizando no plano de fraqueza formado pelo contato solo/rocha, deixando a rocha sã exposta. O plano de ruptura de 0,5 metros deu-se na cota 170 em declividade superior a 40 graus. Na porção intermediária e inferior do movimento a declividade varia entre 30 e 40 graus em uma vertente voltada para a direção Norte. O material transportado se deslocou por aproximadamente 100 metros até estacionar na planície aluvial, afetando uma área de 2750 m².

Deslizamento n2 e seu entorno.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento n3

O Deslizamento n3 ocorreu em área de mata nativa próximo ao topo de uma encosta voltada para a direção Noroeste. Observa-se uma torre de energia no topo da encosta e bem próxima ao movimento, podendo ter tido alguma influencia na estabilidade da vertente em questão. Este pequeno deslizamento, classificado como translacional, ocorreu na cota 230 em declividade acima de 40 graus e estabilizou-se na cota 180 em declividade entre 25 e 30 graus, percorrendo uma distancia de 60 metros e instabilizando uma área de 650 m². Seu plano de ruptura é estimado em 0,5 metros.

Deslizamento n3 com torre de energia acima de sua cabeceira.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento n4

O Deslizamento n4 ocorreu em ambiente de mata nativa dentro da propriedade de um parque aquático, felizmente este movimento de pequenas dimensões não causou danos. Com plano de ruptura de 1 metro, em encosta voltada para a direção Norte, o movimento se encaixou em uma leve concavidade, iniciando-se próximo a cota 250 em declividade entre 30 e 40 graus e estabilizando-se no eixo de drenagem na cota 190. Estendeu-se por 120 metros, afetando uma área de 4750 m^2 . Pode-se observar o substrato de rocha podre por onde o material dispersado deslizou e a orientação do mergulho das camadas da rocha são.

O Deslizamento n4 visto desde a base (A). O plano de ruptura e o substrato de rocha podre por onde o material dispersado deslizou (B). A orientação do mergulho das camadas da rocha sã (C).



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento n5

Este movimento ocorreu em área de mata nativa a aproximadamente 200 metros acima do gasoduto que cruza a área de estudo. Seu plano de ruptura possui 1 metro e ocorreu na cota 370 em declividade superior a 40 graus, estabilizando-se logo abaixo na cota 320 em declividade entre 10 e 15 graus. A massa dispersou-se na direção Noroeste-Oeste por 130 metros, encaixada em uma concavidade, afetando uma área de 4875 m². Este deslizamento atingiu o gasoduto sem chegar a romper a tubulação, todavia, a empresa responsável pelo gasoduto realizou grande obra de contenção na área deste movimento. É na cabeceira deste deslizamento onde inicia-se o grande degrau identificado na área de estudo.

Cabeceira do Deslizamento n5.



Foto: Lima (2011).

Foi identificado um degrau de grandes proporções com início logo acima deste deslizamento, estendendo-se por 420 metros na direção Nordeste. Ao longo de todo o degrau foi realizada uma obra de contenção, provavelmente pela empresa TBG, responsável pelo gasoduto situado alguns metros abaixo paralelamente ao degrau. No decorrer do degrau seu desnível varia entre 2 e 10 metros, conforme se observa nas Figuras.

Desnível do degrau com 10 metros de altura.



Foto: Lima (2011).

Desnível do degrau de apenas 2 metros com blocos de rochas preservadas em meio a uma matriz de rocha podre e solo.



Foto: Lima (2011).

- Deslizamento n6

Este movimento trata-se de um deslizamento translacional em ambiente de mata nativa. Sua ruptura ocorreu logo abaixo de um grande degrau de 420 metros de extensão na cota 410. A declividade deste trecho da vertente levemente convexa varia entre 20 e 25 graus. Este pequeno movimento se estendeu por 55 metros na direção Oeste, instabilizando uma área de 900 m².

Deslizamento n6 visto próximo ao plano de ruptura em direção a base.



Foto: Lima (2011).