

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

BEATRIZ MARQUES GABELINI

SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO ENTRE
CARAGUATATUBA E SÃO SEBASTIÃO (SP): ANÁLISE
FISIOGRÁFICA E QUANTITATIVA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto G. V. Reis

Rio Claro - SP

2017

624.151 Gabelini, Beatriz Marques

G112

Suscetibilidade a escorregamentos na região entre Caraguatatuba e São Sebastião (SP): análise fisiográfica e quantitativa / Beatriz Marques Gabelini. - Rio Claro, 2017
119 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

1. Geologia de engenharia. 2. Análise quantitativa. 3.
Compartimentação fisiográfica. 4. SIG. I. Título.

BEATRIZ MARQUES GABELINI

SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NA REGIÃO ENTRE
CARAGUATATUBA E SÃO SEBASTIÃO (SP): ANÁLISE
FISIOGRÁFICA E QUANTITATIVA

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas do
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. José Eduardo Zaine
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho
EESC/USP/São Carlos (SP)

RESULTADO: APROVADA

Rio Claro, 30 de junho de 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Fábio Reis, pelos ensinamentos, conselhos e campos, que contribuíram imensamente para a minha formação.

Ao Prof. Zaine, pela sabedoria, pelos conselhos e boas conversas.

À todos os membros da banca, tanto de qualificação quanto de defesa, pelas contribuições feitas à este trabalho.

À Claudia, por me apresentar ao Prof. Fábio e por me ensinar tudo que sei sobre o ArcGis.

À Ana Maria, Camila, Rodrigo, Marina e Fernanda Menin por todo apoio, conversas e desabaços.

Aos colegas do laboratório GEMA, que trabalharam no mesmo projeto, que realizaram campo junto e que de alguma maneira fizeram com que essa jornada fosse mais leve.

Aos funcionários do Departamento de Geologia Aplicada, em especial a Marcinha e o André, que sempre estiveram dispostos a me ajudar.

À Rosangela, à Prof. Paulina e ao Prof. Cesar por toda ajuda nas partes burocráticas, com prazos e entrega de exemplares.

À Petrobras e a Capes pelo financiamento do projeto, auxílios financeiros e bolsa de estudo que me auxiliaram a desenvolver esta pesquisa.

Aos meus pais, pela sabedoria, pelos valores e por me ensinarem a nunca desistir dos meus sonhos. Eu amo vocês!

Aos meus irmãos e minha avó, que sempre me apoiam sem entenderem os meus planos.

Ao meu companheiro, pela paciência, pelo carinho e por caminharmos juntos, mesmo quando as coisas não são fáceis.

Por fim, agradeço a Deus, minha força maior!

RESUMO

Os escorregamentos são movimentos de massa recorrentes na Serra do Mar. Quando ocorrem de forma generalizada podem causar prejuízos e perdas de vidas, como no acidente ocorrido no município de Caraguatatuba (SP) em 1967. Com o intuito de evitar estes danos, na literatura, são propostos vários métodos para analisar e prever a ocorrência destes processos. Diante do exposto, o objetivo principal desta pesquisa consiste em analisar a suscetibilidade a escorregamentos na região entre Caraguatatuba e São Sebastião (SP), utilizando a compartimentação fisiográfica e a análise quantitativa. Para alcançar estes objetivos foi realizada a análise e compartimentação do terreno e a análise quantitativa dos fatores condicionantes (declividade, hipsometria e geologia) e da compartimentação fisiográfica. Foram testados, em ambiente SIG, diversos cenários a partir de dois métodos distintos. No Método 1, os fatores condicionantes foram analisados através de pesos de influência. No Método 2, os fatores condicionantes mantiveram os mesmos pesos do Método 1 e foram somados pesos para as classes de cada fator. A compartimentação fisiográfica definiu 16 unidades. Os resultados demonstraram que a maioria dos escorregamentos se concentraram na unidade fisiográfica IV e que há um controle topográfico na distribuição dos escorregamentos entre 100 e 400 m de altitude, em encostas com declividade entre 15° e 30°, compostas por gnaiss migmatítico e granito-gnaiss. Os mapas elaborados a partir do Método 2 apresentaram expressiva concordância com o mapeamento de cicatrizes de Fúlfaro et al. (1976). O cenário escolhido como mais coerente foi o Cenário O, em que houve 60% de influência da declividade, 30% de hipsometria e 10% de geologia. Portanto, a partir do estudo da suscetibilidade, por meio da análise fisiográfica e quantitativa, é possível afirmar que o fator que tem mais influência na ocorrência de escorregamentos, na área de estudo, é a declividade, seguida da hipsometria e geologia.

Palavras-chave: escorregamentos, suscetibilidade, compartimentação fisiográfica, análise quantitativa, SIG.

ABSTRACT

Landslides are recurrent mass movements in the Serra do Mar. When they occur in a generalized way, as in the event occurred in Caraguatatuba city (SP) in 1967, they can cause a lot of environmental damage and deaths. In order to avoid this damage, several methods were proposed to analyze and predict the occurrence of this process. Considering the above, the main objective of this research is to analyze the susceptibility to landslides in the region between Caraguatatuba and São Sebastião (SP), using physiographic compartmentalization and quantitative analysis. In order to achieve these objectives, a physiographic analysis of the study area was carried out by the method of physiographic compartmentalization. Topographic and geological factors, as well as a physiographic comparison were analyzed using percentages of Class Frequency, Scars Concentration and Disproportionality Factor. We tested several scenarios from two different methods in a GIS environment. Method 1 by which the conditioning factors were analyzed through influence weights and Method 2, which maintains the influence weight for the factors and includes weights to the classes of each factor. The physiographic compartmentalization defined 16 units. Our results showed that most of the landslides were concentrated in the Physiographic Unit IV, and a topographic control in the distribution of landslides between 100 and 400 m of altitude, in slopes with declivity between 15 and 30°, composed of migmatite gneiss and granite-gneiss. Method 2 presented significant agreement with the scar mapping of Fúlfaro et al. (1976), and the scenario chosen as more coherent was Scenario O, which presented 60% influence of declivity, 30% hypsometry and 10% geology. The application of the different methods was satisfactory and based on the results we considered the utilization of the physiographic compartmentalization and the probabilistic analysis as important tools in the prediction of susceptibility, thus being able to collaborate with the territorial and environmental management of the cities.

Keywords: landslides, susceptibility analysis, quantitative analysis, physiographic compartmentalization, GIS.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação dos movimentos de massa proposta por Sharpe (1938). ...	18
Quadro 2. Classificação dos movimentos de massa proposta por Varnes (1978). ...	18
Quadro 3. Classificação de movimentos de massa no Brasil	19
Quadro 4. Principais tipos de movimentos gravitacionais de massa associados a encostas (AUGUSTO FILHO, 1992).	20
Quadro 5. Principais fatores que influenciam na ocorrência de escorregamentos (Adaptado de CRUDEN e VARNES, 1996).....	24
Quadro 6. Hierarquização das classes taxonômicas por Vedovello e Mattos (1993).	26
Quadro 7. Etapas do processo de fotointerpretação pelo método lógico.	28
Quadro 8. Propriedades e fatores considerados na análise e interpretação da rede de drenagem e das formas de relevo em fotografias aéreas.	28
Quadro 9. Sequência de procedimentos proposta por Zaine (2011) para análise e fotointerpretação geomorfológica e geológica.	29
Quadro 10. Ênfases metodológicas do Uso e Ocupação no Brasil.	32
Quadro 11. Sistema de classificação de uso e ocupação da terra por Anderson et al (1979).....	32
Quadro 12. Sistema de classificação de uso e ocupação da terra do IBGE.	33
Quadro 13. Principais métodos de análise aplicados ao mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos	35
Quadro 14. Materiais utilizados na pesquisa.....	39
Quadro 15. Classificação de declividade por trabalhos.....	41
Quadro 16. Classificação e cores definidas para uso e ocupação da terra.....	42
Quadro 17. Classes dos três mapas temáticos	45
Quadro 18. Cenários e pesos de influência para os fatores condicionantes. Em destaque os cenários que foram selecionados, C, M, N e O.....	48
Quadro 19. Pesos de influência para as classes de cada fator condicionante.	49
Quadro 20. Testes de classes para áreas instável e estável	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais tipos de rupturas de escorregamentos.....	23
Figura 2. Fluxograma metodológico	37
Figura 3. Localização da área de estudo.....	54
Figura 4. Escorregamentos e corrida de massa ocorridos na catástrofe de 1967, em Caraguatuba (SP).	57
Figura 5. Distribuição das classes de uso e ocupação da terra por área (%). A classe “Outros” refere-se às classes: área industrial, cultura temporária, corpo d’água costeiro, área de mineração, cultura permanente, área descoberta e piscicultura....	60
Figura 6. Mapa de uso e ocupação da terra.....	61
Figura 7. Vista das escarpas (Unidade IV) para a planície litorânea (Unidade I) de Caraguatuba.	62
Figura 8. Planície litorânea em São Sebastião (Unidade I) e ao fundo Escarpas da Serra do Mar (Unidade VIII).	63
Figura 9. Morro Isolado (Unidade III) na planície litorânea (Unidade I)	65
Figura 10. Escarpas da Serra do Mar na Bacia do Rio Santo Antônio.	66
Figura 11. Escarpas da Serra do Mar (Unidade VIII) e planície de São Sebastião (Unidade I).....	69
Figura 12. Distribuição das cicatrizes dos escorregamentos mapeados (eixo x) em relação à área ocupada por cada uma (eixo y)	73
Figura 13. Distribuição percentual da área das cicatrizes.	73
Figura 14. Mapa Topográfico e cicatrizes de escorregamentos	74
Figura 15. Gráfico de Frequência de classe e Concentração de Cicatrizes para as Unidades Fisiográficas.	75
Figura 16. Gráfico do Fator de Desproporcionalidade das Unidades Fisiográficas.	76
Figura 17. Gráfico de frequência de classe e concentração de cicatrizes para as classes hipsométricas.....	77
Figura 18. Fator de Desproporcionalidade das classes hipsométricas.	78
Figura 19. Distribuição espacial das cicatrizes nas classes de hipsometria	80

Figura 20. Distribuição de Frequência (F) de classes de declividade e Concentração de Cicatrizes (CC) para os intervalos 0 – 5°, 5 – 15°, 15 – 25° e 25 – 45°, e maior que 45°.	81
Figura 21. Fator de Desproporcionalidade das classes de declividade para os intervalos entre 0 – 5°, 5 – 15°, 15 – 25°, 25 – 45° e maior que 45°.	82
Figura 22. Distribuição de Frequência (F) de classes de declividade e Concentração de Cicatrizes (CC) para os intervalos 0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°.	83
Figura 23. Fator de Desproporcionalidade das classes de declividade para os intervalos entre 0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°.	84
Figura 24. Distribuição de Cicatrizes no Mapa de Declividade	86
Figura 25. Gráfico de Frequência de classe e Concentração de Cicatrizes para as classes litológicas.	87
Figura 26. Gráfico do Fator de Desproporcionalidade das classes litológicas.	88
Figura 27. Mapa geológico com a distribuição das cicatrizes	89
Figura 28. Frequência (F) das classes de suscetibilidade dos mapas gerados sob as condições dos cenários C, M, N e O para o Método 1.	91
Figura 29. Distribuição da Concentração de Cicatriz em relação as classes de suscetibilidade para o Método 1.	92
Figura 30. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 1 no Cenário C (pesos de influência: 50% declividade, 40% hipsometria e 10% geologia).	93
Figura 31. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 1 no Cenário M (pesos de influência: 40% declividade, 40% hipsometria e 20% geologia).	94
Figura 32. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 1 no Cenário N (pesos de influência: 50% declividade, 30% hipsometria e 20% geologia).	95
Figura 33. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 1 no Cenário O (pesos de influência: 60% declividade, 30% hipsometria e 10% geologia).	96
Figura 34. Frequência (F) das classes de suscetibilidade dos mapas gerados sob as condições dos cenários C, M, N e O para o Método 2.	97

Figura 35. Distribuição da Concentração de Cicatriz em relação as classes de suscetibilidade para o Método 2.	98
Figura 36. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 2 no Cenário C (pesos de influência: 50% declividade, 40% hipsometria e 10% geologia).....	99
Figura 37. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 2 no Cenário M (pesos de influência: 40% declividade, 40% hipsometria e 20% geologia)	100
Figura 38. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 2 no Cenário N (pesos de influência: 50% declividade, 30% hipsometria e 20% geologia).....	101
Figura 39. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 2 no Cenário O (pesos de influência: 60% declividade, 30% hipsometria e 10% geologia).....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores absolutos e percentuais da área instável total e área instável com e sem cicatrizes para os cenários C, M, N e O a partir do Método 1 e 2. **103**

Tabela 2. Valores absolutos e percentuais da área estável total e área instável com e sem cicatrizes para os cenários C, M, N e O a partir do Método 1 e 2. **104**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Movimentos gravitacionais de massa e suas classificações	17
3.2 Escorregamentos	22
3.3 Compartimentação Fisiográfica.....	25
3.4 Análise e interpretação de produtos de sensoriamento remoto	26
3.5 Mapeamento de uso e ocupação	31
3.6 Análise de Suscetibilidade.....	33
4. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA	37
4.1. Levantamento bibliográfico e caracterização da área de estudo.....	38
4.2. Aquisição, organização e elaboração de dados cartográficos.....	38
4.2.1. Georreferenciamento dos Dados Cartográficos.....	39
4.2.2. Elaboração de Produtos Topográficos.....	40
4.2.3. Seleção do mapeamento de cicatrizes utilizado para as análises.....	41
4.2.4. Elaboração do Mapa de Uso e Ocupação da terra.....	41
4.3. Elaboração do Mapa de Compartimentação Fisiográfica	43
4.3.1. Trabalho de campo.....	44
4.4. Levantamento dos Fatores Condicionantes	45
4.5. Análise Quantitativa.....	45
4.6. Cenários de Análise de Suscetibilidade	47
4.6.1. Método 1.....	47
4.6.2. Método 2.....	48

4.7. Validação dos Cenários e Métodos	50
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	51
5.1. Geomorfologia.....	51
5.2. Geologia	55
5.3. Clima e anomalias climáticas	56
5.4. Vegetação	57
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
6.1. Mapa de Uso e Ocupação da terra	59
6.2. Mapa de Compartimentação Fisiográfica	62
6.2.1. Unidade I – Planície Litorânea	62
6.2.2. Unidade II – Rampas de Colúvio e Tálus.....	64
6.2.3. Unidade III – Morros isolados na Planície.....	64
6.2.4. Unidade IV – Escarpas da Serra do Mar e Morros em Granitos e Gnaisses	65
6.2.5. Unidade V – Gnaise migmatíticos em Escarpas com cristas levemente onduladas ...	67
6.2.6. Unidade VI – Gnaise migmatíticos em Morros Paralelos.....	67
6.2.7. Unidade VII – Morros acima das Escarpas	68
6.2.8. Unidade VIII – Gnaise migmatíticos em Escarpas	68
6.2.9. Unidade IX – Gnaise migmatíticos em Escarpas retilíneas	69
6.2.10. Unidade X – Montanhas com encostas retilíneas.....	70
6.2.11. Unidade XI – Montanhas com afloramentos rochosos	70
6.2.12. Unidade XII – Morros Arredondados.....	70
6.2.13. Unidade XIII – Morros Paralelos	71

6.2.14. Unidade XIV – Relevo montanhoso com afloramentos rochosos do tipo "Pão de açúcar"	71
6.2.15. Unidade XV – Mar de morros na Borda do Planalto Atlântico	72
6.2.16. Unidade XVI – Relevo montanhoso no Planalto do Juqueriquerê	72
6.3. Inventário de Cicatrizes	73
6.4. Análise da Compartimentação Fisiográfica, dos Fatores Topográficos e Geológico	75
6.4.1. Mapa de Compartimentação Fisiográfica.....	75
6.4.2. Mapa de Hipsometria	77
6.4.3. Mapa de Declividade	81
6.4.4. Mapa Geológico	87
6.5. Mapas de Suscetibilidade.....	90
6.5.1. Cenários do Método 1	90
6.5.2. Cenários do Método 2	97
6.5.3. Validação conjunta dos cenários e dos métodos	103
7. CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS.....	107
APÊNDICE 1.....	119

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa são processos geomórficos modeladores da superfície da Terra e configuram desenvolvimento de encosta principalmente em regiões montanhosas ou íngremes (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998; CROZIER, 1986; FERNANDES e AMARAL, 1996 e NERY, 2011). Estes podem ser classificados em rastejo, escorregamento, corrida de massa e queda (AUGUSTO FILHO, 1992).

Dentre os fenômenos classificados como desastres naturais no Brasil, os escorregamentos têm sido responsáveis pelo maior número de vítimas fatais e prejuízos financeiros (TOMINAGA, 2009). Entre os anos de 1988 e 2016, houve cerca de 3.460 mortes envolvendo eventos de escorregamentos, no Brasil (IPT, 2016).

Os escorregamentos são movimentos de massa recorrentes na Serra do Mar e podem ocorrer devido a fatores relacionados às características específicas do meio físico, a dinâmica de precipitação pluviométrica, a presença de vegetação nativa e ao tipo de uso e ocupação da terra (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998; CRUZ, 1974; FÚLFARO et al, 1976; NERY, 2015; VIEIRA, 2006).

Com o intuito de reduzir os acidentes que envolvam os processos de escorregamentos são realizados estudos de previsão ou suscetibilidade. A suscetibilidade pode ser definida como a predisposição de uma área a ocorrência de um determinado fenômeno, independente do poder de destruição e período de recorrência do mesmo.

A avaliação da suscetibilidade, de acordo com Einstein (1988), é resultante da combinação das informações do meio físico (declividade, tipo do revelo, clima, etc.) e do mapa de inventário de escorregamentos, considerando os principais condicionantes e desencadeadores do processo. Dentre os métodos encontrados na literatura, a suscetibilidade pode ser avaliada a partir de análises qualitativas e quantitativas, entre elas a análise por inventário, heurística, estatística e determinística.

O inventário é caracterizado pela análise da distribuição espacial e análise da densidade de escorregamentos em unidades de terreno. A abordagem heurística faz uma análise geomorfológica a partir da combinação de mapas, considerando

a opinião do especialista. A análise determinística se baseia nos modelos matemáticos, hidrológicos e de estabilidade de encosta, analisando os fatores de segurança.

Já a análise estatística se propõe a calcular a importância da contribuição dos fatores condicionantes dos escorregamentos e tem como objetivo a inter-relação entre os fatores e a distribuição de escorregamentos antigos e recentes na paisagem (SOATERS e VAN WESTEN, 1996). Este trabalho se baseou na análise estatística para realizar uma análise quantitativa dos fatores condicionantes aos processos de escorregamento, avaliando a distribuição espacial das cicatrizes.

Para o estudo do meio físico foi realizada a compartimentação fisiográfica, método que consiste na divisão de uma determinada região em áreas com características do meio físico semelhantes e distintas daquelas observadas em áreas adjacentes. A análise e compartimentação fisiográfica são realizadas através da integração de diferentes atributos do meio físico a partir da análise e interpretação de imagens aéreas (ZAINÉ, 2011).

Diante do exposto, escolheu-se como objeto de estudo uma área que abrange parte dos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião – SP, na Serra do Mar, e que fazem parte do contexto de intenso desenvolvimento econômico gerado pela implantação e ampliação de grandes empreendimentos regionais, como os casos da construção da Rodovia do Contorno de Caraguatatuba, a ampliação do porto de São Sebastião e implantação de rede de gasodutos e unidades industriais da Petróleo Brasil S.A. (PETROBRAS).

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é analisar a suscetibilidade a escorregamentos na região entre Caraguatatuba e São Sebastião (SP), utilizando a compartimentação fisiográfica e a análise quantitativa dos fatores condicionantes a estes processos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica em que esta dissertação está embasada, englobando conceitos e a classificação dos movimentos gravitacionais de massa, focando nos escorregamentos. Na sequência é abordado o método de compartimentação fisiográfica, a análise e a interpretação de produtos de sensoriamento remoto, o mapeamento de uso e ocupação e os métodos de análise de suscetibilidade.

3.1 Movimentos gravitacionais de massa e suas classificações

Os movimentos de dinâmica superficial são responsáveis pela modelagem da superfície da Terra, ou seja, pela evolução da dinâmica da paisagem, configurando o maior processo de desenvolvimento de encosta, especialmente em regiões montanhosas ou íngremes, como as escarpas da Serra do Mar (NERY, 2011). Crozier (1986) e Fernandes e Amaral (1996) afirmam que estes processos mobilizam os materiais nas vertentes, em direção às áreas mais planas, e promovem juntamente aos processos erosivos, o recuo das encostas e a formação de rampas coluvionares.

No âmbito internacional, a primeira classificação dos movimentos de massa considerada foi apresentada por Sharpe (1938) (**Quadro 1**), que se baseou em princípios físicos, correlacionando a natureza e a taxa de movimento, com a origem do material em movimento.

Após a classificação de Sharpe (1938), Tertzaghi (1950), Varnes (1978), Hunt (1984), Hutchinson (1988) e Sassa (1989) criaram novas classificações, mas é a classificação de Varnes (1978) (**Quadro 2**) que acrescentou como novos parâmetros de análise o tipo do movimento, o tipo de material, a taxa de movimentação, a geometria da área de ruptura e da área de deposição, a idade, as causas, o grau de ruptura da massa deslocada, a relação da geometria do deslizamento com a estrutura geológica e a geografia do local.

A classificação de movimentos de massa de Varnes (1978) é a mais utilizada no contexto internacional e segundo Tominaga (2007) é a classificação mais simples e com fácil aplicabilidade entre a teoria e a prática. Esta classificação é

mais simples e com fácil aplicabilidade entre a teoria e a prática. Esta classificação é considerada oficial pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG).

Quadro 1. Classificação dos movimentos de massa proposta por Sharpe (1938).

Natureza e Taxa de Movimento			Com aumento do conteúdo de gelo	Rocha ou solo ↔	Com aumento do conteúdo de água	
Corridas	Imperceptível		Solifluxão ↓	Rastejo (solo ou rocha) 	Solifluxão ↓	
	Lento e rápido	Transporte Glacial	Avalanche de detritos		Fluxo de terra Fluxo de lama Avalanche de detritos	Transporte Fluvial
Escorregamentos	Lento e rápido		↓	Escorregamento Escorregamento de detritos Escorregamento de rocha Queda de rocha	↓	

Fonte: Da Silva (2013).

Quadro 2. Classificação dos movimentos de massa proposta por Varnes (1978).

Tipo de Movimento	Tipo de Material		
	Rocha	Solos	
		Predominantemente Grosso	Predominantemente Fino
Quedas	Queda de blocos	Massa de solo e rocha	Queda de solo
Tombamentos	De blocos	Massa de solo e rocha	De solo
Escorregamentos	De blocos	Massa de solo e rocha	De solo
Expansões Laterais	De blocos	Massa de solo e rocha	De solo
Corridas ou Fluxos	De blocos	Massa de solo e rocha	De solo
Complexos	Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

Fonte: Adaptado de Vanacôr (2006).

A partir da classificação proposta por Varnes (1978) pesquisadores nacionais contextualizaram a proposta aos padrões climáticos brasileiros, ou seja, adaptaram o modelo para o clima tropical e subtropical úmido, como pode ser observado no **Quadro 3**. Neste sentido, a primeira proposta foi elaborada por Freire (1965) que categorizou os movimentos de massa em escoamento, escorregamento, subsidência e desabamento. Guidicini e Nieble (1984) aperfeiçoaram a classificação incluindo novas subdivisões aos tipos de movimento e acrescentou as formas de transição e movimentos complexos.

Quadro 3. Classificação de movimentos de massa no Brasil

FREIRE (1965)	GUIDICINI E NIEBLE (1984)	IPT (1988)	AUGUSTO FILHO (1992)
Escoamentos: Rastejo e corridas	Escoamentos: Rastejo e corridas	Rastejos Corridas de Massa	Rastejo
Escorregamentos: Rotacionais e Translacionais	Escorregamentos: Rotacionais, Translacionais, Quedas de Blocos e Quedas de Detritos.	Escorregamentos	Escorregamentos
Subsidências e Desabamentos	Subsidências: Subsidências, Recalques e Desabamentos	Quedas Tombamentos	Quedas
	Movimentos Complexos		Corridas

Elaborado pela autora.

Outros trabalhos se empenharam em aperfeiçoar as classificações propostas por Freire (1965) e Guidicini e Nieble (1984), dentre eles, o trabalho do IPT (1988) foi propor uma classificação considerasse a cinemática do movimento, o tipo de material e a geometria. Anos depois, Augusto Filho (1992) (**Quadro 4**) reorganizou a classificação e agrupou os processos em quatro grandes classes: rastejo, escorregamento, queda e corrida. Cada uma dessas classes pode ser subdividida de acordo com o material envolvido, com o tipo de mecânica e a velocidade de movimentação (AUGUSTO FILHO e CERRI, 1988).

Quadro 4. Principais tipos de movimentos gravitacionais de massa associados a encostas (AUGUSTO FILHO, 1992).

PROCESSOS	DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL
Rastejos (creep)	• Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada • Geometria indefinida
Escorregamentos (slides)	• Poucos planos de deslocamento (externos) • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material • Geometria e materiais variáveis: - Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com 1 plano de fraqueza. - Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas. - Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.
Quedas (falls)	• Sem planos de deslocamento • Movimentos tipo queda livre ou plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas e blocos etc. • Rolamento de matacão • Tombamento
Corridas (flows)	• Muitas superfícies de deslocamento • Movimento semelhante a de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo de drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rocha, detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Augusto Filho (1992).

Os fatores condicionantes dos movimentos de massa podem ser de origem natural ou antrópica e, de forma geral, são divididos em agentes predisponentes, agentes efetivos e agentes deflagradores. Segundo o IPT (2007), os agentes

predisponentes fazem parte do conjunto de características intrínsecas do meio natural como o complexo geológico-geomorfológico, o complexo hidrológico-climático, a vegetação e a gravidade. Portanto, são os fatores que predispõem ao movimento de massa sem a presença da ação antrópica.

Os agentes efetivos são diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos movimentos de massa, atuando como mecanismo que dá origem ao processo de ruptura de uma encosta e podem ser subdivididos em agentes preparatórios e imediatos. Dessa maneira, o agente preparatório está relacionado à pluviosidade, erosão pela água, variação de temperatura e umidade, e o agente imediato está associado à chuva intensa, erosão e ação antrópica. Ou seja, são os agentes efetivos que dão início ao movimento, incluindo influência das ações antrópicas (GUIDICINI e IWASA, 1976; IPT, 2007).

As pesquisas sobre movimentos de massas possuem extrema relevância no âmbito de evolução da paisagem, além de propiciar o conhecimento dos processos geológicos a fim de prever e evitar danos a sociedade como um todo. Dentre os trabalhos nacionais e internacionais, é possível observar evidências sobre a ocorrência de movimentos de massa em todas as partes do mundo, estes são comumente associados às áreas de cadeias montanhosas ou a terrenos íngremes, bem como às condições geológicas locais.

Sidle et al. (1985) e Gramani (2001) apontam alguns casos extremos desses eventos para o continente americano: Peru (1941; 1945; 1962; 1970; 1974), Equador (1987 e 1993); Chile (1961; 1971; 1991); Colômbia (1985); Venezuela (1999); Estados Unidos (1969 e 1982); Canadá (1903, 1959) e Guatemala (1976). No Brasil, os principais registros de movimentos de massa na região sul e sudeste ocorreram em: Santos (1928), Vale do Paraíba (1948), Serra das Araras (1967), Caraguatatuba (1967), Santos (1971), Campos do Jordão (1972), Bacia do Rio Tubarão (1974), Lavrinhas (1986), Petrópolis (1988), Bacia do Rio das Pedras - Cubatão (1994), Timbé do Sul (1995), Bacia do Rio das Pedras – Cubatão (1996), Ubatuba (1996), Rodovia Anchieta (1999), Campos do Jordão (2000), Vale do Itajaí (2008), Morro do carioca em Angra do Reis (2010), Córrego D'antas e Córrego das Vieiras (2011), Teresópolis (2011), Córrego do

Cuiabá em Petrópolis (2011), Serra da Prata em Morretes e Paranaguá (PR) (2011), Ribeirão do Cágado em Cubatão (2013), Córrego Guarda-mão em Itaoca (SP), São Sebastião (2016), Grande São Paulo (2016) (GRAMANI, 2001; SAKAI, 2014).

3.2 Escorregamentos

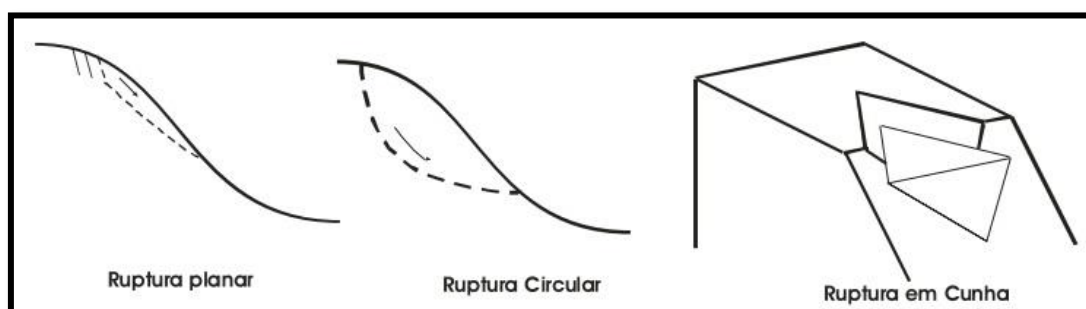
Os escorregamentos são caracterizados por movimentos rápidos (m/h a m/s), de curta duração, com plano de ruptura bem definido, em que é possível observar a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado (CROZIER, 1986; CRUDEN et al, 1994; VANACÔR, 2006). A velocidade do movimento depende da inclinação da superfície deslizando, da causa inicial do movimento e da natureza do terreno (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Sendo assim, os escorregamentos podem ser caracterizados com base na forma do plano de ruptura (**Figura 1**) (circular, planar ou em cunha) e no tipo de material (solo, rocha, mistura de solo e rocha) (FERNANDES e AMARAL, 1996).

Os escorregamentos circulares ou rotacionais (*slumps*) são caracterizados como movimentos que possuem uma superfície de ruptura circular, côncava para cima, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estão associadas aos pacotes de solos ou depósitos mais espessos e homogêneos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas (INFANTI JR e FORNASARI FILHO, 1998). Segundo Wolle e Carvalho (1994) na Serra do Mar esses escorregamentos estão associados ao topo e a cortes na base, sejam eles artificiais, como a implantação de uma estrada, ou naturais, como a erosão fluvial no sopé da encosta.

Os escorregamentos circulares ou rotacionais (*slumps*) são caracterizados como movimentos que possuem uma superfície de ruptura circular, côncava para cima, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estão associadas aos pacotes de solos ou depósitos mais espessos e homogêneos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas (INFANTI JR e FORNASARI FILHO, 1998). Segundo Wolle e Carvalho (1994) na Serra do Mar esses escorregamentos estão associados ao topo e a cortes na

base, sejam eles artificiais, como a implantação de uma estrada, ou naturais, como a erosão fluvial no sopé da encosta.

Figura 1. Principais tipos de rupturas de escorregamentos.



Fonte: Lopes, 2006.

Infanti Jr e Fornasari Filho (1998) afirmam que os escorregamentos planares (*shallow*) são processos frequentes nas encostas serranas brasileiras, envolvendo solos superficiais até o contato com a rocha, sendo ela alterada ou não. Estão associados a feições geológicas como foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc. São caracterizados pela superfície de ruptura plana, em geral, acompanham as descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no interior do material, com o deslocamento muito rápido de massa (FERNANDES e AMARAL, 1996; GUIDICINI e NIEBLE, 1984; SELBY, 1993).

Outro tipo de escorregamento, seguindo o parâmetro geométrico, é o de formato em cunha. Os escorregamentos em cunha ocorrem quando duas superfícies de estruturas planares instáveis condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. São mais comuns em taludes de corte ou em encostas que sofreram desconfinamento natural ou antrópico (INFANTI JR e FORNASARI FILHO, 1998).

Os escorregamentos ocorrem a partir de mecanismos de ruptura que levam à instabilização da encosta. Dentre eles, destaca-se o aumento da poro-pressão positiva e consequente diminuição do fator de segurança do talude, relacionado à saturação dos solos (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; HARP et al., 1990; SELBY, 1993; SIDLE et al., 1985; WOLLE e CARVALHO, 1989). Outro mecanismo é o da

perda da sucção (e da coesão aparente), relacionada ao aumento da umidade do solo decorrente do avanço da frente de infiltração, no qual a ruptura ocorre sem que a condição de saturação seja alcançada (FREDLUND, 1987). A instabilização da encosta também pode ser associada à queda de blocos e a abalos sísmicos. No **Quadro 5** é apresentada uma subdivisão dos principais fatores que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa, como os escorregamentos.

