



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologias e Ciências

Faculdade de Geologia

Evelyn de Oliveira Meirelles

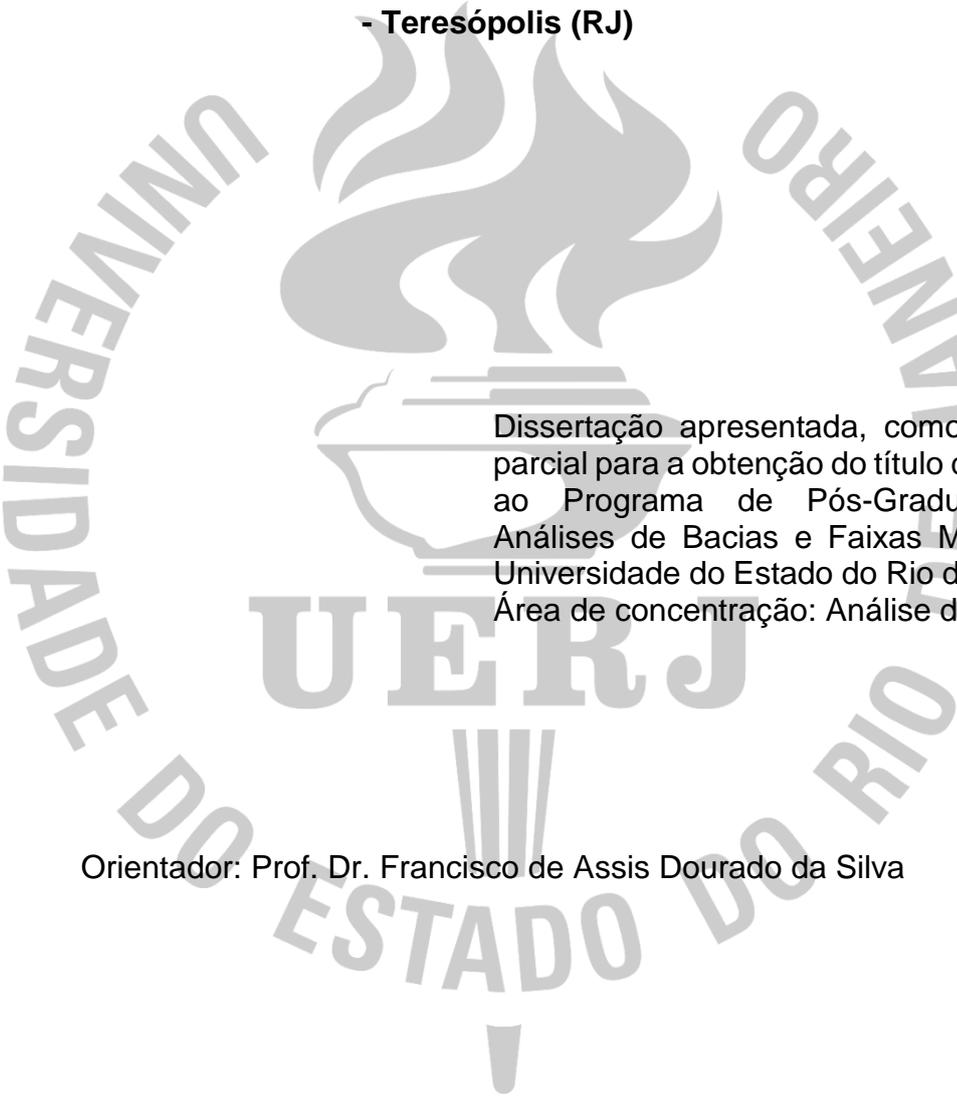
**Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos de Massa utilizando
Análise Estatística e Ferramentas de Geoprocessamento na Bacia
do Rio Paquequer - Teresópolis (RJ)**

Rio de Janeiro

2015

Evelyn de Oliveira Meirelles

Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos de Massa utilizando Análise Estatística e Ferramentas de Geoprocessamento na Bacia do Rio Paquequer - Teresópolis (RJ)



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação de Análises de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva

Rio de Janeiro

2015

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

M514 Meirelles, Evelyn de Oliveira.
Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos de
Massa utilizando Análise Estatística e Ferramentas de
Geoprocessamento na Bacia do Rio Paquequer -
Teresópolis (RJ) / Evelyn de Oliveira Meirelles. – 2015.
147 f.: il.

