



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

HELEN CRISTINA DIAS

Caracterização morfológica e geológica de bacias hidrográficas: contribuição para estudos de
escorregamentos no município de Caraguatatuba.

Trabalho de Graduação Individual

São Paulo

Julho de 2016

HELEN CRISTINA DIAS

Caracterização morfológica e geológica de bacias hidrográficas: contribuição para estudos de
escorregamentos no município de Caraguatatuba.

Trabalho de graduação individual submetido ao
Departamento de Geografia da Universidade de
São Paulo como requisito para obtenção do grau
de Bacharel em Geografia.

Área de concentração: Geografia/Geomorfologia.

Orientadora: Profa. Dra. Bianca Carvalho Vieira.

São Paulo

Julho de 2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dias, Helen Cristina

Título: Caracterização morfológica e geológica de bacias hidrográficas: contribuição para estudos de escorregamentos no município de Caraguatatuba./ Helen Cristina Dias. São Paulo, 2016.

Trabalho de Graduação Individual (Monografia) – Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, 2016. 66p.

Orientadora: Bianca Carvalho Vieira

1. Escorregamentos. 2. Parâmetros Morfológicos e Geológicos. 3. Caraguatatuba.

I. Vieira, Bianca Carvalho. II. Universidade de São Paulo – Departamento de Geografia.

III. Título de Bacharel.

DIAS, H. C. Caracterização morfológica e geológica de bacias hidrográficas: contribuição para estudos de escorregamentos no município de Caraguatatuba. Trabalho de Graduação Individual apresentado ao Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Profa. Dra. Bianca Carvalho Vieira

Prof. (a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a): _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

*Aos meus pais, Cristina e Valter, e
minha irmã Vivian, pelo amor e
companheirismo ao longo dessa
jornada.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cristina e Valter, que sempre me incentivaram a lutar por meus objetivos e a ter confiança em mim.

À minha irmã, Vivian, pela amizade, incentivo e por sempre estar comigo nos momentos de dificuldade durante a realização desta pesquisa e de minha vida.

À minha orientadora, Bianca Carvalho Vieira, por todo o apoio, incentivo, ensinamentos, confiança, durante a realização deste trabalho e ao longo da minha graduação.

Aos companheiros do GPMorfo, pela amizade e inestimável apoio em campo.

Aos meus amigos, Caroline, Jun e Letícia, pela amizade ao longo desses quatro anos e meio de graduação e por sempre torcerem por mim.

À FAPESP, pelo auxílio financeiro para a realização desta pesquisa de Iniciação Científica.

Á todos os familiares, colegas e professores que de alguma maneira contribuíram para a realização desta pesquisa e fizeram parte da minha formação.

*“(...) A felicidade, acordamos só pra ter
E compartilhar com aqueles que nos fazem
Sentir que estamos perto, saber que o longe é opção (...)”*

(Scalene – Surreal)

RESUMO

Os Escorregamentos são fenômenos naturais que trazem severos danos à humanidade, cujos fatores que influenciam sua ocorrência relacionam-se as características inerentes a morfologia e geologia local. O objetivo geral desta pesquisa é compreender a influência dos parâmetros geológicos e morfológicos na ocorrência de escorregamentos nas bacias de Santo Antônio e Massaguaçu no município de Caraguatatuba / SP. O município foi escolhido por conta de seu histórico de ocorrência de escorregamentos, sendo o evento mais marcante em 1967. Para alcançar o objetivo desta pesquisa, foram definidos os seguintes procedimentos metodológicos: (i) Seleção de bacias hidrográficas atingidas por escorregamentos no evento de 1967, com diferentes magnitudes, evidenciadas pela presença de cicatrizes. (ii) seleção dos parâmetros morfológicos (aspecto, ângulo de encosta, curvatura e hipsometria) e geológicos (litologia e estruturas) para avaliação, com base na literatura e em sua relevância para o processo; (iii) confecção de mapas morfológicos e geológicos, utilizando, respectivamente, um Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido pelo sistema LiDAR fornecido pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA), e a digitalização mapa de escala 1:50.000 da Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais (CPRM); (iv) por fim, foi realizada a análise integrada dos parâmetros morfológicos e geológicos em conjunto com as cicatrizes de escorregamentos, que foram mapeadas a partir de fotografias aéreas e ortofotos de 1973 do evento de 1967. Os resultados mostraram que os parâmetros morfológicos e geológicos podem influenciar a ocorrência de escorregamentos, visto que é possível inferir uma conexão entre as cicatrizes de escorregamentos e algumas classes morfológicas. Tais resultados podem auxiliar na identificação de área de risco e reduzir os danos sociais e econômicos a sociedade.

Palavras-Chave: Morfologia, Geologia, Escorregamentos, Serra do Mar, Caraguatatuba.

ABSTRACT

Landslides are natural phenomena that results in several damages to humanity. The factors that influence the occurrence of landslides are related to morphologic and geologic characteristics of the area. The general aim of this research is to comprehend the influence of morphological and geological parameters on the occurrence of landslides in Santo Antônio and Massaguaçu basins in Caraguatatuba /SP. This municipality was chosen because of its history of occurrence of landslides, the outstanding event of the area happened in 1967. To reach the aim of this research, were defined the following methodological procedures: (i) selection of two hydrographic basins, located in Caraguatatuba, which were selected due to their magnitude on 1967 event; (ii) selection of parameters related to morphology (aspect, slope, curvature and hypsometry) and geology (lithology and structures), based on literature and relevance to landslides occurrence; (iii) production of morphological and geological maps, using a high-resolution (5 m2) digital elevation model obtained from LiDAR technology and the detailed geological map was produced by scanning the CPRM map in scale 1:50.000 from the Caraguatatuba city; (iv) finally, the analysis of the influence of morphological and geological parameters on the distribution and magnitude of landslides was made thru the correlation between the maps from morphological and geological and the map with landslides's scars from the 1967 event, elaborated from orthophotos of 1973. The results indicate that morphological and geological parameters influence on landslides occurrence, since there is a connection between landslides scars and some morphological classes. These results may contribute to identify risk areas, reducing the social and economic damage.

Key–Words: Morphology, Geology, Landslides, Serra do Mar, Caraguatatuba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Movimentos de massa generalizados ocorridos em 2011 na região da Serra do Mar no Rio de Janeiro. Fonte: GPMorfo.....	1
Figura 2: Escorregamentos ocorridos no Morro do Jaraguá em Caraguatatuba, 1967. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.....	2
Figura 3: Encostas com zonas de materiais com características de permeabilidade diferenciada. Fonte: WOLLE E CARVALHO, 1994.	7
Figura 4: Localização do município de Caraguatatuba com relação ao Brasil (A), Estado de São Paulo (B) e com destaque para as duas bacias selecionadas para estudo, Santo Antônio e Massaguaçu (C).	10
Figura 5: Visão da cidade de Caraguatatuba, em 1967, logo após o Evento (A), e em 2011, com destaque (B). Fonte: GPMorfo.	11
Figura 6: Gráfico do total de precipitação pluvial no período de 1965-2011 em Caraguatatuba/SP. Fonte: DAEE, 2015.....	13
Figura 7: Escorregamentos generalizados em encostas íngremes ocorridos no Evento de 1967 em Caraguatatuba/ SP. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.	14
Figura 8: Escorregamento em trecho da Rodovia Tamoios no Evento de 1967 em Caraguatatuba / SP. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.	14
Figura 9: Visão dos escorregamentos ocorridos no Morro do Jaraguá no Evento de 1967 em Caraguatatuba / SP. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.....	15
Figura 10: Distribuição dos escorregamentos ocorridos em 16 de março de 1967, com ênfase na bacia de Santo Antônio. Fonte: Cruz (1974).	17
Figura 11: Etapas metodológicas da pesquisa.	18
Figura 12: Localização das bacias hidrográficas Santo Antônio e Massaguaçu. Fonte: Ortofotos: EMPLASA (2011).	20
Figura 13: Ocorrência de escorregamentos na bacia do Santo Antônio registrados logo após o evento, em 1967. Fonte: Arquivo Público de Caraguatatuba.	21
Figura 14: Presença de cicatriz de escorregamento a direita, caracterizada pela existência de gleichenias, espécie de vegetação de pequeno porte indicadora da ocorrência de escorregamentos. Fonte: GPMorfo.....	22
Figura 15: Vista da bacia hidrográfica do Rio Massaguaçu. Fonte: GPMorfo.	23