Quadro 5. Principais fatores que influenciam na ocorrência de escorregamentos (Adaptado de CRUDEN e VARNES, 1996).

Agentes geológicos	• Materiais alterados, enfraquecidos ou intemperizados • Materiais cisalhados, fissurados ou fraturados • Contrastes na permeabilidade • Contrastes na espessura
Agentes morfológicos	• Tectonismo ou vulcanismo • Qualquer tipo de erosão • Deposição no topo ou na base da encosta • Remoção da vegetação
Agentes físicos	• Chuva intensa ou excepcionalmente prolongada • Degelo repentino • Intemperismo por congelamento e degelo • Abalo sísmico • Erupção vulcânica
Agentes antrópicos	• Escavação da encosta ou de sua base (urbanização) • Sobrecarga no topo ou na encosta • Desmatamento • Irrigação • Mineração • Vibração artificial • Vazamentos

3.3 Compartimentação Fisiográfica

As primeiras ideias de compartimentação do terreno surgiram em pesquisas de Herbertson (1905) que repartiu o globo a partir de divisões naturais relacionados ao clima, geologia, orografia e vegetação. Fenneman (1916) utilizou este método para apresentar um mapeamento de unidades geoambientais. Bourne (1931) e Unstead (1933) buscaram sistematizar esta metodologia, expandindo este método na Europa e EUA.

Vedovello e Matos (1998) esclarecem que na época em que esses trabalhos foram produzidos existiam duas vertentes conceituais, a de caráter ecológico (paisagem) e a fisiográfica (geomórfica). Porém, com o decorrer dos anos, a compartimentação do terreno destinou-se a análise baseada na fisiografia. Sendo assim, passou a denominar-se como compartimentação fisiográfica.

Este método consiste na divisão de uma determinada região em áreas com características fisiográficas homogêneas e distintas daquelas observadas em áreas adjacentes. A compartimentação fisiográfica consiste em agrupar elementos do meio físico de acordo com suas semelhanças e diferenças, e tornou-se um método muito utilizado em trabalhos relacionados ao planejamento territorial e ambiental (OLIVEIRA, 2004; ZAINE, 2011).

Para Vedovello (2000), a compartimentação pode ser efetuada em diferentes escalas, sendo comum a denominação “classes” de unidades fisiográficas que englobam outras (em escalas maiores) ou por outras são englobadas (escalas menores). Essas divisões em classes são relacionadas às condições morfoambientais e genéticas de uma determinada área (taxonômicas). A hierarquização das classes taxonômicas é composta por Província, Zona, Subzona e Unidade e são definidas por Vedovello e Mattos (1993) como pode ser observado no **Quadro 6**.

Em cada nível hierárquico existem mudanças significativas, portanto, a compartimentação fisiográfica deve ser realizada analisando um ou alguns dos elementos do meio físico responsáveis por essas mudanças. (VEDOVELLO e MATTOS, 1993). Dessa forma, a compartimentação fisiográfica parte do princípio de que há uma correlação natural entre os elementos constituintes do

meio físico: solo, relevo, clima, recursos hídricos e substrato rochoso (MARETTI, 1998).

Quadro 6. Hierarquização das classes taxonômicas por Vedovello e Mattos (1993).

Níveis taxonômicos	Aspectos texturais de discriminação fisiográfica	Áreas compartimentadas
Província	Assimetria das formas de drenagem	Correspondem a compartimentos tectônicos atuais que englobam regiões com diversidade genética agora nas mesmas condições climáticas
Zona	Assimetria e tropia das formas de drenagem e relevo	Correspondem as áreas com grupos de rochas que apresentam diferenças genéticas e de evolução tectônica, apresentando resistências diversas à modelagem tectono-climática
Subzona	Grau e ordem de estruturação associadas às formas dos elementos texturais de drenagem e relevo	Correspondem às áreas definidas com base no tipo litológico, morfológico, de relevo e do tipo de sedimento, os quais apresentam composição físico-química específica que condiciona a modelagem das formas da paisagem.
Unidade (UBCs) Propriedades	Propriedades das formas dos elementos texturais de drenagem e relevo (tipo, arranjo, densidade, grau e ordem de estruturação)	Correspondem as unidades básicas do terreno associadas às geoformas (áreas onde há associação específica das formas de ocorrência de vários elementos fisiográficos da paisagem).

Fonte: Vedovello e Mattos (1993).

3.4 Análise e interpretação de produtos de sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é o emprego de imagens da superfície da terra para a realização de estudos. Quando o sensoriamento remoto opera a partir de imagens fotográficas da superfície terrestre, dá-se o nome de aerofotogrametria. A vantagem dessa técnica é que ela é simples e relativamente mais precisa, em função da proximidade das fotografias aplicadas.

Os produtos de sensoriamento remoto apresentam grande potencial para definição de compartimentos do meio físico uma vez que se constituem como objetos concretos (refletindo a organização espacial do meio físico) (VEDOVELLO, 1993). Soares et al. (1982) afirmam que as estruturas geológicas podem ser refletidas em superfície e esse reflexo é passível de identificação através de produtos de sensores remotos, por meios específicos de técnicas de análise e interpretação.

A fotointerpretação é uma ferramenta de análise de fotografias aéreas e imagens de satélite. As fotografias aéreas são os produtos mais utilizados em estudos do meio físico (Zaine, 2011). Sendo assim, a fotointerpretação possibilita a análise fisiográfica de diferentes compartimentos do terreno, a partir de propriedades como a rede de drenagem e relevo, a partir da homogeneidade e similaridade das unidades da paisagem (VEDOVELLO, 1993). Zaine (2011) afirma que a identificação de zonas homogêneas em imagens fotográficas é feita a partir das diferenças de homogeneidade, de tropia e de assimetria dos elementos texturais e de suas estruturas na imagem.

Dentre os trabalhos internacionais que sistematizaram os métodos clássicos de fotointerpretação destaca-se o trabalho de Guy (1966). Este autor desenvolveu o método lógico de fotointerpretação enfatizando a importância do uso de fotografias aéreas para interpretação e o mapeamento geológico. Riverau (1972) deu continuidade ao trabalho de Guy e estabeleceu parâmetros para análise de textura e estrutura das feições nas imagens.

Soares e Fiori (1976), em contexto nacional, contribuíram para pesquisa de fotointerpretação geológica, destacando a importância da prática para que o fotointérprete consiga desenvolver hábitos mentais e aptidões no processo de identificação e análise dos elementos da imagem. Estes autores sistematizaram **(Quadro 7)** o processo de fotointerpretação em 3 etapas.

A Fotoleitura está relacionada ao primeiro contato com a imagem, seja ela uma foto aérea, de radar ou satélite. Nessa etapa é necessário identificar elementos do meio, como a drenagem, o relevo, a vegetação, entre outros. Segundo Veneziani e Anjos (1982) esta etapa exige o conhecimento de técnicas e processo de obtenção da fotografia para o bom desempenho na análise e interpretação.

A etapa de Fotoanálise é um estudo das relações entre as imagens em que é possível separar os elementos naturais constituintes do relevo e da drenagem a fim de obter informações de cunho geológico. Nessa etapa estão envolvidas a análise de elemento de textura (relevo ou drenagem), a densidade de textura (quantidade de elementos texturais do mesmo tipo por unidade da área de imagem), a estrutura, forma e limites (VENEZIANI e ANJOS, 1982; SOARES e

FIORI, 1976). Por fim, a última etapa, é a Fotointerpretação em que são estabelecidas correlações entre a textura na imagem e as características e propriedades dos materiais (**Quadro 8**).

Quadro 7. Etapas do processo de fotointerpretação pelo método lógico.

ETAPAS	CARACTERÍSTICAS GERAIS
Fotoleitura	Reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes e sua repartição.
Fotoanálise	Estudo das relações entre as imagens, associação e ordenação das partes da imagem.
Fotointerpretação	Estudo da imagem fotográfica visando à descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos correspondentes às imagens.

Fonte: Adaptado de Soares e Fiori (1976).

Zaine (2011) sistematizou as ideias de Guy (1966), Riverau (1972), Soares e Fiori (1976), e de outros autores que pesquisaram o método de fotointerpretação geológica. Em forma de quadro (**Quadro 9**) unificou as propostas dos autores citados acrescentando informações de caráter geotécnico.

Quadro 8. Propriedades e fatores considerados na análise e interpretação da rede de drenagem e das formas de relevo em fotografias aéreas.

Fotoanálise		Fotointerpretação
Análise da rede de drenagem	Propriedades: a) densidade b) sinuosidade c) angularidade d) tropia e) assimetria f) lineações de drenagem	Fatores que controlam a textura e a estrutura da imagem: A. Morfogenéticos B. Litológicos a) Resistência à erosão b) Permeabilidade c) Plasticidade e ruptibilidade d) Solubilidade e) Tropia C. Deformacionais a) Atitudes das camadas b) Fraturas c) Falhas d) Dobras
Análise das formas de relevo	Propriedades (de textura e estrutura): a) densidade b) rupturas de declive (quebras positivas e negativas) c) assimetria d) lineações e) alinhamentos f) formas das encostas	

Fonte: Soares e Fiori (1976).

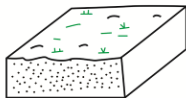
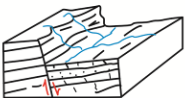
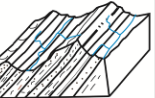
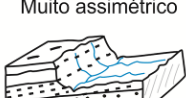
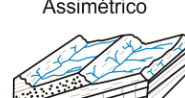
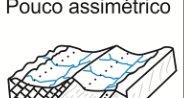
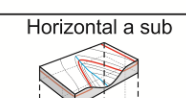
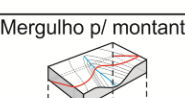
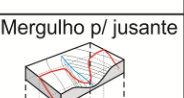
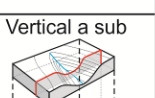
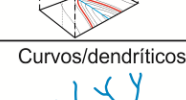
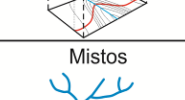
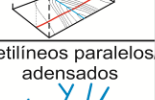
Quadro 9. Sequência de procedimentos proposta por Zaine (2011) para análise e fotointerpretação geomorfológica e geológica.

1. Análise da densidade textural		CLASSES		
Elementos de análise	Elementos de drenagem e relevo			
Critérios de análise	Densidade dos elementos de drenagem	Baixa (0 a 5/10 km²) 	Média (5 a 30/10 km²) 	Alta (> 30/ km²)
	Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno)	Baixa (mais lisa) 	Média 	Alta (mais rugosa)
Propriedade a ser interpretada	Permeabilidade (intergranular)	Alta (Permeável)	Média	Baixa (Pouco permeável a impermeável)
Aplicações Informações interpretadas por esta análise	Relação escoamento superficial/infiltração	Baixa	Média	Alta
	Espessura e características do manto de alteração	Grande (Espesso; > 5m)	Média	Pequena (Raso/rocha aflorante)

2. Análise das formas e características do relevo		CLASSES		
Elementos de análise	Declives, vertentes, topos, vales, rupturas de declive (quebras de relevo), cristas e escarpas			
Critérios de análise	a) Amplitude local (variações de cotas na unidade)	Pequena (0 a 100 m) 	Média (100 a 300 m) 	Grande(> 300 m)
	b) Declividade	Baixa (0 - 15%) 	Média (15 - 30%) 	Alta (> 30%)
	c) Forma de encosta / vertente (* representação em planta)	Convexa 	Côncava 	Retilínea
	d) Forma do vale (* representação em planta)	Aberto 		Fechado
	e) Forma do topo	Aplainados 	Arredondados 	Angulosos
	f) Feições particulares de relevo	Identificar e descrever. Associar modelos geológicos já conhecidos * Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al. (1995)		
Propriedades a serem interpretadas	Solubilidade	Não solúvel		Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	Média (Resistência média)	Alta (Muito resistente)
Aplicações Informações interpretadas por esta análise	Profundidade do topo rochoso	Profundo	Intermediário	Raso a sub aflorante
	Espessura de materiais inconsolidados	Espesso	Intermediário	Delgado a inexistente
	Grau de escavabilidade	Pouco resistente	Resistência média	Muito resistente
	Potencial a erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
Registros de processos geológicos	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a Alto	Alto

Continua

Continuação Quadro 9

3. Análise das estruturas geológicas		CLASSES			
Elementos de análise	Linhas de rupturas de declive (positivas = proeminentes; negativas = reentrâncias) Lineações e alinhamentos de relevo (traços de foliação e camadas), drenagem e traços de fratura				
Critérios de análise	a) Tópia	Não orientada 	Pouco orientada 	Orientada 	Muito orientada 
	b) Assimetria de relevo e drenagem (geometria das camadas)	Muito assimétrico 	Assimétrico 	Pouco assimétrico 	Simétrico 
	c) Regra dos Vs	Horizontal a sub 	Mergulho p/ montante 	Mergulho p/ jusante 	Vertical a sub 
	d) Sinuosidade* (drenagem)	Curvos/dendríticos 	Mistos 	Retilíneos não paralelos/espçados 	Retilíneos paralelos/adensados 
	e) Padrões reconhecidos e anomalias	Identificar e descrever. Associar à modelos geológicos já conhecidos. *Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al, (1995)			
Propriedades a serem interpretadas	Planos de estratificação e foliação metamórfica	Ausentes a pouco marcantes	Espçados	Adensados	
	Composição e estrutura	Homogênea	Mista	Heterogênea	
	Plasticidade/ruptibilidade (foliação x fraturas)	-	Rúptil	Dúctil	
	Grau de faturamento	Baixo	Médio	Alto	
	Permeabilidade Fissural	Baixa	Média	Alta	
Aplicações Informações interpretadas por esta análise	Partição em blocos: possibilidade de queda de blocos	Baixa	Média	Alta	

4. Análise complementar		CLASSES		
Elementos de análise	Tons de cinza ou coloração; vegetação e uso do solo; feições de processos geológicos			
Critérios de análise	Tons de cinza *	branco a cinza claro	cinza médio	cinza escuro a preto
	Coloração*	Claros, amarelados, róseos		Verdes escuros a pretos
Propriedades a serem interpretadas	Solos derivados de rochas básicas/ácidas ou arenosas/argilosas	Solos ácidos/ arenosos	Solos básicos/argilosos	
	Presença de água/umidade no solo	Solos secos	Solos úmidos	Corpos d´água**
	Cobertura vegetal	Sem vegetação a pastagem	Rasteiras e arbustivas	Arbóreas (florestas e reflorestamento)
Aplicações Informações interpretadas por esta análise	Solo exposto	Presente		Ausente
	Afloramentos e blocos rochosos	Presente		Ausente
	Presença de N.A. raso/aflorante	Profundo (> 5m)	Variável	Raso (aflorante < 2m)

* A análise deve considerar os diferentes tipos de uso do solo.

** Corpos d´água podem apresentar tons claros quando ocorre a reflexão da luz.

Fonte: Zaine (2011).

3.5 Mapeamento de uso e ocupação

O primeiro trabalho, em âmbito internacional, considerado como referência ao estudo de classificação do uso da terra surgiu a partir da organização de uma comissão mista formada em 1971, com a participação de órgãos federais dos EUA, o Departamento do Interior dos EUA, a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço – NASA, o Departamento de Agricultura e a participação da Associação de Geógrafos Americanos e da União Geográfica Internacional – UGI. O objetivo da comissão era desenvolver um sistema nacional de classificação que fosse receptivo a entrada de dados.

Em 1976, o Departamento do Interior dos EUA, publicou uma revisão do sistema de classificação de uso da terra de autoria de Anderson et al (1976), que posteriormente influenciou os estudos de uso e ocupação no Brasil.

Além deste estudo, outros trabalhos foram produzidos no mesmo contexto. A Comissão Europeia desenvolveu o programa *Corine Land Cover* abordando com prioridade as questões ambientais. Essa metodologia foi utilizada como base dos estudos realizados para a produção do Manual de Uso e Ocupação de Terras do IBGE.

Dentro da linha do pensamento geográfico, Pierre Monbeig, da escola francesa, estudou os gêneros da vida, as atividades humanas e o habitat existente no interior do Sul do Brasil. Os estudos das formas de uso e ocupação da terra, no Brasil, passaram a ter características mais definidas a partir do século XX.

O IBGE (2013) compilou **(Quadro10)** as ênfases metodológicas de estudos seguindo uma escala temporal.

O IBGE (2013) considera o trabalho de Anderson et al (1979) como um marco teórico-metodológico dos estudos contemporâneos do uso da terra, pois discute a importância do uso de novas tecnologias para obtenção de informações, propõe uma classificação do uso e demonstra uma preocupação ambiental.

Anderson et al (1979) propõe uma classificação baseada na característica da informação. **(Quadro 11)**

Quadro 10. Ênfases metodológicas do Uso e Ocupação no Brasil.

Escala temporal	Ênfases metodológicas
Década de 40	Estudos de colonização. Ex: estudos da colonização estrangeira no Sul do Brasil, exploração de viagens de reconhecimento.
Década de 50 e 60	Estudos espaciais de ocupação por produtos agrícolas e estudos regionais centrados em seus aspectos geográficos. Primeiro mapeamento da utilização da terra, por Elza Keller, 1969.
Década 70	Estudos baseados em estatística, uso intensivo da quantificação e modelagem nas análises de utilização da terra. Influências americanas e inglesas.
Projeto RADAM e RADAMBRASIL	Estudos com ênfase na avaliação da capacidade média de uso da terra e da capacidade econômica de uso dos recursos. Apoiaram-se na ponderação das feições geomorfológicas e tipos de solos.
Pós década de 80	Estudos voltados para o reconhecimento de padrões de uso da terra, principalmente para apoiar os estudos de análises integradas da paisagem. Houve a incorporação de técnicas de sensoriamento remoto para a interpretação analógica de fotografias aéreas. Foi introduzido o conceito de sistema de classificação para a identificação de tipologias de uso da terra.
Projeto RADAM + IBGE	Incorporação de estudos mesclando o conhecimento de cada instituição voltando-se para análise de ordenamento territorial e regional.

Fonte: adaptado de IBGE (2013).

Quadro 11. Sistema de classificação de uso e ocupação da terra por Anderson et al (1979).

Nível de classificação	Característica da informação
I	Dados de satélite como o LANDSAT
II	Dados de grandes altitudes, obtidos acima de 40 mil pés (Escala <1:80.000)
III	Dados de médias altitudes, obtidos entre 10 mil e 40 mil pés (1:20.000 < Escala > 1:80.000)
IV	Dados de pequenas altitudes, obtidos abaixo de 10 mil pés (Escala >1:20.000)

Fonte: Anderson et al. (1979).

A sugestão de classes para o primeiro nível foi à seguinte: Urbano e área construída; Agricultura; Pastagem; Floresta; Água; Área alagada; Área árida; Tundra, Área permanentemente congelada. Essas classes foram então

sucessivamente detalhadas para os níveis inferiores. O detalhamento da classe Urbano e área construída para o nível II é a seguinte: Residencial, Comercial, Industrial, Transporte, comunicação e utilidades, Urbano misto ou área construída, outros urbanos e áreas construídas.

O IBGE (2013) (**Quadro 12**) propõe uma classificação em três níveis, esta classificação é semelhante à proposta por Anderson et al (1979), pois tem um caráter geral e pouco específico.

É importante destacar que a metodologia brasileira não privilegia o estudo de áreas intraurbanas, estando voltada para os recursos naturais e econômicos. A metodologia de Anderson et al (1979), por trabalhar com diferentes escalas, prevê um detalhamento progressivo das áreas urbanas.

Quadro 12. Sistema de classificação de uso e ocupação da terra do IBGE.

Nível I	CLASSES: Áreas antrópicas não agrícolas, Áreas antrópicas agrícolas, Áreas de vegetação natural, Água e outras áreas.	Indica as principais categorias da cobertura terrestre no planeta, que podem ser discriminadas a partir da interpretação direta dos dados dos sensores remotos. Atendem aos usuários interessados em informações nacionais ou inter-regionais.
Nível II	SUBCLASSES: Áreas urbanizadas, áreas de mineração, Culturas temporárias, permanente, Pastagens, Silvicultura, Uso não identificado, Área florestal, Área campestre, Águas continentais, Águas costeiras e Áreas descobertas.	Traduz a cobertura e o uso em uma escala mais regional. Neste nível nem todas as categorias podem ser interpretadas com igual confiabilidade somente a partir de dados de sensores remotos, sendo necessário o uso de dados complementares e observações de campo.
Nível III	Explicita o uso da terra propriamente dito.	Neste patamar é imprescindível a utilização de dados exógenos aos sensores remotos, como aqueles obtidos a partir de observações em campo, de inventários, entrevistas e documentação em geral.

Fonte: adaptado de IBGE (2013).

3.6. Análise de Suscetibilidade

A suscetibilidade pode ser definida como a predisposição de uma área a ocorrência de um determinado fenômeno, independente do poder de destruição e período de recorrência do mesmo. Desse modo, a avaliação da suscetibilidade pressupõe a consideração de vários fatores (de ordem geológica, geomorfológica e antrópica) que condicionam a ocorrência dos escorregamentos.

A previsão da ocorrência de escorregamentos vem assumindo importância crescente na literatura geomorfológica e geotécnica, porém, há diferentes concepções do problema e distintas formas de investigação. A avaliação e a análise da suscetibilidade constituem uma etapa fundamental para a adoção de políticas e medidas adequadas para a redução dos efeitos dos desastres naturais.

De acordo com Einstein (1988) a avaliação da suscetibilidade é resultado da combinação das informações do meio físico e do mapa de inventário de cicatrizes. Portanto, uma ferramenta importante para esse tipo de análise é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), pois este permite combinar dados de fontes variadas a fim de resolver conflitos, elaborar cenários e fornecer suporte às decisões tomadas. Também é possível sobrepor mapas para correlacionar diferentes atributos ou fatores, em diversos estudos relacionados ao planejamento territorial e ambiental (BONHAM-CARTER, 1996).

Alguns trabalhos procuraram definir áreas críticas a escorregamentos, ou seja, áreas de maior suscetibilidade à ocorrência do processo (CARRARA et al., 1991; BARROS et al., 1992; GUZZETTI et al., 1999). Outros trabalhos buscaram caracterizar o risco envolvido, considerando a possibilidade da ocorrência do processo quanto aos danos decorrentes (AUGUSTO FILHO e WOLLE, 1996; CERRI, 1993; CRUDEN, 1996).

O mapa de suscetibilidade a escorregamento pode ser considerado como um indicativo da probabilidade de ocorrência de escorregamentos (CRUZ, 2007; EINSTEIN, 1988; FERNANDES et al 2001), refletindo a probabilidade da ocorrência espacial de futuros movimentos na vertente.

Existem muitos métodos de análise de suscetibilidade a escorregamentos na literatura. Não há um padrão a ser seguido, porém, é importante que o avaliador leve em consideração a escala de mapeamento, os dados disponíveis e o resultado esperado para a escolha do método mais adequado. Em geral, os métodos são qualitativos (inventário e Heurísticos) e quantitativos (estatísticos e determinísticos) (CARRARA et al., 1995; GUZZETTI et al., 1999; VAN VESTEN, 2004). O **Quadro 13** apresenta um resumo das principais características para cada método de análise de suscetibilidade.

Quadro 13. Principais métodos de análise aplicados ao mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos

Tipo de Análise	Características
Inventário	Análise da distribuição espacial e densidade dos escorregamentos.
Heurística	Considera a opinião de especialistas na atribuição de pesos nas variáveis analisadas, baseados no conhecimento a priori dos fatores que produzem a instabilidade.
Estatística	Calcula a importância da contribuição dos fatores condicionantes baseados nas relações observadas entre cada fator e a distribuição dos escorregamentos atuais e passados.
Determinística	Análise baseada no equilíbrio limite, em modelos hidrológicos e de estabilidade de encostas. Os dados de entrada provêm de ensaios de laboratório (parâmetros de resistência).

Fonte: adaptado de Carrara et al (1995), Van Westen (1994), Soaters e Van Westen (1996).

Os **mapas de inventário** permitem identificar e localizar os movimentos de massa, a partir da interpretação de fotografias aéreas ou imagens de satélite, trabalhos de campo e levantamento histórico de ocorrências. Juntamente com outras informações relevantes (ex. declividade, litologia, geomorfologia, entre outros) pode subsidiar o mapeamento de suscetibilidade, fornecendo um registro de ocorrências do passado e presente podendo determinar ocorrências no futuro (GRAMANI e KANJI, 2000). A vantagem de aplicação deste método está na simplicidade de execução, na análise da distribuição dos escorregamentos e na utilização como ferramenta de validação de produtos de modelagem matemática (GUZZETTI et al., 1999; VAN WESTEN, 1994; VAN WESTEN, 2006).

Na **análise heurística**, podem ser realizadas combinações de diferentes mapas, o pesquisador é responsável por decidir o grau de suscetibilidade com base em mapas temáticos qualitativos (ex. litologia, pedológico, topográfico, entre outros) e levantamento de campo. Esta análise tem como principal desvantagem a grande subjetividade contida na opinião do pesquisador, dessa forma, a falta de conhecimento sobre alguns fatores podem induzir a

generalizações, prejudicando a eficiência do trabalho (VAN WESTEN, 1993; CARRARA et al., 1995).

Enquanto método de análise de suscetibilidade, a **análise determinística** é associada a modelos matemáticos em bases físicas, e levam em considerações informações das encostas e são baseados em propriedades mecânicas do solo. Os processos são interpretados por um índice de estabilidade ou fator de segurança, que representa a razão entre a resistência e a tensão de cisalhamento (MORGENSTERN e SANGREY, 1978). O modelo exige dados de entrada para a realização dos cálculos do fator de segurança, como a espessura da camada do solo, resistência do solo, parâmetros topográficos, ângulos de encosta e condições de poro-pressão (GUIDICINI e NIEBLE, 1976 e VAN WESTEN, 1993)

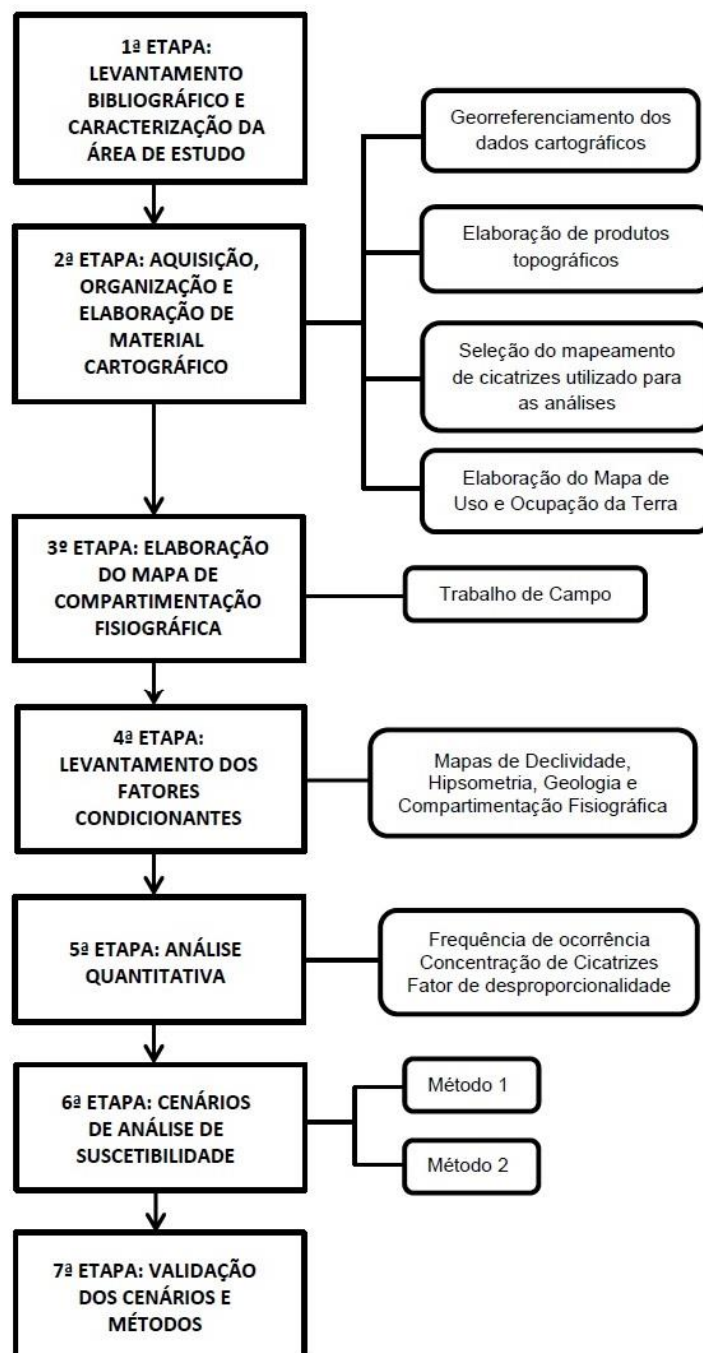
A **análise estatística** tem como objetivo a inter-relação entre os fatores condicionantes de instabilização e a distribuição de escorregamentos antigos e recentes na paisagem. Segundo Carrara et al (1995), nesta análise assume-se que os fatores que causaram escorregamentos em uma determinada área correspondam aos mesmos que poderão gerar escorregamentos futuros em outros locais. Esta análise faz uso da frequência ou densidade de escorregamentos por classe para a determinação de pesos, em busca de diminuir a subjetividade nos mapeamentos de áreas suscetíveis.

Este trabalho se baseou na análise estatística para realizar uma análise quantitativa dos fatores condicionantes aos processos de escorregamento, considerando a variabilidade espacial dos parâmetros relacionados aos escorregamentos, com base em retro análise e/ou trabalho de campo.

4. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA

Na **Figura 2**, são apresentadas as principais etapas e atividades adotadas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 2. Fluxograma metodológico



4.1. Levantamento bibliográfico e caracterização da área de estudo

Esta etapa foi importante para o resultado final desta pesquisa, pois, consistiu no levantamento de material publicado sobre o assunto e seleção de fontes dos referenciais teóricos e metodológicos. O levantamento bibliográfico ocorreu durante todo o período de realização da pesquisa. As palavras chaves selecionadas para pesquisa foram: *suscetibilidade, escorregamentos, Serra do Mar, compartimentação fisiográfica, uso e ocupação da terra*, além de Caraguatatuba e São Sebastião, para levantar estudos desenvolvidos na área.

Temas relacionados à classificação dos movimentos de massa, escorregamentos, análise de suscetibilidade, análise do meio físico, uso de produtos de sensoriamento remoto, compartimentação fisiográfica e uso e ocupação foram abordados para a fundamentação teórico-metodológica da pesquisa.

4.2. Aquisição, organização e elaboração de dados cartográficos.

Para compor a base cartográfica (**Quadro 14**) foram selecionadas folhas topográficas, mapas geomorfológicos e geológicos, que foram utilizados para contextualizar o meio físico e auxiliar na elaboração da compartimentação fisiográfica e na análise quantitativa.

Como fonte principal de informações para consulta e apoio durante a caracterização da área e a compartimentação fisiográfica, foram utilizadas as ortofotos e fotografias aéreas de 2011, disponibilizadas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa), em escala 1:25.000, com resolução média de 45 cm.

Quadro 14. Materiais utilizados na pesquisa.

MATERIAL	ESCALA	FONTE
Folhas Topográficas: Folha Maresias (SF-23-Y-D-V-4, 1973) Pico do Papagaio (SF-23-Y-D-V-2, 1974) Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1, 1974) São Sebastião (SF-23-Y-VI-3, 1975)	1:50.000	IBGE
Mapa Geomorfológico da Folha Caraguatatuba	1:50.000	HASUY, 1982
Mapa Geológico do litoral de São Paulo: Caraguatatuba	1:100.000	SUGUIO e MARTIN, 1978
Mapa Geológico da Folha Caraguatatuba	1:50.000	HASUY, 1982
Mapa Geológico da Folha Pico do Papagaio	1:50.000	DNPM/CPRM, 1991
Mapa Geológico da Folha São Sebastião	1:50.000	IG, 1996
Ortofotos e Fotografias aéreas	1:25.000	EMPLASA, 2011

Elaborado pela autora.