Orientador: Francisco de Assis Dourado da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do
Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia

1. Mapeamento geomorfológico – Paquequer, Rio (RJ)
– Teses. 2. Solo – Uso – Paquequer, Rio (RJ) – Teses.
3. Deslizamento – Teresópolis (RJ) – Teses. 4.
Precipitação (Meteorologia) – Teses. 5. Chuvas –
Periodicidade – Teses. 6. Modelagem de dados – Teses.
I. Silva, Francisco de Assis Dourado da. II. Universidade
do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. III.
Título.

CDU 551.435:528.067(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Evelyn de Oliveira Meirelles

Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos de Massa utilizando Análise Estatística e Ferramentas de Geoprocessamento na Bacia do Rio Paquequer - Teresópolis (RJ)

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação de Análises de Bacias e Faixas Móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de Bacias.

Aprovada em 29 de maio 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva (Orientador)
Faculdade de Geologia - UERJ

Prof. Dr. Antônio Soares da Silva
Instituto de Geografia – UERJ

Prof. Dr. Miguel Angelo Mane
Faculdade de Geologia – UERJ

Rio de Janeiro

2015

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, por todo apoio, compreensão, paciência e força ao longo deste trabalho. Meus pais Greice e Laerte e meus irmãos Fred e Rodrigo, amo vocês!

Ao Rodrigo, que além de namorado é o meu melhor amigo, sempre me incentivando e torcendo por mim.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Francisco Dourado, pelo voto de confiança, direcionamento e fornecimento de dados para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Msc. José Augusto Sapienza e também ao Msc. Carlos Eduardo Gonçalves Ferreira do LABGIS-UERJ, por todos os esclarecimentos e pela disponibilidade de dados que tanto me ajudaram na pesquisa.

Aos companheiros do LAGEPRO por todo apoio, especialmente Msc. Wilson Messias e Prof. Dra. Vivian Castilho, que esclareceram muitas dúvidas e me “salvaram” por diversas vezes. Serei eternamente agradecida!

Ao Serviço Geológico do estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), pelo fornecimento de dados fundamentais no trabalho.

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, pela bolsa de Mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Faculdade de Geologia – UERJ pela oportunidade de ter cursado o Mestrado.

Ao pessoal do IGEOG – UERJ por todo auxílio prestado na última etapa do trabalho.

Ao mestrando do PPGeo Fábio Andrade, pela revisão.

Às meninas da biblioteca de Geociências Telma e Taciane, por toda atenção, especialmente na parte de formatação desta dissertação.

A todos os meus amigos queridos que sempre me deram força para seguir em frente, principalmente nos momentos mais difíceis. Destaco ainda o papel das amigas Nathalie Bastos e Larissa Lima Smith que foram muito prestativas quando necessitei de ajuda.

E finalmente a todos que de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, o meu MUITO OBRIGADA!

RESUMO

MEIRELLES, Evelyn de Oliveira. **Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos de Massa utilizando Análise Estatística e Ferramentas de Geoprocessamento na Bacia do Rio Paquequer - Teresópolis (RJ)**. 2015. 147f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Dentre os fenômenos associados aos desastres, os movimentos de massa são um dos mais atuantes e impactantes, e no Brasil são agravados por uma série de fatores como a presença de grandes maciços montanhosos, associados a condições climáticas favoráveis como chuvas intensas e uso irregular do solo. Locais como a Região Serrana no Estado do Rio de Janeiro, área da qual faz parte o presente estudo, é um exemplo desta associação e já serviu de cenário para diversos eventos que trouxeram grandes prejuízos tanto no âmbito econômico e ambiental, quanto social. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar o grau de influência dos condicionantes na ocorrência de movimentos de massa, em função da frequência e/ou densidade destes, criando um mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na Bacia do Paquequer. Foram utilizadas técnicas de estatística bivariada e geoprocessamento, sendo esta última através de ferramentas de análise multicritério como a AHP (Processo Analítico Hierárquico) e a Média Ponderada. Todos os condicionantes selecionados foram correlacionados com o mapa de inventário de movimentos massa e, a partir dos resultados, foram aplicados pesos para cada um destes, gerando o mapa final de suscetibilidade. O resultado apresentou-se satisfatório e coerente na área analisada do presente trabalho.