Figura 16: Modelo Digital de Elevação (Escala 1:10.000) ilustrando as bacias de Santo Antônio, Guaxinduba e Massaguaçu. Fonte: EMPLASA (2011).....	24
Figura 17: Distribuição dos escorregamentos ocorridos em 1967. Fonte: Fúlfaro <i>et al.</i> (1976).	26
Figura 18: Geologia da bacia do Santo Antônio.....	30
Figura 19: Geologia da bacia do Massaguaçu.	31
Figura 20: Mapa de ângulo das encostas da bacia do Santo Antônio.....	33
Figura 21: Mapa de ângulo das encostas da bacia do Massaguaçu.	34
Figura 22: Mapa de hipsometria da bacia do Santo Antônio.	36
Figura 23: Mapa de curvatura das encostas da bacia do Massaguaçu.	37
Figura 24: Mapa de aspecto da bacia do Santo Antônio.	39
Figura 25: Mapa de aspecto da bacia do Massaguaçu.	40
Figura 26: Mapa de curvatura das encostas da bacia do Santo Antônio.	42
Figura 27: Mapa de curvatura das encostas da bacia do Massaguaçu.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de movimentos de massa.	4
Tabela 2: Síntese das fases da catástrofe que se abateu na cidade de Caraguatatuba no ano de 1967 devido a eventos pluviométricos intensos.	16
Tabela 3: Especificações das classes utilizadas nos mapas morfológicos e geológicos.....	25
Tabela 4: Resultados similares encontrados na literatura que relacionam parâmetros morfológicos e escorregamentos.	46
Tabela 5: Número de células e cicatrizes encontradas para a bacia do Massaguaçu.	48
Tabela 6: Número de células e cicatrizes encontradas para a bacia do Santo Antônio.	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
2. MOVIMENTOS DE MASSA: ESCORREGAMENTOS	4
3. PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS	6
4. ÁREA DE ESTUDO	9
4.1. Município de Caraguatatuba/SP (Serra do Mar Paulista)	9
4.2. Evento de 1967	13
5. MATERIAIS E MÉTODOS	18
5.1. Seleção das bacias hidrográficas.....	18
5.1.1. Bacia hidrográfica do rio Santo Antônio	20
5.1.2. Bacia hidrográfica do rio Massaguaçu	21
5.2. Mapeamento dos parâmetros morfológicos	23
5.3. Avaliação conjunta dos mapas temáticos	25
6. RESULTADOS	28
6.1 Mapas Geológicos.....	28
6.2 Mapas Morfológicos	32
6.2.1 Ângulo de encosta	32
6.2.2 Curvatura.....	35
6.2.3 Aspecto.....	38
6.2.4 Hipsometria	41
7. DISCUSSÕES	44
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
9. REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Os movimentos de massa são os processos mais frequentes na Serra do Mar, predominando sobretudo os tipos escorregamentos e corridas de detritos. No Brasil são considerados os desastres naturais que mais trazem danos a sociedade, estando o número de vítimas diretamente relacionado ao preparo que a cidade possui para eventos desta magnitude. Segundo IBGE (2014), 48,1% das cidades brasileiras não possuem nenhum instrumento de prevenção aos desastres naturais, e apenas 14% destas cidades possuem Corpo de bombeiros. Tais dados mostram a falta de preparo para a ocorrência desses eventos, tornando-os cada vez mais prejudiciais à população, à economia local, às infraestruturas e, sendo sua previsão de grande interesse para o planejamento urbano e administração pública.

Em janeiro de 2011, chuvas intensas ocorreram em seis municípios da Região Serrana Fluminense, gerando movimentos de massa catastróficos nas encostas e enxurradas no fundo dos vales fluviais, totalizando cerca de 1.000 mortes (**Figura 1**). Em março deste mesmo ano, na Serra do Mar Paranaense, escorregamentos rasos e corridas de detritos causaram a destruição total de áreas agrícolas e de alguns trechos das rodovias que ligam a capital, Curitiba, ao litoral (VIEIRA e GRAMANI, 2015).



Figura 1: Movimentos de massa generalizados ocorridos em 2011 na região da Serra do Mar no Rio de Janeiro. **Fonte:** GPMorfo.

Além dos eventos mais recentes, um dos mais significativos ocorreu em março de 1967 no município de Caraguatatuba (**Figura 2**), onde foi registrado um índice pluviométrico de

cerca de 500 mm/48h (IPT, 1988), deflagrando escorregamentos e corridas de detritos com mobilização de toneladas de material.



Figura 2: Escorregamentos ocorridos no Morro do Jaraguá em Caraguatatuba, 1967. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

Os fatores que afetam a ocorrência de escorregamentos podem ser classificados em deflagradores, como precipitação, terremotos e ação antrópica; e os internos, que incluem litologia, estruturas (falhas e fraturas), ângulo, aspecto e formato da encosta, entre outras características inerentes a morfologia local (WU e QIAO, 2009).

Assim, a análise de parâmetros geológicos e morfológicos possibilitam a aferição de classes mais propícias ao processo, permitindo identificar fatores condicionantes dos escorregamentos através do estudo da morfologia do relevo, identificando, por exemplo, a curvatura, a ângulo da encosta e área de contribuição com maior potencial de ocorrência (SIEDLE *et al.*, 1985; PACHAURI e PANT, 1992; VIEIRA, 2007).

Os parâmetros geológicos e morfológicos se definem então, como fatores internos de alteração e escultura da paisagem possibilitando o entendimento da influência das diferentes formas do relevo e seu substrato na ocorrência do processo de escorregamento, uma vez que

forma, orientação, ângulo da encosta e material das encostas também devem ser consideradas como fatores atuantes na estabilidade da mesma (GAO, 1993).

Desta maneira, *o objetivo desta pesquisa foi compreender a influência dos parâmetros geológicos e morfológicos na ocorrência de escorregamentos nas bacias de Santo Antônio e Massaguaçu no município de Caraguatatuba / SP.*

2. MOVIMENTOS DE MASSA: ESCORREGAMENTOS

Os movimentos de massa se caracterizam por serem fenômenos naturais de movimentação de solo, rocha ou vegetação pela ação da gravidade, que podem ser influenciados diretamente pela presença de água, ângulo da encosta da encosta, natureza do material e ação antrópica. É um processo dinâmico externo, assim como intemperismo e erosão, que ao longo do tempo modela a paisagem da superfície terrestre, ou seja, o relevo (FERNANDES e AMARAL, 1996). Tais fenômenos possuem diferentes causas e cenários de incidência (**Tabela 1**). Desta forma, para a diferenciação dos movimentos de massa pode ser levado em consideração a natureza do material (Rocha ou material inconsolidado); natureza do movimento (Fluxo ou deslizamento); velocidade do movimento (lenta, moderada ou rápida); modo de deformação e existência de água (SELBY, 1993).

Tabela 1: Tipos de movimentos de massa.

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL	
		ROCHA	SOLO (ENGENHARIA)
			Predominantemente grosseiro Predominantemente fino
QUEDA		Queda de rocha	Queda de detritos Queda de solo
TOMBAMENTO		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos Tombamento de solo
ESCORREGAMENTO	ROTACIONAL	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos Escorregamentos de solo
	TRANSLACIONAL		
EXPANSÕES LATERAIS		Expansões de rocha	Expansões de detritos Expansões de solo
FLUXOS/CORRIDAS		Fluxos/Corridas de rocha	Fluxos/Corridas de detritos Fluxos/Corridas de solo
COMPLEXOS		Combinação de 2 ou mais tipos principais de movimentos.	

Fonte: Modificado de Varnes (1978).¹

Os escorregamentos são caracterizados por serem movimentos rápidos com plano de ruptura bem definido, dividindo-se em dois tipos, rotacionais e translacionais. O primeiro apresenta uma superfície de ruptura curva, que desloca grande quantidade de material de forma rotacional, estando vinculado geralmente a solos bem desenvolvidos e homogêneos. Sua ocorrência é comum em áreas de corte de talude em rochas sedimentares, como folhelhos e argilitos; também ocorrem sob condições naturais, onde a extremidade do escorregamento é cortada por um rio ou sofre com ação marinha (SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL,

¹ Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>.

1996). Já o segundo é a forma mais frequente de movimento de massa, possuindo uma superfície de ruptura planar que, no geral, coincide com as descontinuidades do material. Tais planos de fraqueza podem possuir diversas origens vinculadas à litologia e às propriedades dos solos ex. densidade e permeabilidade). Em muitas encostas íngremes, o limite entre o solo e o saprolito torna-se a área de ruptura do escorregamento; além disso, tem como característica ser um processo de curta duração, comprido e raso (1 - 4m) (SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996).

Os eventos de escorregamentos geralmente se apresentam muitas vezes como “catastróficos” e causadores de grandes danos a sociedade, como o que ocorreu em março de 1967 no município de Caraguatatuba, onde foi registrado um índice pluviométrico de cerca de 500 mm/48hs, ou seja, 35% da pluviosidade anual daquela região (IPT,1988). Como consequência, foram deflagrados escorregamentos generalizados que após serem canalizados pela rede de drenagem se transformaram em corridas de detritos com grande mobilização de material. Nas décadas de 1980 e 1990 ocorreram outros eventos catastróficos na Serra de Cubatão-Paranapiacaba, voltada ao pólo industrial nos vales dos rios Mogi e Cubatão, como por exemplo, em 23 e 24 de janeiro de 1985, no vale do rio Moji. Nesse evento, uma grande quantidade de escorregamentos do tipo translacional raso foi observada nas principais encostas do vale do rio Moji, principalmente naquelas com alto ângulo das encostas (VIEIRA e GRAMANI, 2015). Recentemente ocorreram eventos nos municípios da Região Serrana Fluminense em janeiro de 2011 causando cerca de 1.000 vítimas fatais (DOURADO *et al.*, 2012).

Logo em seguida, em março na Serra do Mar Paranaense, escorregamentos rasos e corridas de detritos causaram a destruição total de áreas agrícolas e de alguns trechos das rodovias que ligam a capital, Curitiba, ao litoral (VIEIRA e GRAMANI, 2015). Tais eventos se caracterizam por serem de grande magnitude e ocorrem, segundo Lee e Jones (2004), com uma frequência de 40 a 45 anos por século. Eventos de grande magnitude causam danos significativos somente se atingirem áreas habitadas, visto que a área só será considerada de risco, se houver uma população naquele local. Eventos com ocorrência em encostas sem influência e presença antrópica são muitas vezes negligenciados pelo poder público, tal questão tende a se extinguir, visto que as áreas não urbanizadas tornam-se mais escassas com o passar dos anos, com o aumento da população urbana. Desta forma, a percepção das pessoas sobre a ocorrência desses eventos não condiz com a realidade, visto que somente processos que afetam a sociedade são levados a público, mesmo que este seja um dos mais frequentes.

3. PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS

Existem determinadas configurações do relevo que podem favorecer os movimentos de massa, isso pode ser analisado pelos eventos que ocorreram no passado, os quais guiam o investigador para determinadas características da encosta que podem favorecer a ocorrência desses eventos. Algumas características das encostas como orientação, elevação, ângulo da encosta e formato são formas de controle topográfico nos movimentos de massa (GAO, 1993). Tais formas de controle podem ser adquiridas atualmente pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e do Modelo Digital de Elevação (MDE). Assim, sendo possível a determinação de áreas com maior suscetibilidade a deflagração de movimentos de massa

A ocorrência de escorregamentos está relacionada aos agentes predisponentes, relacionados as condições geológicas, geométricas e ambientais do local de ocorrência desses processos, estando excluída a ação antrópica. Eles podem ser o complexo geológico (litologia e estruturas, como as falhas e fraturas); complexo morfológico (ângulo, orientação e formato da encosta, entre outras características inerentes a morfologia); e o complexo climático-hidrológico (precipitação e drenagem) (GUIDICINI e NIEBLE, 1983).

As alterações decorrentes de processos intempéricos tendem a criar, no caso das rochas, zonas de materiais com características de permeabilidade diferenciada, formando áreas de instabilidade no maciço em questão e conseqüentemente na encosta. As diferenças quanto às características litológicas podem influenciar em áreas de maior ou menor suscetibilidade à deflagração de escorregamentos (**Figura 3**), uma vez que materiais mais fraturados são fortemente drenados criando zonas de instabilização propícias ao processo (WOLLE e CARVALHO, 1994).

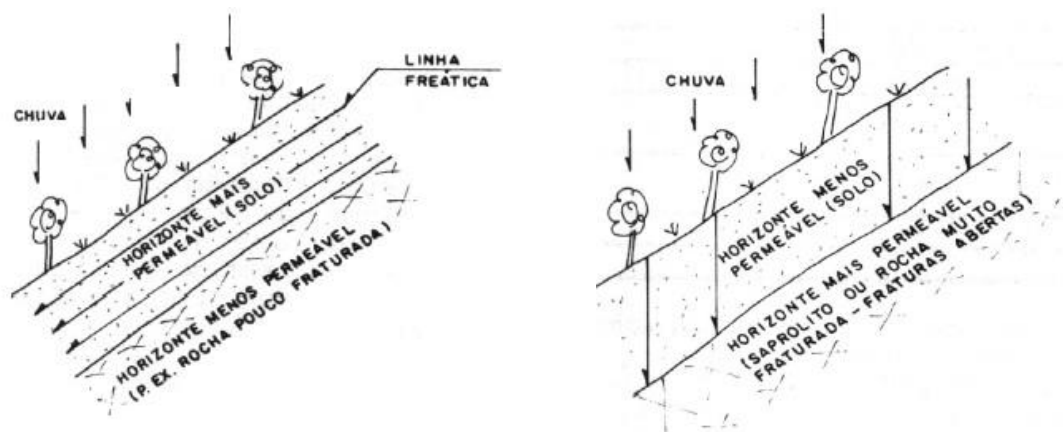


Figura 3: Encostas com zonas de materiais com características de permeabilidade diferenciada. **Fonte:** WOLLE E CARVALHO, 1994.

Assim como os parâmetros geológicos, os parâmetros das encostas, curvatura, orientação e ângulo também devem ser considerados como um conjunto de fatores atuantes na estabilidade. Especificamente a curvatura, em planta e perfil, tem um papel importante na distribuição do conteúdo de água, particularmente na rápida descarga de água em certas partes do manto de alteração durante episódios chuvosos (SIDLE *et al.*, 1985).

As porções côncavas (*hollows*), em planta e em perfil, concentram maior volume de água e sedimentos, permitem à subida rápida da pressão e consequentemente a redução da estabilidade da encosta, durante eventos pluviométricos intensos (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994).

Muitas áreas côncavas na paisagem também registram a presença de material coluvionar, cuja origem está associada a processos de movimentos gravitacionais pretéritos, cujo preenchimento, em alguns casos, possuem níveis diferentes de estabilidade conforme sua posição na paisagem (SELBY, 1993).

Outro parâmetro morfológico da encosta considerado em estudos de estabilidade é a orientação espacial, também denominada de aspecto. Tal característica poderá indicar sua exposição perante os fatores climáticos responsáveis pelo conteúdo de umidade da encosta. A maior ou menor umidade influenciará a formação e tipologia da cobertura vegetal, a espessura e porosidade do solo, entre outras características. Encostas cujo material de alteração sofre maior ciclo de umedecimento e secamento podem estar mais suscetíveis à ruptura, devido ao aumento das fissuras e da porosidade; responsáveis também pelo acréscimo de água e elevação das pressões dentro do material (GAO, 1993; GUIMARÃES *et al.*, 1998).

Os parâmetros morfológicos e geológicos se definem então, como fatores condicionantes de alteração e modelamento da paisagem. Seu estudo se mostra importante para o entendimento da influência das diferentes formas do relevo e seu substrato na ocorrência do processo de escorregamentos, visto que a morfologia e geologia locais são essenciais para o entendimento da deflagração do processo (GUIDICINI e NIEBLE, 1983; GAO, 1993; HART, 2007). Como forma de complementação às informações, os fatores externos a morfologia e a geologia podem se mostrar muito enriquecedores, possibilitando a demarcação de áreas consideradas de risco para tal ocorrência, levando em consideração a ação humana e eventos pluviométricos, por exemplo, evitando eventos causadores de danos à sociedade.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Município de Caraguatatuba/SP (Serra do Mar Paulista)

O município de Caraguatatuba (**Figura 4**), localizado no litoral norte do estado de São Paulo, com uma área territorial de 391 km², limitando-se ao norte com Ubatuba, ao sul com São Sebastião, a noroeste com Natividade da Serra, a oeste com Paraibuna e a leste com o Oceano Atlântico, foi escolhido por conta de seu histórico de ocorrência de escorregamentos, sendo o evento mais marcante em 1967 (**Figura 5**). Tal evento foi deflagrado, entre outros fatores, pelo alto índice de chuva naquela região em um curto período de tempo, cerca de 586 mm em 48h (CRUZ, 1974), deixando a cidade isolada, sem comunicação e energia elétrica, com milhares de pessoas afetadas, tendo suas residências destruídas, além de perdas para a economia local e infraestrutura.

A litologia das escarpas no litoral norte é caracterizada por rochas ígneas com alto grau de metamorfismo regional, cuja principal orientação é ENE-WSW. Desta forma, a configuração da Serra do Mar do litoral norte deve-se à estrutura geológica em granito-gnaiss, gnaisses graníticos (rochas mais resistentes), enquanto os vales subsequentes abrem-se em rochas menos resistentes à erosão, razão de a inexistência de amplas planícies litorâneas no litoral norte, diferente do litoral sul (ALMEIDA, 1964; CRUZ, 1974).

Em Caraguatatuba a geologia caracteriza-se por ser diferente do resto do litoral norte, apresentando granulitos, gnaisses fecoidais, gnaisses xistosos, biotita-xistos, e muscovita-xistos, predominância de rochas metamórficas e ígneas, fazendo com que a escarpa recue de forma significativa nesta parte do litoral norte, produzindo ampliadas baixadas/planícies. Uma situação diferencial, visto que as escarpas da Serra do Mar tendem a ser mais próximas ao mar no litoral norte, como ocorre em Ubatuba por exemplo. Há ainda muitas falhas tectônicas e fraturas, com orientação geral NE-SW, fruto de grandes perturbações tectônicas, visto que grande parte das rochas localizadas na parte alta, encontram-se intensamente dobradas e falhadas (CRUZ, 1974).