4.2.1. Georreferenciamento dos Dados Cartográficos

As cartas topográficas, em formato *raster*, foram georreferenciadas no programa *ArcGis 10.1* a partir da ferramenta *Georeferencing*. Estes documentos cartográficos foram georreferenciados a partir de quatro pontos de controle estabelecidos, com erro menor que 1 metro e determinadas com a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e do Datum SIRGAS2000, zona 23S, conforme as orientações do IBGE. As drenagens, curvas de nível, principais rodovias, limites municipais, áreas urbanas e o limite da área de estudo foram extraídos das cartas e vetorizados em formato *shapefile*. Além das folhas topográficas, os mapas de geologia e geomorfologia, que foram utilizados como documentos complementares para a caracterização das áreas e para a compartimentação fisiográfica, também foram georreferenciados e vetorizados, formando um banco de dados.

4.2.2. Elaboração de Produtos Topográficos

Os produtos topográficos foram elaborados após a vetorização. Os mapas hipsométrico e de declividade foram elaborados a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). O MDE foi criado no programa *ArcGis 10.1*, a partir da ferramenta “*Triangulated Irregular Network*” (TIN) e “*Create TIN*”. O MDE consiste em um modelo digital a partir das curvas de nível e pontos contados (que foram vetorizados), aonde ocorre a interpolação dos valores de altitude por meio da criação de triângulos entre uma linha e outra.

O mapa hipsométrico representa a elevação do terreno possibilitando o conhecimento do relevo da região, além de contribuir para o entendimento dos processos geológicos que ocorrem na superfície. Foram determinados 9 intervalos de hipsometria, sendo eles: 0 – 20, 20 – 100, 100 – 200, 200 – 300, 300 – 400, 400 – 500, 500 – 600, 600 – 900 e 900 – 1300 metros. Devido a grande amplitude da área de estudo, estas classes foram definidas a partir do mapeamento de cicatrizes que Fúlfaro et al. (1976) elaboraram, ou seja, foram determinadas a partir da análise das classes que continham escorregamentos.

O mapa de declividade também é um instrumento essencial para análise do relevo, pois este segmenta áreas a partir de níveis de inclinação do terreno. O estudo dos escorregamentos está relacionado com a inclinação do terreno. A literatura aponta para análises de suscetibilidade de escorregamento com diversas classificações de declividade (**Quadro 15**), dessa forma foram realizados alguns testes para validar as classes que seriam mais adequadas para análise da área de estudo em questão. Para discussão deste trabalho foram utilizadas as classes de 0-5°/5-15°/15-25°/25-45°/>45° (Leão, 2006; Lee e Pradhan, 2006; Marcelino, 2004) e as classes de Hadmoko (2017) e Delgado (2006) foram adaptadas, gerando as classes entre 0 - 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°.

Quadro 15. Classificação de declividade por trabalhos.

CLASSIFICAÇÕES	TRABALHOS
0-5°/5-15°/15-25°/25-45°/>45°	Leão, 2006; Lee e Pradhan, 2006; Marcelino, 2004
0-5°/5-15°/15-30°/30-45°/>45°	Da Silva, 2013
0-5°/5-15°/15-30°/30-50°/>50°	Pourghasemi, 2014
0-10°/10-20°/20-30°/30-40°/40-50°/>50°	Hadmoko, 2017
0-10°/10-20°/20-30°/30-45°/>45°	Delgado, 2006
0-20°/20-30°/30-40°/>40°	Carvalho e Riedel, 2004

Elaborado pela autora.

4.2.3. Seleção do mapeamento de cicatrizes utilizado para as análises

Por conta da dificuldade de obter fotografias aéreas dos anos posteriores ao evento ocorrido em 1967, em Caraguatatuba (SP), este trabalhou selecionou o trabalho de Fúlfaro et al. (1976), onde foi possível encontrar um mapeamento de cicatrizes de escorregamento gerado a partir de fotointerpretação de levantamento aerofotogramétrico da VASP de 1973. As análises desta pesquisa utilizaram o inventário de cicatrizes de Fúlfaro et al. (1976), que mapeou as cicatrizes em escala 1:25.000.

4.2.4. Elaboração do Mapa de Uso e Ocupação da terra

O Mapa de Uso e Ocupação da terra foi elaborada em escala 1:50.000, com o objetivo de avaliar e considerar a influência antrópica nos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião, de modo a associá-lo ao mapa de suscetibilidade a ocorrência de escorregamentos.

Para realização da classificação de uso e ocupação foram utilizadas as imagens aéreas (2011) disponibilizadas pela Emplasa no programa *ArcGis 10.1*. O uso dessas imagens possibilitou a interpretação dos alvos ao nível de detalhe,

pois, tem uma boa resolução média, cerca de 45 cm. O Google Earth foi utilizado como ferramenta auxiliar para melhorar o detalhamento do mapa de uso e ocupação.

Este mapeamento foi elaborado a partir da classificação de forma não automática, ou seja, pela classificação visual de interpretação dos alvos. Segundo Novo (2010), durante a análise visual são executados procedimentos de detecção (identificação dos objetivos visíveis), reconhecimento (atribuição de nomes aos objetos detectados), análise (interpretação pelo analista da informação obtida), dedução (conclusão a respeito da informação, que dependerá de informações de contexto, conhecimento espectral de alvos, conhecimento do problema estudado e região de estudo), classificação (determinação final da classe de informação de uso) e avaliação de precisão (são comparadas uma série de pontos da imagem classificada com dados de trabalhos de campos confirmando ou refutando a classificação efetuada).

Durante a produção do Mapa de Uso e Ocupação da Terra (**Quadro 16**), foram consideradas as feições previamente propostas pelo Manual Técnico de Uso da Terra elaborado pelo IBGE (2013).

Quadro 16. Classificação e cores definidas para uso e ocupação da terra.

CORES	CLASSES
	Área urbana
	Área industrial
	Área de mineração
	Área descoberta
	Corpo d'água
	Cultura temporária
	Cultura permanente
	Pastagem
	Mata Nativa

Fonte: IBGE (2013).

4.3.Elaboração do Mapa de Compartimentação Fisiográfica

Nesta pesquisa, o objetivo da elaboração do Mapa de Compartimentação Fisiográfica foi de avaliar o comportamento do meio físico nas áreas que abrange as Bacias dos Rios Barequeçaba, Camburu, Canivetal, Enseada, Perequê, Perequê-Mirim, Piraçununga, Ribeirão Grande, Ribeirão da Lagoa, Rio Claro, Santo Antônio, São Thomé, São Franscico, Vila Baby e Pau d'alho. Para a compartimentação foram utilizadas as fotografias aéreas disponibilizadas pela Emplasa, em escala 1:25.000, com resolução de 45 cm.

O Mapa de Compartimentação Fisiográfica teve como base os princípios de análise de fotointerpretação de fotografias aéreas utilizado por Zaine (2011), que se fundamentou em três etapas descritas por Soares e Fiori (1976):

- i. Fotoleitura: reconhecimento e identificação, nas fotografias aéreas, dos elementos que compõem a paisagem.
- ii. Fotoanálise: estudo das imagens a partir dos quadros de análises elaborados por Zaine (2011), seguindo as orientações de análise de densidade textural, análise das formas e características do relevo e análise das estruturas geológicas.
- iii. Fotointerpretação: identificação de alvos na superfície terrestre e na caracterização das unidades compartmentadas, de forma a identificar a função e relação das características das unidades fisiográficas delimitadas. (SOARES E FIORI, 1976; ZAINÉ, 2011).

Portanto, esta pesquisa baseou-se na análise dos atributos do meio físico para elaboração da compartimentação fisiográfica, através dos quadros de análise (**Quadro 9**) interpretativa proposto por Zaine (2011). A partir destes atributos foi possível elaborar uma tabela descritiva das unidades fisiográficas compartmentadas, a partir das suas semelhanças e diferenças. Essa tabela contempla, além dos atributos físicos, as descrições geológicas e as unidades geomorfológicas em que cada Unidade Fisiográfica está inserida.

4.3.1. Trabalho de campo

O levantamento de campo visou observar e validar cartograficamente as feições do relevo para verificar a compatibilidade das feições identificadas nas fotografias aéreas e usados para elaboração do mapa de compartimentação fisiográfica e do mapa de uso e ocupação da terra, além de caracterizar de forma mais detalhada as unidades e classes preliminarmente definidas em cada produto cartográfico citado.

Durante o levantamento de campo foi realizada uma análise tacto-visual dos materiais geológicos *in situ*, que foram analisadas de acordo com fichas de campo padronizadas no estilo *checklist*, essas fichas facilitam o trabalho a partir da organização de quesitos que podem ser observados abaixo:

- i. Caracterização geomorfológica - identificação das formas de relevo; morfologia de topo, encosta e vale; amplitude e declividade.
- ii. Caracterização do terreno – tipo de rocha (aflorante, sub-aflorante, matacão e rocha sã), tipo de solo (residual, aluvionar, coluvionar, tálus, matéria orgânica, entre outros), presença de feições tecnogênicas.
- iii. Perfil de alteração – material alterado, espessura e composição de seus horizontes, além da esquematização do perfil e documentação fotográfica;
- iv. Registro de processos geológicos e feições de instabilidade – classificação e magnitude.
- v. Uso e ocupação da terra e sua intervenções.

De acordo com Zuquette e Gandolfi (2004) as observações de campo possibilitam estabelecer uma relação com as informações obtidas previamente na fotointerpretação. Portanto, foram essenciais para a validação das unidades de compartimentação fisiográfica previamente estabelecidas.

4.4. Levantamento dos Fatores Condicionantes

Após a elaboração do Mapa de Compartimentação Fisiográfica e os trabalhos de campo foram selecionados os principais fatores condicionantes que foram analisados neste trabalho. Devido à dificuldade de acesso a maior parte da área de estudo, foram selecionados apenas os fatores: Declividade, Hipsometria e Geologia.

Dessa forma, foram elaborados mapas temáticos de declividade, hipsometria e geologia, com o objetivo de analisar a distribuição espacial das cicatrizes e auxiliar a interpretação dos mapas de suscetibilidade.

O mapa geológico foi confeccionado a partir da digitalização de dados compilados dos mapeamentos geológicos de HASUY (1982) e do IG (1996). Os mapas de hipsometria e declividade foram gerados a partir do MDE, seguindo as classes apresentadas no **Quadro 17**.

Quadro 17. Classes dos três mapas temáticos

MAPAS	CLASSES
Geologia	Depósitos aluvionares e coluvionares / Colúvio e Tálus / Gnaiss / Granito / Granito-Gnaiss / Gnaiss Migmatítico / Quartzitos / Xisto
Hipsometria (m)	0 – 20, 20 – 100, 100 – 200, 200 – 300, 300 – 400, 400 – 500, 500 – 600, 600 – 900 e 900 – 1300
Declividade (°)	0 - 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°

Elaborado pela autora.

4.5. Análise Quantitativa

Os mapas temáticos foram analisados com o apoio do programa *ArcGis 10.1* e o programa *Excel – Windows*. O cálculo de área de cada fator e de cada classe foi gerado a partir da ferramenta “*Calculate Geometry*” do *ArcGis 10.1*. Estes valores foram exportados para uma planilha gráfica e foi calculada a Frequência (F) de cada classe, ou seja, a razão entre a área de cada classe e o total da área de estudo.

Posteriormente, forem feitas outras análises, utilizando os mapas temáticos (Hipsometria, Declividade e Geologia) e de cicatrizes de escorregamento de Fúlfaro et al. (1976). Na ferramenta “*Intersect*” (ArcGis 10.1) foi realizada a intersecção de cada mapa temático com o mapa de cicatrizes a fim de identificar apenas as classes atingidas pelas cicatrizes. Tais valores foram também exportados para planilha gráfica e calculados os seguintes percentuais:

- Frequência de cada classe (F);
- Concentração de cicatrizes (CC), e;
- Fator de desproporcionalidade (FD).

A Frequência (%), área de cada classe, ou distribuição de cada classe, foi calculada pela razão entre a área de cada classe e a área total de estudo. A Concentração de Cicatriz (%) indica a distribuição do total de cicatrizes dentro da classe, e é calculada a partir da razão da área de escorregamentos da classe em relação à área total de escorregamento. Os valores de Frequência e Concentração de escorregamentos sempre terão totais iguais a 100%, pois se referem ao total da área e cicatrizes mapeadas (VIEIRA, 2007).

O Cálculo do Fator de Desproporcionalidade tem como objetivo identificar se a ocorrência de escorregamentos apresenta alguma tendência, ou seja, se incide alguma desproporcionalidade em determinada classe dos mapas utilizados. Portanto, um fator de desproporcionalidade (FD) foi empregado para avaliar a existência de eventuais desproporcionalidades entre área de incidência de escorregamentos (PI) e a área de ocorrência de cada variável (PA).

Considerando uma região r pré-estabelecida, o fator de desproporcionalidade de uma determinada variável i ($FD_{i,r}$) pode ser calculado pela relação entre a porcentagem em área dos escorregamentos da região r incidentes na variável i ($PI_{i,r}$) e a porcentagem em área da ocorrência da variável i na região r ($PA_{i,r}$):

$$FD_{i,r} = \frac{PI_{i,r}}{PA_{i,r}}$$

Em um cenário em que não há condicionante específico, o FD é igual a 1 para todas as variáveis avaliadas, pois neste caso a porcentagem de incidência de escorregamentos numa determinada área é proporcional a sua porcentagem de ocorrência em área.

Cenários onde os FDs calculados diferem de 1 podem sugerir a existência de condicionantes (geológicos, topográficos, antropológicos, etc), pois neste caso há desproporções entre a porcentagem de incidência de escorregamentos e a porcentagem de ocorrência em área das unidades.

4.6.Cenários de Análise de Suscetibilidade

Os mapas de suscetibilidade foram elaborados através da ferramenta “*Raster Calculator*” do programa *Arcgis 10.1*, esta ferramenta sobrepõe os mapas temáticos no formato *raster*. Portanto, os mapas temáticos no formato *shapefile* foram transformados em *raster*, na ferramenta “*Polygon to Raster*”, para dar continuidade ao processamento. Assim, transformados em *raster*, foram incluídos no “*Raster Calculator*”, onde foi inserido o peso determinado para cada fator.

O produto do “*Raster Calculator*” foi reclassificado por “*Natural Breaks*” definindo cinco classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta), em tons de verde (muito baixo) a vermelho (muito alto).

Foram realizadas quatorze testes de cenários (**Quadro 18**) com pesos de influência (%). Para a análise desta pesquisa foram selecionados os quatro (C, M, N e O) resultados que mais se adequaram ao estudo de escorregamentos e que mais foram coerentes com o mapeamento de cicatrizes elaborado por Fúlfaro et al. (1976). Os quatro cenários selecionados (C, M, N, O) foram analisados por dois métodos, que serão explicados a seguir.

4.6.1. Método 1

No Método 1, a suscetibilidade foi gerada a partir de pesos de influência (%) para os fatores condicionantes (**Quadro 18**). Após a seleção dos cenários C, M, N e O, os processamentos foram realizados no *ArcGis 10.1*, conforme apresentado no item 4.6. Cenários de Análise de Suscetibilidade. Além de gerar um mapa para cada cenário, foi realizada uma análise da Frequência da classe (F) e da Concentração de Cicatriz (CC) a fim de comparar as classes de suscetibilidade e notar as diferenças entre um cenário e outro.

Quadro 18. Cenários e pesos de influência para os fatores condicionantes. Em destaque os cenários que foram selecionados, C, M, N e O.

CENÁRIOS	Pesos de Influência (%)		
	DECLIVIDADE	HIPSOMETRIA	GEOLOGIA
A	33,3	33,3	33,3
B	50	25	25
C	50	40	10
D	50	10	40
E	70	20	10
F	70	10	20
G	60	20	20
H	60	10	30
I	80	10	10
J	40	30	10
L	30	10	60
M	40	40	20
N	50	30	20
O	60	30	10

Elaborado pela autora.

4.6.2. Método 2

No Método 2, utilizou-se o mesmo peso de influência para os fatores (**Quadro 18**), mas junto com estes pesos foram acrescentados pesos para cada classe de cada fator (**Quadro 19**). Os pesos foram determinados em uma escala de 1 a 5, onde 1 é o menos suscetível e 5 o mais suscetível.

Portanto, para o Método 2 foi realizada uma ponderação em cima das cicatrizes mapeadas por Fúlfaro et al. (1976) para elencar pesos para as classes dos fatores. O fator geologia foi baseado tanto nas cicatrizes de Fúlfaro et al. (1976) como no conhecimento de um grupo de especialistas quanto ao tipo de solo que estes materiais tendem a formar. Assim, de maneira subjetiva, foram determinados pesos para cada classe dos fatores (**Quadro 19**).

Quadro 19. Pesos de influência para as classes de cada fator condicionante.

HIPSOMETRIA (m)	PESOS
0-20	2
20-100	3
100-200	5
200-300	5
300-400	5
400-500	5
500-600	3
600-900	3
900-1300	1
DECLIVIDADE (°)	PESOS
0-10	1
10-15	2
15-30	5
30-45	4
Acima de 45	3
GEOLOGIA	PESOS
Areias, siltes e argilas	1
Colúvio e tálus	4
Gnaisse	5
Granito	3
Granito-Gnaisse	3
Gnaisse-migmatítico	5
Xisto	2
Quartzito	2

Elaborado pela autora.

Também foi realizada para o Método 2, a análise da Frequência de Classe (F) e Concentração de Cicatriz (CC) de todos os cenários.

4.7. Validação dos Cenários e Métodos

A validação dos mapas de suscetibilidade gerados pelo *ArcGIS 10.1* foi feita a partir da concordância entre os mapas de suscetibilidade e o mapeamento de cicatrizes de Fúlfaro et al. (1976). Segundo Salciarini et al. (2006) e Vieira (2007), um mapa de suscetibilidade ideal deve aumentar a concordância entre a área prevista dos escorregamentos e área mapeada, minimizando a área prevista como instável.

Com base neste argumento foram realizadas análises para avaliar esta concordância. Estas análises foram realizadas a partir da divisão das classes de suscetibilidade em áreas estáveis e áreas instáveis. Para determinar quais classes de suscetibilidade seriam mais adequadas às áreas instáveis e estáveis, foram realizados testes (**Quadro 20**). A diferença estava em qual área (instável ou estável) a classe média se encaixaria. O teste b apresentou os melhores resultados, no qual a classe média está inclusa na área instável. Portanto, para as áreas instáveis foi considerada a soma das classes média, alta e muito alta suscetibilidade e para as classes estáveis, a soma das classes muito baixa e baixa suscetibilidade.

Quadro 20. Testes de classes para áreas instável e estável

Testes	Área Instável	Área Estável
a	Muito alta Alta	Muito baixa Baixa Média
b	Muito alta Alta Média	Muito baixa Baixa

A partir da ferramenta “*Intersect*” do *ArcGIS 10.1* foi possível identificar, a partir do mapa de suscetibilidade o valor total da área de cada classe e aquelas afetadas pelos escorregamentos. Esses valores foram exportados para uma planilha gráfica e foram calculados os valores absolutos e percentuais da área dos seguintes grupos, são eles:

- i. Total de área prevista como Instável

- ii. Total de área prevista como Instável com cicatrizes
- iii. Total de área prevista como Instável sem cicatrizes
- iv. Total de área prevista como Estável
- v. Total de área prevista como Estável com cicatrizes
- vi. Total de área prevista como Estável sem cicatrizes

Um mapa de suscetibilidade mais próximo da realidade deve ter os menores valores percentuais para as áreas instáveis sem cicatrizes e estáveis com cicatrizes.

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Caraguatatuba localiza-se no litoral norte do Estado de São Paulo, a 175 km de distância da capital São Paulo. A área total do município é de 485 097 km², com cerca de 70% de seu território situado em Unidade de Conservação, e sua população é de 113 317 habitantes. O município de São Sebastião, vizinho do município de Caraguatatuba, possui uma área total de 399 679 km² e 83 020 habitantes. (IBGE, 2015) O presente trabalho focou sua análise na área onde se localizam Bacias dos Rios Barequeçaba, Camburu, Canivetal, Enseada, Perequê, Perequê-Mirim, Piraçununga, Ribeirão Grande, Ribeirão da Lagoa, Rio Claro, Santo Antônio, São Thomé, São Franscico, Vila Baby e Pau d'alho, cuja extensão é de aproximadamente 497 km². (IBGE, 2015) **(Figura 3)**

5.1. Geomorfologia

Caraguatatuba e São Sebastião (SP) estão localizados no domínio da Serra do Mar. A Serra do Mar é um conjunto de escarpas festonadas que configura a costa leste do Brasil, de Santa Catarina até o Rio de Janeiro. A região da área de estudo compreende parte da Serra do Mar em território paulista.

No contexto geomorfológico, a área de estudo se insere na unidade morfoescultural do Planalto Atlântico sendo sustentado basicamente por

granitos, gnaisses, migmatitos, micaxistos e apresentando relevo bastante dissecado, com encostas íngremes e alta densidade de drenagem associadas com as falhas, fraturas e contatos litológicos. (ROSS e MOROZ, 1997)

Também está inserida na unidade morfoescultural Serrania Costeira e Zona da Baixada Litorânea. A Serrania Costeira representa o front da serra, com altitudes de até 1200 metros, apresentando feições como escarpas festonadas, espigões, serras alongadas, morros paralelos e morros isolados. As Baixadas Litorâneas são representadas por relevos baixos com altitudes inferiores a 70 metros, apresentando elevações que separam pequenas planícies e enseadas. (CRUZ, 1974).

Cruz (1974) compartimentou o relevo do município de Caraguatatuba em três: planalto, escarpa e planícies litorâneas. Segundo o IPT (1987), o substrato rochoso do planalto e da escarpa é composto por granitos-gnaiss, migmatitos e micaxistos.

O planalto apresenta, de forma predominante, relevo mamelonizado com altitudes entre 800 a 900 e acima de 900 m, com amplitude topográfica variando entre 20 a 200 m (até 400 m em alguns pontos) e presença de escarpas retilinizadas. A rede de drenagem nas cabeceiras é do tipo dendrítica, passando a retilínea, retangular e em treliça, em resposta ao arranjo estrutural, principalmente nos médios e baixos cursos.

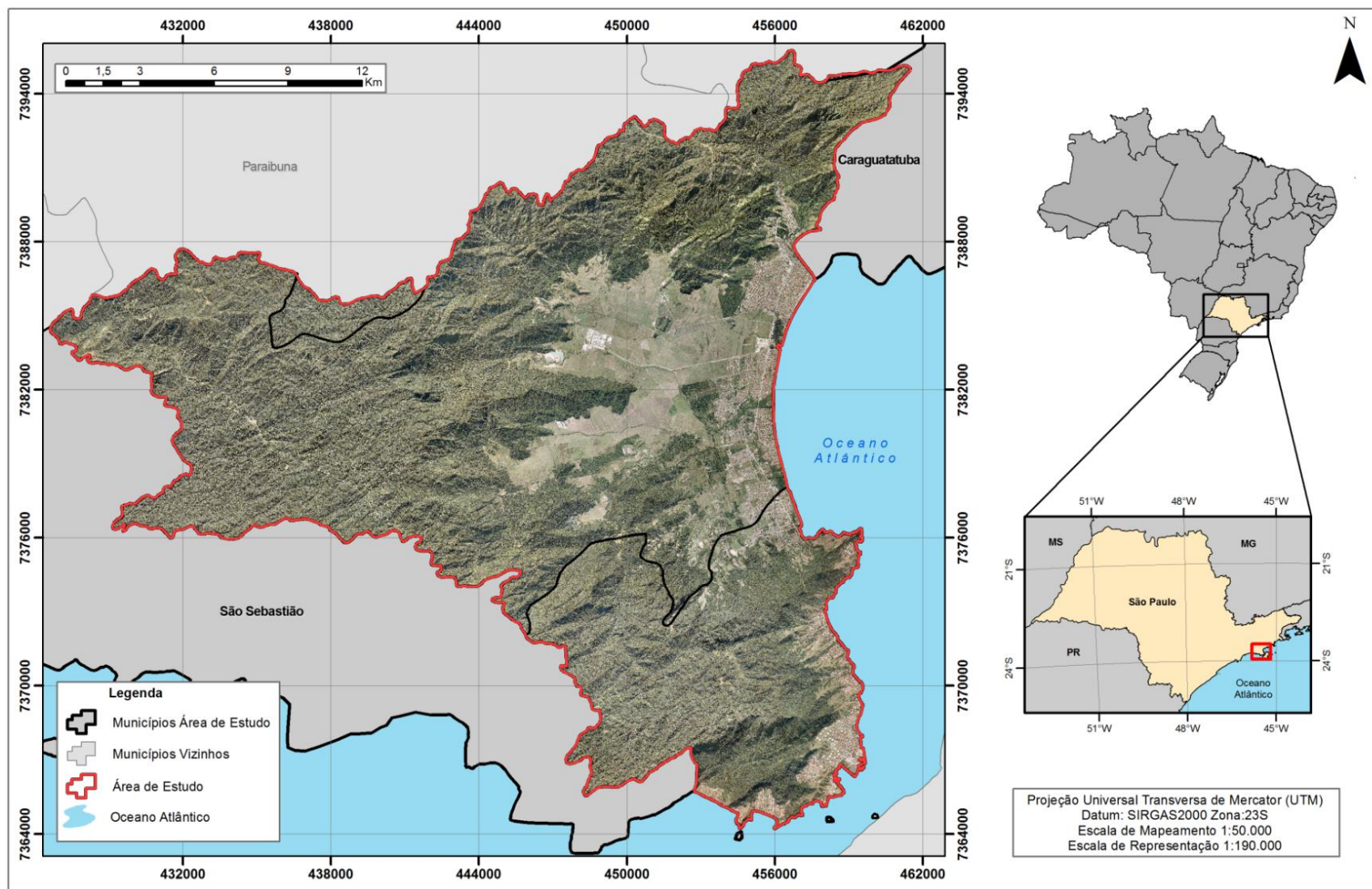
As escarpas (< 800 metros) são caracterizadas pela influência estrutural, com encostas predominantemente côncavo-convexa, íngremes nas partes mais altas, com ocorrência de baixos níveis e patamares intermediários e rampas de desgastes, com encostas mais suaves (CRUZ, 1974). Os vales são profundamente entalhados, apresentam formato em “V”, caracterizando o controle litológico e estrutural da região. Os sistemas de drenagens formam pequenas bacias em forma de anfiteatro.

As planícies litorâneas são as áreas de deposição onde são encontradas as depressões úmidas como solos húmicos, terraços fluviais e colúvio–aluviais, bem como, terraços e taludes de detritos coluviais de pé de encosta. A drenagem nestes locais segue o traçado condicionado à evolução e progressão dos depósitos (CRUZ, 1974).

Há também a formação dos corpos de colúvio/tálus a partir da remoção e deslocamento dos solos, principalmente na parte superior da encosta por meio dos movimentos de massa e/ou por escoamento superficial, tendo na época da estação chuvosa uma remoção mais intensa.

A Serra do Mar é um dos domínios geomorfológicos mais importantes do Brasil, não apenas em função da sua gênese, mas também por interligar os maiores portos de importação e exportação da região Sul e Sudeste; porém, é um dos principais compartimentos geomorfológicos afetados por escorregamentos rasos (NERY, 2016).

Figura 3. Localização da área de estudo



5.2.Geologia

A área de estudo está inserida no Sistema Orogênico Mantiqueira ou Província Mantiqueira, caracterizada por evolução Neoproterozoica, conhecida como Ciclo Brasileiro, que deu origem ao Supercontinente Gondwana, entre 900 e 520 Ma. Dentro da Província Mantiqueira, os municípios de Caraguatatuba e São Sebastião estão inseridos na Faixa Ribeira, ao longo da região costeira, em áreas que contemplam parte do Complexo Costeiro, Complexo Embu e Complexo Paraibuna, abrangendo rochas de idades variando do Embasamento Cristalino até o Cenozoico (HEIBRON et al., 2004; HASUI et al, 2012).

No Arqueano e Neoproterozoico, houve a formação do Complexo Costeiro, caracterizado por rochas migmatíticas de estruturas difusas, migmatitos estromático ou gnaisses bandados formados por alternâncias irregulares de gnaisses com granitos-gnáissicos finos. (DNPM/CPRM, 1991; HASUI et al, 1978; IG, 1996).

No Proterozoico inferior, houve a formação dos Granitoides Caraguatatuba, composto por associação de augen-gnaisses com biotita-granitos gnáissicos de granulação média a fina, biotita-granito gnáissico com texturas glomero-porfiroblástica, augen-gnaisses ou migmatitos oftalmíticos, hornblenda-albita-granito gnáissico grosseiro, piroxênio-hornblenda granitos, hornblenda granito e biotita-granito, com granulação fina à média e estrutura gnáissica muito frequente. (DNPM/CPRM, 1991; HASUI et al, 1978; IG, 1996).

Com formação no Proterozoico médio a superior, o Complexo Paraibuna é composto por micaxistos, com níveis de magnetita e quartzitos, rochas gnáissicas de feições texturais e composições muito variáveis, intercalando níveis de quartzitos e quartzitos feldspáticos, calcossilicatadas e rochas granitoides gnáissicas com associação de tipos porfiroblásticos grosseiros. A formação do Complexo Embu, no Mesoproterozoico, constituiu-se por gnaisses-migmatíticos, com presença de hornblenda e/ou biotita, de composição predominantemente granítica a granodiorítica (DNPM/CPRM, 1991; HASUI et al, 1978; IG, 1996).

Os sedimentos Cenozóicos quaternários são compostos por areias, siltes, argilas e cascalhos de deposição fluvial, sedimentos coluviais, areias de

deposição praial, areias quartzosas, siltes e argilas de deposição marinha, que estão associados à deposição de detritos provenientes da evolução das escarpas por processos geológicos e fluviais, que se intercalam e sobrepõem a deposição marinha, associados às oscilações quaternárias do nível do mar (DNPM/CPRM, 1991; HASUI et al, 1978; IG, 1996).

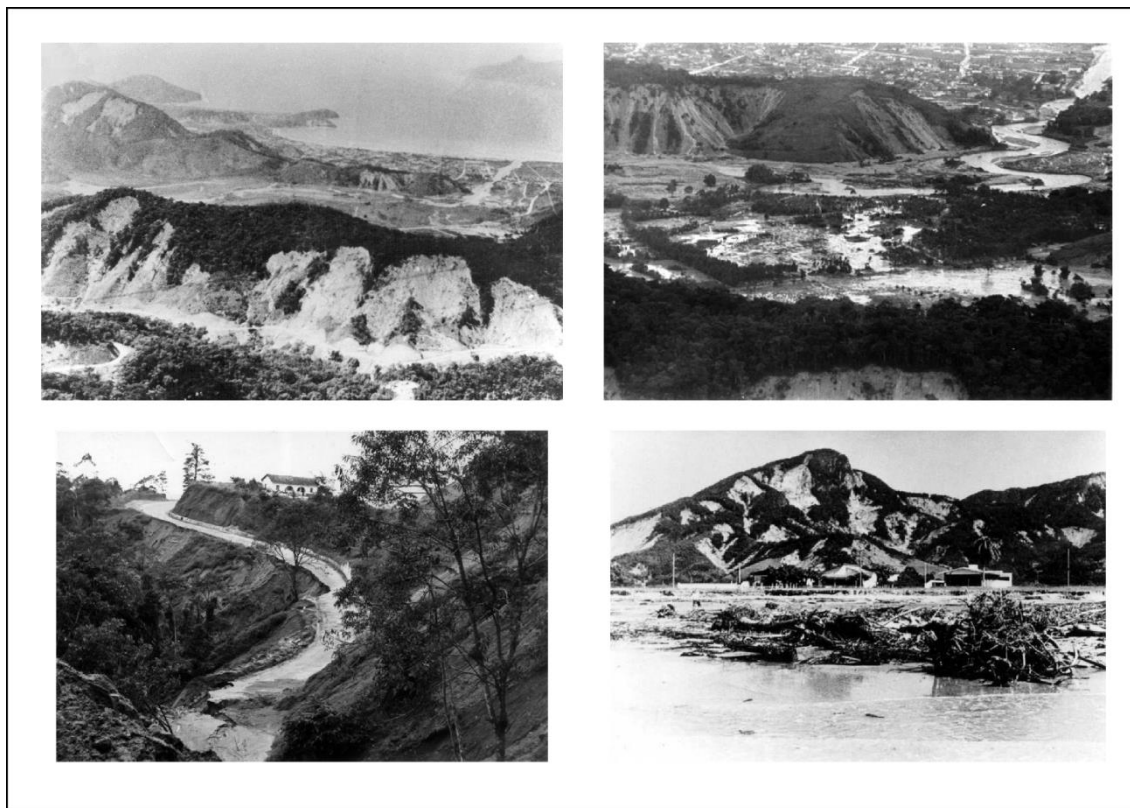
5.3.Clima e anomalias climáticas

A temperatura média anual em Caraguatatuba é superior a 24°C. A precipitação média anual é de 1784 mm por ano, no qual as chuvas mais significativas ocorrem no semestre mais chuvoso (outubro a março), atingindo cerca de 70 a 80% da pluviometria anual. A Serra do Mar em São Sebastião possui uma média de precipitação de 2500 mm (SANTOS e GALVANI, 2012).

