Universidade de São Paulo
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

Michelle Odete dos Santos

**Análise de estabilidade de vertentes por meio da utilização dos métodos
de Feições Mínimas do relevo e Fator de Segurança**

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo

2015

Universidade de São Paulo
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

**Análise de estabilidade de vertentes por meio da utilização dos métodos
de Feições Mínimas do relevo e Fator de Segurança**

Michelle Odete dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia Física
do Departamento de Geografia para obtenção do
Título de Mestre em Geografia Física

VERSÃO CORRIGIDA

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Colangelo

SANTOS, M. O. **Análise de estabilidade de vertentes por meio da utilização dos métodos de Feições Mínimas do Relevo e Fator de Segurança:** Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia para obtenção do Título de Mestre em Geografia Física

Aprovado em:

Banca examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Strange fascination, fascinating me

David Bowie - Changes

Agradecimentos

Acredito que esta seja a parte mais complicada do trabalho, já que provavelmente esquecerei de agradecer alguém importante. Mesmo assim, tentarei!

Agradeço imensamente aos meus pais, por todas as oportunidades que me deram na vida, mesmo sendo um investimento de alto risco. Agradeço ao meu marido Paulo por todo apoio, amor, paciência, revisão de dissertação e sorvetes oferecidos ao longo de todos esses anos juntos. Agradeço ao meu sobrinho Augusto, por me mostrar que o diferente pode ser fantástico. Agradeço ao meu cachorro Zappa pelas sessões de um psicólogo que eu economizei.

Aos meus amigos agradeço muito, em especial ao Luiz e Paulo, pois sem vocês nunca teria descoberto os erros das minhas fórmulas e nem teria dado tantas risadas com tudo isso, ao Samuel por ter apontado que o que faltava era só referências, a Tatiane “Tate”, por ter corrigido meu inglês e ainda dito que o texto não estava tão ruim e a Camila por ter feito uma revisão batuta e ter me livrado da vergonha de publicar um monte de erros. Pois é, amigo é para estas coisas.

Aos meus amigos de FFLCH, aqueles que me aturam todos os dias no trabalho, onde falo incansavelmente sobre minha pesquisa e eles, pacientemente, escutam todas as palavras, dia a pós dia, o meu muito obrigada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Carlos Colangelo, agradeço por confiar no meu trabalho e em mim, e apoiar a pesquisa durante todo esse tempo. Agradeço ao DRM-RJ, em especial à Ingrid Lima pelo fornecimento de dados e informações.

Se esqueci alguém, peço que me desculpe, a cabeça já não funciona mais como antigamente, mas saiba que se você faz parte de alguma forma da minha vida, eu agradeço muito, porque nada é construído sem a presença e a força daqueles que nos cercam!

Sumário

INTRODUÇÃO	1
OBJETO E OBJETIVO	3
JUSTIFICATIVA	3
APORTES TEÓRICOS	5
Breve discussão epistemológica	5
A Geomorfologia quantitativa após a Segunda Guerra Mundial	8
Os elementos fundamentais de análise e os processos inerentes ao objeto	9
Fatores facilitadores aos movimentos de massa	10
Fatores deflagradores aos movimentos de massa	12
Características dos movimentos de massa	13
Materiais	13
Estado de atividade	14
Estilo da atividade	15
Velocidade	16
Conteúdo de água	17
Tipos de movimentos de massa	17
Classificação dos movimentos de massa	18
Os escorregamentos como processo de análise	22
As bacias e sub-bacias hidrográficas como unidade de análise	26
DEFINIÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	28
Caracterização socioeconômica	30
Características geológicas	30
Caracterização geomorfológica	32
Características pedológicas	34

Características climáticas	37
Dados das estações climáticas	37
Uso e ocupação da terra	40
MÉTODOS, MATERIAIS, TÉCNICAS E FERRAMENTAS	43
Feições Mínimas do relevo	44
Fator de Segurança	51
Parâmetros de clinografia	55
Pontos coletados nos desastres de 2011	56
<i>Breve definição de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e correlatos</i>	58
Materiais utilizados nas análises dos Sistemas de Informações Geográficas	61
Procedimentos para extração de informações morfométricas	62
Operações matemáticas: álgebra de mapas cumulativa	65
Métodos para a diminuição de ruídos em dados contínuos	67
Análise de dados anormais (outliers)	68
Análise estatística dos dados	69
APRESENTAÇÃO DE DADOS E INFORMAÇÕES	70
As Feições Mínimas da microbacia do Rio Fischer	70
Índices de Fator de Segurança na microbacia do Rio Fischer	70
Fatores de Segurança para solo drenado	70
Fatores de Segurança para solo saturado	70
As Feições Mínimas como unidade de análise para o Fator de segurança	74
Fator de Segurança para Feição Mínima do tipo Côncava-Côncava	74
Fator de Segurança para Feição Mínima do tipo Côncava-convexa	75
Fator de Segurança para Feição Mínima do tipo Convexa-côncava	75
Fator de Segurança para Feição Mínima do tipo Convexa-convexa	76
Relação entre pontos de escorregamentos mapeados e Fator de Segurança	85
ANÁLISE DOS DADOS	85

Áreas Côncavas-côncavas (CC-CC)	85
Áreas Côncavas-convexas (CC-CV)	86
Áreas Convexo-côncavas(CV-CC)	86
Áreas Convexo-convexas (CC-CC)	86
Índices de Fator de Segurança e declividade	87
Índices de Fator de Segurança e solos	87
Índices de Fator de Segurança e análise das forças solicitantes e resistentes	87
Possibilidade de escorregamentos em Feições Mínimas por meio da análise do Fator de Segurança	88
Relação entre pontos de escorregamentos mapeados e Feições Mínimas	90
CONCLUSÕES	95
Sobre o método	95
Sobre os dados	97
BIBLIOGRAFIA	100
ANEXO	106
Anexo I – Carta Clinográfica da microbacia do Rio Fischer	106

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - MODELO OCTAÉDRICO DOS "SISTEMAS NATURAIS TERRESTRES DE SUPERFÍCIE"	5
FIGURA 2 – ESTADO DE ATIVIDADE DOS MOVIMENTOS DE MASSA	15
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA SEGUNDO MATERIAL, VELOCIDADE E UMIDADE.	18
FIGURA 4 – CLASSIFICAÇÃO DE VARNES (1978), MODIFICADA POR CRUDENS E VARNES (1996).....	19
FIGURA 5 - BLOCODIAGRAMA REPRESENTANDO A FORMAÇÃO ESCULTURAL EM FUNÇÃO DOS FALHAMENTOS PRESENTES NA ÁREA.	34
FIGURA 6 - PADRÕES GEOMÉTRICOS DO RELEVO EM PLANTA E PERFIL PARA UMA UNIDADE IDEAL DE RELEVO.....	47
FIGURA 7 - COMBINAÇÕES POSSÍVEIS DAS MORFOLOGIAS DO RELEVO, SENDO RETILÍNEO (L), CONVEXO (V) E CÔNCAVO (C).....	47
FIGURA 8 - COMPORTAMENTO CLINODIRECIONAL DAS FEIÇÕES EM PLANTA E PERFIL.	48
FIGURA 9 - ESCORREGAMENTOS OCORRIDOS EM 2011, NA REGIÃO SERRANA FLUMINENSE.....	56
FIGURA 10 - ISOÍPSAS (ISOLINHAS DE ALTITUDE).....	63
FIGURA 11 - ESQUEMA DA FUNÇÃO BOUNDARY CLEAN.	67

Índice de tabelas

TABELA 1 - DEFINIÇÃO DA PROVÁVEL DESTRUIÇÃO DOS DESLIZAMENTOS EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE VELOCIDADE.	16
TABELA 2 - PARÂMETROS FÍSICOS E MECANISMOS DO SOLO.	36
TABELA 3 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS - MÉDIA MENSAL.	37
TABELA 4 - MÁXIMO DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NO MÊS.	38
TABELA 5 – MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA - MENSAL E ANUAL (MM).	39
TABELA 6 - FEIÇÕES ELEMENTARES E SEUS RESPECTIVOS COMPORTAMENTOS, SEGUNDO ORIENTAÇÃO E CLINOGRAFIA, PARA PADRÕES MORFOMÉTRICOS ASSOCIADOS.	49
TABELA 7 - FEIÇÕES MÍNIMAS ASSOCIADAS AO PERFIL HIDRODINÂMICO E SEUS DOMÍNIOS DE FLUXO. 50	
TABELA 8 - RELAÇÃO ENTRE FORMAS DAS VERTENTES E MOVIMENTOS DE MASSA PROPOSTO POR BONUCCELLI (1999)	51
TABELA 9 - PARÂMETROS DE FS PARA ESTABILIDADE DE VERTENTES.	52
TABELA 10 - RELAÇÃO DE PONTOS COLETADOS ENTRE 14 E 18 DE JANEIRO DE 2011 PELO SERVIÇO DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO PARA A ÁREA DE ESTUDOS (DRM-RJ).	57
TABELA 11 - MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO.	64
TABELA 12 - VALORES ATRIBUÍDOS ÀS FEIÇÕES MÍNIMAS, APÓS ANÁLISE EM PLANTA E PERFIL	66

TABELA 13 - INTERPRETAÇÃO SOBRE O COMPORTAMENTO DAS VERTENTES A PARTIR DAS VARIÁVEIS ELENCADAS POR COLÂNGELO (1996).	89
TABELA 14 - QUANTIDADE DE PONTOS DE ESCORREGAMENTO POR FEIÇÃO MÍNIMA.	91

Índice de gráficos

GRÁFICO 1 - FENÔMENOS CLIMÁTICOS CLASSIFICADOS COMO "DESASTRES" NO BRASIL ENTRE 1900 E 2006.	23
GRÁFICO 2 - MÁXIMO DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NO MÊS (MM).	38
GRÁFICO 3 - MÉDIA DA PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA.	39
GRÁFICO 4 - ORGANOGRAMA DA ESTRUTURAÇÃO DO PENSAMENTO LÓGICO DE PESQUISA.	43
GRÁFICO 5 - GRÁFICO BOXPLOT PARA OS VALORES DE FATOR DE SEGURANÇA DRENADO E SATURADO.	69
GRÁFICO 6 - FATOR DE SEGURANÇA DOS PONTOS DE ESCORREGAMENTO. ELABORAÇÃO: MICHELLE O. SANTOS, 2015.	85
GRÁFICO 7 - HISTOGRAMA DA DECLIVIDADE EM FEIÇÕES MÍNIMAS CÔNCAVAS- CONVEXAS. MEAN – MÉDIA; STDEV – DESVIO PADRÃO; N – NÚMERO DE AMOSTRAS.	93
GRÁFICO 8 - HISTOGRAMA DA DECLIVIDADE EM FEIÇÕES MÍNIMAS CONVEXAS-CÔNCAVAS. MEAN – MÉDIA; STDEV – DESVIO PADRÃO; N – NÚMERO DE AMOSTRAS.	93
GRÁFICO 9 - HISTOGRAMA DA DECLIVIDADE EM FEIÇÕES MÍNIMAS CONVEXAS-CONVEXAS. MEAN – MÉDIA; STDEV – DESVIO PADRÃO; N – NÚMERO DE AMOSTRAS.	94
GRÁFICO 10 - HISTOGRAMA DA DECLIVIDADE EM FEIÇÕES MÍNIMAS CÔNCAVAS-CÔNCAVAS. MEAN – MÉDIA; STDEV – DESVIO PADRÃO; N – NÚMERO DE AMOSTRAS.	94
GRÁFICO 11 - HISTOGRAMA COMPARATIVO DA DECLIVIDADE EM FEIÇÕES MÍNIMAS. MEAN – MÉDIA; STDEV – DESVIO PADRÃO; N – NÚMERO DE AMOSTRAS.	95

Índice de mapas

MAPA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	29
MAPA 2 - MAPA GEOLÓGICO DA MICRO BACIA DO RIO FISCHER.....	31
MAPA 3 - MAPA GEOMORFOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE TERESÓPOLIS.....	33
MAPA 4 - MAPA PEDOLÓGICO DA MICROBACIA DO RIO FISCHER.....	36
MAPA 5 - MAPA DE USO DA TERRA.....	40
MAPA 6 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ESCORREGAMENTOS NA MICROBACIA DO RIO FISCHER.....	58
MAPA 7 - FEIÇÕES MÍNIMAS DO RELEVO NA MICROBACIA DO RIO FISCHER	71
MAPA 8 - FATOR DE SEGURANÇA PARA SOLO DRENADO	72
MAPA 9 - FATOR DE SEGURANÇA PARA SOLO SATURADO	73
MAPA 10 - FEIÇÕES MÍNIMAS CÔNCAVAS-CÔNCAVAS PARA FS EM SOLO DRENADO	77
MAPA 11 - FEIÇÕES MÍNIMAS CÔNCAVAS-CÔNCAVAS PARA FS EM SOLO SATURADO	78

MAPA 12 - FEIÇÕES MÍNIMAS CÔNCAVAS-CONVEXAS PARA FS EM SOLO DRENADO	79
MAPA 13 - FEIÇÕES MÍNIMAS CÔNCAVAS-CONVEXAS PARA FS EM SOLO SATURADO	80
MAPA 14 - FEIÇÕES MÍNIMAS CONVEXAS-CÔNCAVAS PARA FS EM SOLO DRENADO	81
MAPA 15 - FEIÇÕES MÍNIMAS CONVEXAS-CÔNCAVAS PARA FS EM SOLO SATURADO	82
MAPA 16 - FEIÇÕES MÍNIMAS CONVEXAS-CONVEXAS PARA FS EM SOLO DRENADO	83
MAPA 17 - FEIÇÕES MÍNIMAS CONVEXAS-CONVEXAS PARA FS EM SOLO SATURADO.....	84
MAPA 18 - MAPA DA RELAÇÃO ENTRE OS PONTOS E AS FEIÇÕES MÍNIMAS NA MICROBACIA DO RIO FISCHER	91

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo sistematizar métodos e informações e auxiliar a análise dos processos de escorregamento do tipo planar (ou translacional) em vertentes associados aos fatores naturais e antrópicos.

Os métodos escolhidos foram a delimitação das formas das vertentes em feições mínimas (FM) do relevo e a análise destas formas e das condicionantes de escorregamentos através do cálculo do fator de segurança. Desta maneira, buscou-se um padrão para o comportamento dinâmico das feições.

Foi fundamental a utilização de ferramentas de análise de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), tendo em vista a execução de cálculos, o desenvolvimento de matrizes de relação e de cartas com a espacialização dos resultados obtidos. Todas as técnicas utilizadas foram descritas neste trabalho.

Os resultados revelaram a relação entre as condicionantes dos escorregamentos e as FM, mostrando que fatores como forma da vertente e o fluxo superficial são características importantes na determinação de áreas onde a possibilidade de ocorrência destes eventos seja maior, assim como as variáveis clinográficas e de uso e ocupação da terra.

Palavras-chave: Escorregamento, Feições Mínimas, Fator de Segurança, Teresópolis, Rio Fischer, Sistemas de Informações Geográficas.

Abstract

This research aims, through a methodological and informational systematization, to aid the analyses of translational slides in slopes associated with natural and anthropic factors which determinate this process.

The chosen methods were: the delimitation of slope shape on minimum feature; and the analysis of these features and their landslides conditions by the security factor calculation. Thus, the dynamic behavior of these features is standardized.

It was essential to the research the use of the tools of Geographic Information Systems, in order to perform the calculations, to develop the matrix of relationship and the maps of specialization with the results. All techniques were described in this research.

The results revealed a relation between the conditions of slides and the minimum features, they demonstrated that factors such as the slope shape and the superficial flow are important to determine where the possibilities of landslides are higher, and also that the slope's and the land-use's variables are relevant.

Keywords: Landslides, Minimum Features, Security Factor, Teresopolis, Fischer River, Geographic Information Systems.

Introdução

Os escorregamentos são processos geomorfológicos de grande impacto natural e socioambiental, dinamicamente presente em todo o território brasileiro (TOMINAGA, 2009). A ocorrência destes fenômenos é natural, mas pode ser induzida por ações humanas, por meio de ocupações e usos indevidos da terra (TOMINAGA, 2007 *apud* TOMINAGA, 2009.). Estas práticas aumentam a possibilidade de perdas – em termos de vidas ou prejuízos econômicos – devido ao impacto negativo destes fenômenos em áreas habitadas (CERRI; AMARAL, 1998 *apud* TOMINAGA, 2009.).

Os escorregamentos podem ter várias causas naturais associadas: erupções vulcânicas, abalos sísmicos ou precipitações. Pode apresentar também cenários favoráveis ao seu desenvolvimento, ligadas às condições estruturais geológicas, geomorfológicas e pedológicas. Portanto, é um fenômeno que se desenvolve em função de todas as camadas da paisagem (RUHE, 1975; CRUDENS e VARNES, 1996).

A área de estudos – a sub-bacia do Rio Fischer em Teresópolis, Rio de Janeiro – foi escolhida por ter sido palco de uma série de escorregamentos em janeiro de 2011, que assolaram toda a região serrana do Rio de Janeiro. Os registros sobre tais pontos de escorregamentos possibilitou a comparação entre os dados gerados pelos modelos e a realidade apresentada após os fatos.

Optou-se por utilizar dois métodos associados: a delimitação de áreas pelas Feições Mínimas do relevo (FM) e a análise das variáveis condicionantes de escorregamento pelo cálculo do Fator de Segurança (FS).

A delimitação de FM (COLANGELO, 1989) auxilia no entendimento da regulação dos tipos e da dinâmica dos fluxos hídricos, associados à morfometria, podendo ser relacionada aos diversos outros fatores e variáveis da natureza, tais como a clinografia e orientação das vertentes (COLANGELO, 1996).

O método de análise do FS foi aplicado com êxito por Kozciak (2005), Tabalipa e Fiori (2012), Silveira *et al.* (2012) e Zêzere (2005) em função da maior ocorrência de escorregamentos do tipo planar em toda região sudeste do Brasil

(TOMINAGA, 2007). Este método consiste no levantamento das variáveis mecânicas dos solos e morfometria, no qual o resultado da análise determinística é um número adimensional que indica o índice de estabilidade em vertentes.

Sabendo da importância do trabalho de campo na análise dos movimentos de massa, busca-se uma melhor eficiência na aplicação de métodos que auxiliam no levantamento de áreas com maior possibilidade de ocorrência de escorregamentos. Em suma, os objetivos propostos são: 1) sistematização da aplicação dos métodos de delimitação de FM e índices de FS; 2) desenvolvimento de uma estrutura lógica de manipulação de dados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Objeto e objetivo

O objeto desta pesquisa é a vertente, unidade geomorfológica caracterizada por ser uma “(...) superfície inclinada, não horizontal (...)” (CRISTOFOLETTI, 1980), que “(...) diverge das cristas ou dos interflúvios, enquadrando o vale (...)” (GUERRA; GUERRA, 2003), formada por processos atuantes na superfície terrestre, espacial e cronologicamente, de origem endógena (astenosfera) e exógena (atmosfera), que são, simplificadaamente, os meios originários dos fenômenos que desencadeiam todo o dinamismo físico e biológico.

O objetivo é sistematizar métodos que permitam a análise da dinâmica das vertentes, e as possibilidades dos processos de escorregamentos associados aos fatores naturais e antrópicos. Os métodos sistematizados foram as FM de relevo, publicado por Colangelo (1989), e a unidade de análise dos dados de FS. As informações geradas foram comparadas com os pontos coletados no advento dos escorregamentos ocorridos em 2011, na Região serrana do Rio de Janeiro, possibilitando a checagem do cenário anterior aos eventos e do produto da movimentação de massa e, dessa maneira, analisar a aplicabilidade do método proposto.

Justificativa

Os escorregamentos são processos que incorrem em grandes transformações da Paisagem¹, tendo como causas fatores naturais e antrópicos. A análise da ocorrência destes fenômenos deve servir tanto para o entendimento do funcionamento da dinâmica terrestre quanto em auxílio ao planejamento do território, a fim de atender políticas públicas de preservação natural e aquelas voltadas para o uso e a ocupação da terra. Portanto, este trabalho visa contribuir para os métodos analíticos relativos à problemática, auxiliando os levantamentos

¹ Segundo Delpoux (1974), o termo Paisagem, no vocábulo do Geógrafo, pode ser definido como “(...) entidade espacial correspondente à soma de um tipo geomorfológico e de uma cobertura no sentido mais amplo deste termo (da floresta a aglomeração e à zona industrial passando pelas culturas ou superfícies aquáticas)”.

em campo para áreas cada vez mais extensas em um tempo cada vez menor, com maior eficiência do que os métodos expeditos recorrentes.