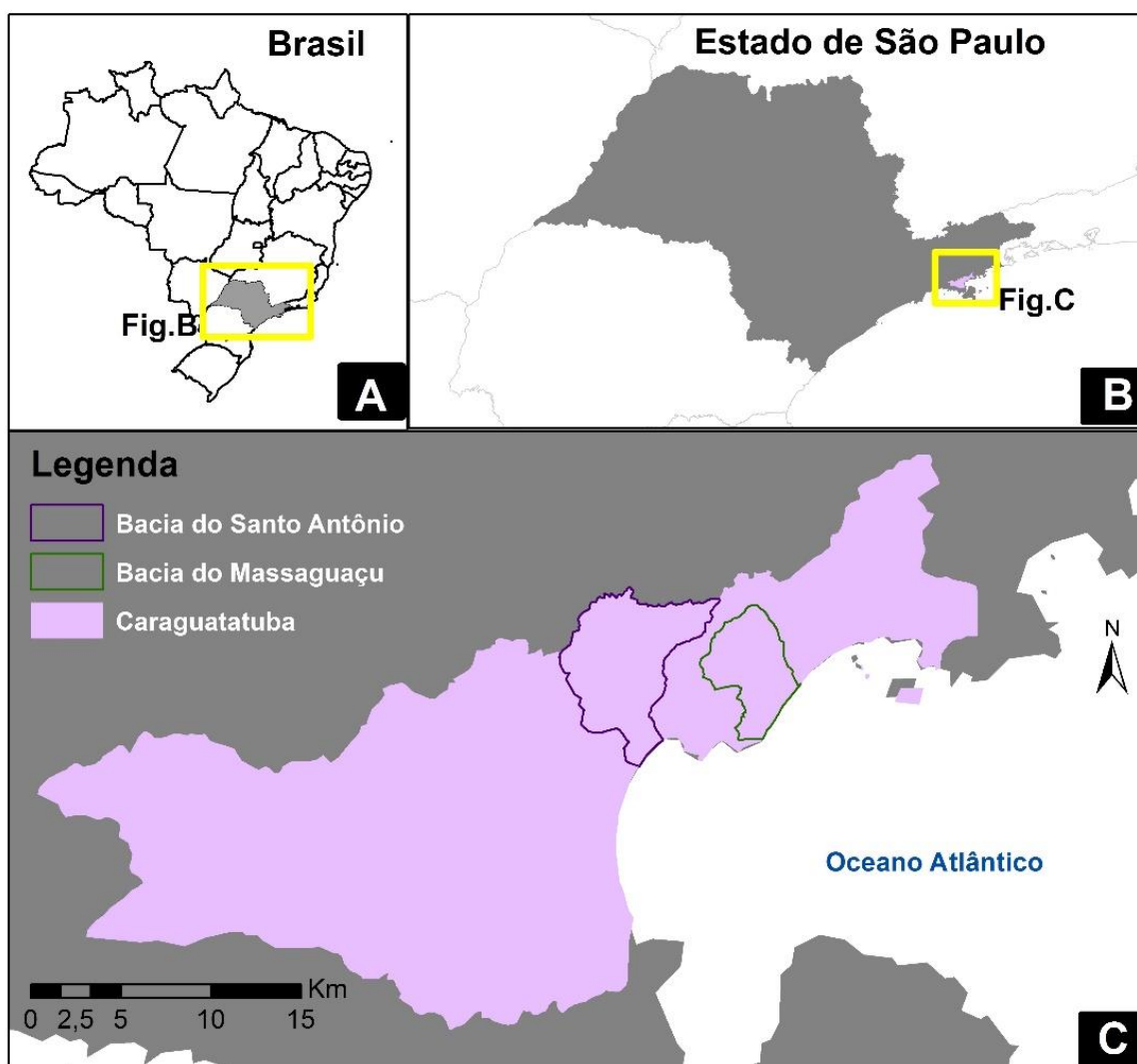


Figura 4: Localização do município de Caraguatatuba com relação ao Brasil (A), Estado de São Paulo (B) e com destaque para as duas bacias selecionadas para estudo, Santo Antônio e Massaguaçu (C).

Segundo Cruz (1974), a compartimentação do relevo de Caraguatatuba é baseada em quatro divisões, sendo elas: *Planaltos Serranos*, formas mamelonares com espesso manto de regolito e restos de detritos mais grosseiros; *Escarpas Costeiras*, áreas predominantemente de desgaste, com grande dinamização geomorfológica e alta influência estrutural, com a ação antrópica ocorrendo nos médios e baixos níveis, até 200-300 m de altitude (Formas comuns: cristas, colos, vales e encostas); *Planícies Costeiras*, baixadas e áreas de deposição predominante, com maior ocupação humana e processos antrópicos (Ocorrências comuns: praias, restingas, bancos arenosos e terraços); e a *Linha de Costa*, caracteriza-se por uma orientação N e um recuo significativo da escarpa, ocasionando a formação de grandes planícies costeiras (a maior do litoral norte de São Paulo).

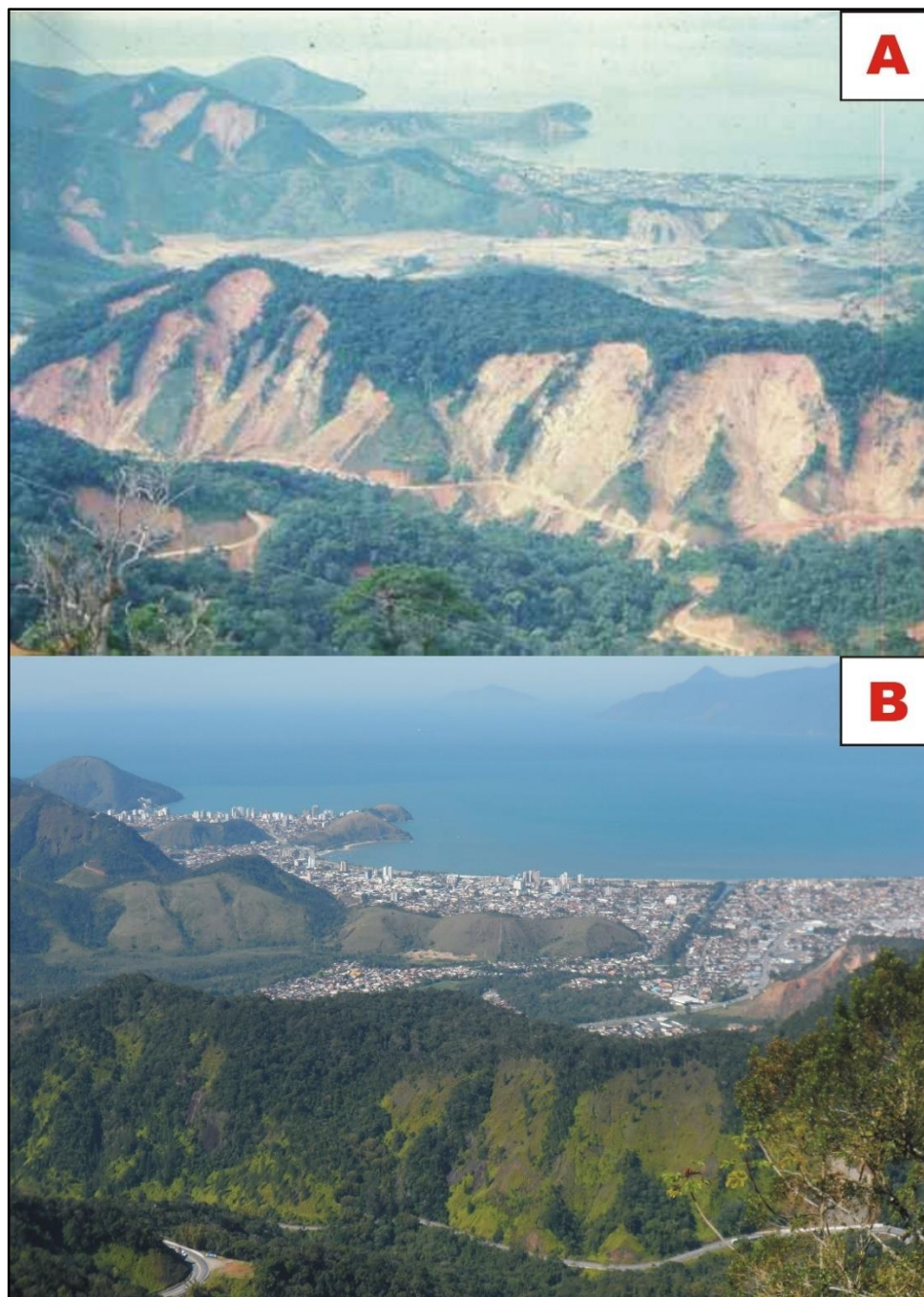


Figura 5: Visão da cidade de Caraguatatuba, em 1967, logo após o Evento (A), e em 2011, com destaque (B). **Fonte:** GPMorfo.

A área é caracterizada pelo domínio de Mares de morros, as zonas de fraqueza tectônica são responsáveis pelos padrões de drenagem existentes. As bacias hidrográficas possuem um poder de desgaste muito grande, por conta dos altos ângulos das encostas a que estão sujeitas, marcando a paisagem com profundos vales em "V".

Com relação a cobertura vegetal, a área possui mata atlântica densa, do tipo floresta ombrófila densa, caracterizada pela presença de árvores de 15 a 40 m de altura. As cicatrizes dos escorregamentos de 1967 são bem evidentes na paisagem, como pôde ser aferido no trabalho de campo de fevereiro de 2015, pois a vegetação que se desenvolveu nos locais é muito diferente do restante da mata, sendo composta por Gleichênias. Segundo Queiroz Neto e Oliveira (1964) na área de estudo ocorrem três grandes categorias de solos: Latossolos bem drenados, Podzólicos vermelho-amarelo moderadamente drenados e Litossolos pouco desenvolvidos, segundo a classificação anterior da EMBRAPA. Segundo o sistema de classificação atual, o Sistema Brasileiro de Classificação de solos (SiBCS), de 2006, tais solos correspondem respectivamente a Latossolo, Argissolo e Neossolo.

Desta forma, nota-se que as condições das escarpas litorâneas de Caraguatatuba, e até mesmo do litoral norte de uma forma geral, favorecem diretamente a ocorrência de escorregamentos, segundo Cruz (1974), visto que a ocorrência desse processo é uma combinação de fatores, como a umidade elevada, diretamente relacionada a ocorrência da Mata Atlântica (Formação superficial, a alteração das rochas verticalmente e ação do escoamento superficial (Aumenta conforme o ângulo da encosta). Caraguatatuba está sob a ação, segundo Cruz (1974), do encontro de massas polares e tropicais, que desencadeiam irregularidades climáticas, gerando períodos de seca e cheias na região, não sendo a área mais chuvosa do litoral, junto com São Sebastião é a área menos úmida do litoral norte. O total de precipitação pluvial do município na estação do verão de 1964 até 2011 (**Figura 6**), demonstra que não só a chuva é desencadeadora dos escorregamentos em Caraguatatuba, outros fatores também são determinantes, tais como relevo e litologia. É interessante notar que o total de precipitação pluvial ao longo dos últimos 47 anos teve seu valor máximo no verão de 1966/1967, ano de ocorrência do maior desastre natural da área de estudo.