Cruz (1974) caracterizou o litoral norte como uma das áreas mais úmidas do país, devido às águas superficiais abundantes e rede de drenagem densa e contínua, somado ao regime de chuvas torrenciais, de alta intensidade, com máximas entre 100 a 200 mm em 24 horas e 40 a 50 mm por hora e que, quando, associadas às escarpas da Serra do Mar, resulta em vários eventos de dinâmica superficial.

Um exemplo desta dinâmica diz respeito às precipitações, ocorridas nos meses anteriores a março de 1967 e nos dias 17 e 18 deste mesmo mês que alcançaram valores de 260 mm e 324,8 mm, respectivamente. Consequentemente ocorreu neste período um evento de grande magnitude com o registro de inúmeros processos de movimentos de massa nas escarpas da Serra do Mar (**Figura 4**), entre eles, os escorregamentos e as corridas de detritos.

Figura 4. Escorregamentos e corrida de massa ocorridos na catástrofe de 1967, em Caraguatatuba (SP).



Fonte: Prefeitura de Caraguatatuba.

5.4. Vegetação

Nos municípios há um predomínio do bioma Mata Atlântica, que segundo SMA (1992), é subdividida em três formações florestais principais: mata de encosta (com árvores altas com dossel descontinuo), mata de planície litorânea, e mata de altitude (existentes a partir dos 1.100 metros de altitude, a vegetação é mais baixa que a da mata de encosta).

Nas vertentes escarpadas e alongadas da Serra do Mar há florestas com fisionomias distintas compostas por flora e estruturas complexas que variam de acordo com a forma do relevo, altitude, declividade, litologia, pedologia e condições climáticas. Cruz (1974) destaca que as florestas da Serra do Mar possuem características distintas entre os fundos de vales e topo de morros.

De acordo com o mapeamento de vegetação elaborado pelo IF (2007) é possível encontrar na área 4 tipos de vegetação: Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (0 a 50 metros); Floresta Ombrófila Densa Submontana (50 a 500 metros); Floresta Ombrófila Densa Montana (500 a 1500 metros) e formação Arbórea/Arbustiva-Hébacea, correspondentes a área de mangue e restinga.

A Floresta Ombrófila Densa é caracterizada por uma mata sempre verde, com vários estratos, dossel fechado que pode atingir de 15 a 50 metros e conter árvores emergentes com até 40 metros de altura. A vegetação arbustiva é muito densa e constituída por samambaias, bromélias e palmeiras. Também são encontradas lianas (trepadeiras e cipós) e epífitas (como as bromélias e orquídeas), figueiras, jerivás e palmitos. As plantas têm folhas de superfície lisa e ponta em forma de goteira para facilitar o escoamento da água. (IF, 2007; SMA, 2007; 2010). Este tipo de floresta é encontrado em regiões com elevadas temperaturas e elevados índices pluviométricos (VELOSO et al, 1991).

Como consequências dos escorregamentos de 1967 grande parte da vegetação foi remobilizada e as cicatrizes foram recobertas por vegetação rasteira e arbustiva do gênero *Gleychenia*. Trata-se de uma samambaia, muito comum na região, que se adapta a solos pouco espessos, característicos das cicatrizes, e que dificulta a recomposição do solo.

As *Gleychenia* são samambaias que pertencem a divisão das Pteridófitas, no Brasil estão localizadas nas regiões de florestas, como a Mata Atlântica e matas de regiões serranas (PRADO E HIRAI, 2011). Esta espécie necessita de luz intensa e por essa razão é encontrada em barrancos de estradas, vertentes de morros litorâneos e capoeiras. Sua identificação é facilitada pela cor verde claro, destaque em suas folhas.

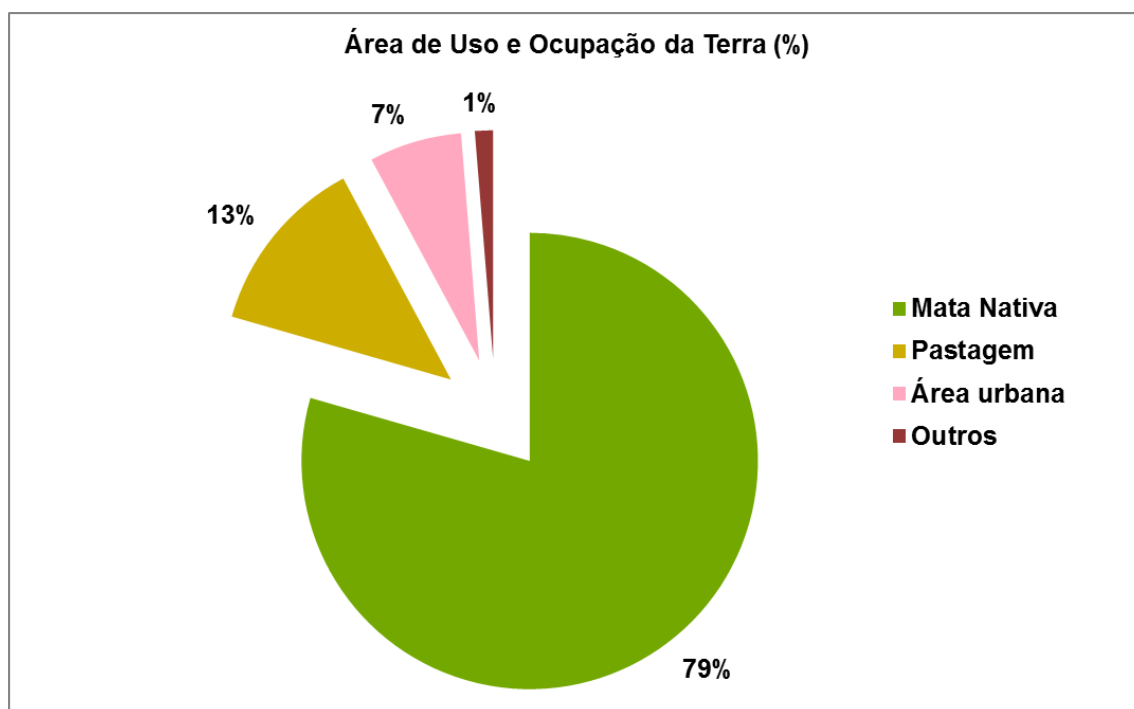
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item estão descritos e discutidos os resultados desta pesquisa. Estes foram divididos em seis subitens. No primeiro subitem, é apresentado o Mapa de Uso e Ocupação da terra e a distribuição de classes na área. No seguinte são apresentadas as descrições das Unidades Fisiográficas compartmentadas. Em sequência serão abordadas informações sobre o mapeamento de cicatrizes de Fúlfaro et al. (1976), as análises quantitativas dos fatores topográficos, geológico e da compartimentação fisiográfica. O último subitem apresenta os mapas de suscetibilidade elaborados, onde os cenários são analisados a partir do Método 1 e Método 2, além da validação conjunta dos cenários e métodos.

6.1. Mapa de Uso e Ocupação da terra

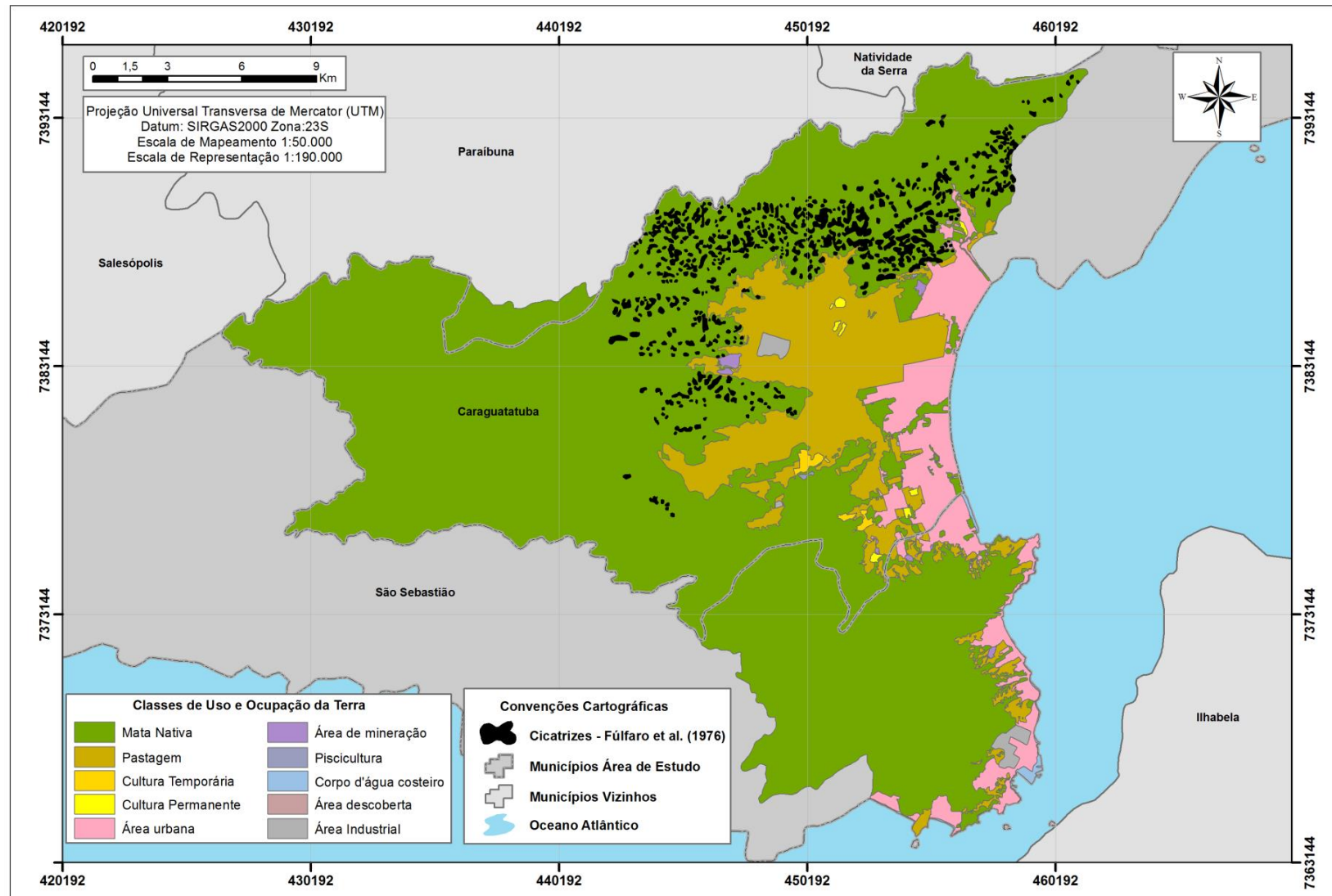
O mapa de uso e ocupação da terra (**Figura 6**) resultou em dez classes, sendo elas: mata nativa, pastagem, área urbana, área industrial, cultura temporária, corpo d'água costeiro, área de mineração, cultura permanente, área descoberta e piscicultura. Como pode ser observada no gráfico (**Figura 5**), a mata nativa é predominante na área de estudo (79%), sua maior parte está localizada dentro de área de preservação ambiental, e em áreas de relevo escarpado e declivoso, que dificulta a ocupação humana e implantação de empreendimentos como rodovias ou dutovias. A segunda maior área de uso e ocupação é a classe de pastagem (13%), seguida da classe de área urbana, em 7% da área de estudo. Nos dois municípios é possível identificar bairros e moradias em áreas de encosta, configurando áreas de risco. Todas as outras classes formam 1% da área de estudo e no gráfico foram representadas juntas, na classe "outros".

Figura 5. Distribuição das classes de uso e ocupação da terra por área (%). A classe “Outros” refere-se às classes: área industrial, cultura temporária, corpo d’água costeiro, área de mineração, cultura permanente, área descoberta e piscicultura.



A área de estudo possui grande importância no contexto econômico do país, nela está inserida a interligação rodoviária entre as quatro cidades do litoral norte, e entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Há também a Unidade de Tratamento de Gás Monteiro Lobato (UTGCA) e Terminal Almirante Barroso (TEBAR) da Petrobras, além dos dutos que sobem as encostas em direção ao planalto. O Porto de São Sebastião é importante no papel da exportação de derivados do petróleo do país e após a sua ampliação, terá maior fluxo de navios e de serviços que implicaram em mudanças na paisagem e no uso.

Figura 6. Mapa de uso e ocupação da terra



6.2. Mapa de Compartimentação Fisiográfica

O Mapa de Compartimentação Fisiográfica (**APÊNDICE 1**) da área de estudo foi elaborado na escala 1:50.000 e apresenta dezesseis unidades fisiográficas, associadas as unidades geomorfológicas da Província Costeira (Serrania Costeira e Baixada Litorânea) e do Planalto Atlântico.

As unidades a seguir estão inseridas no contexto regional da Unidade Morfoescultural da Província Costeira:

6.2.1. Unidade I – Planície Litorânea

A planície sedimentar litorânea de Caraguatatuba (**Figura 7**), formada por sedimentos inconsolidados quaternários, encontra-se embutida num recôncavo longitudinal festonado da Serra do Mar, formando um arco de aproximadamente 180° (GOBBI, 2006). Em São Sebastião a planície costeira tem porte menor, esta é recortada pelos costões rochosos que chegam ao mar.

Figura 7. Vista das escarpas (Unidade IV) para a planície litorânea (Unidade I) de Caraguatatuba.



O IPT (1981) setorizou a planície de Caraguatatuba em três segmentos:

- Formação Cananéia (Pleistoceno): composta por sedimentos inconsolidados de origem marinha, teve sua deposição originada na Transgressão Cananéia, podendo atingir até 30 metros de espessura.
- Sedimentos Marinhos e Mistos (Holoceno): áreas próximas a atual linha de costa, composta por sedimentos atuais e subatuais, retrabalhadas por ação da hidrografia ou dos ventos.
- Sedimentos Continentais (Holoceno): formados por depósitos continentais, ocorrendo próximo das encostas.

Porém, o foco deste trabalho são os escorregamentos, processos recorrentes nas encostas, portanto ao compartimentar a planície litorânea não foi realizado um detalhamento da mesma, pois não alteraria o resultado final deste trabalho. Existem trabalhos como o de Cunha (2011) e Gobbi (2009) que trabalharam com mais detalhe a planície litorânea.

A Unidade I (**Figura 8**) possui baixa densidade de elementos de relevo e drenagem. É caracterizada pela pequena amplitude e suavidade do relevo, no qual as declividades são muito baixas, em contraste com as escarpas da Serra do Mar (CUNHA, 2011).

Figura 8. Planície litorânea em São Sebastião (Unidade I) e ao fundo Escarpas da Serra do Mar (Unidade VIII).



Os vales são abertos, a permeabilidade é considerada alta, a relação de escoamento e infiltração também é alta, com espesso material inconsolidado. Possui baixo potencial a ocorrência de escorregamentos, pois a existência desses processos geológicos está relacionada às encostas das escarpas do entorno da planície, bem como nos morros isolados que se alocam na mesma. É comum observar nestas unidades a ocorrência do processo de rastejo.

A planície é predominantemente ocupada por área de mata nativa, área urbana, área industrial, área de mineração, área descoberta, piscicultura, pastagem, cultura temporária, cultura permanente, área de dutovias e porto.

6.2.2. Unidade II – Rampas de Colúvio e Tálus

Os sedimentos coluvionares ou de tálus provém da erosão das áreas serranas, são considerados integrantes da área sedimentar (NUNES ET AL., 1994 E TRICART, 1965), sua existência está relacionada a ocorrência de escorregamentos e queda de blocos, por processos de alteração de encostas e também pela ação da gravidade, muito comum no sopé de serras da região Sudeste do Brasil. (MOREIRA & PIRES NETO, 1998).

Na área de estudo, está localizada na Sub Zona Serra do Mar, e são compostos por matacões, blocos e materiais finos sem estruturas, como areais e cascalhos. Esta unidade é caracterizada por pequena amplitude topográfica e média declividade, possui alta permeabilidade, média relação de escoamento superficial/infiltração, topo rochoso profundo e espesso material inconsolidados. Esta unidade possui alto potencial a movimentos de massa como rastejo e escorregamento induzidos.

6.2.3. Unidade III – Morros isolados na Planície

Caracterizada por morros isolados (**Figura 9**), esta unidade, em sua maioria, é composta por rochas graníticas podendo variar de gnaisses até migmatitos. Estes morros estão localizados na planície litorânea, e pode sofrer processos como o creeping e escorregamentos. Essa unidade está localizada nas porções baixas do relevo, portanto tem pequena amplitude altimétrica e possui declividade predominante média.

Essas áreas possuem média permeabilidade, média relação de escoamento superficial/infiltração, grande espessura do manto de alteração, topo rochoso profundo, material inconsolidado intermediário, médio potencial a movimentos de massa. Quanto ao uso e ocupação da terra, predomina nesta unidade áreas de pastagem e de mata nativa.

Figura 9. Morro Isolado (Unidade III) na planície litorânea (Unidade I)



6.2.4. Unidade IV – Escarpas da Serra do Mar e Morros em Granitos e Gnaisses

O relevo desta unidade é composto por escarpas em anfiteatros (**Figura 10**), escarpas em espigões digitados e morros. Geologicamente é composta por gnaisses de composição granítica a granodiorítica migmatizados, biotita-hornblenda gnaisses e biotita granitos, que tendem a formar solos pouco desenvolvidos.

Inserida no contexto geomorfológico Zona Serrania Costeira, Sub Zona Serra do Mar, apresenta grande amplitude altimétrica (cerca de 800 m) e declividade predominantemente alta ($>30^\circ$), possui vales fechados encaixados em estruturas

geológicas (zonas de falhas e fraturas) que influem na sinuosidade da drenagem, tendendo a padrão de estruturação retilínea.

A permeabilidade e relação escoamento superficial/infiltração são médias, o manto de alteração é médio e a espessura dos materiais inconsolidados é delgada a inexistente. Foi possível observar em campo a ocorrência de blocos métricos e centimétricos, afloramentos rochosos, indícios de corridas de detritos nas margens do Rio Santo Antônio, cicatrizes de escorregamentos e “paredões” nas encostas com alto declive, demonstrando alto potencial a movimentos de massa.

Quanto ao uso e ocupação da terra, a Unidade IV, predominam áreas de mata nativa, área urbana, área de mineração, pastagem e dutovias.

Figura 10. Escarpas da Serra do Mar na Bacia do Rio Santo Antônio.



6.2.5. Unidade V – Gnaiss migmatíticos em Escarpas com cristas levemente onduladas

Unidade composta por rochas gnáissicas migmatíticas em relevo de escarpas com espigões digitados, assim como a Unidade IV, porém, apresenta menor estruturação do relevo. Apresenta grande amplitude topográfica (cerca de 500 m) e declividade predominantemente alta. Inserida na Zona Serrania Costeira, na Sub Zona Serra do Mar, esta unidade é caracterizada por vales fechados em encostas de forma predominantemente côncava, com topos arredondados a angulosos.

Esta área possui permeabilidade e relação escoamento/infiltração intermediários assim como a espessura do manto de alteração e topo rochoso. Em relação ao uso e ocupação, predominam áreas de mata nativa, urbana, industrial, mineração, pastagem e cultura permanente.

Quanto ao potencial a ocorrência de movimento de massas, esta unidade, é considerada de alto potencial, principalmente a escorregamentos. Foram observadas, em campo, cicatrizes de escorregamentos, blocos no sopé da encosta, blocos isolados e gnaisses bem alterados.

6.2.6. Unidade VI – Gnaiss migmatíticos em Morros Paralelos

Caracterizada por relevo em morros paralelos, esta unidade, é composta predominantemente por rochas gnáissicas migmatíticas. Está localizada na Zona Serrania Costeira, Sub Zona Serra do Mar, com amplitude local média (aproximadamente 120 m).

O relevo de morros é mais suave que o relevo escarpado, portanto a declividade desta unidade varia de média a baixa. As encostas são predominantemente côncavas, com topos aplainados a arredondados, com drenagens em vales fechados.

Esta unidade possui média permeabilidade e média relação escoamento/infiltração, espessura média do manto de alteração, profundidade do topo rochoso intermediária, com médio potencial a movimentos de massa.

6.2.7. Unidade VII – Morros acima das Escarpas

A unidade VII está localizada na Zona Serrania Costeira, na Sub Zona Serra do Mar, que se encontram acima das escarpas da Unidade V, dentro do contexto do Planalto do Juqueriquerê. Unidade formada por morros com topos arredondados, apresentando amplitude topográfica média (aproximadamente 300 m) e uma declividade média, com predominância de encostas côncavas, com drenagens em vales fechados.

A permeabilidade e relação escoamento/infiltração são intermediárias, a profundidade do topo rochoso e a espessura dos materiais inconsolidados foram consideradas médias. Em relação ao potencial de ocorrência de movimentos de massa, esta unidade foi considerada média. A unidade inteira abrange áreas de Mata Nativa.

6.2.8. Unidade VIII – Gnaisse migmatíticos em Escarpas

Composta por rochas gnáissicas migmatíticas, esta unidade, é caracterizada por relevo em escarpas com espigões digitados, com drenagens em vales fechados, encostas côncavas (predominantemente) a retilíneas, com topos angulosos. A Unidade VIII (**Figura 11**) está localizada na Sub Zona Serra do Mar, com amplitude média alta (400 m), com declividade predominantemente média.

A permeabilidade e relação escoamento/infiltração são consideradas médias, porém a espessura do manto de alteração é pequena assim como a profundidade do topo rochoso. Considerou-se alto potencial a movimento de massa, principalmente a escorregamentos. Em relação ao uso e ocupação esta unidade contém áreas de mata nativa, área urbana, área industrial, área de mineração, pastagem e cultura permanente.

Figura 11. Escarpas da Serra do Mar (Unidade VIII) e planície de São Sebastião (Unidade I).



6.2.9. Unidade IX – Gnaiss migmatíticos em Escarpas retilíneas

A Unidade IX é caracterizada pelo relevo em escarpas com espigões digitados com grande amplitude local. A amplitude local é de aproximadamente 600 m, e a declividade predominante é alta ($>30^\circ$). Está localizada no complexo geomorfológico da Província Costeira, na Zona Serrania Costeira, Sub Zona Serra do Mar, com rochas gnáissicas migmatíticas, em encostas predominantemente retilíneas, vales fechados e topos angulosos.

A permeabilidade foi considerada baixa, com média relação de escoamento/infiltração, pequena espessura de manto de alteração, topo rochoso raso a sub aflorante em área considerada de alto potencial a movimentos de massa. Esta unidade contém área de mata, área urbana, área industrial, área de mineração, pastagem e cultura permanente.

As unidades a seguir estão inseridas no contexto regional da Unidade Morfoescultural do Planalto Atlântico:

6.2.10. Unidade X – Montanhas com encostas retilíneas

Esta unidade é representada por relevo montanhoso com rochas graníticas e gnáissicas. Tem média densidade de elementos de drenagem e de relevo. Relevo de altitude representado por montanhas com amplitude de aproximadamente 140 m. A declividade dominante é média, variando de 10° a 30°. Suas encostas são predominantemente retilíneas formando vales profundos e fechados, com topos angulosos. A permeabilidade é considerada baixa a média, a relação escoamento/infiltração média a alta, a espessura do manto de alteração e a profundidade do topo rochoso foi considerada pequena.

Esta área foi considerada com médio potencial a ocorrência de movimentos de massa, pois a partir da fotointerpretação foi possível observar a presença de poucas cicatrizes de escorregamento. Quanto ao uso e ocupação a área da unidade é composta por área de mata nativa.

6.2.11. Unidade XI – Montanhas com afloramentos rochosos

Assim como a Unidade X, esta unidade possui relevo de montanhas com rochas graníticas e gnáissicas. Caracterizada por grande amplitude topográfica com declividade predominantemente média (15 – 30°). A diferença da Unidade X é que a densidade dos elementos de drenagem e relevo é média, com encostas predominantemente convexas, em vales fechados, com topos angulosos.

Esta unidade possui permeabilidade, relação escoamento/infiltração, espessura do manto de alteração, profundidade do topo rochoso e espessura dos materiais inconsolidados média, com médio potencial a movimentos de massa. Possui afloramento rochoso nos topos de morros, característica que a diferencia das unidades ao redor. A unidade XI contém áreas de Mata Nativa.

6.2.12. Unidade XII – Morros Arredondados

Unidade caracterizada pelo relevo de morros arredondados, com média densidade de elementos de drenagem e relevo, sua litologia é composta por rochas graníticas e gnáissicas, com rochas metabásicas.

Está localizada em áreas de encostas convexas a retilíneas, formando vales fechados e topos arredondados. Sua amplitude é alta, variando de 700 a 1200 m, com declividade média a baixa (predomínio de 10 a 20°).

A permeabilidade, relação escoamento/infiltração, espessura do manto de alteração, profundidade do topo rochoso e espessura dos materiais inconsolidados foram consideradas médias, com médio potencial a movimentos de massa. Em relação ao uso e ocupação da terra, esta unidade contém área de Mata Nativa.

6.2.13. Unidade XIII – Morros Paralelos

Unidade predominantemente inserida em área de mata nativa, onde o relevo é representado por morros paralelos sustentados por rochas graníticas e gnáissicas associadas a rochas metabásicas. A densidade dos elementos de drenagem e relevo é média, com encostas convexas a côncavas, formando vales fechados a abertos, com topos arredondados.

A amplitude local é baixa (aproximadamente 90 m) e a declividade média a baixa. A permeabilidade, relação escoamento/infiltração, espessura do manto de alteração, profundidade do topo rochoso e espessura dos materiais inconsolidados foram consideradas médias, com baixo potencial a movimentos de massa.

6.2.14. Unidade XIV – Relevo montanhoso com afloramentos rochosos do tipo "Pão de açúcar"

Caracterizada por relevo montanhoso sustentado por rochas graníticas e gnáissicas com afloramentos rochosos. Esta unidade tem amplitude local média com declividade média predominante. As encostas são retilíneas formando vales fechados e topos angulosos a arredondados. Presença de altas declividades associadas à afloramentos rochosos tipo "Pão de Açúcar".

A permeabilidade é baixa a média assim como a relação escoamento/infiltração, a espessura do manto de alteração e a profundidade do topo rochoso foi considerada intermediária. Foram observadas poucas cicatrizes de escorregamento a partir da fotointerpretação, mas devido as altas

declividades e relevo de montanhas com vales fechados, considerou-se uma área de médio potencial a movimento de massa. A unidade se encontra dentro da área de Mata Nativa.

6.2.15. Unidade XV – Mar de morros na Borda do Planalto Atlântico

Essa unidade representa a Borda do Planalto Atlântico, caracterizada pelo revelo em mar de morros, com rochas graníticas e gnaisses com micaxistos e quartzitos. A densidade de elementos de drenagem e relevo é baixa, a amplitude local é média, variando de 800 a 1100 m, com declividade e média a baixa. O relevo de mar de morros é conhecido pelas encostas côncavas, nesse caso formando vales fechados a abertos, com topos arredondados.

A permeabilidade, relação escoamento/infiltração, espessura do manto de alteração, profundidade do topo rochoso e espessura dos materiais inconsolidados foram consideradas médias, com baixo potencial a movimentos de massa. Em relação ao uso e ocupação da terra, está inserida na área de mata nativa.

6.2.16. Unidade XVI – Relevo montanhoso no Planalto do Juqueriquerê

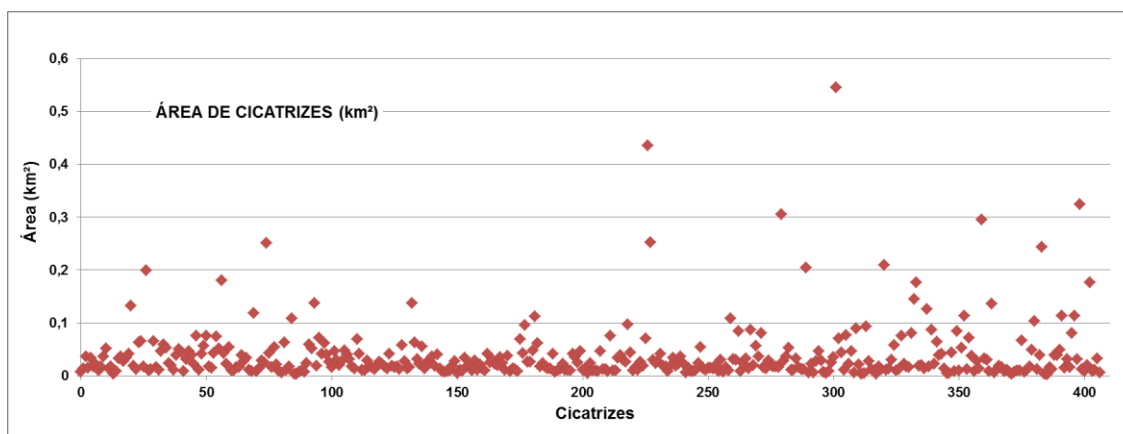
Unidade caracterizada por relevo montanhoso em rochas graníticas e gnáissicas com micaxistos e quartzitos. Amplitude local média e declividade média a baixa. Suas encostas são côncavas a retilíneas, formando vales fechados e topos arredondados. Nesta unidade há ausência de morros com afloramentos rochosos.

Essa área possui média permeabilidade, média relação de escoamento superficial/infiltração, grande espessura do manto de alteração, profundidade do topo rochoso intermediária, material inconsolidado intermediário, e baixo potencial a movimentos de massa. Em relação ao uso e ocupação da terra, há o predomínio de áreas de mata nativa na Unidade XIV.

6.3. Inventário de Cicatrizes

Fúlfaro et al. (1976) mapearam 407 cicatrizes (**Figura 14**), ocupando uma área de 15,5 km², cerca de 3% da área de estudo (497,2 km²). A maior cicatriz mapeada possui 0,54 km² (**Figura 12**) e a menor 0,002 km². A média da área das 407 cicatrizes foi de 0,038 km².

Figura 12. Distribuição das cicatrizes dos escorregamentos mapeados (eixo x) em relação à área ocupada por cada uma (eixo y)



A maioria das cicatrizes (aproximadamente 97,7%) possui área entre 0,01 e 0,60 km² (Figura 16). A classe mais frequente da área de estudo é a classe entre 0,01 e 0,05 km² concentrando 40,6% das cicatrizes e as classes menos frequentes (0,001-0,005 e 0,005-0,01 km²) somam 2,3% da Concentração de Cicatriz (CC) (**Figura 13**).

Figura 13. Distribuição percentual da área das cicatrizes.