Aportes teóricos

Breve discussão epistemológica

A Geomorfologia pode ser entendida como o estudo das formas da terra em sua concepção etimológica. Foi criada da junção de outros campos do conhecimento que se ocupavam em descrever a superfície da terra, passando então a ter a função de explicar sobre os processos superficiais associados ao espaço, clima e a dinâmica morfológica da terra (PENTEADO, 1980). Desde então, diversos estudiosos contribuíram para o desenvolvimento teórico e metodológico da Geomorfologia.

O campo físico que circunscreve o objeto dos estudos geomorfológicos é a superfície terrestre. Para Penteado (1980),

A Geomorfologia procura entender a forma da terra e elucidar os processos que operam na sua superfície. Essa meta, por si só, nos dá a ideia da complexidade dos processos e fenômenos envolvidos.

Pensando a dinâmica geomorfológica inserida em um “Sistema Natural Terrestre de Superfície” (COLANGELO, 2004), encontra-se uma combinação de fatores de ação simultânea sobre a superfície terrestre, alinhados segundo eixos, construindo um modelo octaédrico (figura 1), onde cada um destes eixos que compõe a figura determinam a ação das variáveis condicionantes.

Figura 1 - Modelo octaédrico dos "Sistemas naturais terrestres de superfície".

Fonte: Colangelo (1989) Elaborado pela autora.

A ação do eixo do tempo (clima e rochas) se dá através do tempo geológico, sobre uma superfície geográfica, por meio de processos de intemperismo e erosão na interação com os fenômenos químicos, físicos e biológicos (pedogênese e geomorfogênese).

O eixo do espaço (solo e relevo) é relacionado com a superfície em si, estando o relevo intrinsecamente ligado ao solo e é onde as transformações energéticas acontecem, resultando em pedogênese e geomorfogênese (condicionados pelo clima, além dos fenômenos biológicos, em outra escala de análise). Esta interação também condiciona os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais.

Sendo a água elemento fundamental da vida, ao desenvolvimento superficial e subsuperficial físico, em termos pedológicos e, conseqüentemente, geomorfológicos, podemos analisar sua dinâmica através do eixo da matéria (água e organismos). Os processos intempéricos e erosivos ocorrem, em grande parte, pelo fator da proporcionalidade de água no sistema. Se regredirmos ao ponto fundamental da análise, podemos dizer que toda a dinâmica atmosférica também é condicionada pela água, já que os ventos ocorrem pela diferença de pressão. Esta, por sua vez, está ligada à quantidade de água associada à energia solar; tempestades e aos raios que decorrem da energia pela transformação dos estados físicos da água, até aos fenômenos mais elementares como a formação da neve e do gelo.

O desenho dos Sistemas Naturais de Superfície (figura 1) representa ligações em todas as arestas, reforçando que todos os fluxos de matéria e energia são interligados, contínuos e dependentes, que recebem energia geotérmica e solar, sendo esta a energia intrínseca à matéria, aos fluxos e à existência.

A partir dessa análise, podemos transcorrer brevemente² sobre a epistemologia geomorfológica. Iniciando por Davis e os ciclos erosivos, o

² Uma revisão bibliográfica não é o objetivo desta pesquisa, não desmerecendo a análise histórica ao embasamento teórico e metodológico, além de suas grandes contribuições à evolução deste campo do conhecimento, mas pretende-se focar em acontecimentos ocorridos no advento das formulações teóricas quantitativas.

principal fator dinâmico do relevo desta teoria é a erosão, antecedida por movimentos tectônicos orogenéticos e epirogênicos. Estes fazem com que a superfície se modifique e evolua temporalmente, sendo dividida em três estágios: jovem, maduro e senil. Este processo, irreversível e contínuo, é um possível rejuvenescimento das formas através de nova atividade orogenética ou epirogênica (CHORLEY *et al.*, 1984).

Após esta compreensão sobre a evolução do relevo, outros pesquisadores alegaram que o desenvolvimento das superfícies é decorrente de processos contínuos e simultâneos. Mencionemos W. Penck e sua concepção de dinamismo concomitante entre os processos geológicos e superficiais. Igualmente importante L.C King foi o percussor do conceito de pediplanação que consiste em pensar as camadas de pedimentos acumulados na superfície (CHORLEY *et al.*, Op. Cit.).

Após a revolução quantitativa na segunda metade do século XX, os sistemas geomorfológicos entraram em voga, sendo uma concepção bastante difundida, tendo como seu precursor na Geomorfologia Arthur N. Straler, e entendida como “o conjunto dos elementos e das relações entre si e entre os seus atributos” (CRISTOFOLETTI, 1980). Não menos importantes, as teorias de Lê Chateu e G.K. Gilbert sobre equilíbrio e *feedback*, devem ser lembradas.

Conforme Chorley, Schumm e Sugden (1984), podemos expressar estas diferentes abordagens em quatro palavras: uniformidade, evolução, complexidade e sistemas.

Em linhas gerais, podemos inserir as concepções geomorfológicas em dois grandes campos: A histórica, que se atém às evidências deposicionais, relatando as sequencias dinâmica e tratando da evolução do relevo; e os estudos funcionais que trata de processos contemporâneos e comportamento de materiais em um entendimento da manutenção e transformação do relevo em resposta aos eventos. Deve-se frisar, no entanto, que para todas as abordagens a descrição das formas é imprescindível.

Segundo Chorley *et al.*(1984),

Os Geomorfólogos utilizam diferentes abordagens e técnicas dependendo de seus objetivos, os quais podem ser a descrição, inferência à situações passadas, predição ou todas elas.

Esta afirmação nos leva a compreender que há diversos objetivos e formas analíticas, mas um mesmo objeto de estudo. No entanto, devemos ao menos entender sobre teorias e uso de técnicas que diferem em seu objetivo analítico. As interpretações devem, imprescindivelmente, seguir o rigor metodológico derivado da teoria, sendo este um dos princípios fundamentais do método dedutivo.

A Geomorfologia quantitativa após a Segunda Guerra Mundial

A abordagem teórica a ser dada nesta pesquisa tem sua concepção no fim da Segunda Guerra, ligada à corrente **neopositivista** procedente de diversos ramos das ciências, em especial às exatas e à filosofia lógica, que propiciou uma quebra de paradigmas científicos na percepção do papel da Geomorfologia com a chamada **Nova Geografia**, havendo a cisão entre os “qualitativos” e “quantitativos” em uma clara divergência teórica, metodológica, técnica e investigativa, além das diferentes compreensões do trabalho científico.

Segundo Capel (1981),

Com esta situação e com os avanços tecnológicos extraordinariamente rápidos gerados pela guerra mundial, as ciências sociais se viram estimuladas para facilitar as respostas cada vez mais rigorosas e “técnicas”. A aparição de potentes instrumentos de tratamento da informação (ordenadores) e de novos marcos teóricos e conceituais, tais como a teoria geral dos sistemas, a teoria da informação e da comunicação, a teoria da decisão e dos jogos, tornaram inevitável a mudança dos métodos e das teorias destas disciplinas.

Este desenvolvimento proporcionou à Geomorfologia sistematização de métodos e técnicas com intuito de balizar o trabalho de análise, por meio de uma visão lógica e racional. A Geomorfologia descritiva passa a dividir espaço com a Geomorfologia de processos, de parametrização e de análise fenomenológica, tendo ganhado espaço, partindo, essencialmente, de análises morfométricas.

Os principais autores pós Segunda Guerra Mundial desenvolveram importantes trabalhos sobre Geomorfologia teórica, tal como Scheidegger em 1961 e 1970; Geomorfologia fluvial com Leopold em 1964, Morisawa em 1968 e Carson em 1971; Análises morfométricas por Chorley em 1972; Geomorfopedogênese por Ruhe em 1969; e estudos clinográficos com Carson e Kirkby em 1972. Todas estas linhas metodológicas fundamentavam-se na dedução e são diretamente ligados à linguagem matemática, tendo como base o rigor científico e a proposição de leis.

Os elementos fundamentais de análise e os processos inerentes ao objeto

Partindo do pressuposto da “morfometria controlada por suporte morfológico” (COLANGELO, 1996) podemos desenvolver proposições acerca dos processos inerentes às formas e dos fenômenos que os compõem.

O presente estudo se atém aos escorregamentos, em especial, a possibilidade deste tipo de processo em vertentes. Sendo os elementos fundamentais desta análise, determinam-se as vertentes como unidades geomorfológicas individuais, definidas como superfícies não horizontais, “ (...) que compõe a superfície entre a divisão da drenagem e os talwegues (...)” (CHORLEY *et al.*, 1984.) e que “(...) apresentam formas variadas (...)” (GUERRA; GUERRA, 2003), moldadas em função dos elementos atmosféricos e endógenos da terra, tais como os fenômenos climáticos, a incidência radiativa, a energia geotérmica, os terremotos e a própria composição do extrato geológico, assim como a ação dos componentes orgânicos, que além de atuantes, compõem o seu extrato superficial e subsuperficial, tal qual todos os outros componentes dos sistemas ³ geomorfológicos.

As vertentes tornam-se objeto de estudo de extrema importância, devido a sua grande recorrência espacial na superfície terrestre. Colangelo (1991) especializa e as caracteriza da seguinte forma:

³ Segundo Cristofolletti (*Op. Cit.*): “As vertentes podem ser tomadas como exemplos de sistemas morfológicos, nas quais podem distinguir diversas propriedades destinadas a descrever e analisar as formas das vertentes” (p.51).

Excetuando as áreas de afloramento de rocha sã, os desertos e as áreas glaciais, todo o restante da superfície emersa da crosta terrestre corresponde aos interflúvios, cujas vertentes têm por suporte materiais superficiais inconsolidados ou formações superficiais.

Dalrymple, Blong e Conacher (*apud*: CRISTOFOLETTI, 1980) consideravam a vertente como: “(...) sistema complexo tridimensional que se estende do interflúvio ao meio do leito fluvial e da superfície do solo ao limite superior da rocha não intemperizada. ”

São, portanto, superfícies instáveis em relação à sua formação e associadas às condições terrestres, tornam-se dinâmicas. Para Ruhe (1975), “(...) por sua natureza inerente, as vertentes são feições geomorfologicamente instáveis (...)” e que “(...) podem ser analisadas geometricamente e geomorfologicamente (...)” e, em uma simplificação, classificadas como côncavas, convexas e retilíneas, tendo seus processos controlados diretamente pela gravidade. Desta maneira, devemos entender que para cada processo há uma dinâmica ligada à essa força e uma situação deflagradora para os fenômenos tais como movimentos orogenéticos ou epirogênicos, ativações de falhas geológicas ou mesmo fenômenos climáticos ligados a precipitação que ao atingir uma área em situação favorável aos movimentos de massa – condições naturais ou antropomorfizadas – revela-se como principal agente deflagrador deste tipo de fenômeno, sobretudo na região sudeste do Brasil.

Fatores facilitadores aos movimentos de massa

Faz-se necessário, antes de se ater à análise dos movimentos de massa, conhecer sobre os fatores favoráveis aos fenômenos que podem ser desde superficiais a profundos, próprios das estruturas ou do material pedológico, além das variáveis de *start* dos processos. Para tanto, alguns conceitos foram compilados, de maneira a facilitar o entendimento de cada um dos tipos de movimento explicados no texto.

Importantes fatores estruturais devem ser analisados. Partindo das características geológicas locais, as rochas com modificações estruturais são aquelas que apresentam falhas, fraturas, xistosidades ou acamamento de rochas sedimentares, o que provoca linhas de fraqueza ou rupturas, geralmente

ocasionadas por processos ligados à temperatura, pressão ou ação mecânica. As fraturas e falhas, onde aquelas são definidas por serem rupturas que, ao contrário dessas, não se deslocam e podem ser preenchidas ou mesmo fechadas.

Já os planos de estratificação são as superfícies que separam as diversas camadas de seguimentos de depósitos heterogêneos (GUERRA; GUERRA, 2003), segundo sua composição química, assim como a heterogeneidade causada pelas lentes de materiais porosos, que são depósitos em meio a rochas não porosas.

Das características estruturais das rochas, observamos o mergulho como fator importante para os movimentos de massa, definido pelo ângulo formado entre o plano horizontal e a camada de rocha. Quanto maior o mergulho, maior é a suscetibilidade à eventos de escorregamento, pois seguem favoravelmente os planos das camadas.

Em uma escala de maior detalhe de análise sobre as rochas, os planos alternados de fraqueza dos minerais são determinados por seus planos de clivagem, isto é, o plano de rompimento próprio de cada mineral definido por sua estrutura físico-química.

Como fator subsuperficial de grande importância aos eventos, as zonas de cisalhamento são áreas onde ocorrem aplicação de força externa sobre os planos internos, causando tensão e que no momento em que esta é igual à força nela aplicada, causa falhamentos. Estas zonas podem medir de decâmetros a quilômetros.

Em relação aos fatores superficiais, apontemos as charneiras, que são as partes mais convexas de uma dobra, isto é, de maior curvatura, conhecida também como anticlinal.

Outro fator superficial de grande importância neste processo são as ravinas, caracterizadas por planos erosivos profundos, em sulcos, talhados pela concentração do fluxo de água em superfície. Em sua fase irreversível (quando atingem o nível do lençol freático) as chamamos de Voçorocas.

Em partes do material pedológico, acontece a litificação, processo que ocorre sob a ação da pressão e da dissolução dos minerais por percolação de água, os quais servem como agente agregador das partículas que formam as rochas, tornando-as completamente coesas.

Na interação com o relevo e seus elementos, as escarpas são importantes condicionantes aos movimentos de massa e são definidas como paredes rochosas em terreno cristalino, geralmente decorrentes de um falhamento reativado e diferencialmente soerguido. Já as *cuestas*, que são geometricamente semelhantes às escarpas, são definidas por serem superfícies erosivas em terreno sedimentar de alto ângulo clinográfico.

Também como condicionante, os solos se comportam conforme a quantidade de água presente. Podem se comportar como líquidos, com coesão nula. Podem, também, apresentar características plásticas, onde são bastante coesivas ou mesmo com características não plásticas quando secos.

Fatores deflagradores aos movimentos de massa

Os movimentos de massa podem ser deflagrados por diversos gatilhos, naturais e antrópicos. Áreas de intensa atividade sísmica ou qualquer forma de desestabilização dos corpos pedológicos e litológicos podem ocasionar estes movimentos. Entretanto, para zonas tropicais, a precipitação é responsável por grande parte dos eventos.

A presença de água ocasiona erosão, meteorização, lixiviação, aumento de pressão da massa de solo que, associados aos facilitadores naturais e antrópicos, desenvolvem-se em movimentos de massa.

Um dos fenômenos importantes para a ocorrência dos movimentos de massa associados às áreas de desenvolvimento pedológico é a solifluxão, que ocorre pela precipitação persistente, o que faz com que o solo retenha água (principalmente as argilas), fazendo com que as parcelas superficiais se movimentem, geralmente muito lentamente, assemelhando-se a um material viscoso. Também associado a este processo, mas presente em todos os movimentos de massa em solo, a redução de fricção se caracteriza por ser a diminuição da força que resulta do atrito entre dois corpos em movimento, em

um plano paralelo em qualquer estado da matéria, resultando em movimentos onde a inércia depende, entre outros fatores, do ângulo dos planos que exercem força.

Outros fatores são importantes para os movimentos de massa: os cortes em vertentes executados em certos locais desestabilizam seu sopé e, em associação com a gravidade, faz com que haja a mobilização de material. O acúmulo de lixo ou plantio de espécies de vegetação que acumulem água faz com que a pressão sobre o solo aumente e com isso a possibilidade de ocorrência de movimentação de massa seja maior.

Características dos movimentos de massa

Os movimentos de massa podem ser caracterizados conforme as variáveis que são inerentes a eles, seja espacialmente, temporalmente ou mesmo ao que tange a sua composição. Quanto mais detalhes forem conhecidos sobre sua dinâmica, melhor poderemos classificá-los, possibilitando interpretações e apontamentos de tendências que se possam revelar através das observações. Com intuito de esclarecer as análises das informações resultantes desta pesquisa, definiram-se as principais características que compõem a dinâmica dos escorregamentos de massa.

Segundo Crudens e Varnes (1996), estas características podem ser divididas em sete categorias, conforme a seguir.

Materiais

Os materiais passíveis de movimentos de massa são divididos em duas grandes categorias: **rochas** e **solo**. As rochas podem ser definidas como blocos sólidos formados por materiais que sofreram pouca ou nenhuma intemperização, e que se encontravam intactos em seu local de origem antes do início do movimento. Os solos, por sua vez, definidos como agregado de partículas sólidas, (minerais e rochas) intemperizadas em tal grau que seus agregados não formam grandes corpos. Estes são subcategorizados entre os materiais que contém entre 20% a 80% de partículas maiores que 2 mm, chamados **detritos** e materiais com mais de 80% de seu *corpus* formado de partículas menores que 2mm, denominados **terra**.

Estado de atividade

Os movimentos de massa podem ser analisados segundo o seu estado de atividade, porém este diagnóstico só é possível se houver monitoramento da área observada. As medições podem indicar se o sítio encontrava-se estável ou se havia uma dinâmica previamente ativa. Os movimentos **ativos** são aqueles em que a dinâmica é constante. Os sítios nos quais se observam resquícios de materiais e espaciais de outros movimentos que tiveram sua dinâmica retomada são chamados de **reativados**, com o movimento sobre a mesma superfície de ruptura aonde os parâmetros de resistência anteriores não serão mais atingidos. Tomando como base os ciclos sazonais climáticos no período de um ano, aqueles sítios onde houve dinâmica de movimentação no último período, mas que se encontram estáveis no momento, podem ser chamados **suspensos**. **inativos**, sendo aqueles sem dinâmica observada há mais de um ciclo sazonal climático, podendo ser subdividido entre **dormentes**, aqueles em que as causas do movimento de outrora ainda são aparentes ou **abandonados**, onde as causas já não fazem parte da mesma paisagem. Se alguma intervenção artificial ou não ocorreu, freando o movimento, a atividade torna-se **estabilizada**. Por fim, os movimentos ocorridos sob outra dinâmica climática e geomorfológica são denominados **reliíquias**.

Como observa-se na figura 2, o estado de atividade do movimento de massa pode ser analisado tanto pela deposição dos materiais que, quando ativos ou mesmo suspensos, permanecem se renovando ao longo do tempo, quanto pela atividade biológica local, com o crescimento da vegetação, o que indica ciclos climáticos propícios para tal.

Figura 2 – Estado de atividade dos movimentos de massa

Fonte: Cruden e Varnes, 1996

Na figura 2 a imagem 1 descreve um movimento ativo, onde as causas estão presentes e o movimento é atual. A imagem 2 mostra um movimento suspenso, com indicação de atividade pela queda de sedimentos da parte superior da parede do tombamento. A imagem 3 mostra um movimento reativado. A imagem 4 é de uma atividade dormente, onde a vegetação inicia um crescimento na área do material disperso. A imagem 5 descreve uma atividade estabilizada pelos sedimentos fluviais que detiveram a atividade erosiva e a imagem 6 é de um movimento de massa ocorrido sob outras condições geográficas, denominado relíquia.

Estilo da atividade

O estilo da atividade pode contribuir para o dinamismo dos movimentos de massa, tornando-os ativos por um maior período de tempo, mais extensos e intensos. Esta categoria está subdividida em movimentos de estilo **composto**, quando há diferentes tipos de movimento em diferentes áreas de um mesmo sistema de vertentes (por convenção, o primeiro movimento é o mais alto); estilo **múltiplo**, onde o mesmo tipo de movimento ocorre em diversas partes da área afetada, estilo **sucessivo**, onde um tipo idêntico de movimento ocorre no local, mas com diferentes superfícies de ruptura e o tipo de deslizamento **único**, onde há apenas um evento local.

Velocidade

A velocidade dos movimentos de massa é dividida em sete classes correspondentes às definições de intensidade, análogas aos tipos de movimentos descritos por Varnes em 1978. Tem-se como parâmetro de escala a velocidade em que uma pessoa pode se locomover, como por exemplo, os movimentos rápidos/ muito rápidos, que são determinados pela velocidade do caminhar de uma pessoa. A velocidade pode ser estimada por observação do deslocamento de objetos ou do material em deposicionamento.

Tabela 1 - Definição da provável destruição dos deslizamentos em função das classes de velocidade.

Classes de velocidade dos movimentos de massa	Provável destruição	Velocidade estimada do movimento por período de tempo
7 – Extremamente rápido	Catástrofe de maior violência; prédios destruídos pelo impacto do material depositado; muitas mortes com fugas improváveis	5 m/s 3 m/min 1,8 m/h 13 m/mês 1,6 m/ano 16 mm/ano
6 – Muito rápido	Algumas vidas perdidas; velocidade alta o bastante para que nem todas as pessoas possam fugir	
5 – Rápido	A evacuação é possível; estruturas, propriedades e equipamentos destruídos	
4 – Moderado	Algumas estruturas temporárias podem ser mantidas	
3 – Lento	A remediação pode ser empreendida durante o movimento, estruturas podem ser mantidas através de manutenção específica se o movimento total não se expandir durante uma provável fase de aceleração	
2 – Muito lento	Algumas estruturas permanentes não são afetadas pelo movimento	
1 – Extremamente lento	Imperceptível detectar a movimentação sem instrumentos; construções são possíveis diante de precaução	

Fonte: Crudens e Varnes (1996, adaptado)

Derivada deste dado determina-se a taxa de movimento, medida conforme o sistema internacional em cm/s ou mm/ano, elaborada por Morrgenstern's em 1985 (*apud* CRUDENS e VARNES, 1996), definidos por critérios de observação dos graus de dano das casas, ruas, etc., graduada também em sete classes conforme exposto na tabela 1.

