



Felipe Pires do Rio Mazur

**Mapeamento da susceptibilidade a movimentos de
massa através de assinaturas ambientais no Maciço da
Tijuca, Rio de Janeiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção Profissional).

Orientador: Prof. Luiz Felipe Guanaes Rego
Co-orientadora: Prof.^a Ana Cristina Goncalves Carvalho

Rio de Janeiro
Setembro de 2013



Felipe Pires do Rio Mazur

Mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa através de assinaturas ambientais no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro.

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Luiz Felipe Guanaes Rego

Presidente / Orientador

Departamento de Geografia – PUC-Rio

Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho

Co-orientadora

PUC-Rio

Tacio Mauro Pereira de Campos

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Gilson Alexandre Oswald Pedro da Costa

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Cláudio Palmeiro do Amaral

UERJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 27 de setembro de 2013

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e dos orientadores.

Felipe Pires do Rio Mazur

Graduou-se em licenciatura em Geografia na UFF (Universidade Federal Fluminense) em 2009 e em bacharel em 2010. Sua área de atuação compreende as geotecnologias e gestão ambiental. Trabalhou em empresas de geotecnologias e atualmente é empregado público da área ambiental

Ficha Catalográfica

Mazur, Felipe Pires do Rio

Mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa através de assinaturas ambientais no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro / Felipe Pires do Rio Mazur ; orientador: Luiz Felipe Guanaes Rego ; co-orientadora: Ana Cristina Gonçalves Carvalho. – 2013.

143 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Geoprocessamento. 3. Ecologia da paisagem. 4. Geotecnia. I. Rego, Luiz Felipe Guanaes. II. Carvalho, Ana Carvalho Gonçalves. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

A Lorena, muito.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Ana Cristina e Luiz Felipe pelas instruções na realização deste trabalho.

Aos demais membros do Departamento de Engenharia Civil, professores e funcionários, em especial a Paula Enoy, por sempre estar disposta a ajudar.

Às minhas tias, Mônica e Gisela, pelo apoio ao longo desses últimos anos.

Aos meus colegas do antigo e do atual trabalho, muitas vezes “quebrando galhos” para mim.

Aos irmãos que eu fiz na Geografia e aos amigos no mestrado.

Aos meus pais, Sidney e Márcia, por todas as suas preocupações comigo.

E à Lorena, minha companheira.

Resumo

Mazur, Felipe Pires do Rio. Rego, Luiz Felipe Guanaes. **Mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa através de assinaturas ambientais no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2013. 143p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A cidade do Rio de Janeiro, assim como outras localidades de relevo montanhoso e clima tropical, sofre, seguidamente, com os problemas causados por movimentos de massa em suas encostas. No verão, a cada temporada de chuvas, novos deslizamentos são contabilizados, acarretando diversos problemas de ordem social e ambiental. O Maciço da Tijuca não foge a esta realidade: localizado em área central do município, suas encostas vem sofrendo com antropizações desde a fundação da cidade. Em uma metrópole que não para de crescer, as encostas deste maciço estão sempre sob pressões da especulação imobiliária. O objetivo principal do estudo foi a realização de um mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa na região do maciço com a utilização de assinaturas ambientais. Para isso foram necessários o levantamento bibliográfico e a obtenção de dados, com sua espacialização, contribuindo, assim, para dos objetivos secundários como a caracterização de determinados componentes socioambientais da área de estudo, além da comparação deste mapeamento com o realizado pela prefeitura do Rio de Janeiro e de sua legislação vigente. A Metodologia se baseou no uso do conceito de assinaturas ambientais, através das cicatrizes dos deslizamentos mapeadas após as fortes precipitações de abril de 2010 cidade do Rio de Janeiro através de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas, além da busca na literatura acerca dos condicionantes utilizados no estudo. Como resultado, foi desenvolvido um mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa considerado satisfatório. Este se mostrou mais detalhado do que o publicado pela a GEORIO: uma menor quantidade de áreas mapeadas como “alto risco” e com uma precisão maior. Há, porém, a necessidade de estudos posteriores para melhor entender a aplicabilidade da metodologia.

Palavras-chave

Geoprocessamento; Ecologia da Paisagem; Geotecnia.

Abstract

Mazur, Felipe Pires do Rio. Rego, Luiz Felipe Guanaes (Advisor). **Mapping of susceptibility to mass movements through environmental signatures in Tijuca Massif, Rio de Janeiro.** . Rio de Janeiro, 2013. 143p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work has as main objective to further knowledge about some environmental relations in the field of urban slopes and submit proposals for modeling susceptibility to landslides so common in the city of Rio de Janeiro. Following a thought, this dissertation will have as secondary objectives, the production of various intermediate products, layers of environmental data will be used to assist the preparation of the final product and comparative analysis of other models and local laws.

Urban areas are environments where human occupation and concentration become intense and, most often, cluttered, become sensitive to gradual local anthropogenic changes, as they are intensified in frequency and intensity. Urban slopes today are great example for environmental degradation, endangering the safety and quality of life of its population, constituting a stage of ecological conflicts. The fast and unplanned growth that has occurred in many cities in developing countries is largely responsible for environmental changes, mischaracterize often original environment. As these changes are made, a number of geomorphic responses, typical of large cities such as landslides and floods, which occur frequently, and often, being not high rainfall totals required for these processes occur (Guerra, 2006). Mankind has been undergoing a process of urbanization, the Brazilian urban population in 2010 comprised approximately 84 % of total population.

One can say that mass movements are natural phenomena of the external dynamics that shape the landscape of the land surface (Fernandes & Amaral, 1996). However, these mass movements cause heavy losses to the society and theses processes of landslide have a direct impact on land use and could, in extreme cases, expose human life and buildings to risk. The Southeast of Brazil is subject to hazards associated with mass movements, according to their specific

climatic and geographic conditions. Besides the high frequency movements of natural origin related to the steep slopes and the large volume of rainfall, many mass movements are also associated with the action of man. There is in the literature a variety of definitions of mass movements. There is a need to show some of these settings in order to facilitate the understanding of these processes. There was an increase of over 20 times the recorded occurrences of mass movements in Brazil in the last 10 years. The metropolitan region of Rio de Janeiro, is one of the areas where there is a higher occurrence of records of mass movements in Brazil.

The city of Rio de Janeiro, as well as other locations in mountainous terrain and tropical climate, suffers with the problems caused by mass movements on its slopes. In the summer, every rainy season, new slips are accounted for, leading to several problems of social and environmental concerns. The Tijuca Massif is no exception to this reality: located in the central city, its slopes has suffered since the foundation of the city. The total area is 118 km² with an estimated population of 155 thousand inhabitants. Regarding environmental characterization in areas, the most important features in each class are: pedology (latosol, 43%), geology (granitic complex, ~ 80%), land cover (forest; ~ 65%), slope (16 - 30; ~ 43%) and orientation of the slopes (Northern, 53%).

The use of geotechnology was very important in this work. These are relevant to the environmental management by facilitating spatial data management and allow various types of analyzes supporting decision making. The GIS can be understood as a technology that works by integrating information contained in a plan of georeferenced information. Their treatment allows the creation of various thematic maps that establish correlations between the spatial representation and the information available.

"Environmental Signatures" were used for the distribution of the weights between the different layers. About the 135 scars mapped by Mello (2011), were randomly selected for sampling 20 scars. Was chosen to work with a sample of scars for the calibration of the susceptibility model and use in the rest for consistency checking of the final mapping.

Environmental Signatures are empirical structures that enable associations between environmental variables. This procedure uses the location attribute of a given phenomenon/event to extract the data contained in plan chosen for the same location. With this way may be known several environmental characteristics of a phenomenon or area chosen, the layers contained information relevant to the study from the information found in the database. The signatures must be used in order to determine the presence of certain characteristics (categories of parameters involved interesting to study) over several sites chosen and analyzed . Allowing the inference regarding the relations between parameters and environmental situation of interest, based on correlations to occur in the same places , making a query based on specialized data so that it can acquire knowledge of other attributes of occurrence of a given phenomenon or the importance of a particular condition in order to give subsidy to the empirical analysis of key environmental characteristics (Zaidan & Xavier-da-Silva, 2007). This is an empirical investigation of environmental characteristics that will most influence the analyzed phenomenon (Cavalcante, 2001). This procedure is to give weights to the different coverages and their involved categories according to the degree of importance in relation to the situation analyzed. The sum of the weights applied to the parameters can not exceed 100 %, varying with the intensity of participation (Zaidan & Xavier-da-Silva, 2007).

In this work, the record of the occurrence of landslides is represented by the scars left on the slopes during rains occurred in April 2010 in Rio de Janeiro . They have been defined in the work of Mello (2011) , which mapped the scars of landslides April 2010 in Tijuca Massif. This identification performed by this author (op. cit.) occurred through fieldwork and the use of Remote Sensing techniques , mapping on polygons , the scars found at that time on a large scale.

The methodology of the work was performed using the bibliographic affairs theme along with the use of various data. These vector data were collected within the laboratory of NIMA/PUC (geology, pedology and contour lines), and the raster data was ceded by the company Space Imaging of Brazil (images from the satellite GeoEye-1, with 0.5m of spatial resolution). All this data has been redesigned for the datum SAD-69 (South American Datum 1969) and suffered for processing these data were suited to the ultimate purpose of the work. After the

adequacy of the database, the next step was to define the weights of the components and their classes. These weights were defined from the literature survey of other similar work and the use of environmental signatures. From this definition the formula was applied through the Raster Calculator tool (ArcGIS). The result was generated mapping of susceptibility to mass movements in the study area. The last step was to compare the mapping performed by the agency of city government of Rio de Janeiro with the same goal beyond comparison with the application of laws governing the use of urban land in this city.

For the preparation of maps of susceptibility to mass movements, the identification of areas of susceptibility was performed by applying a weighted average algorithm type. Each operation consists of crossing a rules file, which defines the coverages involved, the classes resulting from the crossing and rules that express the operations of intersection between these coverages, ie, the model itself.

The algorithm was applied to a raster array structure, each cell (pixel) corresponds to a unit with a spatial index. The pixel size used was 1m (this pixel size was defined in terms of spatial resolution selected for the dissertation data; so, in the same cell of 1m², we have all components of the same dimensions, facilitating spatial analysis). For better understanding, the formula used as the basis for calculating the susceptibility per pixel was $A_{ij} = \sum (P_k \times N_k)$, where components had the following weights: Land cover (0.2), Geology (0.1), Pedology (0.2), Slope (0.35) and exposure of slopes (0.15).

As a result of the susceptibility map, were classified 3 areas of Low, Medium and High susceptibility. Areas of Low Susceptibility in the Tijuca have around 28 km², therefore, equivalent to 23% of the total area. In relation to land cover, has most of its urban area with coverage (41,6%) and grass (50,73%). For pedological components, the class that stands out is "urban area", occupying 58.1%; on geological classes the complex granite-gneiss-migmatite and granilitos correspond to 63,58%. Regarding the slope, 79,16% relate to a range between 0° and 15°; and 58,9% of low susceptibility areas facing North. The Medium Susceptibility areas have about 51 km², an area that corresponds to 34% of the total mass. The ground cover were highlighted in forested areas, with 61,66%. In

relation to pedology, it is seen that the red-yellow Oxisols represent 45,3% of the area considered average susceptibility. Have the geological class with the largest presence is complex granite-gneiss-migmatite and granilitos with 82,37%. About 86,6% of the slope area corresponds to the range between 15 ° and 30 °, and 51.9 % of the area facing South. The areas of High Susceptibility have approximately 39km², an area equivalent to 33% of the massif's total. The majority of the land cover, as well as in areas of medium susceptibility correspond forests, with 71,4% of the area. The main pedological and geological class are the red-yellow Oxisols, with 57,7%, and the complex granite-gneiss-migmatite and granilitos, with 87,8 %, respectively. The slope found over this area is between 30° and 45° (80,7%) and with 55,3 % of the area faces North.

Of the remaining 115 scars mapped Mello (2011), these were used to validate the mapping, 4 (four) originated scars were identified (with its breaking point) in areas mapped as low susceptibility; 29 (twenty-nine) scars in areas of medium susceptibility, and 82 (eighty-eight) mass movements in places considered high susceptibility, representing respectively 3,5%, 25,2% and 71,3%. With this information it is seen that the mapping was consistent with the scars found after the rains of April 2010.

Another validation was performed by comparing the mapping done in this thesis with the mapping done by the government city of Rio de Janeiro. With this government mapping, the areas of the massif were classified into 4% (4,3 km²) of areas of low susceptibility, approximately 54% (64,3 km²) of areas of medium susceptibility, and 42% (49,8 km²) areas considered high susceptibility to mass movements.

An analysis in relation to municipal urban legislation of the city of Rio de Janeiro with the dimension of 100m (according to the law, any construction would be prohibited) was performed. It is seen that the areas below the elevation 100m, areas of low susceptibility comprise more than half (51,2%) of this, followed by areas of medium and high susceptibility, 32,7% and 16,1%, respectively. While the areas above 100m elevation, the areas of medium and high susceptibility to stand out, with 46,3% and 37,8% respectively. The area of low sensitivity in this portion of the massif has only 15,9%.

It can be stated that the evaluation/validation field, through techniques of geotechnical, would be the most efficient method for mapping susceptibility to mass movements, but the agility and practicality in the acquisition and production data remotely attest to the importance of use of these tools for urban planning. The possibility of generating this map allows the construction of risk models in the future and can be used in cities like Rio de Janeiro.

The assessment of the susceptibility mapping and in the area in the same study revealed that, in large part, is associated with large slopes. The various mass movements that occurred in the area has shown extreme situations of calamity, with removal of people from their homes, material and human losses. Once recognized areas susceptible to mass movements, it is possible to outline the best strategies for the integrated management of natural resources in the study area and contribute cartographic and thematic references to subsidize the development of tools for managing resources management. The landslide susceptibility map can be used by the government as a tool helper in making decisions, both on issues in areas currently occupied and in the evaluation of growth vectors city for urban planning. This thesis can be considered relevant to aid implementation of future public policies aimed at a housing development that is responsive to local environmental conditions.

Keywords

GIS; Landscape Ecology; Geotechnical

Sumário

1. Introdução	22
2. Referencial Teórico	31
2.1. Paisagem	31
2.2 Assinaturas ambientais	37
2.3. Geotecnologias	38
2.3.1. Sistema de Informações Geográficas - SIG (<i>Geographic Information System - GIS</i>)	39
2.3.2. Banco de Dados de SIG	43
2.3.3. MNT – Modelo Numérico de Terreno	45
2.3.4. Sensoriamento Remoto	46
2.3.5. O uso das geotecnologias na gestão de risco	48
2.3.6. Alcance e limitações das geotecnologias	51
2.4. Urbanização, Encostas e Encostas Urbanas	51
2.5. Mapeamento da susceptibilidade	57
2.6. Condicionantes dos movimentos de massa	65
2.7. Movimentos de Massa	78
3. Metodologia	87
4. Caracterização da área de estudo – Maciço da Tijuca	101
5. Resultados e Análises	113
5.1. Comparativo com o mapeamento de susceptibilidade desenvolvido pela GEORIO	123

5.2. Análise quanto às normas urbanísticas do Plano Diretor do Rio de Janeiro	127
6. Considerações Finais	131
Referências Bibliográficas	134

Lista de figuras

Figura 1: Mapa dos desastres naturais provocados por movimentos de massa no Brasil no período de 1991 a 2010 – Fonte: BRASIL, 2012b.	24
Figura 2: Arquitetura de um SIG. Fonte: BRASIL, 2007.	42
Figura 3: Modelo da representação matricial e vetorial	45
Figura 4: Relação entre Perigo e Desastre. Fonte Tobin e Montz (1997) - adaptado.	58
Figura 5: Relação entre níveis de ameaça e de vulnerabilidade na determinação de intensidade de risco. Fonte: Dagnino e Carpi Jr. (2007)	59
Figura 6: Captura de tela da imagem pré-registro, com deslocamento aproximado de 57m em relação à malha urbana.	89
Figura 7: Captura de tela da imagem pós-registro.	89
Figura 8: Imagem capturada da ferramenta <i>Raster Calculator</i> .	98
Figura 9: Fluxograma da dissertação.	99
Figura 10: Localização do maciço da Tijuca no município do Rio de Janeiro sobre um Modelo Digital de Elevação produzido a partir do SRTM.	102
Figura 11: Delimitação do maciço sobre imagens do satélite GeoEye-1 (maio 2009), com 0,5m de resolução espacial.	103
Figura 12: Mapa das feições geológicas.	104
Figura 13: Mapa das feições pedológicas	106
Figura 14: Mapa de declividade.	107
Figura 15: Mapa de cobertura do solo.	108
Figura 16: Mapa com a orientação Norte e Sul.	111
Figura 17: Mapa de susceptibilidade a movimentos de massa no Maciço da Tijuca.	114
Figura 18: Cicatrizes mapeadas por Mello (2011) sobre o mapa de susceptibilidade.	116
Figura 19: Ampliação 01 do mapa de susceptibilidade	118
Figura 20: Ampliação 02 do mapa de susceptibilidade	118

Figura 21: Ampliação 03 do mapa de susceptibilidade.	119
Figura 22: Comparativo entre o mapeamento realizado neste trabalho com o mapa da GEORIO.	124
Figura 23: Mapa de susceptibilidade da GEORIO com a sobreposição dos pontos de deslizamento de abril de 2010.	126
Figura 24: Mapa de susceptibilidade sobre a cota 100m.	128

Lista de quadros

Quadro 1: Conjunto de condicionantes para a ocorrência de escorregamentos (BRASIL, 2006)

70

Lista de tabelas

Tabela 1: Conceitos do IPT.	60
Tabela 2: Termos e conceitos básicos do mapeamento de riscos.	64
Tabela 3: Tabela de declividades utilizada por Oliveira (2006)	70
Tabela 4: Tabela de distância das fraturas utilizada por Oliveira (2006)	71
Tabela 5: Tabela de tipos de solo utilizada por Oliveira (2006)	71
Tabela 6: Tabela de dados geológicos utilizada por Oliveira (2006)	71
Tabela 7: Tabela de uso e ocupação do solo utilizada por Oliveira (2006)	72
Tabela 8: Tabela da distância dos cursos d'água utilizada por Oliveira (2006)	72
Tabela 9: Tabela dos pesos dos componentes utilizada por Oliveira (2006)	73
Tabela 10: Classes de fragilidades das declividades (KAWAKUBO et al., 2006)	73
Tabela 11: Classes de fragilidades dos solos (KAWAKUBO et al., 2006)	74
Tabela 12: Classes de fragilidades do uso e cobertura vegetal (KAWAKUBO et al., 2006)	74
Tabela 13: Componentes utilizados por Werneck & Silva (2010),	75
Tabela 14: Categorias Hierárquicas de declividade (ROSS, 1993)	75
Tabela 15: Classificação dos tipos de solo (ROSS, 1993)	76
Tabela 16: Classificação dos tipos de cobertura vegetal (ROSS, 1993)	76
Tabela 17: Classificação dos tipos de movimentos de massa segundo diversos autores.	81
Tabela 18: tabela com as classes e os pesos da cobertura do solo.	92
Tabela 19: tabela com as classes e os pesos de geologia.	92
Tabela 20: tabela com as classes e os pesos de pedologia.	93
Tabela 21: tabela com as classes e os pesos da declividade.	93
Tabela 22: tabela com as classes e os pesos da orientação das encostas.	93

Tabela 23: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a camada de cobertura do solo	94
Tabela 24: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a camada de geologia	95
Tabela 25: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a cada de pedologia.	95
Tabela 26: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a cada de declividade.	96
Tabela 27: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a cada de orientação das encostas.	96
Tabela 28: Tabela com os pesos dentro de cada componente	96
Tabela 29: Tabela com os dados geológicos.	104
Tabela 30: Classes do mapa pedológico	106
Tabela 31: Classes de declividade	107
Tabela 32: Classes de cobertura do solo	109
Tabela 33: Tabela com a orientação Norte e Sul das encostas do maciço.	111
Tabela 34: Quantificação, em km ² , da cobertura do solo nas classes do mapeamento de susceptibilidade.	119
Tabela 35: Quantificação, em km ² , no mapa pedológico nas classes do mapeamento de susceptibilidade.	120
Tabela 36: Quantificação, em km ² , no mapa geológico nas classes do mapeamento de susceptibilidade.	121
Tabela 37: Quantificação, em km ² , no mapa de declividade nas classes do mapeamento de susceptibilidade.	121
Tabela 38: Quantificação, em km ² , no mapa de orientação da encosta nas classes do mapeamento de susceptibilidade.	122

Lista de gráficos

Gráfico 1: Gráfico comparativo da ocorrência de desastres naturais entre décadas - Fonte: BRASIL, 2012b.	23
Gráfico 2: Gráfico com a distribuição das classes do mapa de susceptibilidade.	115
Gráfico 3: Distribuição quantitativa das cicatrizes mapeadas por Mello (2001) sobre o mapa de susceptibilidade.	117
Gráfico 4: Distribuição das classes do mapa de susceptibilidade no mapeamento da GEORIO.	125
Gráfico 5: Área do mapa de susceptibilidade a movimentos de massa acima da cota 100m	129
Gráfico 6: Área do mapa de susceptibilidade a movimentos de massa abaixo da cota 100m	129

Lista de equações

Equação 1:

97

1.

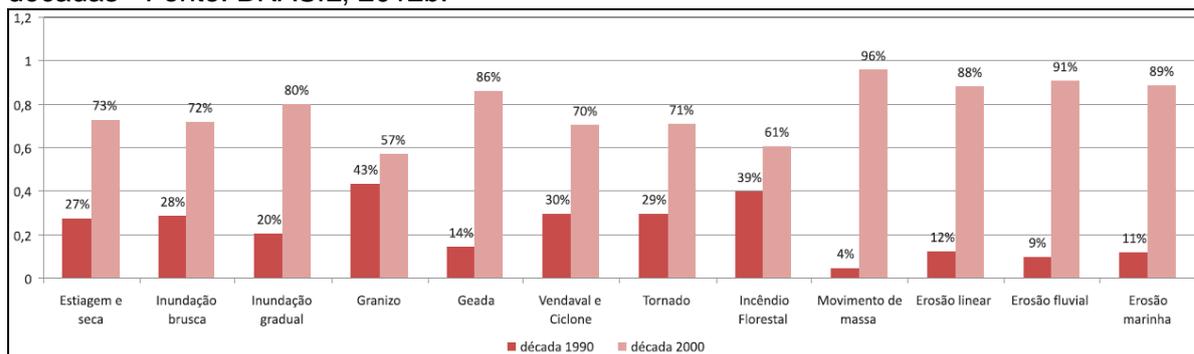
Introdução

De acordo com as estimativas da Organização das Nações Unidas estamos em um momento único na história da humanidade: pela primeira vez mais da metade da população mundial reside em áreas urbanas. A população brasileira não é diferente: acompanha os padrões encontrados em todo o mundo, seguindo a tendência de se concentrar nas grandes regiões metropolitanas. Essa premissa é observada nos resultados do censo 2010: entre os 2000 e 2010 onde a população urbana brasileira, que correspondia a 81,25% (137.953.959 pessoas), passou a corresponder, em 2010, a 84,35% (160.879.708 habitantes) (IBGE, 2010). Este crescimento populacional desordenado – devido à falta de políticas públicas de habitação e planejamento urbano – torna o fenômeno da urbanização um debate pertinente por apresentar riscos à população e aos cofres públicos. Pois as autoridades precisam arcar com ações mitigadoras que normalmente custam mais e já acontecem após catástrofes e perdas de vítimas ao invés de trabalhar com ações preventivas.

O crescimento populacional desordenado é uma dos principais catalisadores para a ocorrência de desastres em países em desenvolvimento. A ocupação nas encostas muitas vezes leva à movimentação da terra, à retirada da vegetação, à alteração do regime de escoamento e infiltração, entre outras alterações. De acordo com Oliveira et al (2006), o efeito do desenvolvimento sobre os desastres é drástico: em média, 22,5 pessoas morrem por desastres em países desenvolvidos, 145 em países em desenvolvimento, e 1.052 em países com IDH baixo.

O gráfico a seguir (gráfico 01) mostra um aumento na ocorrência de desastres naturais no Brasil. No que tange este trabalho, os movimentos de massa apresentam o maior aumento em relação aos registros de ocorrências na década anterior.

Gráfico 1: Gráfico comparativo da ocorrência de desastres naturais entre décadas - Fonte: BRASIL, 2012b.



Os principais fenômenos relacionados a desastres naturais no Brasil são os deslizamentos de encostas e as inundações, que estão associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, repetindo-se a cada período chuvoso (BRASIL, 2006). Mesmo as inundações sendo os processos que produzem as maiores perdas econômicas e os impactos mais significativos na saúde da população, são os movimentos de massa que geram o maior número de vítimas fatais. Este fato justifica a concepção e implantação de políticas públicas municipais específicas para a gestão de risco de deslizamentos em encostas.

A região sudeste do Brasil corresponde com 81,72% das ocorrências de movimentos de massa localizados nos país entre as décadas de 90 e 2000. No mapa abaixo (figura 1), podemos ver a distribuição deste fenômeno ao longo de todo o território brasileiro. É notória a maior incidência deste fenômeno principalmente na região metropolitana fluminense (onde está localizada nossa área de estudo) e na região da Zona da Mata mineira (região sudeste do estado, na fronteira com o Rio de Janeiro).

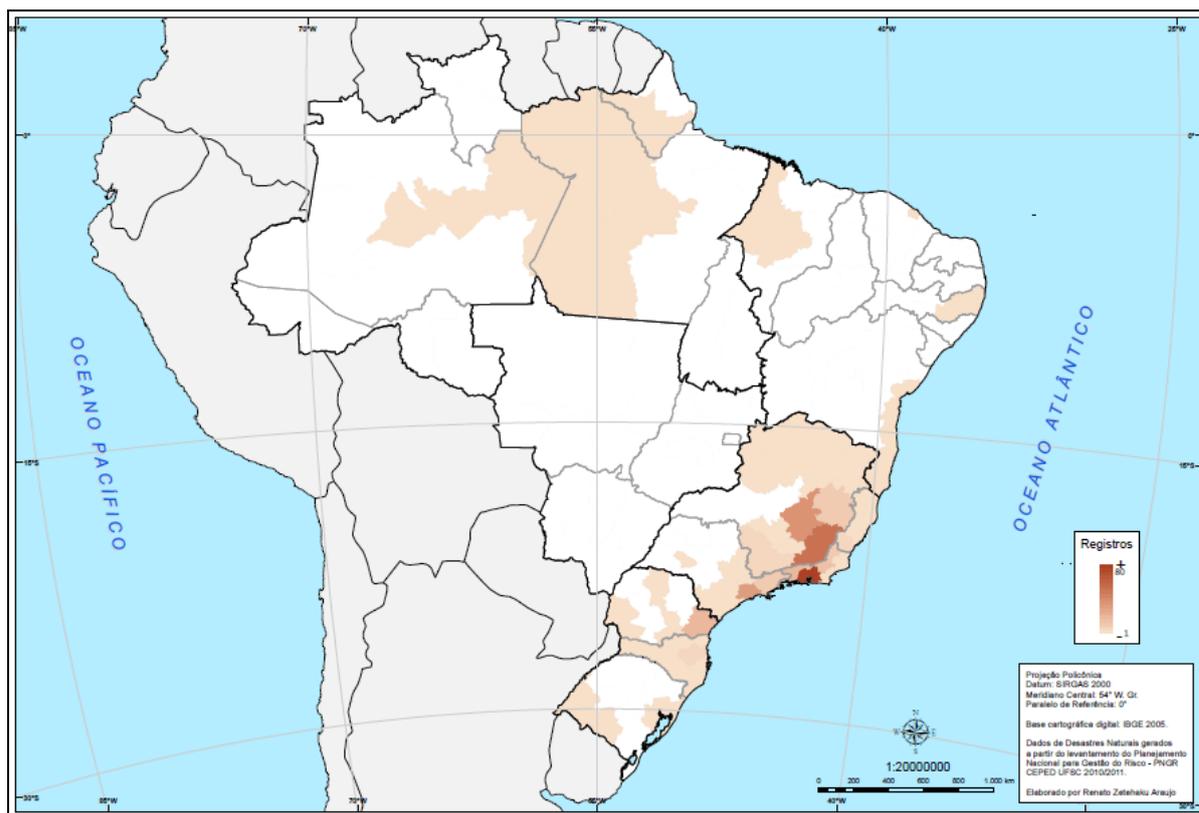


Figura 1: Mapa dos desastres naturais provocados por movimentos de massa no Brasil no período de 1991 a 2010 – Fonte: BRASIL, 2012b.

Com base nesta carência de monitoramento e gerenciamento destas áreas consideradas de risco, foi instituído no ano de 2012 a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) na qual:

“deve integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável. (BRASIL, 2012)”.

A partir desta lei torna-se ainda mais relevante, e obrigatória, a elaboração de uma metodologia que integre o maior número de variáveis – no caso deste estudo a cobertura do solo, a declividade, a orientação das encostas, a pedologia e a geologia – para que se possam desenvolver estudos mais precisos e consistentes ao estado atual do paradigma do planejamento urbano em ambientes com as características geográficas encontradas na cidade do Rio de Janeiro, onde há grande diversidade de feições geomorfológicas, clima tropical e parte da população morando próxima a áreas com risco de movimentos de massas e

inundações. Vemos todos os anos desastres que poderiam ter sido evitados com um planejamento mais específico e localizado.

Com todos estes aspectos, tornam-se primordiais estudos mais aprimorados de planejamento e gestão de riscos que consigam alinhar o crescimento das cidades, o bem estar da população e a preservação do meio ambiente. A prevenção dos acidentes associados a deslizamentos de encostas deve fazer parte da gestão do território e da política de desenvolvimento urbano, constituindo-se, portanto, em uma atribuição municipal (BRASIL, 2006).

Pela morfologia da paisagem do município do Rio de Janeiro, com um relevo acidentado onde são encontrados grandes costões rochosos, e encostas com risco de deslizamento¹, é de se imaginar que grande parte de sua população more em áreas que possam vir a sofrer com movimentos de massa. Neste contexto os eventos ocorridos em abril de 2010 – que foram estudados ao longo desta dissertação – mostraram o quão vulnerável estão às encostas urbanas quanto a estes fenômenos, deixando em seu rastro dezenas de mortes e prejuízos materiais e danos morais incalculáveis.

Nesta cidade que abrigará grandes eventos globais na década que se inicia (como a Rio+20 em 2012, a Jornada Mundial da Juventude em 2013, a Copa do Mundo de 2014, as Olimpíadas em 2016), onde as políticas de planejamento urbano expulsam a população de baixa renda para áreas cada vez mais desvalorizadas (ocorre um movimento “vicioso” no qual o aumento do preço do metro quadrado na cidade, gera a expulsão da população de baixa renda para locais com diversos problemas de mobilidade urbana e a falta de política habitacional que, pela discrepância entre os serviços ofertados, continuam a aumentar o preço dos imóveis nas áreas centrais) tornando cada vez a moradia em locais perigosos, e muitas vezes já proibidos por lei², praticamente a única alternativa.

É neste contexto que se insere o maciço da Tijuca, objeto do estudo, sendo a feição geomorfológica encontrada no Rio de Janeiro considerada de maior

¹ Mapa de Susceptibilidade a deslizamentos sobre o município do Rio de Janeiro. Encontrado em: www.portalgeo.rio.rj.gov.br

² Código Florestal Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

importância por sua proximidade com a zona central da cidade e se torna uma área bastante atrativa para a moradia – principalmente a irregular, por pessoas de baixa renda. O problema se acentua quando adicionamos os efeitos subsequentes à devastação da cobertura florestal, principalmente em relação às alterações nas condições hidrológicas e erosivas.

De acordo com o código de obras do município do Rio de Janeiro³, para ordenação da ocupação do solo, o território municipal é dividido em três Macrozonas: Macrozonas urbanas, Macrozonas de expansão urbana e Macrozonas de restrição à ocupação urbana. As macrozonas urbanas são as ocupadas ou já comprometidas com a ocupação pela existência de parcelamentos urbanos implantados ou em execução. As macrozonas de expansão urbana são as destinadas à ocupação, necessárias ao crescimento da cidade. O Maciço da Tijuca é uma macrozona de restrição à ocupação delimitada de acordo com o memorial descritivo, a partir da curva de nível de 100 m.