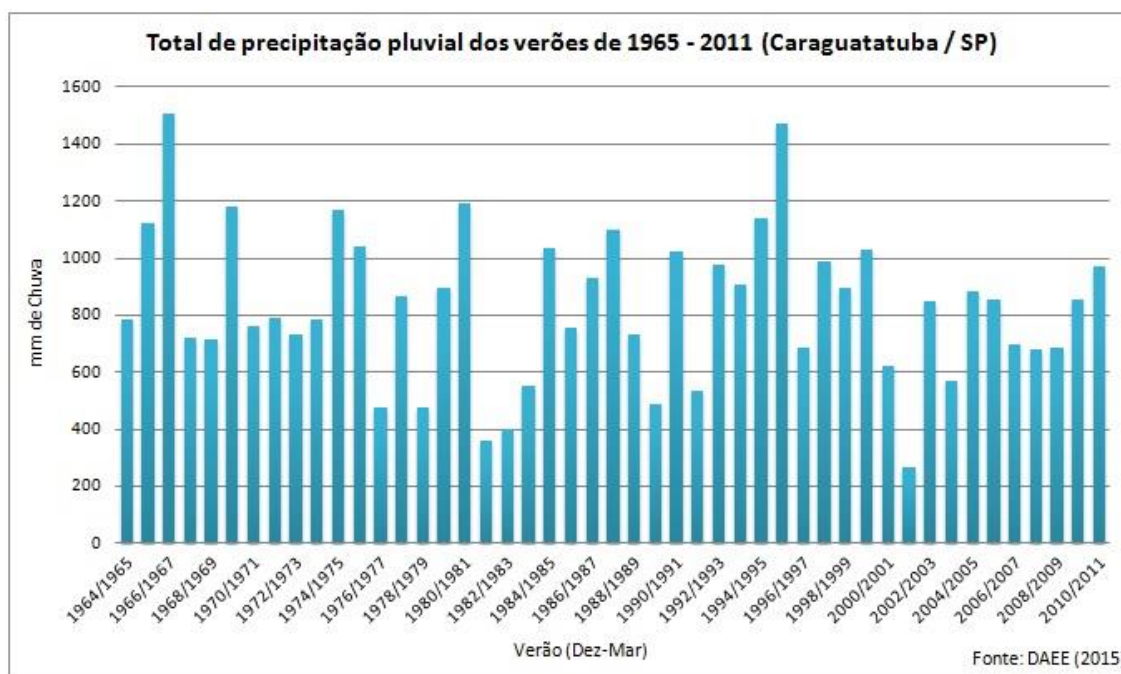


Figura 6: Gráfico do total de precipitação pluvial no período de 1965-2011 em Caraguatatuba/SP. **Fonte:** DAEE, 2015.

4.2.Evento de 1967

O evento (**Figura 7**) ocorreu no verão de 1966/1967, entre os dias 17 e 20 de março e caracterizou-se por precipitação pluvial muito acima da média, em um curto período de tempo, desencadeando escorregamentos generalizados que culminaram em corridas de detritos, causando severos danos em toda a cidade de Caraguatatuba (**Figuras 8 e 9**). O município acusou 260,0 mm no dia 17 e 324,8 mm no dia 18, com um total mensal de 945,6 mm (CRUZ, 1974).

Com base no trabalho realizado por Cruz (1974), Gramani (2001) elaborou uma tabela síntese sobre as ocorrências do dia 18 de março de 1967, dividindo as ocorrências em três fases: 1ª. Enchente Inicial, 2ª. Escorregamentos, 3ª. “Debris Flows” ou Corridas de Detritos, e 4ª. Enchente por bloqueio (**Tabela 2**).

Segundo Cruz (1974), ocorreram escorregamentos de todos os tipos e formas em Caraguatatuba, com uma movimentação aproximada de dois milhões de toneladas de sedimentos, um esquema dos escorregamentos ocorridos no dia 16 de março, com ênfase na bacia do Santo Antônio. As cicatrizes de escorregamentos deflagrados (**Figura 10**) durante os quatro dias foi proposto por Fúlfaro *et al.* (1976) com base em fotografias aéreas e trabalhos de campo.



Figura 7: Escorregamentos generalizados em encostas íngremes ocorridos no Evento de 1967 em Caraguatatuba/ SP. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.



Figura 8: Escorregamento em trecho da Rodovia Tamoios no Evento de 1967 em Caraguatatuba / SP. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

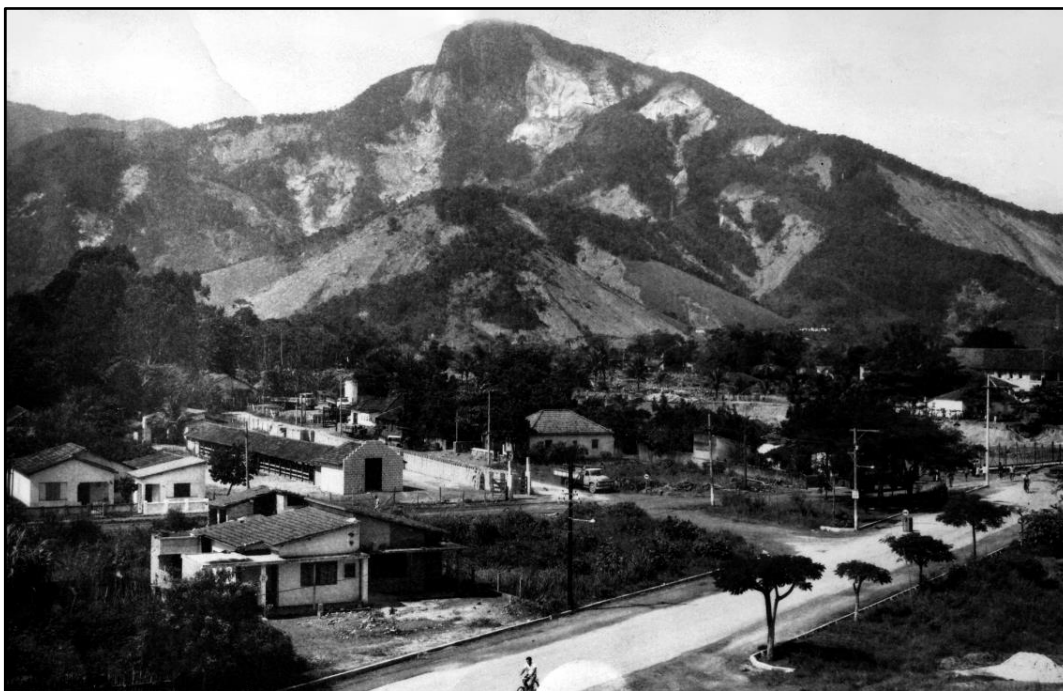


Figura 9: Visão dos escorregamentos ocorridos no Morro do Jaraguá no Evento de 1967 em Caraguatatuba / SP. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

Tabela 2: Síntese das fases da catástrofe que se abateu na cidade de Caraguatatuba no ano de 1967 devido a eventos pluviométricos intensos.

FASE	DENOMINAÇÃO	SÍNTESE DO EVENTO
Dia 18	Primeiras horas da manhã	começaram a cair as primeiras barreiras. Às 13 horas veio a avalanche total de pedras, árvores e lama dos morros do Cruzeiro, Jaraguá e Jaguarazinho, enquanto outra frente se abria no vale do Rio S ^{to} Antônio.
1 ^a FASE	Enchente Inicial (12:00 – 16:00 horas)	nível do rio S ^{to} Antônio se elevou em alguns metros e em alguns pontos a água extravasou nas margens, forçando a população a procurar lugares mais seguros. Este fato auxiliou muitas pessoas a salvarem suas vidas antes da 2 ^a FASE.
2 ^a FASE	Escorregamentos (16:00 – 16:30 horas)	Fase crítica dos escorregamentos, pois alguns já tinham ocorrido. Escorregamentos generalizados. A superfície de ruptura atingia, na maior parte dos casos, a rocha sã, expondo muitas cicatrizes. Volumes mobilizados são citados no texto.
3 ^a FASE	“DEBRIS FLOWS” (16:15 – 17:00 horas)	Os escorregamentos que atingiram as linhas de drenagem foram mobilizados (solo, rocha, árvore, água) canalizados, retidos e acumulados em barramentos naturais. Com o aumento do material acumulado e aumento da pressão, ocorreu o rompimento violento destes, gerando “debris flow”. Segundo testemunhas, o fato foi precedido de forte barulho (~trovão), com o material movimentando-se em forma de onda. Próximo a Caraguatatuba, transformou-se num “mud-flow”, “wood- flood”).
4 ^a FASE	Enchente por bloqueio (17:00 – 18:00 horas)	A ponte metálica localizada próximo a desembocadura do Rio S ^{to} Antônio foi completamente bloqueada por troncos de árvores, trazidos pelos “debris flows”, formando um represamento natural, originando uma enchente de grandes dimensões. A região a montante transformou-se num imenso reservatório de água e sedimentos em suspensão. Como consequência a ponte entrou em colapso e liberou o material.

Fonte: GRAMANI, 2001.