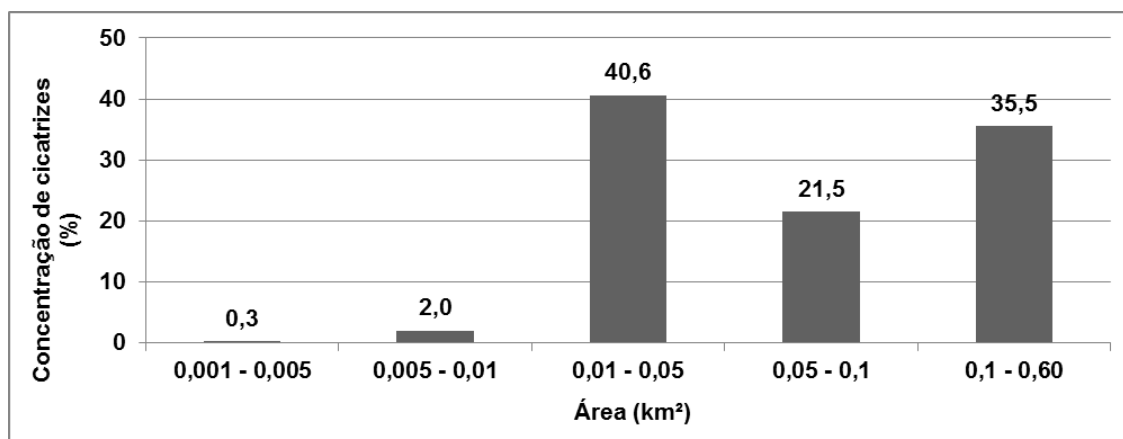
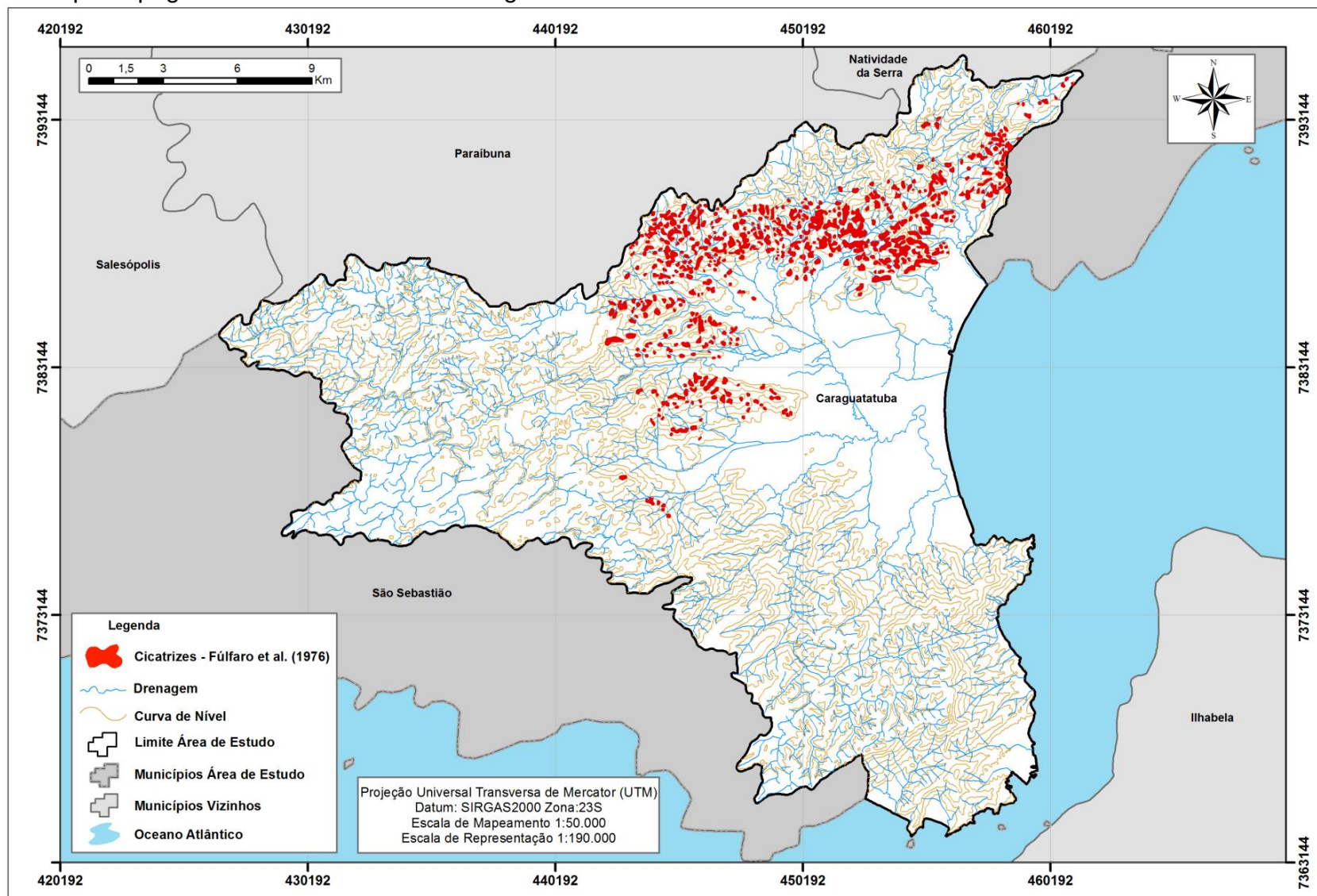


Figura 14. Mapa Topográfico e cicatrizes de escorregamentos



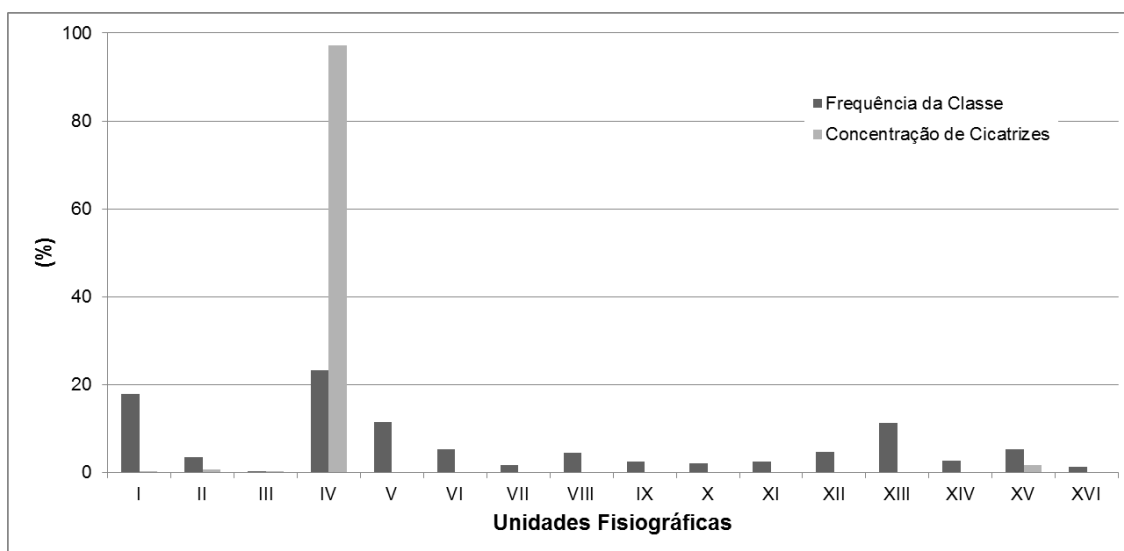
6.4. Análise da Compartimentação Fisiográfica, dos Fatores Topográficos e Geológico

Os resultados dos mapeamentos (compartimentação fisiográfica, hipsometria, declividade, geologia) são apresentados tanto na forma cartográfica quanto através de gráficos, a partir dos quais serão apresentados os seguintes índices: Frequência de Classe (F), Concentração de Cicatriz (CC) e Fator de Desproporcionalidade (FD).

6.4.1. Mapa de Compartimentação Fisiográfica

Ao cruzar o Mapa de Compartimentação Fisiográfica com o mapeamento de cicatrizes foi possível identificar a Unidade IV como a unidade que tem a maior Concentração de Cicatrizes (97,1%) (**Figura 15**), e possui um Fator de Desproporcionalidade (**Figura 16**) em torno de 4, demonstrando que há desproporcionalidade nesta unidade.

Figura 15. Gráfico de Frequência de classe e Concentração de Cicatrizes para as Unidades Fisiográficas.



A Unidade IV é composta por escarpas em anfiteatros e espigões digitados com grande amplitude altimétrica e declividade predominantemente alta, está inserida em zona de falha e é majoritariamente composta por gnaiss. Estes

fatores, em conjunto, podem ter condicionado a ocorrência da maior concentração de cicatrizes na Unidade IV.

A Unidade III possui uma Concentração de Cicatrizes baixa (0,3%) e seu fator de desproporcionalidade é 1,15, demonstrando que essa unidade pode condicionar movimentos gravitacionais de massa. Esta é formada por morros isolados na planície, localizados em áreas de amplitude baixa, porém, possuem declividade média, podendo condicionar escorregamentos.

A Unidade XV, de mares de morros, possui baixa Concentração de Cicatrizes (1,6%), e seu FD é abaixo de 1 (0,31), portanto os escorregamentos não estão relacionados com padrões fisiográficos desta unidade em si. Em todas as outras unidades não houve ocorrência de cicatrizes (**Figura 16**).

Figura 16. Gráfico do Fator de Desproporcionalidade das Unidades Fisiográficas.



Observa-se que há uma relação muito grande das cicatrizes com a Unidade IV, que possui características similares a Unidade VIII, que não apresenta nenhuma concentração de cicatrizes.

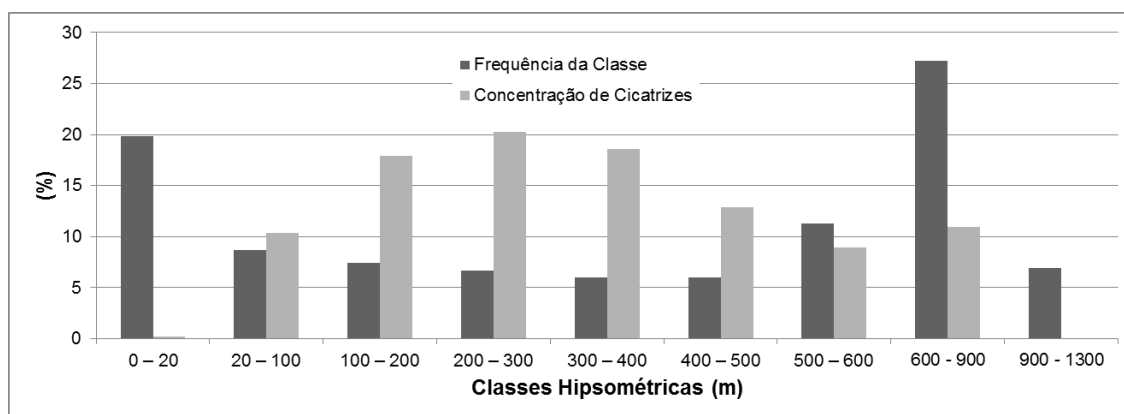
Este outro fator pode ser explicado a partir de índices pluviométricos. No mês de março de 1967 foram registrados cerca de 945,6 mm de chuva, sendo que nos dias 17 e 18 foram registrados, respectivamente, 260 mm e 324,5 mm (IPT, 1988). Essa anomalia pluviométrica pode ter sido o maior fator de influência para a deflagração dos escorregamentos e posteriormente da corrida de massa.

6.4.2. Mapa de Hipsometria

A altitude é um fator importante na análise da suscetibilidade a escorregamento, pois as condições meteorológicas e climáticas variam em diferentes elevações, podendo alterar as condições naturais do solo e da vegetação, assim como amplitudes maiores no terreno geram maior potencial de movimentos gravitacionais de massa.

Ao sobrepor as cicatrizes ao Mapa de Hipsometria (**Figura 19**), observa-se no gráfico da **Figura 17** que as classes hipsométricas 100 – 200m (18%), 200 – 300m (20%) e 300 – 400m (19%) concentraram 57% das cicatrizes que atingiram a área de estudo. O Fator de Desproporcionalidade destas classes, representado no gráfico da **Figura 18**, foi alto (2,4; 3,02 e 3,11 respectivamente), comprovando que estas cotas altimétricas podem condicionar a ocorrência de escorregamentos. Entre 400 – 500m, o Fator de Desproporcionalidade também foi considerado alto (2,1), não tanto com o das outras classes, possivelmente devido a menor Concentração de Cicatrizes (13%).

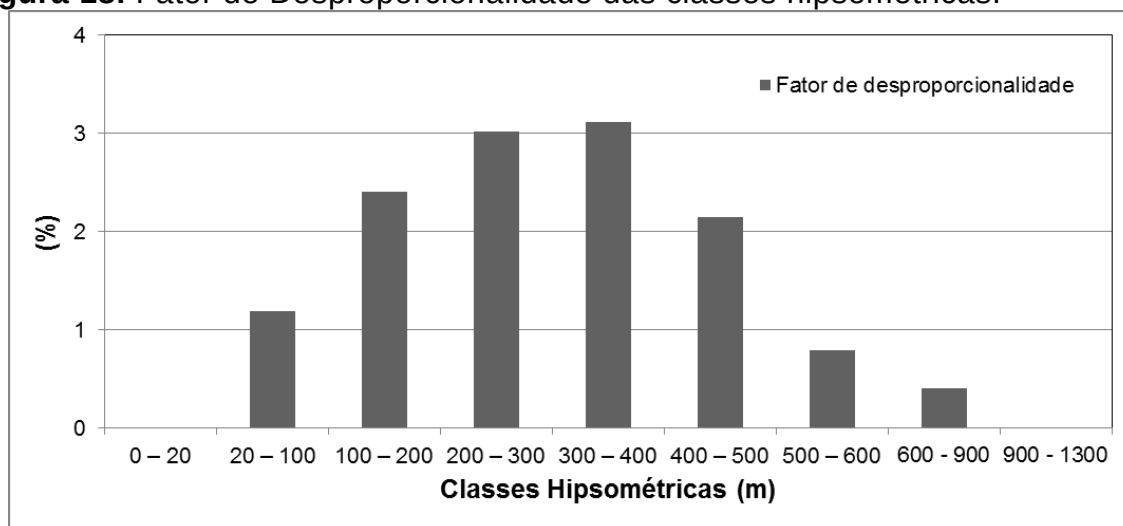
Figura 17. Gráfico de frequência de classe e concentração de cicatrizes para as classes hipsométricas.



Na classe 0 – 20m a menor concentração de cicatrizes (0,19%) está relacionada a declividade muito baixa, em áreas predominantemente planas, confirmada pelo Fator de Desproporcionalidade extremamente baixo desta classe, 0,01 (**Figura 19**), demonstrando que não é uma classe que influencia a ocorrência dos escorregamentos. A ausência de cicatrizes nas proximidades da

Borda do Planalto, entre 900 – 1300m pode ser justificada pela presença de paredões com afloramentos rochosos, onde a espessura do solo é rasa ou aflorante, não tendo material passível de escorregar, nesse caso, há o predomínio de movimentos de massa do tipo queda de blocos.

Figura 18. Fator de Desproporcionalidade das classes hipsométricas.



A classe entre 600 – 900m tem a maior área (27%) e concentra 11% das cicatrizes mapeadas, porém o Fator de Desproporcionalidade é baixo em relação as outras classes (0,4%), demonstrando que os escorregamentos nesta cota não foram influenciados pela altimetria (**Figura 19**).

Alguns trabalhos que analisaram a elevação do terreno em classes hipsométricas, porém, em contextos ambientais diferentes, chegaram a resultados semelhantes. Hadmoko et al (2017) analisaram a distribuição espacial dos escorregamentos em uma área na Ilha de Java (Indonésia) onde as classes altimétricas variam de <100 a >700m. Estes definiram que as classes de 100 a 500m apresentaram maior densidade de escorregamentos, e entre 500 e 700m houve uma diminuição crescente das feições, para área na Ilha de Java.

Vieira (2007) mapeou os escorregamentos translacionais na bacia da COPEBRÁS, na Serra do Mar, e encontrou maior frequência de cicatrizes (70%) nas classes 400-600m e 600-800m. Em sua área de estudo, observou que na classe 0-200m foram encontrados menores volumes (9,4%) de escorregamentos

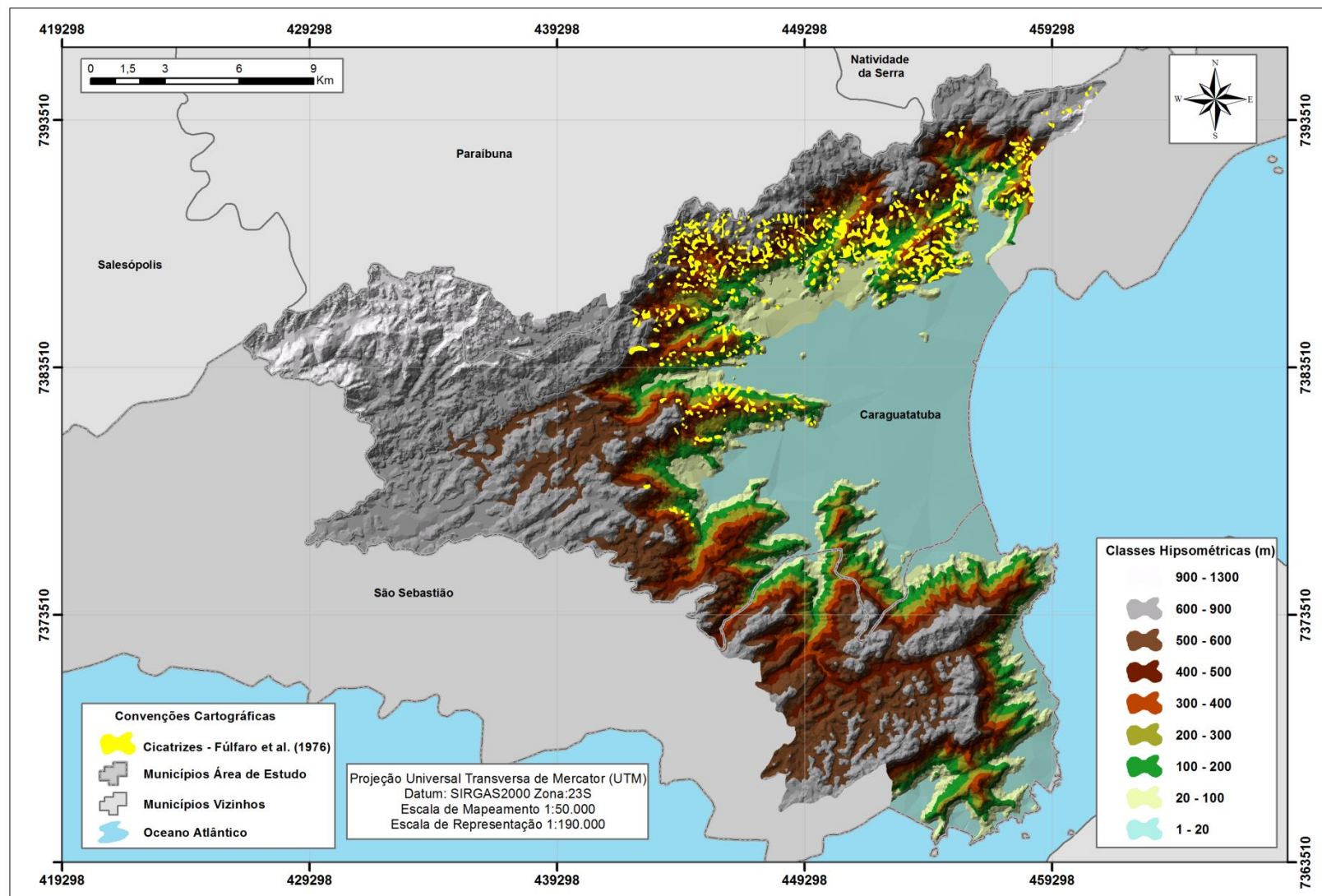
e justificou que pode ser explicado pelo comportamento orográfico da precipitação, mas intensa no terço médio da escarpa.

Lopes (2006) obteve resultados similares estudando escorregamentos de 1985 e 1994 nas bacias dos rios Cubatão e Moji, na Serra do Mar. Nas cicatrizes de 1985, a maior concentração de cicatrizes foi encontrada nas classes: 300-450m (23%), 450-600m (22%) e 600-750m (28%), que juntas concentraram 73% do total dos escorregamentos. Foi verificado que para as cicatrizes de 1994 foram concentradas 69% das cicatrizes, nas mesmas classes.

Ayalew et al (2004) correlacionou algumas variáveis (litologia, declividade, curvatura, elevação, plano e perfil de curvaturas) com as cicatrizes de escorregamentos mapeadas na Bacia do Rio Agano em Niigata, no Japão. Seu estudo observou que os escorregamentos ocorreram acima de 50m e sua maior concentração em classes maiores que 200m. As classes com maiores densidades foram entre 200 e 500m, de 800 a 1100m não foram mapeadas feições.

Dai e Lee (2002) estudaram uma área próxima a Hong Kong, correlacionando fatores topográficos com mapa de cicatrizes, e os resultados mostraram que até 150m são encontradas poucas cicatrizes, entre 150-500 são encontradas as classes com maior densidade de cicatrizes, após 500m há uma queda de frequência, e acima de 600m não foram encontradas cicatrizes.

Figura 19. Distribuição espacial das cicatrizes nas classes de hipsometria

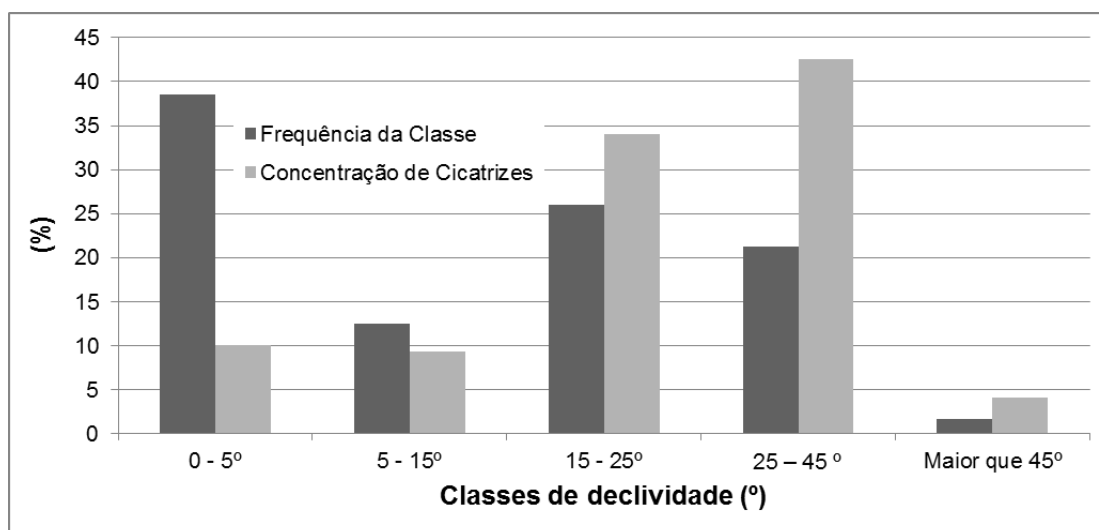


6.4.3. Mapa de Declividade

Para discussão e verificação de quais classes de declividade melhor se adequam a realidade de declividade da área de estudo em termos de suscetibilidade a escorregamentos, foram feitos testes com diferentes conjuntos de intervalos de classes de declividade. Verificou-se que dois conjuntos de classes se adequavam mais as condições da área de estudo, um primeiro conjunto formado pelas classes de 0 – 5°, 5 – 15°, 15 – 25°, 25 – 45° e maior que 45° (Leão, 2016; Lee e Pradhan, 2006; Marcelino, 2004) e um segundo pelas classes de Delgado (2006) e Hadmoko et al. (2017) adaptadas, gerando os intervalos entre 0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°.

A **Figura 20**, corresponde a distribuição de Frequência da Classe e Concentração de Cicatrizes para o intervalo de declividade 0 – 5°, 5 – 15°, 15 – 25° e 25 – 45°, e maior que 45°. A classe com maior Frequência é a classe entre 0 e 5° com 38% da área, a segunda classe mais frequente possui 26% da área total e encontra-se no intervalo entre 15 e 25°. A classe com menor Frequência é a classe maior que 45° com cerca de 2% da área de estudo. Em relação à Concentração de Cicatriz, as duas classes com maiores concentrações foram nos intervalos entre 25 – 45° (42,5%) e 15 – 25° (34%).

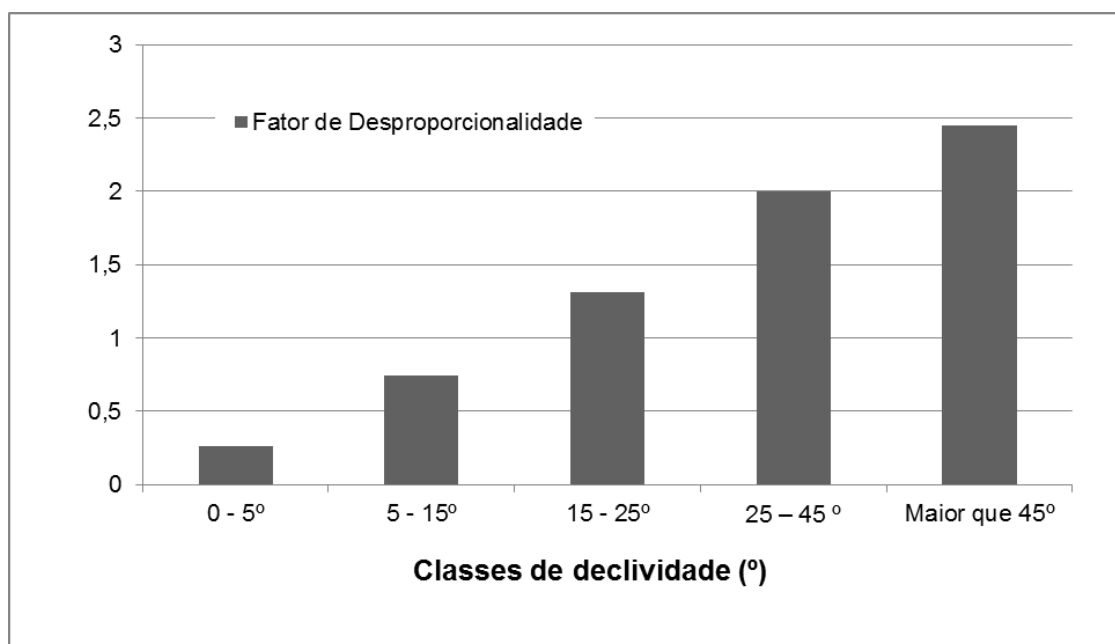
Figura 20. Distribuição de Frequência (F) de classes de declividade e Concentração de Cicatrizes (CC) para os intervalos 0 – 5°, 5 – 15°, 15 – 25° e 25 – 45°, e maior que 45°.



O Fator de Desproporcionalidade (FD) das classes de declividade para os intervalos entre 0 – 5°, 5 – 15°, 15 – 25°, 25 – 45° e maior que 45° (**Figura 21**) é maior na classe maior que 45°, com 2,4. O fator de desproporcionalidade desta classe é alto, porém, esta possui uma baixa concentração de cicatrizes (menor que 5%).

Os intervalos 15 – 25° e 25 – 45° também apresentaram fatores de desproporcionalidade altos, demonstrando uma relação desses intervalos com a ocorrência de escorregamentos. A classe com menor valor de Fator de Desproporcionalidade foi entre o intervalo de 0 a 5°, com 0,2, onde a Concentração de Cicatrizes é muito baixa em relação a frequência da área, que é muito grande, confirmando que as áreas mais suaves ou planas não são suscetíveis a escorregamentos.

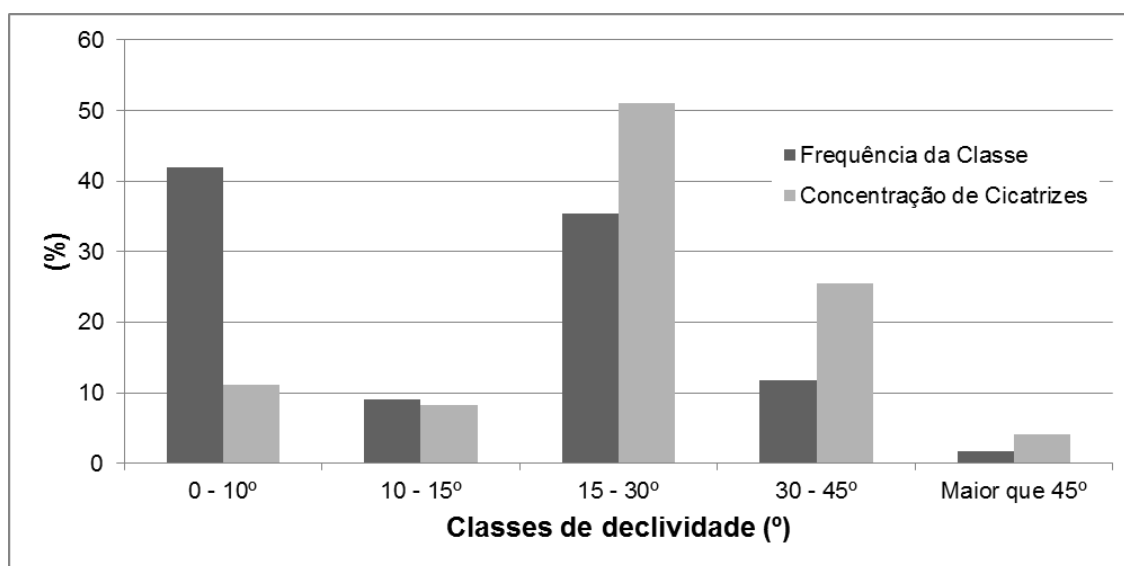
Figura 21. Fator de Desproporcionalidade das classes de declividade para os intervalos entre 0 – 5°, 5 – 15°, 15 – 25°, 25 – 45° e maior que 45°.



Na **Figura 22**, observam-se os resultados para os intervalos 0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°. A classe com maior Frequência é a classe de 0 – 10°, ocupando 42% da área total, representadas por áreas planas e suaves, principalmente na planície litorânea. A segunda maior classe é a de 15 – 30° (35,5%), seguida da classe 30 – 45° (12%), caracterizadas pelas áreas de

encostas e montanhas. As classes com menores áreas são a maior que 45° (1,7%) e o intervalo entre 10 – 15° (9,1%).

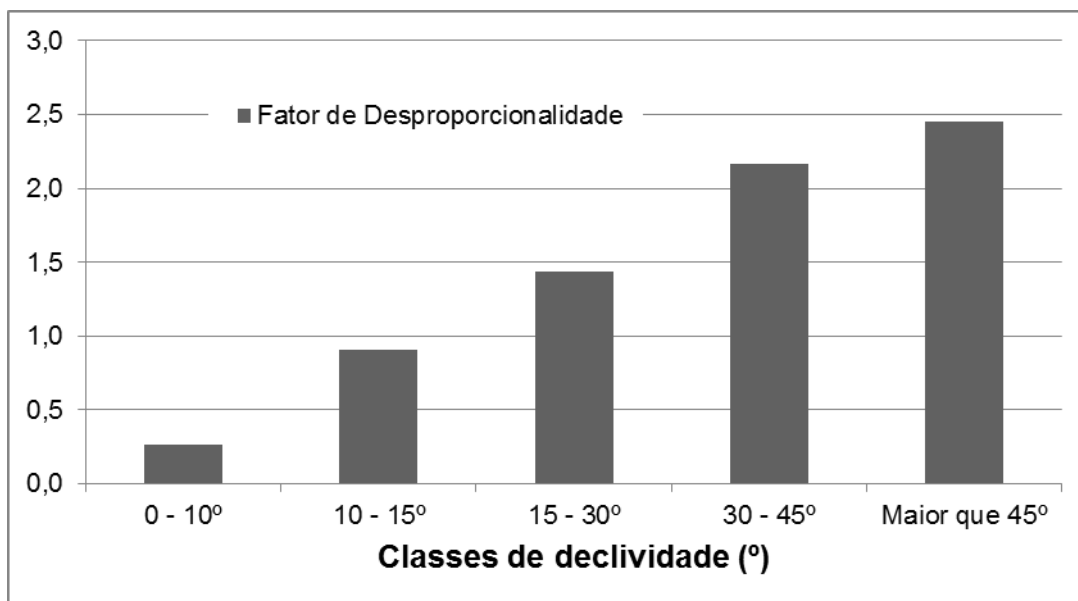
Figura 22. Distribuição de Frequência (F) de classes de declividade e Concentração de Cicatrizes (CC) para os intervalos 0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°.



Quanto ao Fator de Desproporcionalidade, observa-se na **Figura 23**, que a classe de 0 – 10° possui o fator de desproporcionalidade abaixo de 0,5 devido à alta frequência da classe e baixa concentração de cicatriz (11%), comprovando que os escorregamentos são processos que ocorrem nas encostas e não nas áreas mais suaves do terreno. No intervalo entre 10 – 15° há quase que um equilíbrio entre Frequência da classe e Concentração de Cicatrizes, sendo coerente com o Fator de Desproporcionalidade. Nesse intervalo, o Fator de Desproporcionalidade é abaixo de 1, cerca de 0,27.

A maior Concentração de Cicatrizes, cerca de 51%, é encontrada na classe 15 – 30°, que possui um Fator de desproporcionalidade relativamente alto (1,44) (**Figura 23**). A classe maior que 45° possui o maior Fator de Desproporcionalidade (2,4), demonstrando que mesmo que a classe seja menos frequente esta é suscetível a escorregamentos.

Figura 23. Fator de Desproporcionalidade das classes de declividade para os intervalos entre 0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°.