O maciço faz parte de um geocossistema onde as mudanças ambientais vêm sendo historicamente induzidas por alterações e intensificações de uso e ocupação de terras na interface florestal-urbana, potencializando a ocorrência de deslizamentos nas encostas durante os eventos extremos de chuvas, especialmente em períodos mais chuvosos e no alto verão (COELHO NETTO, 2005). Como exemplo, podemos citar os casos registrados em 1996 e 2010 que assumiram um caráter catastrófico.

As ocorrências de movimentos de massa ocorridas em 1996 sobre o maciço da Tijuca, apresentando principalmente deslizamentos, produziram 75 vítimas fatais (BRASIL, 2011). Já em 2010, a cidade teve destaque nos jornais de todo país pelas tragédias causadas pelas fortes chuvas, deixando famílias desabrigadas, ruas e estradas interditadas, fechamento de alguns equipamentos urbanos, serviços de água e luz interrompidos, foram registrados 1.410 desabrigados e 368 desalojados, além das 35 vítimas fatais e 56 feridos que tiveram suas casas atingidas por deslizamentos de terra. A Defesa Civil Municipal contabilizou 649 ocorrências.

³ Código de Obras do Município do Rio de Janeiro, Décima-Terceira Edição, 2007.

Os deslizamentos de encostas são fenômenos naturais que podem ocorrer em qualquer área com declividade, por ocasião de chuvas intensas e prolongadas. No entanto, a remoção da vegetação original e a ocupação urbana tendem a tornar mais frágil um equilíbrio que já pode ser naturalmente precário (BRASIL, 2006).

Sendo assim, é fundamental a compreensão dos movimentos de massa, pois sem o conhecimento de sua forma e extensão, bem como das causas dos deslizamentos, não se pode estabelecer medidas de prevenção e corretivas apropriadas que implique em maior segurança para a população (Fernandes e Amaral, 2003 in VIEIRA, KAZMIERCZAK & MALTA, 2005).

Há a necessidade de se estudar tanto os aspectos naturais quanto os sociais, pelo fato de estarmos trabalhando com encostas urbanas. Este sendo um dos objetos de estudo da Geomorfologia Urbana⁴. Cabe ressaltar que neste trabalho, será feito o mapeamento da susceptibilidade a eventos de movimentos de massa e não em quais escalas de risco se encontram a população. O mapeamento das áreas de risco, pela sua denominação, pressupõe a delimitação dos prejuízos sociais gerados por determinados evento catastrófico (MARCELINO, 2008). A geração de um mapeamento de risco exige um arcabouço metodológico e de trabalhos de campo que seria inviável neste estudo.

Os trabalhos sobre áreas de risco exigem uma série de estudos mais complexos, e como seria bastante trabalhoso e, em alguns casos, de logística complexa para as autoridades a realização destes estudos em todas as encostas de seu território, parte-se do princípio da necessidade de estudos remotos que auxiliam na determinação de áreas com maiores probabilidades a movimentos de massa baseados nas análises dos fatores predisponentes de ocorrências anteriores. No mapeamento – já mencionado – publicado pela GEORIO foram utilizados parâmetros como declividade, uso e cobertura do solo, dados geológicos-

⁴ Campo da Geomorfologia que estuda as alterações do relevo em função das modificações antrópicas. O comportamento de suas inúmeras variáveis seria capturado em um seleto grupo de indicadores, capazes de monitorar as interações que processam a realidade (GUERRA, 2011).

geotécnicos e geomorfologia. Os dados de uso e cobertura do solo foram gerados com dados de 2004; e os dados de geomorfologia, pelo fato da área de estudo ser um Maciço, faz dele por si só uma feição geomorfológica, não sendo considerado de grande relevância sua aplicação nesta dissertação.

Os resultados dos mapeamentos deste trabalho foram comparados aos estudos realizados para a mesma área a fim de mostrar como a metodologia utilizada de forma remota pode auxiliar no planejamento das áreas de maior susceptibilidade, podendo ser aplicada em áreas onde não há pouca informação e, também, onde não é possível utilizar outra metodologia em função da falta de recursos.

Este estudo se desenvolveu sob um custo bastante baixo e com resultados mais rápidos em comparação com outros estudos em campo – não eliminando a importância dos mesmos. Com isso se tem a intenção de contribuir com a metodologia de mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos que podem ser aplicadas remotamente a outras encostas onde há uma base de dados mínima para os estudos. A necessidade de rapidez nestas respostas se dá pelo fato de certos fatores que podem vir a contribuir com a ocorrência ou não dos movimentos são de rápida transformação, como é o caso, principalmente, da cobertura do solo, necessitando, assim, de estudos que possam ser elaborados de forma rápida e dinâmica.

De acordo com Werneck e Silva (2010), discutir e representar o comportamento dos fenômenos ambientais com o propósito de fazer um gerenciamento integrado e ágil, se torna impossível sem os recursos da informática, devido à dinâmica antrópica e ambiental. Para entender a dinâmica do meio ambiente é preciso dispor de técnicas que facilitem a ordenação e que sejam passíveis de tratamentos automatizados (SILVA, BRITES & SOUZA, 1999). O Geoprocessamento, segundo Câmara e Davis (2009), trata da disciplina do conhecimento que utiliza técnicas computacionais para o tratamento desta informação.

Trabalhar com o meio ambiente na atualidade sem considerar os recursos das geotecnologias é dispensar uma ferramenta importante. Nos dias atuais, a velocidade da informação é muito grande e a movimentação das sociedades no

espaço geográfico tem se dado de forma muito dinâmica (WERNECK & SILVA, 2010).

Podemos compreender que, sob determinadas condições ambientais, vigora um conjunto específico de variáveis, capazes de detonar processos com comportamentos variáveis dentro de certo período de tempo. O conjunto destas inter-relações podem ser espacializadas dando origem a um diagnóstico integrado. O conhecimento dos processos desencadeadores dos desastres passa, necessariamente, pelo conhecimento dos elementos que constituem o meio físico, já naturalmente frágil da região.

Tais fragilidades e o conseqüente comportamento dos terrenos são heterogêneos, dependendo de características locais. Por esse motivo, essas características devem ser conhecidas e avaliadas corretamente do ponto de vista da suscetibilidade. Assim, sua análise possibilita uma visão integrada das características e processos físicos atuantes na área de estudo, uma vez que a falta de controle e disciplinamento na ocupação das áreas urbanas causa graves problemas sociais e ambientais.

Dessa forma, torna-se imprescindível o investimento em pesquisas voltadas para as geotecnologias com aplicações em tomadas de decisão, na esfera governamental, uma vez que essas tecnologias se ofereceram como ferramentas capazes de propiciar meios para o levantamento de dados, bem como, na integração desses dados para posterior análise e interpretação.

O mapa de susceptibilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da susceptibilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições (KAWAKUBO et al., 2005).

Como objetivo geral, este trabalho visa aprofundar o conhecimento de algumas relações ambientais nos domínios das encostas urbanas e apresentar propostas para a modelagem da susceptibilidade a deslizamentos tão comuns no Município do Rio de Janeiro. Seguindo um pensamento matricial, esta dissertação terá como objetivos secundários, a produção de diversos produtos intermediários,

planos de informação de dados socioambientais, que serão utilizados para auxiliar a confecção do produto final, e análise comparativa de outros mapeamentos e da legislação local.

2.

Referencial Teórico

2.1

Paisagem

Segundo Turner (1989), as transformações das diferentes paisagens que ocorrem na superfície terrestre devem ser entendidas como o resultado da combinação entre os fatores naturais e antrópicos que interagem uns com os outros, tornando-se um todo único e indissociável de evolução contínua. As mudanças de ordem naturais e/ou antrópicas que atuam no fornecimento de energia causam um reajuste em suas formas e processos.

O estudo da paisagem se faz necessário para compreender a inter-relação entre os elementos que compõem a mesma. Segundo Christofolletti (1999), a paisagem constitui-se o campo de investigação da geografia, permitindo que o espaço seja compreendido através de seus sistemas ambientais e socioeconômicos. A relação entre estes sistemas e a distribuição espacial destes fenômenos pode ser compreendida a partir de estudos da Teoria da Complexidade, inerentes às organizações espaciais.

De acordo com Camargo (2002), a Complexidade seria “a junção de três ou mais variáveis em um sistema traz a emergência de fluxos auto-organizados e eventualmente caóticos, advindo de bifurcações imprevisíveis e naturais, e a cada nova etapa evolutiva dos sistemas, estes evoluem para um grau diferente de complexidade, retratado em uma nova organização das estruturas internas que o constituem”.

Ainda sobre a Complexidade, é possível compreendê-la na dinâmica ambiental considerando a segunda lei da termodinâmica, onde todo o sistema fechado está condenado à desintegração, à dispersão. Porém, um sistema aberto é capaz de renovar energia, sendo capaz de se auto-organizar, de se autodefender. Para Morin (1997), o pensamento ecológico é uma forma de pensamento que reflete a lógica da realidade natural e a complexidade da organização viva. A

complexidade organizacional dos ecossistemas consiste em sua capacidade relativa de se auto-organizar ou de corrigir certos efeitos destruidores provocados pelo progresso técnico. A noção de auto-organização pode ser uma noção-chave no estudo das questões ambientais. Após uma ruptura de um determinado estado de relativa estabilidade, o sistema poderá se auto-organizar, ou seja, buscar sua autoprodução, autorrecuperação ou automultiplicação, “desde que a taxa de reprodução seja superior à taxa de degradação.” (Morin, 1998)

O conceito de paisagem tem sido muito discutido por diversos autores. Segundo Troll (1997), a origem do termo paisagem é bem antiga, sendo empregado há mais de mil anos por meio da palavra alemã *landschaft*. O século XIX marcou a transformação do conceito de paisagem com os geógrafos alemães lhe dando um significado científico, dividindo-se entre o conceito geográfico (*landschaft*), a paisagem natural (*naturlandschaft*) e paisagem cultural (*kulturlandschaft*) (VENTURI, 2004). A perspectiva da análise integrada do sistema natural e as inter-relações entre os sistemas naturais sociais e econômicos vêm dando um novo direcionamento e interpretação ao conceito de paisagem.

Nessa perspectiva, Na escola alemã de Geografia Física, Carls Troll define, na década de 1950, o que vem a ser a junção entre essas entre a ecologia e a geografia, através do conceito de “Ecologia da Paisagem”. Incorporando a abordagem funcionalista, Troll (1997) gera uma concepção holística, onde o enfoque funcional como resultado da observação de que todos os geofatores se encontram em interação. Para o autor, a compreensão dessa interação incorpora o desenvolvimento de abordagens sistemáticas, que mesmo tendo como base uma ideia de regionalização, via identificação de estrutura da paisagem, retoma uma espécie de visão orgânica do todo. O conceito de ecossistema na geografia proposta por ele ganharia um dimensão espacial, traduzindo-se em “células da paisagem” ou “ecotopos” (TROLL, 1997).

A Ecologia da Paisagem proposta por este autor enfatiza a interação entre modelos espaciais e processos ecológicos, que é causa e consequência da heterogeneidade espacial (TURNER et al, 2001). Designada por Troll como “geoecologia”, que reagrupa os elementos da paisagem de um ponto de vista

ecológico, dividindo-os em ecotopos e introduzindo um entendimento sistêmico das unidades geográficas.

De acordo com Tricart (1977), a Ecologia da Paisagem permite a análise e a necessidade contrária de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre o meio ambiente, considerando-a, ainda o melhor instrumento lógico de que se dispõe para estudar os problemas do meio ambiente. Não há como formar uma ideia de paisagem a não ser em termos de suas relações associadas ao tempo, bem como suas relações vinculadas ao espaço.

Nesta perspectiva, o estudo da paisagem vai corresponder ao encontro entre ecologia e geografia, e o geossistema será a projeção do ecossistema no espaço. Desde então, a análise da ciência da paisagem volta-se para a preocupação com a dinâmica das unidades, com metodologias acerca da morfologia e dos fenômenos de integração, manifestados pelos fenômenos de funcionamento dos sistemas. Os dois conceitos vão influenciar o termo e a compreensão da paisagem a partir dos geossistemas, apresentados por Sothava, em 1963. Os geossistemas correspondem ao resultado da combinação dos fatores físico-ambientais, podendo influir fatores sociais e econômicos, e, por serem processos dinâmicos, podem ou não gerar unidades homogêneas internamente e associam-se à ideia de organização do espaço com a evolução da natureza (GUERRA, 2006).

O geossistema marca um novo período de análise sobre a paisagem. Para Sothava (1977), a natureza passa a ser compreendida não apenas pelos seus componentes, mas através das conexões entre eles, não devendo restringir-se à morfologia da paisagem e às suas subdivisões, mas de preferência estudar sua dinâmica, sua estrutura funcional e suas conexões. Rodriguez e Silva (2002) mostram que embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, fatores econômicos e sociais moldam sua estrutura.

Inicialmente, a compreensão dos fenômenos se volta para a regularidade, estabilidade e permanência, reduzindo o conjunto dos processos naturais a um pequeno número de leis, inseridas em uma abordagem reducionista da natureza. A necessidade de compreensão dos fenômenos naturais frente às incertezas encaminham os estudos da natureza, em uma ótica mais complexa, a compreendê-la de maneira não fragmentada, considerando a sua dinâmica e

levando ao entendimento do todo de forma sistêmica, tendo uma abordagem holística sobre a natureza.

Muitos autores apontam que os estudos em Geografia Física, nos últimos anos, a visão geossistêmica, como abordagem metodológica, vem-se caracterizando como seu objetivo fundamental, considerando que os geossistemas correspondem a fenômenos naturais, englobando, também, os fatores socioeconômicos, que, juntos, representam a paisagem modificada pela sociedade.

Essa abordagem leva em consideração que os sistemas dinâmicos, complexos e não lineares abordam a grande diversidade dos elementos, com vários graus de liberdade quanto ao comportamento destes. Para as ciências, em geral, constitui-se na mudança do pensamento reducionista para o pensamento holístico ou sistêmico.

Para Bolós (1981), a paisagem, em sua abordagem sistêmica e complexa, será sempre dinâmica e compreendida como o somatório das inter-relações entre os elementos físicos e biológicos que forma a natureza e as intervenções da sociedade no tempo e no espaço, em constante transformação. A autora enfatiza, ainda, que a dinâmica e evolução da paisagem são determinadas por processos políticos, econômicos e culturais.

Christofoletti (1980) destaca que a aplicação da teoria dos sistemas aos estudos geomorfológicos representou um grande avanço, pois o conceito de equilíbrio passou a ser entendido como o ajustamento completo das variáveis internas às condições externas. As formas surgidas em sistemas ambientais estão diretamente relacionadas às influências exercidas pelo ambiente.

Sotchava (1978) admite que, no espaço geográfico, a questão de homogeneidade é importante e assume coerência a partir do reconhecimento de áreas homogêneas elementares, reconhecidas, em vasta literatura, como biogeocenoses, podendo ser reconhecidas numa análise generalizada pela sua relação ecológica potencial. Este autor lembra que nos estudos geográficos os zoneamentos, muitas vezes, nomeiam a classificação do território pelo conjunto de sinais naturais ou por um dos componentes da paisagem, sendo delimitados por zonas distintas que nada mais são que tipologias ou classificações. Deste modo, as

classificações não são absolutas, necessitando de um aprimoramento balizado por teorias e metodologias que atendam às demandas específicas da pesquisa que buscam um resultado.

Nesse sentido, o prognóstico geográfico deve basear-se em produção de documentação cartográfica que contemple a formulação de mapas da paisagem, com dados analíticos que caracterizem os vários itens do geossistema. Os mapas de correlações são importantes, na medida em que podem refletir a distribuição espacial das inter-relações de vários fenômenos geográficos expressos, mostrando como a variação de um dado fator afeta os vários componentes de um geossistema.

Tricart (1977) apresenta a proposta metodológica de diferenciação de Unidades Ecodinâmicas baseada na análise sistêmica, fundamentado nos apontamentos de Sotchava (1972). Sua proposta considera a necessidade de avaliar as fragilidades dos ambientes naturais quando se pretende considerar avaliação deles no planejamento territorial. Dentro dessa concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da teoria de sistema, o qual, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções da sociedade nos diversos componentes da natureza, com geração de estados de desequilíbrios.

A análise geossistêmica da paisagem é enfatizada na metodologia apresentada por Monteiro (1982), onde a relação entre a sociedade e a natureza passa a ser considerada como elemento componente de um sistema. Sendo necessário considerar conjuntos espaciais em profundidade, ou seja, em sua organização em vários níveis hierárquicos, tendo a ação antrópica como elemento de análise.

Sendo assim, há a necessidade de “antropizar o geossistema”, ou seja, considerar a importância dos estudos integrados em que a inserção da natureza na análise social seja intrínseca aos estudos ambientais, não apenas uma abordagem estanque e dissociada das relações espaciais.

Ross (1990) considera que os estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente socioambiental. Nesse contexto, os estudos ambientais devem estar amparados em

metodologias baseadas na compreensão das características e da dinâmica do ambiente natural e do meio socioeconômico, visando buscar uma integração das diversas disciplinas por meio de uma síntese do conhecimento acerca da área de investigação.

A abordagem ecodinâmica, fundamenta-se nos conceitos de instabilidade e estabilidade, acrescentando a essa temática o fator antrópico, ao admitir o homem como agente ativo capaz de interferir na dinâmica de esculturação da paisagem.

Segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2002), uma metodologia de zoneamento sob a perspectiva da geoecologia da paisagem:

(...) consiste em uma abordagem em que qualquer diversidade da realidade estudada (objetos, propriedades, fenômenos, relações, problemas, situações etc.) pode-se considerar como uma unidade (um sistema) regulada em um ou outro grau que se manifesta mediante algumas categorias sistêmicas, tais como: estrutura, elemento, meio, relações, intensidade etc. (...) Desta forma, pode-se definir como um sistema ao conjunto de elementos que se encontram em relação entre si, e que formam uma determinada unidade e integridade. (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2002, p.41-42).

A presença humana compõe a paisagem, por isso as atividades humanas passam a integrar também os estudos sobre a paisagem. Mas não apenas porque a paisagem apresenta aos observadores elementos não naturais como estradas e habitações mas, também, porque a natureza é humanizada pela intervenção do homem.

A paisagem urbana tem uma dinâmica que deve ser compreendida para que os ambientais urbanos sejam adequadamente monitorados porque, paradoxalmente, a mesma ação do intemperismo, que contribui para a evolução do relevo – a água da chuva e os ventos etc. – influi de modo crítico nas áreas construídas, gerando movimentos de massa, a saturação do solo e outras situações, por vezes catastróficas (GUERRA, 2011).

Para Fernandes, Avelar e Coelho Netto (2006), torna-se importante considerar as relações internas da paisagem associadas à interação dos fatores naturais e antrópicos no comportamento das encostas. Alterações na composição destes fatores, as quais são principalmente impostas pela variável humana, podem induzir a modificações significativas na dinâmica dos processos atuantes na encosta. Tanto fatores naturais quanto antrópicos influenciam na determinação das

áreas de susceptíveis, e sua classificação adota, muitas vezes, a ponderação desses fatores, sendo esta de difícil determinação e de pouca disponibilidade na literatura atual (OLIVEIRA, 2006).

2.2

Assinaturas ambientais

Segundo Zaidan & Xavier-da-Silva (2007) as assinaturas ambientais fazem parte dos procedimentos que compõem os tratamentos necessários à identificação espacial de dados e/ou fenômenos. Estes procedimentos seriam divididos entre levantamentos ambientais e prospecções ambientais.

Ainda segundo estes autores (op. cit.), os levantamentos ambientais resumem-se a três procedimentos básicos: a criação de base de dados geocodificados, através dos planos de informação definidos como portadores de poder diagnóstico quanto às situações ambientais relevantes; as planimetrias, para o reconhecimento da extensão das categorias registradas nos planos de informação; e as áreas de incidência de eventos ou mesmo geoindicadores das condições potenciais (assinaturas ambientais).

As assinaturas ambientais seriam, então, estruturas de caráter empírico, que possibilitam associações entre as variáveis ambientais. Este procedimento utiliza o atributo de localização de um dado fenômeno/evento para que se extraiam os dados contidos nos planos de informações escolhidos para o mesmo. Desta forma podem ser conhecidas diversas características ambientais de um fenômeno, ou área escolhida, contido nos planos de informação relevantes ao estudo a partir das informações encontradas no banco de dados.

As assinaturas devem ser usadas a fim de constatar a presença de certas características (categorias dos parâmetros envolvidos interessantes ao estudo) ao longo de vários locais escolhidos e analisados. Permitindo, assim, a inferência quanto às associações causais entre parâmetros e a situação ambiental de interesse, com base em correlações de ocorrência nos mesmos locais, compondo uma consulta à base de dados especializados para que se adquiram conhecimentos dos demais atributos de ocorrência sobre um determinado fenômeno, ou a

importância de determinado condicionante a fim de dar subsídio à análise empírica das principais características ambientais (ZAIDAN & XAVIER-DA-SILVA, 2007). Trata-se de uma investigação empírica das características ambientais que mais irão influenciar no fato ou no fenômeno analisado (CAVALCANTE, 2001)

Neste procedimento, de caráter analítico, procura-se obter conhecimento de determinadas características ambientais. Empiricamente obtém-se conhecimento através das assinaturas, que define as características ambientais que mais influenciam por meio da ocorrência de cada componente dos planos de informação. Esse procedimento passa pela atribuição de pesos aos diferentes planos de informação e às respectivas categorias envolvidas, conforme o grau de importância em relação à situação analisada. O somatório dos pesos aplicados aos parâmetros não poderia exceder a 100%, variando de acordo com a intensidade de participação (ZAIDAN & XAVIER-DA-SILVA, 2007).

Neste trabalho o registro de ocorrência de escorregamentos é representado pelas cicatrizes deixadas nas encostas por ocasião das chuvas que ocorreram em abril de 2010 no maciço da Tijuca. As mesmas foram delimitadas no trabalho de Mello (2011), o qual mapeou as cicatrizes de deslizamentos de abril de 2010 no Maciço de Tijuca. Esta identificação, realizada por este autor (op. cit.), ocorreu através de trabalhos de campo e do uso de técnicas de Sensoriamento Remoto, mapeando, em polígonos, as cicatrizes encontradas naquele momento em grande escala.

2.3

Geotecnologias

Toda a tentativa humana de representar a realidade envolve a geração de conceitos. O espaço geográfico, sendo contínuo e complexo, requer, para sua representação, conceitualizações que se operacionalizam através de procedimentos de abstração, generalização e aproximações (Goodchild et al, 1992). Levando em consideração que este trabalho se utiliza de conceitos

ligados às geotecnologias, torna-se importante a definição de alguns conceitos que serão utilizados neste estudo.

As geotecnologias possuem papel relevante na gestão ambiental por facilitar o gerenciamento de dados espaciais e permitir variados tipos de análises, subsidiando a tomada de decisões. Elas podem ser entendidas como uma tecnologia que trabalha integrando informações contidas em um plano de informações georreferenciado. Seu tratamento permite a criação de diversos mapas temáticos que estabelecem correlações entre a representação espacial e as informações disponíveis.

As geotecnologias podem ser compreendidas, de maneira geral, através de algumas ferramentas que a compõem, como os Sistemas de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto, que juntas são as principais ferramentas das geotecnologias. Neste trabalho, especificaremos, também, mais duas ferramentas que, apesar de estarem intrinsicamente conectadas ao SIG e ao SR, serão relevantes ao trabalho: Banco de Dados e Modelos Numéricos de Terreno.

2.3.1

Sistema de Informações Geográficas - SIG (*Geographic Information System - GIS*)

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) é utilizado para sistemas que trabalham no tratamento digital de dados geográficos. Este sistema comporta os atributos dos dados e sua geometria, localizados na superfície terrestre e representados dentro de determinados atributos cartográficos (sistemas de coordenadas, projeção, datum). As principais características de um SIG seriam: integrar dados “especializáveis” dentro de uma base de dados uniforme e oferecer mecanismos para o tratamento e visualização destes dados.

De acordo com Rodrigues (1993), o sistema de informações geográficas pode ser entendido como “o conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informação espacial”. O conhecimento do espaço ou do território não é meramente a justaposição de dados, em um dado momento,

mas sim a integração destes dados dentro de uma mesma unidade de análise. Permite individualizar cada espaço através de suas características para que se possa nele atuar com mais segurança, além de discernir e explicitar os fenômenos que nele ocorrem, com base em análises mais concretas e rigorosas, minimizando interferências (ZAIDAN & XAVIER-DA-SILVA, 2007).

No Sistema de Informação Geográfica (SIG), os planos temáticos são selecionados e por meio de cruzamentos de dados, geram novas informações, as quais servirão de base para o planejamento e recomendações de uso e manejo do ambiente. Dependendo da finalidade do trabalho, os planos são selecionados e armazenados no SIG, em que, por meio de cruzamentos, geram novas informações, as quais servirão de base para o planejamento e recomendações de uso e manejo do ambiente.

Segundo Silva, Brites & Souza (1999), há pelo menos três modos principais de utilização de SIGs:

- Como ferramenta para produção de mapas;
- Como suporte para análise espacial de fenômenos;
- Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Um Sistema de Informações Geográficas poderia, então, ser definido como um agrupamento de equipamentos e programas de computador que permitem a entrada e a edição, o armazenamento, o questionamento e o acesso de informações, sua transformação, análise, demonstração e impressão de informações espaciais, e sua espacialização (localizadas por meio de coordenadas geográficas em relação a algum sistema de referência). Sendo uma tecnologia que permite o relacionamento de cada elemento do ambiente à sua posição e às suas respectivas informações onde a topologia seria o conjunto que define os relacionamentos entre os elementos da geometria, sua localização e as informações alfanuméricas.

Atualmente o termo “SIG” é considerado como um método computacional de sobrepor e combinar diversos tipos de dados com referência espacial em um mesmo mapa ou carta geográfica, para a geração de informações. Os dados são

dispostos em camadas ou planos de informação que representam a distribuição espacial dos recursos num determinado momento, referenciada por coordenadas geográficas exatas. A diferença entre “dado” e “informação” se dá porque o primeiro corresponde a um conjunto de valores alfanuméricos sem estrutura lógica explicativa por si só; já a informação seria um conjunto de dados estruturados de forma a possuir um determinado significado para aplicação particular. Dessa forma, a informação também pode agregar o componente da subjetividade.

De acordo com Mello (2011), nos anos 80 a tecnologia dos sistemas de informações geográficas inicia um processo de desenvolvimento que dura até os dias de hoje. A incorporação de muitas funções de análise espacial proporcionou uma abertura para as possíveis aplicações de SIG. Nos dias de hoje, um grande crescimento do ritmo de penetração do SIG nas organizações é observado, possivelmente possibilitado pelos custos decrescentes das tecnologias de informação como um todo e, também, pelo surgimento de alternativas tecnológicas menos custosas para a construção de bases de dados geográficas, como novos tipos de sistemas de posicionamento global (GPS, sigla em inglês) e outras tecnologias de campo e de sensoriamento remoto.

De maneira geral pode-se dizer que os SIGs são ferramentas que manipulam objetos (feições geográficas) e seus atributos (banco de dados) através do seu relacionamento espacial (topologia). Na figura abaixo podemos ver a esquematização de um SIG:

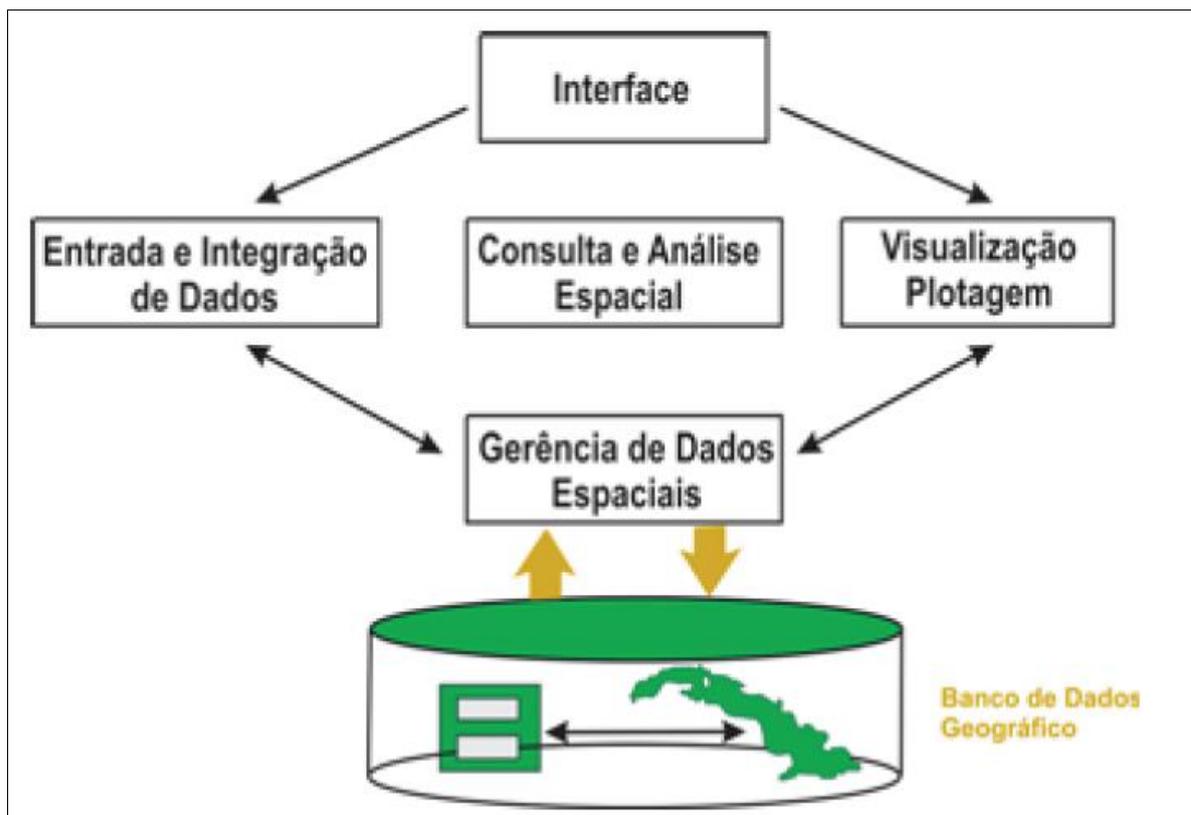


Figura 2: Arquitetura de um SIG. Fonte: BRASIL, 2007.

Dentro de um Sistema de Informação Geográfica, os dados georreferenciados podem ser reagrupados. Cada camada de dado, também conhecido como *layer*, é uma unidade que pode ser manipulada tanto para facilitar a visualização e interpretação como para a geração de dados subsequentes utilizando ferramentas dentro do próprio programa de SIG.

A estrutura das geotecnologias é pautada na informática e na ciência cartográfica. Todavia, dadas as suas potencialidades de integração de informações gerando produtos para a tomada de decisão em várias áreas do conhecimento científico, o SIG é considerado por vários autores como um avançado instrumento de aplicação multidisciplinar. As informações são organizadas e trabalhadas através dos Sistemas de Bancos de Dados Geográficos.

2.3.2

Banco de Dados de SIG

De acordo com STRAUCH et al. (1998), os SIGs aplicam arquiteturas que oferecem gerenciamento dos dados geográficos. Estes modelos de dados permitem estratificar a informação geográfica em um conjunto de níveis denominados de planos (ou camadas) de informação (PIs) ou *layers*. Cada um destes níveis representa uma mesma área, cada qual correspondendo a uma perspectiva diferente da realidade da área. Esta perspectiva corresponde a um aspecto temático independente, como a cobertura do solo, a vegetação, malha viária entre outros que comportam todo um banco de dados alfanuméricos atrelados a eles.

Conforme STRAUCH et al. (1998), estes níveis podem ser distinguidos conforme a finalidade deles na base de dados em:

1. Níveis de informação básica: fornecem uma representação monocromática, mas essencial, do espaço geográfico. Conjunto básico de feições geográficas que fornecem informações necessárias ao reconhecimento topográfico da região.
2. Níveis de informação temática ou especial: fornecem a representação policromática do espaço geográfico da área de aplicação da base de dados. Estes níveis armazenam as descrições dos temas necessários para o SIG atingir o objetivo proposto. Eles descrevem as ocorrências, distribuições e relações espaciais de entes e feições do contínuo espacial para cada tema.

Esta organização em níveis permite ao usuário combinar conceitos simples da modelagem de dados a fim de gerar níveis de informação, produzindo, assim, conjuntos de características que representam relações complexas do mundo real (STRAUCH et al., 1998).