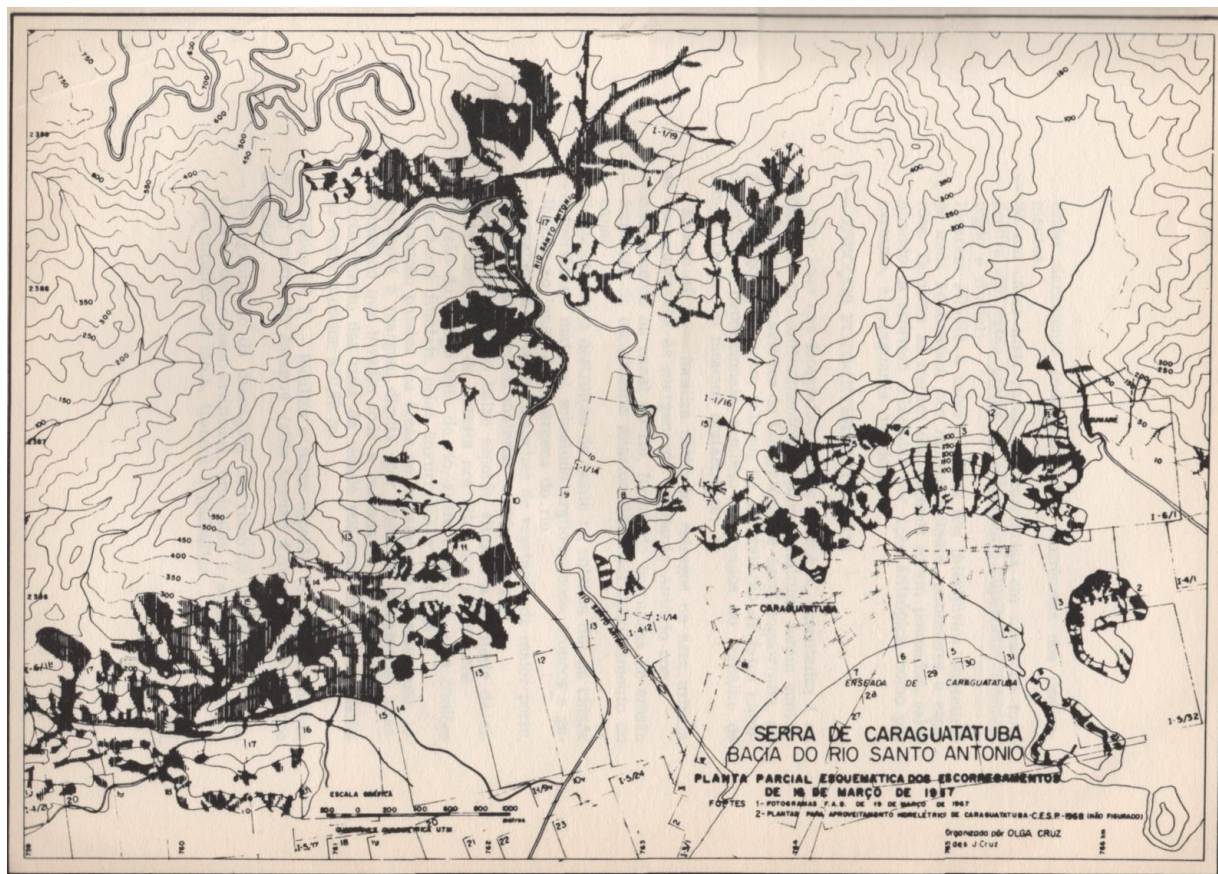


Figura 10: Distribuição dos escorregamentos ocorridos em 16 de março de 1967, com ênfase na bacia de Santo Antônio. **Fonte:** Cruz (1974).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item são descritos os itens metodológicos para o objetivo proposto (**Figura 11**). Primeiramente, foi feita a seleção de bacias hidrográficas em termos de magnitude dos escorregamentos no Evento de 1967 (6.1); em seguida foram mapeados os parâmetros morfológicos nas bacias hidrográficas do Rio Santo Antônio e Massaguaçu (6.2); e por fim, foi feita a avaliação conjunta dos mapas temáticos geológicos e morfológicos (6.3). A partir disto, foi realizada a avaliação final do papel de cada classe na distribuição destes processos baseado no método de Gao, 1993.

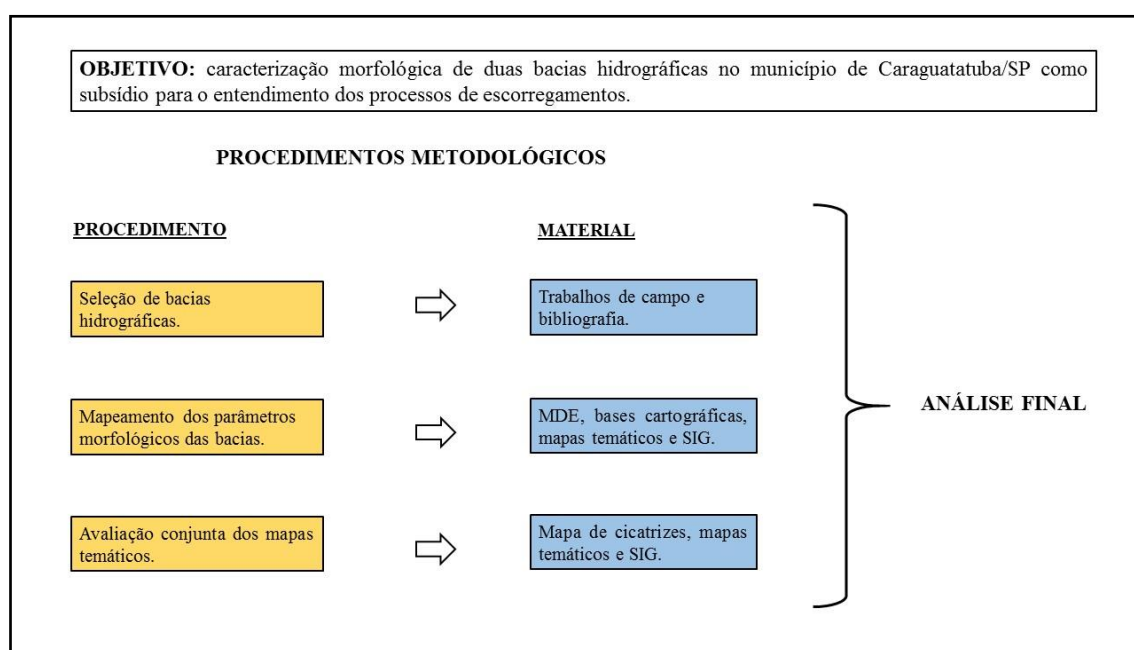


Figura 11: Etapas metodológicas da pesquisa.

5.1. Seleção das bacias hidrográficas

Para avaliação da influência dos parâmetros morfológicos e geológicos na distribuição e na magnitude dos escorregamentos, foram selecionadas duas bacias hidrográficas (**Figura 12**): as bacias do Rio Santo Antônio (~Área: 40 Km²), intensamente afetada pelos escorregamentos de 1967, e do Rio Massaguaçu (~Área: 20 Km²), também afetada por escorregamentos, porém em menor intensidade.

Este município está sendo estudado desde 2005 pelo Grupo de Pesquisas de Processos Morfodinâmicos e Ambientais (GPmorfo), possuindo assim dados geomorfológicos,

hidrológicos e geotécnicos de algumas bacias hidrográficas que o compõem, fator que contribui para uma melhor interpretação dos dados desta pesquisa (SANTOS, 2009; NERY, 2011; GOMES, 2012; RAMOS, 2012; FERREIRA, F.S., 2013; FERREIRA, R.B., 2013; DIAS, 2014).

Foram realizados trabalhos de campo com o objetivo de reconhecimento das bacias selecionadas para estudo e a aferição de informações primárias das unidades de estudo, como por exemplo as cicatrizes de escorregamentos. Foram percorridas trilhas dentro das bacias, onde pode ser observado a distribuição de depósitos de detritos próximos a cursos d'água e a ocorrência de Gleichênias, um tipo de Samambaia, espécie indicativa de ocorrência de escorregamentos, onde notou-se que próximo as cicatrizes há a presença de vegetação pouco densa e de baixo porte. As percepções empíricas obtidas em campo em ambas as bacias foram muito importantes para a pesquisa, visto que a união dos estudos teóricos com o empírico enriquece o aprendizado e a análise dos resultados área de estudo e suas características, como a localização de cicatrizes de escorregamentos pretéritos.