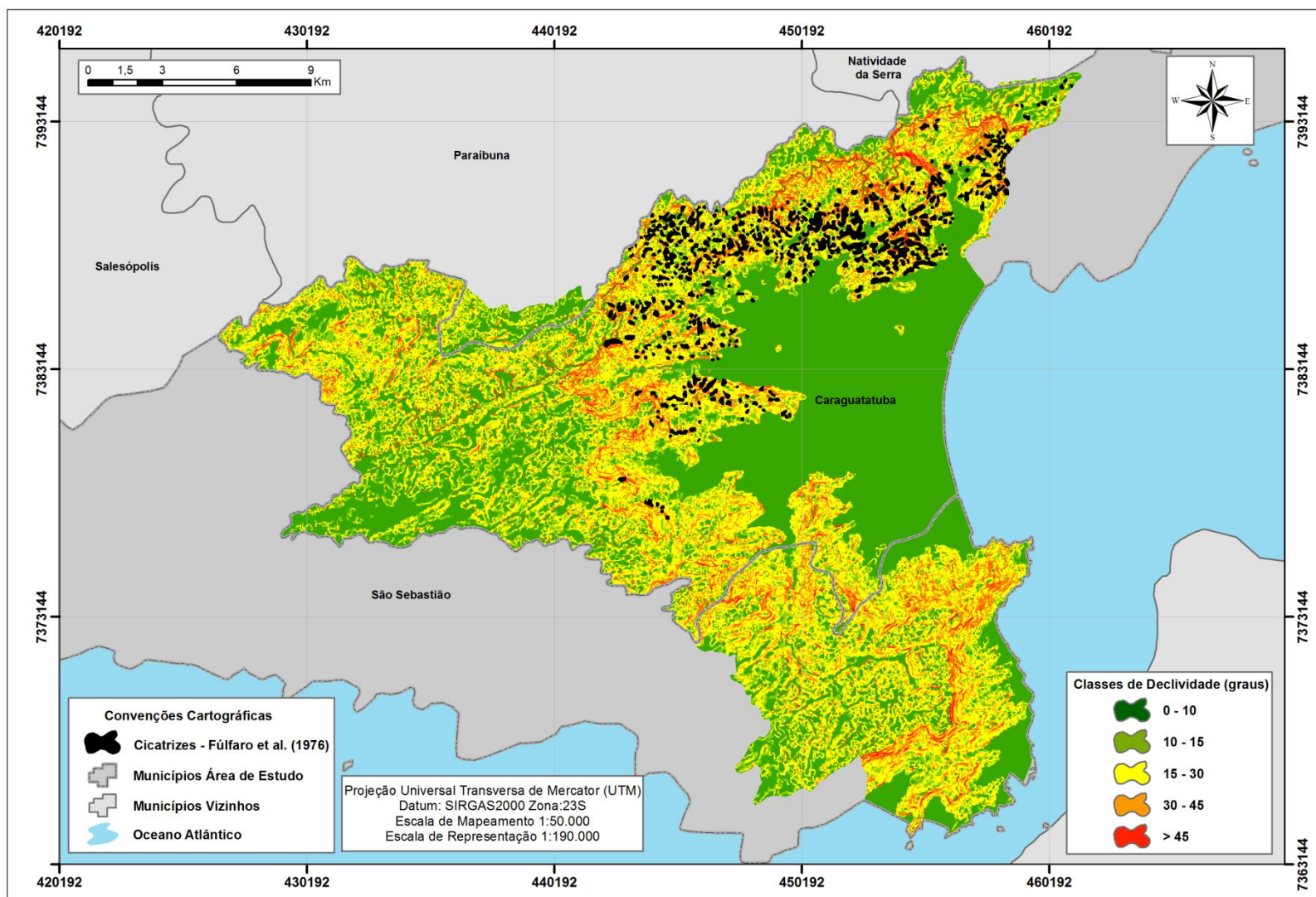
Ao comparar as duas classificações propostas observou-se que as maiores concentrações de cicatrizes estavam nos intervalos entre 15 – 25° (34%) e 25 – 45° (42,5%), e nas classes 15 – 30° (51%) e 30 – 45° (25,5%). Quanto a Frequência da classe, os intervalos entre 15 – 25° representaram 26% e entre 25 – 45° representaram 21% da área; a classe de 15 – 30° representaram 35,5% e entre 30 – 45° representaram 12% da área total.

A maior Concentração de Cicatrizes está entre o intervalo 15 – 30° (51%) (**Figura 24**), área com maior frequência (35,5%) em relação à área total. Ao observarmos o comportamento da Concentração de Cicatrizes nos intervalos entre 25 - 45° (42,5%) e 30 – 45° (25,5%), notamos que a maior parte dos escorregamentos provavelmente está ocorrendo em encostas com ângulos entre 25 e 30°. Neste sentido, ao observar a classe 15 – 25° (34%) e 15 – 30° (51%) pode-se confirmar que o conjunto de classes de declividade para este estudo de suscetibilidade a escorregamentos é 0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45° pois a maior concentração se encontra nos intervalos entre 15 – 30°. Portanto, este trabalho utilizará os intervalos entre 0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45° como mais adequado para a análise quantitativa.

Alguns trabalhos realizados na Serra do Mar (SP), porém em áreas com condições ambientais diferentes apontaram o intervalo entre 30° e 40° como o mais suscetível a escorregamentos rasos. Vieira (2007), por exemplo, identificou na Bacia da COPEBRAS que 50,7% dos escorregamentos se encontram entre os ângulos de 30° e 40°. Lopes (2006) também identificou maior concentração no intervalo entre 30° e 40°, para os escorregamentos de 1985 concentraram 51% das cicatrizes, para os escorregamentos de 1994 houve uma concentração de 54%.

No âmbito internacional, Hadmoko et al. (2017) classificaram a declividade em 5 classes: 0 – 10°, 10 – 20°, 20 – 30°, 30 – 40° e 40 – 50°, a maior concentração de cicatrizes deu-se no intervalo entre 20 – 30° (37%), seguida da classe 10 – 20° (29,9%).

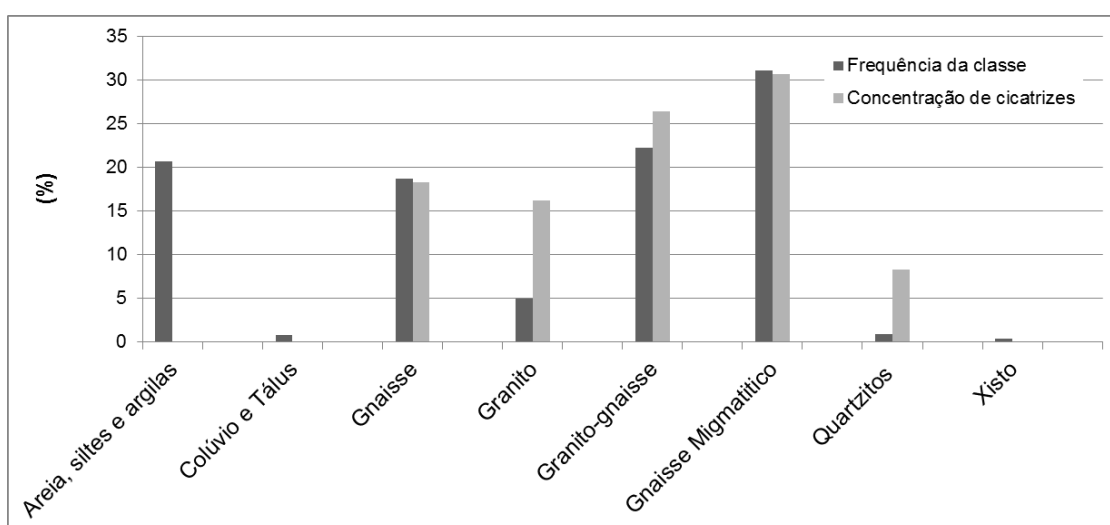
Figura 24. Distribuição de Cicatrizes no Mapa de Declividade



6.4.4. Mapa Geológico

Analisando os resultados das cicatrizes sobrepostas ao Mapa Geológico (**Figura 27**), pode-se observar que entre as oito classes litológicas, as classes que concentram a maioria das cicatrizes são as de Gnaiss Migmatítico (31%) e Granito-Gnaiss (26%), somando 57% das cicatrizes da área de estudo. Gnaiss e Areias, siltes e argilas somam 40% da área total (**Figura 25**).

Figura 25. Gráfico de Frequência de classe e Concentração de Cicatrizes para as classes litológicas.



A classe de Gnaiss Migmatítico possui um FD (**Figura 26**) próximo a 1 (0,98), ou seja, esta classe pode não influenciar a ocorrência de escorregamentos, assim como a unidade Gnaiss que possui um FD igual a 0,98, demonstrando que não há desproporcionalidade nesta classe considerando sua área de ocorrência e a presença de cicatrizes para o fator Geologia.

A classe Granito e Quartzitos tiveram os maiores valores de FD, 3,25 e 9,47, respectivamente, demonstrando que estas unidades litológicas podem ter influenciado na ocorrência de escorregamentos. A unidade de Quartzitos possui uma área de 0,88% da área total e possui uma concentração de cicatrizes de 8,33%. O Quartzito embora tenha representado valores altos tanto para Concentração de Cicatrizes e Fator Desproporcionalidade, não deveria ser suscetível, talvez essa maior concentração esteja relacionada com uma

superfície ou solo localizado acima da camada de Quartzito que dificulta a infiltração e percolação da água durante evento pluviométrico.

Nas classes “Areia, siltes e argilas”, “Colúvio e Tálus”, “Xisto” não foram identificadas cicatrizes.

Figura 26. Gráfico do Fator de Desproporcionalidade das classes litológicas

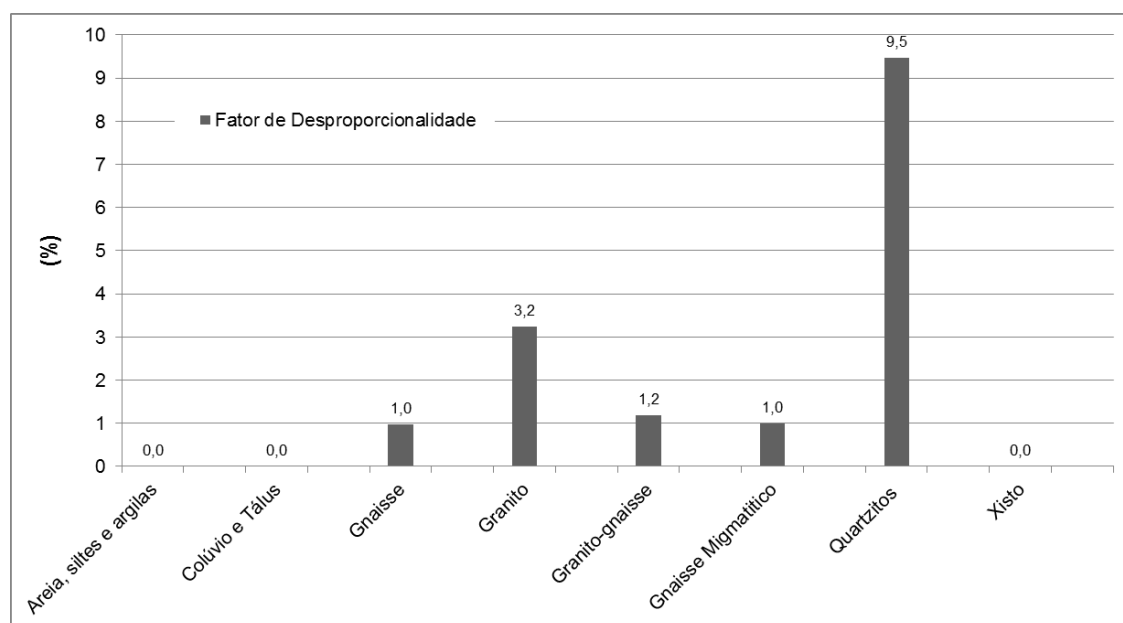
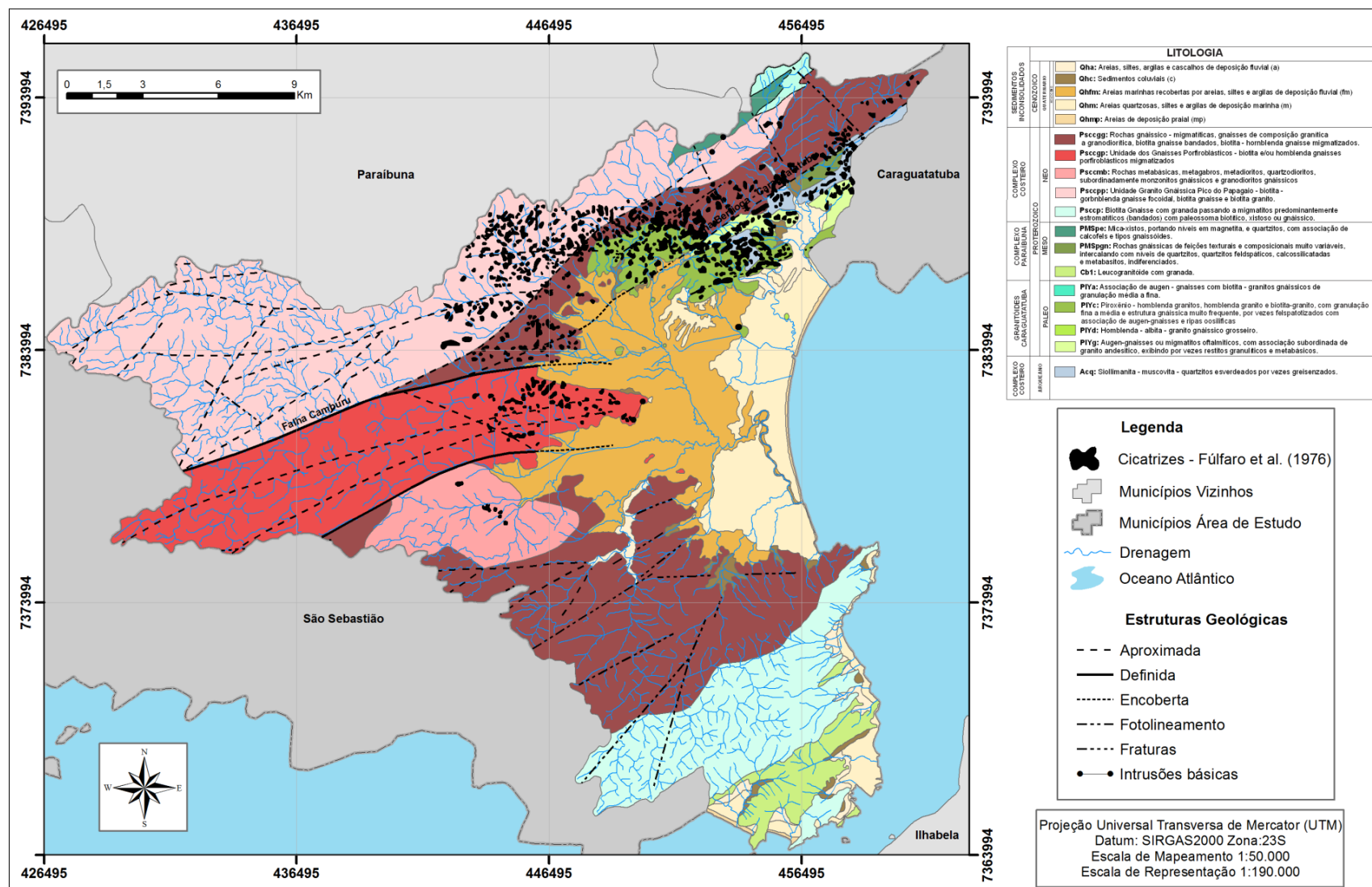


Figura 27. Mapa geológico com a distribuição das cicatrizes



6.5. Mapas de Suscetibilidade

Os cenários propostos foram elaborados considerando os parâmetros topográficos e litológicos. A validação destes cenários foi pautada no mapeamento dos escorregamentos de 1967, de Fúlfaro et al (1976). Para cada cenário proposto foi elaborado um gráfico contendo informações a cerca da Frequência (F) e Concentração de Cicatriz (CC) para cada classe de suscetibilidade.

Foram analisados 4 cenários: C, M, N e O. Os cenários foram analisados por dois métodos distintos, o primeiro método utiliza pesos para cada fator condicionante (declividade, hipsometria e geologia) gerando um mapa de suscetibilidade e o segundo método, utiliza pesos tanto para os fatores quanto para as classes de cada fator.

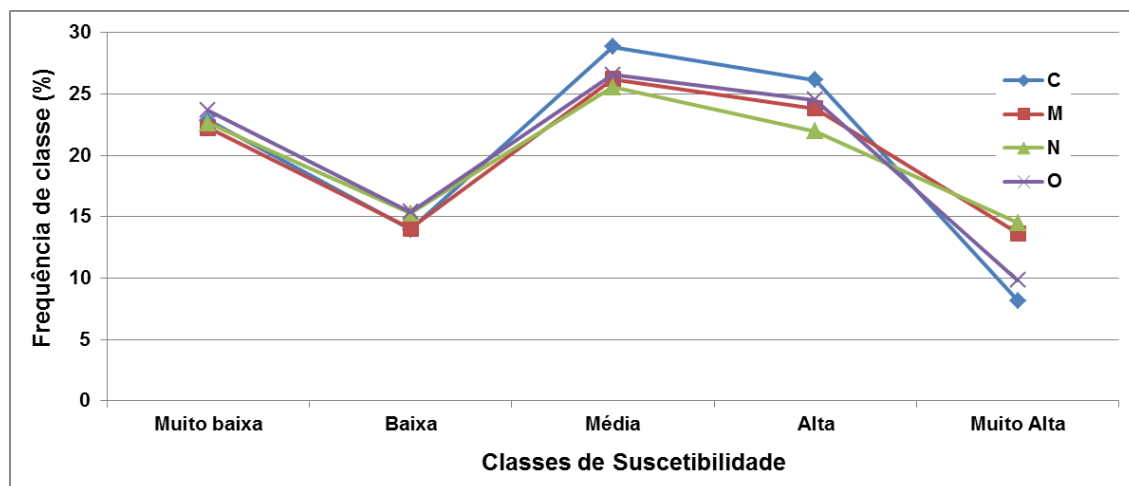
6.5.1. Cenários do Método 1

Na **Figura 28** é possível observar que os cenários C, M, N e O (**Figuras 30 a 33**) tiveram mudanças pouco significativas quanto a Frequência da Classe, ou seja, não houve muita diferença no tamanho das áreas das classes. Entre os quatro cenários, o que apresentou maior diferença foi o cenário C, com mudanças significativas nas classes média, alta e principalmente, muito alta.

A classe de média suscetibilidade foi a classe com maior Frequência em todos os cenários: C (29%), M (26%), N (26%) e O (27%). E a classe de alta suscetibilidade foi a que obteve menor Frequência: C (8%), M (13%), N (15%) e O (10%). A classe com baixa suscetibilidade se manteve praticamente igual nos cenários N e O (15,3 e 15,4, respectivamente), provavelmente por ter o mesmo peso de influência (30%) para o fator hipsometria.

Nos três cenários (M, N e O) houve uma queda suave da classe de média para alta suscetibilidade, e houve uma queda maior entre a classe de alta para muito alta. No cenário C houve um aumento na classe média e alta e uma queda de frequência na unidade muito alta suscetibilidade, diferenciando-se dos outros cenários.

Figura 28. Frequência (F) das classes de suscetibilidade dos mapas gerados sob as condições dos cenários C, M, N e O para o Método 1.



O comportamento da Concentração de Cicatriz (CC) foi utilizado para validação dos mapas de suscetibilidade e foi bastante similar nos quatro cenários. Na **Figura 29** observa-se que a classe com maior Concentração de Cicatrizes foi na classe de suscetibilidade média, em que o cenário 1M possui 43%, 1C 42%, 1O 38% e 1N 34%.

A Concentração de Cicatrizes na classe menos suscetível (muito baixa) foi maior no cenário 1O (4,1%) e 1C (2,8%) e menor no cenário 1M (1,7%) e 1N (2%). Depois da classe muito baixa suscetibilidade, onde já são esperados resultados muito baixos para o índice de Concentração de Cicatrizes, a outra classe com menor Concentração de Cicatrizes foi a classe de suscetibilidade muito alta, em que os cenários apresentaram os valores mais baixos sendo 1C (7%), 1O (9%), 1M (12%) e 1N (16%). Analisando as classes mais suscetíveis (alta e muito alta), observou-se que as somas das Concentrações de Cicatrizes foram 31%, 32%, 42% e 39%, nos cenários 1C, 1M, 1N e 1O.

Analisando os gráficos obtidos para o Método 1 observamos que há maior concentração de cicatrizes na classe de média suscetibilidade enquanto deveriam se concentrar em classes alta ou muito alta suscetibilidade. Neste caso nenhum dos cenários ficou bom, porém, entre eles, o cenário O obteve o melhor resultado, pois obteve o menor valor para a classe muito baixa, o segundo menor valor para a classe média, e o maior valor para a classe alta. O cenário N também obteve um resultado melhor, caracterizado por possuir menor valor para

a classe média e maiores valores para as classes alta e muito alta, porém, teve valores maiores que o cenário O para a classe de baixa suscetibilidade.

Figura 29. Distribuição da Concentração de Cicatriz em relação as classes de suscetibilidade para o Método 1.

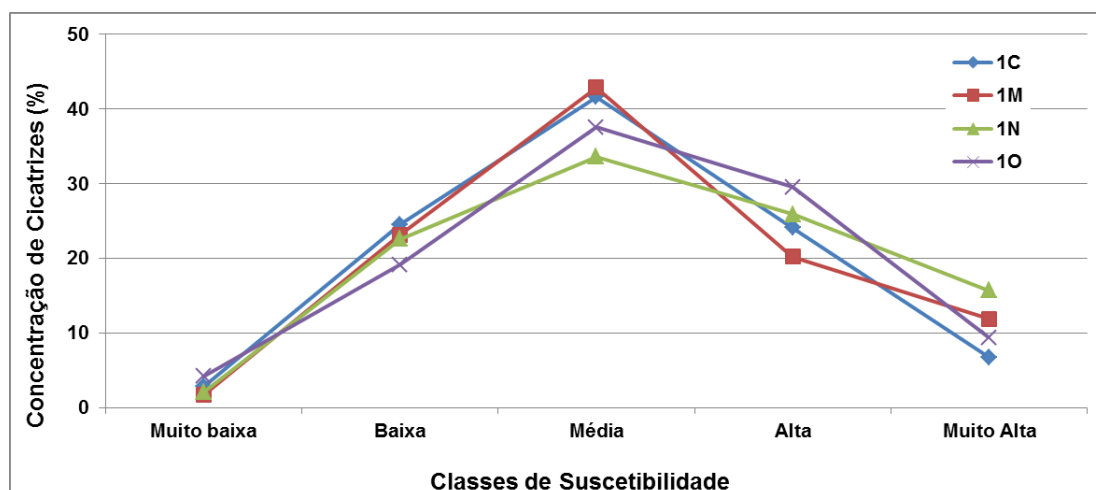


Figura 30. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 1 no Cenário C (pesos de influência: 50% declividade, 40% hipsometria e 10% geologia).

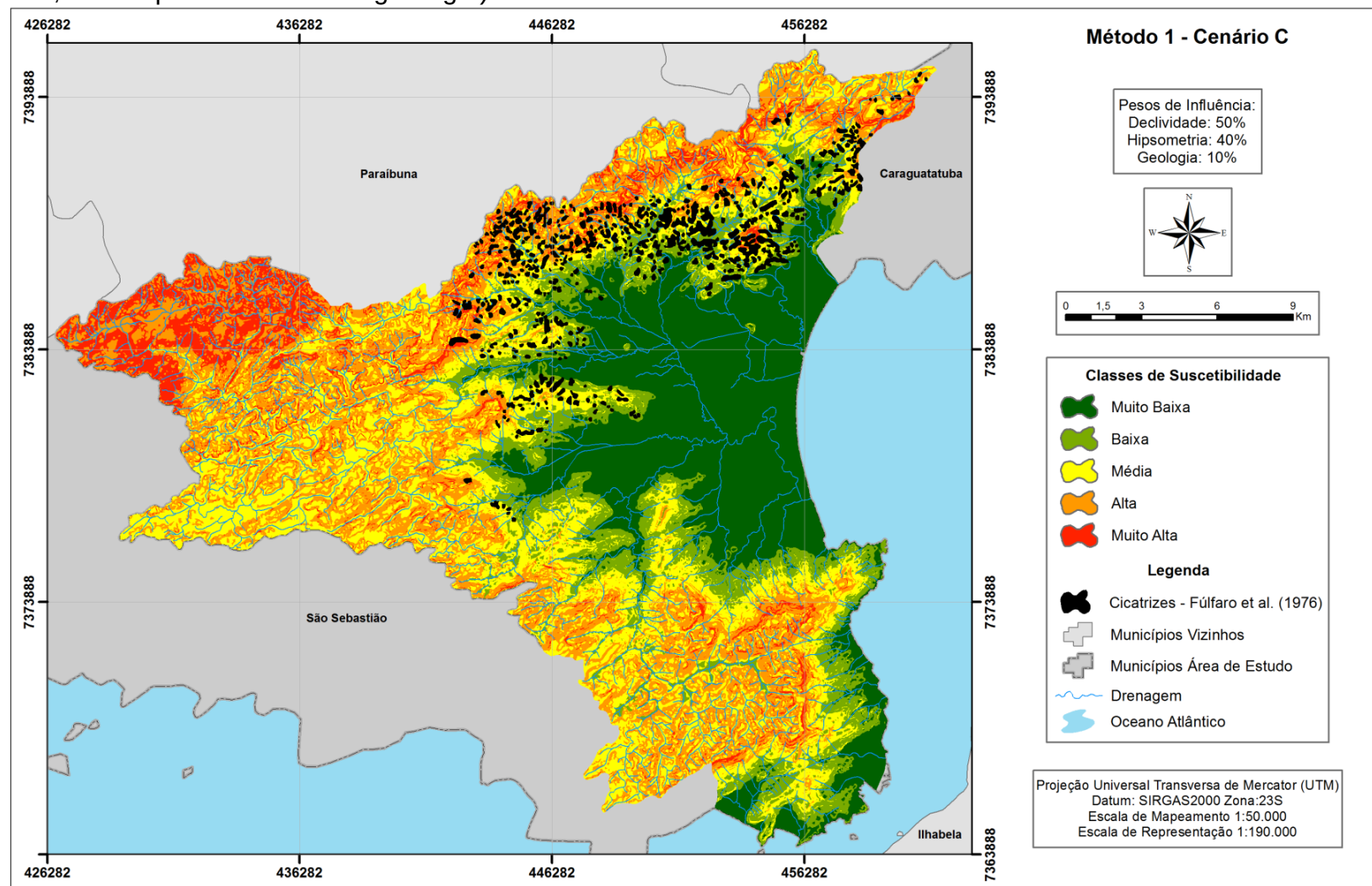


Figura 31. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 1 no Cenário M (pesos de influência: 40% declividade, 40% hipsometria e 20% geologia)

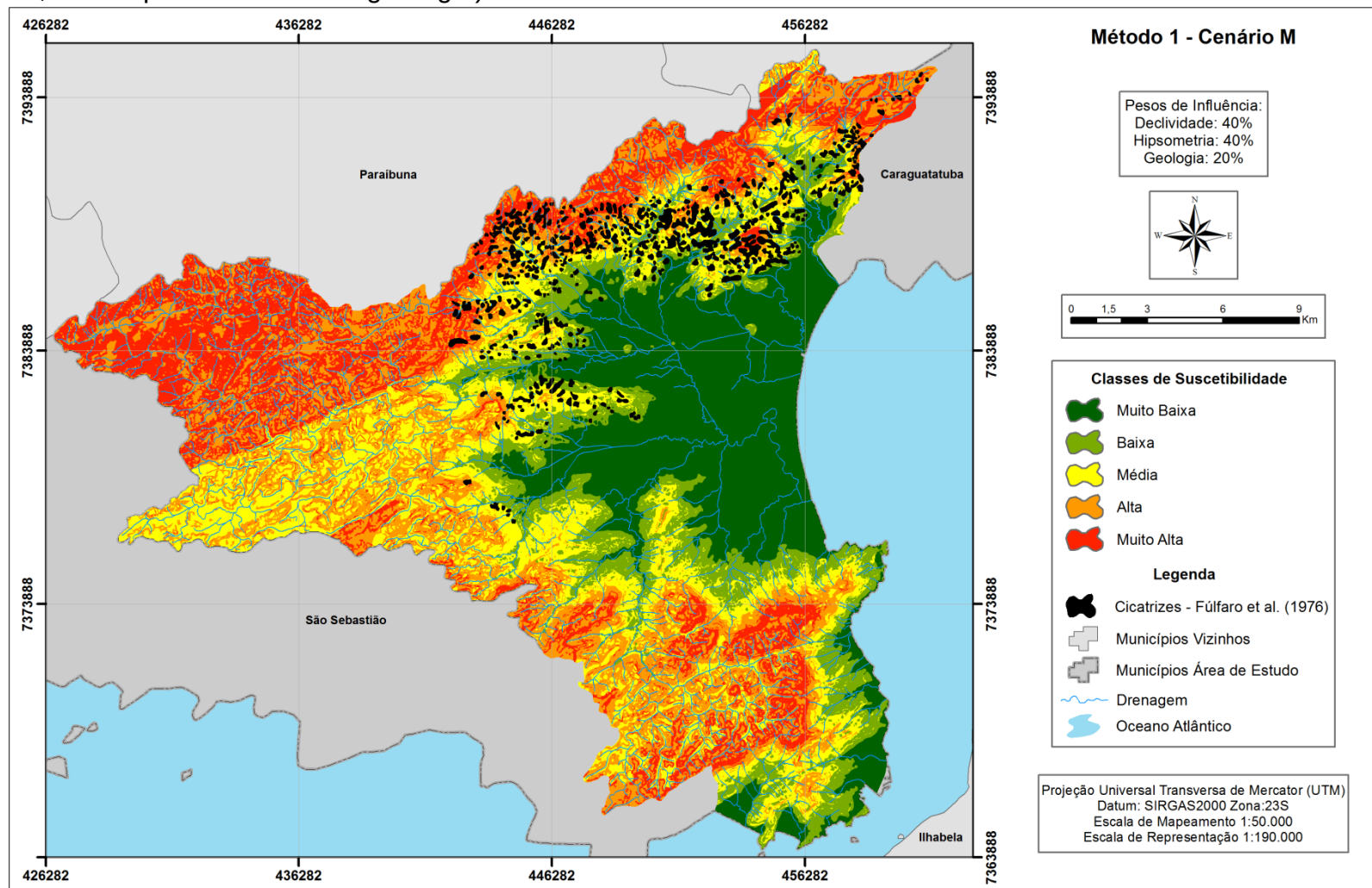


Figura 32. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 1 no Cenário N (pesos de influência: 50% declividade, 30% hipsometria e 20% geologia)