O banco de dados consiste em uma coleção de dados inter-relacionados e um programa para prover o acesso a esses dados. O objetivo principal de um sistema de banco de dados é possibilitar um ambiente que seja adequado e

eficiente para uso na recuperação e armazenamento de informações. De maneira geral, os dados trabalhados em um ambiente georreferenciado são diferenciados entre dados matriciais (ou raster) e dados vetoriais.

Os dados vetoriais são feições representadas geometricamente por pontos, linhas ou polígonos, através destas feições é possível criar correlações de vários tipos que podem ser estabelecidas entre os objetos, independentemente da base geocodificada, com fundamento nos seus atributos não espaciais, com uso de técnicas estatísticas aplicadas sobre os dados alfanuméricos do banco de dados. Os resultados destas operações podem ser transferidos para a base geocodificada do SIG, para exibição ou tratamento analítico, tais como definição de proximidades e conexões.

Já os dados matriciais, como o próprio nome já explica, são dados em formatos de matriz, onde cada pixel contém informações que são representativas somente deste pixel (as imagens provenientes do sensoriamento remoto são os maiores exemplos da aplicação de dados matriciais – ou raster – no geoprocessamento). A estrutura dos dados, segundo planos de informação, pode ser entendida como uma matriz A_{ijk} , na qual i e j são coordenadas localizadoras na superfície terrestre, e a dimensão k é constituída por sucessivas camadas de informações ambientais, composta, cada uma delas, pela representação digital da variação geográfica (territorial) de cada uma das variáveis ambientais componentes do acervo de conhecimentos disponível no SIG (ZAIDAN & XAVIER-DA-SILVA, 2007).

Na figura (figura 3) a seguir é possível verificar um modelo de representação de um mesmo local do espaço a partir de dados vetoriais e matriciais.

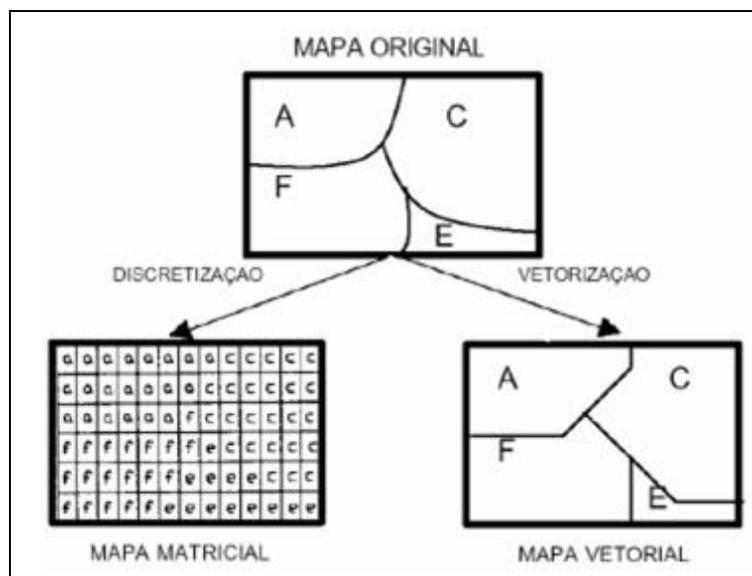


Figura 3: Modelo da representação matricial e vetorial.

2.3.3

MNT – Modelo Numérico de Terreno

Os modelos numéricos de terreno serão estudados como categoria a parte, uma vez que os modelos podem prover tanto de dados obtidos em campo (como as delimitações de topografia através de curvas de nível) quanto remotamente (através do sensoriamento remoto)

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Para a representação de uma superfície real no computador é indispensável à elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno.

A criação de um modelo numérico de terreno corresponde a uma nova maneira de enfocar o problema da elaboração e implantação de projetos. A partir

dos modelos (grades) podem-se calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, gerar imagens sombreadas, mapas de declividade e aspecto, fatiamentos nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

De acordo com Burrough (1996) entre alguns usos do MNT podemos citar:

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

O TIN (*triangulated irregular network*) é uma grade irregular triangular e consiste de um poliedro de faces triangulares. Em um modelo de grade irregular triangular onde os pontos amostras são conectados por linhas para formar triângulos. Assim, diferentemente da geração de grade regular, os valores de cota dos vértices dos elementos triangulares da malha triangular não precisam ser estimados por interpolações. Em um conjunto de amostras maior do que 4, podemos construir mais de uma malha triangular sobre esse conjuntos.

2.3.4

Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é considerado como a tecnologia de aquisição de imagens terrestres a partir de aeronaves, balões, satélites e espaçonaves. No escopo das geotecnologias, o sensoriamento remoto orbital exerce papel de destaque, acompanhado de técnicas de processamento das imagens que são captadas pelos diferentes sensores acoplados aos satélites. O sensoriamento remoto orbital oferece a abrangência de extensas áreas em uma mesma imagem ou a fusão de várias imagens em “mosaicos” digitais, organizando uma visão de conjunto. Além disso, a passagem periódica do satélite sobre um mesmo ponto da superfície terrestre garante a apreensão à distância da dinâmica material da paisagem.

O ponto crucial do sensoriamento remoto orbital está na capacidade de extrapolar a percepção visual humana sobre os objetos na Terra, com os vários comprimentos de onda eletromagnética que os sensores são capazes de captar a partir da radiação solar (satélites passivos) ou de emissão própria (satélites ativos, radares), possibilitam inúmeras possibilidades de uso destes recursos, desde à simples visualização em “cores naturais” de determinadas áreas à levantamento de umidade no solo, entre outros. Os sensores óticos – como o utilizado nesta dissertação – são sensores passíveis que recebem a energia refletida pelos objetos sobre a superfície terrestre, para isso sua órbita está em sincronia com as primeiras horas da manhã do local por onde o satélite está passando.

A capacidade de captação de informações por um satélite é medida principalmente por três tipos de resolução: espacial (capacidade do sensor em definir objetos, quanto menor o objeto identificado na Terra, maior a resolução); espectral (medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir níveis de intensidade do sinal de retorno), radiométrica (refere-se à capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiância espectral recebida.) e temporal (tempo que um satélite demora a imagear novamente o mesmo ponto). Atualmente existem satélites comerciais com sensores multiespectrais, de altíssima resolução espacial e temporal, alcançando até 0,40 cm da realidade por pixel (ponto) na matriz da imagem e com imageamento diário. Alguns exemplos de sensores de alta resolução espacial e temporal são: IKONOS II, QUICKBIRD, WORLVIEW-2 e GEOEYE-1. Este último sendo utilizado neste trabalho.

As imagens são representações bidimensionais da superfície terrestre e podem ser entendidas como matrizes compostas por pixels, cada um com um valor de intensidade e uma localização. O valor de intensidade representa a quantidade de energia medida pelo sensor em um dado comprimento de onda a partir da refletância do objeto em terra. É, geralmente, uma média de valores entre as diferentes coberturas (MELLO, 2011).

A localização do pixel é dada pelas coordenadas de linha e coluna na imagem bidimensional. Existe uma relação de um para um entre as linhas e colunas de localização do pixel e sua posição correspondente na terra. Esse valor

de intensidade do pixel é gravado e como um número digital que varia de acordo com quantidade de dígitos binários (bits) que compõem a imagem. O número de bits determina a resolução radiométrica de imagem. Por exemplo, em uma imagem de 8 bits os números de digitais variam de 0 a 255, enquanto em uma imagens de 11 bits, os valores variam de 0 a 2047.

A característica básica geral de um SIG é a sua capacidade de tratar as relações espaciais e/ou objetos geográficos (topologia). Assim, os SIGs tem superado o problema da manipulação de grandes volumes de dados que os métodos convencionais não resolveram. Já o SR é uma ferramenta que auxilia na caracterização do meio físico, biótico e antrópico. A integração destas duas ferramentas tem levado ao desenvolvimento de trabalhos que aproveitam estas qualidades, em áreas onde atividade humana e os recursos naturais constituem os alvos principais de atenção.

2.3.5

O uso das geotecnologias na gestão de risco

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades. Até recentemente, no entanto, isto era feito em documentos e mapas em papel, impedindo uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento das geotecnologias (BRASIL, 2007).

Segundo Mello (2011), o sensoriamento remoto e o sistema de informações geográficas podem ser entendidos como produtos de uma tecnologia que funcionam integrados gerando informações contidas em uma área geográfica. O tratamento destas informações permite a criação de novos dados temáticos, estabelecendo correlações entre a representação espacial e as informações disponíveis.

Com estas ferramentas produzem-se informações em pouco tempo e com baixo custo, combinando dados espaciais de múltiplas fontes, a fim de analisar as interações existentes entre as variáveis, elaborar modelos preventivos e dar suporte as tomadas de decisões (BONHAM-CARTER, 1996).

Segundo Hora & Gomes (2009), a aplicação da cartografia na identificação e diagnóstico de áreas de risco tem sido bastante explorada em diversas cidades brasileiras, surgindo então várias metodologias, as quais de modo geral, têm como base a combinação de dados e informações referentes a aspectos geológicos (litologia), geomorfológicos (declividade, hipsometria, etc.) e de uso do solo (tipologias de ocupação, tipos de vegetação etc.). Dessa forma, a cartografia assume um papel importante na gestão do risco, pois através dela é possível elaborar mapas associando os conhecimentos físico, ambientais e sociais que interferem na dinâmica das inundações e movimentos de massa.

O mapa de áreas de susceptibilidade a movimentos de massa é um instrumento importante na prevenção, controle e gestão de escorregamentos. De acordo com Veyret (2007), assinalar a susceptibilidade em um mapa equivale a afirmar o risco no espaço em questão. O zoneamento e a cartografia que o acompanham constituem a base de uma política de prevenção. (VEYRET, 2007). Segundo a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012⁵, é necessário o diagnóstico da situação ambiental na qual se encontra a área de estudo.

Um conjunto de procedimentos de diagnose ambiental é proposto por Xavier-da-Silva e Carvalho Filho (1993):

1. Riscos ambientais: operando sobre qualquer das estruturações de dados apresentadas, é relevante para a pesquisa geomorfológica a definição de locais propícios à ocorrência de fenômenos geomorfológicos de interesse, tais como desmoronamentos e deslizamentos de terreno e enchentes. Entre as estruturações apresentadas, a estrutura de células (raster) permite definir estes locais propícios com certa facilidade de programação. Trata-se, neste caso, superpor os planos de informação, constante da base de dados, julgados relevantes para a ocorrência do fenômeno de interesse. Com base em algoritmo robusto – a média ponderada, obtida a partir de pesos

⁵ Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

(atribuídos aos planos de informação) e avaliações em escala ordinal, suficientemente segmentada, das classes existentes em cada plano de informação, em termos da possibilidade de associação de cada classe de legenda com fenômeno de interesse – podem-se mapear as possibilidades de ocorrência do evento de interesse.

2. Assinaturas ambientais: o próprio SIG pode ser usado para aprendizagem sobre as ocorrências de locais de riscos ambientais, dos tipos mencionados. Constatada a ocorrência, em determinados locais, de desmoronamentos (ou enchentes, ou outro fenômeno qualquer de interesse), a base de dados pode ser consultada, gerando a informação sobre quais características ambientais estão registradas nos locais onde ocorreram os fenômenos de interesse. Essa informação, obtida empiricamente, pode validar e calibrar os procedimentos de avaliação descritos no parágrafo anterior, tornando altamente enriquecedor o uso do SIG na pesquisa geomorfológica.
3. Zoneamentos ambientais: zoneamentos ambientais, com base nas múltiplas características ambientais, estas naturalmente convergentes em cada local para a definição da situação ambiental em análise, podem ser executados em SIGs. Identificação de agrupamentos espaciais (clusters) pode ser executada com apoio em generalizações (desconsideração de ocorrências de menor porte, agregações de manchas por critérios de tamanho e proximidade), gerando zoneamentos metodicamente, isto é, a partir de critérios reproduzíveis e explicitados.

O zoneamento determina os espaços em que existe um alto risco e por isso, em que a ocupação deve ser planejada, regulamentada e às vezes, proibida por diretrizes e normas legais. Segundo Veyret (2007), ao apresentar o zoneamento, o mapa confere ao risco um caráter objetivo. A determinação dos limites destas áreas dá-se em função do grau de risco que admissível em cada uma delas.

2.3.6.

Alcance e limitações das geotecnologias

As geotecnologias oferecem uma série de ferramentas para processar os dados ambientais, que permitem a expressão de procedimentos lógicos e matemáticos sobre as variáveis georreferenciadas com uma economia de expressão e uma repetitividade impossível de alcançar em análises tradicionais.

Esta multiplicidade de funções, no entanto, pode ser utilizada de forma pouco rigorosa. Ao produzir novos mapas por combinação e manipulação, sem o cuidado de controlar o procedimento, muitos usuários não conseguem explicar os resultados obtidos e deles tirar conclusões objetivas. O uso consistente das geotecnologias para estudos ambientais requer que duas pré-condições sejam satisfeitas: o domínio dos fundamentos teóricos de Geoprocessamento e uma metodologia de trabalho solidamente baseada. Esta metodologia deve estar associada a um modelo preditivo que combine operações realizadas num SIG com a interpretação (por vezes necessariamente subjetiva) do especialista (HORA & GOMES, 2009).

Os SIG requerem de seus usuários uma postura ativa e crítica. Ao mesmo tempo em que é necessário compreender a complexidade dos procedimentos lógico-matemáticos do Geoprocessamento, é preciso dispor de metodologias que capturem a dinâmica dos processos espaciais, não expressáveis explicitamente num banco de dados geográfico. Este equilíbrio entre forma e função, e entre estrutura e processo está na essência do uso adequado das geotecnologias.

2.4.

Urbanização, Encostas e Encostas Urbanas

As áreas urbanas constituem-se em ambientes onde a ocupação e concentração humana se tornam intensas e, na maioria das vezes, desordenadas, tornam-se locais sensíveis às gradativas transformações antrópicas, à medida que se intensificam em frequência e intensidade entre outras coisas. As encostas

urbanas constituem hoje grande exemplo para a degradação ambiental, colocando em risco a segurança e a qualidade de vida de sua população, constituindo um palco de embates ecológicos.

O relevo é o principal elemento a condicionar o processo de urbanização, a declividade dos terrenos de uma região tende a conduzir o crescimento urbano ao longo dos vales, seguindo as áreas de menor altitude. Entretanto, com o avanço tecnológico, o ser humano tem conseguido vencer os desafios impostos pela morfologia dos relevos causando maiores impactos sobre a paisagem e ao meio ambiente, como consequência dessa atitude há a erosão das encostas e o assoreamento dos recursos hídricos.

Em relação à urbanização, as condições geomorfológicas podem ser favoráveis ou não a determinado tipo de uso do solo. Algumas formações se mostram mais atrativas à construção no que diz respeito às suas características físicas. Outras, por sua vulnerabilidade natural, devem ser destinadas a intervenções mais brandas, como parques que, por serem mais frágeis, devem ter sua cobertura vegetal mantida a fim de se evitar impactos negativos ao meio ambiente, funcionando como uma barreira ao crescimento urbano.

Segundo Suguio (2003) o homem aumenta, a cada dia que passa, o seu papel como agente geológico muito ativo, causando a devastação de florestas em enormes áreas, acelerando os processos de modificação do relevo terrestre.

Os processos de urbanização e industrialização têm um papel fundamental nos danos ambientais ocorridos nas cidades. O rápido crescimento destes processos causa uma pressão significativa sobre o meio físico das cidades, tendo as consequências mais variadas, tais como a poluição atmosférica, do solo e das águas, os deslizamentos, as enchentes, etc. Segundo Goudie e Viles (1997), desde o final do século XVII têm sido observada as transformações culturais e tecnológicas através do desenvolvimento das indústrias. A Revolução Industrial, assim como a Revolução Agrícola, reduziu o espaço necessário para sustentar a população e, conseqüentemente, aumentou a utilização de recursos naturais para manter tanto as indústrias que se multiplicavam como a população crescente das cidades. Estes autores ainda destacam o papel dos avanços da medicina, o que levou ao rápido crescimento da população.

O crescimento rápido e desordenado que tem ocorrido em muitas cidades, em especial nos países em desenvolvimento, é o grande responsável pelas transformações ambientais, descaracterizando, muitas vezes, o meio físico original, antes de haver a ocupação humana. À medida que essas modificações são realizadas, ocorre toda uma série de respostas geomorfológicas típicas das cidades grandes como movimentos de massa e enchentes, que acontecem com frequência, muitas vezes não sendo necessários totais pluviométricos elevados para que esses processos ocorram (GUERRA, 2006).

A compreensão da relação existente entre os fatores do meio físico e os impactos provocados pela ocupação humana, que induzem e/ou causam a detonação e aceleração dos processos geomorfológicos, é necessária para que se entenda a dinâmica destes eventos catastróficos.

No caso dos países em desenvolvimento, como o Brasil, onde a ocupação rápida e desordenada nas encostas tem sido responsável pela ocorrência de movimentos de massa que causam a morte de centenas de pessoas todos os anos, há a necessidade dos estudos ambientais para que expansão das cidades não continue a provocar os desastres ambientais, tão típicos das cidades dos países em desenvolvimento.

Com exceção dos fundos de vale e topo de chapadas, quase todas as terras emersas são constituídas por encostas, elas podem ocupar paisagens inteiras em determinadas partes da superfície terrestre (GUERRA, 2011). Goudie (1985) conceitua encosta como sendo uma forma tridimensional produzida por intemperismo e erosão, com elementos basais, os quais podem ser de origem deposicional ou erosiva.

O estudo das encostas é fundamental para a sua aplicação à preservação contra a ocorrência de movimentos de massa. Seu principal aspecto é compreender a natureza do terreno e as respostas que esse terreno pode dar às mudanças provocadas pelo homem. Essas mudanças podem ocorrer a curto, médio e longo prazos.

As encostas variam bastante em forma, comprimento e declividade, de um local para outro e, algumas vezes, podem variar bastante, num mesmo local

(GUERRA, 2009). Essas variações devem-se às diferenças geológicas, pedológicas, geomorfológicas e climáticas. Seu estudo é tão importante que Small e Clarck (1982) chegaram à expressão “geomorfologia de encostas” enfatizando o papel de fatores que explicam as variações existentes entre as encostas e que ligações existem entre esses fatores.

As encostas constituem uma forma de relevo básica presente em qualquer parte da superfície terrestre afetando diretamente as atividades humanas como a agricultura, a construção de civil, a urbanização, entre outras. Seu estudo tem grande importância, porque o mau uso das encostas podem provocar riscos aos seres humanos e às atividades econômicas, seu conhecimento é importante também para que possa ser feita uma prevenção adequada dos movimentos de massa.

A intervenção humana sobre o relevo, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, demandam a transformação da superfície do terreno. Dependendo do tamanho desta intervenção, os impactos ambientais associados poderão causar grandes prejuízos ao meio físico e aos seres humanos. Guy (1976) destaca que não é possível aplicar métodos empregados em áreas rurais às urbanas porque a dinâmica da evolução das encostas é bem diferente, uma vez que é comum o aporte de grandes quantidades de sedimentos, para as calhas fluviais, num curto espaço de tempo nas áreas urbanas. Esse grande aporte de sedimentos, num tempo curto, na maioria das vezes, deve-se a movimentos de massa, que são bem típicos das áreas urbanas.

Mesmo as encostas apresentando características homogêneas, independente dos locais onde estejam situadas, as encostas localizadas em áreas urbanas sofrem tantas transformações, ao longo do tempo, que passam a ter características bem distintas daquelas que existem em áreas rurais (GUERRA, 2009).

Parsons (1988) afirma que o homem influencia as encostas de três maneiras principais: cria encostas artificiais, tais como aquelas feitas através de cortes e aterros, para a construção de ruas; altera o uso da terra, desmatando e construindo casas e prédios, modificando totalmente o equilíbrio dos processos geomorfológicos, que atuam sobre as encostas; recentemente, o homem tem modificado as encostas através de obras de recuperação de áreas degradadas,

criando uma paisagem artificial, em relação àquela existente anteriormente à ocupação humana.

Segundo Guerra (2011), o desmatamento, seguido da ocupação intensa de algumas encostas, através da construção de casas, prédios, ruas, etc., causando uma grande impermeabilização do solo, sem ser acompanhado de obras de infraestrutura, como galerias pluviais e redes de esgoto, podem causar grandes transformações no sistema das encostas, provocando deslizamentos catastróficos. Fenômeno típico que acontece, por exemplo, na cidade do Rio de Janeiro, que tem sofrido diversos tipos de movimentos de massa, com a consequente perda de vidas humanas, bem como prejuízos de ordem material, nas últimas décadas.

Não apenas no Rio de Janeiro, mas em todas as cidades que se desenvolvem a jusante de vertentes florestadas, como acontece ao longo da Serra do Mar, novas funções são agregadas ao sistema florestal, especialmente no que se refere à manutenção da estabilidade das encostas. Esta funcionalidade tende a ser bastante alterada pelo processo de adensamento de ocupação das encostas, ao degradar a estrutura florestal em um primeiro momento e, em seguida, substituí-la por áreas de capim ou áreas construídas.

As chuvas intensas muitas vezes têm efeito catastrófico sobre as encostas e são as grandes responsáveis por mudanças rápidas nesses ambientes (SELBY, 1987). Quanto maior a magnitude dos eventos chuvosos, menor sua frequência, ou seja, apesar de causar catástrofes, seu intervalo de tempo é bem maior, comparado ao das chuvas de menor intensidade. No entanto, quando esses eventos ocorrem em encostas urbanas, em áreas densamente povoadas, em especial quando a população se dirige às partes mais elevadas e íngremes das encostas, os efeitos são quase sempre desastrosos, causando mortes, durante esses fortes temporais.

Selby (1987) também chama a atenção para o fato de que, para a ocupação das encostas urbanas, é necessária a abertura de ruas e instalação de dutos para o escoamento de esgoto e de águas pluviais, bem como para a passagem de cabos subterrâneos. Essas obras, quase sempre, causam maior instabilidade às encostas, ou pelo menos o solo é bastante alterado, e vazamentos podem ocorrer, o que aumentará ainda mais sua instabilidade.

As encostas urbanas são, provavelmente, as formas de relevo mais alteradas nas cidades, principalmente em áreas que passem por um crescimento acelerado e desordenado. As respostas dadas pelo meio acontecem das formas mais variadas possíveis, sendo as mais nítidas aquelas em que são criadas cicatrizes de grandes movimentos de massa, resultantes da ocupação inadequada desses ambientes (GUERRA, 2011). A maior ou menor segurança das encostas está, principalmente, nas suas características intrínsecas, como formas, comprimento e também declividade, mas a ocupação e o uso da terra talvez sejam ainda mais críticos para a ocorrência de impactos ambientais do que as próprias características naturais das encostas, em especial em áreas urbanas. Há que se levar em conta também as propriedades químicas e físicas dos solos que compõem as encostas e o regime pluviométrico, porque o total das chuvas e sua distribuição são outro elemento natural que irá influenciar em sua dinâmica. A maior ou menor cobertura vegetal também pode interferir sobre seu equilíbrio natural.

Isso mostra que no estudo das encostas, de um modo geral, e no presente caso, nas encostas urbanas, há que levar em consideração toda a complexidade de fatores que podem interferir na sua compreensão, no sentido de podermos diagnosticar danos ocorridos nesses ambientes, mas também de prognosticá-los a fim de evitar a ocorrência dessa forma de impacto ambiental, que tantos prejuízos e tantas mortes têm causado nas áreas urbanas.

As encostas urbanas são talvez as mais afetadas, devido ao uso mais intensivo, se compararmos às encostas das áreas rurais. As transformações que o homem impõe às encostas situadas nas cidades as tornam cada vez mais susceptíveis de danos, de toda natureza, uma vez que, na maioria das vezes, não há um estudo prévio da sua susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa.

2.5

Mapeamento da susceptibilidade

Os acidentes geológicos urbanos associados aos escorregamentos são, dentre os acidentes ambientais, os que mais têm provocado mortes no Brasil (BRASIL, 2012b). Estes eventos podem provocar danos físicos com consequências sobre a vida humana e sobre bens privados, públicos e coletivos (prejuízos na infraestrutura urbana, equipamentos públicos e danos ao meio ambiente).

Embora as últimas décadas tenham assistido a um crescente avanço técnico e científico em relação à área de conhecimentos sobre riscos naturais, a terminologia usualmente empregada pelos profissionais que atuam com o tema ainda encontra algumas variações e divergências em sua definição. Termos como evento, acidente, desastre, perigo, ameaça, suscetibilidade, vulnerabilidade, risco ainda não encontraram definições unânimes. Haveria, então, a necessidade de uma terminologia unificada para que o zoneamento em qualquer área possa ser comparado de forma semelhante a zonas de áreas adjacentes para assegurar que passos importantes de avaliação sejam propriamente considerados e aplicados no gerenciamento de áreas propensas a escorregamentos.

Inúmeros autores destacam o que Marandola e Hogan (2004) denominam de “polissemia dos termos”. Sendo assim há a necessidade em se homogeneizar o entendimento das definições dos termos mais utilizados.

Dentre os termos mais utilizados no mapeamento das susceptibilidades a movimentos de massa, susceptibilidade, risco, desastre, ameaça, perigo e vulnerabilidade são os mais comuns e tentaremos defini-los de uma forma mais coerente com base na bibliografia existente sobre o assunto.

Os termos perigo (hazard) e risco (risk) são frequentemente utilizados como sinônimos. Perigo é um fenômeno natural que ocorre em épocas e região conhecidas que podem causar sérios danos nas áreas sob impacto. Enquanto que o risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um

determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo. Na imagem (Figura 4) a seguir, podemos ver a diferenciação entre perigo e risco.

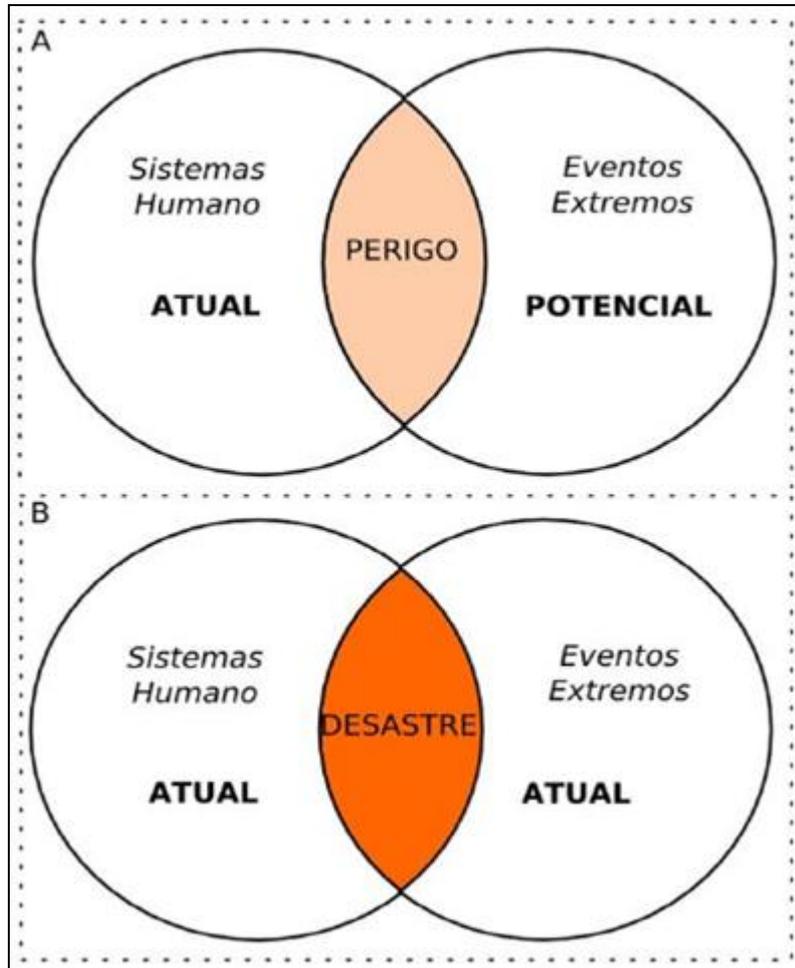


Figura 4: Relação entre Perigo e Desastre. Fonte Tobin e Montz (1997) - adaptado.

O risco (R) é uma condição latente ou potencial, e o seu grau depende da intensidade provável da ameaça (A) e dos níveis de vulnerabilidade (V) existente ($R = A \times V$). O termo *risco* indica a probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas ou bens materiais). É uma condição *potencial* de ocorrência de um acidente (BRASIL, 2006).

Segundo relatório da *International Strategy for Disaster Reduction (ISDR, 2007)*, o risco pode ser definido como a probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas previstas resultando das interações entre perigos naturais ou sociais e circunstâncias vulneráveis. O risco implica a proximidade de um dano ou adversidade o que pode afetar a vida dos homens, não existe risco sem que uma população ou indivíduo que o perceba e que poderia sofrer com seus efeitos

(VEYRET, 2007). Este autor ainda diz que o risco não pode ser evidenciado sem se avaliar o contexto histórico que os produziu, as relações com o espaço geográfico, os modos de uso e ocupação do solo e as relações sociais. Por reunir todos esses atributos, a cidade concentra um grande número de riscos, sobretudo em função da densidade da ocupação do solo, da natureza e da tipologia das construções, da existência de tipos de redes de água, eletricidade, esgoto.

Analisando os conceitos básicos relacionados aos riscos, Dagnino e Carpi Jr. (2007) ressaltam que independentemente das palavras utilizadas, o risco está sempre relacionado com algo que resulta da presença direta ou indireta do homem, ou seja, a vulnerabilidade. Na imagem (Figura 5) abaixo, podemos ver a dependência entre o nível de ameaça e o nível de vulnerabilidade.

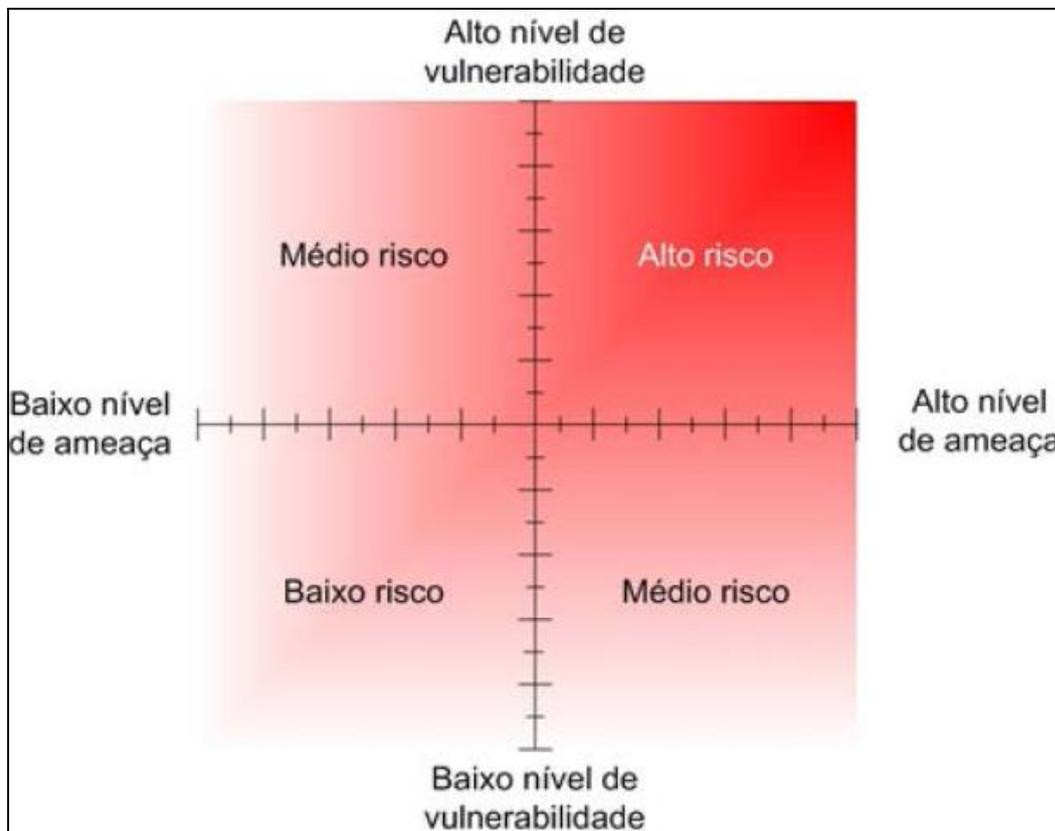


Figura 5: Relação entre níveis de ameaça e de vulnerabilidade na determinação de intensidade de risco. Fonte: Dagnino e Carpi Jr. (2007).