Palavras-chave: Movimentos de Massa. Estatística Bivariada. AHP. Média Ponderada. Suscetibilidade.

ABSTRACT

MEIRELLES, Evelyn de Oliveira. **Landslide Susceptibility Mapping using Statistical Analysis and GIS Proceedings in Paquequer River Basin - Teresópolis (RJ)**. 2015. 147f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Among the natural phenomenon associated with disasters, landslide is the most active and impactful one. In Brazil, this fact is deepened by a set of components as the presence of high mountainous ranges associated with favourable climatic conditions, such as heavy rainfalls and improper land use. Highlands similar to the *Região Serrana* in the state of Rio de Janeiro, which region is object of the current study. Such areas are examples of this association. Regarding to the Região Serrana of Rio de Janeiro, it has been scenarios of many episodes of great damages in economic, environmental and social context. In doing so, the purpose of this study is to analyze the influence level of the constraints regarding to landslide events, related to the frequency and/or density of those, by creating a map of landslide susceptibility for the Paquequer Basin. The study was based on the Bivariate statistical analysis and GIS techniques, and the last one was established through multi-criteria analysis tools like AHP (Analytical Hierarchy Process) and the Weighted Average. All selected conditions were correlated with the landslide inventory map and, from the results, weights were applied to each of those, generating a final map of susceptibility. The result was shown as satisfactory and coherent, for the analyzed area of this study.

Keywords: Landslide. Bivariate Statistical. AHP. Weighted-average. Susceptibility

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimentos de massa por regiões do Brasil entre 1990 e 2000.....	23
Figura 2 - Fatores que influenciam a vulnerabilidade.....	25
Figura 3 - Classificação de Risco.....	25
Figura 4 - Movimento de Rastejo.....	28
Figura 5 - Tipos de Escorregamentos.....	30
Figura 6 - Corridas de lama Região Serrana em 2011.....	30
Figura 7 - Quedas de blocos.....	31
Figura 8 - Polinômios de 1ª, 2ª e 3ª ordem ajustados a um segmento de superfície.....	41
Figura 9 - Variáveis geomorfométricas locais.....	42
Figura 10 - Decomposição de um problema em uma hierarquia.....	47
Figura 11 - Mapa de localização da Bacia do Paquequer.....	51
Figura 12 - Distribuição mensal da chuva na cabeceira (Parnaso) e na foz (Providência) da Bacia do Paquequer, acompanhadas de suas respectivas médias móveis no período de junho de 2007 a maio de 2009.....	53
Figura 13 - Mapa de Altimetria da Bacia do Paquequer.....	54
Figura 14 - Mapa geológico do Terreno Oriental da Faixa Ribeira na Região Serrana Fluminense.....	57
Figura 15 - Morfologia do Relevo de parte da Bacia do Paquequer.....	59
Figura 16 - Áreas atingidas pelo Megadesastre na Região Serrana.....	60
Figura 17 - Pico pluviométrico registrado em Nova Friburgo.....	62
Figura 18 - Localidade de Bonsucesso em Teresópolis afetada pela enxurrada.....	64
Figura 19 - Área afeada pela corrida de lama e inundação com destruição de residências localizadas na margem do rio, no Vieira em Teresópolis.....	64
Figura 20 - Fluxograma das etapas do trabalho.....	68
Figura 21 - Mapa de Declividade da área de estudo.....	71