Conteúdo de água

Conforme discutido anteriormente, a presença da água nos sistemas de vertente determina fatores favoráveis aos movimentos de massa, desencadeando fenômenos como a solifluxão, devido à diminuição da fricção entre as partículas presentes no solo. O teor de água no solo é dividido em quatro categorias, inicialmente definido por Radbuch-Hall em 1978 e modificado por Varnes, também em 1978 (*apud* CRUDENS e VARNES, 1996). O método consiste na observação do material desposicionado, definindo como **seco** **aquele** sem qualquer traço de umidade; **úmido**, sendo o solo não saturado, mas com a presença nítida de água e que pode se comportar como plástico, mas ainda não tendo atingido o estado viscoso. Os solos **encharcados** contém água suficiente para se comportar como líquidos e os **muito encharcados** contém água suficiente para se comportar como líquidos em gradiente clinográficos baixos.

Tipos de movimentos de massa

Ruhe (1975), em seu livro *Geomorphology*, apresenta duas tabelas descritivas sobre os movimentos de massa, tanto para Engenheiros quanto para Geólogos, sendo que alguns processos são descritos distintamente para cada uma das duas áreas, tais como **movimentos deposicionais**, quedas, rolamentos, deslizamentos, por parte dos Engenheiros e a subsidência, por parte dos Geólogos. Crudens e Varnes (1996) dividiram os movimentos de massa em cinco tipos básicos: quedas, tombamentos, escorregamentos, espalhamentos e fluxos. Todos estes tipos de movimentos são compostos por subcategorias, cada qual com suas especificidades quanto a gênese, movimentação e dispersão de materiais.

Classificação dos movimentos de massa

Os engenheiros se utilizam muitas vezes de descrições estruturais sobre os movimentos de massa, enquanto geógrafos e geólogos trabalham com definições pautadas em processos. A figura 3 (GUMARÃES *et al.*, 2008) apresenta um diagrama representando os diferentes movimentos de massa e sua relação com a velocidade do processo e a água presente no sistema. Nota-se que a relação material-velocidade-umidade existe para descrever os movimentos, indicando a ênfase processual da análise.

Figura 3 - Classificação dos movimentos de massa segundo material, velocidade e umidade.

Fonte: GUIMARÃES, R.F. *et al.*, (2008).

A figura 4 apresenta uma tradução da tabela de classificação de movimentos de massa proposta por Varnes (1978), descrevendo o tipo de movimento e do material transportado pelo evento. Esta é uma evolução da tabela por ele desenvolvida e publicada em artigo de 1958 denominado *Landslide types and process*, presente no *special report 29 da Highway research board – Landslides and Engineering Practice*, organizado pelo comitê de investigação e movimentos de massa. Nesta evolução, nota-se que o autor

classifica como movimentos de massa além das quedas, escorregamentos, corridas e os movimentos complexos, os tombamentos e as expansões laterais.

Figura 4 – Classificação de Varnes (1978), modificada por Crudens e Varnes (1996)

TIPO DE MOVIMENTO			TIPO DE MATERIAL		
			ROCHA	SOLOS (sob o ponto de vista da engenharia)	
				Textura grossa	Textura fina
QUEDAS			Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de terra
TOMBAMENTOS			Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de terra
ESCORREGAMENTOS	ROTACIONAL	Poucas unidades	Abatimento de rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
			Blocos rochosos	Blocos de detritos	Blocos de terra
	TRANSLACIONAL	Muitas unidades	Rocha	Detritos	Terra
			Rocha	Detritos	Terra
EXPANSÕES LATERAIS			Rocha	Detritos	Terra
FLUXOS			Rocha (rastejo profundo)	Detritos (rastejo de solo)	Terra
COMPLEXOS (Combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimento)					

Fonte Crudens e Varnes 1996 apud: Araújo, 2004 (Tradução)

Diferentemente de Ruhe (1975) Varnes e Crudens (1996) não consideram a subsidência, os movimentos deposicionais e o rastejo como movimentos de massa, porém, pontuam sobre o movimento de **espalhamento (ou expansões laterais)**, que são descritos como massas de silte e areia que se liquefaz, resultando na fratura e subsidência do material mais coesivo que o recobre. Para eles, o **rastejo** seria uma deformação contínua em função de *stress*. Já para Ruhe (1975), estes movimentos muito lentos são importantes e compostos, geralmente, de solo, blocos e tálus⁴, com condições favoráveis a este tipo de movimento, a não consolidação de sedimentos ou rochas com modificações estruturais, planos de estratificação ou planos alternados de fraqueza, rochas

⁴ Tálus são depósitos de detritos no sopé das vertentes.

fraturadas, charneiras, variações de temperatura, encostas íngremes, gelo e degelo frequentes, períodos de chuvas e secas frequentes ou presença de vegetação que controle o *runoff*⁵, sendo o processo deflagrado por variações de pressão sobre o solo (temperatura e água), atividade animal (buracos e circulação intensa), raízes de plantas (crescimento e apodrecimento), ravinamento, remoção de material superficial (partículas finas e minerais) devido ao escoamento superficial, movimentos de massa ao sopé das vertentes ou aumento de carga em suas áreas mais altas.

A **corrida** (*flowage ou flow*) é um movimento de tempo de ação médio, caracterizado por corridas de terra, lama e avalanche de detritos. Quando o material está em contato com a água ou com gelo, a forma assumida pelos materiais em movimento, a velocidade aparente e o deslocamento assemelham-se a fluidos viscosos. As superfícies de ruptura geralmente têm vida curta ou não são aparentes. Divisão entre a massa mobilizada e o material *in situ* pode ser uma falha ou uma zona de linhas de cisalhamento. Observam-se corrida de blocos (seco) na presença de rochas, fluxo de areia em solo não plástico, avalanche de detritos ou corrida de terra em solos plásticos. As condições favoráveis para este tipo de fenômeno são os materiais não consolidados intemperizados, alternância entre camadas permeáveis e impermeáveis ou materiais de fina textura nas camadas mais profundas, mergulhos de rochas em diversos ângulos, estruturas cratônicas fraturadas que induzam a infiltração de água, vertentes íngremes erodidas ou ravinadas, climas alpino, temperado úmido e semiárido ou falta de cobertura vegetal densa, tal como florestas. As corridas são geralmente causadas por solifluxão e podem se iniciar como um escorregamento.

Os **escorregamentos** são movimentos rápidos de solo ou rocha, causados por diminuição da tensão de cisalhamento ao longo de uma ou várias superfícies visíveis ou que possam ser inferidas. O movimento pode ser controlado pelas superfícies ou por linhas de fraqueza, tais como falhas, planos de estratificação ou charneiras. Quando na presença de rochas, podem ser

⁵ Runoff é o termo em inglês para água de escoamento superficial (GUERRA e GUERRA, 2003).

observados desposicionamento de *Talús* ou formação de Colúvios⁶ na presença de solo. As condições favoráveis para este tipo de fenômeno são rochas pouco cimentadas, sedimentos não consolidados, maciços sobrepostos aos materiais pouco consolidados, presença de camadas permeáveis, mergulhos íngremes ou moderados da estrutura rochosa, deformações internas por alívio de pressão, lentes de material poroso não drenado, escarpas ou vertentes íngremes e falta de vegetação. As causas podem ser a remoção de suporte, escoamento superficial, compactação do solo, queimadas, alterações químicas das camadas subjacentes, degelo da superfície das vertentes, sobrecarga por outros processos de movimentação de massa, chuva, neve, gelo e saturação, sobrecarga em escavações, redução da fricção e coesão pela presença de água, intemperismo, óleo no solo, forças mecânicas semelhantes ao processo de rastejo, terremotos, tempestades, tráfego de veículos e animais, detonações, perfurações, deformações devido à temperatura e pressão atmosférica, além da força das marés. Os movimentos deposicionais ocorrem ao longo superfícies que já sofreram processos de escorregamentos e são usuais em concavidades. Este processo é considerado movimento de massa na análise de Ruhe (1975). Porém, para Varnes (1958) e Crudens e Varnes (1996) seria apenas decorrência de processo.

Nas **Quedas** há o destacamento de blocos de rocha ou solo de uma superfície, onde os elementos viajam a maior distância pelo ar, isto é, em queda livre, movimentos de salto, rolamento de blocos, detritos e fragmentos sem conexão entre si. O **Rolamento de blocos** é um movimento de apenas um elemento sobre uma superfície mais ou menos plana de linhas de fraqueza, geralmente planos de estratificação. Os blocos podem rolar para longe de sua superfície original. O material mobilizado é bastante deformado ou consiste em vários blocos separados: o movimento frequentemente é controlado pelas linhas de fraqueza tais como falhas, charneiras ou planos de estratificação, variações na tensão de cisalhamento entre os planos de depósitos ou pela pressão entre rochas.

⁶ Colúvio é um depósito gravitacional de sopé de vertente, diferenciado do Tálus pela granulometria.

A **subsidência** é descrita por Ruhe (1975) como um processo de variável intensidade (de lenta a rápida) e que encontra condições favoráveis para seu desenvolvimento sobre rochas solúveis, argilas e areias movediças fluidas, sedimentos não consolidados ou rochas pouco litificadas, material rico em matéria orgânica, água ou óleo, camadas não consolidadas, britas, fratura que induzam a circulação de água e superfícies levemente inclinadas. As causas deste processo são a remoção do suporte subjacente por alterações químicas, pelo escoamento de materiais fluidos pela escavação natural ou artificial, por dissecação, deformações, vibrações induzidas natural ou artificialmente, ou por sobrecarga natural ou artificial.

Os **movimentos complexos** podem ser simultâneos, gerados pela combinação de um ou mais tipos de movimento. Um tipo geralmente domina os outros até determinadas áreas ou certo tempo durante o processo

Portanto, há características e descrições particulares em cada um dos trabalhos (RUHE, 1975; VARNES, 1958; CRUDENS e VARNES, 1996), porém, a lógica sobre os movimentos permanecem, tanto nos materiais, quanto sobre as variáveis que os compõem e deflagram.

Os escorregamentos como processo de análise

Na presente pesquisa, o foco é dado aos movimentos de massa do tipo escorregamento, uma vez que sua ocorrência é bastante frequente em regiões tropicais (TOMINAGA, 2009). Segundo Marcelino, Nunes e Kobiyama (2008), dos fenômenos naturais classificados como “desastres”⁷ no Brasil, 17% do total foram associados aos escorregamentos. De certo, este índice é decorrente dos fenômenos climáticos característicos das regiões tropicais, bastando observar no gráfico 1 que 49% dos fenômenos estão ligados às precipitações (inundações) e outros 30% nas variações naturais do clima ligados às temperaturas e a própria precipitação (fenômenos climáticos diversos) (Gráfico1).

⁷ Colocou-se o termo desastres entre aspas, uma vez que a autora não reconhece que os eventos naturais devam ser classificados como tal. Devemos classificar como desastres os acidentes causados pela ineficácia do poder público frente aos problemas de ocupação da terra, onde vidas são colocadas em risco em uma situação associada à condição natural local.

Para Tatizana *et al.* (1987 *apud* TOMINAGA, 2009), os escorregamentos analisados por um período de 30 anos, ocorridos na Escarpa da Serra do Mar, no Município de Cubatão, apresentou uma relação entre a chuva e os escorregamentos, sendo mais efetivas após cerca de 4 dias de precipitação⁸.

Gráfico 1 - Fenômenos climáticos classificados como "desastres" no Brasil entre 1900 e 2006.

Fonte: MARCELINO *et al.* (2008, modificado).

Organização: Michelle O. Santos (2014).

Para Guidicini e Iwasa (1976, *apud* KOZCIAK ,2005), precipitações intensas em períodos de 24 a 72 horas, que correspondam aos índices aproximados ou superiores a 12% do total previsto para a média anual, tendem a provocar movimentos de massa e para que sejam catastróficos, esses índices devem ser superior a 20%. Para Wolle e Carvalho (1989 *apud* KOZCIAK,Op. Cit), a ação das chuvas é potencializada pela acumulação de eventos por vários dias seguidos e episódios de chuvas intensas de curta e média duração, bastando 8% da pluviosidade média anual para deflagrar um escorregamento.

Sabendo que as vertentes são caracterizadas por descontinuidades texturais e estruturais em relação à distribuição de minerais, lateral e

⁸ Sem dados sobre o acumulado total ou diário

profundamente, o que influencia na porosidade e permeabilidade dos materiais e regula as forças de estabilidade – coesão (química) e atrito (mecânica) – quando ligadas aos fatores morfoclinais, posicionais e hidrodinâmicos, concluímos que a força de cisalhamento tem seu limiar de estabilidade, nas regiões tropicais, relacionado à disponibilidade hídrica e a correta proporção entre a coesão e a fricção (COLANGELO, 1996)

Segundo Guidicini e Nieble (1984 *apud* TOMINAGA, 2009),

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

Sendo que para que isto ocorra, segundo TOMINAGA (2009),

(...) a infiltração de água no maciço de solo provoca a diminuição ou perda total de atrito entre as partículas. Quando o solo atinge o estado de saturação com perda total de atrito entre as partículas, (...) passa a se mobilizar encosta abaixo.

Em suma, a precipitação se mostra como agente importante na dinâmica dos escorregamentos das regiões onde é presente como fenômeno frequente, pois é agente de transformações em todas as camadas da paisagem e atua como variável importante para dinâmica deste tipo de movimento de massa.

Os escorregamentos podem ser classificados em três tipos – planares, rotacionais ou em cunha. Cada um desses tipos possuem características próprias de volume e profundidade.

Os escorregamentos conhecidos como **Planares** (ou translacionais) ocorrem em superfícies onde há rupturas planares geradas pela descontinuidade entre solo e rocha ou pela heterogeneidade do material pedológico. Em geral, esse tipo de escorregamento é raso (entre 0,5 e 5 m). Podem ainda ser subdivididos entre translacionais de rocha (ruptura direta entre rocha/solo), de solo (ruptura interna do material pedológico) e de solo e rocha, onde o material é bastante heterogêneo. Este é o tipo de escorregamento mais frequente no sudeste brasileiro (TOMINAGA, 2009.). Para Cruden e Varnes (1996), nos

escorregamentos planares a superfície de ruptura é em forma de canal na secção transversal e se a superfície de ruptura for muito inclinada, o movimento pode continuar ativo. Este tipo de escorregamento geralmente acompanha descontinuidades como falhas, juntas ou superfícies de acamamento ou mesmo o contato direto entre a rocha e o solo. O modelo do movimento depende da orientação da superfície em relação às descontinuidades da rocha.

Os escorregamentos **rotacionais** ocorrem em áreas onde os solos são bastante desenvolvidos e homogêneos, com superfície de ruptura tem a forma côncava, o que leva a uma ação rotacional. Este tipo de escorregamento mobiliza grandes quantidades de material pedológico, de acordo com as características das áreas onde se desenvolvem. É induzido, geralmente, por descontinuidades abruptas no sopé das vertentes, causadas por cortes ou processos erosivos. Se a superfície de ruptura for cicloidal em superfície, a cinemática ditará se a massa dispersa se moverá ao longo da superfície com pouca deformação ou se parte da superfície pode se mover verticalmente. As escarpas formadas abaixo do topo de um escorregamento rotacional poderá ser vertical e sem suporte e poderá ocorrer retroprocesso. Se a água infiltrar pelo topo, pode se acumular na massa dispersa da rotação.

Os escorregamentos **mistos** são intermediários aos rotacionais e planares, sendo as superfícies de ruptura abruptas, podendo tornar-se planas com a profundidade. A diminuição abrupta da declividade de mergulho da superfície pode formar *grabens*⁹ de largura proporcional à profundidade da superfície de ruptura. Este tipo de escorregamento é comum na presença de camadas fracas no limite entre materiais encharcados e secos.

Com uma menor recorrência, os escorregamentos em **cunha** são condicionados por estruturas geológicas planares desfavoráveis à estabilidade, onde o material mobilizado se movimentará ao longo da linha de intersecção destas estruturas.

⁹ Graben é, segundo GUERRA e GUERRA (2003, p.?) uma “Depressão alongada, enquadrada por uma série de degraus produzidos por falhas paralelas.”

Os escorregamentos **complexos e compostos** são descritos como escorregamentos de lama e escorregamentos laminares caracterizados como *mudslides*, que ocorrem ao longo do perfil e que são, geralmente, bilineares conforme o aumento do índice clinográfico. São bem desenvolvidos sobre as vertentes que contenham material duro ou argilas fissuradas. Já os escorregamentos laminares são compostos por material altamente poroso, geralmente saturado, rochas frágeis de falésias, resultante da destruição da coesão do material e geração de excesso de pressão dentro do material disperso.

As bacias e sub-bacias hidrográficas como unidade de análise

Para Guerra e Guerra (2003) bacia hidrográfica é um “(...) conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes (...)” e por estar associado à presença de água e ser um dos principais elementos da dinâmica terrestre, também definiu que:

O conceito de bacia hidrográfica deve incluir também a noção de dinamismo, por causa das modificações que ocorrem nas linhas divisórias de água sob o efeito dos agentes erosivos, alargando ou diminuindo a área da bacia (GUERRA; GUERRA, 2003.)

Foi utilizado neste estudo o recorte espacial de uma sub-bacia como unidade de análise dos fenômenos de escorregamentos. Esta escolha se deu, em parte, pela escala do fenômeno que foi estudado no presente trabalho, além da característica homogênea das variáveis físicas da área, o que proporcionou uma investigação sobre os padrões que envolvem os movimentos de massa em locais semelhantes.

Para Sacramento e Rego (2006), os estudos detalhados induzem a redução da escala, compartimentando em sub-bacias, unidade menor das bacias hidrográficas, sendo possível observar as conexões entre os meios que compõem a paisagem de maneira mais detalhada.

A sub-bacia como unidade de análise, assim como as escalas utilizadas neste trabalho são compatíveis com o objeto e o objetivo do estudo. Nela, todas as interações dinâmicas de interesse da pesquisa são desenvolvidas, além de

haver integração lógica com as demais escalas que por ventura este estudo venha a compor como referência teórico-metodológica.

Definição e descrição da área de estudos

A área escolhida como sítio desta pesquisa foi determinada em função dos desastres ocorridos em janeiro de 2011 e que assolaram a região serrana fluminense, deixando cerca 902 pessoas mortas e 405 desaparecidos¹⁰ sendo o Município de Teresópolis um dos mais afetados pela catástrofe.

A microbacia do Rio Fischer, área escolhida para a realização da pesquisa, foi densamente afetada pelos escorregamentos de 2011. Com área de três Km², foi atingida por 23 ocorrências. Esta é pertencente aos sistemas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, sub-bacia do Rio Paquequer¹¹.

Neste cenário, desencadearam-se fenômenos sucessivos, induzidos ou não pela ação humana e que culminaram em um dos maiores desastres naturais no Brasil.

¹⁰ <http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/efe/2011/12/21/principais-desastres-naturais-em-2011.htm> acessado em 20/04/2015

¹¹ ANA – Agência Nacional das Águas, 2010

Mapa 1 - Localização da área de estudos.

Compilação: Michelle O. Santos (2015).

Caracterização socioeconômica

O Município de Teresópolis conta com área de 770.601 km² e tem cerca de 163.746 habitantes segundo o Censo IBGE 2010, comportando 1% da população total do Estado do Rio de Janeiro, sendo o 18º mais populoso. A densidade demográfica é de 212,49 hab/Km². Este município pertence a Mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro e a Microrregião Serrana.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal¹² (IDH-M, 2013) é de 0,730, considerado alto, ocupando a posição 1021º dos 5565 municípios brasileiros. A maior evolução deste IDH-M foi a variável Educação, porém a que mais contribui é a variável Longevidade, sendo que a esperança de vida ao nascer de vida é de 76,27 anos.

A taxa de urbanização municipal é de 89,29%, sendo que 17.539 pessoas vivem em área rural e 146.207 em área urbana. Dos domicílios urbanos, 98,83% contam com coleta de lixo e do total de domicílios do Município 83,86% possuem água encanada – índice em queda desde 1991 – 97,71% possuem banheiro e água encanada e 99,89% dos domicílios possuem energia elétrica.