Os mapeamentos de risco necessitam que nestes sejam considerados tanto a probabilidade de ocorrência do evento adverso, quanto as consequências potenciais, sociais e/ou econômicas a eles associadas.

Já perigo é possibilidade de ocorrência de um determinado evento perigoso, com capacidade de causar algum tipo de dano ou prejuízo a uma população ou a um segmento da mesma (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivas e componentes do ambiente).

O IPT (2007) elaborou uma lista de conceitos pertinentes ao nosso estudo:

Tabela 1: Conceitos do IPT.

Evento	Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais.
Perigo	Condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo.
Susceptibilidade	Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência.
Vulnerabilidade	Grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo. Revela a fragilidade de um sistema.
Risco	Relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.

Área de risco	Área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos a integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).
----------------------	---

Os desastres naturais podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excede a capacidade dos afetados em conviver com o impacto (TOBIN & MONTZ, 1997).

Segundo Marcelino (2008), os desastres podem ser classificados quanto à origem:

- Naturais: são aqueles disparados pela intervenção direta de um fenômeno natural de grande intensidade. Exemplo: fortes chuvas – inundações e escorregamentos, fortes ventos – vendaval, tornado e furacão, etc.
- Humanos: são aqueles disparados pelas ações ou omissões humanas. Exemplo: acidentes de trânsito, incêndios industriais, contaminação de rios, rompimento de barragens.

A vulnerabilidade é a suscetibilidade dos elementos expostos a uma ameaça (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos e componentes do ambiente) de sofrerem danos e prejuízos caso ocorra o evento conforme prognosticado. Essa suscetibilidade está condicionada às características intrínsecas, conjunturais ou ambientais dos elementos expostos. A vulnerabilidade é o grau de perda potencial para um dado elemento ou grupo de elementos dentro da área afetada por um escorregamento. A vulnerabilidade, então, não pode ter um valor absoluto, dependendo do tipo e intensidade da ameaça (LAVELL, 2003).

A susceptibilidade aos escorregamentos é uma análise quantitativa ou qualitativa da classificação, área e distribuição espacial de escorregamentos que existem ou podem ocorrer em uma área. Embora seja esperado que os escorregamentos ocorram com mais frequência em áreas mais suscetíveis, na análise de susceptibilidade o período de tempo não é levado em conta.

A previsão de ocorrência de deslizamentos é uma tarefa complexa uma vez que muitos fatores exercem influencia na sua deflagração. Um dos objetivos do zoneamento da susceptibilidade a deslizamentos objetiva subdividir uma área de estudo em zonas de igual susceptibilidade, não funcionando, como instrumento de determinação da estabilidade de taludes individuais (GUERRA, 2006).

Dentre os tipos de mapeamentos existentes, primeiro mapa a ser elaborado é o mapa de inventário. Este mapa é a base para a elaboração da carta de susceptibilidade, suas características são a distribuição espacial dos eventos, o conteúdo (tipo, tamanho, forma e estado de atividade) e as informações de campo, fotos e imagens (BRASIL, 2007).

Com o mapa de inventario, pode-se iniciar a elaboração do mapa de susceptibilidade. Este é muito importante para a elaboração do planejamento do uso e ocupação, pois indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de risco, expressando a susceptibilidade segundo classes de probabilidade de ocorrência.

Segundo Guerra (2006), o modelo mais simples de zoneamento de susceptibilidade é um mapa inventário de deslizamentos que mostra os deslizamentos já ocorridos e os ainda ativos. A determinação da susceptibilidade em áreas sem ocorrência passada exige métodos mais criteriosos. De qualquer forma, o mapa inventário continua sendo um instrumento simples e bastante usual na previsão de deslizamento. Entre os diferentes métodos para se elaborar tais zoneamentos, incluem-se aqueles que se utilizam das facilidades oferecidas por SIGs e aqueles baseados em tratamentos estatísticos e qualitativos, onde a maior parte dos métodos de zoneamento propostos na literatura envolve a combinação e a integração de uma série de mapas temáticos com os fatores componentes dos deslizamentos.

As classes de susceptibilidade a movimentos de massa que caracterizam o mapa final podem ser apresentadas em cores com informações bem diretas:

- Áreas de baixa susceptibilidade (verde): são áreas muito pouco sujeitas a deslizamentos, onde nenhum movimento significativo foi detectado.
- Áreas de média susceptibilidade (amarelo): são áreas pouco suscetíveis a deslizamentos, um número razoável de movimentos anteriores ocorreu nestes locais.
- Áreas de alta susceptibilidade (vermelho): são áreas muito suscetíveis a deslizamentos. Correspondem a áreas críticas conhecidas, seja pela frequência de acidentes, seja pelo elevado número de obras de contenção executadas nas encostas.

Alguns autores utilizam a análise multicriterial como forma de tratamento de informações para os mapeamentos de susceptibilidade, devido à possibilidade de lidar com julgamentos de forma matemática, uma vez que problemas complexos que consideram dados qualitativos e quantitativos são divididos na forma de uma hierarquia de decisão, com base no grau de importância de um determinado atributo analisado, em relação a outro. Este mapeamento possibilita uma visão integrada das características e processos físicos atuantes na região

A avaliação da susceptibilidade de determinado local a processos erosivos e movimentos de massa está diretamente relacionada aos fatores condicionantes desses processos. Dessa forma, para se tratar os condicionantes é preciso definir alguns conceitos básicos como predisposição, componentes e atributos, conforme Tabela 2, a seguir.

Tabela 2: Termos e conceitos básicos do mapeamento de riscos.

Termo	Conceito
Predisposição	É a susceptibilidade natural a um determinado evento, devido à características intrínsecas (do meio físico).
Componentes	São características (fatores) do meio físico que o compõem e são definidos conforme as suas importâncias para uma determinada análise.
Atributos	São dos componentes que os quantificam e qualificam quanto a uma determinada análise.

Todos esses parâmetros podem ser cruzados facilmente em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) para obtenção do mapa final. Cada parâmetro é formado por um conjunto de dados de fontes diversas (banco de dados, medições em campo, imagens de satélites, questionários, etc.), que permitem identificar as características do ambiente e o contexto socioeconômico em que podem ocorrer os desastres (MARCELINO, 2008). Devido à grande complexidade de variáveis e tipos de dados, assim como a forma de mensuração, as avaliações de risco geralmente envolvem muita incerteza.

Segundo Oliveira (2011), para a análise de susceptibilidade a metodologia ora apresentada propõe, em um primeiro momento, após seleção da área e objetivos de pesquisa, o levantamento, organização e elaboração de documentação temática capaz de promover uma leitura da paisagem, exigindo, a organização cartográfica de dados quanto aos componentes inerentes ao estudo. A produção desse banco de dados georreferenciados na forma de mapas temáticos na mesma escala, subsidiará as análises de diagnóstico. O produto final resulta em um material analítico e de síntese, que dá suporte a um prognóstico ambiental e socioeconômico. A estabilidade ou vulnerabilidade é considerada segundo a análise do conjunto dos componentes naturais determinados nas avaliações das

unidades homogêneas, sendo sua resistência quantificada por graus que vão desde pouco susceptível a muito susceptível.

Tendo em vista a inegável importância dos processos de movimentos de massa, a avaliação das susceptibilidades ou riscos para ocorrência desses fenômenos é decisiva na gestão de terras agrícolas, nas obras de construção civil, no planejamento urbano e em empreendimentos que causam profunda alteração no meio.

2.6

Condicionantes dos movimentos de massa

Os deslizamentos ocorrem sob a influência de condicionantes naturais e antrópicos. As causas destes processos devem ser entendidas para evitar e controlar deslizamentos futuros. Dificilmente um deslizamento é associado a um único condicionante, sendo necessário observá-lo como o produto de uma cadeia de fatores que determinam sua deflagração. A identificação precisa dos elementos responsáveis dos deslizamentos e dos processos correlatos é fundamental para a adoção de medidas cabíveis, o que garante maior acerto do ponto de vista do planejamento (BRASIL, 2007).

Em relação aos condicionantes antrópicos, os principais agentes deflagradores de deslizamentos são a remoção da cobertura vegetal, a concentração de águas pluviais, o vazamento na rede de água e esgoto, a presença de fossas, a execução de modificações nas encostas, o lançamento de lixo nas encostas/taludes, a retirada do solo superficial expondo horizontes mais suscetíveis, deflagrando processos erosivos e o fluxo de água na massa do solo.

Já os condicionantes naturais podem ser separados em dois grupos, o dos agentes predisponentes e o dos agentes efetivos. Os agentes predisponentes seriam o conjunto das características pertencentes do meio físico natural, podendo ser diferenciados em complexo geológico-geomorfológico (comportamento das rochas, perfil e espessura do solo em função da maior ou menor resistência da rocha ao intemperismo), complexo hidrológico-climático (relacionado ao

intemperismo físico-químico e químico), com a gravidade e a vegetação natural também podendo estar inclusos nesta categoria. Já os agentes efetivos são elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa, sendo estes diferenciados em preparatórios (pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura e umidade, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e mares e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento) e imediatos (chuva intensa, vibrações, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem, etc.) (BRASIL, 2007).

Os condicionantes naturais podem, juntamente com o manejo inadequado (componente antrópico), acelerar a degradação. Chuvas concentradas, encostas desprotegidas de vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedológicas e declividade das encostas são algumas das condições que podem acelerar os processos erosivos.

Os principais atributos geológico-geotécnicos predisponentes aos movimentos de massa gravitacionais vêm sendo muito estudados por vários autores. E há um consenso geral entre eles de que os atributos são relativos à geomorfologia, à geologia, à hidrogeologia, ao uso e ocupação do solo, à vegetação, à declividade e à atividade antrópica.

A declividade das encostas é importante e tem um papel relevante no equilíbrio das encostas sendo um dos fatores da erosão potencial e dos movimentos de massa. Bigarella (1978) ressaltou que desmoronamentos rápidos são passíveis de ocorrer em vertentes muito íngremes e com solos pouco espessos e saturados, mesmo sob a floresta, quando é registrada grande intensidade de precipitação. Cruz (1975), ao estudar os deslizamentos ocorridos, durante as fortes chuvas de março de 1967, na Serra do Mar, Caraguatatuba, São Paulo, constatou que os mesmos tiveram origem a partir de declives acima de 20% (~12°).

Ao mesmo tempo em que a forma das encostas influi sobre os processos atuantes, esses também podem, gradativamente, mudar essas formas e concluiu que aqueles de maior erodibilidade situavam-se em encostas inferiores a 30° (GUERRA, 2009). Nos solos situados em encostas com maiores declividades

formam-se menos crostas e, conseqüentemente, a água se infiltra com maior facilidade, havendo menor escoamento superficial.

Guariguata (1990) verificou que os movimentos de massa ocorrem independentemente da inclinação, porém em 70% dos casos analisados a declividade média variou entre 30° e 40°. Atestando para a importância de declividade para o desencadeamento de movimentos de massa.

As informações pedológicas são relevantes nos estudos sobre a estabilidade das encostas visto que a presença destes blocos, de fraturas e falhas constituem em importantes descontinuidades mecânicas e hidrológicas.

De acordo com a literatura, os latossolos são solos que apresentam horizontes Bw caracterizados pelo avançado estágio de intemperização, bastante porosos e permeáveis, com textura que varia de média a muito argilosa. Sendo, de um modo geral, solos que por apresentarem boa permeabilidade e baixa relação textural B/A (pouca diferenciação de argila entre os horizontes A e B) e apresentando susceptibilidade reduzida à erosão (EMBRAPA, 2006).

Os argissolos são solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial (EMBRAPA, 2006). Esta condição se apresenta como importante descontinuidade hidráulica no perfil de solo, o que diminui sua permeabilidade favorecendo a formação de fluxos subsuperficiais na zona de conta entre eles. Estes solos, apesar de apresentarem características de agregação e boa estruturação (horizonte Bt em blocos angulares ou subangulares), possuem certa susceptibilidade aos processos erosivos.

Os neossolos compreendem solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica, ou por influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou

tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (EMBRAPA, 2006). Estão localizados próximos aos canais fluviais e podem sofrer inundações durante eventos de precipitação excepcionais. Este tipo de solo representa uma parte ínfima da área de estudo, possivelmente só estando na área de estudo em função de algum deslocamento cartográfico.

Quando se analisa o atual sistema de classificação observa-se que não está prevista uma classe para solos localizados em áreas urbanas. Nos mapas pedológicos o sítio urbano das cidades está assinalado como macha urbana. Nestas áreas não existe a informação sobre as classes de solo onde está assentada a área urbana (OLIVEIRA et al, 1999). Segundo Silva (2011) a dificuldade em se realizarem observações em áreas urbanas é muito grande, pois nem sempre existem obras que promovam a retirada da camada de asfalto e concreto que recobre os solos. Em teoria, nas áreas urbanas, os fatores e processos permanecem os mesmos, porém a completa impermeabilização dos solos, bem como a remoção de parte dos horizontes impedem que seja aplicado o atual sistema de classificação em áreas urbanas.

Segundo Mello (2011), embora a frequência de ocorrência de movimentos de massa esteja fortemente associada aos eventos pluviométricos, a susceptibilidade aumenta diretamente com a cobertura do solo. A retirada da cobertura vegetal produz alterações muito drásticas no ciclo hidrológico, capazes de provocar grandes danos nas áreas urbanas. Quando a ocupação é de forma desordenada a degradação dos solos tende a ser maior.

A cobertura vegetal é um fator que oferece segurança nas encostas. Muitas vezes processos erosivos podem ser contidos ou amenizados se a cobertura vegetal for suficientemente densa para tal. A vegetação diminui o impacto direto causado pela gota de chuva no solo, diminuindo o grau de saturação do mesmo e, em muitos casos, diminui o nível freático local.

A importância das condições da floresta associada à sustentabilidade do ecossistema é tema de diferentes autores que ressaltam a importância do papel que ela desempenha em relação à resistência aos eventos erosivos. Oliveira et al (1997) contabilizou as cicatrizes após os eventos pluviométricos de 1996, dos quais 43,2% ocorreram em áreas sob domínio de gramíneas; 42,3% sob domínio

de áreas de matas degradadas; 1,9% em vegetação secundária tardia e 2,8% em matas conservadas. Computou-se ainda o total de solos expostos em decorrência do fenômeno, resultando em 20ha de gramíneas, 39ha em mata degradada, 13ha em matas secundárias tardias, e 0,8ha nas áreas de mata conservada.

De acordo com Guerra (2011), é possível perceber que a vegetação tem efeitos mecânicos na estabilidade de taludes que são muito positivos, exceção feita ao peso da vegetação e ao efeito alavanca que é transferido ao solo por ação de ventos de elevada intensidade a partir das copas. Além dos efeitos mecânicos, a vegetação possuiu efeitos hidrológicos que, assim como no caso dos efeitos mecânicos, podem ser positivos ou negativos para a estabilidade das encostas.

Assentamentos precários ou subnormais são ocupações habitadas por famílias de baixa renda, nas quais a maioria dos serviços públicos essenciais é inexistente. Em geral se instalam em áreas públicas não ocupadas, áreas de proteção ambiental ou de preservação permanente. É comum receberem a denominação de favelas ou assentamentos populares, especialmente quando as moradias são construídas por meio da utilização de materiais improvisados. Adiciona-se a este quadro o frequente e contínuo lançamento de lixo, entulho e de águas servidas diretamente na superfície dos terrenos, bem como a instalação de fossas, com estas duas últimas práticas favorecendo a permanente infiltração de água nos maciços. Em complemento, ainda é comum observar a instalação de edificações muito próximas à base ou ao topo de taludes íngremes (naturais ou de corte), em áreas que deveriam ser preservadas de ocupação permanente.

O quadro abaixo mostra um conjunto de condicionantes para a ocorrência de escorregamentos (BRASIL, 2006):

Quadro 1: Conjunto de condicionantes para a ocorrência de escorregamentos (BRASIL, 2006)

Condicionantes naturais	Condicionantes antrópicos
Características dos solos e rochas	Adensamento da ocupação
Relevo (inclinação, forma e amplitude da encosta)	Cortes e aterros
Vegetação	Desmatamento/cultivo inadequado
Clima	Lançamento de lixo e entulho
Nível d'água	Vazamentos de tubulação/lançamento de águas servidas na superfície/fossas sanitárias

Segundo o trabalho de Oliveira (2006), na cidade de Ipatinga-MG, o qual delimitou as áreas susceptíveis a movimentos de massa do entorno urbano da cidade de Ipatinga (MG), foram utilizados os seguintes parâmetros: declividade, distâncias das fraturas geológicas, pedologia, geologia, uso e ocupação do solo e distâncias dos cursos d'água. A seguir seguem as tabelas utilizadas pelo autor com os valores de cada classe dos componentes:

Tabela 3: Tabela de declividades utilizada por Oliveira (2006)

Declividade (%)	Classes	Valor
0-15	Baixo	1
15-30	Médio	2
30-45	Alto	3
> 45	Muito alto	4

Tabela 4: Tabela de distância das fraturas utilizada por Oliveira (2006)

Distância - fraturas (m)	Classes	Valor
> 400	Baixo	1
200-400	Médio	2
100-200	Alto	3
0-100	Muito alto	4

Tabela 5: Tabela de tipos de solo utilizada por Oliveira (2006)

Tipos de solo	Classes	Valor
Latossolo Vermelho-Amarelo	Baixo	1
Latossolo Vermelho-Amarelo +Cambissolo	Médio	2
Argissolo+Cambissolo	Médio	2
Cambissolo	Alto	3
Neossolo	Muito alto	4

Tabela 6: Tabela de dados geológicos utilizada por Oliveira (2006)

Geologia	Classes	Valor
Granitos	Baixo	1
Plutano Vulcan sedimentar gnáissico	Médio	2
Micaxistos	Alto	3
Aluvião	Muito alto	4

Tabela 7: Tabela de uso e ocupação do solo utilizada por Oliveira (2006)

Uso e ocupação	Classes	Valor
Mata	Baixo	1
Áreas verdes	Baixo	1
Áreas urbanas	Médio	2
Vazios urbanos	Médio	2
Pastagem	Médio	2
Capoeira	Médio	2
Culturas anuais	Alto	3
Solo exposto	Muito alto	4
Favelas*	Muito alto	4

Tabela 8: Tabela da distância dos cursos d'água utilizada por Oliveira (2006)

Distância – cursos d'água (m)	Classes	Valor
> 100	Baixo	1
0-100	Muito alto	1

Neste trabalho (OLIVEIRA, 2006) as favelas foram incorporadas ao condicionante 'uso e ocupação' e valoradas como áreas de muito alto risco, por ocuparem, principalmente, áreas de declividades elevadas sem planejamento adequado, resultando em baixa infraestrutura do local. Deste modo, elas seriam focos frequentes de movimentos de massa.

Ainda neste estudo (OLIVEIRA, 2006), a distribuição dos pesos entre os componentes se deu da seguinte forma:

Tabela 9: Tabela dos pesos dos componentes utilizada por Oliveira (2006)

Componente	Peso
Solos	0,25
Geologia	0,20
Uso e ocupação do solo	0,20
Declividade	0,25
Fraturas	0,05
Hidrologia	0,10
TOTAL	1,00

KAWAKUBO et al. (2005), gera pesos para as classes de 3 componentes: declividade, solos e uso e cobertura do solo. Estes valores são apresentados nas tabelas 10 a 12.

Tabela 10: Classes de fragilidades das declividades (KAWAKUBO et al., 2006)

Fragilidade	Classe (%)	Peso
Muito fraca	< 6	1
Fraca	6-12	2
Média	12-20	3
Forte	20-30	4
Muito forte	> 30	5

Tabela 11: Classes de fragilidades dos solos (KAWAKUBO et al., 2006)

Fragilidade	Classes	Pesos
Muito fraca	Latossolo Vermelho Amarelo	1
Média	Argissolo Vermelho Amarelo / Latossolo Vermelho Amarelo	3
Forte	Argissolo Vermelho Amarelo	4
Forte	Argissolo Vermelho Amarelo / Cambissolo	4
Forte	Cambissolo / Argissolo Vermelho Amarelo	4
Muito forte	Hidromórficos	5
Muito forte	Neossolos / Cambissolos	5

Tabela 12: Classes de fragilidades do uso e cobertura vegetal (KAWAKUBO et al., 2006)

Proteção	Classes	Pesos
Muito alta	Mata	1
Alta	Capim/pasto	2
Muito alta	Urbano 1	1
Alta	Urbano 2	3
Baixa	Urbano 3	4

No estudo de Werneck & Silva (2010), realizado em Macaé-RJ, foram gerados pesos entre os componentes: declividade, uso da terra, solos, geomorfologia e geologia. A tabela a seguir mostra estes pesos:

Tabela 13: Componentes utilizados por Werneck & Silva (2010),

Componentes	Peso
Declividade	0,4858
Uso da terra	0,2301
Solos	0,1512
Geomorfologia	0,0873
Geologia	0,0452

Ross (1993) hierarquiza classes de declividade, a fragilidade dos solos e os graus de proteção dos tipos de cobertura vegetal. Estes 3 componentes podem ser vistos – respectivamente – nas tabelas a seguir:

Tabela 14: Categorias Hierárquicas de declividade (ROSS, 1993)

Classes de Fragilidade	Declividade
Muito fraca	< 6% (3,8°)
Fraca	6% - 12% (3,8° - 6,8°)
Média	12% - 20% (6,8° - 11,3°)
Forte	20% - 30% (11,3° - 16,6°)
Muito forte	> 30% (> 30°)

Tabela 15: Classificação dos tipos de solo (ROSS, 1993)

Classes de Fragilidade	Tipos de Solos
Muito baixa	Latossolo roxo, latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo textura argilosa
Baixa	Latossolo amarelo e Vermelho amarelo textura media/argilosa
Média	Latossolo Vermelho-amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo
Forte	Podzólico Vermelho-amarelo textura media/arenosa, Cambissolos
Muito forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas

Tabela 16: Classificação dos tipos de cobertura vegetal (ROSS, 1993)

Graus de proteção	Tipos de cobertura vegetal
Muito alta	Florestas/matias naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, Cerrado Denso, Capoeira Densa), Mata Homogênea de Pinus densa, Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo.
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade,

	culturas de ciclo curto com cultivo em curvas de nível.
Muito baixa a bula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Xavier da Silva (2001) delimita os parâmetros que influenciam nos movimentos de massa e seus respectivos pesos:

- Geomorfologia – 30%
- Pedologia – 25%
- Declividade – 20%
- Uso e ocupação do solo/cobertura vegetal – 15%
- Proximidades – 10%

A partir destes pesos, as classes de risco, ainda segundo Xavier da Silva (2001), seriam divididas conforme as notas: 0 a 2; 3 e 4; 5 e 6; 7; 8 a 10.

Os componentes foram definidos a partir dos dados disponíveis. O peso entre os componentes e entre as classes foram definidos com base na literatura e nas assinaturas ambientais⁶.

No Brasil, a precipitação pluviométrica é reconhecida como o principal agente deflagrador dos processos de erosão e movimentos de massa, mas os efeitos observados estão fortemente ligados às características físicas do meio e à associação dessas características físicas e de uso do solo. Uma vez que diversos elementos intervêm nesses processos, para a identificação de áreas suscetíveis deve-se dispor de alternativas para combiná-los de forma coerente.

⁶ Cicatrizes mapeadas em 2010, por Mello (2011)

Entender exatamente qual o tipo de processo que pode ocorrer num determinado local é fundamental para avaliar o perigo, ou seja, o que pode ocorrer, em que condições e com que probabilidade.

A partir de todos estes estudos, neste trabalho, os componentes para o mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa foram a geologia, a pedologia, a declividade, a orientação das encostas, cobertura do solo. Sua distribuição dos pesos delimitados está na metodologia – capítulo 3.

2.7

Movimentos de Massa

Pode-se afirmar que os movimentos de massa são fenômenos naturais da dinâmica externa que modelam a paisagem da superfície terrestre (FERNANDES & AMARAL, 1996). Entretanto, os movimentos de massa causam notoriedade pelos elevados prejuízos à sociedade, estes processos têm um impacto direto no uso da terra e podem, em casos extremos, constituir riscos à vida humana e às construções.

A região do Sudeste do Brasil está sujeita aos desastres associados a movimentos de massa, em função de suas condições climáticas e geográficas específicas. Além da frequência elevada dos movimentos de origem natural relacionados às encostas íngremes e ao grande volume de precipitação, muitos movimentos de massa também estão associados à ação do homem.

O gerenciamento do uso do solo requer o conhecimento, análise e controle dos fenômenos de movimentos de massa, que é consequência do comportamento dos materiais constituintes das encostas.

Todo o trabalho de Avaliação e Gerenciamento de Risco em encostas é precedido da tarefa de caracterização do fenômeno objeto do caso estudado, situando o fenômeno dentro de uma classificação com terminologia de consenso, que permite a troca de informações e o estabelecimento de soluções de intervenção que podem ser empregadas.

Petley (1984) descreve os principais objetivos do estudo dos movimentos de massa:

- Compreender o desenvolvimento das encostas naturais e os processos que têm contribuído para a formação das diferentes feições naturais;
- Tornar possível a estabilidade das várias encostas sob diferentes condições;
- Poder estabelecer o risco de deslizamento ou outras formas de movimentos de massa, envolvendo encostas naturais e artificiais;
- Facilitar a recuperação de encostas que sofreram movimentos de massa, bem como o planejamento, mediante medidas preventivas, para que tais processos não sejam recorrentes;
- Analisar os vários tipos de movimentos de massa que tenham ocorrido numa encosta e definir as causas desses processos.

Existe na literatura uma grande variedade de definições de movimentos de massa. Há, então, a necessidade de mostrarmos algumas destas definições a fim de facilitar o entendimento destes processos.

Segundo Rodrigues (2002), os movimentos de massa gravitacionais são os movimentos induzidos pela aceleração gravitacional, exceto aquele nos quais o material é carregado diretamente por meio de agente transportador (água, gelo, neve, ar). Ainda de acordo com este autor, as classificações dos movimentos de massa são fundamentadas em características da geometria, dinâmica das superfícies, tipos de materiais, velocidade do movimento e morfologia dos processos.

A variedade de fatores que influenciam no processo de movimentos de massa gravitacionais resulta numa variedade de tipos e processos que impossibilitam uma total discretização de tipos na classificação.

Dentre inúmeras classificações e terminologias relacionadas aos movimentos de massa, Fernandes e Amaral (2000) abordam este tema, classificando os movimentos de massa em:

- Corridas (flows): são movimentos rápidos, onde os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos. Elas são associadas com a grande concentração de água superficial.
- Escorregamentos: caracterizam-se como movimentos rápidos de curta duração, com planos de ruptura bem definidos. São feições longas, podendo apresentar uma relação comprimento-largura de 10:1.
 - Rotacionais (slumps): possuem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá o movimento rotacional de massa do solo.
 - Translacionais: representam a forma mais frequente entre os tipos de movimentos de massa, possuindo superfície de ruptura com forma planar, a qual acompanha, de modo geral, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existente(s) no interior do material.
 - Queda de blocos (rock falls): são movimentos rápidos de blocos e/ou lascas de rocha que caem pela ação da gravidade, sem a presença de uma superfície de deslizamento, na forma de queda livre.
- Creep: geralmente é separado dos outros tipos de movimentos de massa, devido à grande área transversal e longitudinal que ele ocupa numa encosta, a pequena velocidade do movimento e porque o creep sazonal depende muito mais das variações climáticas ao longo do ano do que da gravidade.

A tabela 17 exemplifica a variedade de definições que existem acerca dos movimentos de massa:

Tabela 17: Classificação dos tipos de movimentos de massa segundo diversos autores.

IPT (2001)	Rastejos
	Corridas
	Escorregamentos
	Quedas/Tombamentos
Varnes (1978)	Tipo de Movimento (rotacional/translacional)
	Tipo de material
WP/WLI	Quedas
	Escorregamentos
	Corridas
	Tombamentos
	Espraiamentos
Selby (1993)	Tipo de material
	Velocidade
	Modo de deformação
	Geometria da massa
	Conteúdo de água
Fernandes e Amaral (2000)	Rotacionais
	Translacionais
	Queda de blocos
	Creep

Os movimentos de massa compõem o grupo de desastres naturais relacionados com a geomorfologia, o intemperismo, a erosão e a acomodação do solo. Dentre as formas de movimentos de massa, os escorregamentos, também denominados deslizamentos, são os mais importantes desta classificação, haja vista ser o mais recorrente dentre os tipos apresentados. São provocados pelo escorregamento de materiais sólidos (solo, vegetação, etc.) ao longo de terrenos inclinados, tais como encostas, pendentes ou escarpas. Caracterizam-se por movimentos gravitacionais rápidos, cuja superfície de ruptura é bem definida por limites laterais e profundos. No momento em que a força gravitacional vence o atrito interno das partículas, responsável pela estabilidade, a massa de solo movimenta-se encosta abaixo.

Esses movimentos gravitacionais de massa relacionam-se com a infiltração de água e a saturação do solo das encostas, o que provoca a diminuição ou perda total do atrito entre as partículas. Por este motivo, no Brasil, os escorregamentos são nitidamente sazonais e guardam efetiva relação com os períodos de chuvas intensas e concentradas (CASTRO, 2003). Os escorregamentos se caracterizam por movimentos rápidos, de curta duração, com plano de ruptura bem definido, permitindo a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado.

Dentre os diferentes tipos de movimentos de massa, os deslizamentos se destacam por sua interferência em atividades humanas, escala de magnitude, complexidade de causas e mecanismos envolvidos justifica sua importância como objeto maior do estudo. Cada tipo de processo apresenta características particulares em termos dos tipos dos materiais mobilizados (solo e/ou rocha), suas velocidades relativas, tipo de movimento predominante (translacional, rotacional), geometria das rupturas (planar, circular), condicionantes naturais e antrópicos, agentes deflagradores, etc. (BRASIL, 2006).

Os escorregamentos são normalmente divididos com base na forma do plano de ruptura e no tipo de material em movimento, quanto à forma do plano de ruptura, os escorregamentos subdividem-se em planares ou translacionais, os circulares ou rotacionais, em cunha e os induzidos. A geometria destes movimentos varia em função da existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionem a formação das superfícies de ruptura (BRASIL, 2007):

- Os deslizamentos planares ou translacionais em solo são processos muito frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades. Sua geometria caracteriza-se por uma pequena espessura e forma retangular estreita (comprimentos bem superiores as larguras).
- Os deslizamentos circulares ou rotacionais possuem superfícies de deslizamento curvas, sendo comum a ocorrência de uma serie de rupturas combinadas e sucessivas. Estão associadas a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente

fraturadas. Possuem um raio de alcance relativamente menor que os deslizamentos translacionais.

- Os deslizamentos em cunha estão associados à saprolitos e maciços rochosos, onde a existência de dois planos de fraqueza desfavorável à estabilidade condiciona o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos. Estes processos são mais comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosão ou deslizamentos pretéritos.
- Os deslizamentos induzidos, ou causados pela ação antrópica, são aqueles cuja deflagração é causada pela execução de cortes e aterros inadequados, pela concentração de águas pluviais e servidas, pela retirada da vegetação, etc. Muitas vezes, estes deslizamentos induzidos mobilizam materiais produzidos pela própria ocupação, envolvendo massas de solo de dimensões variadas, lixo e entulho. O depósito de lixo, especialmente nos grandes centros urbanos, pode ser considerado como uma unidade geológica do Quaternário (OLIVEIRA, 1995) possuindo comportamento geomecânico bem definido e estando normalmente associado ao alto risco de acidentes.

Durante os períodos de chuvas prolongadas (em geral superiores a três dias), é comum o registro de escorregamentos planares de solo em encostas de áreas urbanas, principalmente em locais de “aterros lançados” e em cortes de pequena altura muito inclinados. “Aterros lançados” e cortes são executados em áreas inclinadas, para produzir patamares sobre os quais são construídas as moradias (BRASIL, 2006). A denominação “aterro lançado” é adotada porque os materiais utilizados em sua execução não são compactados, sendo lançados pela encosta muitas vezes sem limpeza da superfície dos terrenos, ou seja, sem critérios técnicos adequados. É muito comum que estes “aterros” apresentem composição heterogênea, sendo constituídos, além do solo, por lixo e entulho de construção. Também podem ser executados sobre antigos bota-foras. Deste modo, acabam por apresentar alta porosidade e elevada permeabilidade, fatores que acentuam seu potencial de instabilidade.