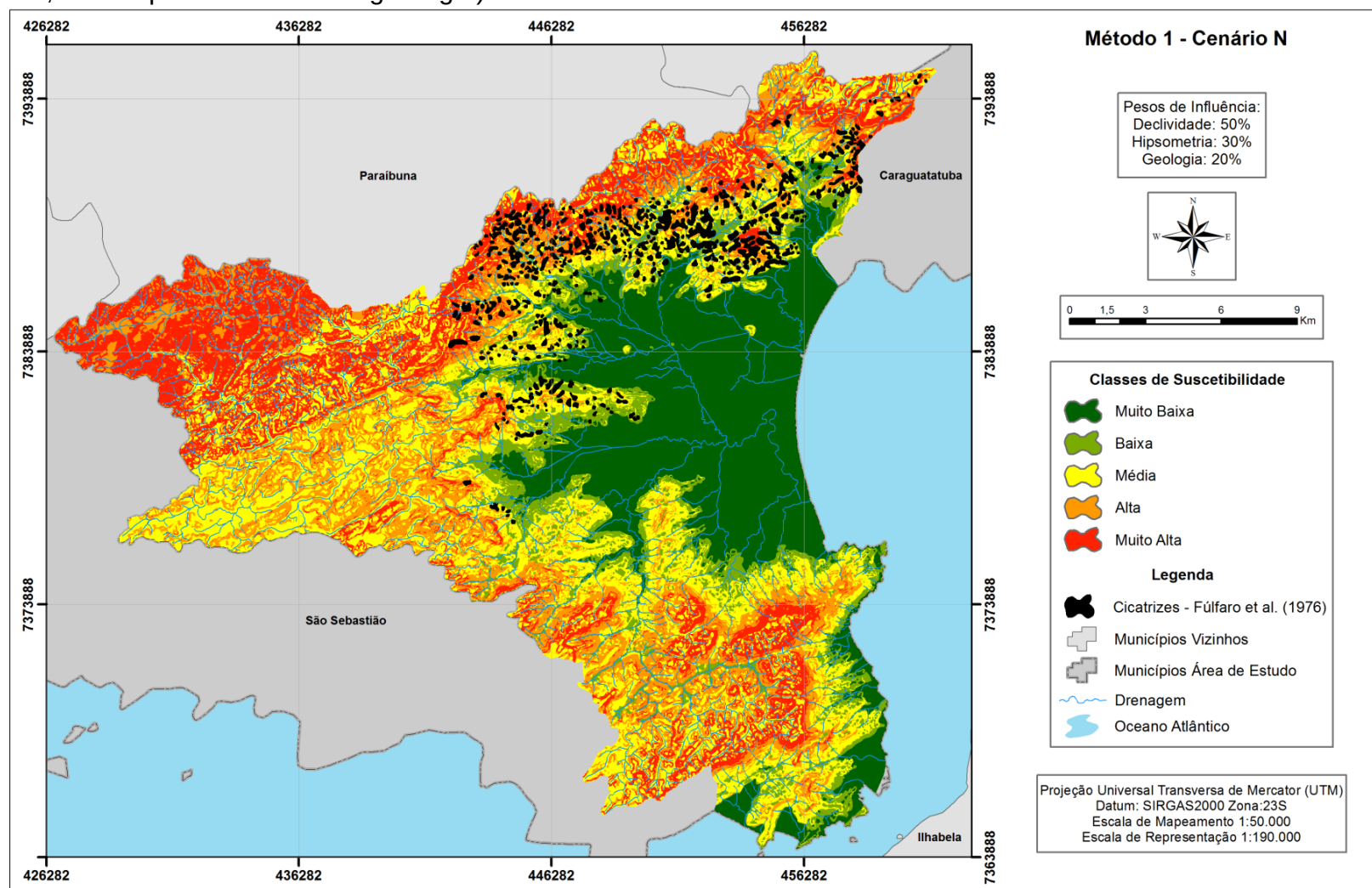
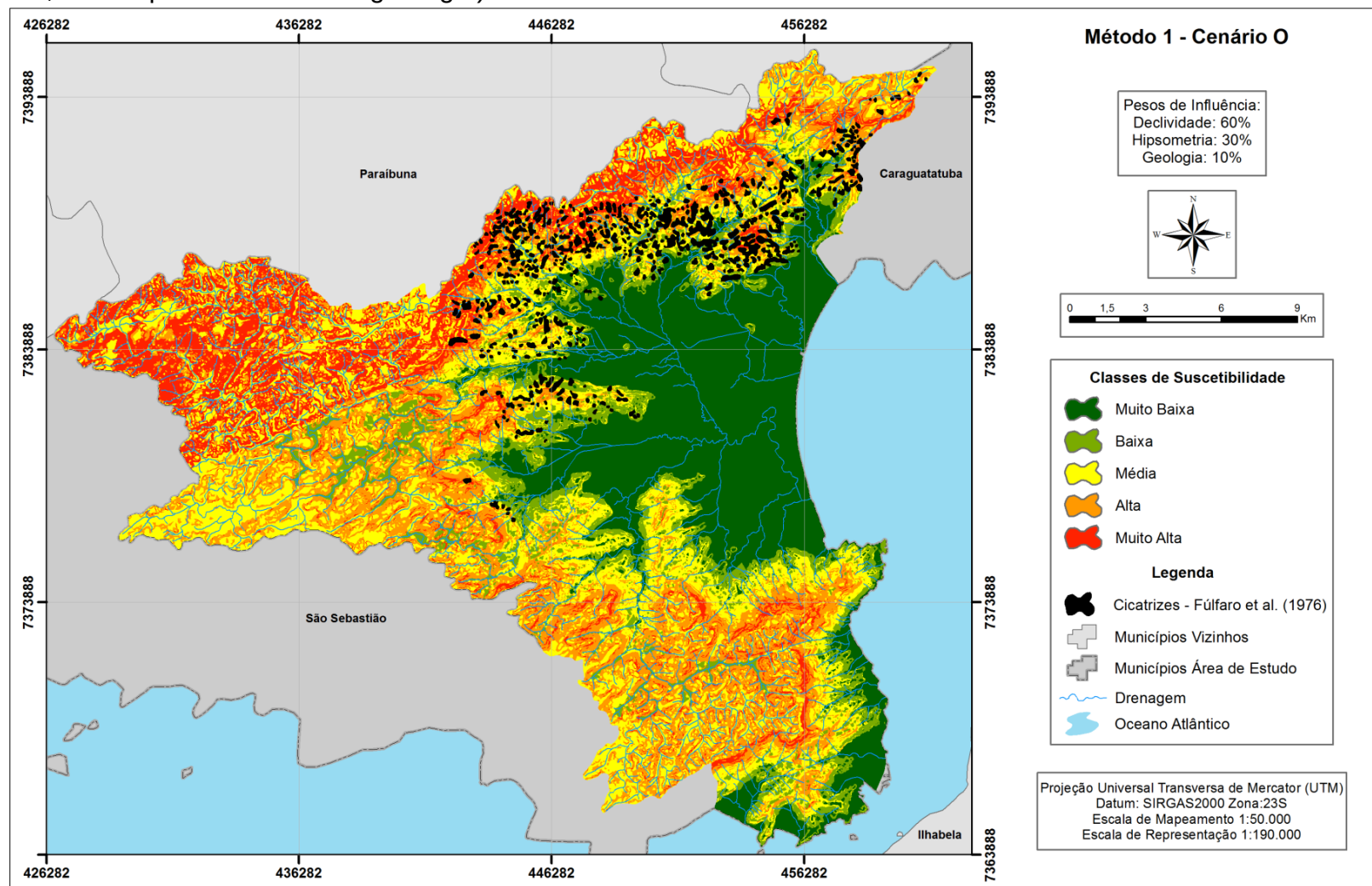


Figura 33. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 1 no Cenário O (pesos de influência: 60% declividade, 30% hipsometria e 10% geologia).



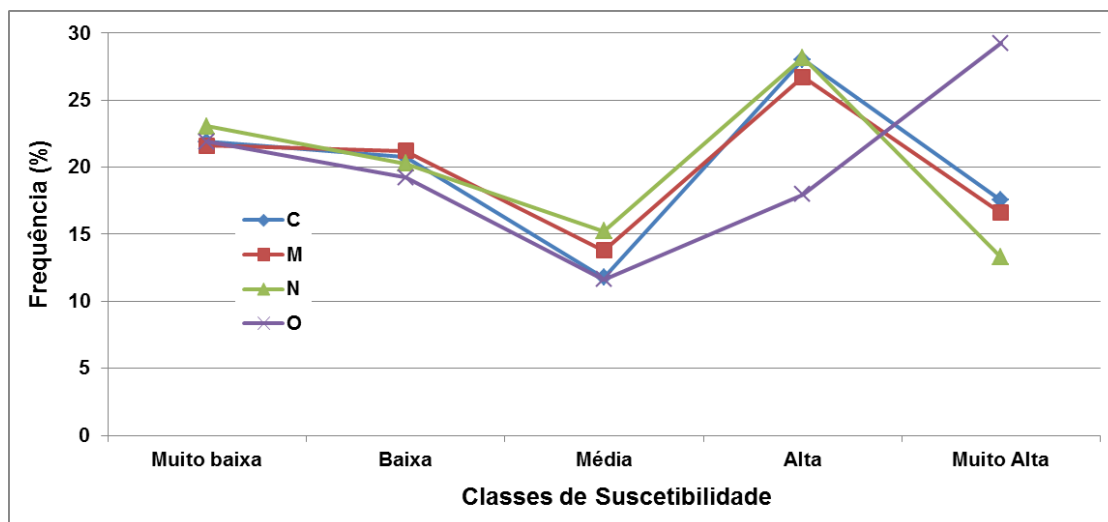
6.5.2. Cenários do Método 2

Neste método, além de colocar pesos de influência para os fatores condicionantes foram determinados pesos para as classes de cada fator. Os pesos dos fatores foram os mesmos nos dois métodos, a diferença é que o segundo método é induzido por pesos em cada classe, e essas alterações provocaram mudanças significativas nos mapas de suscetibilidade.

Na **Figura 34**, o gráfico de Frequência de classes para o Método 2, demonstra que os cenários C, M e N (**Figuras 36, 37 e 38**) não apresentaram mudanças significativas entre si, estes apresentaram maiores valores de Frequência para a classe alta suscetibilidade. O cenário O (**Figura 39**) foi o que apresentou maior diferença entre eles, este obteve menor valor para a classe alta suscetibilidade e maior valor para a classe muito alta suscetibilidade.

A classe com maior Frequência na área de estudo é a de alta suscetibilidade com índices de frequência entre 18% e 28%. A classe com menor Frequência é a de média suscetibilidade, em que o cenário C e O obtiveram frequência de 12%, o M com 14% e o cenário N com 15%.

Figura 34. Frequência (F) das classes de suscetibilidade dos mapas gerados sob as condições dos cenários C, M, N e O para o Método 2.



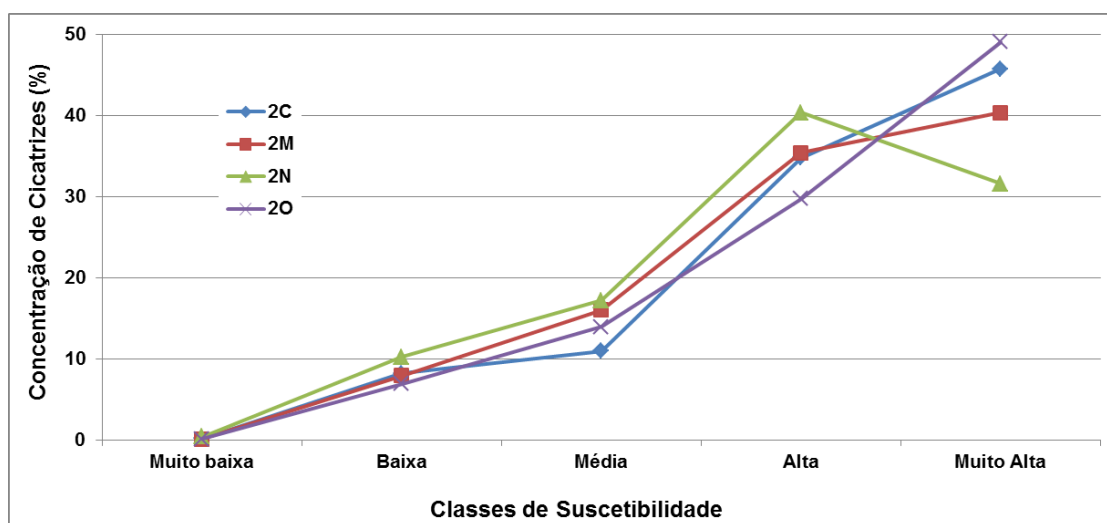
Em relação à Concentração de Cicatriz (CC), o gráfico da **Figura 35** demonstra que a distribuição de cicatrizes foi coerente quanto as classes de suscetibilidade. As menores concentrações são encontradas nas classes muito

baixa e baixa suscetibilidade, suave aumento para a classe média, seguido de um aumento considerável para a classe alta e muito alta.

A classe com maior Concentração de Cicatriz foi a classe de suscetibilidade muito alta, em que o cenário 2O possui 49% das cicatrizes, o 2C 46%, o 2M 40% e o cenário 2N 31%. O cenário 2N se diferenciou dos demais, pois possui a maior Concentração de Cicatriz na classe de suscetibilidade alta (40%) e menor Concentração de Cicatriz na classe de suscetibilidade muito alta (31%), e o cenário O possui menor Concentração de Cicatriz na classe alta (30%) e maior na classe de suscetibilidade muito alta (49%).

Analisando os gráficos obtidos para o Método 2 observamos que há maior concentração de cicatrizes nas classes alta e muito alta suscetibilidade, considerando a soma destas classes, houve uma Concentração de Cicatriz de 80%, 76%, 72% e 79%, nos cenários 2C, 2M, 2N, 2O, respectivamente, validando este método como o mais próximo do real.

Figura 35. Distribuição da Concentração de Cicatriz em relação as classes de suscetibilidade para o Método 2.



Neste caso os melhores cenários foram os cenários 2O e o 2C. O cenário 2O possui os menores valores para as classes muito baixa, baixa e média suscetibilidade e valor alto para a classe muito alta suscetibilidade. O cenário 2C também obteve um resultado melhor, caracterizado por possuir menores valores para as classes muito baixa, baixa e média suscetibilidade, e maiores valores para as classes alta e muito alta.

Figura 36. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 2 no Cenário C (pesos de influência: 50% declividade, 40% hipsometria e 10% geologia).

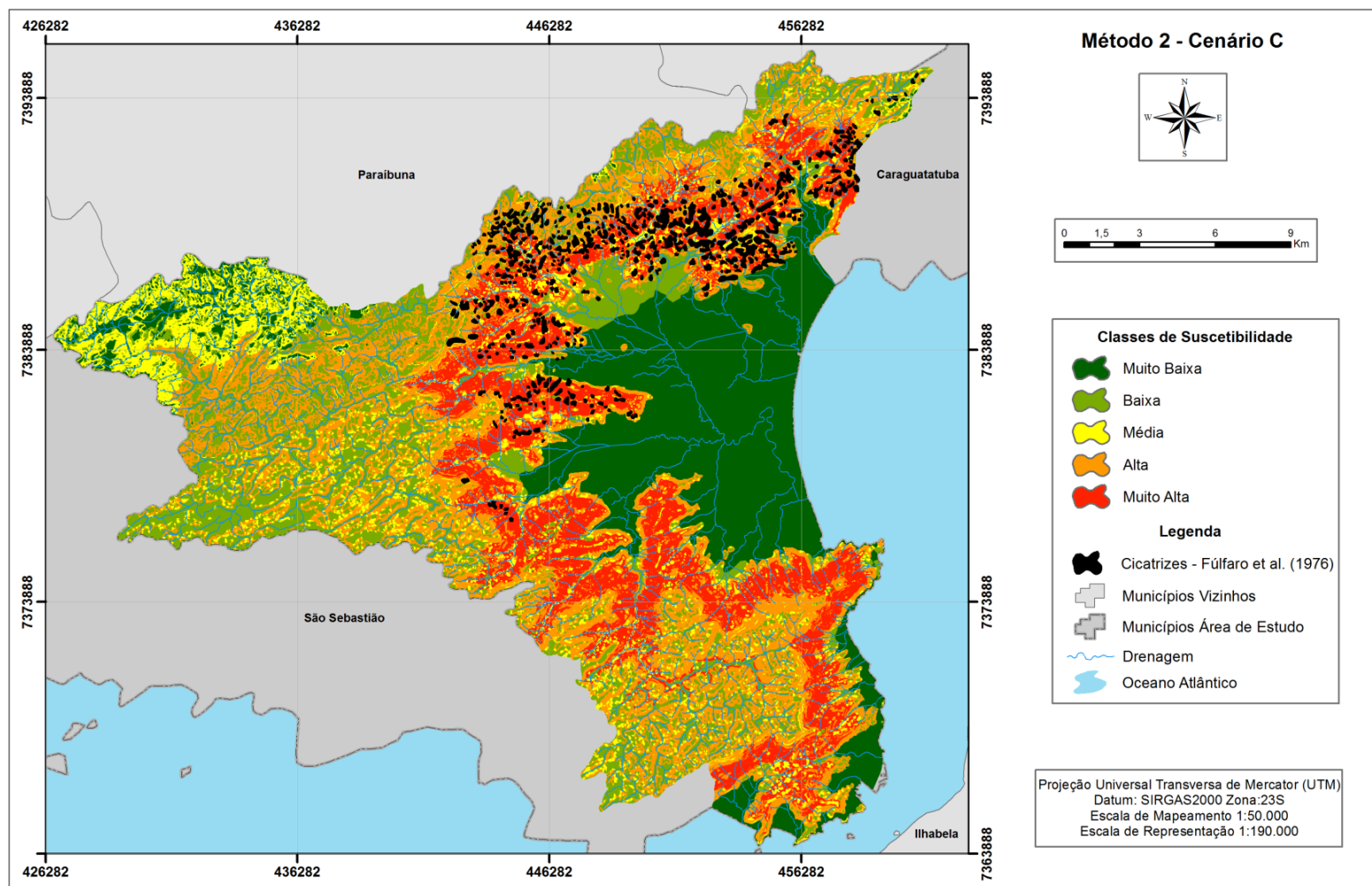


Figura 37. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 2 no Cenário M (pesos de influência: 40% declividade, 40% hipsometria e 20% geologia)

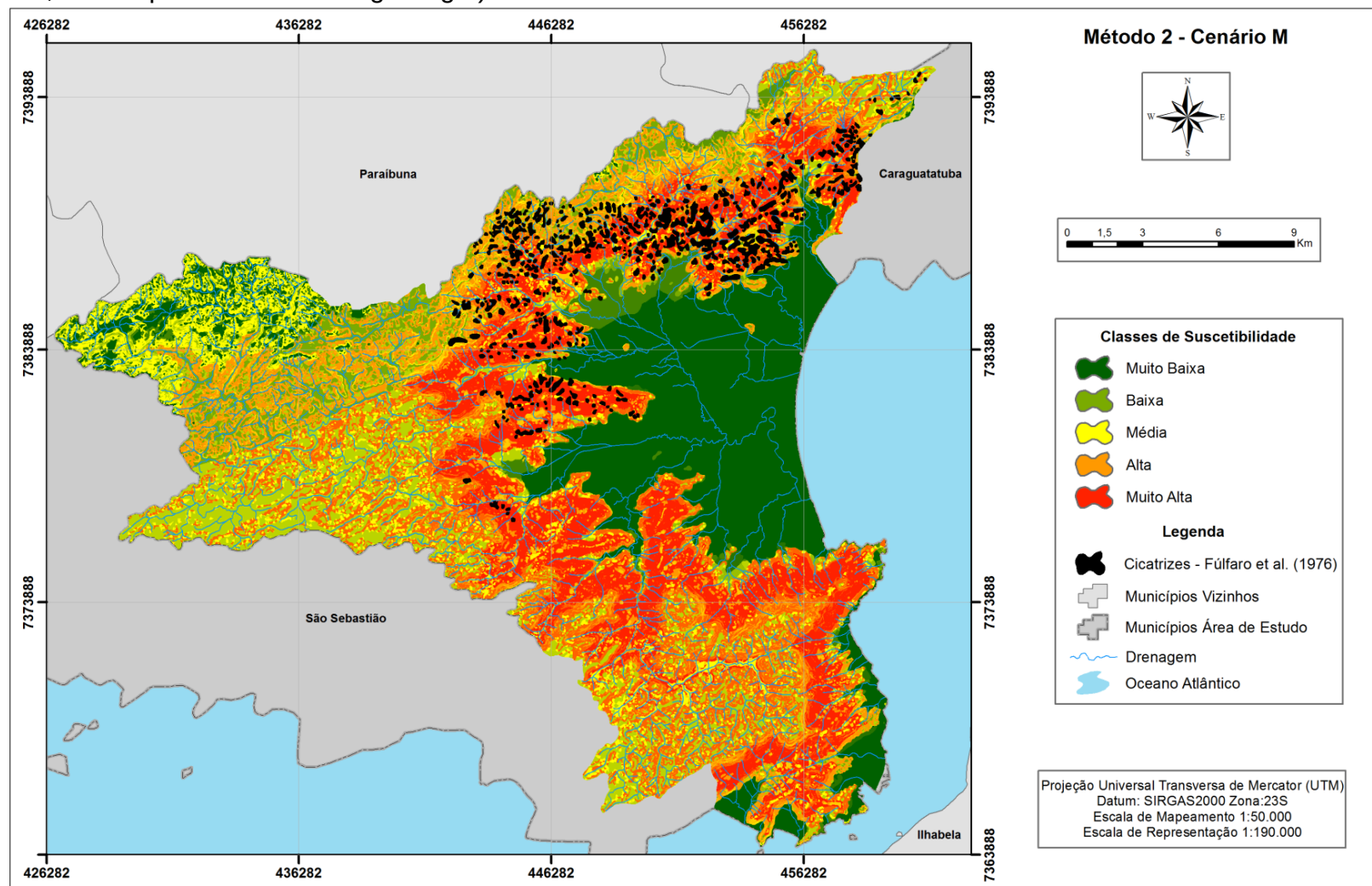


Figura 38. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 2 no Cenário N (pesos de influência: 50% declividade, 30% hipsometria e 20% geologia)

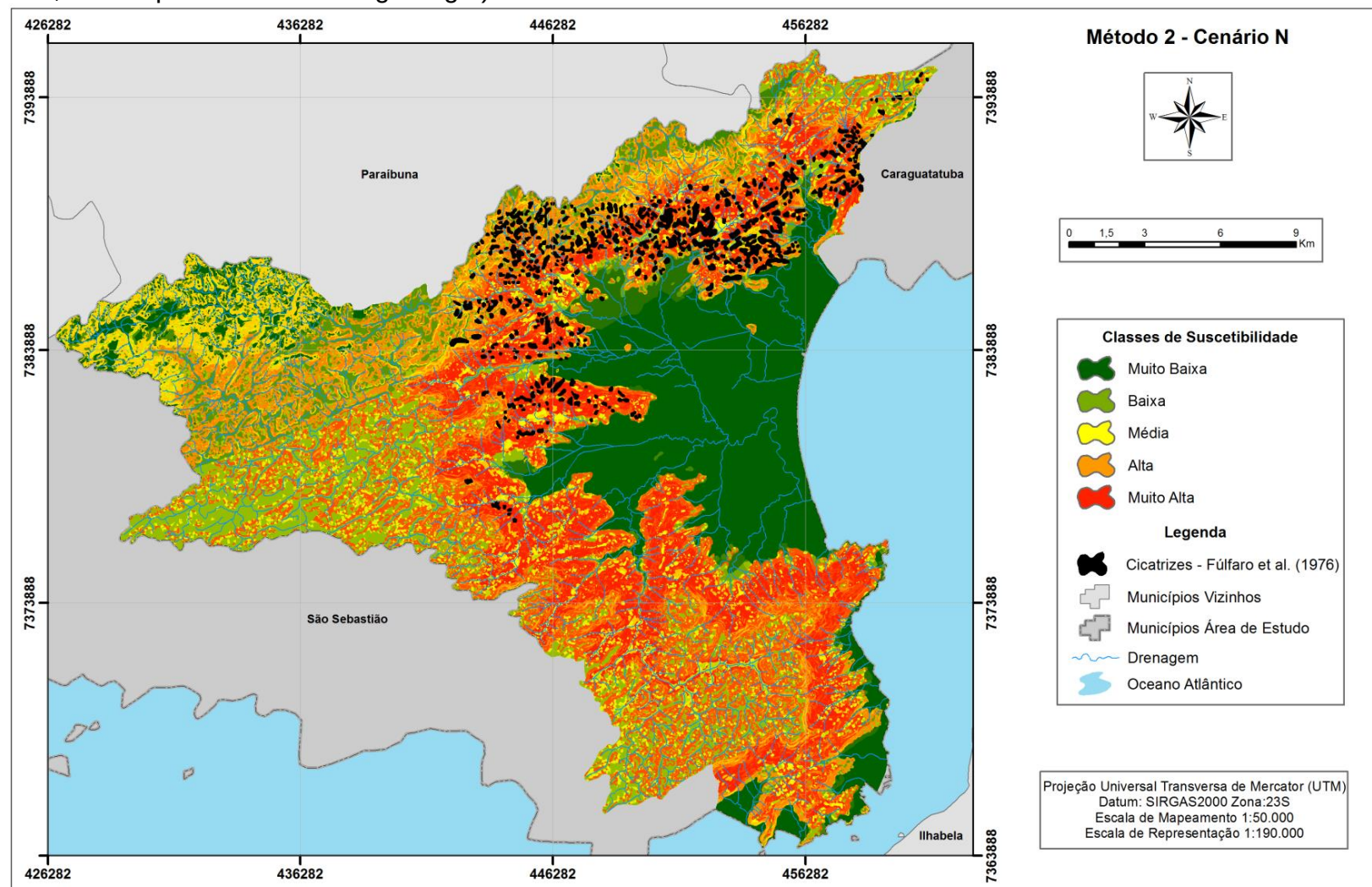
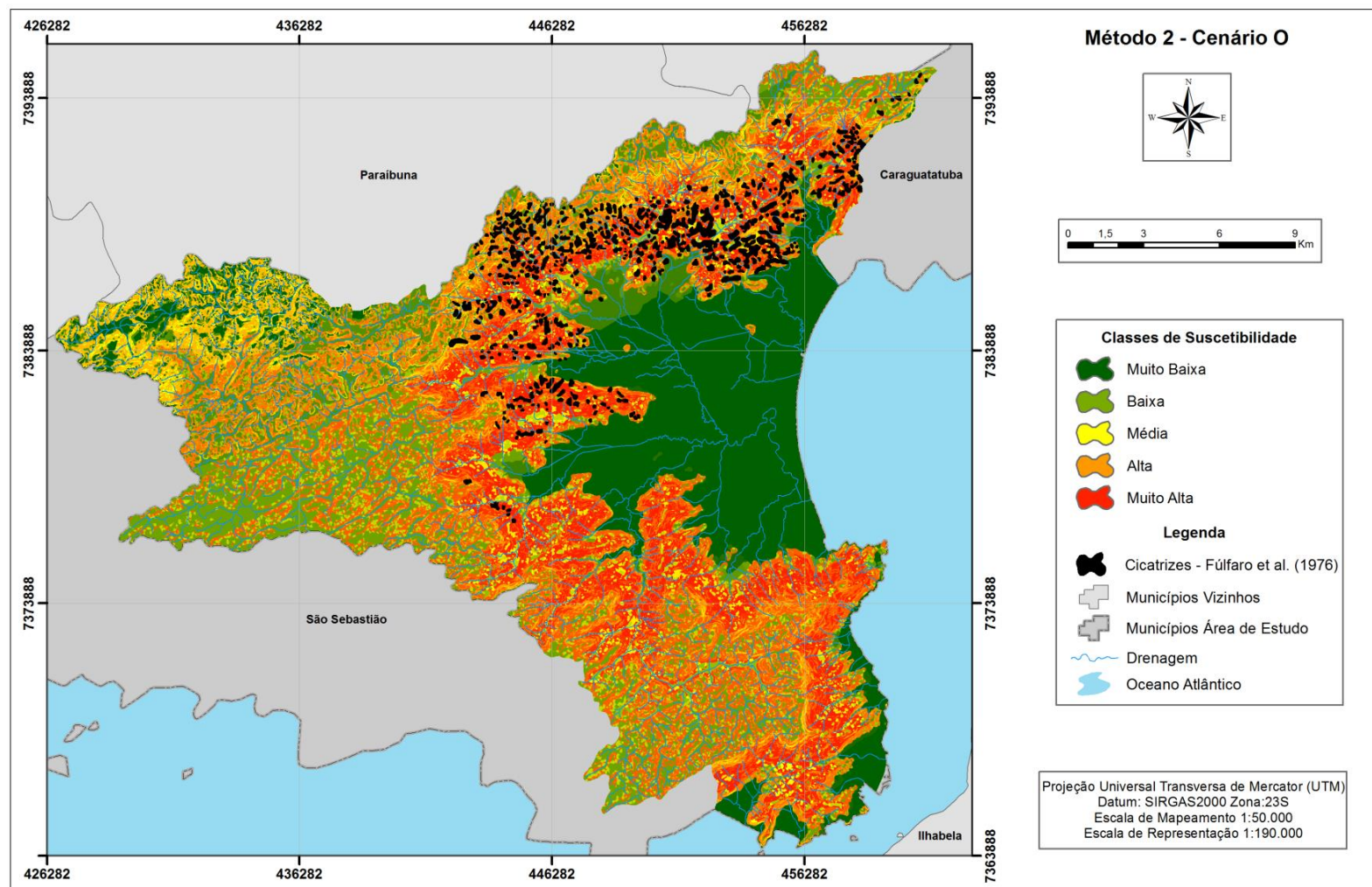


Figura 39. Mapa de Suscetibilidade simulado sob condições do Método 2 no Cenário O (pesos de influência: 60% declividade, 30% hipsometria e 10% geologia)



6.5.3. Validação conjunta dos cenários e dos métodos

A **Tabela 1** representa os valores absolutos e percentuais da área instável total e da área instável com e sem cicatrizes. O Método 2 obteve os melhores resultados e apresentou os menores valores percentuais para áreas instáveis sem cicatrizes, entre 53 e 56%, e para as áreas instáveis com cicatrizes, maiores valores entre 2,7 e 2,8%, em comparação ao Método 1. Ressalta-se que o valor de área instável sem cicatriz deveria ser o menor possível, porém a área de estudo deste trabalho é muito maior do que a área de cicatrizes mapeada por Fúlfaro et al (1976), e por isso seria impossível que este valor fosse mais baixo, portanto a análise está baseada na comparação entre os dois métodos.

Tabela 1. Valores absolutos e percentuais da área instável total e área instável com e sem cicatrizes para os cenários C, M, N e O a partir do Método 1 e 2.

	Cenários	Área Instável (km ²)	Área Instável (%)	Área instável sem cicatriz (%)	Área instável com cicatriz (%)
Método 1	C	314,2	63,2	60,94	2,26
	M	316,7	63,7	61,36	2,34
	N	308,7	62,1	59,73	2,35
	O	302,9	60,9	58,53	2,39
Método 2	C	285,0	57,3	54,47	2,86
	M	284,2	57,2	54,30	2,86
	N	281,9	56,7	53,92	2,78
	O	292,6	58,8	55,95	2,89

Para as áreas estáveis com e sem cicatrizes o Método 2 também apresentou os melhores resultados. Observa-se na **Tabela 2** que este obteve os menores valores percentuais para áreas estáveis com cicatrizes (abaixo de 0,5%) e maiores valores para áreas estáveis sem cicatrizes (entre 40 e 43%), em concordância com o real, onde as áreas estáveis não devem ter ocorrência de escorregamentos. O Método 1 também apresentou valores satisfatórios,

percentuais menores que 1% e maiores que 0,5% para as áreas estáveis com cicatrizes e maiores valores para áreas estáveis sem cicatrizes.

Tabela 2. Valores absolutos e percentuais da área estável total e área instável com e sem cicatrizes para os cenários C, M, N e O a partir do Método 1 e 2.

	Cenários	Área estável (km ²)	Área estável (%)	Área estável com cicatriz (%)	Área estável sem cicatriz (%)
Método 1	C	183,0	36,8	0,84	35,96
	M	180,4	36,3	0,77	35,51
	N	188,6	37,9	0,77	37,16
	O	194,4	39,1	0,73	38,36
Método 2	C	212,1	42,7	0,26	42,40
	M	213,0	42,8	0,26	42,58
	N	215,3	43,3	0,33	42,97
	O	204,6	41,2	0,22	40,94

A validação conjunta dos cenários e dos métodos demonstrou que para as áreas instáveis com e sem cicatrizes, o Método 2 se apresentou como o método que mais concorda com a realidade. Dentre os cenários, o melhor cenário foi o cenário O. Para as áreas estáveis com e sem cicatrizes, o Método 2 também se apresentou como o mais adequado. Em concordância com as áreas instáveis, este método também selecionou o cenário O como o melhor cenário.

Lembrando que o cenário O foi gerado a partir dos pesos de influência em que a declividade recebeu o valor de 60%, a hipsometria com 30% e a geologia com 10%. Se este cenário está concordando com o mapeamento de cicatrizes, este está concordando com a realidade, portanto, afirma-se que a nesta área de estudo, os escorregamentos estão fortemente influenciados pela declividade, seguido da hipsometria e geologia.

7. CONCLUSÕES

A partir da análise fisiográfica e quantitativa foi possível identificar que os escorregamentos mapeados por Fúlfaro et al. (1976) se concentraram nas classes entre 100 e 400 m de altitude, em declividades entre 15 e 30°. A maioria das cicatrizes se concentrou em áreas compostas por Gnaiss Migmatítico e Granito-Gnaiss, porém, a classe de Quartzito também apresentou maior concentração de cicatrizes e o maior fator de desproporcionalidade entre as classes. Portanto, estas classes indicaram maior suscetibilidade na área de estudo.

O Método de Compartimentação Fisiográfica mostrou-se eficiente para caracterização preliminar da área de estudo, auxiliando na compreensão do meio físico a partir da homogeneização de unidades que possuem características semelhantes. Além disso, ao cruzar o Mapa de Compartimentação Fisiográfica com o mapeamento de cicatrizes de Fúlfaro et al. (1976) foi possível identificar de forma clara que a Unidade Fisiográfica IV foi a mais suscetível a escorregamento dentro da área de estudo. Portanto, foi uma ferramenta essencial para o estudo de suscetibilidade de escorregamentos, tanto na caracterização da área de estudo quanto na análise quantitativa da ocorrência dos fatores condicionantes.