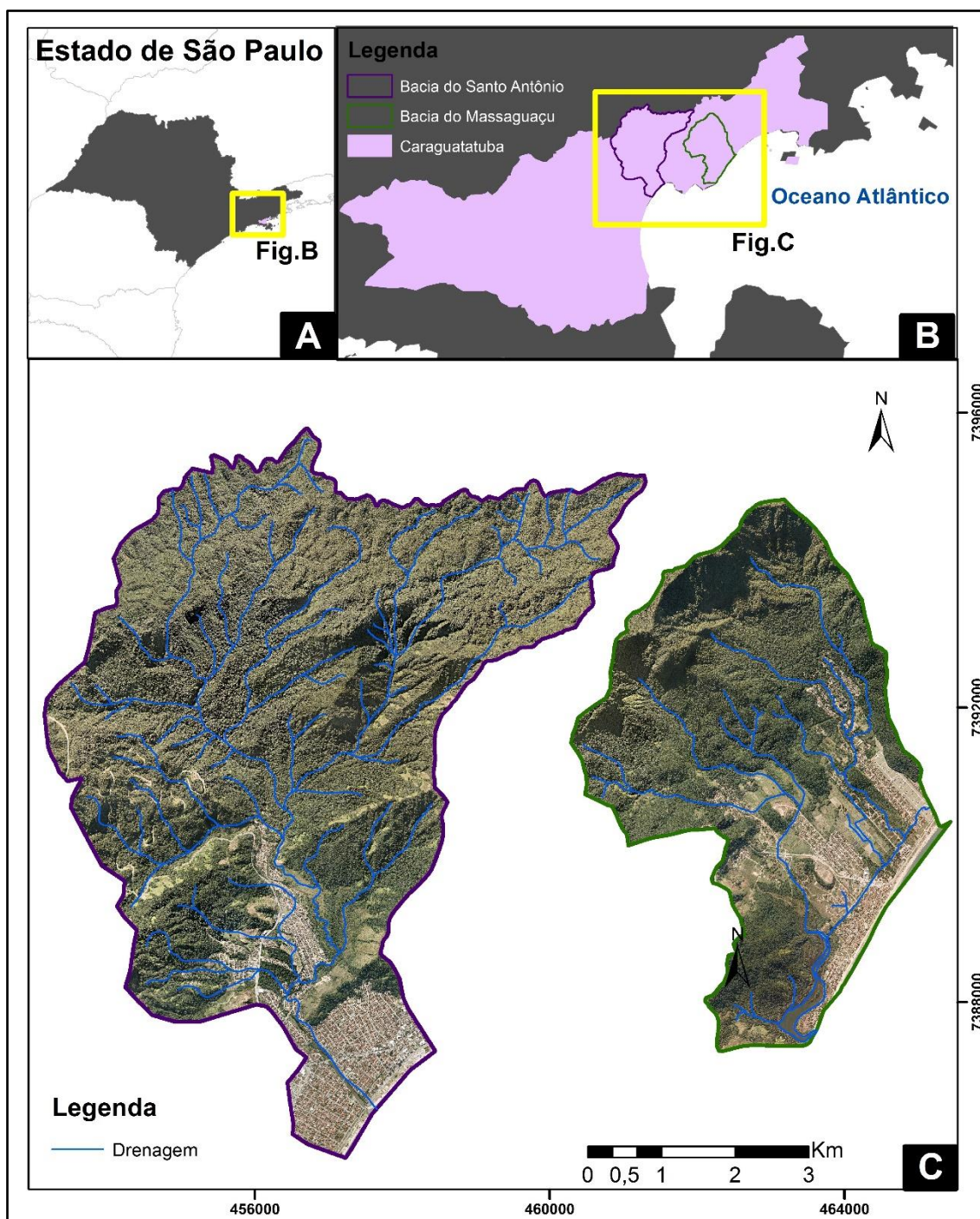


Figura 12: Localização das bacias hidrográficas Santo Antônio e Massaguaçu. **Fonte:** Ortofotos: EMPLASA (2011).

5.1.1. Bacia hidrográfica do rio Santo Antônio

A bacia do rio Santo Antônio foi uma das bacias mais atingidas por escorregamentos no evento de 1967 (**Figura 13**). Ela caracteriza-se por ter os vales ao longo da escarpa, avançando muito pouco no planalto, com área de ~40 km², possui uma drenagem bastante densa e uma

área de recepção muito bem desenvolvida, com canais transversais às curvas de nível. Somente na baixada que esses afluentes se reúnem e formam o Rio Santo Antônio (CRUZ, 1974). É importante enfatizar que todos os vales da bacia foram atingidos pelos escorregamentos de 1967, fator preponderante no momento de selecionar as bacias para estudo nesta pesquisa, visto que a magnitude do evento foi a maior de todas, fator confirmado pela grande quantidade de depósitos de detritos nos cursos d'água verificado em trabalho de campo.

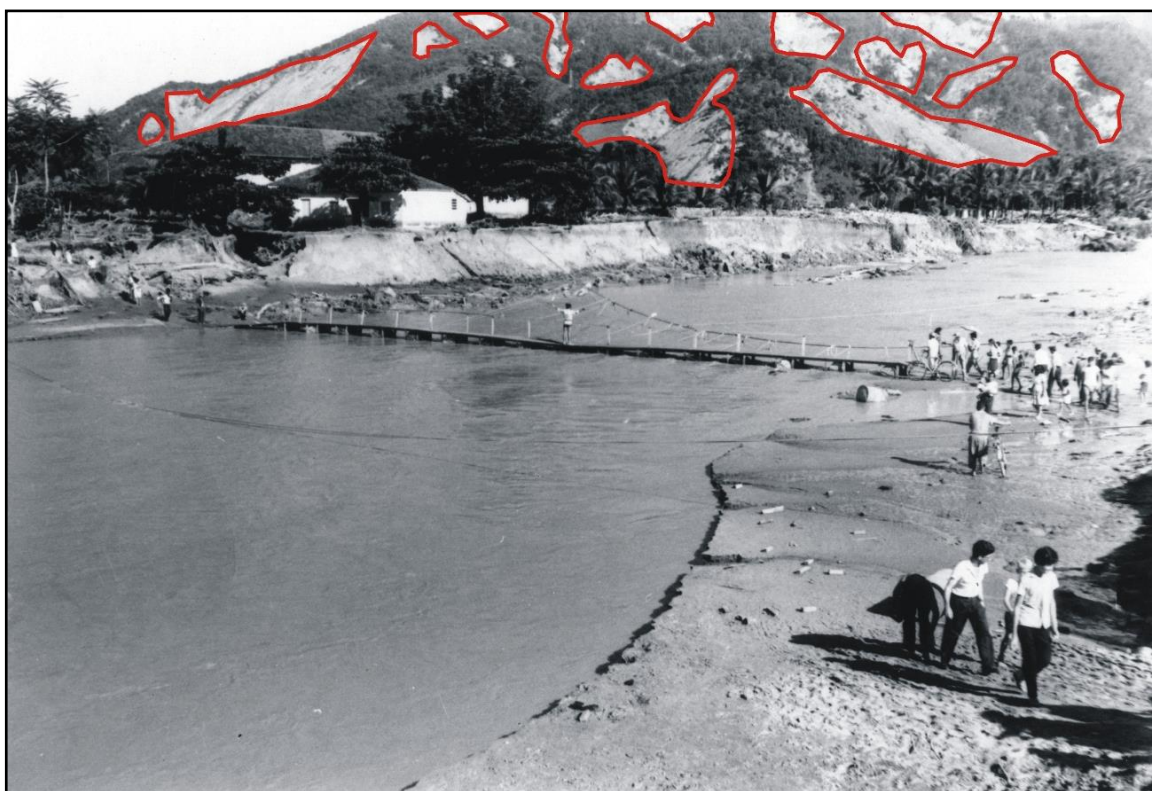


Figura 13: Ocorrência de escorregamentos na bacia do Santo Antônio registrados logo após o evento, em 1967. **Fonte:** Arquivo Público de Caraguatatuba.

5.1.2. Bacia hidrográfica do rio Massaguaçu

A bacia Massaguaçu possui evidências na paisagem de ocorrência de escorregamentos, as cicatrizes (**Figura 14**), no entanto, não aparece descrita na literatura como uma das áreas mais atingidas, sendo, portanto, identificada como uma bacia com ocorrências de menor magnitude quando comparada com a bacia do Santo Antônio, por exemplo. Trata-se de uma bacia pequena (**Figura 15**), com pouco mais de 20 Km², com densidade de drenagem mediana, vales largos, pouca rugosidade e com baixo índice de dissecação, com rupturas de declive

suaves indicando que o controle estrutural na bacia (do rio principal) não é tão significativo (DIAS, 2014).



Figura 14: Presença de cicatriz de escorregamento a direita, caracterizada pela existência de gleichenias, espécie de vegetação de pequeno porte indicadora da ocorrência de escorregamentos.
Fonte: GPMorfo.



Figura 15: Vista da bacia hidrográfica do Rio Massaguaçu. **Fonte:** GPMorfo.

5.2. Mapeamento dos parâmetros morfológicos

A escolha dos parâmetros para esta pesquisa foi feita com base em Vieira (2007), Santos (2009) e Ramos (2012), que também realizaram, em diferentes bacias estudos sobre a relação entre os parâmetros morfológicos e geológicos e os escorregamentos. Assim, a **Tabela 3** apresenta as características dos mapas morfológicos e geológicos necessários para a realização da análise das bacias hidrográficas do Rio Santo Antônio e Rio Massaguaçu, com suas respectivas classes, ocorrências e características.

Para confecção dos mapas morfológicos, Curvatura, Hipsometria, Ângulo de encostas e Aspecto foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (Escala 1:10.000) (**Figura 16**), fornecido pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A – EMPLASA (*Contrato de Licença de uso CLU N° 049/14*), resolução de 25m e elaborado através da tecnologia **LiDAR** (*Light Detection and Ranging*).

Para a análise dos parâmetros geológicos, foi feita a digitalização do mapa geológico gerado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais (CPRM) da carta de Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1) de Escala 1:50.000.

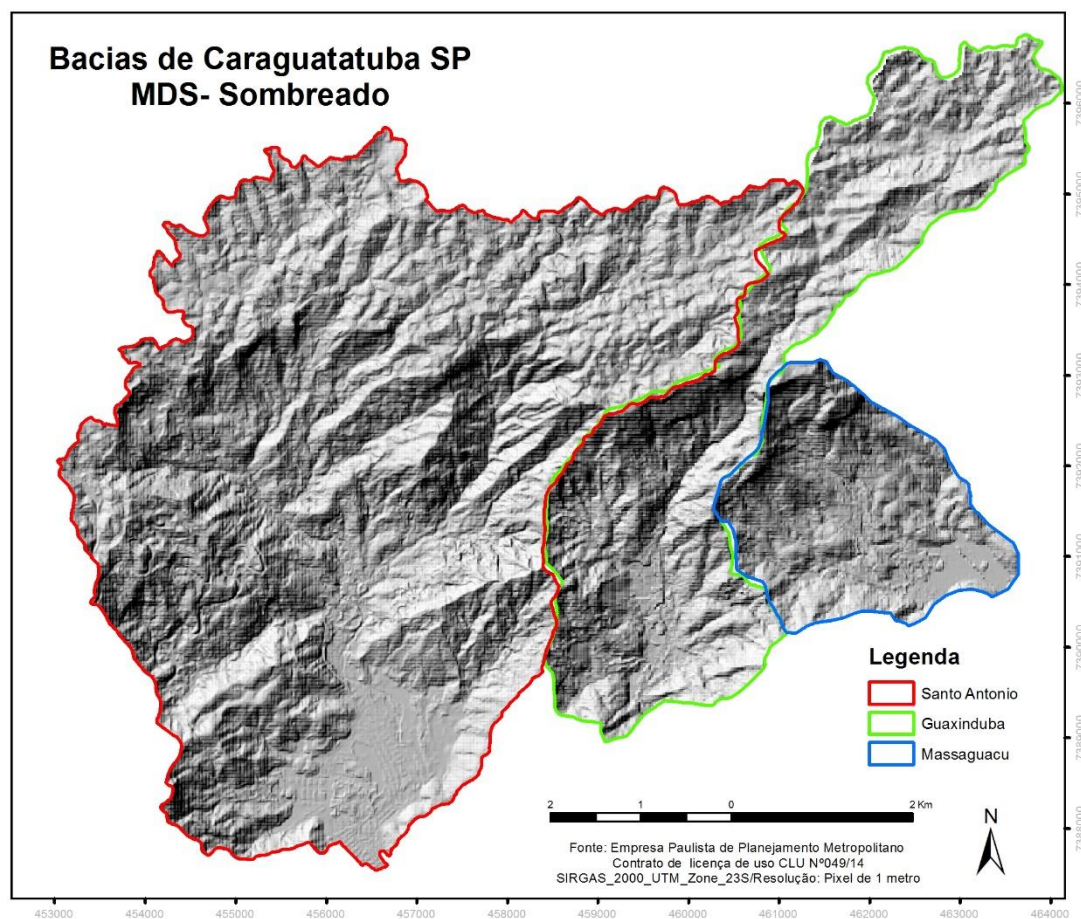


Figura 16: Modelo Digital de Elevação (Escala 1:10.000) ilustrando as bacias de Santo Antônio, Guaxinduba e Massaguacu. **Fonte:** EMPLASA (2011).