Augusto Filho (1992) no que se refere aos escorregamentos caracteriza-os como:

- Poucos planos de deslocamentos
- Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)
- Pequenos a grandes volumes de material transportado
- Variação da geometria e dos materiais em:
 - Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza.
 - Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas
 - Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza

Os escorregamentos podem ser induzidos pelas atividades do homem que modificam as condições naturais do relevo, por meio de cortes para construção de moradias, aterros, lançamento concentrado de águas sobre as vertentes, estradas e outras obras. Por isso, a ocorrência de deslizamentos resulta da ocupação inadequada, sendo, portanto, mais comum em zonas com ocupações precárias de baixa renda.

As corridas de massa, embora mais lentas que os escorregamentos, desenvolvem-se de forma implacável, atingindo áreas e provocando danos extremamente intensos. Estes movimentos têm grande capacidade de transporte, mesmo em áreas planas, pois são gerados a partir de um grande aporte de material de drenagem, sobre terrenos pouco consolidados, que, ao ser misturado com grandes volumes de água infiltrada, forma uma massa semifluida, que adquire um alto poder de destruição (CASTRO, 2003). Conforme Kobiyama et al. (2006), dependendo da viscosidade e do tipo de material, podem receber outros nomes como fluxos de terra (earthflows), fluxos de lama (mudflows) e fluxo de detrito (debrisflows).

Ainda de acordo com Castro (2003) os rastejos são caracterizados como movimentos de massa lentos, porém contínuos. O processo não apresenta superfície de ruptura bem definida e os limites entre a massa em movimento e o terreno estável é transicional. Podem preceder movimentos mais rápidos, como os escorregamentos. Embora lentos, os rastejos podem ser facilmente identificados, por exemplo, pela mudança na verticalidade das árvores e postes (AUGUSTO FILHO, 1994).

Já as quedas e os rolamentos de rochas caracterizam-se por movimentos extremamente rápidos de blocos ou fragmentos em queda livre, em planos de cisalhamento ou clivagem, enquanto que os rolamentos de matacões são provocados por processo erosivos que removem os apoios das bases (CASTRO, 2003). Neste fenômeno, a maior preocupação é com a trajetória dos blocos, ou seja, durante a queda e o rolamento (AUGUSTO FILHO, 1994). Os rolamentos chegam a atingir grandes distâncias, as quedas de blocos colocam em risco as edificações instaladas próximas às áreas de exposição da rocha. Em geral, os rolamentos são devidos à erosão do solo junto às bases dos blocos ou matacões, o que provoca seu “descolamento”, enquanto as quedas de bloco de rocha são frequentemente associadas a chuvas intensas de curta duração (BRASIL, 2006).

Nesse sentido, os movimentos de massa são aqui caracterizados como o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água. Os movimentos de massa são fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície terrestre, situando-se abaixo apenas dos prejuízos causados por terremotos e inundações no elenco dos desastres naturais que afetam a humanidade (FERNANDES & AMARAL, 2000).

Os movimentos de massa são mecanismos de extrema importância na dinâmica da paisagem e são resultantes da atuação de processos geomorfológicos nas mais diversas escalas temporais. Esses movimentos de massa geram cicatrizes na paisagem. Essas cicatrizes erosivas funcionam como clareiras, das mais diferentes formas, que exercem importante função no processo de sucessão da floresta. Apesar dos danos causados pelos movimentos de massa, estes fenômenos são um processo natural que faz parte da evolução da paisagem, sendo o mais importante processo geomorfológico modelador da superfície terrestre (BIGARELLA et al., 1996)

O Brasil, por suas condições climáticas e grandes extensões de maciços montanhosos, está sujeito aos desastres associados aos movimentos de massa nas encostas. Além da frequência elevada daqueles de origem natural, ocorre no país, também, um grande número de acidentes induzidos pela ação antrópica. As metrópoles brasileiras convivem com acentuada incidência de deslizamentos

induzidos por cortes para implantação de moradias e de estradas, desmatamentos, atividades de pedreiras, disposição final de lixo e das águas servidas, com grandes danos associados.

Além dos aspectos fisiográficos, as áreas atingidas sofrem também grande influência das alterações do homem no meio, principalmente nas áreas urbanas. Nessas áreas, os movimentos gravitacionais de massa ocorrem com relativa frequência em áreas de encostas desestabilizadas por ações antrópicas, provocando graves desastres súbitos. Assim, os desastres relativos a movimentos de massa têm componentes de múltiplas raízes (naturais e antrópicos) e assumem características de evolução aguda (CASTRO, 2003).

A identificação da tipologia é de fundamental importância para o entendimento das causas dos fenômenos ocorridos (CEPED UFSC, 2009). Assim, conhecendo-se as causas, procura-se alcançar, por meio do entendimento dos processos envolvidos, quando, onde e quais são seus mecanismos, permitindo a predição da suscetibilidade (VARNES, 1978). Na região tropical úmida brasileira, a ocorrência dos escorregamentos está associada à estação das chuvas, principalmente às chuvas intensas durante a estação chuvosa, que no Rio de Janeiro corresponde aos meses de verão.

Nesta dissertação serão considerados movimentos de massa as feições que se caracterizam como movimentos rápidos, de curta duração, com plano de ruptura bem definido, permitindo a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado.

3

Metodologia

Técnicas de integração, manipulação e análise espacial de dados foram utilizadas neste trabalho, visando o mapeamento da suscetibilidade aos escorregamentos do maciço da Tijuca, tendo como base planos de informações descritivos, criados a partir da análise qualitativa de socioambientais. O plano de trabalho adotado foi baseado em geoprocessamento como ferramenta para integrar e analisar as informações produzidas.

Foi realizado o levantamento de dados de ordem física para o reconhecimento da área de estudo, os *layers* de cruzamento de dados foram produzidos com o apoio do Geoprocessamento, com o auxílio de ferramentas específicas, utilizando para tanto o *software ArcGIS 9.3*. Além da plataforma ArcGIS, outros softwares utilizados nesta dissertação foram: ENVI 4.5 e Global Mapper 11.

O cruzamento de dados (*overlay mapping*) constitui uma das ferramentas mais vantajosas dos Sistemas de Informações Geográficas por fornecer a sobreposição da informação em um arquivo agrupado. As análises espaciais realizadas utilizaram o módulo *Raster Calculator* do ArcGIS 9.3 como sistema de apoio à tomada de decisão, usando critérios múltiplos para categorizar as áreas de suscetibilidade para a área de estudo. Este modelo foi utilizado para avaliar e agregar os critérios oriundos das informações existentes ou geradas.

Para o mapeamento da suscetibilidade aos movimentos de massa foram escolhidos cinco condicionantes, a saber: geologia, pedologia, cobertura do solo, declividade e orientação das encostas. Estes dados foram gerados a partir da isolinhas com cota de 5 metros do município do Rio de Janeiro; polígonos de geologia e pedologia, todos em formato *shapefile*, em Datum SAD-69 obtidos no NIMA (Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente) da PUC/Rio. Dos três dados, os polígonos de geologia e de pedologia foram utilizados de acordo com sua classificação original. Estes foram “recortados” com a ferramenta *CLIP* do ArcGIS de acordo com a delimitação da área do maciço (cota de 40m). Já as

isolinhas utilizadas para gerar um modelo digital de elevação, a partir deste produto foram gerados os modelos de declividade e de orientação das encostas.

Os produtos finais estão em datum SAD69, e em sistema de coordenadas geográficas. Apesar da maior parte dos dados possibilitarem o estudo em escala de 1:5.000, a escala de trabalho final foi de 1:10.000 em função da menor escala entre os dados utilizados. A fim de se poder aplicar uma metodologia cartograficamente correta, optou-se por utilizar a menor escala entre os componentes escolhidos para o estudo.

A cobertura do solo foi gerada a partir de interpretação da imagem do satélite GeoEye-1 multiespectral de 2009 nas bandas vermelho, verde e azul no software ArcGIS 9.3. Após a composição das bandas através do software ENVI 4.5, a composição das bandas foi exportada já em 8 bits (as imagens originais possuíam 11 bits) e reprojetaadas para o datum SAD-69 (South American Datum 1969; originalmente estavam em WGS-84). Após a reprojeção, foram registradas usando a malha urbana do IPP (Instituto Pereira Passos - Prefeitura do Rio de Janeiro), obtido em escala 1:2.000. Utilizando novamente o ArcGIS para o registro a fim de gerar um mosaico de imagens de alta definição com boa precisão geométrica e sua aplicabilidade em grandes escalas (1:2.000).

Originalmente, as imagens do satélite GeoEye-1 possuem CE-90 de 5m em terreno plano – o que significa que estas imagens possuem um erro de posicionamento, em média, inferior a 5m. Isso implica que seu uso em cartografia seria adequado apenas em escalas menores ou iguais a 1:10.000, mesmo com sua resolução espacial de 0,5m que, em função desta resolução, permitiria seu uso em escalas menores ou iguais a 1:2.500. A seguir é possível verificar a diferença posicional antes e depois da ação de registro das imagens (Figuras 6 e 7)



Figura 6: Captura de tela da imagem pré-registro, com deslocamento aproximado de 57m em relação à malha urbana.



Figura 7: Captura de tela da imagem pós-registro.

Com o registro destas imagens utilizando a malha urbana do município do Rio de Janeiro, em escala 1:2.000 – com precisão cartográfica de 0,4m – possibilitou-se a geração de um mosaico nesta escala para a geração da cobertura do solo.

Após o tratamento das imagens, elas serviram para a extração da camada de informação de cobertura do solo, com as seguintes classes: área urbana, afloramento rochoso, área florestada, gramínea, corpos d'água e solo exposto. Este mapeamento realizado de forma manual, com as classes divididas de forma

bastante genérica em função da impossibilidade de trabalhos de campo para a validação de uma possível classificação de uso e cobertura do solo mais precisa.

Em relação aos elementos considerados para a atribuição às classes de geologia e de pedologia, estes estão relacionados à história da evolução do ambiente geológico onde está inserido o município do Rio de Janeiro, permitindo assim, entender sua origem e sua tendência futura.

Tanto as informações de Geologia quanto de Pedologia, vieram a partir do mapeamento detalhado do município do Rio de Janeiro realizado pela plataforma PEDOGEO. Esta é um sistema que contém informações geológicas, geotécnicas e pedológicas criado com apoio da FAPERJ e elaborada no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Este sistema apresenta o mapeamento das classes de solo presentes no município do Rio de Janeiro.

Já a declividade e orientação das encostas foram extraídas a partir do modelo digital de elevação (MDE) oriundo das curvas de nível de 5m.

Nos últimos anos, diversos algoritmos têm sido implementados em módulos específicos dos sistemas de informações geográficas com a finalidade de automatizar a extração de características morfológicas da superfície terrestre, a partir dos modelos digitais de elevação. As vantagens da automação em relação aos procedimentos manuais são a maior eficiência e confiabilidade dos processos, a reprodutibilidade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais.

A partir da manipulação da base cartográfica em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica foi possível o reconhecimento da distribuição da hipsometria, da declividade e orientação do relevo na área em estudo. As curvas de nível da base cartográfica com intervalos de 5 metros foram úteis para a elaboração do MDT – Modelo Digital do Terreno, que utiliza grade triangular irregular (TIN) para interpolação de curvas de nível. O resultado deste foi a extração do TIN (*Triangulated Irregular Network*) através da ferramenta *3D Analyst*, do ArcGIS. Com a opção *soft edge* para realizar CLIP ainda no desenvolvimento deste produto realizado com o polígono delimitado a partir da cota 40m. Em seguida, o MDT gerado necessita ser transformado em arquivo do

tipo “raster” ou “grid” com dimensão de “pixel” de 1m. O arquivo “raster” é utilizado para a geração da distribuição da hipsometria e das declividades da área. Utilizando conjuntamente os dados hipsométricos e de declividade é elaborado o plano de informação relativo à orientação do relevo na área em estudo.

A definição das classes deveu-se, principalmente, à necessidade de diferenciar aquelas declividades onde as relações com a incidência de movimentos de massa apresentasse alguma significância.

A classificação do *layer* da declividade do terreno é indispensável nos levantamentos de vulnerabilidade ambiental, e constituem elementos importantes no levantamento de sua potencialidade de utilização. Sendo assim, a declividade foi considerada uma variável reveladora de aptidões e limitações de uso das terras nos municípios. O fator declividade considerado para avaliação da maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais, deve sempre estar associado aos outros atributos existentes na área.

O mapa de declividades, obtido a partir do TIN, foi subdividida em quatro classes 0 a 15°; 15 a 30°; 30° a 45°; e a partir de 45°. O mesmo foi transformado em arquivo vetorial par a extração de informações quantitativas (área e sua respectiva porcentagem)

Em relação à orientação das encostas, o polígono foi dividido entre Norte e Sul em função do ângulo de incidência do Sol, as encostas ao Norte tendem a ser mais secas do que as encostas ao Sul, as classes foram divididas em: de 90° e 270° (classificadas como encostas com vertente Sul) e de 270° a 90° (classificadas como encostas com vertente Norte). Estes também foram exportados para o formato vetorial para que se pudessem extrair informações quantitativas.

Após a etapa de produção destas cinco planos de informação, cada condicionante foi dividido em classes de suscetibilidade, de acordo com sua estrutura e vulnerabilidade ao movimento de massa. A sistemática adotada foi de que quanto menor o valor da classe, menor será a susceptibilidade. As Tabelas de 18 a 22 apresentam os condicionantes e a sua divisão de acordo com as classes de suscetibilidade. A divisão e a classificação dos condicionantes foram fundamentadas na literatura.

Dessa forma, para converter os fatores em imagens padronizadas a uma escala de suscetibilidade, reclassificou-se os componentes de acordo com sua suscetibilidade, variando de 1 (menor suscetibilidade) a 4 (maior suscetibilidade), conforme descrito a seguir:

Tabela 18: tabela com as classes e os pesos da cobertura do solo.

Classe	Peso
Afloramento	1
Área urbana	4
Campo	3
Floresta	2
Solo	4
Corpos d'água	0

Tabela 19: tabela com as classes e os pesos de geologia.

Classe	Peso
Depósitos inconsolidados	3
Complexo granito- gnaisse-migmatitos e granilitos	4
Complexos granitóides deformados	1

Tabela 20: tabela com as classes e os pesos de pedologia.

Classe	Peso
Latossolo vermelho-amarelo	3
Argissolo vermelho-amarelo	3
Afloramento	1
Área urbana	1
Argissolo amarelo	3
Neossolo	4

Tabela 21: tabela com as classes e os pesos da declividade.

Classe	Peso
0°-15°	1
15°-30°	2
>30°	4

Tabela 22: tabela com as classes e os pesos da orientação das encostas.

Classe	Peso
N	2
S	1

Para a distribuição dos pesos entre os diversos planos de informação, foram utilizadas as assinaturas ambientais. Das 135 cicatrizes mapeadas por Mello (2011), foram selecionadas, aleatoriamente, para a amostragem 20 cicatrizes. A escolha em trabalhar com uma classe amostral das cicatrizes para a calibração do modelo de susceptibilidade se deu com a finalidade de utilizar o restante na

verificação da consistência do mapeamento gerado ao final. A próxima etapa foi a caracterização das cicatrizes amostrais em relação aos componentes que foram trabalhados neste estudo – cobertura do solo, declividade, orientação da encosta, geologia e pedologia – para que se pudesse ter o conhecimento, por amostragem, como estava a distribuição destes condicionantes nas cicatrizes dos deslizamentos. Em alguns casos, as cicatrizes estavam em mais de um tipo de classe de cada condicionante. Nestes, foi utilizada a porção mais elevada das cicatrizes; esta definição através da altimétrica se deu com o auxílio das curvas de nível de 5m.

A seguir seguem as tabelas com a distribuição das classes de cada componente sobre as cicatrizes escolhidas como Assinaturas Ambientais

Tabela 23: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a camada de cobertura do solo

Classe	Quantidade
Afloramento	0
Área urbana	4
Campo	4
Floresta	10
Solo	2
Corpos d'água	0

Tabela 24: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a camada de geologia

Classe	Quantidade
Depósitos inconsolidados	3
Complexo granito- gnaisse-migmatitos e granilitos	17
Complexos granitóides deformados	0

Tabela 25: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a cada de pedologia.

Classe	Quantidade
Latosolo vermelho- amarelo	10
Argissolo vermelho- amarelo	7
Afloramento	0
Área urbana	3
Argissolo amarelo	0
Neossolo	0

Tabela 26: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a cada de declividade.

Classe	Quantidade
0-15	2
15-30	3
30-45	10
>45	5

Tabela 27: Tabela com a discriminação das cicatrizes escolhidas como assinaturas ambientais sobre a cada de orientação das encostas.

Classe	Quantidade
Norte	16
Sul	4

A partir desta distribuição, pôde-se avaliar a destruição dos pesos ($\Sigma=1$) entre os cinco componentes escolhidos. A tabela com esta distribuição segue abaixo:

Tabela 28: Tabela com os pesos dentro de cada componente

Componentes	Peso
Cobertura do solo	0,20
Geologia	0,1
Pedologia	0,2
Declividade	0,35
Orientação	0,15
Total	1,00

Para a elaboração dos mapas de susceptibilidade aos movimentos de massa, utilizou-se a ferramenta *Spatial Analyst: Raster Calculator* do software ArcGis 9.3. A identificação das áreas de susceptibilidade foi feita por meio da aplicação de um algoritmo do tipo média ponderada.

Na etapa seguinte foram cruzados vários planos de informação. Para cada operação de cruzamento é constituído um arquivo de regras, onde estão definidos os planos de informação envolvidos, as classes resultantes do cruzamento e as regras, que exprimem as operações de cruzamento entre estes planos de informação, isto é, o modelo propriamente dito.

O algoritmo foi aplicado a uma estrutura matricial *raster*, sendo que cada célula (pixel) correspondeu a uma unidade territorial com um índice, como tamanho do pixel de 1m. Para maior entendimento, segue a fórmula utilizada como base para o cálculo da susceptibilidade por pixel:

Equação 1:

$A_{ij} = \sum (P_k \times N_k)$, onde:

- A_{ij} : célula de qualquer matriz. Neste caso com tamanho de 1m.
- \sum : Somatório dos componentes envolvidos.
- P_k : peso atribuído a determinado componente (\sum dos componentes = 1,0)
- N_k : peso atribuído à determinada classe de determinado componente (Valor entre 1 e 4)

A importância de cada evento analisado foi considerada em função do somatório dos produtos dos pesos relativos das variáveis escolhidas, multiplicado pelas notas das classes em cada unidade da célula. Na figura a seguir é possível ver a fórmula final utilizada.

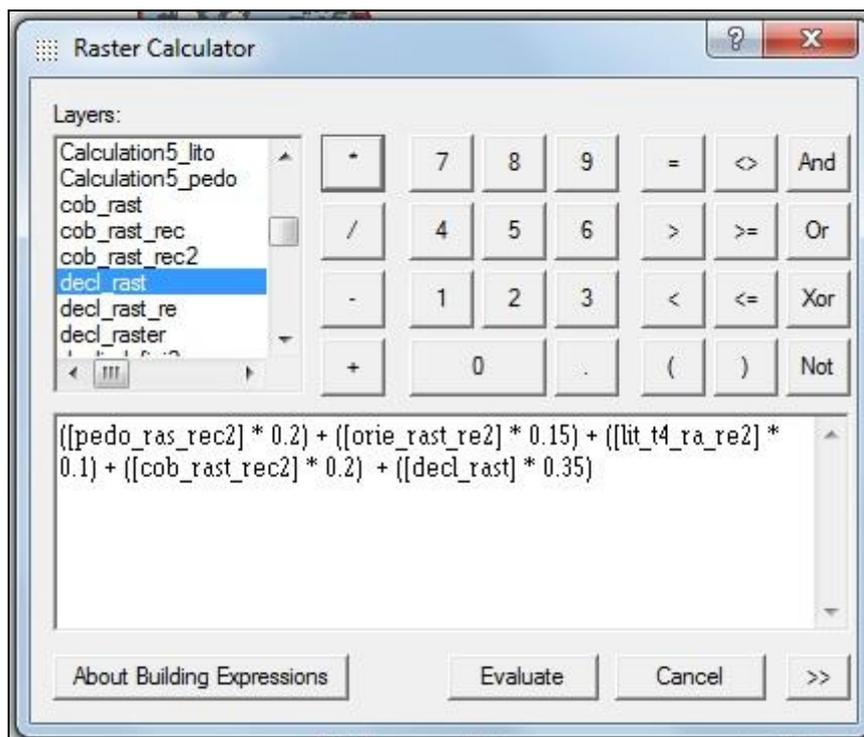


Figura 8: Imagem capturada da ferramenta *Raster Calculator*.

Para a representação do mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa, o mapa foi gerado dividindo o resultado final em 3 partes, com sua escala de 1:10.000.

A validação final do mapa foi realizada distribuindo os pontos que representam locais onde ocorreram movimentos de massa no Maciço da Tijuca, levantados na bibliografia (MELLO, 2011) paralelamente à etapa de coleta de dados referentes às características físicas e antrópicas do município. A espacialização desses pontos foi desenvolvida com o objetivo de auxiliar a avaliação dos mapas de suscetibilidade, através da comparação visual dos locais onde, sabidamente, ocorreram movimentos de massa, com as áreas de risco que foram obtidas pelos diferentes métodos.

As variáveis temáticas selecionadas para a geração do mapa de suscetibilidade foram adaptadas para melhor representar a área de estudo e sua posterior análise. Para tanto, a homogeneização das escalas dos mapas foi de fundamental importância, pois ajustou as variáveis para uma escala padrão definida em 1:10.000.

Ao final, comparou-se o modelo obtido com o mapa temático elaborado pela GEORIO a fim avaliar a influência deste modelo na suscetibilidade a escorregamentos. Pela impossibilidade de obtenção arquivo original do mapeamento da GEORIO, a solução encontrada foi extrair o arquivo em JPEG, georreferenciá-lo utilizando o mosaico de imagens GeoEye-1 em escala 1:2.000 para, em seguida, vetorizar a área delimitada do maciço.

O fluxograma abaixo ilustra o passo a passo deste estudo do mapa, realizado:

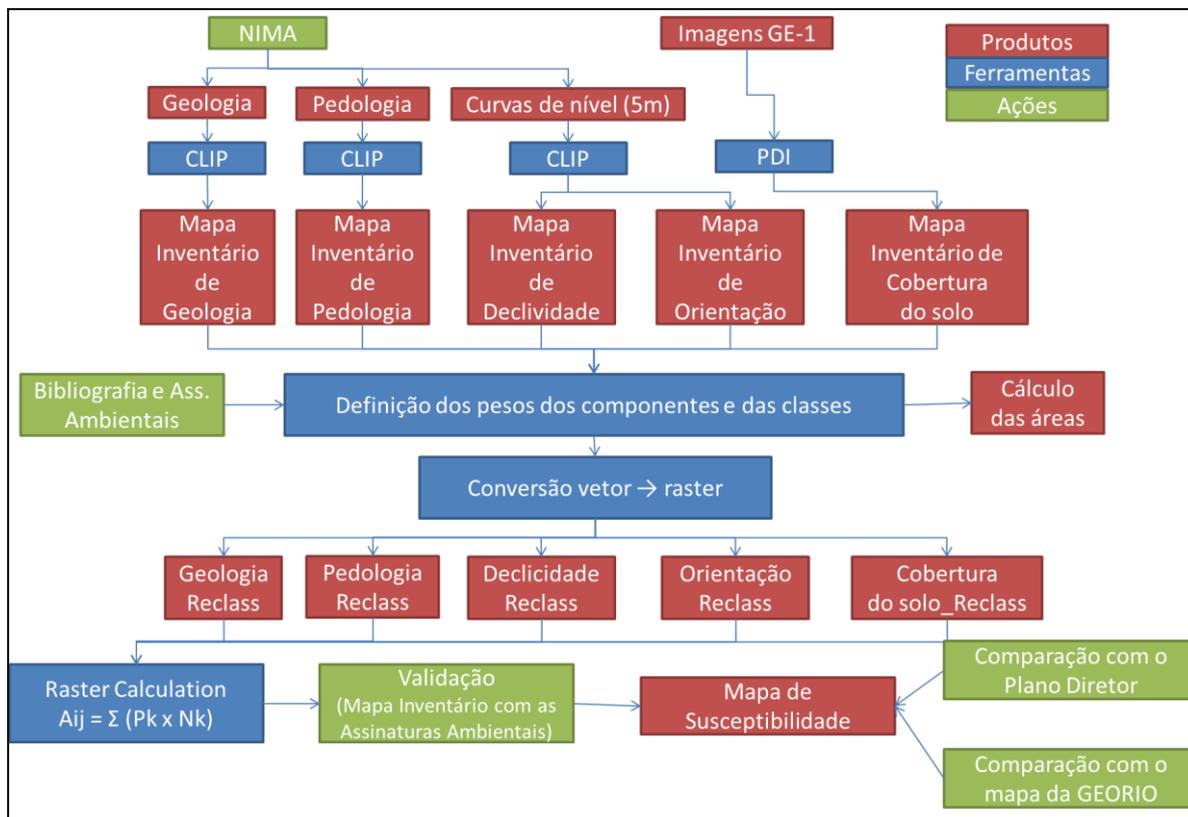


Figura 9: Fluxograma da dissertação.

Os procedimentos operacionais para a sua construção exige num primeiro instante os estudos ambientais básicos. Essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas.

O zoneamento compreende a identificação dos processos destrutivos atuantes, a avaliação do risco de ocorrência com a delimitação e distribuição espacial de setores homogêneos em relação ao grau de probabilidade de ocorrência do evento, estabelecendo tantas classes quantas necessárias. Permite

individualizar e caracterizar cada um dos setores, fornecendo informações sobre aos diversos níveis de susceptibilidade ao qual estão submetidos.

O método para mapeamento apresentado teve por finalidade a identificação e a caracterização de áreas susceptíveis a movimentos de massa com vistas à implementação de uma política pública de gerenciamento de riscos.

4

Caracterização da área de estudo – Maciço da Tijuca

A cidade do Rio de Janeiro, limita-se com o oceano Atlântico ao sul, à oeste com a Baía de Sepetiba e com o município de Itaguaí, com os municípios de Nova Iguaçu, Nilópolis, São João de Meriti e Duque de Caxias ao norte e com a Baía de Guanabara à leste. A área do todo o município do Rio de Janeiro é de 1.255 km². O município está dividido em 159 bairros, com população estimada em cerca de 6.000.000 (seis milhões) habitantes (IBGE, 2010).

Esta cidade é formada por dois compartimentos geomorfológicos bem distintos: os maciços litorâneos e as áreas de baixada, onde ainda se incluem alguns morros isolados. Dentre os maciços litorâneos destaca-se o da Tijuca. Este maciço caracteriza-se por ser uma unidade fisiográfica situada dentro da área urbana do município do Rio de Janeiro, a qual é um dos grandes balizadores, juntamente com o mar, do processo de expansão da ocupação da cidade (FERNANDES, LAGUENS, COELHO NETTO, 1999). Possuindo uma área de 118 Km² - delimitada a partir da cota de 40 m – marcada por um relevo montanhoso que, de uma maneira geral, encontra-se bastante alterado, face às condições de degradação ambiental provenientes de processos ocupação desordenada. Através dos dados dos setores censitários de 2010, foi estimada uma população para a região do maciço de 155.764 habitantes, com sua área dividida entre 37 bairros da cidade.

No mapa a seguir (figura 10) é possível ver a posição do maciço da Tijuca em relação ao município do Rio de Janeiro.

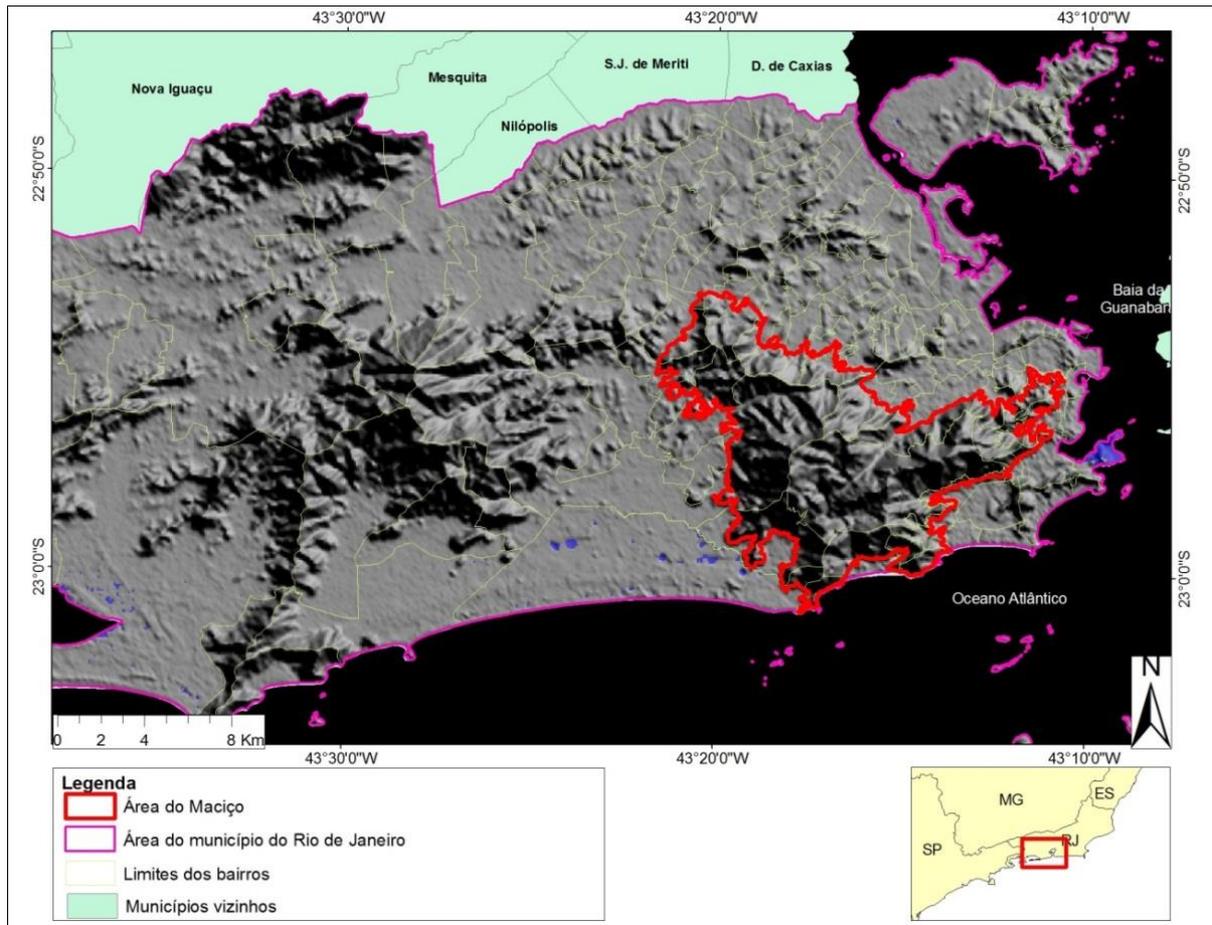


Figura 10: Localização do maciço da Tijuca no município do Rio de Janeiro sobre um Modelo Digital de Elevação produzido a partir do SRTM.

O Maciço da Tijuca é drenado por bacias hidrográficas que deságuam nos reservatórios da baía da Guanabara, nas lagoas costeiras e no oceano Atlântico. Sobressaem na paisagem os extensos fragmentos da Mata Atlântica sobre o maciço, apesar da forte pressão da cidade, sendo um ecossistema onde as mudanças ambientais vêm sendo historicamente induzidas por alterações e intensificações de uso e ocupação de terras na interface sociedade-natureza (COELHO NETTO, 2005).



Figura 11: Delimitação do maciço sobre imagens do satélite GeoEye-1 (maio 2009), com 0,5m de resolução espacial.

Segundo Coelho Netto (2005), as rochas do relevo montanhoso da região sudeste brasileira, de idade pré-cambriana, foram originadas há mais de 570 milhões de anos (Proterozóico Superior) a partir do metamorfismo e da deformação de rochas sedimentares e ígneas pré-existentes, os blocos falhados que originam as Serras do Mar e da Mantiqueira – assim como os maciços costeiros e as ilhas – ocorreram por volta de 65 milhões de anos (Terciário Inferior), em associação à abertura do oceano Atlântico. O maciço da Tijuca representa apenas uma parcela dos blocos falhados dentro da grande faixa móvel que originou as rochas do sudeste brasileiro, denominada Faixa Ribeira (COELHO NETTO op. cit.). As formações geológicas encontradas no maciço são os complexos granito-gnaiss-migmatitos e granulitos, complexos granitóides deformados, e os depósitos inconsolidados.