Os Mapas de Suscetibilidade foram gerados por dois métodos diferentes que se basearam na análise quantitativa da ocorrência dos fatores condicionantes. O Método 1 foi gerado a partir de pesos de influência para os fatores condicionantes ao escorregamento. O Método 2 manteve os pesos de influência para os fatores e incluiu pesos de influência para as classes dentro cada fator.

O Método 1 apresentou maiores concentrações de cicatrizes na classe de média suscetibilidade enquanto deveriam se concentrar nas classes alta e muito alta suscetibilidade. Entre os cenários testados o que obteve o melhor resultado foi o cenário O, pois teve o menor valor para a classe muito baixa e média suscetibilidade. O Método 2 apresentou as maiores concentrações de cicatrizes nas classes alta e muito alta suscetibilidade, apresentando maior concordância com o mapeamento de cicatrizes. Entre os cenários testados, o cenário O e o cenário C apresentaram melhores resultados.

Ao realizar a validação dos cenários e métodos, para a área de estudo, observou-se que Método 1 subestimou as classes instáveis sem cicatrizes e estáveis com cicatrizes. O Método 2 obteve menores índices percentuais que o Método 1 para as classes instáveis sem cicatrizes, porém ainda assim, representa índices altos em relação a esta classe.

Quanto às classes estáveis com cicatrizes, o Método 2 se mostrou muito eficiente, pois apresentou os menores valores percentuais, demonstrando que há poucos erros quanto à classe estável gerada no mapa. Portanto, o Método 2, foi escolhido como o melhor método de análise de suscetibilidade a partir da análise fisiográfica e quantitativa. E o cenário O foi escolhido como o cenário mais adequado, onde a declividade recebeu peso de 60%, a hipsometria com 30% e a geologia com 10%. Portanto, dentre os fatores analisados, o fator que mais favorece a ocorrência de escorregamentos, na área de estudo, é o fator declividade, seguido da hipsometria e da geologia.

Em suma, o uso da Compartimentação Fisiográfica, dos índices de Frequência de Classe, Concentração de Cicatriz e Fator de Desproporcionalidade para análise quantitativa e espacial de cicatrizes de escorregamento foram ferramentas eficientes e facilmente aplicadas como demonstrado nesta pesquisa. Além disso, o uso de fotografias aéreas, ferramentas de sensoriamento remoto e processamento em SIG são essenciais para o estudo da dinâmica dos escorregamentos.

Quanto aos futuros trabalhos, torna-se importante testar novos cenários de suscetibilidade utilizando mais fatores condicionantes, como por exemplo, os solos e as chuvas, com o intuito de aperfeiçoar os resultados. Acredita-se que o mapeamento de suscetibilidade é o primeiro passo no sentido de mitigar efetivamente áreas suscetíveis a escorregamentos e minimizar as consequências negativas destes eventos na sociedade.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. R. et al. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Tradução de Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 78 p. (Série Paulo de Assis Ribeiro, n. 9).
- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: Conferência Brasileira Sobre estabilidade De Encostas, 1, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733. 1992.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. **Estabilidade de Taludes**. 1998. In: Oliveira, A.M.S. e De Brito, S.N.A., Geologia de Engenharia. 1a ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 582 páginas. 1998.
- AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L.E.S. **Programa Serra do Mar: Carta geotécnica da Serrado Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 49p, 1988.
- AUGUSTO FILHO, O.; WOLLE, C. M. (1996) Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP. **Solos e Rochas**, 19: 45-62.
- AYALEW, L. et al. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa área of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. **Landslides**, Fevereiro 2004, V. 1, p. 73 – 81.
- BARROS, W. T.; AMARAL, C. P.; D'ORSI, R. N. (1992) Landslide susceptibility map of Rio de Janeiro. In **Bell** (ed.)
- BARROS, W. T.; AMARAL, C.; SOBREIRA, F. G.; D'ORSI, R.; MAIA, H. S.; CUNHA, R. P. (1988) Catastrophic avalanche at the St. Genoveva clinic slope. **Solos e Rochas**, 11: 17-27.
- BONHAM-CARTER, G. F. (1996): Geographic information systems for geoscientists. Modelling with GIS. Tarrytown, N. Y., **Pergamon, Elsevier**

- Science Ltd.**, Computer Methods in the Geosciences, vol. 13, 398 p., 1^a ed. 1994, reimpresso em 1996.
- BOURNE, R. Regional survey and its relation to stock taking of agricultural and forest resources of the British Empire. **Oxford Forestry Memoirs**, v.13, p. 7-62, 1931.
- CARRARA, A. C.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. (1991) GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. **Earth Surface Processes and Landforms**, 16: 427-445.
- CARRARA, A., CARDINALI, M., GUZZETTI, F., and REICHENBACH, P.: **GIS technology in mapping landslide hazard**, In: Geographical Information Systems in assessing Natural Hazards, (Eds) Carrara, A. and Guzzetti, F., Kluwer Pub., Dordrecht, The Netherlands, 135–175, 1995.
- CARVALHO, C. M.; RIEDEL, P. S. Análise da suscetibilidade a escorregamentos nos entornos dos polidutos de Cubatão - SP, através de técnicas de informação geográfica. **Holos Environment**, p. 157–173, 2004
- CROZIER, M. J. (1986) Landslides; causes, consequences, and environment. **Croom Helm**, London, 252p.
- CROZIER, M. Techniques for the morphometric analysis of landslide. **Zeitschrift für Geomorphologie**. V. 17, n. 1, p. 78-101, 1973.
- CRUDEN, D. M.; KRAUTER, E.; LEFEBURE, G.; TER-SHEPANIAN, G. I.; ZHANG, Z. Y. Describing landslides in several languages: the multilingual landslide glossary. In: INTERNACIONAL IAEG CONGRESS, 7, 1994. **Resumos**. Rotterdam, Balkema. P. 1325-1333.
- CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslides: type and processes. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. **Landslides investigation and mitigation**. Washington: Transportation Research Board, National Research Council – Special Report, 247.1996. Cap. 3, p. 36 – 75.
- CRUZ, O. **A Serra do Mar e o Litoral na área de Caraguatatuba - SP**. p. 181. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

- CUNHA, M. L. da C. **A cartografia geomorfológica em áreas litorâneas**. Livredocência. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro – SP, 2011.
- DA SILVA, R.F. **Análise de magnitude e frequência espacial de movimentos de massa em Caraguatatuba – SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 109p.
- DAI, F. C. e LEE, C. F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. **Geomorphology**, 2002, V. 42, p. 213-228.
- DELGADO, J. A. C. Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos por meio do uso de sistema de informações geográficas: aplicação em uma área do eixo cafeeiro colombiano. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília. Brasília, 2006. p. 96.
- DNPM/CPRM. Mapa Geológico da Folha Pico do Papagaio 1:50000. **Projeto de Integração Geológica da Região Metropolitana de São Paulo**, 1991.
- EINSTEIN, H. H. Landslides risk assessment procedue. In: Internacional Symposium on Landslides, 5, **Lausanne**, 1988. Vol. 2. P. 1075-1090.
- FENNEMAN, N. M. Physiographic subdivision of the United States. **Geology**, n. 24, nov. 1916.
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C.P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand, p. 123-94, 1996.
- FERNANDES, N.F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51–71, 2001.
- FREDLUND, D. G. (1987) Slope stability analysis incorporating the effect of soil suction. In Anderson, M.G. e Richards, K.S (eds.) Slope Stability. John Wiley, Chichester:113-144.

- FREIRE, E. S. M. **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática**. Rio de Janeiro: Construção, 1965.
- FULFARO, V.; PONÇANO, W. L.; BISTRICHI, C. A.; STEIN, D. P. Escorregamentos de Caraguatatuba: expressão atual, e registro na coluna sedimentar da planície costeira adjacente. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1976. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1976. v. 2, p. 341-350.
- GOBBI, E. S. **Depósitos gravitacionais, marinhos e fluviais e a evolução geomorfológica da planície sedimentar de Caraguatatuba – SP**. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas – SP, 2009.
- GRAMANI, M. F. Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Solos), EPUSP – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001. 372p.
- GRAMANI, M. F.; KANJI, M. A. **Debris flows in Brazil: geological setting and parameters**. In: Internacional Geological Congress, 31, Rio de Janeiro. 2000. Boletim de resumos.
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C.M. (1976) **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher.
- GUIDICINI, G.; IWASA, O.Y. Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido. São Paulo. IPT, 1976.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e sua escavação**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.
- GUY, M. Queque princípios q queque experiente suar lá metodologia de lá photointerpretation. Simposium Interancional de Photointerpretation. Paris, 1966, 1, 02-41.
- GUZZETTI F., CARRARA A., CARDINALI M. & REICHENBACH P., Landslide hazard evaluation: an aid to a sustainable development. **Geomorphology**, 31, 1999, 181-216.

- HADMOKO, D. S. et al. Application of a semiquantitative and GIS-based statistical model to landslide susceptibility zonation in Kayangan Catchment, Java, Indonésia. **Nat. Hazards**, Fevereiro 2017.
- HASUI, Y. (Coord.) 1982. **Mapa geológico da folha Caraguatatuba** (SF-23-Y-D-VI-1). São Paulo, CPRM/PRÓ-MINÉRIO. Esc. 1:50.000.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2012.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; BISTRICHI, C. A.; STEIN, D. P.; GALVÃO, C. A. C. F.; GIMENEZ, A. F.; ALMEIDA, M. A.; NETO, A. G. P.; MELO, M. S.; SANTOS, M. C. S. R. **Geologia da região administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da Região Administrativa 2 (Litoral) do estado de São Paulo: Mapa Geológico em escala 1: 200.000**. [S.l.]: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT. Monografias, 1), Publicação IPT n. 1106, 1978.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; NETO, M. C. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. A.; MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. **Província Mantiqueira. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, Beca São Paulo, p. 203–235, 2004.
- HERBERTSON, A. The major natural regions: an essay in systematic geography. **Geographical Journal**. 1905.
- HUNT, R. E. Landslides and other slope failures. **Geotechnical Engineering Investigation Manual**. USA: McGraw-Hill, 1984. p.665-784.
- HUTCHINSON, J. N. **General report: Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and hydrogeology**. In: Internacional Symposium on Landslides, 5th, Lausanne, 1998. Anais... Lausanne, 1998, v. 1.p. 3-35.
- IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: 3 edição. 2013.
- IF – INSTITUTO FLORESTAL. Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo: Regiões Administrativas de São José dos Campos

- (Litoral), Baixada Santista e Registro. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. 140 paginas. 2007.
- IG. Mapa Geológico de São Sebastião 1:50000. **Projeto Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação no município de São Sebastião. Instituto geológico (IG), Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente**, 1996.
- INFANTI JÚNIOR, N.; FORSANARI FILHO, N. **Processos de dinâmica superficial**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório Um de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Pardo** -Relatório Final. São Paulo: IPT/Cetae, 2007. 244 p. Relatório nº 40.670.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala: 1:1.000.000. São Paulo: IPT, 1981.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo da instabilidade das encostas na Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno “corrida de lama” e da prevenção de seus efeitos**. São Paulo: IPT, 1988. Relatório nº 26258. 185 p.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mortes por deslizamentos no Brasil. **Banco de Acidentes**. IPT, São Paulo: IPT, 2016.
- LEÃO, R. P. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de Nova Lima – MG**. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016. p.113.
- LEE, S. e PRADHAN, B. Probabilistic landslide and risk mapping on Penang Island, Malaysia. **J. Earth Syst. Sci.** No. 6, Dezembro 2006, pp – 661-672.

- LOPES, E. S. S. **Modelagem espacial dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista.** Tese de doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE/Unesp), Rio Claro, 2006.
- MANKELOW, J. M. and MURPHY, W. (1998). Using GIS in the probabilistic assessment of earthquake-triggered landslide hazards. **Jl EarthqEnging.** 2, (4), 593-623.
- MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de Sensoriamento Remoto.** 2003. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geoprocessamento) - INPE, São José dos Campos. 2004.
- MARETTI, C.C. **Exemplos de geologia aplicada a um processo de planejamento costeiro: cartas geológico-geotécnicas da região estuarino-lagunar de Iguape e Cananéia e da Ilha Comprida.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- MOREIRA, C. V. R.; PIRES NETO, A. G. Clima e Relevo. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- MORGENSTERN, N. R. e SANGREY, D. A. Methods of Stability Analysis. In: SCHUSTER, R. L. e KRIZEK, R. J. (Ed.). **Landslides: Analysis and Controls.** Washington D.C., 1978. (p.155-171).
- NERY, T. D. **Avaliação da suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na Badia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP).** São Paulo - SP, Brasil. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2011.
- NERY, T. D. **Dinâmica das corridas de detritos no Litoral Norte de São Paulo** São Paulo Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2016.
- NOVO, E. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4 ed. São Paulo, Edgard Blucher. 2010. 387 p.

- NUNES, B. A. et al. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 113 p., 1994.
- OLIVEIRA, T. A. de. **Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos – subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia – SP**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2004
- POURGHASEMI, H. R.; MORADI, H. R.; FATEMI AGHDA, S. M.; GOKCEOGLU, C. e PRADGAN, B. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). **Arab J Geosci**, v. 7, 1857-1878. 2014.
- PRADO, J; HIRAI, R. Y. Checklist dalicófitas e samambaias do Estado de São Paulo. Em: **Biota Neotropica**. Vol. 11. Nº 1ª. 2011.
- RIVERAU, J. C. **Notas de aula do curso de fotointerpretação**. In: semana de estudos, 11, 1972. Ouro Preto. Fotografia aérea e aplicações técnicas. Ouro Preto: SICEG, 1972. P. 75-121.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Laboratório de Geomorfologia**. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP (Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), 1997. (Mapas e Relatórios)
- SAKAI, R. O. **Estudo do impacto de Debris flows: caso da Bacia do Rio Santo Antônio em Caraguatatuba (Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. 236p.
- SALCIARINI, D., J. W. GODT, W. Z. SAVAGE, P. CONVERSINI, R. L. BAUM and J. A. MICHAEL. 2006. Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern Umbria Regional of Central Italy. **Landslides** 3: 181-194.
- SANTOS, D. D. dos S.; GALVANI, E., Caracterização sazonal das precipitações no Município de Caraguatatuba-SP, entre os anos de 1943 a 2004, **Geonorte**, v.1, n.5, p. 1196-1203, 2012.

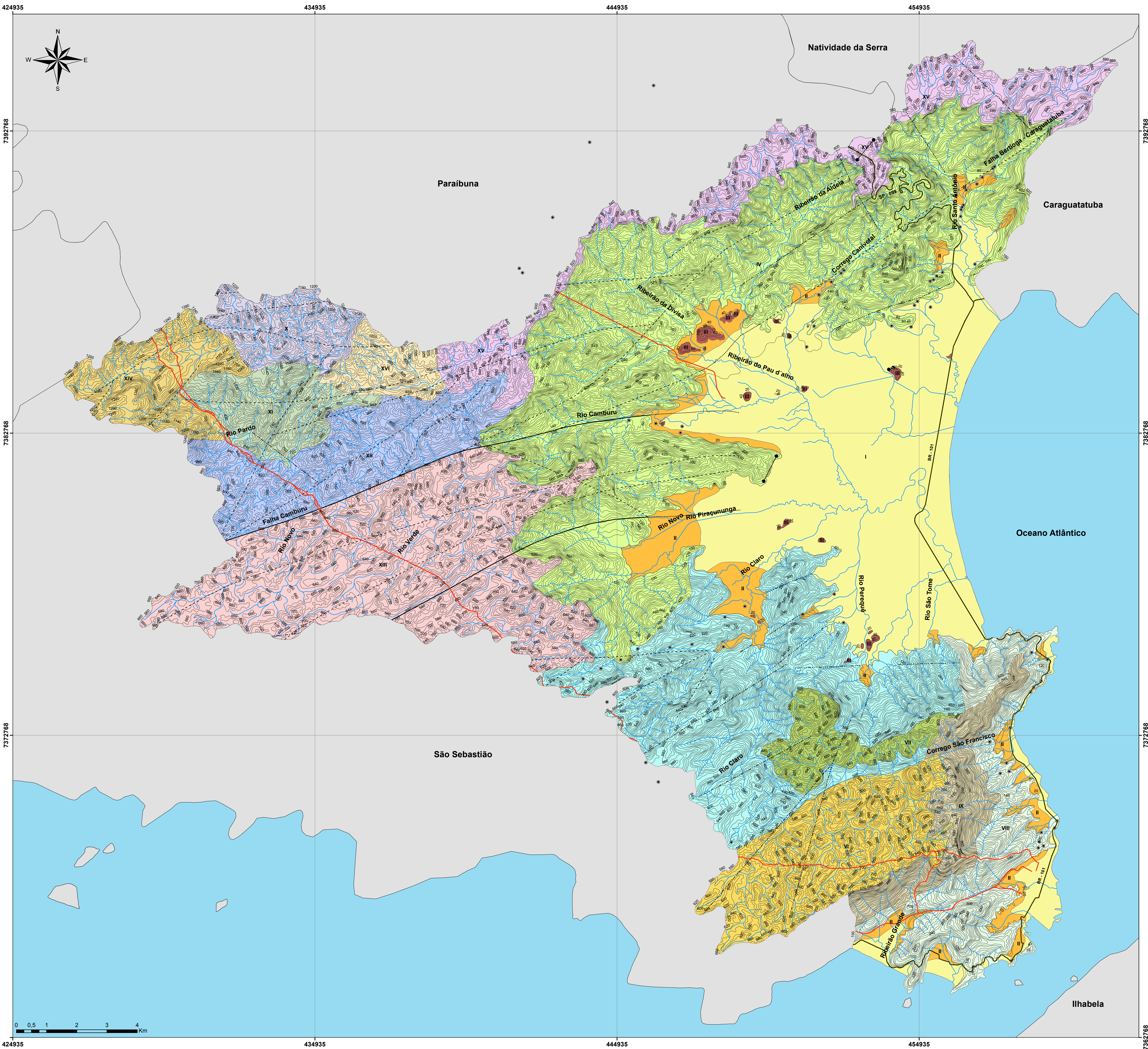
- SASSA, K. Geotechnical classification of landslide. **Landslides News**, v. 3, p.21-24. 1989.
- SELBY, M.J. (1983), **Landslides and related phenomena**. Columbia University press, New York.
- SHARPE, C. F. S. **Landslides and related phenomena**. Nova York: Columbia University Press, 1938.
- SIDLE, F. A. D., PEARCE, A. J and O'LOUGHLIN C. L. Hill slope stability and land use. Washington, D. C.: **Water resources monograph series** (11), p. 140, 1985.
- SILVA, A. F. da. Estudo de previsão de escorregamento a partir do fator de segurança 3D: Campos do Jordão – SP. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.
- SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO. **Biodiversidade**. Em: Coleção Cadernos de Educação Ambiental. Volume 4. São Paulo: SMA. 2010.
- SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO. **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**: Regiões administrativas de São José dos Campos (litoral), Baixada Santista e Registro. São Paulo: SMA. 2007.
- SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO. **São Paulo 92: perfil ambiental e estratégias**. São Paulo: SMA. 181 paginas. 1992.
- SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71–104, 1976.
- SOARES, P. C.; LUZ, M. E. R.; REDAELLI, R.; GUERRA, S. M. S. **Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2, Brasília. Anais... São José dos Campos: INPE, 1982. p. 157-168.
- SOETERS, R.; VAN WESTEN, C.J. 1996. **Slope stability: recognition, analysis and zonation**, in: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Org), **Landslides**

- investigation and mitigation. 1 a ed., Cap. 8, pp. 129-177. National Research Council, Washington.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. **Mapa geológico do litoral de São Paulo: Caraguatatuba**. São Paulo: SMA / DAEE, 1978e. Escala 1:100.000.
- THERZAGUI, K. Mechanism of landslide. Berkeley: Geological Society of America. **Engineering Geology**. V. 1, p. 83-123. 1950.
- TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese de Doutorado. FFLCH, USP, São Paulo – SP. 2007.
- TRICART, J. Principes et Méthodes de la Géomorphologie. Paris: **Masson et Cie**, 496 p., 1965.
- UNSTEAD, J.F. A system of regional geography. **Geography**, n. 18, p. 185-187, 1933.
- VAN WESTEN C.J., GIS in landslide hazard zonation: A review with examples from the Colombian Andes. In: **Price M.F. & Heywood D.I. (eds.)**, Taylor and Francis, London, 1994, 135-165.
- VAN WESTEN, C. J. (1993). Application of Geographic Information System to **Landslide Hazard Zonation**. Enschede: ITC Publication
- VAN WESTEN, C. J., T. W. J. VAN ASCH and R. SOETERS. 2006. Landslides Hazard and Risk Zonation: Why is it Still so Difficult? **Bulletin Engineering Geology Environmental** 65: 167-184.
- VANACÔR, R. N. **Sensoriamento remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, setembro de 2006.
- VARNES, D. J. Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Eds.). Landslides analyses and control. **Washington: National Academy of Science**, 1978. P. 11-33.
- VEDOVELLO, R. **Zoneamento geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão**

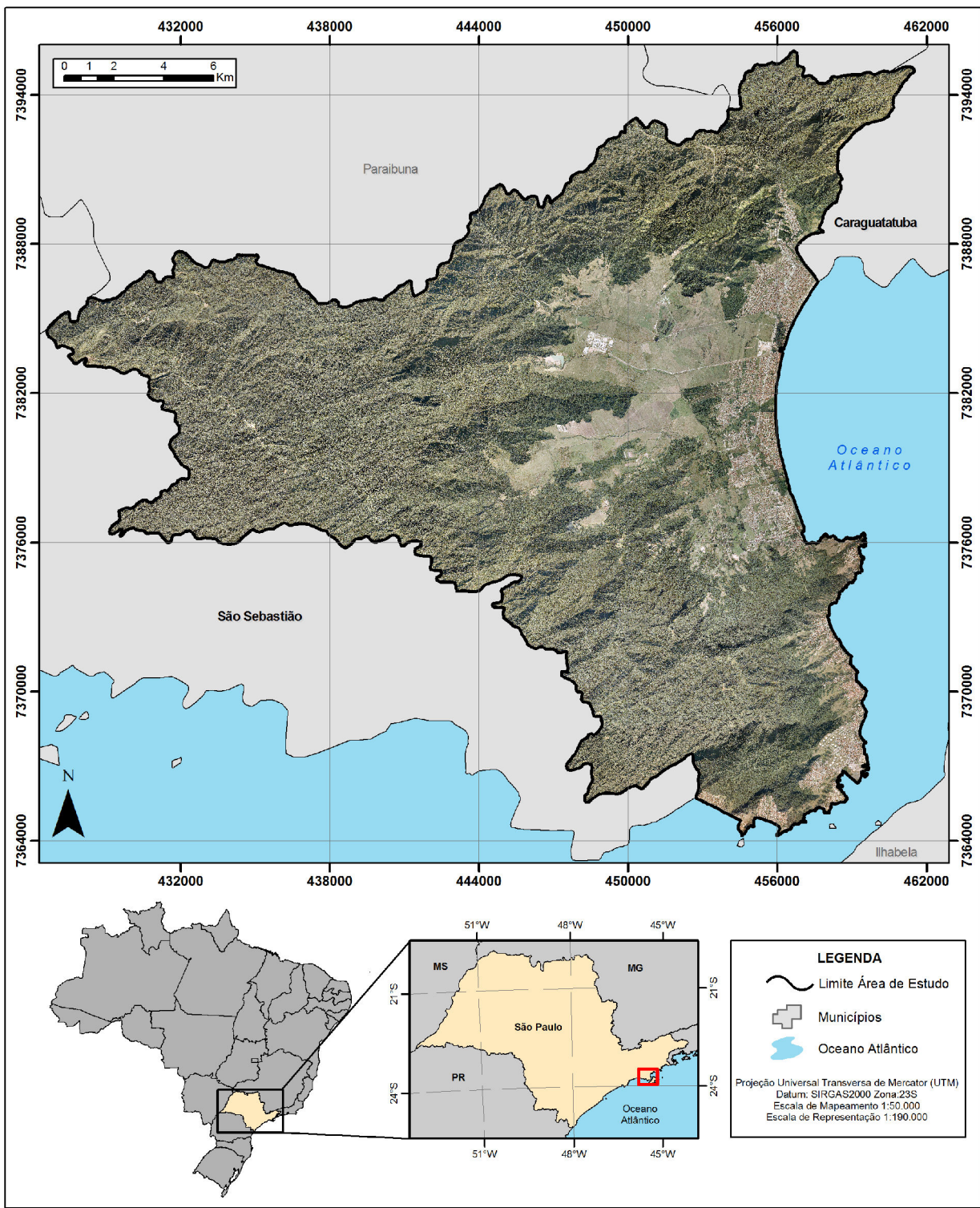
- urbana.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1993.
- VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs.** 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. A Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas: Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, ABGE, 1998. p.12.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. de. Zoneamento Geotécnico, por Sensoriamento Remoto, para estudos de Planejamento do Meio Físico - Aplicação em Expansão Urbana. In: **Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 155-162, Curitiba, Maio de 1993.
- VELOSO, H. P, RANGEL FILHO, A. L, LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE. 124 p. 1991.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia.** São José dos Campos: INPE, 1982.
- VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas.** Tese de doutorado Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Rio de Janeiro, 2007. 193 p.
- WANG, H., WANG, G., WANG, F., SASSA, K., CHEN, Y. Probabilistic modeling of seismically triggered landslides using Monte Carlo simulations. *Landslides*, 5, 387 – 395. 2008.
- WOLLE, C. M. Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encosta. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1988. 406 p.

- WOLLE, C. M.; CARVALHO, C. S. **Taludes Naturais**. In: FALCONI, F. F.; JÚNIOR, A. N. (Org.). Solos do litoral de São Paulo: ABMS, 1994. P. 180-203.
- ZAINE, J. E. **Método de Fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG**. 2011. Tese (Livre docência em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2011.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

APÊNDICE 1



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



QUADRO DO CONTEXTO REGIONAL							
Contexto regional			Unidade Fisiografica	Nomenclaturas das unidades	Geologia predominante	Geomorfologia	
Provincia	Zonas	Sub-zonas				Modelado	
PROVINCIA COSTEIRA	SERRANIA COSTEIRA	SERRA DO MAR	BAIXADA LITORANEA	I	Planície Litorânea	Sedimentos inconsolidados	Planície
			II	Rampas de colúvio e talús	Sedimentos coluvionares e corpos de talús.	Rampas de colúvio e talús	
			III	Morros Isolados na Planície	Granitos em corpos insulares	Morros isolados	
			IV	Escarpas da Serra do Mar e Morros em Granitos e Gnaisses	Granito e Gnaiss Pico do Papagaio	Escarpas em arfiteiros com espigões digitados e Morros	
			V	Gnaiss migmatitos em Escarpas com cristas levemente arfiteiras	Gnaiss Migmatitos (Metabásicas associadas)	Escarpas com espigões digitados	
			VI	Gnaiss migmatitos em Morros Paralelos	Gnaiss Migmatitos (Metabásicas associadas)	Morros paralelos	
			VII	Morros acima das Escarpas	Gnaiss Migmatitos	Morros	
			VIII	Gnaiss migmatitos em Escarpas	Gnaiss Migmatitos	Escarpas com espigões digitados e morros	
			IX	Gnaiss migmatito em Escarpas retíneas	Gnaiss Migmatitos	Escarpas com espigões digitados	
			X	Montanhas com encostas retíneas	Granito Gnaissico Pico do Papagaio	Montanhoso	
PLANTATO ATLÂNTICO	PLANTATO DO JIQUEIRUÊ		XI	Montanhas com afloramentos rochosos	Granito Gnaissico Pico do Papagaio	Montanhoso	
			XII	Morros Arredondados	Granito Gnaissico Pico do Papagaio / Rochas metabásicas isoladas subordinadas	Morros arredondados	
			XIII	Morros Paralelos	Granito Gnaissico (Metabásicas)	Morros paralelos	
			XIV	Relevo montanhoso com afloramentos rochosos do tipo "pis de açúcar"	Granito Gnaissico Pico do Papagaio	Montanhoso	
			XV	Mar de morros na Borda do Planalto Atlântico	Granito Gnaissico (Micaxistos e quartzitos)	Mar de morros	
			XVI	Relevo montanhoso no Planalto do Jiqueirué	Granito Gnaissico (Micaxistos e quartzitos)	Montanhoso	

QUADROS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO FOTOGEOLÓGICA

Unidade Fisiográfica	FOTOMANLISE						
	Análise da densidade textural			Análise das formas e características do relevo			
	Densidade dos elementos de drenagem	Densidade dos elementos no relevo	Amplitude local	Deciduidade dominante	Forma das encostas	Forma dos vales	Forma dos topos
I	Baixa	Baixa	Pequena	Muito Baixa	*	Abertos	Applanados
II	Baixa	Baixa	Pequena	Média	Convexas	Abertos	Applanados
III	Baixa	Baixa	Pequena	Média	Convexas	*	Arredondados
IV	Alta/Média	Alta/Média	Grande	Alta	Retilíneas (predominantemente) e Côncavas	Fechados	Angulosos
V	Média	Média	Grande	Alta	Convexas (predominante) a Retilíneas	Fechados	Arredondados a angulosos
VI	Alta	Alta	Média	Média a baixa	Côncavas	Fechados	Applanados a arredondados
VII	Média	Média	Média	Média	Côncavas (predominante) a Retilíneas	Fechados	Arredondados a angulosos
VIII	Média	Média	Média	Média	Côncavas (predominante) a Retilíneas	Fechados	Angulosos
IX	Baixa	Média	Grande	Alta	Retilíneas	Fechados	Angulosos
X	Média	Média	Pequena	Média	Retilíneas	Fechados	Angulosos
XI	Média	Média	Média	Média	Convexas (predominantemente) e Retilíneas	Fechados	Angulosos
XII	Média	Média	Alta	Média	Convexas a retilíneas	Fechados	Arredondados
XIII	Média	Média	Baixa	Média a baixa	Convexas a côncavas	Fechados a abertos	Arredondados
XIV	Média	Média	Pequena	Média	Retilíneas	Fechados	Angulosos a arredondados
XV	Baixa	Baixa	Pequena	Média a baixa	Côncavas a retilíneas	Fechados	Arredondados
XVI	Média	Média	Pequena	Média a baixa	Côncavas a retilíneas	Fechados	Arredondados

Unidade Fisiológica	FOTOTRINTPPEAÇÃO					
	Características genéticas					
	Permeabilidade (intergranular)	Relação escoamento superficial/ infiltração	Características do manito de aforante	Profundidade do topo rochoso	Espessura dos materiais inconsolidados	Potencial a movimentos gravitacionais de massa
I	Alta	Alta	*	*	Esposso	Baixo
II	Média	Média	Grande	Profundo	Esposso	Alto
III	Média	Média	Grande	Profundo	Intermediário	Médio
IV	Média	Média	Média	Razo a sub aforante	Delgado a inconsistente	Alto
V	Médio	Média	Média	Intermediário	Intermediário	Alto
VI	Média	Média	Média	Intermediário	Intermediário	Médio
VII	Média	Média	Média	Intermediário	Intermediário	Médio
VIII	Média	Média	Pequena	Razo a sub aforante	Delgado a inconsistente	Alto
IX	Baixa	Média	Pequena	Razo a sub aforante	Delgado a inconsistente	Alto
X	Baixa a média	Média a alta	Pequena	Razo a sub aforante	Intermediário a razo/ sub aforante	Médio
XI	Média	Média	Média	Intermediário	Intermediário a razo/ sub aforante	Médio
XII	Média	Média	Média	Intermediário	Intermediário	Médio
XIII	Média	Média	Média	Intermediário	Intermediário	Baixo
XIV	Baixa a média	Baixa a média	Média	Intermediário	Intermediário	Médio
XV	Média	Média	Média	Intermediário	Intermediário	Baixo
XVI	Média	Média	Grande	Intermediário	Intermediário	Baixo

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS		ESTRUTURAS GEOLÓGICAS	
	Rodovias		Aproximada
	Dutovias		Definida
	Drenagens		Encoberta
	Curvas de nível		Fotolineamento
	Municípios vizinhos		Fraturas
	Oceano Atlântico		Intrusões básicas
	Pontos de campo		

APÊNDICE 1: Mapa de Compartimentação Fisiográfica	
	UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA 'JÚLIO DE MESQUITA FILHO' INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
Dissertação de Mestrado	
SUSCETIBILIDADE A ESCORREGIMENTOS NA REGIÃO ENTRE CARAGUATATUBA E SÃO SEBASTIÃO (SP): ANÁLISE FIOGRAFICA E QUANTITATIVA	
Beatriz Marques Gabelini Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis	
Projeção Universal Transversa de Mercator Datum: SIRGAS 2000 Zona 23S Escala 1:50.000	