A área de estudos tem total de 3 Km² e é composta por nove setores censitários e cinco bairros: Quinta do Lebrão, Fonte Santa, Artistas, Ermitage e Albuquerque, correspondendo a 7,5% do total da população de Teresópolis, contando com 3872 domicílios e 10179 pessoas, ou seja, 2,63 pessoas por domicílio.

Características geológicas

A área de estudo tem por embasamento geológico rochas graníticas pertencentes ao domínio do batólito da Serra dos Órgãos. Segundo CPRM (2012),

O Estado do Rio de Janeiro é caracterizado por abundante granitogênese neoproterozóica, associada à deformação e metamorfismo da seqüência metassedimentar do Complexo Paraíba do Sul, resultantes do Ciclo Orogênico Brasileiro. Granitóides

¹² Atlas do desenvolvimento humano no Brasil - <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>

metaluminosos pré- a sincolisionais alcançam sua mais importante expressão nos batólitos Serra dos Órgãos e Rio Negro, incluindo associações calcioalcalinas expandidas (Complexo Rio Negro). Magmatismo peraluminoso, sincolisional, do tipo S, representado por granitóides intensamente deformados e estirados segundo o *trend* NE-SW, está relacionado predominantemente ao Batólito/Arco Rio de Janeiro, ocorrendo também no domínio Juiz de Fora. São associados aos metassedimentos do Complexo Paraíba do Sul, dos quais derivam por processos de fusão parcial.

Mapa 2 - Mapa geológico da micro bacia do Rio Fischer.

Elaboração: Michelle O. Santos, 2014

Esta unidade litológica tem origem na Era Proterozóica, Período Cambriano, sendo representado por rochas plutônicas tais como biotitas, granitos a granodioritos gnáissicos e é considerado o maior batólito granítico exposto do Rio de Janeiro. É intrusivo no Complexo Rio Negro e nos Paragneisses do Complexo Paraíba. Geralmente, estas rochas possuem fluxo

magmático preservado. A granulação varia entre média à grosseira e são, em geral, foliadas concordante com as rochas encaixantes.

A área apresenta falha vertical visível, que é exposta no afloramento rochoso localizado a sudeste da área de estudos. Estas falhas são orientadas, preferencialmente, nas direções N20-30E, N70E e N30-40W. Outra característica do sítio são as áreas milonitizadas, que se caracterizam pela fina textura, apresentando-se comumente próximo às linhas de falha. Segundo Guerra e Guerra (2003) “Os milonitos podem ser definidos como rochas esmagadas ao longo de fraturas ou falhas”. Há também ocorrência de depósitos aluvionares ligada ao leito dos canais hidrográficos, constituindo depósitos de margens.

Caracterização geomorfológica

A área de estudos é morfoesculturalmente denominada Unidade do planalto residual da Região Serrana Fluminense, relevo de degradação e de domínio serrano, conforme mapa 3, estando localizada no reverso da escarpa da Serra do Mar.

Esta área é bastante dissecada, apresentando densidade alta de vertentes côncavas e retilíneas, sendo esta última ligada à presença de rocha sã em escarpas. As colinas que ocorrem nesta área estão ligadas à sedimentação fluvial. Há ocorrências também de relevo ondulado em porções mais elevadas do reverso das escarpas.

Mapa 3 - Mapa geomorfológico do município de Teresópolis.

Fonte: CPRM (2000, modificado. Escala original 1:250.000)

Elaboração: Michelle O. Santos (2014).

As amplitudes topográficas são de, em média, 400 m com ocorrência de depósitos de colúvio, talús ou afloramentos de rocha. O desnível em direção ao Vale do Paraíba é de cerca de 400m e em direção ao Rio Preto de 700m. Há um alinhamento de serras com topos acima dos 1700m e que são de origem tectônica.

Figura 5 - Blocodiagrama representando a formação escultural em função dos falhamentos presentes na área.

Fonte: Aires et al. (2012).

Segundo Aires *et al.* (2012), a falha tectônica presente na área deslocou-se verticalmente em cerca de 1200m, sendo esta característica própria de regiões falhadas por separação continental. No entanto, como a área urbanizada se encontra próxima ao Rio, sua altitude é inferior ao nível geral do planalto.

Características pedológicas

Segundo o mapeamento realizado em Teresópolis, em 1998, pelo *Projeto Teresópolis*, em escala 1:50.000, podemos diferenciar dois tipos de solos na área de estudo – Cambissolos álicos e Gleissolos álicos.

Os Cambissolos álicos são solos que ocorrem principalmente em relevos irregulares e são geralmente rasos. Na área de estudos, apresentam características álicas, isto é, quando seus nutrientes e minérios importantes foram lixiviados, tornando-o ácido e assim, não proporcionam condições para o desenvolvimento de raízes profundas. Possui textura siltosa e apresenta em sua composição traços de mica.

Segundo EMBRAPA (2012), os Cambissolos da Região Serrana Fluminense apresentam como características:

Solos com o horizonte Bi subjacente a horizonte A de qualquer tipo, exceto A húmico ou horizonte hístico. Os Cambissolos Háplicos distinguem-se dos demais Cambissolos por não apresentarem o horizonte A húmico ou o caráter flúvico. Na área estes solos apresentam argila de atividade baixa ($< 27 \text{ cmol c/kg}$ de argila) e baixa saturação de bases (V menor ou igual 50%). São bem drenados e apresentam perfis com espessuras variáveis, alguns são profundos, em outros apresenta contato com o material saprolítico a menos de 80 cm. Foram constatados solos rasos, pouco profundos e profundos, de textura média ou média/argilosa. Possuem horizonte A moderado ou proeminente, com espessura variável de 15 a 46 cm. O horizonte Bi apresenta diversidade de cores, estrutura fraca e moderada em blocos, textura média ou argilosa, com grau de saturação por alumínio variável de 28 a 82% e saturação por bases de 8 a 35%. Ocorrem situados em diversas posições fisiográficas de morros, morrotes e montanhas, desde o relevo ondulado até o montanhoso, com declives que variam de 15 a 75%, ocupando as formas convexas da vertente, o que os tornam mais suscetíveis à erosão. Quando em relevo montanhoso é habitual estes solos apresentarem rochiosidade na superfície e estarem associados a solos rasos. A baixa fertilidade natural, a forte susceptibilidade à erosão e a elevada pedregosidade, em alguns casos, fazem com que estes solos sejam mais indicados para a utilização com pastagens natural e reserva natural. Em função de fragmentos florestais remanescentes na área, infere-se que a cobertura vegetal original é de floresta tropical perenifólia e subperenifólia.

Os Cambissolos cobrem todas as vertentes, sendo o material pedológico predominante na área de estudos.

Foi mapeada também a presença de Gleissolos de categoria áplica que se caracterizam por estarem associados às baixas declividades e planícies fluviais, apresentando limitação para o desenvolvimento de raízes, além de serem mal drenados.

Mapa 4 - Mapa pedológico da microbacia do Rio Fischer.

Mapa Pedológico da microbacia do Rio Fischer

Elaboração: Michelle O. Santos (2014).

Neste estudo, determinaram-se os parâmetros mecânicos e físicos dos solos da área com base nos levantamentos feitos por Kozciak (2005) para a Bacia do Rio Marumbi, na Serra do Mar paranaense, em um estudo de estabilidade de vertentes para a região.

As variáveis utilizadas para os cálculos são coesão, profundidade, peso específico úmido e drenado e ângulo de atrito interno do solo. A tabela 2 mostra os parâmetros para cada tipo de solo.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e mecanismos do solo.

	Coesão	Profundidade	Peso específico (Drenado)	Peso específico (Úmido)	Ângulo de atrito interno
<i>Cambissolo álico</i>	9,6 Kpa	100 cm	14,82 N/m ³	16,75 N/m ³	17 °
<i>Gleissolo álico</i>	10,9 Kpa	200 cm	18,45 N/m ³	18,65 N/m ³	25,5 °

Fonte: KOZCIAK (2005, adaptado)

Características climáticas

Para este estudo, além das informações provenientes de levantamentos bibliográficos, compilaram-se dados das estações climáticas de Teresópolis (83744 e 83806) e foram analisadas as normais climatológicas delas provenientes.

A Região Serrana Fluminense encontra-se na Zona tropical e, apesar de suas peculiaridades climáticas, está sujeita a dinâmica inerente às áreas tropicais. Segundo Queiróz *et al.* (2012), a Região Serrana tem temperatura média de 18°C e pluviosidade de 1500mm/ano, geralmente precipitada no verão. Segundo a *Classificação Climática de Köppen-Geiger*¹³ o clima da região é do tipo Cfa, isto é, Clima temperado úmido sem estação seca e com verão quente, ou Clima subtropical úmido, caracterizado por forte influência oceânica, precipitação no mês mais seco de 40mm, temperatura média no mês mais quente é menor que 22°C e cerca de quatro meses no ano a temperatura está acima de 10°C, sendo que a temperatura sempre oscila entre -3° C e 18°C.

Dados das estações climáticas

Ventos

Dados das normais entre 1960 e 1990 fornecidos pela estação climatológica de Teresópolis indicam velocidade de ventos média de 1,36 m/s ou 4,896 Km/h para a região, com picos de 1,57 m/s ou 5,652 Km/h nos meses de outubro.

Tabela 3 - Intensidade e direção dos ventos - média mensal.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Intensidade média dos ventos (m.s-1) (1960-1990)												
1,47	1,33	1,28	1,20	1,17	1,13	1,23	1,40	1,48	1,57	1,53	1,49	1,36
Direção predominante dos ventos												
E	E	NE	NE	NE	E	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Fonte: INMET

¹³ Classificação climática de Köppen - <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>

Precipitação

Segundo os dados compilados das estações climatológicas do INMET de Teresópolis e do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO) o máximo de precipitação acumulada em um dia até então ocorreu em fevereiro de 1964, 182,6 mm (tabela 4 e gráfico 2).

As condições climáticas no período do evento dos escorregamentos foram, sem dúvida, extremas. Segundo Dourado et al. (ano, p.), estima-se que:

O evento foi deflagrado por condições climáticas extremas de precipitação acumulada em 24 horas de 241,8 mm, com pico de 61,8 mm em uma hora, o que ajudou a perfazer a precipitação acumulada entre os dias 1º e 12 de janeiro de 573,6 mm.

Tabela 4 - Máximo de precipitação acumulada no mês.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Máximo absoluto de precipitação acumulada (mm/dia)													
Ano	1961	1964	1961	1977	1963	1975	1961	1976	1973	1965	1971	1976	1964
(mm/dia)	161,6	182,6	125,2	157,0	114,9	75,2	70,0	87,4	71,8	157,0	142,0	156,0	182,6

Fonte: INMET

Gráfico 2 - Máximo de precipitação acumulada no mês (mm).

Fonte: INMET

Analisa-se que a precipitação acumulada em 24 horas equivaleu a 25% a mais do que o total de precipitação acumulada no dia recorde, até então, em fevereiro de 1964. Para o mês, o maior total médio acumulado é de 425,4mm para dezembro. Em apenas 12 dias, o total acumulado em janeiro de 2011 foi cerca de 26% maior do que a maior média até então (tabela 5). A precipitação neste período equivaleu a 21% da média do acumulado para o ano.

Tabela 5 – Média da precipitação acumulada - mensal e anual (mm).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Precipitação Acumulada Mensal e Anual (mm)												
401,9	322,6	263,3	226,3	120,7	69,8	83,4	101,3	143,7	264,5	351,5	425,4	2774,3

Fonte: INMET.

Gráfico 3 - Média da precipitação mensal acumulada.

Fonte: INMET.

Uso e ocupação da terra

Foram identificadas seis classes de uso da terra para a microbacia do Rio Fischer. A maior parte da área é coberta pela floresta ombrófila densa do subtipo Montana¹⁴ e que corresponde a 45% do total. Segundo Marchiori (2012),

Os fragmentos florestais remanescentes apresentam diversos tamanhos, formas, estágios sucessionais e situação de conservação, seja decorrente da situação climática, edáfica ou grau de desmatamento.

Mapa 5 - Mapa de uso da terra.

Mapa de Uso da terra da microbacia do Rio Fischer

Fonte: Michelle O. Santos e MMA (2005).

Elaboração: Michelle O. Santos, 2014.

Esta se caracteriza em seus estágios iniciais de sucessão por vegetação de Capoeira (2,95%) e em seu estágio avançado por floresta secundária. Dentre a vegetação encontrada no estágio de sucessão avançados estão espécies da família das Palmeiras, Frutíferas (Jambo, Goiaba, entre outras), abacateiros, Imbuías, Peroba rosa entre outras plantas, que podem alcançar 20 metros ou mais.

¹⁴ Por se encontrarem entre as cotas 500 e 1000 metros, recebem esta denominação.

As áreas de campo, solo exposto e solo rochoso correspondem a 17,47% da área total da sub-bacia do Rio Fischer, localizados em algumas áreas próximas aos divisores ou na planície fluvial encontrando, inclusive, usos recreativos, tais como quadra de futebol. O afloramento rochoso, por sua vez, encontra-se à sudeste da área de estudos.

Localizado no perímetro urbano da Macrozona 1, a área de estudos apresenta uma ocupação urbana de 35% da área total da microbacia. Segundo a lei complementar municipal Nº 079, de 20 de outubro de 2006, que dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável de Teresópolis¹⁵, as Macrozonas Urbanas podem ser definidas como

Art. 50º- As Macrozonas Urbanas são as áreas efetivamente utilizadas para fins urbanos, nas quais os recursos ambientais, em função da urbanização, foram alterados ou suprimidos, compreendendo os imóveis já parcelados e os não parcelados destinados ao crescimento da cidade de Teresópolis e dos demais núcleos urbanos do Município.

A área urbanizada coincide com a planície fluvial do Rio Fischer e áreas de índices clinográficos, acima de 30 %, e que muitas vezes ultrapassam o limite definido pela lei federal n. 6766/79, dispondo de restrições para urbanização,

Art. 3º- Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal. (Redação dada pela Lei nº 9.785, de 1999)

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;

II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;

¹⁵ Lei de parcelamento do solo - <http://www.camarateresopolis.rj.gov.br/leis/leis-municipais/leis-municipais-por-assunto/124-plano-diretor/zoneamento/3750-lei-municipal-n-1233-pub-10071988-dispoe-sobre-o-parcelamento-do-solo-urbano-do-municipio-de-teresopolis>

III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;

IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

Sabendo das condições e dos padrões de urbanização brasileira, – excludente para os mais pobres, porém exclusiva para os mais ricos - a falta de amparo do poder público à condição da moradia e ao planejamento, entende-se que esta é uma situação grave, analisando-se os índices clinográficos para a área de estudos, uma vez que 25,8% desta área encontra-se em não conformidade aos parâmetros da lei federal supracitada.

Métodos, materiais, técnicas e ferramentas

Para a determinação dos métodos e técnicas utilizados neste trabalho, construiu-se uma estrutura de maneira a se tornar lógica a escolha de tais parâmetros para um método fidedigno, isto é, no qual suas medidas devem ser acuradas e consistentes, mesmo aplicadas em tempos diferentes, visando sua reprodutibilidade.

Para tanto, o gráfico 4 expõe a cadeia de ideias e pensamentos que nortearam este trabalho.

Gráfico 4 - Organograma da estruturação do pensamento lógico de pesquisa.

Elaboração: Michelle O. Santos, 2015.

Ao definir o método de análise, as técnicas e ferramentas a serem utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa, devemos ser lógicos quanto às perspectivas teóricas e à hipótese formulada, de forma que se mostrem coerentes entre si. Deste modo, devemos discernir os métodos quantitativos utilizados em Geomorfologia que, segundo Ruhe (1975), podem ser divididos em três frentes:

- Teoria matemática: As equações matemáticas podem descrever geometricamente o perfil das vertentes, os processos e seus produtos;
- Dinâmica geomorfológica: Processos orientados, modelos matemáticos baseado em dedução racional ou análise empírica de observação. O método de fatiamento de movimentos de massa é um exemplo;
- Técnicas morfométricas-estatísticas: Análise das vertentes em duas dimensões distintas ou como uma superfície exterior constituída por formas geométricas. Os métodos estatísticos são utilizados para testar a validade das aproximações geométricas e sua significância.

Os métodos e técnicas de dinâmica geomorfológica mostram-se mais alinhados à esta pesquisa, uma vez que o modelo de FS é um método determinístico e a delimitação das FM consiste na análise de dois planos bidimensionais do relevo.

Feições Mínimas do relevo

Um dos procedimentos fundamentais de análise será o mapeamento de FM, que consiste em:

(...) transformar um pedaço da superfície de terreno, uma bacia de drenagem, por exemplo, em um equivalente, onde toda a complexidade geométrica apresentada pelas formas de relevo possa ser reduzida a nove tipos básicos, a partir dos quais é feito o levantamento morfométrico (...) (COLANGELO, 1996)

Este método é de suma importância à análise dos fatores determinantes aos escorregamentos, uma vez que, segundo Listo (2011):

Parâmetros topográficos devem ser levados em consideração como fatores condicionantes dos movimentos de massa, seja pelas diferenças de declividade ou de ângulo da encosta, pela distribuição dos fluxos na encosta por meio de formas geométricas (côncavas, retilíneas e convexas), pelo controle de entrada de umidade no solo garantido pela exposição de suas faces (orientação e aspecto) e mesmo pelos diferentes níveis hipsométricos.

Um dos primeiros estudos sobre este tipo de taxonomia começou a ser delimitado por F.R. Troeth (1965) e suas equações tridimensionais de concavidade e convexidade do relevo para a análise de escoamento superficial, considerando a precipitação e a infiltração, sem se referir à retilinearidade, já que este se apresenta como um perfil neutro.

O método de FM analisa o relevo quanto a sua morfometria, isto é, quanto as variáveis de largura, superfície, volume, altitude absoluta e relativa, inclinação, curvatura, orientação densidade e frequência das formas (FLORENZANO, 2008). Dentre estes pontos, a análise dos dados sobre inclinação e curvatura serão fundamentais para este estudo.

A segunda premissa é a de análise dos parâmetros quanto a sua morfologia, que não necessariamente consiste em descrever as unidades de relevo de forma subjetiva, mas aplicar uma taxonomia universal das formas, entre retilíneas, côncavas e convexas.

Este método permite construir a relação entre as formas do relevo e os elementos por ele controlados, tais como a própria morfometria e os padrões de drenagem superficiais. Na mesma medida, os parâmetros físicos que compõem a paisagem, além de seu substrato, devem ser analisados, tais como o clima, geologia, pedologia e os padrões de uso e cobertura da terra, devendo respeitar sempre a escala de análise da pesquisa.

O que se pretende aqui é encontrar uma alternativa para a homogeneização das classes morfométricas em detrimento da dinâmica superficial. Colangelo (1996) afirma que superfícies com declividades e orientação semelhantes podem apresentar formas geométricas bastante distintas e assim, dinâmica hidrográfica, de estabilidade, microclimática ou mesmo de pedogenética diferentes. A partir deste método também é possível, pela universalização de sua análise morfológica, comparar a dinâmica do relevo entre diversas áreas diferentes.

Para que as formas elementares do relevo sejam delimitadas, este método utiliza dados morfométricos básicos, disponibilizados em cartas topográficas. A diferença básica na elaboração deste estudo em comparação ao

método de Colangelo (1996) é que, ao invés de utilizarmos as curvas de nível na análise em planta e perfil, e a estereoscopia em fotografias aéreas para a identificação das formações superficiais, teremos o suporte dos *softwares* de Sistemas de informações Geográficas (SIG) para a elaboração de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e perfis, além da utilização de *scripts* específicos para a junção destes distintos planos de informação na confecção da carta de FM. Estas técnicas e ferramentas serão demonstradas adiante.

Sabemos que a carta topográfica dá a noção bidimensional das formas do contorno e longitudinal das vertentes, sendo composta basicamente por uma sucessão dos três tipos de unidades geométrica elementares. Podemos adicionar ao seu plano um eixo ortogonal que proporcionaria a análise tridimensional do relevo, mas onde apenas as três formas geométricas fundamentais fossem representadas. Com isso, são nove os arranjos possíveis entre os elementos em planta e perfil para cada combinação geométrica dos dois eixos (figura 6 e 7), proporcionando assim, além da visão sobre as formas do contorno e a longitude das vertentes, a ideia latitudinal do relevo e sua orientação, determinando as rupturas geométricas em função das combinações.

Figura 6 - Padrões geométricos do relevo em planta e perfil para uma unidade ideal de relevo.

Fonte :COLANGELO (1996, modificado).

Elaboração: Michelle O. Santos, 2014.

Figura 7 - Combinações possíveis das morfologias do relevo, sendo Retilíneo (L), Convexo (V) e Côncavo (C).

Fonte: Ruhe ,1975.

Estes arranjos não apresentam homogeneidade quanto às características morfométricas analisadas e, portanto, sua variação e distribuição podem ser analisadas em função das formas elementares em planta e perfil (COLANGELO, 1989), conforme explica a figura 8.