Figura 22 - Mapa de Orientação das Vertentes da área de estudo.....	73
Figura 23 - Legenda de cores para representação da Forma do Terreno.....	75
Figura 24 - Mapa de Forma do Terreno da área de estudo.....	76
Figura 25 - Mapa de Geologia da área de estudo.....	79
Figura 26 - Mapa de Pedologia da área de estudo.....	81
Figura 27 - Características Morfológicas dos compartimentos topográficos na Bacia do Paquequer.....	83
Figura 28 - Mapa de Morfologia do Relevo da área de estudo.....	84
Figura 29 - Mapa de Formações Superficiais da área de estudo.....	86
Figura 30 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da área de estudo.....	88
Figura 31 - Mapa de Proximidade a drenagens da área de estudo.....	90
Figura 32 - Mapa de Proximidade a estradas da área de estudo.....	91
Figura 33 - Mapa de Inventário de Movimentos de Massa.....	96
Figura 34 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Declividade.....	98
Figura 35 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Orientação das Vertentes.....	100
Figura 36 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Forma do Terreno.....	101
Figura 37 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Litologia.....	103
Figura 38 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Pedologia.....	104
Figura 39 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Morfologia do Relevo.....	106
Figura 40 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Formações Superficiais.....	107
Figura 41 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Uso e cobertura do solo.....	109
Figura 42 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Proximidade a Drenagens	110

Figura 43 - Frequência e densidade de movimentos de massa em diferentes classes de Proximidade a Estradas.....	111
Figura 44 - Tabela de Consistência Aleatória.....	114
Figura 45 Mapa final de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Intensidade dos Desastres Naturais.....	22
Tabela 2 -	Escala de Movimentos, segundo Cruden & Varnes (1996).....	32
Tabela 3 -	Comparação pareada proposta por Saaty (1978).....	48
Tabela 4 -	Matriz de Comparação pareada.....	49
Tabela 5 -	Consequências humanas oriundas do Megadesastre na Região Serrana.....	61
Tabela 6 -	Movimentos de Massa gerados no desastre da Região Serrana.	63
Tabela 7 -	Distribuição de classes de acordo com a classificação do relevo.	70
Tabela 8 -	Distribuição de classes de Declividade por área.....	72
Tabela 9 -	Distribuição por área de cada classe de Orientação de Vertentes.....	74
Tabela 10 -	Distribuição por área de cada classe da Forma do Terreno.....	77
Tabela 11 -	Distribuição de classes de Litologia por área.....	80
Tabela 12 -	Distribuição de classes de Pedologia por área.....	82
Tabela 13 -	Distribuição de classes de Morfologia do Relevo por área.....	85
Tabela 14 -	Distribuição de classes de Formações Superficiais por área.....	87
Tabela 15 -	Distribuição de classes de Uso e Cobertura do Solo por área....	89
Tabela 16 -	Classes de Hidrografia e Vias por área.....	92
Tabela 17 -	Correlações entre as classes de Declividade x Movimentos de Massa.....	98
Tabela 18 -	Correlações entre as classes de Orientação das Vertentes x Movimentos de Massa.....	99
Tabela 19 -	Correlações entre as classes de Forma do Terreno x Movimentos de Massa.....	101
Tabela 20 -	Correlações entre as classes de Litologia x Movimentos de Massa.....	102
Tabela 21 -	Correlações entre as classes de Pedologia x Movimentos de Massa.....	104
Tabela 22 -	Correlações entre as classes de Morfologia do Relevo x Movimentos de Massa.....	105

Tabela 23 - Correlações entre as classes de Formações Superficiais x Movimentos de Massa.....	107
Tabela 24 - Correlações entre as classes de Uso e Cobertura do Solo x Movimentos de Massa.....	108
Tabela 25 - Correlações entre as classes de Proximidade a Drenagens x Movimento de Massa.....	110
Tabela 26 - Correlações entre as classes de Proximidade a Estradas x Movimentos de Massa.....	111
Tabela 27 - Matriz de Comparação Pareada AHP.....	112
Tabela 28 - Pesos obtidos através da AHP.....	113
Tabela 29 - Notas e pesos atribuídos aos Planos de Informação.....	117
Tabela 30 - Ocorrências de movimentos de massa por classes de suscetibilidade.....	120
Tabela 31 - Tabulação cruzada entre as classes dos planos de informação e os graus de suscetibilidade.....	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarch Process</i>
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CPRM	Centro de Pesquisas e Recursos Minerais
CRED	<i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i>
DRM	Departamento de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuárias
EM_DAT	<i>Emergency Events Database</i>
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PARNASO	Parque Nacional da Serra dos Órgãos
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UNISDR	<i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i>