Na figura e tabela a seguir é possível observar a quantificação dos aspectos geológicos encontrados na área de estudo (Figura 12 e tabela 29).

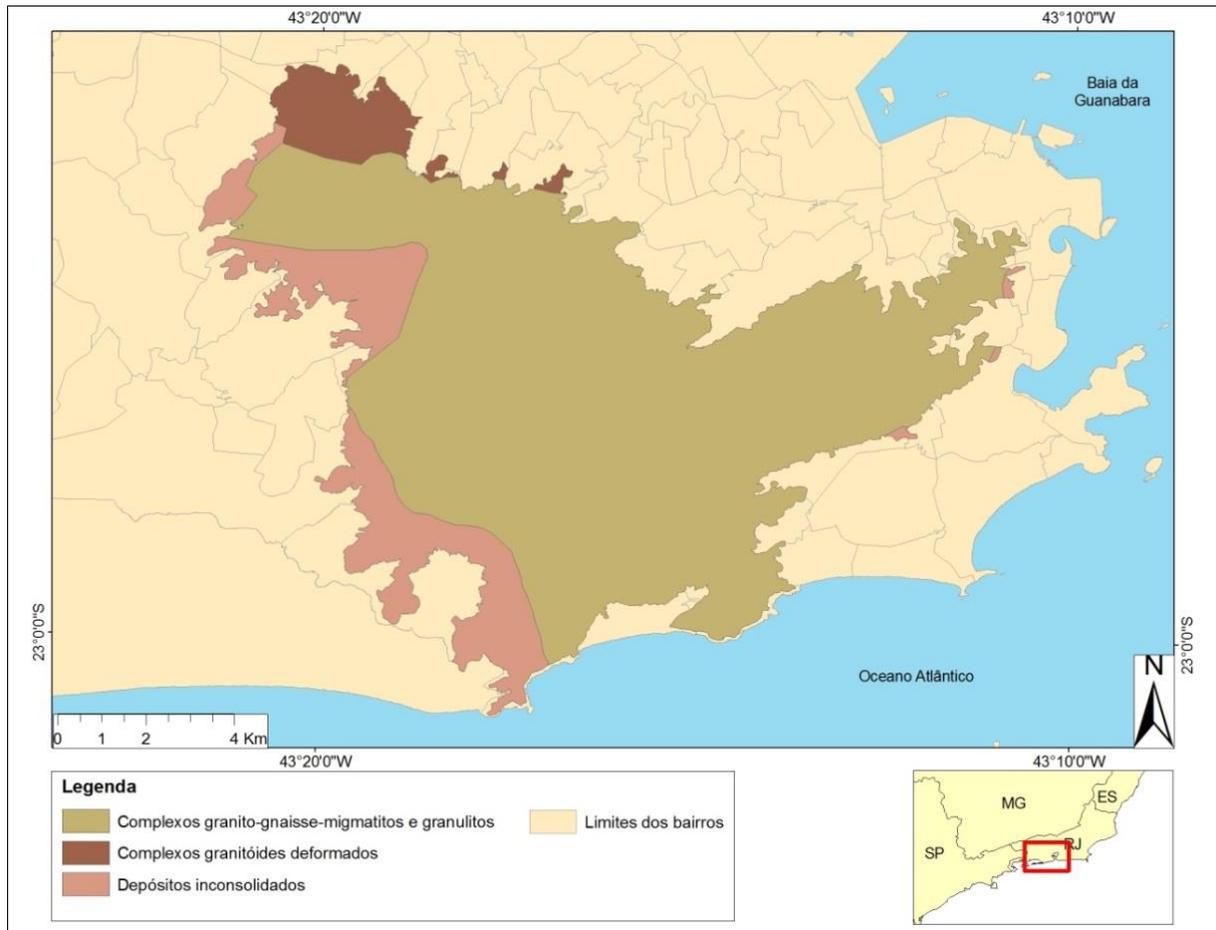


Figura 12: Mapa das feições geológicas.

Tabela 29: Tabela com os dados geológicos.

Classes	Área (km ²)	%
Complexos granito-gnaiss-migmatitos e granulitos.	94,37	79,73
Complexos granitoides deformados	5,76	4,87
Depósitos inconsolidados	18,26	15,43
TOTAL	118,35	100

Para o mapa geológico é visto que a maior parte do maciço pertence ao Complexo granito-gnaiss-migmatitos e granulitos, com quase 80% de toda a área de estudo.

O substrato geológico destes maciços é composto principalmente por rochas metamórficas de alto grau e por rochas ígneas intrusivas, formadas em

profundidade na crosta terrestre (entre 6 a 10 km), oriundas do evento tecnomagmático Brasileiro (PIRES & HEILBRON, 1989), com idade pré-cambriana (mais de 630 milhões de anos atrás).

A ação do intemperismo químico no decorrer do tempo geológico sobre as rochas existentes produziu solos saprolíticos (solos residuais) com espessuras variadas no domínio de encosta (MEIS & SILVA, 1968). Nos trechos de maior espessura há a tendência a deslizamentos e formam-se solos depositados chamados de colúvios. Estes colúvios prevalecem no sopé das encostas ou nos fundos de vale geralmente com níveis de água subterrânea próximos à superfície do terreno, tornando-se muito susceptíveis, também, aos movimentos de massa, em especial quando sofrem cortes para implantação de edificações ou rodovias. Por outro lado, nos trechos de encostas íngremes com solos residuais pouco espessos, as ocorrências de chuvas intensas levam os solos à saturação (ou próximo), reduzindo a resistência ao cisalhamento dos mesmos e causando também movimentos de massa (FELL et al., 2000). Além disso, por vezes, a incidência de chuvas intensas sobre os afloramentos de rochas fraturadas situadas em encostas mais íngremes ou escarpas, pode deflagrar ocorrências de quedas e rolamentos e deslizamentos de blocos ou lascas rochosas, que também são muito destrutivos para as edificações e a infraestrutura urbana. Já os rios principais que drenam o maciço encaixaram-se nos falhamentos e fraturamentos herdados do passado geológico, e hoje, essas estruturas ainda influenciam a dinâmica hidrológica e erosiva atuantes nas encostas (COELHO NETTO, 2005).

Em relação aos aspectos pedológicos, é visto, na figura 13 (e tabela 30) uma maior heterogeneidade entre as classes:

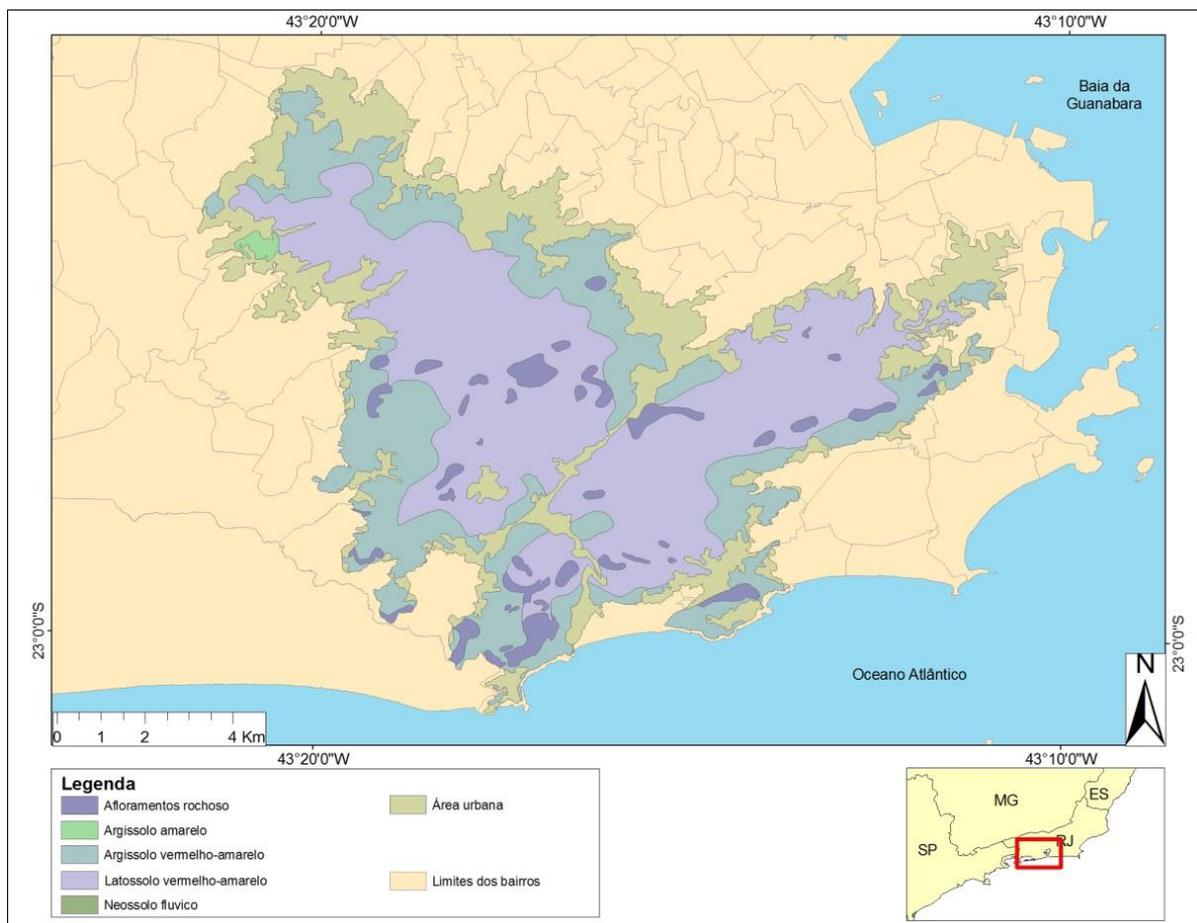


Figura 13: Mapa das feições pedológicas

Tabela 30: Classes do mapa pedológico

Classes	Área (km ²)	%
Afloramento de rocha	5,72	4,83
Argissolo Amarelo	0,41	0,34
Argissolo Vermelho-Amarelo	31,85	26,91
Área urbana	29,02	24,52
Latossolo Vermelho-Amarelo	51,38	43,41
Neossolo Flúvico	0,001	0,001
TOTAL	118,35	100

Para o mapa de declividade (figura 14), foram definidas 4 classes. As mesmas foram delimitadas a partir da bibliografia de mapeamento de riscos de movimentos de massa e estão representadas em graus (°). Na tabela

correspondente (tabela 31) é possível verificar a quantificação de cada uma destas classes dentro do maciço.

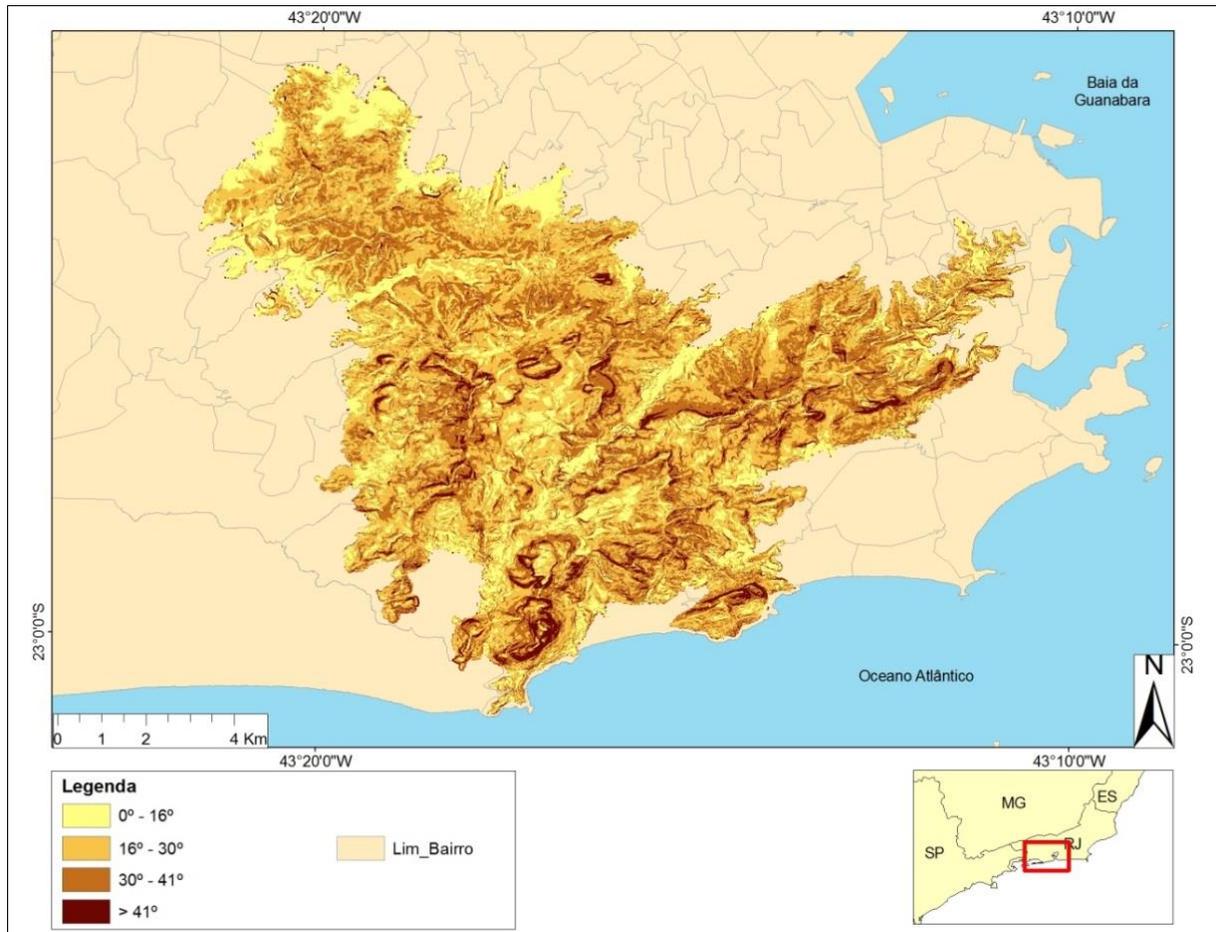


Figura 14: Mapa de declividade.

Tabela 31: Classes de declividade

Classes	Área (km ²)	%
0° - 16°	26,67	22,53
16° - 30°	48,72	41,16
30° - 41°	29,9	25,26
> 41°	13,06	11,26
TOTAL	118,35	100

Neste mapa temos a maior parte da área em classes consideradas médio-altas (entre 16° e 41°, com cerca de 70% da área)

Em relação à cobertura do solo, no maciço da Tijuca ainda encontramos um dos remanescentes de Floresta Atlântica, classificado como Floresta Tropical Pluvial de Encosta, cujo nome local é Floresta da Tijuca. O bioma da Mata Atlântica é próprio da zona costeira brasileira e englobam diferentes formações florestais, restingas e manguezais, que estão associados a uma grande diversidade de condições geológica, pedo-geomorfológica e hidroclimática (COELHO NETTO, 2005). Foi realizada a classificação manual da cobertura do solo, classificando em: floresta (correspondente aos fragmentos de vegetação florestal), campos (campos abertos, gramíneas), solo exposto, área urbana (área antrópica), afloramentos rochosos e corpos d'água.

No mapa e tabela abaixo (figura 14 e tabela 32) podemos observar a distribuição e a representatividade de cada classe:

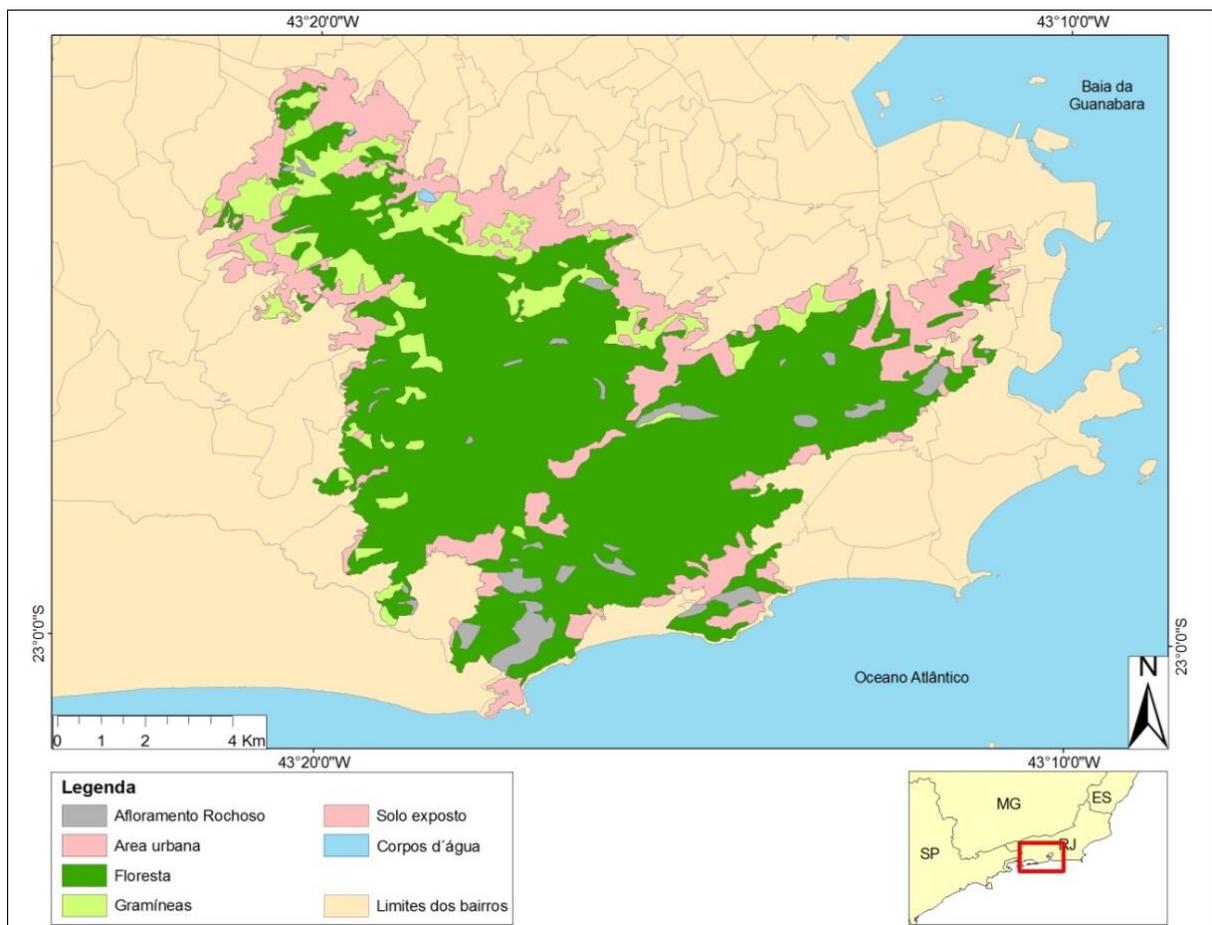


Figura 15: Mapa de cobertura do solo.

Como pode ser visto na imagem acima, temos a maior parte do maciço da Tijuca coberto por florestas, com mais de 60% da área total, como poderá ser observado na tabela a seguir.

Tabela 32: Classes de cobertura do solo

Classes	Área (km ²)	%
Afloramento Rochoso	4,33	3,66
Campos	11,36	9,6
Florestas	76,04	64,2
Solo exposto	1,04	0,9
Corpos d'água	0,09	0,07
Área urbana	25,73	21,83
TOTAL	118,35	100

A história de ocupação do maciço pode ser entendida a partir de meados dos séculos XVIII e XIX, com a floresta original sendo substituída por cafezais. Esta devastação, promovida principalmente pelo ciclo do café, acarretou a perda da capacidade de estocagem das águas pluviais nos aquíferos, reduzindo os mananciais de águas que abasteciam a cidade durante período. Diante deste cenário ocorrem as primeiras medidas governamentais de mitigação: as antigas fazendas de café foram desapropriadas e substituídas pelo reflorestamento com espécies nativas e heterogêneas (GEOHECO-UFRJ/SMAC-RJ, 2000). A expansão populacional da cidade fez com que parte da população começasse a ocupar trechos deste maciço a partir do século passado. No século XX houve grande proliferação de habitações mais pobres na forma de favelas e outras ocupações da cidade formal que circundam este maciço, resultando no atual quadro de forte pressão urbana em que se encontra atualmente (FERNANDES, LAGUENS, COELHO NETTO, 1999).

O Parque Nacional da Tijuca sob a tutela do IBAMA foi criado na década de 60, e atualmente possui uma área total de 39,51 km², aproximadamente um terço da área do Maciço (118 km²) e está subdividido em três setores descontínuos: Floresta da Tijuca, Corcovado- Sumaré e Pedra Bonita-Pedra da Gávea.

A floresta apresenta estrutura funcional plena na regulação dos processos hidrológicos e mecânicos, contribuindo para a estabilização das encostas. Vale ressaltar que nos estágios pioneiro e inicial ocorre apenas o funcionamento parcial desses processos. São frequentes no Maciço da Tijuca as áreas de gramíneas, geralmente originadas por incêndios recorrentes (FREITAS, 2001). No entanto, há

que se destacar que tais formações não constituem um processo de sucessão ecológica, mas permanecem com esta fisionomia por longo tempo, em função das queimadas periódicas.

De acordo com Mello (2011) pode-se perceber dois movimentos importantes na supressão da floresta a partir do crescimento da urbanização: a queda do poder aquisitivo da população aliado à necessidade de moradia junto ou próximo a locais com oferta de trabalho, com o tripé trabalho-moradia-transporte ou funciona precariamente nota-se a aceleração no processo de construções de favelas, iniciado nas primeiras décadas do século XX, tanto nas encostas do maciço da Tijuca como nas baixadas circundantes; há, também, a busca por uma melhor qualidade de vida, a montanha e a floresta se apresentam como um *paraíso* em meio ao *inferno* urbano e o mercado imobiliário especula e avança sobre as encostas, apesar das restrições impostas pela legislação ambiental e urbana.

Em relação à orientação das encostas, a vertente norte do maciço já está quase todo desprovido de floresta, o que pode ser relacionado com a ocupação nessa vertente do maciço ser mais antiga. Hoje, comparando com os demais subsistemas hidrográficos, as encostas desse subsistema estão mais expostas à poluição industrial e à maior insolação. Também apresentam um quadro crítico de ocupação densa e desordenada, com grande proliferação de favelas. Já a vertente sul é a que apresenta a maior proporção de cobertura florestal em estágio avançado e em melhor estado de conservação. Além da menor insolação e maior umidade ambiental, as barreiras naturais montanhosas aliadas às áreas de proteção e conservação ambiental inibem a expansão das construções encosta acima. O mesmo já não ocorre nas bacias que drenam para a praia de São Conrado, onde o crescimento e expansão das edificações formais já ultrapassam a cota altimétrica de 100 m, misturando-se à expansão acelerada das favelas (como a Rocinha e o Vidigal) e, do outro extremo, da estrada das Canoas. O que ocorre em São Conrado é observado em outras áreas da zona sul ou da zona norte da cidade, ou seja, a evolução de favelas e do tecido urbano formal, onde convivem grupos de diferentes classes sociais.

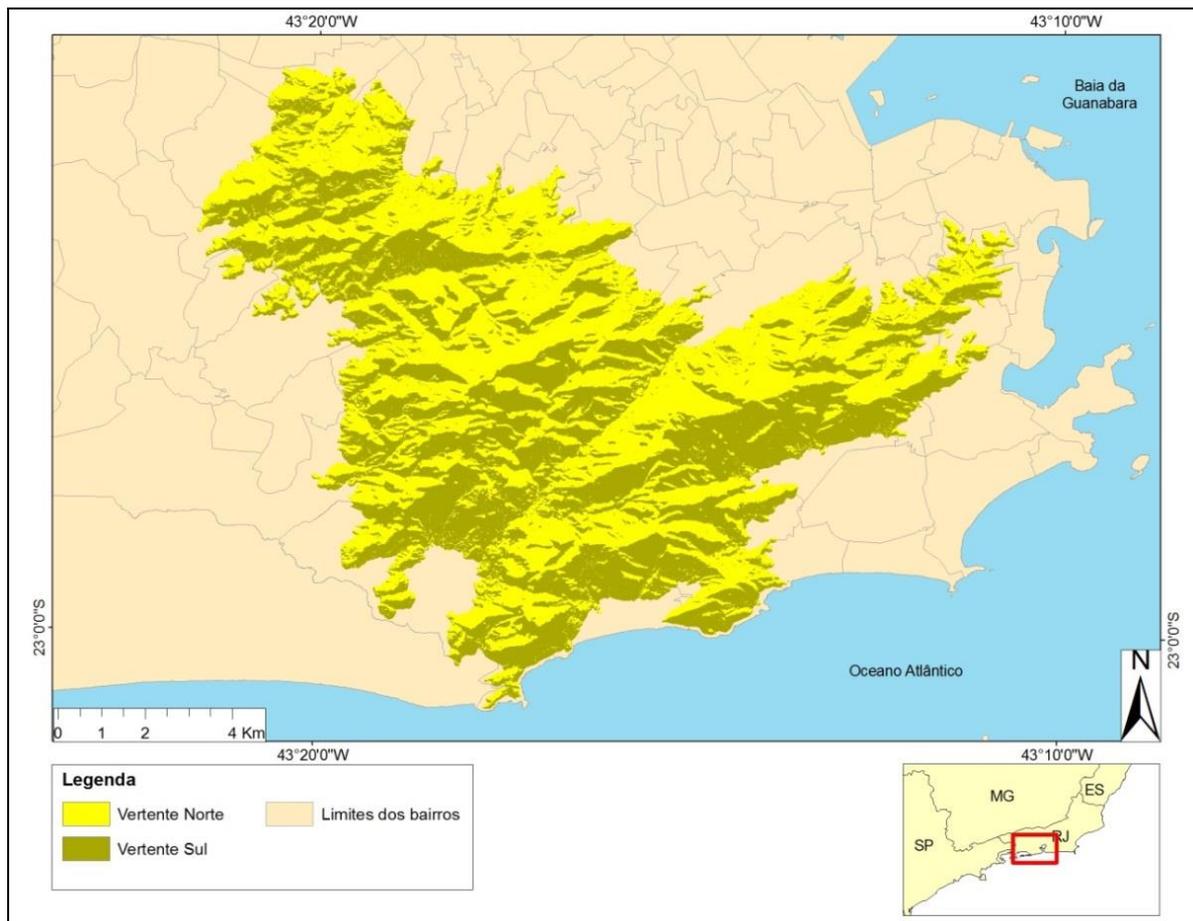


Figura 16: Mapa com a orientação Norte e Sul.

Tabela 33: Tabela com a orientação Norte e Sul das encostas do maciço.

Classes	Área (km ²)	%
Norte	62,8	53,07
Sul	55,55	46,93
TOTAL	118,35	100

O maciço da Tijuca funciona como uma barreira natural para o vapor d'água que provém do litoral provocando precipitações mais elevadas sobre a região do maciço. As encostas localizadas a sul apresentam maior umidade e volume de precipitação enquanto as encostas localizadas a sota-vento (norte) apresentam valores mais modestos de umidade.

O que se observa hoje é um mosaico com fragmentos florestais de diferentes dimensões, entremeados principalmente com vegetações pioneiras, gramíneas, estradas, logradouros públicos, manchas de ocupações comerciais e manchas de edificações residenciais formais ou informais.

A região apresenta um clima definido como tropical de altitude, com precipitação média anual em torno de 2.300mm. A temperatura média anual fica em torno de 22°C, sendo a máxima de 25°C registrada em fevereiro e a mínima de 19°C em julho (MELLO, 2011).

O maciço da Tijuca reflete a materialização das relações complexas que se originam a partir das relações sociais, políticas e físicas sobre uma paisagem montanhosa extremamente dinâmica. Essa paisagem reflete os conflitos gerados pela construção de novos espaços e que muitos movimentos de massa são resultantes da interação desses conflitos. A existência de vários conflitos de interesses socioeconômicos e políticos sobre essas áreas do Maciço da Tijuca: de um lado os proprietários querendo vender suas terras, juntos com as empreiteiras da construção civil e empresas imobiliárias, pressionam o poder público por uma revisão na legislação sobre a ocupação dessas encostas; do outro lado, a ocupação irregular intensifica-se cada vez mais, inclusive sobre áreas de alto risco frente aos desastres naturais relacionados ao fogo e à água.

O Maciço da Tijuca é um lugar onde suas transformações ambientais refletem a relação floresta-cidade. O aumento da ocorrência de movimentos de massa nas encostas durante as chuvas mais severas, demonstram o quão frágil é o equilíbrio desta relação.

5

Resultados e Análises

A presente dissertação possuiu como objetivo final a obtenção de um mapa de susceptibilidade a movimentos de massa na escala 1:10.000 da área estudada, o Maciço da Tijuca, a partir de fatores fisiográficos e antrópicos. Com a utilização de imagens de satélite de alta definição e de dados obtidos no Laboratório do Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente da PUC-Rio e na Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro.

Este trabalho forneceu resultados secundários relativos à produção de mapas temáticos – já apresentados – para a confecção e análise do mapa de susceptibilidade a movimentos de massa. Os mapas temáticos foram obtidos de acordo com o apresentado na metodologia e mostrados no capítulo de *Caracterização da Área de Estudo* (cap. 4).

Agora, neste capítulo serão apresentados os resultados do mapeamento, através de figuras, gráficos e tabelas, além da comparação com o mapeamento de susceptibilidade realizado pela GEORIO para todo o município do Rio de Janeiro e uma análise do mapeamento realizado sobre determinadas informações advindas do Plano Diretor da cidade.