Figura 8 - Comportamento clinodirecional das feições em planta e perfil.

<div> <div>PLANTA →</div> <div>PERFIL ↓</div> </div>	COMPORTAMENTO DA ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES (Φ)		
	CV	R	CC
COMPORTAMENTO DA DECLIVIDADE DAS VERTENTES ($\Delta\alpha$)			
$\Delta\Phi > 0$			
$\Delta\Phi = 0$			
$\Delta\Phi < 0$			
CV	$\Delta\alpha +$	1	2
R	$\Delta\alpha = 0$	4	5
CC	$\Delta\alpha -$	7	8

Fonte: COLANGELO (1996)

Para os perfis retilíneos em planta e/ou perfil a variação de declividade ($\Delta\alpha$) e/ou orientação ($\Delta\Phi$) são iguais a zero, dependendo se algum plano de sua geometria apresenta variação. Estas são feições denominadas monoclinais e/ou monodirecionais.

As feições multiclinais estão associadas às concavidades ($-\Delta\alpha$) e às convexidades ($+\Delta\alpha$) em perfil. Já as feições multidirecionais estão associadas às feições côncavas ($-\Delta\Phi$) e convexas ($+\Delta\Phi$) em planta.

Partindo desta análise, podemos associar cada combinação de feições ao padrão de clinografia e orientação e relacionar ao seu comportamento hidrodinâmico (tabela 6).

Tabela 6 - Feições elementares e seus respectivos comportamentos, segundo orientação e clinografia, para padrões morfométricos associados.

Classificação	Combinação	Multiclinais (%)	Monoclinais (%)	Multidirecional (%)	Mono direcional (%)
Multiclinodirecionais	1 e 9	22,2		22,2	
	3 e 7	22,2		22,2	
Multiclinomono direcionais	2 e 8	22,2			22,2
Monoclinomulti direcionais	4 e 6		22,2	22,2	
Monoclinodirecional	5		11,2		11,2
Área total		66,6	33,4	66,6	33,4

Fonte: COLANGELO (1996)

A tabela 6 mostra que para os padrões morfométricos multiclinais e multidirecionais, as feições que correspondem a estes parâmetros possuem uma ocorrência duas vezes maior do que aquelas monodirecionais e monoclinais. Isso incide em uma maior ocorrência natural destes elementos, determinando que os fluxos são controlados por perfis dispersores e conversores, isto é, concavidades e convexidades, seguidos por perfis hidrodinâmicos neutros (retilinearidades).

Há ainda uma distinção entre as multiclinografias em planta e perfis. Enquanto perfis convexos podem ser entendidos como superfícies *dispersoras radiais*, isto é, quando a energia cinética é transferida aos fluxos de forma que a componente lateral da força gravitacional seja controlada pela clinografia e, portanto, potencializando a dispersão dos fluxos radialmente, a convexidade em planta caracteriza um perfil **dispersor longitudinal**, onde a energia cinética atua tangencialmente sobre as partículas de água em relação à superfície, aumentando o fluxo de percolação da água. A lógica se aplica também às concavidades, onde os perfis **conversores radiais** são aqueles onde os fluxos são concentrados em uma extensão menor do terreno, devido a componente clinográfica e a própria forma, não existindo captação lateral ampla, ao contrário dos perfis **conversores longitudinais** onde o fluxo também é convergente, porém com maior amplitude longitudinal. Como discutido anteriormente, as formas retilíneas apresentam perfil neutro com paralelismo das linhas de fluxo.

Segundo Ruhe (1975), para as FM não referentes às retilinearidades, o fluxo superficial das águas é bastante complexo, em termos de padrão e

velocidade. Assim, a concentração do fluxo de uma vertente em canais de drenagem de primeira ordem é bastante grande.

Cada uma das nove feições elementares da superfície possui um perfil hidrodinâmico e um domínio em relação a este fluxo, o que é apontado na tabela 7.

Tabela 7 - Feições mínimas associadas ao perfil hidrodinâmico e seus domínios de fluxo.

Feição mínima	Perfil hidrodinâmico	Domínio do fluxo
1	Hiperdispersor	Dispersão
2	Mesodispersor longitudinal	
3	Hipodispersor	
4	Mesodispersor radial	
5	Transição (Neutro)	Transição
6	Mesoconcentrador radial	Concentração
7	Hipoconcentrador	
8	Mesoconcentrador longitudinal	
9	Hiperconcentrador	

Fonte: COLANGELO (1996)

Resulta desta tabela a identificação do nível taxonômico hidrodinâmico, que identifica os padrões de drenagem, os intensifica e determina seu domínio, isto é, os classifica.

Existem estudos que relacionam as formas geométricas do relevo à dinâmica intrínseca a ele. Bonuccelli (1999, *apud* KOZCIAK, 2005) elaborou uma pesquisa relacionando os perfis latitudinais e longitudinais das vertentes à possibilidade de ocorrência de movimentos de massa. Assim, chegou-se na tabela síntese número 8:

Tabela 8 - Relação entre formas das vertentes e movimentos de massa proposto por Bonuccelli (1999)

Perfil da encosta	Característica do evento
<i>Encostas côncavas</i>	Geralmente mais evoluídas em termos geomorfológicos e estariam menos sujeitas a ocorrência dos processos
<i>Encostas convexas</i>	Menos evoluídas e, portanto, mais sujeitas a ocorrência dos processos
<i>Encostas retilíneas</i>	Situação intermediária entre as situações anteriores
<i>Encostas convexas-côncavas</i>	Nesta ordem, do topo para a base, seriam mais propensas
<i>Encostas convexas- retilíneas</i>	Do topo para a base, também seriam mais propensas

Fonte: 1999 *apud* KOZCIAK, 2005

Estas informações possibilitam o enriquecimento da análise das FM, uma vez que traz à luz informações sobre o comportamento das vertentes segundo sua morfologia.

O método de FM se apresenta como balizador da identificação das formas estudadas, uma vez que além de determinar a ruptura geométrica das vertentes, possibilita a análise de diversos padrões associados. Assim, as FM do relevo foram classificadas e analisadas, e suas zonas mais suscetíveis aos processos de escorregamento puderam ser apontadas com base no FS e em suas próprias informações associadas.

Fator de Segurança

O FS é calculado para estimar o grau de estabilidade de uma vertente em função das forças solicitantes e resistentes, dado pela formula $F_s = \tau/S$, onde:

- ✓ τ : Forças de resistência
- ✓ S: Forças solicitantes

A teoria do limite de equilíbrio baseia-se na hipótese que este possa existir, mesmo em uma situação de eminência do movimento de massa (KOZCIAK, 2005). O modelo também considera que todos os elementos que

componham o cálculo do FS sejam paralelos à vertente, além de seguir a ideia de vertente infinita que, segundo Pimenta Junior (2005) são aquelas que se estendem por longas distâncias e possuem camadas consistentes no seu perfil, além de ter espessura muito menor que o comprimento do talude. Por este motivo, é um modelo satisfatório para o cálculo de estabilidade em áreas propensas aos escorregamentos planares.

Seu resultado será um número adimensional maior que zero e que no momento em que a relação entre as forças de resistência e solicitantes seja igual ou maior que uma unidade, significa que há estabilidade. Conforme o *Manual de Pavimentação* do DNER (1996), utilizado por Tabalipa *et al.* (2008) como referência, os parâmetros para o FS devem ser considerados conforme a tabela 9, tendo o valor $FS < 1,5$ como padrão para a instabilidade.

Tabela 9 - Parâmetros de F_s para estabilidade de vertentes.

Intervalos de F_s	Classes	Diagnóstico
$0 < F_s < 1$	1	Instabilidade
$1 \leq F_s < 1,5$	2	
$1,5 \leq F_s < 2$	3	Estabilidade crítica
$2 \leq F_s < 3$	4	Boa estabilidade
$3 \leq F_s < 4$	5	Alta estabilidade
$4 \leq F_s < 5$	6	Excelente estabilidade
$5 \leq F_s < 8$	7	
$8 \leq F_s < 10$	8	
$F_s \geq 10$	9	

Fonte: DNER *apud* Tabalipa et al. (2008)

Para este estudo, consideramos como forças solicitantes:

- Água
- Solo drenado e úmido: sob a condição do processo de escorregamento nas regiões tropicais, os solos também devem ser considerados úmidos.

- Árvores: o peso exercido sobre a vertente pode contribuir para o processo de escorregamento, já que a gravidade é fator determinante para que isto ocorra.

Em Tabalipa *et al.* (2008), a força exercida pelos ventos nas árvores foi considerada como força solicitante. No entanto, segundo o próprio autor, estudos realizados por Styczen e Morgan (1995), citados por Fiori e Borchard (1997) indicam que apenas ventos acima dos 40 Km/h são determinantes na contribuição deste tipo de processo. A velocidade média dos ventos na região, como citado na caracterização da área, tem velocidade média de 1,36 m/s ou 4,896 Km/h, com picos de 1,57 m/s ou 5,652 Km/h nos meses de outubro e, por isso, não foi considerado no cálculo do FS.

Para as forças de resistência, teremos:

- Coesão do solo: está associada às forças cimentantes, físicas ou químicas, incidentes nas partículas do solo, sendo independente das forças normais aplicadas.
- Contribuição das raízes para a estabilização do solo: segundo Tabalipa (2008), as raízes só serão consideradas contribuintes à resistência se as raízes estiverem em profundidade abaixo da linha de ruptura, mais eficaz em solos com espessura de até 1,50 m. Serão mais eficazes quanto maior for sua densidade e será menos efetiva se encontrarem sob compressão, tal como no sopé das vertentes, onde o rompimento pode se dar por flexão (KOZCIAK, 2005).
- Peso das árvores sobre o solo: o peso das árvores sobre o solo contribui com a força normal exercida sobre a superfície, aliado ao sistema radicular (KOZCIAK, 2005). Como este modelo trata de escorregamentos planares, adotou-se o ângulo de 45° em relação a superfície da vertente, pois nestas condições as raízes exercem força resistente.

Para analisar as variáveis consideradas para o cálculo do FS, consideramos duas situações distintas: solo drenado e solo saturado. O parâmetro utilizado para tal distinção é o grau de saturação do solo que consiste

na “relação entre o volume de água, o volume total e o volume de vazios (...). Varia entre zero (solo seco) e 100% (solo saturado)” (PINTO, 2011) temos:

1. Para solo drenado, na situação onde seus poros estão preenchidos de ar – supondo-se que não há precipitação por tempo suficiente para que o solo esteja nesta situação – podemos considerar a distância do topo da vertente ao lençol freático igual a profundidade do solo e assim como a altura do lençol freático em relação à superfície de potencial escorregamento como zero, pois supõe-se que todo o corpo do solo esteja drenado. Para isto, temos:

$$F_S = \frac{(C_s + S_r) + [(Z * \gamma_{nat} + P_a) * \cos^2 i + T * \sin \theta] \operatorname{tg} \theta + T * \cos \theta}{[(Z * \gamma_{nat} + P_a) \sin i] * \cos i}$$

2. Para solo saturado, onde os poros encontram-se preenchidos por substância líquida – supondo-se água – temos a distância do lençol freático ao topo é igual a zero e a altura do lençol freático a partir da superfície de potencial escorregamento é igual a profundidade do solo. Portanto:

$$F_S = \frac{(C_s + S_r) + [(Z * \gamma_{sat} + P_a) * \cos^2 i + T * \sin \theta] \operatorname{tg} \theta + T * \cos \theta}{[(Z * \gamma_{sat} + Z \gamma_a + P_a) \sin i] * \cos i}$$

Onde:

C_s : Coesão do solo

S_r : Contribuição da raiz para a coesão do solo

Z : Profundidade do solo

γ_{sat} : Peso específico do solo úmido

γ_{nat} : Peso específico do solo drenado

P_a : Peso das árvores sobre o solo

i : Ângulo de inclinação da vertente

T : Tensão das raízes

θ : Ângulo de atrito interno do solo

γ_a : Peso específico da água

Parâmetros de clinografia

Por clinografia entende-se “inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte” (GUERRA; GUERRA, 2003)¹⁶ e este é um dos fatores determinantes para a estabilidade das vertentes, pois, dependendo do ângulo clinográfico, há a variação da ação da gravidade, do escoamento superficial e subsuperficial, do posicionamento de minerais e meteorização das rochas, dentre outras dinâmicas. Dada a sua importância, a sistematização de seus índices torna-se importante para fins analíticos.

Segundo De Biasi e Herz (1989 *apud* DE BIASI, 1992), as classes clinográficas podem ser divididas segundo os usos que lhe são atribuídas. Assim, dividiu-se em quatro classes:

- < 5% – Limite urbano-industrial, utilizado e difundido nacional e internacionalmente;
- 5-12% – Limite máximo de emprego de mecanização na agricultura;
- 12-30% – A lei federal 6766/79 define o limite de 30% como o máximo para urbanização sem restrições, sendo que a partir deste limite o parcelamento somente será feito a partir de leis específicas;
- 30-47% A angulação de 25° ou 47% é definido pelo código florestal como limite máximo para corte raso, logo a exploração só é permitida se sustentada por florestas (Lei nº 4771/65 de 15/09/1965);
- > 47% A partir desta angulação, o artigo 10 do código florestal prevê que não se possa derrubar floresta, podendo apenas extrair toras, quando se fizer utilização racional de rendimento permanente.

A fundamentação dos parâmetros de clinografia utilizados na análise dos dados gerados na pesquisa é bastante importante, uma vez que há diretrizes para uso e ocupação espacial já consolidadas e legalizadas.

¹⁶ Este verbete define *Declive*. No entanto, declividade e aclividade são termos que dependem do ponto de vista do observador, pretendeu-se utilizar o termo Clinografia, que define a representação destas variações dos ângulos da superfície.

Pontos coletados nos desastres de 2011

Após a análise da situação das vertentes e da possibilidade de haver movimentos de massa nesses locais, foram inseridos aos modelos os pontos de escorregamentos coletados para a área.

Os pontos de deslizamentos foram coletados no período dos desastres de 2011, onde ocorreram diversos movimentos de massa, incluindo escorregamentos e corridas de massa e detrito.

Figura 9 - Escorregamentos ocorridos em 2011, na Região Serrana Fluminense.¹⁷

Fotos: Michelle O. Santos, 20/01/2011.

¹⁷ As fotos foram tiradas nas cidades de Teresópolis e Nova Friburgo (iniciando na foto superior esquerda, em sentido horário, 1-3 Teresópolis e 4 Nova Friburgo) e ilustram o padrão do fenômeno na região: escorregamentos planares, em sua grande maioria. Tem-se também a ideia do padrão construtivo da região e as áreas de altos índices clinográficos para onde o município expande.

Neste período, o serviço geológico do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Defesa Civil Estadual executaram o levantamento de áreas afetadas. Exatamente por determinar riscos e não suscetibilidade natural de encostas, os levantamentos foram feitos apenas nas regiões urbanas.

Tabela 10 - Relação de pontos coletados entre 14 e 18 de janeiro de 2011 pelo Serviço de recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro para a área de estudos (DRM-RJ).

ID	X	Y	Localização	Bairro
1	711432	7520364	Rua 7 de Setembro, próximo ao nº. 34	Quinta do Lebrão
2	711392	7520375	Rua 7 de Setembro, antes do nº. 34	Quinta do Lebrão
3	711706	7520239	Fundo do Vale (vizinhanças de onde caiu a casa)	Quinta do Lebrão
4	710830	7521049	BR-116, Km 79	Fonte Santa
5	710876	7520800	Rua Álvaro Parn (início)	Fonte Santa
6	710856	7520897	Rua Álvaro Parn (variante)	Fonte Santa
7	710777	7520951	Rua Álvaro Parn , 285	Fonte Santa
8	710584	7520978	Rua Álvaro Pan , 35 e 37	Fonte Santa
9	710595	7521050	Rua Álvaro Parn , 630	Fonte Santa
10	710461	7521221	Rua Álvaro Parn , 218	Fonte Santa
11	710426	7521260	Rua Álvaro Parn , s/no.	Fonte Santa
12	710268	7521583	Rua Álvaro Parn , 728	Fonte Santa
13	710383	7521206	Rua Álvaro Parn , 594	Fonte Santa
14	710548	7521008	Casa acima do Bar (Curva da Rua Álvaro Parn)	Fonte Santa
15	710892	7520903	BR-116, próximo ao Km 79	Fonte Santa
16	711422	7520455	Rua 21 de Abril, Lote 28, Casa 4	Quinta do Lebrão
17	711459	7520230	Rua 6 de Julho (Visada E para Fundo do Vale)	Quinta do Lebrão
18	711834	7520165	Rua 6 de Julho (final)	Quinta do Lebrão
19	710458	7521775	BR-116, Km 78, Casa 8230	Fonte Santa
20	711474	7520189	Rua 6 de Julho, 32	Quinta do Lebrão
21	711439	7520247	Rua 6 de Julho, 31 e 30	Quinta do Lebrão
22	711301	7520347	Rua 6 de Julho, 33, 22, 24 e s/nº.	Quinta do Lebrão

Fonte: DRM-RJ.

Mapa 6 - Distribuição dos pontos de escorregamentos na microbacia do Rio Fischer.

Fonte: DRM-RJ.

Elaboração: Michelle O. Santos, 2015.

Na esfera do poder público, os levantamentos dos pontos de escorregamento auxiliaram no reconhecimento de áreas prioritárias à assistência humana e contabilização de perdas. Estudos, planos de contingência e mapeamentos de risco também foram elaborados a partir destes dados com intuito de aplicar políticas públicas de remediação e prevenção.

Breve definição de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e correlatos

A partir da compreensão do método, a utilização do SIG e os *softwares* à eles associados, é de suma importância, uma vez que a extração de informações morfológicas e a utilização de álgebra de mapas são as bases para este estudo. Para tanto, foi usado o *software* ARCGis pois este dispõe de módulos de trabalho

para dados vetoriais, *scripts* para cálculo de curvatura do terreno e para os cálculos por álgebra de mapas.

O SIG pode ser definido como

(...) um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos. (BURROUGH e MCDONELL, 1998 *apud* FITZ, 2008).

Sua concepção data do período no qual a própria produção de mapas começou a ser desenvolvida com finalidades temáticas massivas em meados do século XIX. Segundo Parent e Church, (1987) *apud* Silva (2003),

Em 1938, o Atlas que acompanhava o segundo relatório para a direção da Estrada de Ferro Irlandesa talvez tenha sido *latu sensu*, o primeiro SIG. O Atlas constituiu em uma série de mapas que informava o contexto populacional, o fluxo de tráfego, a geologia e a topografia. Através de uma virtual operação de superposição dos diferentes atributos de uma determinada posição espacial, a direção da empresa podia tomar as decisões que achava pertinente.

Partindo destas concepções, o SIG pode ser entendido como uma técnica de manipulação e extração de dados, com intuito de auxiliar na análise de fenômenos distribuídos espacialmente. Os *softwares* de SIG são ferramentas que auxiliam na construção destes sistemas através de linguagem computacional e gerenciamento de informações. Para cada “parte” de uma informação¹⁸ são atribuídas outras qualitativas e quantitativas. Estes dados, por sua vez, possuem uma interface gráfica, isto é, a própria projeção da distribuição espacial, além de uma interface de informações alfanuméricas, acessíveis através de um banco de dados associado.

Os temas espaciais diversos são agrupados em camadas ou Planos de Informação (PI), que são utilizados para análises individuais ou na derivação de

¹⁸ A informação pode ser definida como “conjunto de dados que possui determinado significado para um uso ou aplicação em particular” (Silva, 2003)

outras informações, a partir de sua interpretação ou cruzamento com outros PIs, através de operações matemáticas e lógicas.

Cada um desses PIs precisam de atributos que os localizem. Atribui-se, portanto, um *Datum*, o qual indica o local exato de localização na superfície terrestre em função de sua própria aproximação ao elipsoide de referência¹⁹. Cada parte do globo possui um cálculo diferente, dada a natureza das rugosidades superficiais e a geometria da terra. As convenções cartográficas acordam o *Datum* atribuído ao território e caso a atribuição seja errada, haverá distorções.

As informações necessariamente deverão ser projetadas em plano e, para tanto, atribui-se um sistema de projeção. As coordenadas servem para a localização através de pares de sequências numéricas, podendo ser atribuídas em planos polares e cartesianos, onde um ponto pode ser atribuído através da relação entre outro conhecido, a distância e o ângulo em que se encontra ou onde coordenadas são atribuídas nos eixos X, Y e Z, respectivamente.

Uma informação geográfica pode se encaixar em dois tipos básicos de arquivos, descritos a seguir.