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	17
1	OBJETIVOS	19
1.1	Objetivos específicos	19
1.2	Estrutura do Trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Desastres Naturais	21
2.2	Suscetibilidade, vulnerabilidade, ameaça, perigo e risco	24
2.3	Os Movimentos de Massa	26
2.3.1	<u>Fatores Condicionantes para a Ocorrência de Movimentos de Massa</u>	27
2.3.2	<u>Classificação</u>	28
2.4	Mapeamento e Previsão de Movimentos de Massa	33
2.4.1	<u>Mapas de Inventário</u>	33
2.4.2	<u>Mapas de Suscetibilidade</u>	34
2.4.3	<u>Mapas de Risco</u>	34
2.5	Modelos Matemáticos	35
2.5.1	<u>Modelo Heurístico</u>	36
2.5.2	<u>Modelo Determinístico</u>	36
2.5.3	<u>Modelo Estatístico</u>	36
2.6	O Sensoriamento Remoto e o SIG na análise da suscetibilidade	39
2.6.1	<u>Modelo Digital de Elevação</u>	40
2.6.2	<u>A utilização de Sensores Remotos para a identificação de cicatrizes de deslizamentos</u>	42
2.6.3	<u>A Análise Multicritério</u>	44
3	ÁREA DE ESTUDO	51
3.1	Localização	51
3.2	Clima	52
3.3	Hidrografia	53
3.4	Vegetação e Uso do Solo	55
3.5	Pedologia	56
3.6	Geologia	56

3.7	Geomorfologia	59
3.8	O Megadesastre na Região Serrana	60
4	MATERIAIS E MÉTODOS	66
4.1	Materiais	66
4.2	Programas	67
4.3	Métodos	67
4.3.1	<u>Variáveis Geomorfométricas</u>	69
4.3.2	<u>Banco de Dados Geográfico</u>	77
4.3.3	<u>Criação do Mapa de Suscetibilidade</u>	93
4.3.4	<u>Validação dos Resultados</u>	94
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	95
5.1	Mapa de Inventário	95
5.2	Tabulação Cruzada	97
5.2.1	<u>Declividade x Movimentos de Massa</u>	97
5.2.2	<u>Orientação x Movimentos de Massa</u>	98
5.2.3	<u>Forma do Terreno x Movimentos de Massa</u>	100
5.2.4	<u>Geologia x Movimentos de Massa</u>	102
5.2.5	<u>Pedologia x Movimentos de Massa</u>	103
5.2.6	<u>Geomorfologia x Movimentos de Massa</u>	105
5.2.7	<u>Uso e Cobertura do Solo x Movimentos de Massa</u>	107
5.2.8	<u>Proximidade a drenagens x Movimentos de Massa</u>	109
5.2.9	<u>Proximidade a estradas x Movimentos de Massa</u>	110
5.3	Mapa de Suscetibilidade	112
5.3.1	<u>Análise Multicritério</u>	112
5.4	Validação dos Resultados	120
	CONCLUSÕES	129
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
	APÊNDICE	142

INTRODUÇÃO

A geração de eventos climáticos extremos, possivelmente ocasionados por alterações climáticas associadas ao grande número de pessoas que vivem em áreas de risco, têm sido cada vez mais recorrentes e intensos no mundo, e afetam não apenas a esfera econômica, como também a ambiental e social (SEIXAS et al. 2014). Segundo dados do EM-DAT (2012), das milhões de pessoas vulneráveis aos desastres, mais de 90% habitam países em desenvolvimento, e estão sujeitas aos mais variados impactos que este tipo de evento pode causar, como mortes e destruição de moradias, por exemplo.

No Brasil, o cenário não é diferente. Dentre os fenômenos associados aos desastres, os processos gravitacionais de massa são um dos mais atuantes, e causam prejuízos muitas vezes incalculáveis.