O mapa de susceptibilidade foi gerado com três níveis: áreas com Baixa, Média ou Alta susceptibilidade, representadas, respectivamente, pelas cores verde, amarelo e vermelho. Estas três classes foram escolhidas desta maneira para facilitar a interpretação dos resultados finais. O mapa final pode ser visto a seguir:

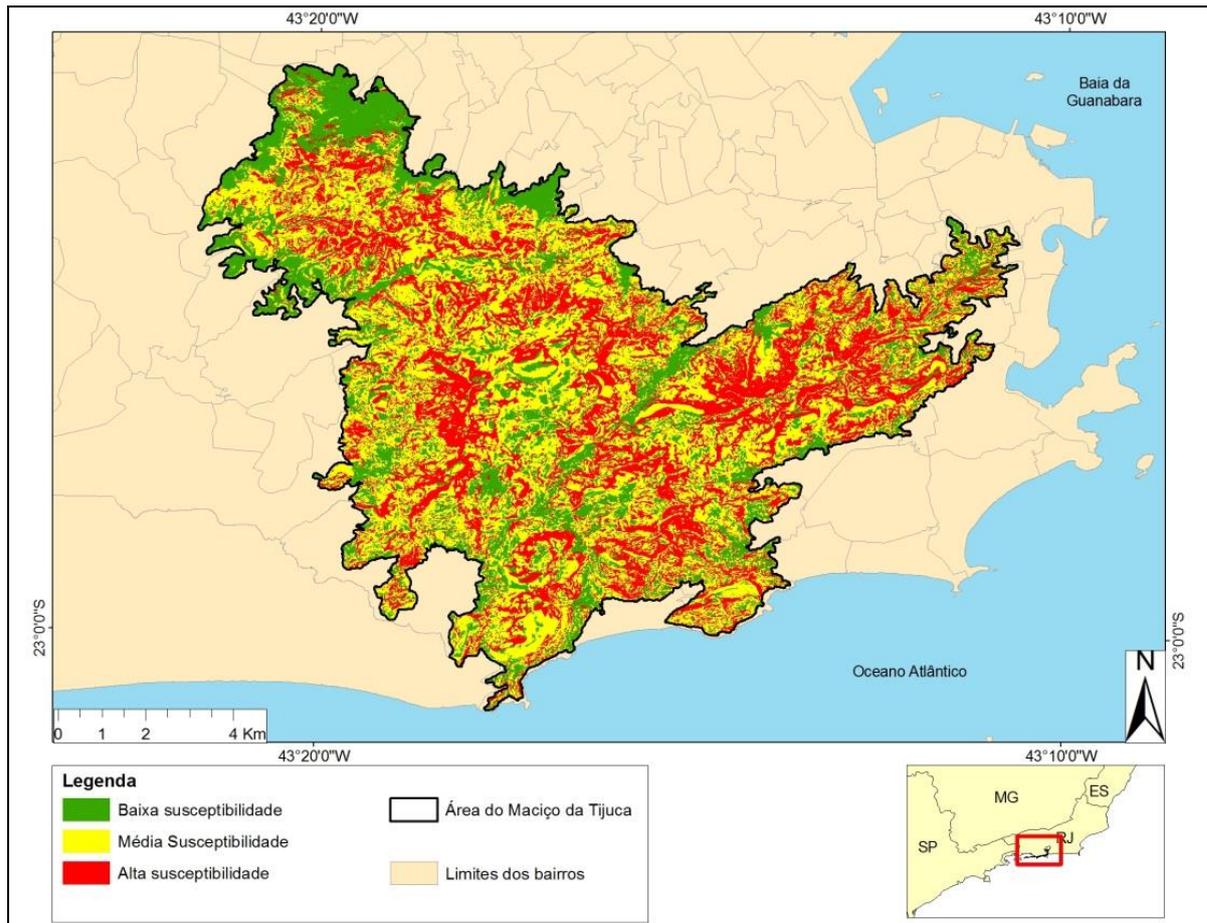
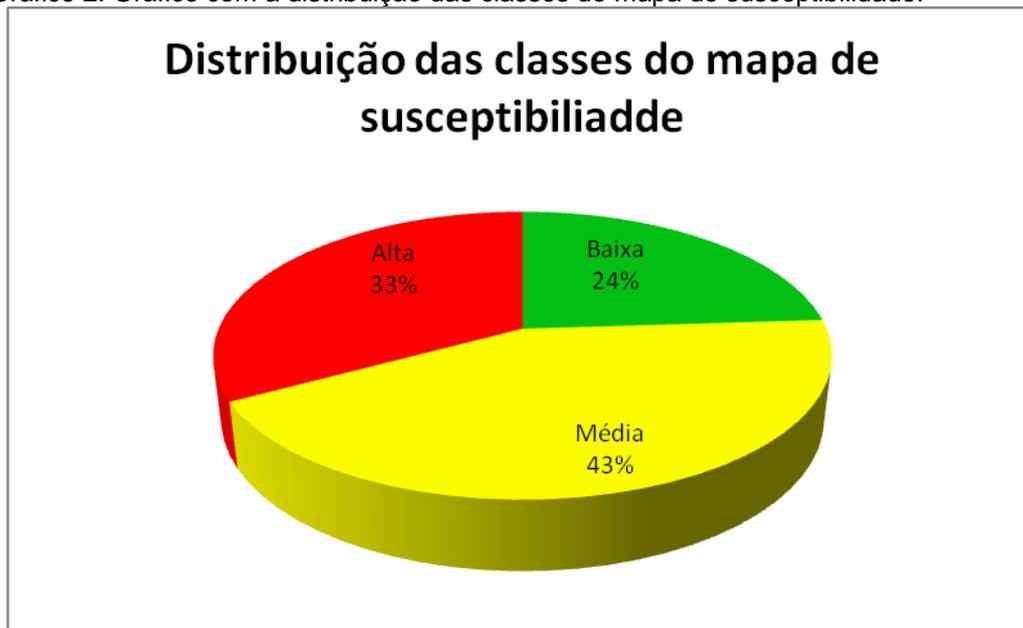


Figura 17: Mapa de susceptibilidade a movimentos de massa no Maciço da Tijuca.

Por se tratar de uma área de relevo bastante acidentado, foram encontradas muitas áreas de média e alta susceptibilidade, as áreas de baixa susceptibilidade em direção às áreas mais planas localizados nos extremos do maciço, com a área central o corte da estrada Grajaú-Jacarepaguá se destacando como uma entrância caracterizada como de baixa susceptibilidade. No gráfico 2 a seguir podemos ver a distribuição das áreas de susceptibilidade:

Gráfico 2: Gráfico com a distribuição das classes do mapa de susceptibilidade.



A classe de baixa susceptibilidade, com 28,3 km² de área, correspondeu a 24% da área do maciço, já área definida como de média susceptibilidade, com 50,8 km² correspondeu a 43% da área e a área de alta susceptibilidade (38,9 km²), corresponde a 33% da área total.

O método de validação deste mapeamento foi a verificação das cicatrizes mapeadas no trabalho de Mello (2011), no qual foram mapeados 135 movimentos de massa ocasionados nas chuvas de abril de 2010. Destes 135 pontos de escorregamentos, foram utilizados para a verificação 115 cicatrizes – foram excluídas as 20 cicatrizes utilizadas como assinaturas ambientais para a calibração do modelo. Abaixo (figura 18) é possível ver a distribuição dos deslizamentos sobre o mapa de susceptibilidade.

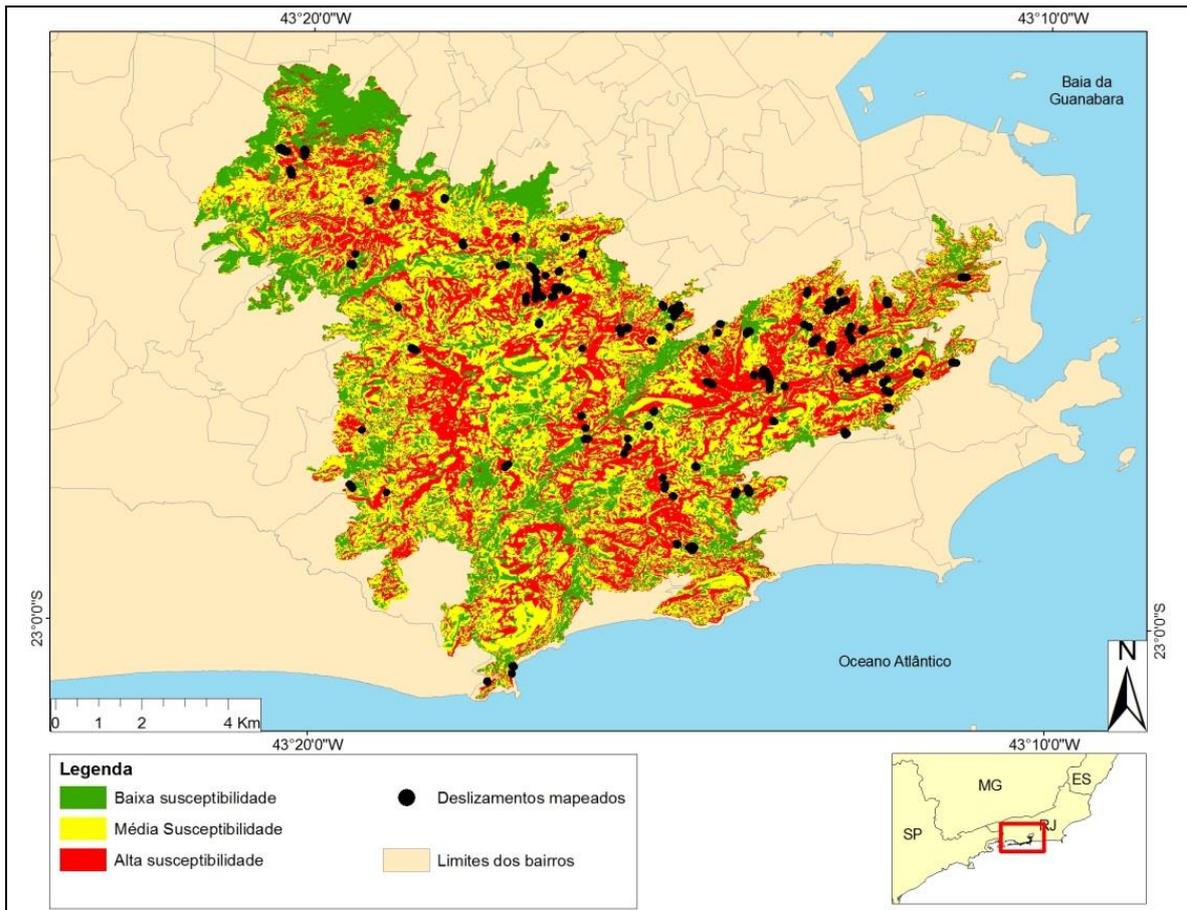
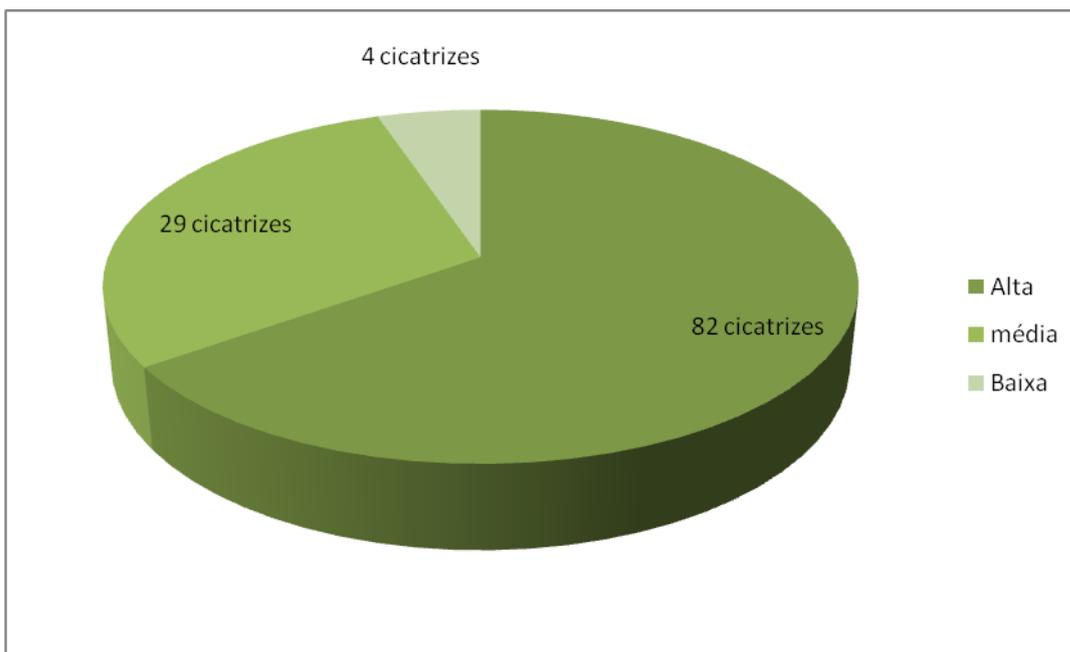


Figura 18: Cicatrizes mapeadas por Mello (2011) sobre o mapa de susceptibilidade.

Em uma análise geral é possível observar que a grande maioria das cicatrizes está em áreas de média/alta. No gráfico a seguir, é possível ver a distribuição quantitativa das cicatrizes:

Gráfico 3: Distribuição quantitativa das cicatrizes mapeadas por Mello (2001) sobre o mapa de susceptibilidade.



Foram identificadas 4 (quatro) cicatrizes originadas (com seu ponto de ruptura) em áreas mapeadas como de baixa susceptibilidade; 29 (vinte e nove) cicatrizes em áreas de média susceptibilidade; e 82 (oitenta e duas) movimentos de massa em locais considerados de alta susceptibilidade, representando, respectivamente 3,5%, 25,2% e 71,3%. Com estas informações é visto que o mapeamento foi condizente com as cicatrizes encontradas após as chuvas de abril de 2010.

Para facilitar a visualização do mapa com as cicatrizes, algumas áreas do maciço foram ampliadas para um melhor entendimento da distribuição das cicatrizes sobre o mapa de susceptibilidade (Figuras 19, 2 e 21).

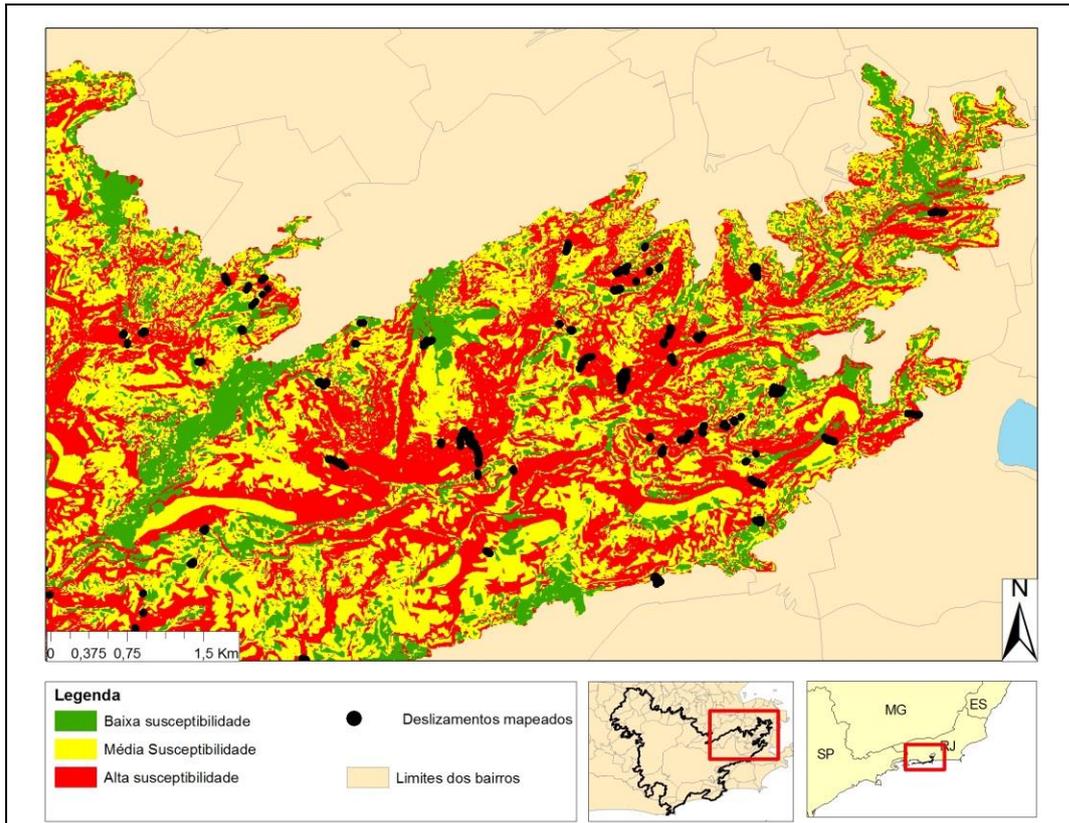


Figura 19: Ampliação 01 do mapa de susceptibilidade

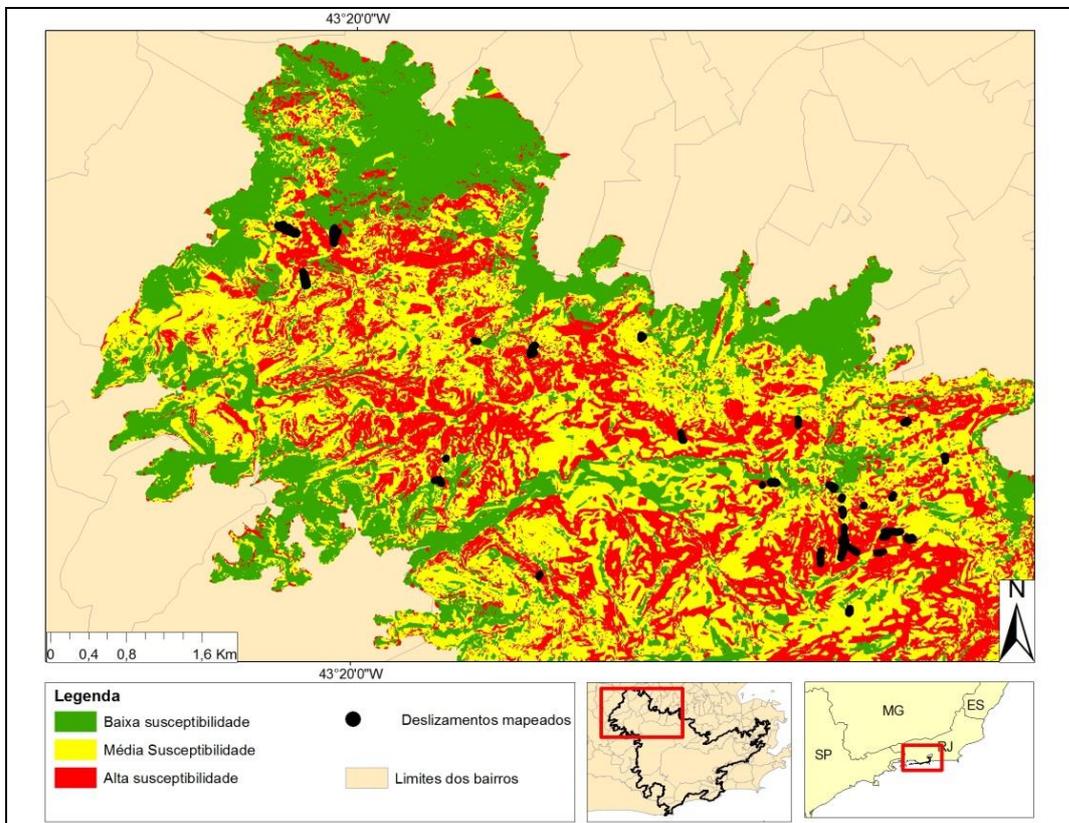


Figura 20: Ampliação 02 do mapa de susceptibilidade

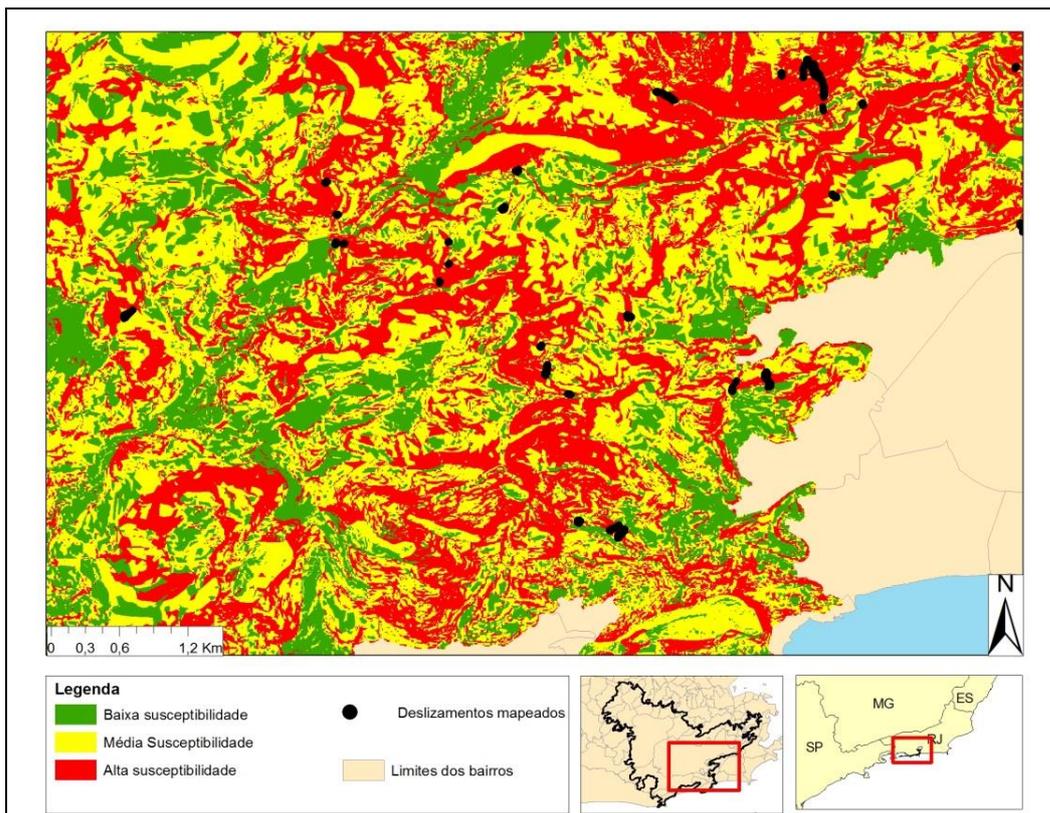


Figura 21: Ampliação 03 do mapa de susceptibilidade.

A partir do mapeamento foram extraídas as informações da distribuição de cada uma das classes dos componentes utilizados para definir este mapa sobre as três classes de susceptibilidade. As tabelas, discriminadas por componentes, encontram-se a seguir:

Tabela 34: Quantificação, em km², da cobertura do solo nas classes do mapeamento de susceptibilidade.

	Área					
	Baixa susceptibilidade		Média susceptibilidade		Alta susceptibilidade	
Classe	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Afloramento	0,71	2,5	2,21	4,3	1,11	2,8
Área urbana	11,78	41,6	8,7	17,01	5,09	13
Campo	1,3	50,7	5,8	11,3	4,36	11,1

Floresta	14,42	4,7	33,87	66,6	27,79	71,4
Solo	0,02	0,08	0,3	0,6	0,58	1,4
Corpos d'água	0,06	0,22	0,007	0,001	0,02	0,06
Total	28,3	100	50,8	100	38,9	100

Tabela 35: Quantificação, em km², no mapa pedológico nas classes do mapeamento de susceptibilidade.

	Área					
	Baixa susceptibilidade		Média susceptibilidade		Alta susceptibilidade	
Classe	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Afloramento Rochoso	1,71	5,4	3,37	6,6	0,82	2,09
Argissolo amarelo	0,03	0,1	0,28	0,5	0,09	0,23
Argissolo vermelho- amarelo	4,61	16,2	15,76	31	11,42	29,1
Área urbana	16,18	58,1	8,32	16,4	4,23	10,8
Latossolo vermelho- amarelo	5,77	20,0	23,09	45,3	22,31	57,7
Neossolo Flúvico	0,00006	0,0002	0,0008	0,001	0,0008	0,002
Total	28,3	100	50,8	100	38,9	100

Tabela 36: Quantificação, em km², no mapa geológico nas classes do mapeamento de susceptibilidade.

Classe	Área					
	Baixa susceptibilidade		Média susceptibilidade		Alta susceptibilidade	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Complexo granito-gnaiss-migmatitos e granilitos	17,99	63,58	42,03	82,37	29,92	87,85
Complexos granitóides deformados	4,29	14,72	0,76	1,69	0,77	1,97
Depósitos Inconsolidados	6,03	21,6	8,04	15,93	8,17	10,17
Total	28,3	100	50,8	100	38,9	100

Tabela 37: Quantificação, em km², no mapa de declividade nas classes do mapeamento de susceptibilidade.

Classe	Área					
	Baixa susceptibilidade		Média susceptibilidade		Alta susceptibilidade	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
0 – 15°	22,37	79,6	1,8	3,5	0,05	0,1
15° – 30°	5,75	19,96	44,10	86,6	1,3	3,3
30° – 45°	0,07	0,2	3,09	6	31,35	80,7
> 45°	0,02	0,07	1,74	3,7	6,1	15,7
Total	28,3	100	50,8	100	38,8	100

Tabela 38: Quantificação, em km², no mapa de orientação da encosta nas classes do mapeamento de susceptibilidade.

	Área					
	Baixa susceptibilidade		Média susceptibilidade		Alta susceptibilidade	
Classe	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Norte	16,49	58,9	20,51	48,1	21,7	55,3
Sul	11,74	41,1	30,32	51,9	17,28	44,7
Total	28,3	100	50,8	100	38,9	100

A seguir, temos as três classes de susceptibilidade analisadas de acordo com seus principais componentes:

1. **Baixa Susceptibilidade:** as áreas de baixa susceptibilidade do maciço da Tijuca possuem em torno de 28 km², portanto, equivalente a 23% da área total. Em relação à cobertura do solo, possui a maior parte de sua área com cobertura urbana (41,6%) ou campos/gramíneas (50,73%). Para os componentes pedológicos, a classe que se destaca é “área urbana”, ocupando 58,1%; já sobre as classes geológicas, o complexo granito-gnaiss-migmatitos e granilitos correspondem a 63,58%. Já em relação à declividade, 79,16% dizem respeito a um intervalo entre 0 e 15° e com 58,9% das áreas de baixa susceptibilidade voltadas para Norte.
2. **Média susceptibilidade:** Possui aproximadamente 51 km², área que corresponde a 34% do total do maciço. A cobertura do solo em destaque foram as áreas florestadas, com 61,66%. Em relação à pedologia, é visto que os latossolos vermelho-amarelos correspondem a 45,3% da área considerada de Média Susceptibilidade. Já a classe geológica com maior presença é o complexo granito-gnaiss-migmatitos e granilitos com 82,37%. Sobre a declividade 86,6% da área corresponde ao intervalo entre 15° e 30°, e com 51,9% da área voltada para Sul.
3. **Alta susceptibilidade:** A área de Alta de susceptibilidade possui aproximadamente 39 km², área que corresponde a 33% do total do maciço.

A cobertura do solo majoritária, assim como nas áreas de Média susceptibilidade, correspondem as florestas, com 71,4% da área. A classe pedológica e geológicas principais são os latossolos vermelho-amarelos, com 57,7%, e o complexo granito-gnaiss-migmatitos e granilitos, com 87,8%, respectivamente. A declividade mais encontrada nesta área se encontra entre 30° e 45° (80,7%) e a com 55,3% da área voltada para Norte.

5.1

Comparativo com o mapeamento de susceptibilidade desenvolvido pela GEORIO

O mapa desenvolvido pela GEORIO apesar de possuir também três classes de susceptibilidade, ele é de abrangência para todo o município do Rio de Janeiro, o que amplia sua capacidade do mapeamento para escalas menores, porém diminui sua precisão em escalas maiores. Sendo assim, o mapa desenvolvido pela GEORIO, possui, na área do Maciço da Tijuca em quase a sua totalidade áreas de média e alta susceptibilidade, uma vez que considera as áreas planas encontradas em outras áreas do município.

Entretanto, mesmo com as dificuldades ocasionadas pela classificação abranger características fisiográficas mais diversas do que somente do que maciços costeiros e a não disponibilidade dos dados originais georreferenciados para exportação a fim de enquadrá-los nos limites da área de estudo – o que ocasionou certa perda da qualidade da análise – é possível ver semelhanças entre os mapeamentos realizados pelo presente trabalho e o da GEORIO.

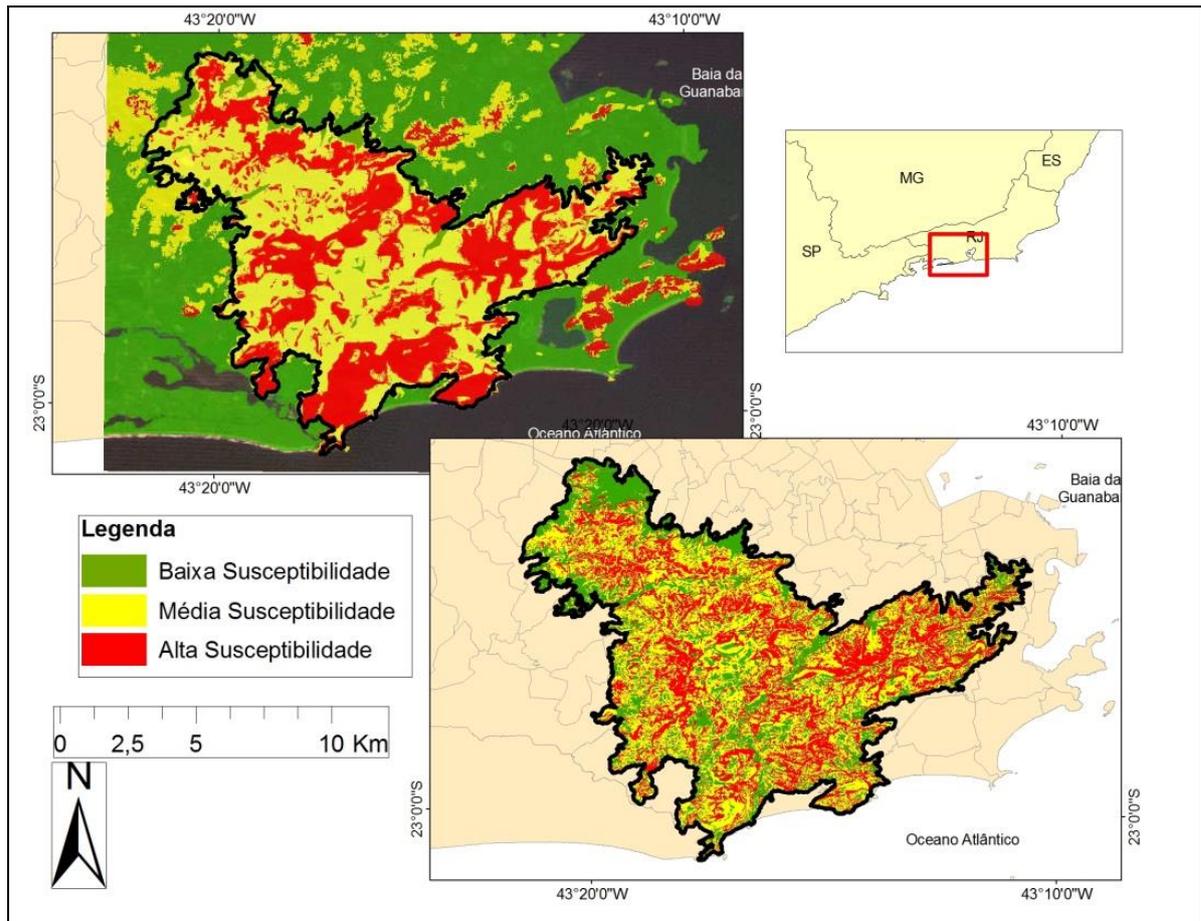


Figura 22: Comparativo entre o mapeamento realizado neste trabalho com o mapa da GEORIO.

Analisando-se qualitativamente esta composição, pode-se observar que grande parte das áreas de alta e muito alta suscetibilidade estão nas áreas centrais do maciço, em regiões de declividade mais acentuada. De um modo geral, a área urbanizada se concentra em áreas de baixa suscetibilidade. No entanto, as favelas tendem a ocupar as áreas mais suscetíveis, com grande frequência de movimentos de massa. Sendo assim, novas ocupações urbanas devem ser planejadas criteriosamente, pois são poucas as áreas de baixa ou média suscetibilidade ainda desocupadas.

No aspecto quantitativo, a vetorização, realizada neste estudo, do mapa da GEORIO resultou na quantificação das áreas de suscetibilidade a movimentos de massa no Maciço da Tijuca (gráfico 4).

Distribuição das classes do mapa de suscetibilidade no mapeamento da GEORIO.

Gráfico 4: Distribuição das classes do mapa de susceptibilidade no mapeamento da GEORIO.



No mapeamento da GEORIO as classes foram encontradas aproximadamente 4%, 4,3 km² de áreas de baixa susceptibilidade; cerca de 54%, ou 64,3 km² de áreas de média susceptibilidade; e 49,8 km² (42%) de áreas consideradas de alta susceptibilidade a movimentos de massa.

A título de comparação, foram sobrepostas as cicatrizes mapeadas por Mello (2011) sobre o mapa de susceptibilidade da GEORIO a fim que se pudesse averiguar a precisão deste produto com as cicatrizes de deslizamentos de abril de 2010.