O vetor pode ser representado através de seis formas de representação²⁰ diferentes: Pontos, linhas, polígonos, arcos, cadeias e nós. Portanto, todas as informações vetoriais atribuídas ao SIG pelo *software* precisa, necessariamente, obedecer a uma destas estruturas. Elas são caracterizadas por apresentarem formas geométricas e cada uma dessas é utilizada conforme a informação a ser representada. Estas informações, se estruturadas, podem ser manipuladas por operações matemáticas. A topologia define as relações dos objetos com o espaço e entre os próprios objetos.

O *raster* é uma matriz formada por *pixels* que contém informações sobre suas cores, sendo composto por bandas referentes às cores primárias

¹⁹ O elipsoide de referência é a aproximação matemática feita para gerar uma superfície o mais próxima possível da real que sirva de referência localização das informações geográficas. Cada *Datum* possui um elipsoide de referência e com base nele, as correções sobre os dados da superfície terrestre são feitos, gerando menor distorção nas informações.

²⁰ A forma de representação é determinada para o vetor contendo informações espaciais gráficas e alfanuméricas.

(Vermelho, Verde e Azul – RGB) e outros comprimentos de onda do espectro eletromagnético, como Infravermelho e Ultravioleta. As informações atribuídas a cada *pixel* podem ser de vários aspectos, tais como orientação, altitude, radiância, dentre outras.

Os *rasters* podem representar imagens de um terreno em diversas resoluções espaciais em cores reais do visível (organização das bandas RGB de forma que a resposta seja próxima àquela que são compostas por nossos olhos), uma imagem somente com a resposta do Infravermelho próximo, com intuito de indicar áreas vegetadas ou mesmo um Modelo Digital de Terreno (MDT), isto é, informações de altitude atribuídas aos pixels, formando uma grade de informações com coordenadas X (longitude), Y (latitude) e Z (altitude) que podem servir em análises tanto em 2D quanto 3D. Os dados possuem dada resolução espacial, isto é, a quantidade de elementos observados em relação ao espaço compreendido. A escala atribuída à cada representação e aquela onde o nível de observação pode ser detalhado possuem relação direta à esta resolução, uma vez que os dados possuem limitações conforme o detalhamento de seu levantamento. Pode-se dizer que em uma escala de maior detalhe, a resolução espacial é maior, sendo o inverso verdadeiro.

Materiais utilizados nas análises dos Sistemas de Informações Geográficas

Organizou-se a base de dados através da reunião dos mapas planialtimétricos elaborados pela Ampla Energia, na escala 1:10.000 em 2004, mapeamento geológico do Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro (DRM-RJ), na escala 1:100.000 (1978), mapeamento geológico Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) 1:500.000 (2000), mapeamento geológico e pedológico do Projeto Teresópolis 1:33.000 (1998 *Apud* GUIMARÃES, 2000), mapeamento da vegetação da Mata Atlântica em detalhe do Ministério do Meio Ambiente, 1:250.000, 2002, pontos coletados expeditamente pelo DRM-RJ e Defesa Civil no desastre de 2011, além da restituição feita pela autora com base em imagens do Projeto IBGE RJ 25, de 2005 em escala 1:25.000. Os dados sobre as propriedades físicas do solo foram consultados em Kozciac (2005), uma vez que os padrões pedológicos se

repetem nas regiões de estudo. Estes foram inseridos no banco de dados do mapa pedológico, criando uma base completa para a análise deste estudo.

Procedimentos para extração de informações morfométricas

A primeira etapa destes procedimentos é a constituição de MDT, gerando uma grade de informações de onde podem ser extraídos dados morfométricos como clinografia e geometria do terreno.

Para tanto, utilizou-se a base Ampla 1:10.000 com dados planialtimétricos do terreno, além de informações sobre os canais de drenagem. Estas informações estavam em formato *Computer-aided draft and design* (CAD)²¹ e foi necessária a conversão para o formato *shape*, utilizado no *software* ArcGis. Este mapeamento planialtimétrico foi realizado em coordenadas X, Y, Z, possibilitando a rápida conversão com parâmetros de localização e *Datum*. Utilizou-se o módulo do AutoCADMap denominado *Map Export*, selecionando todos os dados em topologia de linhas – separando as isoípsas dos canais de drenagem e do restante das informações para a exportação.

Com estes dados, as isoípsas foram transformadas em um MDT, que por sua vez possibilitou a delimitação das feições mínimas. Para tanto, se faz necessária a conversão dos dados das isoípsas através de algoritmos de interpolação. Para entender como este processo se desenvolve, primeiramente temos que entender a interpolação e quais os métodos que se encaixam no modelo de análise que propomos.

²¹ Segundo Silva (2003), o formato CAD foi desenvolvido como uma ferramenta de desenho ligada a um banco de dados rudimentar, utilizado para a representação e não para a análise. Os *softwares* de CAD são bastante utilizados na engenharia, arquitetura e outras áreas que trabalhem com desenhos em escalas de detalhe.

Figura 10 - Isoípsas (isolinhas de altitude).²²

Fonte: Fitz, 2008

Organização: Michelle O. Santos (2013)

A análise de contiguidade se refere a todo processo que envolve cálculos matemáticos sobre dados não adjacentes, transformando as informações em *rasters* no qual os cálculos relacionam os *pixels* e seus vizinhos imediatos. Para tanto, deve-se usar o método de interpolação mais adequado para cada informação. A interpolação pode ser determinada como

(...) processos em que se determina o valor de uma função matemática num ponto interno de um intervalo. A escolha de um determinado método de interpolação é decorrência da disposição geográfica dos pontos e da utilização de critérios estatísticos. (SILVA, 2003).

Dentre os métodos difundidos, destacam-se os de Inverso do Quadrado da Distância (IDW), *Krigagem*, curvatura mínima, métodos multiquadráticos e triangulação de Delaunay. Cada um possuem características peculiares, descritas na tabela 11.

²² (1) usadas para a geração de modelo digital de terreno (2) e modelo tridimensional de terreno (3).

Tabela 11 - Métodos de interpolação.

Tipo	Características
Inverso do quadrado das distâncias	A ponderação de dados é feita de maneira que a influência de um <i>pixel</i> a outro diminui conforme a distância.
Krigagem	Os atributos são estimados através da ponderação de todas as amostras, com a condição de que os pesos não ultrapassem o valor de 1 e as estimativas de variância sejam mínimas.
Curvatura mínima (<i>Spline</i>)	O método de curvatura mínima trabalha com segundas derivadas nos limites dos dados, o que gera uma superfície mais suave possível.
Métodos multiquadráticos	São interpoladores bastante exatos e que produzem superfícies suaves.
Triangulação de Delaunay	Método de interpolação bastante exato, representando relevos acentuados satisfatoriamente e baseia-se na criação de triângulos através da criação de pontos. É mais eficiente se aplicado entre as cotas 200 e 1000. Um de seus derivados é a RIT (TIN) – Rede irregular de triângulos, que tem, dentre outras funções, representar o relevo de forma hipsométrica

Fonte: SILVA (2003)

A interpolação utilizada na elaboração do modelo prevê que ele seja hidrologicamente correto e tenha uma menor distorção em relação à área e ao volume. Para tanto, foi utilizado o método *Topo to Raster* do software ARCGis (*Spatial Analyst > Interpolation > Topo to raster*) que nada mais é que um algoritmo baseado no método de interpolação do tipo curvatura mínima (*Spline*), onde o peso para a rugosidade foi alterado com intuito de entender as mudanças clinográficas abruptas que são próprias dos canais.

Este módulo é baseado no programa ANUDEM²³ e com ele é possível construir um modelo que represente os canais e os cumes baseados nas isoípsas e informações sobre a rede de drenagem. Sabendo que a superfície conta com maior número de áreas de cumes em relação aos canais, o processo

²³ Desenvolvido por Michael Hutchinson (1988, 1989, 1996, 2000 e 2011)

de interpolação pode ser mais preciso, além de ser capaz de apontar áreas com problemas de dados relacionados às cotas muito mais baixas que o entorno.

A partir da elaboração do MDT, foi feita a construção da carta e do banco de dados de feições mínimas, através do método de *Curvature*, *script* integrante do módulo *ArcToolbox*, disponível no software ARCGis. O método de *Curvature* consiste no cálculo de três arquivos de saída: curvatura célula a célula, curvatura em planta e curvatura em perfil. Interessara-nos as duas últimas saídas.

Os dados de saída possuem valores positivos e negativos a 1/100 das unidades de Z. Em planta, um valor positivo indica uma superfície convexa naquela célula, negativo indica concavidade e valores iguais a zero, retilinearidade. Para perfil, valores positivos indicam superfícies côncavas, negativos, convexas e iguais a zero, retilíneas.

Operações matemáticas: álgebra de mapas cumulativa

Estes dois planos de informação, em planta e perfil, foram submetidos a uma reclassificação para então compor o mapa de FM. A reclassificação é um método que, segundo Silva (2003).

(...) permite que diferentes usuários, utilizando-se de um mesmo banco de dados, produzam informações especializadas de acordo com seus respectivos interesses.

(...) A função de reclassificação não significa uma simplificação dos dados espaciais, mas sim a utilização otimizada dos dados espaciais contidos em um determinado banco de dados, permitindo a integração de numerosos PIs, para atingir objetivos bem definidos.

A álgebra de mapas cumulativa consiste em

(...) operações matemáticas básicas (adição, subtração, divisão, multiplicação) entre matrizes que correspondam ao arranjo dos dados espaciais contidos em mapas georreferenciados. (SILVA, 2003).

Com o intuito de evitar a ambiguidade entre as informações geradas, consideremos os valores gerados para a concepção de uma matriz de correspondência. Para tanto, em planta, todo o universo de dados menores que 0 (concavidades), teve o número 20 associado, 30 para valores iguais a 0

(retilinearidades) e 40 para valores maiores que zero (convexidades). Em perfil, os dados menores que zero (convexidades), foi atribuído o valor de 10, retilinearidades (iguais a zero), 5, e maiores que zero (concavidades), foi atribuído o valor de 1.

Após esta etapa, os dois planos de informações tiveram seus dados somados, utilizando método de álgebra de mapas através do módulo *Raster Calculator* (*Spatial Analyst tools > Map Algebra > Raster calculator*) do próprio software.

Desta maneira, teremos uma matriz composta pelos seguintes valores:

Tabela 12 - Valores atribuídos às feições mínimas, após análise em planta e perfil

Perfil	Planta			
		CC (-1)	Ret. (0)	CV (1)
	CC (1)	21	31	41
	Ret. (0)	25	35	45
	CV(-1)	30	40	50

Elaboração: Michelle O. Santos (2013).

Para cada feição, atribuímos valores únicos e a partir desta relação de informações temos individualizados os nove tipos de informações sobre as FM.

Porém, pela singularidade do sítio de estudos, apenas quatro foram identificadas. Aquelas referentes às formas retilíneas do terreno não identificadas.

A partir do cruzamento das informações físicas do solo, da vegetação e informações sobre FM, foi aplicada álgebra de mapas e operações matemáticas pertinentes ao método, gerando mapas com informações sobre a iminência dos processos. Cada PI, com as devidas informações a serem calculadas pela fórmula do FS, foi inserido no cálculo através do *Raster Calculator*, onde obteve-se as informações sobre as duas situações analisadas: Solo Saturado e Solo Drenado. A partir destas informações, determinaram-se as relações entre as variáveis analisadas (PIs) e os dados extraídos por cada método, comparando os padrões das áreas com possibilidade de ocorrência de escorregamentos em relação às FM.

Métodos para a diminuição de ruídos em dados contínuos

Para o contíguo de dados gerados, optou-se por trata-los por meio de análise de valores vizinhos, com intuito de diminuir os ruídos e as descontinuidades das informações, tais como picos de valores ou inconsistências em um conjunto identificado.

Para tanto, optou-se por utilizar duas ferramentas distintas em duas etapas do trabalho: A limpeza dos limites dos conjuntos de dados através do *script Boundary Clean* e a suavização das transições de dados para a eliminação de picos de informações através do *script Filter* (opção *Lowpass*).

Boundary Clean

A ferramenta *Boundary Clean* consiste na suavização dos limites entre as zonas através da expansão ou contração das mesmas. Todas as zonas com menos de três células nos eixos X ou Y são modificadas.

Figura 11 - Esquema da função Boundary Clean.²⁴

Fonte: ESRI, 2015.

Esta função foi utilizada tanto nos dados de FS como nos dados de FM. No primeiro conjunto, ajudou a eliminar valores discrepantes. No segundo,

²⁴ O intuito de sua aplicação é suavizar bordas através do cálculo dos valores vizinhos. Seu resultado é um conjunto de dados com bordas suavizadas, porém com uma continuidade mais consistente.

auxiliou na delimitação das zonas morfológicas, tornando-as contíguas de modo satisfatório e morfológicamente correto.

Filtro passa baixa

O filtro passa baixa (*Filter LowPass*) foi uma tentativa de eliminar os dados anormais do conjunto de dados do FS. Após a divisão temática entre as FM, os dados eram insatisfatórios para a análise estatística por apresentar valores extremos. Optou-se, em um primeiro momento, à esta que também objetiva a suavização dos dados (*LowPass*), executando uma função de média entre os vizinhos.

Percebeu-se que os valores extremamente altos diminuíram em uma taxa de 50%, em média, o que não foi suficiente para a que os dados tornassem estatisticamente regulares. Foi neste momento que se optou pela análise estatística do conjunto dos dados e o tratamento daqueles considerados contaminantes.

Análise de dados anormais (outliers)

Os dados considerados *outliers*, ou anormais, são todos aqueles que podem ser identificados como dados muito acima ou muito abaixo do conjunto principal. Para validar esta observação, os dados devem ser tratados por um método estatístico e para tanto, optou-se pela elaboração de um *BoxPlot*, que consiste em construir um gráfico que represente todo o conjunto de dados e que, através de certos parâmetros, descritos a seguir, determina aqueles que podem ser considerados anormais. Para tal, calcula-se a mediana, isto é, o exato valor que divide o conjunto de dados ao meio, determinam-se os quartis inferior (Q1) e superior (Q3), subtrai o quartil inferior do superior, determinando o valor de L. Para os valores que estiverem no intervalo $Q3 + 1,5L$, $Q3 + 3L$, $Q1 - 1,5L$ e $Q1 - 3L$ podem ser considerados anormais ou *outliers*. A representação do conjunto de dados tratados por este método pode ser observada no gráfico 5.

Gráfico 5 - Gráfico Boxplot para os valores de Fator de Segurança drenado e saturado.

Elaboração: Michelle O. Santos, 2015.

A diferença na quantidade de dados analisados nesta etapa se dá pelas respostas diferentes entre as situações saturado e drenado frente aos filtros aplicados para tornar os dados mais homogêneos.

Após os resultados da análise dos dados anormais, consideraram-se os valores até FS 10 para os cálculos, mostrando satisfatória a aplicação desta técnica para o refinamento do conjunto de dados.

Análise estatística dos dados

Alguns métodos básicos de estatística foram aplicados aos dados com intuito de facilitar a análise das amostras. Para tanto, foi calculada a média, o desvio padrão e representado em histograma a distribuição dos dados. A análise da média se mostra importante, pois a partir dela uma tendência pode ser indicada, apesar de os dados não serem espacialmente homogêneos. O desvio padrão que mede os desvios em relação à média, foi aplicado para minimizar os erros de análise a partir da média, pois mostra uma relação não espacial da variabilidade dos dados. O histograma, por sua vez, ilustra a distribuição destes dados e auxilia a análise, já que a distribuição gráfica nos dá a ideia da real tendência dos dados, explicitando dimensão do problema.

Apresentação de dados e informações

As Feições Mínimas da microbacia do Rio Fischer

As FM encontradas na área correspondem a quatro dos nove padrões possíveis na proposição de Colangelo (1989) (Mapa 7), sendo os CC-CC, que correspondem a 21,8% da área, os CC-CV, que são 21,7% da superfície analisada, os CV-CC, correspondente a 27,7% da superfície e os CV-CV, abrangendo 28,8% da área de estudos.

Índices de Fator de Segurança na microbacia do Rio Fischer

Foi calculado o índice de FS para duas situações distintas na microbacia do Rio Fischer – solo drenado e solo saturado – e para cada uma destas situações foi calculada a média e o desvio padrão dos dados.

Fatores de Segurança para solo drenado

Observa-se na análise dos dados de FS para solo drenado (Mapa 8) que, de modo geral, os índices permanecem entre **estabilidade crítica** (6,3% da área) e **excelente estabilidade** (21,3% da área), tendo a maior quantidade de valores, cerca de 32,5%, assim como representado no histograma do mapa entre os fatores de segurança 2-3, significando que estas áreas são estáveis. O desvio padrão dos dados é de 1,81, indicando que em média os índices estão entre **estáveis** e com **boa estabilidade**.

Fatores de Segurança para solo saturado

Os índices de FS para solo saturado (Mapa 9) encontram-se entre os **extremamente instáveis** (1% da área) e com **excelente estabilidade** (4,5%), sendo que a maior extensão de área se encontra sob condição **Estável** (30,5%), assim como apresentado no histograma do mapa. O desvio padrão dos dados é de 1,15, isto é, em média, as áreas estão entre **instáveis** e de **boa estabilidade**.

Representação das feições mínimas do relevo

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Feições mínimas do relevo

Côncavo-Côncavo

Côncavo-Convexo

Convexo-Côncavo

Convexo-Convexo

Classes de feições mínimas do relevo

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S

Projection: Transverse Mercator

Datum: SIRGAS 2000

False Easting: 500.000.000

False Northing: 10.000.000.000

Central Meridian: -45.0000

Scale Factor: 0.9996

Latitude Of Origin: 0.0000

Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
Michelle Odete dos Santos, 2015

Mapa 7 - Feições mínimas do relevo na microbacia do Rio Fischer

Fator de segurança para solo drenado

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

- < 1 - Extremamente instável (0%)
- 1 - 1,5 - Instável (0%)
- 1,5 - 2 - Estabilidade crítica (6,3%)
- 2 - 3 - Estabilidade (32,5%)
- 3 - 4 - Boa estabilidade (25,3%)
- 4 - 5 - Alta estabilidade (14,6%)
- > 5 - Excelente estabilidade (21,3%)

Média de FS - 3,91

Desvio Padrão dos valores de FS - 1,81

0 150 300 450 600 Metros

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S

Projection: Transverse Mercator

Datum: SIRGAS 2000

False Easting: 500.000.000

False Northing: 10.000.000.000

Central Meridian: -45.0000

Scale Factor: 0,9996

Latitude Of Origin: 0.0000

Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
Michelle Odeite dos Santos, 2015

Mapa 8 - Fator de segurança para solo drenado

Fator de segurança para solo saturado

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermittente

Perene

Fator de segurança (FS)

- < 1 - Extremamente instável (1%)
- 1 - 1,5 - Instável (19,2%)
- 1,5 - 2 - Estabilidade crítica (26,1%)
- 2 - 3 - Estabilidade (30,5%)
- 3 - 4 - Boa estabilidade (12,7%)
- 4 - 5 - Alta estabilidade (6%)
- >5 - Excelente estabilidade (4,5%)

Média de FS - 2,45
Desvio Padrão dos valores de FS - 1,15

0 150 300 450 600 Metros

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S
Projection: Transverse Mercator
Datum: SIRGAS 2000
False Easting: 500.000.000
False Northing: 10.000.000.000
Central Meridian: -45.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
Michelle Odeite dos Santos, 2015

Mapa 9 - Fator de segurança para solo saturado

As Feições Mínimas como unidade de análise para o Fator de segurança

Analizamos os índices de FS através da associação com as FM, que intrinsicamente, trazem informações importantes como comportamento superficial hidrográfico, ruptura de declive e orientação do terreno. Observando sob esta perspectiva, buscaram-se padrões entre áreas com menores índices de FS e certas classes de FM, associando às áreas com maior possibilidade de ocorrer escorregamentos.

Para tanto, obteve-se oito mapas, segundo as FM, o valor do FS e a situação do solo – drenado ou saturado.

Fator de Segurança para Feição Mínima do tipo Côncava-Côncava

Solo drenado

Conforme o mapa 10, esta forma apresenta FS médio de 4,1 e mínimo de 1,5, sendo que nenhuma das áreas está classificada como instável. A estabilidade crítica se faz presente, sobretudo, nas áreas de encostas onde o índice clinográfico é acima de 47% (a carta clinográfica da bacia do Rio Fischer encontra-se no Anexo I), áreas de Cambissolo e acima da cota 860m. Os menores índices estão sempre associados às áreas com declividades acima de 55%. Pode-se observar que em uma, mesmo possuindo declividade acima de 60% e as demais características das áreas com índice de $FS < 2$, apresenta índices maiores que 2. Este fato está associado à presença de vegetação e a tensão que as raízes exercem sobre o terreno, apesar de contar como força solicitante o próprio peso das árvores.