A presença de grandes maciços montanhosos ao longo litoral associados a condições climáticas favoráveis, faz do país um local muito suscetível a ocorrências de movimentos de massa (GOMES, 2006). A associação de condicionantes naturais, tais como chuvas intensas e concentradas bem como o uso irregular do solo, principalmente em encostas íngremes desprovidas de cobertura vegetal e ocupação desordenada em locais de alto declive, segundo Cunha & Guerra (2003), podem agravar os processos de degradação ambiental, acelerando o processo erosivo e, conseqüentemente, elevar a suscetibilidade aos movimentos de massa.

Locais como a Região Serrana, no Estado do Rio de Janeiro, são um exemplo desta associação, e estão sujeitas a eventos extremos, como as ocasionadas pelo Megadesastre em 2011, que alertou para o quão vulnerável boa parte dos habitantes estão frente às catástrofes, além de demonstrar a fragilidade do poder público na gestão de riscos.

Este fato, acabou propiciando a criação de medidas de caráter emergencial, pelo Governo Federal, como a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) em 2012, que visa a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, de maneira que seja evitado e/ ou mitigado a ocorrência de desastres. Esta lei, determina a criação de um cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou

processos geológicos ou hidrológicos correlatos, onde se inclui o mapeamento dessas áreas entre as ferramentas essenciais à prevenção de desastres (BITAR, 2014).

Neste sentido, um estudo sobre a região que permita uma profunda análise da ocorrência destes fenômenos e o grau de influência das principais condicionantes são de suma importância para a sociedade em geral, principalmente para a defesa civil e outros órgãos responsáveis, a fim de se criar mais uma alternativa de suporte para o planejamento de uso e ocupação do solo e gerenciamento de risco, minimizando e/ou se possível evitando a geração de novos impactos.

1 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é investigar a influência das condicionantes no aumento da suscetibilidade a movimentos de massa, através de uma metodologia que visa auxiliar a prevenção e/ou mitigação dos impactos destes fenômenos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro e, se possível, aplicada em diferentes áreas que são afetadas pelos mesmos eventos, levando em consideração as características particulares de cada uma.

1.1 Objetivo Específico

- Investigar o grau de influência das condicionantes (geologia, geomorfologia, pedologia, uso e cobertura do solo, declividade, orientação, forma do terreno, distância a vias e rios) em função da frequência e/ou densidade dos movimentos de massa;
- Criar um mapa de suscetibilidade na Bacia do Rio Paquequer- RJ, utilizando métodos de estatística bivariada e análise multicritério como forma de proporcionar mais uma ferramenta de auxílio na gestão de desastres para a defesa civil e outros órgãos responsáveis.

1.2 Estrutura do Trabalho

O trabalho apresentado foi dividido em seis capítulos, nos quais foram abordados todos os dados e procedimentos importantes ao desenvolvimento da pesquisa, sendo brevemente descritos a seguir.

No primeiro capítulo, são abordados os aspectos introdutórios, objetivos e estruturação do trabalho.

O capítulo II apresenta a revisão bibliográfica relativa a temática do estudo, e pelo qual ele é baseado, descrevendo os movimentos de massa e suas principais características, associadas a ferramentas que auxiliam na análise e mapeamento destes processos, tais como o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informação Geográfica.

No terceiro capítulo é descrita a área de estudo e suas principais características fisiográficas, além de explicitar informações acerca do Megadesastre, que também afetou a Região da Bacia do Paquequer.

Em Materiais e métodos, no capítulo IV, são apresentados todos os dados utilizados, além dos procedimentos e programas adotados para o desenvolvimento da pesquisa e suas principais etapas.

O capítulo V, referente aos resultados e discussões, apresenta todos os resultados obtidos através das metodologias aplicadas, bem como verifica a acurácia do mapa de suscetibilidade de movimentos de massa, produto final gerado a partir das análises de todos os condicionantes envolvidos neste processo.

Por fim, no capítulo VI, são feitas as considerações e conclusões acerca do trabalho, a partir dos resultados obtidos e as sugestões para futuras pesquisas em áreas favoráveis a ocorrência de movimentos de massa.