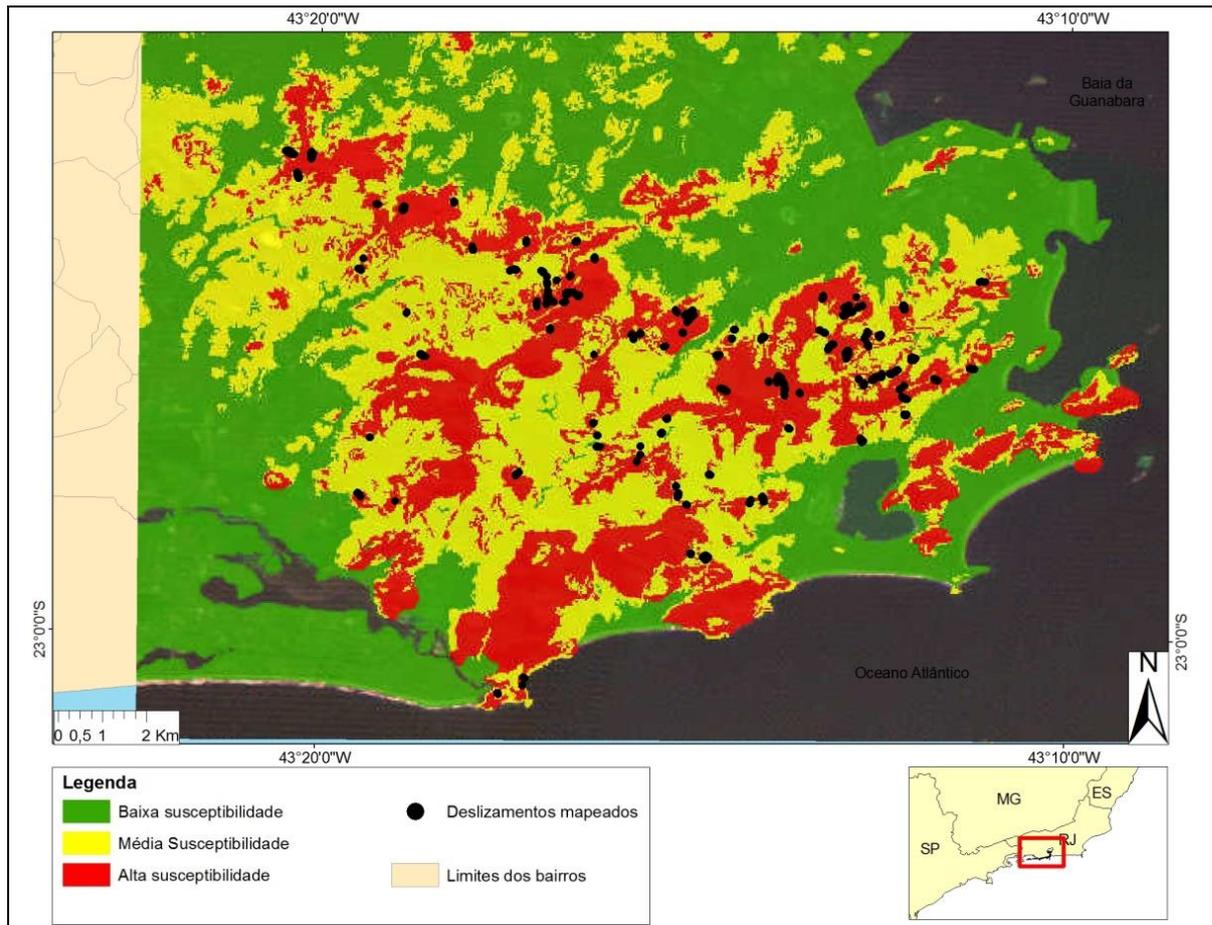


Figura 23: Mapa de susceptibilidade da GEORIO com a sobreposição dos pontos de deslizamento de abril de 2010.

Foi observado que as cicatrizes dos deslizamentos de abril de 2010 são correspondentes a áreas consideradas de alta susceptibilidade a movimentos de massa segundo a GEORIO. Porém cabe salientar novamente que este mapeamento foi realizado para todo o município do Rio de Janeiro, deixando a área do maciço da Tijuca (assim como outras elevações encontradas na cidade) com quase a totalidade de suas áreas como de alta e média susceptibilidade, o que acaba por gerar um produto bastante abrangente e impreciso para trabalhos em escalas maiores.

5.2

Análise quanto às normas urbanísticas do Plano Diretor do Rio de Janeiro

Por fim, será analisado este mapa de susceptibilidade a movimentos de massa e o Plano Diretor da cidade do Rio de Janeiro para que possamos interpretar como as políticas públicas de planejamento e ordenamento urbano municipal estão enquadradas em relação à susceptibilidade.

De acordo com o Plano Diretor do Rio de Janeiro é impossibilitado de construir qualquer edificação em cota superior a 100 metros:

§ 1º. São consideradas Zonas de Conservação Ambiental:

I. as áreas acima da cota de cem metros em todo o Município, para fins de conservação e recuperação ambiental do Bioma de Mata Atlântica e as zonas de amortecimento das unidades de conservação federais, estaduais e municipais na forma do artigo 25 da Lei Federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000;

Com esta informação, foi delimitada a área não edificável a partir da cota 100m, onde a área acima da cota de 100m corresponde a 78,35% da área de estudo (92,59 km²). Enquanto a área abaixo ima da cota 100 possui cerca de 22% da área total.

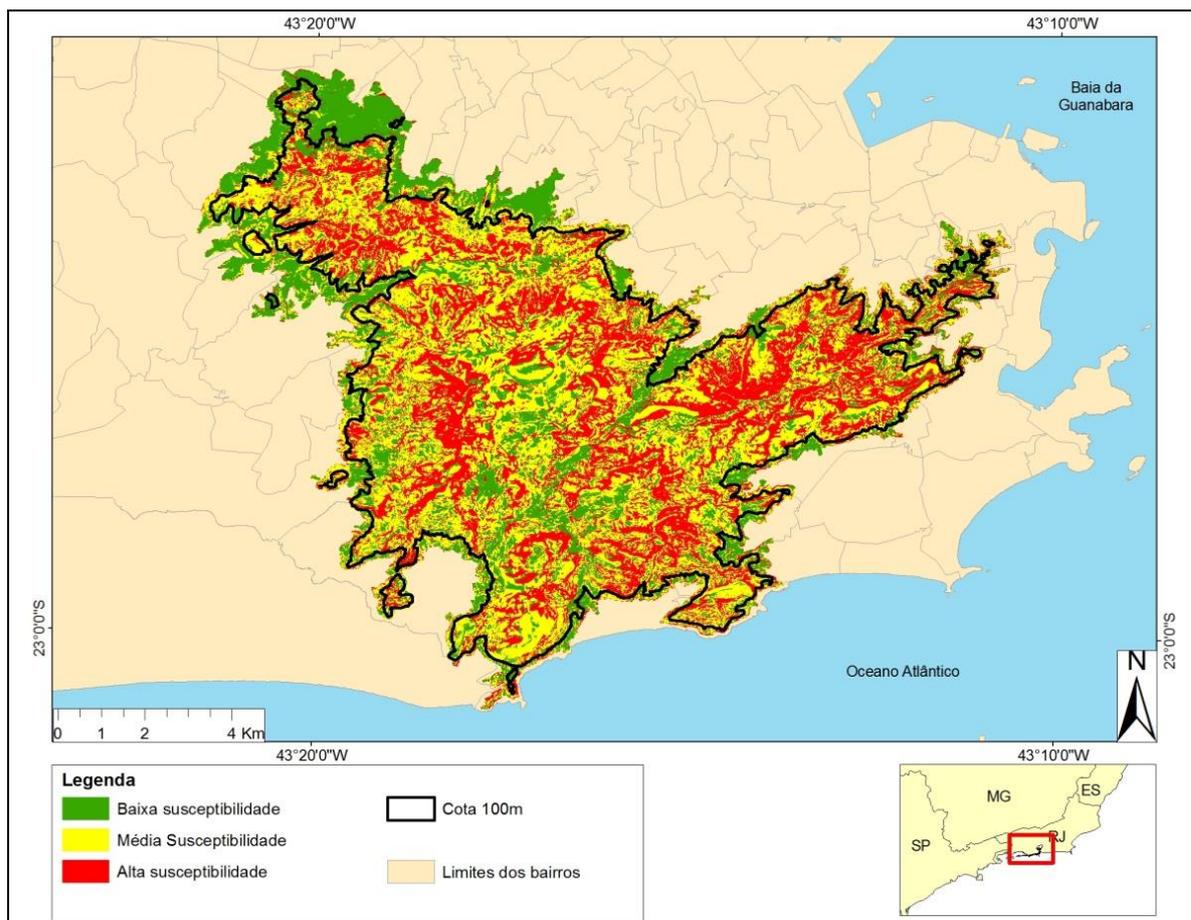


Figura 24: Mapa de susceptibilidade sobre a cota 100m.

Com a delimitação desta área, foram extraídas as áreas correspondentes a cada classe de susceptibilidade (gráficos 5 e 6).

Gráfico 5: Área do mapa de susceptibilidade a movimentos de massa acima da cota 100m

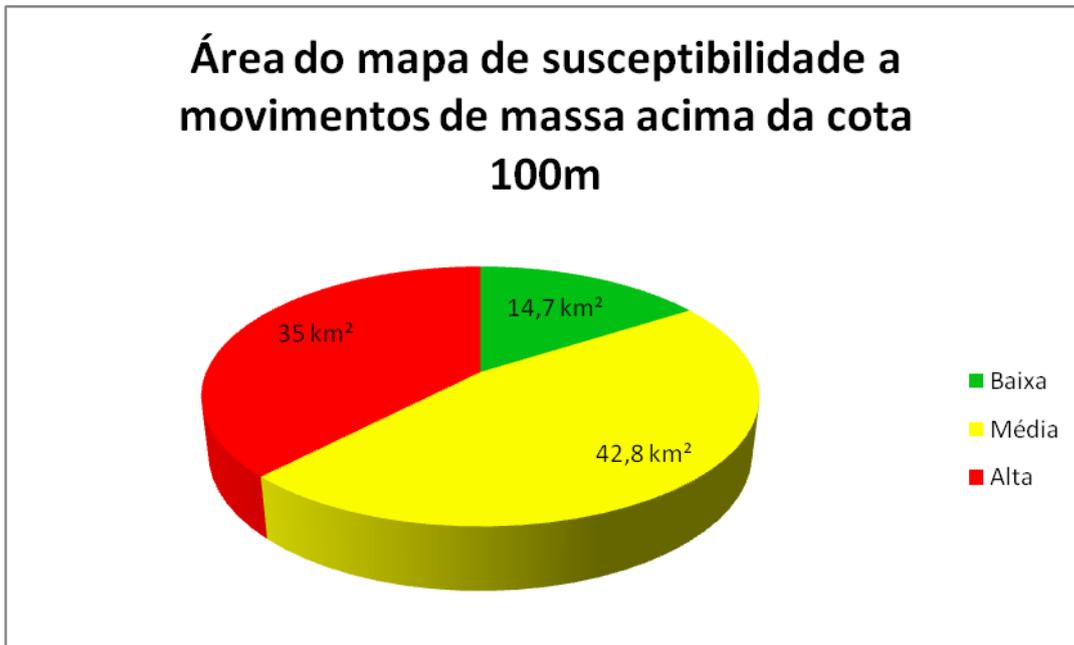
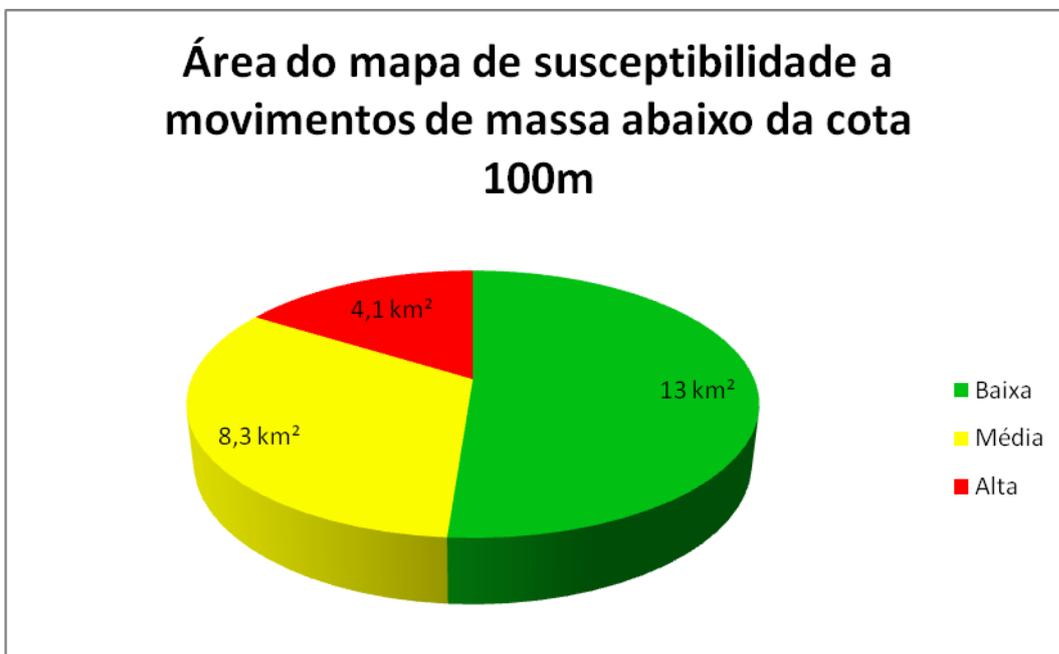


Gráfico 6: Área do mapa de susceptibilidade a movimentos de massa abaixo da cota 100m



A partir dos gráficos acima é possível a análise da distribuição das classes de susceptibilidade a movimentos de massa no Maciço da Tijuca. É visto que nas

áreas abaixo da cota 100m, as áreas de baixa susceptibilidade compreendem a mais da metade (51,2%) desta, seguido pelas áreas de média e alta susceptibilidade, 32,7% e 16,1%, respectivamente.

Enquanto nas áreas acima da cota 100m, vemos as áreas de média e alta susceptibilidade se destacando, com 46,3% e 37,8% respectivamente. A área de baixa susceptibilidade nesta porção do maciço possui somente 15,9%.

6

Considerações Finais

Com relação ao mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa no maciço da Tijuca, o critério utilizado para determinação do grau de risco adotado foi a classificação em três graus: Alto, Médio e Baixo. As áreas de risco Alto representaram 33% da área total; as áreas de Média mapeadas representaram cerca de 43% da área em estudo, ambas ocupando as áreas de maior declividade e altitude. A setorização das áreas de Baixa foi de 24%.

Graças ao mapa de susceptibilidade foi possível inferir que o Maciço da Tijuca está em sua maior parte inserido em áreas de média/alta susceptibilidade a movimentos de massa. É preciso destacar que as variáveis de maior peso foram a declividade e a cobertura da terra e os menores pesos considerados foram para as variáveis geologia e orientação das encostas. Isso indica que áreas de maior declividade são mais susceptíveis à degradação. Áreas de cobertura do solo classificadas por fragmentos florestais associadas a declividades superiores a 30° compõem as áreas mais susceptíveis à degradação.

A cobertura vegetal era considerada como fundamental para análise e prognóstico de movimentos de massa, porém foi constatado que a maioria dos movimentos mapeados ocorreu em áreas de declives acentuados (superiores a 30°), mostrando-se, assim, mais relevantes para os movimentos de abril de 2010. As feições ao norte apresentaram-se mais suscetíveis aos movimentos gravitacionais de massa que as feições voltadas ao Sul.

Como os modelos são formas simplificadas de representação da realidade, os modelos baseados na sobreposição por pesos permitem uma combinação mais flexível dos mapas. As tabelas de pesos entre os planos de informação podem ser ajustados de forma a refletirem a realidade local da maneira mais real possível. Este tipo de classificação possui como limitação o fato de os pesos de cada condicionante serem considerados constantes ao longo do plano de informação, o que muitas vezes não ocorre quando se considera o ambiente de forma holística. Muitas vezes, a conjunção de parâmetros numa dada localização faz com que um

determinado parâmetro, representado no plano de informação, passe a ter menos importância em uma dada região. Sua desvantagem seria a sua natureza linear.

O uso do geoprocessamento, juntamente com o conhecimento da área de estudo, fornece análise de cenários capazes de prever as classes susceptíveis a escorregamentos. A combinação das tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas oferece resultados satisfatórios para o mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa no maciço da Tijuca. Para a análise de uma região quanto à predisposição a movimentos de massa é necessária uma base de dados em escala coerente aos objetivos propostos. Apesar das limitações impostas pela questão da diminuição da escala – de escalas maiores para 1:10.000 – e pela impossibilidade da validação dos dados em campo foi possível relacionar de maneira bastante consistente os movimentos de massa de abril de 2010 com o mapeamento realizado neste estudo.

A utilização das cicatrizes dos deslizamentos de abril de 2010 foi considerada pertinente. Estes polígonos mapeados serviram como orientação para a distribuição dos pesos dentro das classes utilizadas e se mostrou bem preciso. Contudo, vale ressaltar que, para uma maior acurácia de mapeamentos subsequentes, seria necessário utilizar outros levantamentos de cicatrizes de anos distintos, a fim de gerar um mapa situacional mais preciso quanto aos movimentos de massa locais.

Embora tenha havido diferença entre o mapeamento realizado neste estudo e o realizado pela GEORIO, este resultado já era esperado em função da amplitude dos estudos da GEORIO que abarcavam todo o município do Rio de Janeiro, onde as áreas de baixada também foram mapeadas em função de sua susceptibilidade a movimentos de massa. Entretanto, no modelo desenvolvido neste estudo, foi verificada uma maior precisão quanto às áreas de susceptibilidade do que o mapa apresentado pela Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro.

Com relação à legislação do Plano Diretor municipal, foi verificada que a manutenção da cota 100m como impedimento para a construção de moradias é importante para a segurança destas moradias e do equilíbrio ambiental. Enquanto na área abaixo da cota 100m as áreas de alta susceptibilidade correspondem a

cerca de 16% até esta cota altimétrica; acima desta altitude as áreas consideradas de alta susceptibilidade passam a corresponder a 37,8%.

Pode-se afirmar que a avaliação/validação em campo, através de técnicas de geotecnia, seria o método mais eficiente para o mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa, porém a agilidade e a praticidade na aquisição e produção de dados remotamente atestam para a importância do uso destas ferramentas para o planejamento urbano. A possibilidade de geração deste mapa possibilita a construção de modelos de risco no futuro e pode ser utilizada em cidades como o Rio de Janeiro.

O mapeamento e avaliação da susceptibilidade na área em estudo revelou que o mesmo, em grande parte, está associado às grandes declividades. Os diversos movimentos de massa ocorridos na área tem demonstrado situações de extrema calamidade, com remoção das populações de suas residências, perdas materiais e humanas. Uma vez reconhecidas as áreas susceptíveis a movimentos de massa, é possível traçar melhores estratégias para o gerenciamento integrado dos recursos naturais da área de estudo e, assim, contribuir com referenciais cartográficos e temáticos como subsídio à elaboração de instrumentos para o gerenciamento dos recursos. O mapa de suscetibilidade a escorregamentos poderá ser utilizada pelo poder público, como ferramenta auxiliadora na tomada de decisões, tanto acerca das questões em áreas atualmente ocupadas quanto na avaliação de vetores de crescimento da cidade para o planejamento urbano. A presente dissertação pode ser considerada relevante no auxílio para implantação de futuras políticas públicas voltadas à uma urbanização que esteja atenta às condições ambientais locais.

Referências Bibliográficas

AMARAL, C. ; FERNANDES, N. . **Movimentos de Massa:** Uma abordagem conceitual. In: GUERRA. (Org.). Geomorfologia E Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996

AUGUSTO FILHO, O. 1992. **Caracterização geológico-geotécnica voltada À Estabilização De Encostas:** Uma Proposta Metodológica. In: Conferência Brasileira Sobre Estabilidade De Encostas, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos:** uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. Dissertação (mestrado em engenharia, escola Politécnica, USP). 1994

BIGARELLA, J.J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná.** Um problema de segurança ambiental e nacional. Curitiba. Secretaria de Planejamento do Paraná/ Associação de Defesa e Educação Ambiental. 1978.

BIGARELLA, J.J. et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis. Ed UFSC. 1996

BOLÓS, M.C. **Problemática Actual de los Estudios de Paisaje Integrado.** Revista de Geografia, Barcelona. 1981.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists:** modeling with GIS. Ottawa: Pergamon, 1996. 398p.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas:** Guia para Elaboração de Políticas Municipais – Brasília: Ministério das Cidades, 2006

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de**

Rios – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007

BRASIL, **Megacidades, Vulnerabilidades E Mudanças Climáticas:** Região Metropolitana do Rio de Janeiro, 2011

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012.** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF

BRASIL. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil** / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012b.

BRASIL. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Rio de Janeiro** / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012c.

BURROUGH, P. A.; VAREKAMP C.; SKIDMORE, A.K. **Using Public Domain Geostatistical and GIS Software for Spatial Interpolation.** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62 (7): 845-854, 1996.

CASTRO, A.L.C. **Manual de Desastres:** desastres naturais. Brasília. Ministério da Integração Nacional. 2003

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Capítulo 1, 2009.

CAMARGO, L.H.R. **O Tempo, o Caos e a Criatividade Ambiental:** Uma análise em Ecologia Profunda da Natureza Auto-Organizada. Dissertação de Mestrado, Unesa, Rio de Janeiro. 1999

CARPI Jr., S. **Identificação de riscos ambientais e proteção da água: uma aproximação necessária,** 2011, p. 32-59. In LIMA-GUIMARÃES, S. T., JUNIOR, S.C., BERRÍOS, M.B.R, TAVARES, A.C. Gestão de áreas de risco e desastres naturais. 1ed. Unesp. Rio Claro, 2012

CAVALCANTE, S. G. **Áreas com necessidades de proteção ambiental na reserva Biológica do Tinguá e sua Borda (RJ) definidas por**

Geoprocessamento. Seropédica: UFRRJ, 2001. Tese de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

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

COELHO NETTO, A. L. **A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da Tijuca** - desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. Revista do Departamento de Geografia, 16 (46-60), 2005

CRUZ, O. **A Serra do mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba-SP.** Anais da Academia Brasileira de Ciências. 1975.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2^a Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1980

CRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1999

DAGNINO, R.S.; CARPI JR, S. **Risco ambiental: conceitos e aplicações.** CLIMEP - Climatologia e Estudos da Paisagem, Rio Claro/SP, 2:2, p. 50-87, julho/dezembro 2007. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/artic le/view/1026/958>>.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006

EGLER, C.A. G. **Risco Ambiental como critério de gestão do território:** uma aplicação à zona costeira brasileira. Revista Território 1(1), 1996

FELL, R.; HUNGR, O.; LEROUEIL, S. & RIEMER, W., (2000) **Geotechnical engineering of the stability of natural slopes, and cuts and fills in soil**, palestra, Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, pp. 45-67.

FERNANDES, M.C. **Geoecologia do Maciço da Tijuca**: Uma abordagem geo-hidrológica. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 1998

FERNANDES, M. C., LAGUENS, J.V.M., COELHO NETTO, A. L . **O Processo de Ocupação por Favelas e sua Relação com os Eventos de Deslizamentos no Maciço da Tijuca, RJ**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ Volume 22. 1999

FERNANDES, M. C., AVELAR, A. S., COELHO NETTO, A. L. **Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ**: Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos, 2006

FERNANDES, N.F. AMARAL, C.P. **Movimentos de Massa: uma abordagem Geológico-Geomorfológica**. In: GUERRA & CUNHA (org.): Geomorfologia e Meio Ambiente. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 2000.

FORTUNATO e FORTUNATO NETO, T. A. **Risco ambiental à luz dos princípios da precaução e da prevenção**, 2011, p.12-31. In LIMA-GUIMARÃES, S. T., JUNIOR, S.C., BERRÍOS, M.B.R, TAVARES, A.C. Gestão de áreas de risco e desastres naturais. 1ed. Unesp. Rio Claro, 2012

FIGUEIRÓ, A. S. **Mudanças ambientais na interface floresta-cidade e riscos associados: uma análise a partir dos sistemas dissipativos**, 2011 In LIMA-GUIMARÃES, S. T., JUNIOR, S.C., BERRÍOS, M.B.R, TAVARES, A.C. Gestão de áreas de risco e desastres naturais. 1ed. Unesp. Rio Claro, 2012

FREITAS, L.E. (2001) **Efeitos do fogo sobre os ecossistemas: resultantes hidrológicas e erosivas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ

G1 (site), <http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL1561409-5606,00.html> reportagem de 4 de abril de 2010: **Mortos no Rio passam de 150, segundo bombeiros**. Acesso em 30 de outubro de 2012.

GEOHECO-UFRJ, SMAC-RJ (2000) **Estudos de Qualidade Ambiental do Geocossistema do Maciço da Tijuca** – subsídios à regulamentação da APARU do Alto da Boa Vista: Fase 2: Subsistema Hidrográfico da Baía de Guanabara (SSHBG) – (3o Relatório) Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Rio de Janeiro. 100p

GOODCHILD, M et al. **Integrating GIS and Spatial data analysis: problems and possibilities**. International Geographical Information Systems. Taylor e Francis, USA, 1992

GOUDIE, A. **The Enciclopaedic Dictionary of Phicial Geography**. Basil Blackwell Ltd; Oxford, Inglaterra, 1985

GOUDIE, A. VILES, H. **The Earth Tranformed – An introduction to Human Impacts on the Environment**. Oxford, Blackwell Publishers. 1997

GUARIGUATA, M.R. **Landslide disturbance and forest regeneration in the Upper Luquilo Mountains of Puerto Rico**. *Jounal of Ecology* 78. 1990.

GUERRA, J. T. **Geomorfologia Ambiental**. 1ed.Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2006.

GUERRA, A. T. **Encostas e Questão Ambiental**. In: Questão Ambiental: diferentes abordagens. CUNHA, S.B., GUERRA, A. T., A (org), 5ª ed – Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2009.

GUERRA, J. T. **Geomorfologia Urbana**. 1ed.Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2011.

GUY, H. P. **Sediment-control methods in urban development: Some examples and implications**. In: urban Geomorpholy. The Geological Society of America, Colorado, Estados Unidos. 1976

HORA, S. B; GOMES, R. L. **Mapeamento E Avaliação Do Risco A Inundação Do Rio Cachoeira Em Trecho Da Área Urbana Do Município De Itabuna/Ba.** Sociedade & natureza (UFU. Online), v. 21, p. 57-75, 2009

IPT. **Ocupação das encostas.** São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, 1991.

IBGE. **Censo 2010: população do Brasil é de 190.732.694 pessoas.** Notícia. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1766. Acesso em: 24 de ago. 2012.

International Strategy For Disaster Reduction – ISDR – UN. Secretariat. **United Nations documents related to disaster reduction 2000- 2007:** Advance copy. Geneva, UN. International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Secretariat, 2007

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 abril 2005, INPE, p. 2203-2210.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais:** conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LAVEL, A. La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. Guatemala: CEPREDENAC/PNUD, 2003

MARANDOLA JR, E.; HOGAN, D. J. **Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos.** Ambiente & Sociedade, Vol. VII, nº. 2, p. 95-109, jul./dez. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2004000200006 &lng=en&nrm=iso>..

MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias Conceitos básicos.** INPE-CRS. Santa Maria, 2008. 38p.

MAZUR, F.P.R & PONTES, L.R. **Caracterização socioambiental do Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro**. Encontro de Geógrafos da América Latina. Peru, 2013

MEIS, M.R.M. SILVA, J.X. (1967). **Contribuição ao estudo dos movimentos de massa ocorridos na Guanabara em janeiro de 1966 e fevereiro de 1967**. Revista Brasileira de Geografia, 30(1). Rio de Janeiro : IBGE. p. 55- 73.

MELLO, J. F. F., **Interpretação e Análise de SIG dos Movimentos de Massa Ocorridos no Maciço da Tijuca (2010), Município do Rio de Janeiro, Utilizando Imagens de Satélite da Alta Definição**. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia. 2011.

MONTEIRO, C. A. F. **The environmental quality in the Ribeirão Preto region, SP: an attempt**. In: Commission on environmental problems. São Paulo: UGI, 1982.

MORIN, E. O método, vol.4. **As ideias, seu habitat, sua vida, seus costumes, sua organização**. Rio Grande do Sul: Sulina, 1997

MORIN, E. **O método, vol.3**. A vida da vida. Rio Grande do Sul: Sulina, 1998

PETLEY, D.J. **Ground investigation, sampling and testing for studies of slope instability** In: BRUNSDEN & PRIOR (orgs): Slope Instability. Inglaterra. 1984.

PIRES, F.R.M (1988) **Arcabouço Geológico**, cap. 01 in: Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. (1998) Geomorfologia do Brasil, Ed. Bertrand, Rio de Janeiro, 388 p.

OLIVEIRA, R.R., et. al. **Significado ecológico da orientação de encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro**. Oecologia Brasiliensis, n1. 1997

OLIVEIRA, R.M.; et. al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas. EMBRAPA/IAC. 1999

OLIVEIRA, F.A. et. al. **Identificação e discriminação de áreas de risco no entorno urbano de Ipatinga, Brasil.** Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 7(1) 59. 2006

OLIVEIRA, R. C. de. **Desafios metodológicos no planejamento ambiental:** costa sul do estado da Bahia e Baixada Santista no estado de São Paulo, 2011

PARSONS A. J. **Hillslope Form.** Routledge, Nova York, Estados Unidos. 1998

PIRES, F.R.M. & HEILBRON, M.L. - **Estruturação e estratigrafia dos gnaisses do Rio de Janeiro, RJ.** In: Simpósio de Geologia do Sudeste, Resumos, Rio de Janeiro, SBG, p. 149-150, 1989.

RODRIGUES, M. **Geoprocessamento:** Um retrato atual. In: Revista Fator GIS, Ano 1, nº2. Curitiba. 1993

RODRIGUES, B. B.; **Proposta de Sistemática para tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais:** aplicação em Ouro Preto (MG). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, 2002.

RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. D.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia da paisagem:** uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: EDUFC, 2002.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia:** ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J.L.S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** 1993

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental:** teoria e prática. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SELBY, M.J. **Earth's Changing Surface:** introduction to geomorphology. Oxford University Press. 1985

SELBY, M. J. **Slopes and Weathering**. In: Human Activity and Environmental Process. Gregory & Walling (orgs) Ed Jons Wiley, Wex Sussex, Inglaterra. 1987.

SILVA, A. B., BRITES, R. S., SOUZA A. R **Caracterização do Meio Físico da Microbacia Quatro Bocas, em Angelim, Pe, E Sua Quantificação Por Sistema De Informação Geográfica**, Pesq. agropec. bras., Brasília, v.34, n.1, p.109-117, jan. 1999

SILVA, A.S. **Solos Urbanos**. In: GUERRA, J. T. Geomorfologia Urbana. 1ed.Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2011

SMALL, R. J. & CLARK, M. J., **Slopes and Weathering**. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra, 1982.

SOTCHAVA, V. B. **Estudos de Geossistemas**. Métodos em Questão. IG-USP, São Paulo, 1977.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre**. In:Biogeografia, São Paulo, n. 14, p. 1-24, 1978.

STRAUCH, J. C. M.; SOUZA, J. M.; MATTOSO, M. L. de Q.; **Estudo dos modelos de dados dos Sistemas de Informação Geográfica ARC/INFO e SPRING**. Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/ UFRJ, 1998.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Ed Edgard Blucher. São Paulo. 2003

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms**. Longman Scientific & Technical, 1991

TOBIN, G.A, MONTZ, B.E. **Natural hazards: explanation and integration**. New York: The Guilford Press, 1997.

TROLL, C. **A Paisagem Geográfica e sua Investigação**. Espaço e Cultura. Rio de Janeiro, 1997

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TURNER, M.G. **Landscape Ecology: effect of pattern on process.** In: Annual Review of Ecological Systems, vol. 10, nº 3, p. 171-197, 1989.

TURNER, M. GARDNER, R.H. & O'NEILL, R.V. **Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process.** Springer Edit. 2001.

VARMES, D.J. **Slope Movement Types and Processes Special.** 1978

VENTURI, I.A.B. **A Dimensão Territorial da Paisagem Geográfica.** Comunicação em mesa coordenada do VI Congresso brasileiro de Geógrafos – AGB, Goiânia. Publicado nos Anais do Encontro. 2004.

VEYRET, Y. **Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo: Contexto, 2007.

VIEIRA, I. M., KAZMIERCZAK, M. L., MALTA, F. J. N. C. **Proposta metodológica para identificação de áreas de risco de movimentos de massa em áreas de ocupação urbana.** Estudo de caso, Campos do Jordão, SP. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21, INPE, p. 3935-394

XAVIER DA SILVA, J. CARVALHO FILHO, L.M. **Sistemas de Informação Geográfica: Uma proposta metodológica.** Anais de IV Conferência Latino-Americana de Sistemas de Informação geográfica e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. EPUSP, São Paulo. 1993

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental.** Rio de Janeiro, 2001.

WP/WLI. **A Suggested Method for Reporting Landslide Causes ME Popescu** – Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 1994

WERNECK, B. R., SILVA, J.A.F. **Avaliação da susceptibilidade à degradação ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé-RJ com apoio do Geoprocessamento.** Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamago, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 4, n. 2, p. 155-171, jul. / dez. 2010

Z Aidan, R. T., XAVIER DA SILVA, J. , **Geoprocessamento & Análise Ambiental.** 2 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2007.