Solo saturado

Para o solo saturado das unidades do tipo CC- CC (Mapa 11), a média do índice do FS é de 2,5 e o menor valor alcançado é de 0,89, estável e extremamente instável, respectivamente. Baixos índices do FS encontram-se a partir da planície fluvial (Cota 880m, Cambissolo), distribuindo-se pela porção média das vertentes e nos anfiteatros, estando assim, associados à captação. Há claramente a ocorrência de menores índices em áreas de parca vegetação – área urbanizada, sobretudo, podendo associar também às declividades acima de 30%. Em 19% de toda a área desta feição, os índices podem ser

considerados instáveis ou extremamente instáveis e cerca de 26% em estabilidade crítica.

Fator de Segurança para Feição Mínima do tipo Côncava-convexa

Solo drenado

O Mapa 12 mostra a distribuição desta feição para solo drenado, que se encontra, geralmente, na porção média das encostas em áreas de declividade geralmente acima de 30%, com FS médio de 6,5 e mínimo de 1,6, nenhuma em limites de instabilidade. Seus menores índices ($FS < 2$) são encontrados em uma cabeceira de drenagem com índice de declividade maior que 55 % e em uma porção alta de uma vertente, com índice clinográfico acima de 60% e ambos acima da cota 930m. Em todas as áreas encontram-se Cambissolos.

Solo saturado

Na FM CC-CV, em solo saturado (Mapa 13), a média do FS é de 2,4, avaliado como estável. Porém, 14,3% do total da área para esta feição apresentam índices abaixo de 1,5, considerados instáveis ou extremamente instáveis. Os menores valores do FS para esta área (menores que 1,5) são encontrados associados às cabeceiras de captação, tendo como cobertura pedológica, Cambissolos.

Fator de Segurança para Feição Mínima do tipo Convexa-côncava

Solo drenado

Para solo drenado (Mapa 14), a média do FS é 3,6, considerado de boa estabilidade. Não há informações sobre áreas com FS menor que 1,5 – o menor valor encontrado é de 1,57. Entretanto, as áreas em estabilidade crítica, isto é, com índices entre 1,57 e 2 são encontradas em cerca de 9,3% da área, distribuindo-se entre vegetação baixa e sem a presença de árvores, declividades acima de 40%, cobertas por Cambissolo e acima da cota 860m.

Solo saturado

Para solo saturado (Mapa 15), as feições do tipo CV-CC têm média de FS 2,2, o que é considerado estabilidade crítica e, apesar de a maioria das feições deste tipo serem consideradas estáveis (28,9%), as destas áreas estão em locais com cobertura vegetal densa. Do total, 26,3% da área CV-CV está em situação

de instável ou extremamente instável. A estabilidade crítica, por sua vez, abrange 27,9% do total da área. Todas as áreas com índice de FS < 1,5 estão sobre a cobertura de Cambissolo, nas altitudes médias das vertentes, na maioria dos casos. Os índices clinográficos para FS < 1,5 estão acima de 47%.

Fator de Segurança para Feição Mínima do tipo Convexa-convexa

Solo drenado

Com média de 3,8 e menor índice do fator de segurança em 1,57, a maior parte das feições do tipo CV-CV (Mapa 16) encontram-se em índices estáveis (entre 3 e 4, cerca de 31,2% da área). No entanto, 6,4% da área das FM deste tipo estão em estabilidade crítica (índices entre 1,57 e 2). Estas áreas estão distribuídas em sua totalidade por áreas com vegetação rasteira ou áreas urbanizadas, cobertas por Cambissolo, geralmente nas porções mais altas das vertentes, próximo aos interflúvios, porém há ocorrências a partir da cota 880m.

Solo saturado

As feições do tipo CV-CV têm média de 2,4 de FS em solo saturado (Mapa 17), indicando, em média, estabilidade. Contudo, 18,8% da área total desta feição são consideradas instáveis ou extremamente instáveis, associando estas áreas àquelas com baixa vegetação ou nula (áreas urbanizadas) ou em inclinação alta, acima de 40%. A totalidade destas áreas está sobre a cobertura de Cambissolo

Fator de segurança para solo drenado em feições mínimas do tipo Côncava-Côncava

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

Média de FS - 4,1

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S

Projection: Transverse Mercator

Datum: SIRGAS 2000

False Easting: 500.000.000

False Northing: 10.000.000.000

Central Meridian: -45.0000

Scale Factor: 0,9996

Latitude Of Origin: 0.0000

Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
Michelle Odete dos Santos, 2015

Mapa 10 - Feições mínimas Côncavas-côncavas para FS em solo drenado

Fator de segurança para solo saturado em feições mínimas do tipo Côncava-Côncava

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

Média de FS - 2,5

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S

Projection: Transverse Mercator

Datum: SIRGAS 2000

False Easting: 500.000.000

False Northing: 10.000.000.000

Central Meridian: -45.0000

Scale Factor: 0,9996

Latitude Of Origin: 0.0000

Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
Michelle Odete dos Santos, 2015

Mapa 11 - Feições mínimas Côncavas-côncavas para FS em solo saturado

Fator de segurança para solo drenado em feições mínimas do tipo Côncava- Convexas

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

- < 1 - Extremamente instável (0%)
- 1 - 1,5 - Instável (0%)
- 1,5 - 2 - Estabilidade crítica (2,4%)
- 2 - 3 - Estabilidade (29,5%)
- 3 - 4 - Boa estabilidade (32,6%)
- 4 - 5 - Alta estabilidade (17%)
- >5 - Excelente estabilidade (18,5%)

Média de FS - 6,5

0 150 300 450 600 Metros

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S
Projection: Transverse Mercator
Datum: SIRGAS 2000
False Easting: 500.000.000
False Northing: 10.000.000.000
Central Meridian: -45.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
Michelle Odete dos Santos, 2015

Mapa 12 - Feições mínimas Côncavas-convexas para FS em solo drenado

Fator de segurança para solo saturado em feições mínimas do tipo Côncava- Convexas

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

Média de FS - 2,4

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S

Projection: Transverse Mercator

Datum: SIRGAS 2000

False Easting: 500.000.000

False Northing: 10.000.000.000

Central Meridian: -45.0000

Scale Factor: 0.9996

Latitude Of Origin: 0.0000

Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
Michelle Odeite dos Santos, 2015

Mapa 13 - Feições mínimas Côncavas-convexas para FS em solo saturado

Fator de segurança para solo drenado em feições mínimas do tipo Convexa-Côncava

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

Média de FS - 3,6

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000.000
 False Northing: 10.000.000.000
 Central Meridian: -45.0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
 Michelle Odete dos Santos, 2015

Mapa 14 - Feições mínimas Convexas-côncavas para FS em solo drenado

Fator de segurança para solo saturado em feições mínimas do tipo Convexa-Côncava

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

Média de FS - 2,2

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000.000
 False Northing: 10.000.000.000
 Central Meridian: -45.0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0,0000
 Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
 Michelle Odete dos Santos, 2015

Mapa 15 - Feições mínimas Convexas-côncavas para FS em solo saturado

Fator de segurança para solo drenado em feições mínimas do tipo Convexa-Convexa

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

Média de FS - 3,8

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S

Projection: Transverse Mercator

Datum: SIRGAS 2000

False Easting: 500.000.000

False Northing: 10.000.000.000

Central Meridian: -45.0000

Scale Factor: 0,9996

Latitude Of Origin: 0.0000

Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
Michelle Odete dos Santos, 2015

Mapa 16 - Feições mínimas Convexas-convexas para FS em solo drenado

Fator de segurança para solo saturado em feições mínimas do tipo Convexa-Convexa

Legenda

Divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Fischer

Drenagem

Intermitente

Perene

Fator de segurança (FS)

Média de FS - 2,4%

1:15.000

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000.000
 False Northing: 10.000.000.000
 Central Meridian: -45.0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

Compilação de dados e Elaboração:
 Michelle Odete dos Santos, 2015

Mapa 17 - Feições mínimas Convexas-convexas para FS em solo saturado

Relação entre pontos de escorregamentos mapeados e Fator de Segurança

A análise dos pontos de escorregamento mostrou que a média do FS para estes pontos em situação de solo saturado é de 1,5, isto é, encontra-se na faixa de estabilidade crítica. No entanto, a moda para estes valores é de 1,2, isto é, de todas as 23 ocorrências, o FS que mais se repete é o de 1,2, isto é, está na faixa de instabilidade.

Gráfico 6 - Fator de segurança dos pontos de escorregamento.
Elaboração: Michelle O. Santos, 2015.

De todas as 23 ocorrências, 52%, ou 12 pontos, encontram-se em níveis de instabilidade. Destes pontos, nenhum se encontra em níveis de instabilidade extrema.

Análise dos Dados

Áreas Côncavas-côncavas (CC-CC)

As áreas monoclinodirecionais do tipo CC-CC podem ser associadas aos cursos dos corpos d'água por terem um perfil hidrodinâmico hiperconcentrador e um domínio de fluxo de concentração, favorecendo o curso intermitente ou perene. Da mesma maneira, elas contam com a presença de água por um longo período de tempo, o que pode acarretar em determinados cenários, tais como

altos índices clinográficos, presença de certos tipos de vegetação que retenham muita água ou total ausência de cobertura vegetal (fator determinante para processos erosivos), possibilitando o aumento da tensão cisalhante.

Áreas Côncavas-convexas (CC-CV)

As áreas CC-CV apresentam perfil hidrodinâmico hipoconcentrador e domínio de fluxo de concentração, sendo observadas em áreas individualmente pouco extensas, geralmente em locais de transição entre outras feições extensas desta área. Pela observação entre estas formas e as imagens de satélite, pode-se perceber, de maneira dedutiva, que muitas destas áreas assemelham-se a depósitos, possivelmente coluviais.

Áreas Convexo-côncavas(CV-CC)

Na sub-bacia do Rio Fischer, estas feições podem ser encontradas comumente nas altitudes médias e tem como característica ser uma feição hipodispersora e de domínio de fluxo dispersor, sendo susceptíveis aos movimentos de massa ligados à precipitação, conforme Bonuccelli (1999 *apud* KOZCIAK, 2005).

Áreas Convexo-convexas (CC-CC)

Esta feição é a mais representativa da microbacia em questão, sendo presente em toda sua extensão e mais comumente encontrada nas áreas mais altas. Esta é uma área de hiperdispersão. Conclui-se que por sua característica morfológica seja menos susceptível aos escorregamentos induzidos pelas precipitações, porém, as instabilizações de sopé podem levar ao movimento de massa, tais como rastejo.

Índices de Fator de Segurança e declividade

Observam-se índices de estabilidade em FS para solo drenado em áreas de planície fluvial e em áreas com até 30% de declividade, sendo este o limite máximo para ocupações legais. Os índices mais baixos de FS encontram-se em áreas com declividade acima de 30%, sendo bastante representativo os índices acima de 47%.

Os altos índices de FS para solo saturado (acima de 5) limitam-se, basicamente, às áreas com declividade de até 12%, isto é, à planície fluvial, topos de morro e algumas secções das vertentes. A partir deste limiar, os índices tornam-se cada vez mais instáveis, na medida em que os índices clinográficos aumentam.

Índices de Fator de Segurança e solos

A associação entre os índices de FS e solos é bastante facilitada nesta área, uma vez que o mapeamento indica dois tipos básicos de solo (Cambissolo e Gleissolo). Para solo drenado, ao estarem associados às planícies fluviais, os maiores índices de FS estão diretamente ligados aos solos hidromórficos do tipo Glayssolos. A associação entre o FS e o Cambissolo Áplico se dá de duas formas, igualmente ligados aos índices clinográficos – declividades de até 30%, altos índices de FS, diminuindo conforme o índice clinográfico aumenta.

A relação é basicamente a mesma entre os tipos de solos e o FS de solos drenados, sendo a associação entre FS e Cambissolo se dá de forma direta, isto é, para Cambissolo, os índices de FS são quase que totalmente abaixo de 2, **estabilidade crítica**.

Índices de Fator de Segurança e análise das forças solicitantes e resistentes

A estabilidade em solos drenados está ligada ao seu peso específico nesta condição, que é menor se comparado ao solo saturado, agindo como força resistente e solicitante, além da menor quantidade de água presente, sendo assim, subtraímos o valor de seu peso específico dos cálculos de FS para solo drenado por entender que os poros não estão preenchidos por esta substância, ao contrário do que ocorre no solo saturado. Além disso, considera-se para os

cálculos que o lençol freático se encontra em nível de base do solo, isto é, a altura entre o lençol freático e a superfície é igual a altura total do solo e altura do lençol freático a partir da superfície de potencial escorregamento é zero. Nestas condições, a tensão cisalhante passa a ser menor, dando mais estabilidade ao terreno analisado.

Com a presença da água no cálculo de FS, a tensão cisalhante torna-se maior, determinando áreas onde, possivelmente na presença de água, as condições tendem à instabilidade. Na equação aplicada para uma situação de saturação do solo, considerou-se que o lençol freático se encontrava no nível da superfície e que sua altura é igual à profundidade do solo. Uma observação importante a ser feita, à título qualitativo, é a nítida diferença entre os índices nas áreas onde há vegetação e onde esta não é presente, conforme pode ser observado no mapa 5 de uso da terra. Isto indica a importância da variável ligada à presença de árvores para a situação do solo na estabilidade das vertentes.

Possibilidade de escorregamentos em Feições Mínimas por meio da análise do Fator de Segurança

Para solos drenados, o menor índice médio de FS se encontra nas unidades CV-CC (3,6), sendo considerada a “menos estável” e as áreas CC-CV, tendo um índice de fator de segurança médio de 6,5, pode ser considerada a “mais estável”. As considerações sobre os termos devem-se ao fato de nenhuma das feições apresentarem índices de FS abaixo de 1,5, o que significa que nenhuma área pode ser considerada instável para esta situação.

Todas as FM para solo saturado apresentam médias de fator de segurança estáveis. No entanto, analiticamente, as áreas CV-CC são as que apresentam maior área em índices instáveis e extremamente instáveis, cerca de 26,3%, além de mais de 27% da área estar em situação de estabilidade crítica.

Percebe-se que há uma mudança considerável nos índices FS entre os solos drenados e saturados, vegetados e não vegetados, com altos índices clinográficos ou em função dos tipos de solos.

Às FM podem relacionar o fator de segurança ao tipo de drenagem superficial e a concentração do fluxo fluvial e pluvial. Sabendo-se que a

pluviosidade e a quantidade de água presente superficialmente e subsuperficialmente são os maiores agentes exógenos para o início dos escorregamentos nas áreas tropicais, podemos definir uma matriz de relação direta conforme a seguir.

Tabela 13 - Interpretação sobre o comportamento das vertentes a partir das variáveis elencadas por Colângelo (1996).

<i>Tipo de feição mínima</i>	Perfil hidrodinâmico/ Domínio de fluxo	Comportamento em situação de solo saturado²⁵
<i>Convexo-côncava</i>	Hipodispersor/ dispersor	1 – Altamente suscetível
<i>Côncava-côncava</i>	Hiperconcentrador/ concentrador	2 – Muito suscetível
<i>Convexa-convexa</i>	Hiperdispersora/ dispersor	3 – Suscetível
<i>Côncavo-convexa</i>	Hipoconcentrador/ concentrador	4 – Pouco suscetível

Compilação: Michelle O. Santos (2015)

A tabela 13 apresenta uma síntese dos estudos de Colângelo (1996) para comportamento hidrodinâmico e a interpretação sobre o comportamento de cada uma das feições apresentadas nesta pesquisa em uma situação de solo saturado, levando em consideração a análise das FM e do FS. Apesar de simplificada, a tabela nos indica uma tendência dos movimentos de massa em função das formas e da quantidade de água possível ou contínua e seu fluxo superficial. As feições CV-CC podem ser interpretadas como mais suscetíveis através da análise do FS e da própria FM, que nos traz a informação que seu desenho em planta (convexo) propicia à maior percolação de água no solo, enquanto seu desenho em perfil mostra uma maior convergência do fluxo de

²⁵ Associado às declividades acima de 40% e a cobertura vegetal parca ou inexistente

água, sendo que este fluxo pode ser efetivo na questão dos escorregamentos se as condições superficiais de clinografia e cobertura forem favoráveis à percolação de água no solo. A tabela 8 mostra a relação entre a forma da vertente e a ocorrência de escorregamentos, corroborando com esta análise, uma vez que as vertentes CV-CC seriam as mais propensas aos movimentos de massa. Por sua vez, as vertentes CC-CV seriam as menos propensas por apresentarem uma maior evolução topográfica, diminuindo a possibilidade de percolação da água, por sua planta côncava e aumentar o espalhamento por seu perfil convexo, naturalmente um dispersor radial.

Relação entre pontos de escorregamentos mapeados e Feições Mínimas

São 25 pontos mapeados para a bacia do Rio Fischer, 23 deles correspondendo a escorregamentos e dois a solapamentos de margem de rio.

Destes 23 pontos, 21 estão em área urbanizada, um em área de solo exposto e que é anterior aos eventos de 2011 – portanto não será contabilizado na análise - e um em área com vegetação de campo. Este alto número em área urbanizada se deve ao fato de que a natureza do levantamento é o de indicar risco, o que pressupõe vidas humanas.

Mapa 18 - Mapa da relação entre os pontos e as feições mínimas na microbacia do Rio Fischer

Mapa da relação entre pontos e FM na microbacia do Rio Fischer

Elaboração: Michelle O. Santos (2015)

Mesmo com esta limitação, os pontos abarcam todos os tipos de feições mínimas. Ao analisar a distribuição destes, temos as informações conforme a Tabela 14.

Tabela 14 - Quantidade de pontos de escoamento por feição mínima.

<i>Feição mínima</i>	Total de pontos
<i>Côncavo-côncavo</i>	32% (7)
<i>Côncavo-convexo</i>	5%(1)
<i>Convexo-côncavo</i>	50% (11)
<i>Convexo-convexo</i>	18% (4)

Elaboração: Michelle O. Santos (2015)

As informações indicam que a maior incidência de pontos de escorregamento ocorreu nas vertentes do tipo CV-CC, com 11 incidentes ou 50% do total. Esta informação corrobora com as interpretadas a partir da análise dos dados de FS, segundo as FM que apontaram esta feição como a mais suscetível aos escorregamentos. Da mesma forma que a tendência se mostrou verdadeira neste caso, as outras feições também seguiram a mesma lógica sobre possibilidade aos escorregamentos, em ordem de maior possibilidade para menor: CC-CC, CV-CV e CC-CV.

Analisou-se o FS para solo drenado e saturado com intuito de ilustrar a importância a presença de água nos movimentos de massa e concluiu-se que não há valores de FS menores que 1,5 para solo drenado. No entanto, para a resposta para solo saturado, observa-se que os fatores solicitantes aos movimentos de massa, ou FS menor que 1,5 se repetem: Declividade acima de 30% - com declividades acima de 47% apresentando FS ainda menor - e falta de cobertura vegetal.

A clinografia foi considerada fator importante para ocorrência de movimentos de massa, porém, no ponto de vista da FM não é uma causa isolada e direta da instabilidade, pois seus índices médios e a distribuição de seus valores não diferenciam as áreas de risco em função das formas, porém determina áreas de maior ou menor risco na mesma feição, desde que associada à cobertura da terra (Gráficos 7, 8, 9, 10 e 11).

Gráfico 7 - Histograma da declividade em Feições Mínimas Côncavas- convexas. Mean – Média; StDev – Desvio Padrão; N – Número de amostras.

Elaboração – Michelle O. Santos (2015).

Gráfico 8 - Histograma da declividade em Feições Mínimas Convexas-côncavas. Mean – Média; StDev – Desvio Padrão; N – Número de amostras.

Elaboração – Michelle O. Santos (2015).

Gráfico 9 - Histograma da declividade em Feições Mínimas Convexas-convexas. Mean – Média; StDev – Desvio Padrão; N – Número de amostras.

Elaboração: Michelle O. Santos (2015)

Gráfico 10 - Histograma da declividade em Feições Mínimas Côncavas-côncavas. Mean – Média; StDev – Desvio Padrão; N – Número de amostras.

Elaboração: Michelle O. Santos (2015)

Gráfico 11 - Histograma comparativo da declividade em Feições Mínimas. Mean – Média; StDev – Desvio Padrão; N – Número de amostras.

Elaboração: Michelle O. Santos (2015)

Os histogramas apresentam pouca variação da média de valores da declividade e da distribuição de dados. A FM que apresentou maior possibilidade de eventos de escorregamento apresenta distribuição de valores semelhante às outras feições e não tem maior média clinográfica entre as analisadas, sendo este índice maior nas feições CV-CV, ou seja, a que apresenta a segunda maior estabilidade entre as analisadas.

Conclusões

Sobre o método

O método de FM do relevo se mostra eficiente aos propósitos desta pesquisa, uma vez que as vertentes são divididas em função da morfologia, com determinações da dinâmica dos fluxos hídricos superficiais, o que se mostra bastante pertinente ao considerar a precipitação como fator importante para o comportamento dos escorregamentos em regiões tropicais onde a atividade tectônica é baixa.

Por sua vez, na análise do FS, a resposta de cada uma das variáveis e a interação entre elas determina o índice que indica a estabilidade da vertente em função da mecânica de solos, morfometria, cobertura da terra e quantidade de água presente na superfície de análise. As de diversas variáveis podem ser

analisadas individualmente através da utilização dos SIGs e com isso a determinação de cada uma delas na ocorrência de escorregamentos podem ser individualizada. Destacamos aqui que a maior dificuldade na aplicação deste método para grandes áreas se dá ao fato de que as informações sobre solos são obtidas através de ensaios e análises em laboratório, bastante específicos, complexos e onerosos. Seria necessário que estes testes abrangessem a maior quantidade de tipos de solos possíveis, para que o método se tornasse mais acessível.

Ao se integrar os dois métodos, criou-se a possibilidade de analisar as variáveis do FS ao mesmo tempo em que se individualiza as formas das vertentes e se relacionam às informações procedentes de ambos. Além de ser possível a análise da variação da possibilidade de escorregamentos entre as feições é possível analisar os fatores determinantes na mesma feição.

O SIG, por sua vez, é ferramenta crucial para a construção do modelo proposto, pois, além da supracitada função de facilitar a análise de variáveis, foi determinante para a aplicação dos métodos e sua integração, através da possibilidade de se utilizar operações algébricas para a manipulação de dados temáticos e sistemáticos e de operações estatísticas para o refino e análise dos dados. Segundo Tominaga (2007), os modelos determinísticos para cálculo do FS são amplamente aplicado, especialmente após a introdução do SIG, pois "(...) facilita a simulação de múltiplos cenários baseados em fatores e variáveis (usualmente fatores deflagradores de escorregamento), bem como a produção de mapas de perigo confiáveis". Pela utilização dos SIGs foi possível não só demonstrar as tendências dos dados, mas sua distribuição e comportamento.

A estrutura lógica de manipulação de dados em ambiente SIG desenvolvida para o modelo de sistematização da aplicação dos métodos deste estudo, mostrou-se como uma ferramenta efetiva e capaz de ser disseminada dada a facilidade de aplicação.

Compreende-se, portanto que o método proposto torna-se efetivo se integrado à tecnologia dos SIGs e ferramentas estatísticas. No campo da Geografia estas são técnicas e ferramentas muitas vezes subjugadas e

subutilizadas, mas com a crescente complexidade dos dados e análises, tornam-se cada vez mais indispensáveis para qualquer tipo de análise.

Sobre os dados

Foram quatro as FM delimitadas na microbacia do Rio Fischer, conforme apresentada na análise deste trabalho. Na proposta inicial, este método apresenta nove classes de FM, porém o resultado indica que superfícies retilíneas não são suficientemente extensas ou comuns para que fossem reconhecidas.

As áreas CV-CC, por ser naturalmente uma forma mais suscetível à ação da gravidade, apresentaram-se como perfil mais passível aos movimentos de massa, desde a análise da própria FM quanto à análise integrada ao FS e aos pontos de escorregamento, representando 50% dos escorregamentos nos eventos de 2011, tendo como fator determinante sua menor evolução superficial, percebido por sua própria forma geométrica. É um perfil hipodispensor, de domínio de fluxo de dispersão, mas possui ampla área de captação.

Não há diferença significativa na média ou distribuição dos valores clinográficos entre as formas, mas há uma importante diferenciação na possibilidade de eventos em uma dada feição em função de maiores ou menores índices. A baixa variação dos índices clinográficos em função das formas indica que outros fatores intrínsecos às formas ou a cobertura do solo são essenciais para a dinâmica de escorregamentos.

A utilização do FS foi importante, pois cada variável que o compõe pode ser analisada de forma individual, determinando a influência para cada uma delas na variação do índice. Portanto, a análise feita quanto as eventuais respostas sobre cobertura vegetal e declividade nas situações de solo saturado e drenado só foi possível graças a sua utilização.

Toda área instável em solo saturado ou menos estável em solo drenado está sobre a cobertura de Cambissolo, associada também aos altos índices clinográficos e a cobertura vegetal baixa ou inexistente – principalmente em áreas urbanizadas. A associação entre a falta de cobertura vegetal e os altos

índices clinográficos para os FS pode ser feita de forma direta, encontrando-se, por exemplo, duas feições semelhantes em relação às FM, clinografia e pedologia, porém com índices distintos entre estável e instável, o que significa que estruturalmente, as raízes podem conter movimentos de massa associados à declividade. Definitivamente, o tamanho das raízes e o peso da vegetação podem exercer influência no processo de escorregamentos, principalmente nestas regiões. Pelas características dos solos encontrados na região, algumas vezes seu capeamento restringe o crescimento das raízes. Por outro lado, a densidade populacional de árvores pode exercer força ao estrato pedológico, podendo repercutir em eventos de movimento de massa. Contudo, a contribuição das raízes se mostra um eficiente colaborador na estabilidade do solo.

Após a caracterização de cada FM e a interpretação sobre a possibilidade maior ou menor de haver movimentos de massa em cada uma das feições pela análise de FS, os pontos de escorregamento dos desastres de 2011 foram especializados e podemos concluir que a distribuição dos pontos indica que as áreas com maior possibilidade de movimentos de massa foram aquelas determinadas segundo o método proposto.

A proposta deste método é ser aplicado previamente aos trabalhos de campo para o levantamento de áreas suscetíveis aos escorregamentos, trazendo subsídios concretos que auxiliem os profissionais na priorização de áreas para vistorias, visitas, interdições e auxílio ao planejamento urbano. A individualização das FM possibilita a setorização de áreas, já que as vertentes são complexos sistemas geomorfológicos que se comportam especificamente segundo suas características morfológicas.

Ainda há a necessidade em testar a sistematização construída neste estudo em solos e situações variadas. Porém, o importante desta análise é perceber que se podem buscar padrões para os estudos sobre escorregamentos. De fato, a precisão de um estudo em que considera os parâmetros de mecânica dos solos é bastante confiável, porém, devemos ter em mente que nenhum modelo tem a capacidade de ser completamente assertivo, considerando o envolvimento de variáveis que dificultam a leitura e aplicação

dos métodos em ambientes não controlados como a natureza. Os modelos devem ser utilizados para determinar tendências, uma vez que as situações naturais são dinâmicas e a ação antrópica é contínua.

Bibliografia

- AB'SABER, A.N. *Um conceito de Geomorfologia serviço das pesquisas sobre o Quaternário*. Instituto de Geografia, São Paulo, 1969.
- AIRES, J.R.; MOTOKI, A.; MOTOKI, K.F.; MOTOI, D.F.; RODRIGUES, J.G. *Análises Geomorfológicas do Platô de Teresópolis e da Serra do Mar, RJ, com o Auxílio de Seppômen e ASTER GDEM e sua Relação aos Tectonismos Cenozoicos*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Vol. 35 - 2 / 2012 p.105-123.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. *Köppen's climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, No. 6, 711–728 (Publicada online em Janeiro de 2014).
- ARAÚJO, P.C. *Análise da suscetibilidade a escorregamentos: Uma abordagem probabilística*. Tese de Doutorado. Unesp, Rio Claro, 2004.
- AYOADE, J. O *Introdução a climatologia para os trópicos*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1996.
- BDMEP Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acessado em 23/11/2013.
- BLASCKE, T.; KUX, H. (Org.) *Sensoriamento remoto e SIG avançados*. Oficina de textos, São Paulo, 2007, 2ª Ed.
- BRACKEN, L.J.; WAINWRIGHT, J. *Geomorphological Equilibrium*. Transactions of the Institute of British Geographers, New Series, Vol. 31, Nº. 2 2006, pp. 167-178.
- BRASIL *Manual de desastres naturais*. Volume I, Brasília, 2003.
- BRASIL (Serviço Mineral do Brasil) *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. 2012. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/rj/geologico/geologia_cambiano.pdf Acessado em 24/012/2015.
- BUSTAMANTE, T.G.C. *Impactos da chuva na ocorrência de deslizamentos de terra e inundações no Estado de São Paulo*. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos, 2010.
- CAPEL, H. - *Filosofia y Ciencia en La Geografia Contemporánea. Una introduccion a la Geografia*. Barcanova, Barcelona, 1981.
- CARVALHO, R.G. *As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil*. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.36, Volume Especial, p. 26-43, 2014.
- CERRI, L.E.S; NOGUEIRA, F.R.; CARVALHO, C.S.; MACEDO, E.S.; AUGUSTO FILHO, O. *Mapeamento de risco em assentamentos precários no Município de São Paulo*. Geociências UNESP, São Paulo. V. 26, n. 2 p 143-150, 2007.
- CHEREM, L.F.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.P.; FARIA, S.D. *Análise morfológica de rede de drenagem extraída de MDE-SRTM* Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7251-7258.

CHORLEY, R.J.; KENNEDY, B.A. *Physical Geography – A systems approach* Prentice-Hall International Inc. Londres, 1971.

CHORLEY, R.J.; SCHUMM, S.A.; SUGDEN, D.E. *Geomorphology* Methuen, Nova York, 1984.

COLANGELO, A. C. *Carta de feições mínimas*. In: XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, 1989, Gramado. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, 1989. v. 2. p. 375-380.

_____. *Geomorfologia Experimental Aplicada ao Estudo de Estabilidade de Vertentes*. IIV Simpósio de Geografia Física Aplicada, 1991, Porto Alegre, 1991. p. 267-274.

_____. *O modelo de feições mínimas ou das unidades elementares de relevo*. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v. 10, p. 29-40, 1996.

_____. *Os parâmetros de resistência ao cisalhamento e a estabilidade das encostas no planalto de Paraibuna e Serra de Caraguatatuba*. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume Especial 30 Anos (2012), p. 112-129.

_____. *Os mecanismos de compensação e equilíbrio de forças na dinâmica dos materiais de vertente*. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v. 9, p. 13-20, 1995.

_____. *Sobre os modelos de magnitude-frequência e de estabilidade de vertentes*. Revista do Departamento de Geografia, 16 (2005) 11-23.

_____. *Geografia física, pesquisa e ciência geográfica*. GEOUSP – Espaço e tempo, São Paulo, n. 16, 2004, p. 09-16.

CRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. Edgard Blücher, São Paulo, 1980.

CROSTA, A.P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. UNICAMP, Campinas, 1992.

DE BIASI, M. A. *Carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção*. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo, n. 6, p. 45 – 60, 1992.

DEUPOUX, M. 1974. *Ecossistema e paisagem*. Métodos em Questão. IGEOG-USP- n. 7, São Paulo.

DOURADO, F; ARRAES, T.C.; SILVA, M.F. *O megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição especial dos investimentos de reconstrução pós desastre*. Anuário do Instituto de Geociências, Vol 35, N. 2 UFRJ, Rio de Janeiro, p. 43-54.

EFFLAND, A.B.; EFFLAND, W.R. - *Soil Geomorphology Studies in the U.S. Soil Survey Program Agricultural History*, Vol. 66, N. 2, History of Agriculture and the Environment, 1992, p. 189-212.

EMBRAPA AGEITEC – *Agência Embrapa de informação tecnológica*. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acessado em 04/03/2014.

_____. *Banco de dados climáticos do Brasil* – Disponível em <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/index.php>. Acessado em 07/10/2012. Acessado em 12/01/2014.

EMPLASA - *Atualização e aperfeiçoamento dos dados de adequação e classificação de aptidões do sítio da GSP para o desenvolvimento urbano*. Relatório, São Paulo, 1979.

FLORENZANO, T. *Geomorfologia – Conceitos e tecnologias atuais*. Oficina dos textos, São Paulo 2008.

FREIRE, W.J; MORETTI FILHO, J. *Condicionadores químicos do solo e seus efeitos sobre os índices físicos*. Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz, Vol. 36, Piracicaba, 1979.

FITZ, P.R. *Cartografia Básica*. Centro Universitário La Salle, Canoas, 2000.

FITZ, P.R. *Geoprocessamento sem complicação*. Oficina dos textos, São Paulo, 2008.

GAMA, C.M.; OLIVEIRA, A.P. *Investigação das circulações locais na região metropolitana de São Paulo*. Disponível em: [www.iag.usp.br/meteo/labmicro/publicacoes/Expanded/Gama&Oliveira_2012-Investigacao_das_circulacoes_na_regiao_metropolitana_de_sao_paulo\(cbmet\).pdf](http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro/publicacoes/Expanded/Gama&Oliveira_2012-Investigacao_das_circulacoes_na_regiao_metropolitana_de_sao_paulo(cbmet).pdf) Acessado em 08/01/2014.

GIMENES, A.C.W. - *Carta geomorfológica e morfogênese do Mestre Álvaro, Serra-Espírito Santo- Brasil*. GEOGRAFARES, Vitória, no 3, jun. 2002.

GODOY, PRT., (org.) *História do pensamento geográfico e epistemologia em Geografia*. Editora UNESP, São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. Bertrand Brasil, São Paulo, 2003, 3ª Ed.

GUIMARÃES, L. T. *Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, Município de Teresópolis, RJ*. Dissertação de Mestrado. UFRJ, Rio de Janeiro, 2000. DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. Revista do. Departamento de Geografia. São Paulo, n. 6, p. 45 – 60, 1992.

GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T. e FERNANDES, N.F. *Movimentos de Massa*. In: FLORENZANO, T. *Geomorfologia – Conceitos e tecnologias atuais*. Oficina dos textos, São Paulo 2008.

GUIMARAES, S.T.L. - *Gestão de áreas de riscos e desastres ambientais*. Rio Claro, 2012.

HARTWIG, M. E.; RICCOMINI, C. *Padrão de fraturas da região da Serra dos Órgãos (RJ) e sua relação com a tectônica mesozóico-cenozóica do sudeste do Brasil*. Revista Brasileira de Geociências, 39(3): 452-464, setembro de 2009.

KAWAKUBO, F.S; MORATO, R.G; CAMPOS K.C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J.L.S *Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 de Abril de 2005, INPE, p. 2203-2210.

KOZCIAK, S.- *Análise determinística da estabilidade de vertentes na bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar - Paraná*. Tese de Doutorado, Curitiba, 2005.

LISTO, F.L.R. *Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP)*. Dissertação de mestrado. São Paulo, 2011.

LOPES, E.S.S.; RIEDEL, P.S.; BENTZ, C.M.; FERREIRA, M.V.; NALETO, J.L.C. *Inventário de escorregamentos naturais em banco de dados geográfico - análise dos fatores condicionantes na região da Serra de Cubatão – SP*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2785-2796.

MARCELINO, E.V.; NUNES, L.H.; KOBIYAMA, M. *Banco de dados de desastres naturais: Análise de dados globais e regionais*. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 6, n. 19, 2006 p. 130-149.

MARCHIORI, N.M. - *Aspectos funcionais da Floresta Ombrófila Densa Montana, PESH*. Dissertação de mestrado, Campinas, 2012.

MARCUZZO, F.F.N; CARDOSO, M.R.D.; MELLO, L. T.A. *Uso dos métodos de Krigagem e Spline de tensão no mapeamento de chuvas na Região Metropolitana de Goiânia e seu entorno*. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_Uso_Marcuzzo.pdf Acessado em 01/02/2014.

MENDONÇA, F, DANNI-OLIVEIRA, I.M. – *Climatologia – Noções básicas e climas do Brasil*. Oficina de Textos. São Paulo, 2009.

MINUZZI, R. B.; *et al.* Influência do fenômeno climático El Nino no período chuvoso da Região Sudeste do Brasil. Geografia - v. 15, n. 2, jul./dez. 2006. Disponível em <http://www.uel.br/revistas/geografia>.

MOURA, J.R.S.; PEIXOTO, M.N.O.; SILVA, T.M. *Geometria do relevo e estratigrafia do Quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro – Médio vale do Rio Paraíba do Sul*. Revista Brasileira de Geociências 21 (3), setembro de 1991, p. 255-265.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. IBGE, SUPREN. Rio de Janeiro, 1979.

PENTEADO, M.M. *Fundamentos da Geomorfologia* IBGE, Rio de Janeiro, 1980.

PIMENTA JUNIOR, I. *Caracterização geotécnica e análise de estabilidade de taludes de mineração em solos da mina de Capão Xavier*. Magister Scientiae, Viçosa, 2005.

QUEIROZ NETO, J.P. *Análise estrutural da cobertura pedológica: Uma experiência de ensino e pesquisa*. Revista do Departamento de Geografia, 15, 2002, p. 77–90.

_____. *Relações entre as vertentes e os solos: Revisão de conceitos*. Revista Brasileira de Geomorfologia - v. 12, nº 3, 2011.

QUEIRÓZ, L. A. V.; SILVEIRA, C. S.; MELLO, W. Z; ALVIM, R. B.; VIEIRA, M. D. *Hidroggeoquímica e poluição das águas fluviais da Bacia do Rio Paquequer, Teresópolis (RJ)* - São Paulo, UNESP, Geociências, v. 31, n. 4, p. 606-621, 2012.

RANZANI, G. *Manual de levantamento de solos*. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1965.

RHOADS, B. ; THORN, C. - *The Scientific Nature of Geomorphology*. Annals of the Association of American Geographers, Vol. 87, No. 4 (Dec., 1997), pp. 748-749.

ROCHA, M.N. - *Calculando o coeficiente de atrito entre superfícies com material alternativo*. Física na Escola, v. 11, n. 1, 2010.

RODRIGUEZ, A.C.M. *Geotecnologias na análise da legislação ambiental de São Sebastião (SP)*. Humanitas, São Paulo, 2011.

RUHE, R.V. - *Geomorphic surfaces and the nature of soils*. Soil Sciences, Vol. 82, 1956, p. 441-455.

_____. *Geomorphology*. Houghton Mifflin, Boston, 1975.

SACRAMENTO, M. F.; REGO, M. J. M. *A bacia de drenagem enquanto unidade integradora nos estudos geoambientais*. VI Simpósio nacional de Geomorfologia - Geomorfologia tropical e subtropical: Processos, métodos e técnicas. Goiânia, 2006. p.1-7.

SANTOS, M.O. - Estimativas de dados, distribuição espacial sazonal, representação e análise do fluxo de radiação direta na Região Metropolitana de São Paulo. Trabalho de Graduação Individual. USP, São Paulo, 2009.

SENTELHAS, P.C, PEREIRA A.R., MARIN, F.R. , ANGELOCCI, L.R. , ALFONSI, R.R., CARAMORI, P.H., SWART, S. - BHBRASIL - Balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras. Disponível em <http://www.leb.esalq.usp.br/bhbrasil/BHBRASIL/BHBRASIL.DOC>. Acessado em 08/10/2012.

SIGGEOTOUR *Sistema de informações geográficas para o ecoturismo*. Disponível em <http://www.lsie.unb.br/> . Acessado em 04/03/2014.

SILVA, A.B. *Sistemas de informações Geo-referenciadas*. Editora Unicamp, Campinas, 2003.

SILVEIRA, C.T. da; FIORI, A.P.; FERREIRA, A.M.; FELIPE, R.S.; KEPEL FILHO, J.L.; FOLADOR, R.M.; COSTA, L.C. - *Análise do fator de segurança da estabilidade das vertentes na bacia do Rio Jacareí, Serra do Mar paranaense*. Revista brasileira de Geomorfologia, V. 13, n.3, 2012.

TABALIPA, N.L.; FIORI, A.P. *Caracterização dos solos da bacia do Rio Ligeiro (PR) na estabilidade de taludes*. Revista Brasileira de Geociências, 11 42(1): 11-26, março de 2012, Arquivo digital disponível on-line no site www.sbgeo.org.br Acessado em 08/11/2013.

_____. *Influência da vegetação na estabilidade de taludes na Bacia do Rio Ligeiro (PR)*. Geociências UNESP, São Paulo. V. 27, n. 3 p 387-399, 2008.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F.(Org) *Decifrando a terra*. Oficina de textos, São Paulo, 2003.

TOMINAGA, L.K. *Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2007.

_____.; SANTORO, J.; AMARAL, R. *Desastres naturais – Conhecer para prevenir*. Instituto geológico, São Paulo, 2009.

VAREJÃO-SILVA, M.A. *Meteorologia e Climatologia*. Recife, 2006. Disponível http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf Acessado em 04/01/2014.

VITTE, A.C. *A construção da Geomorfologia no Brasil*. Revista Brasileira de Geomorfologia - v. 12, nº 3 2011.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. *Geoestatística – Conceitos e aplicações* Oficina de textos, São Paulo, 2013.

ZÊZERE, J.L. *Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos*. Centro de estudos Geográficos, Relatório nº 41, Lisboa, 2005.

ZUQUETE, L.; GANDOLFI, N. *Cartografia geotécnica* Oficina de textos, São Paulo, 2004.

Anexo

Anexo I – Carta Clinográfica da microbacia do Rio Fischer