Tabela 3: Especificações das classes utilizadas nos mapas morfológicos e geológicos.

Mapas morfológicos	Classes	Características dos parâmetros morfológicos
Curvatura	Côncava	Demonstra a morfologia da encosta, sendo importante para verificar a existência de formatos, como o côncavo, que tendem a influenciar a ocorrência de escorregamentos.
	Planar/Retilínea	
	Convexa	
Ângulo de encosta	0 - 10°	Ilustra a inclinação da encosta, fator importante para a ocorrência de escorregamentos.
	10 - 20°	
	20 - 30°	
	> 30°	
Aspecto	Norte	Demonstra qual área da bacia hidrográfica recebe maior quantidade de radiação solar
	Nordeste	
	Noroeste	
	Sul	
	Sudeste	
	Sudoeste	
	Oeste	
	Leste	
Hipsométrico	Plano/Retilínea	Ilustra as variações altimétricas de uma bacia hidrográfica, que podem influenciar o transporte e a deposição de sedimentos dos escorregamentos.
	0 - 200 m	
	200 - 400 m	
	400 - 600 m	
	600 - 800 m	
Mapa Geológico	> 800 m	
	Ocorrência	Características dos parâmetros geológicos
Litologia	Complexo Paraibuna	Ilustra os tipos de rochas presentes nas bacias hidrográficas de estudo, possibilitando a aferição das litologias mais frequentes na área.
	Granitóides Caraguatatuba	
	Rochas Parametamórficas	
	Sedimentos Inconsolidados	
Lineamento estrutural	Falhas	Ilustra as estruturas/descontinuidades nas bacias hidrográficas de estudo.
	Fraturas	

5.3. Avaliação conjunta dos mapas temáticos

Para avaliação da influência dos parâmetros morfológicos na distribuição dos escorregamentos, foi realizada a digitalização dos mapas de cicatrizes de escorregamentos de 1967 da bacia do Rio Santo Antônio; para a bacia do Rio Massaguaçu foram retiradas as cicatrizes de Dias (2014) ambas gerados a partir de ortofotos do Instituto Florestal de 2000, do trabalho de Fúlfaro *et al.* (1976) (**Figura 17**) e de fotografias aéreas de 1973 em escala 1:20.000.

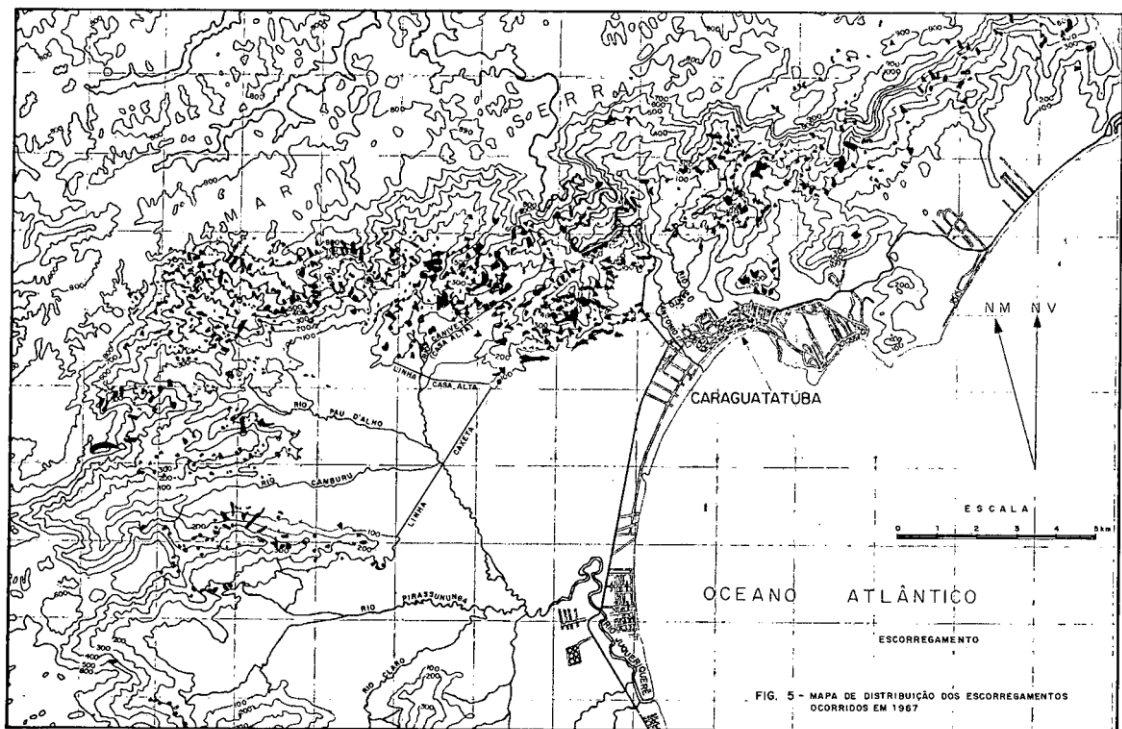


Figura 17: Distribuição dos escorregamentos ocorridos em 1967. **Fonte:** Fúlfaro *et al.* (1976).

O volume final, mas sobretudo a distribuição espacial dos escorregamentos identificados por estes autores foram comparados e avaliados juntamente com os parâmetros geológicos e morfológicos. Esta avaliação da influência dos parâmetros (geológicos e morfológicos) foi realizada pelo método proposto por Gao (1993), utilizando os seguintes índices:

- *Potencial de Escorregamentos (PE)*: razão entre o número de células de cada classe afetada pelas cicatrizes e o total de células dessa mesma classe;

$$PE = \frac{\text{Células afetadas por escorregamentos em cada classe}}{\text{Total de células dessa mesma classe}}$$

- *Concentração de cicatrizes (CC)*: razão entre o número de células de cada classe afetada pelas cicatrizes e o valor total de células afetadas por escorregamentos na bacia.

$$CC = \frac{\text{Células afetadas por escorregamentos em cada classe}}{\text{Total de células afetadas por escorregamentos da bacia}}$$

- *Frequência (F)*: razão entre o número de células de cada classe e o total de células da bacia.

$$F = \frac{\text{Células totais de cada classe}}{\text{Total de células da bacia}}$$

6. RESULTADOS

6.1 Mapas Geológicos

A bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio é composta predominantemente por rochas ígneas e metamórficas (**Figura 18**), além da presença de sedimentos nas planícies fluviais do rio que dão nome a mesma. Tais litologias se concentram em determinadas porções da bacia, os granitos (Granitóides Caraguatatuba), tipo mais abundante com 67,8%, espalha-se por todo o perímetro, concentrando uma grande quantidade de cicatrizes de escorregamentos, já os mica-xistos e gnaisses (Complexo Paraibuna) são recorrentes na porção superior (9,6%), área que atinge o planalto, e por fim, há a presença de quartzitos (Rochas Parametamórficas) com 8,6%, que ocorrem na porção central, junto a Falha de Caraguatatuba. A bacia também pode ser caracterizada por apresentar uma vasta quantidade de falhas e fraturas, que pode demonstrar um grande controle estrutural, uma vez que é cortada por extensas estruturas de descontinuidades no maciço.

Com base, nos gráficos dos índices de Frequência (F), Concentração de Cicatrizes (CC) e Potencial de Escorregamento (PE) (**Figura 18**), foi possível aferir que embora os Granitóides Caraguatatuba sejam o tipo litológico mais abundante na bacia e consequentemente com maior concentração dos processos de escorregamentos (81,5%), são na verdade, as Rochas Parametamórficas que apresentam um PE maior para a ocorrência do processo elevado, com 10,4%.

A bacia hidrográfica do Rio Massaguaçu também é composta por rochas ígneas e metamórficas (**Figura 19**), além de sedimentos nas planícies fluviais. A diferença entre ambas consiste nas distribuições desses materiais, uma vez que conforme ilustra o Mapa geológico da bacia do Massaguaçu (**Figura 19**), esta possui uma área mais ampla (36,4%) com sedimentos inconsolidados em sua porção centro-sul. A distribuição dos demais materiais tende a ser levemente mais concentrada do que na bacia anterior, pois os granitos (Granitóides Caraguatatuba), com Frequência de 61,4%, estão preferencialmente na porção norte, e os quartzitos, com apenas 2,2%, estão na borda da bacia, extremo norte. Trata-se de uma bacia com pequena quantidade de falhas e fraturas.

Ao analisar os gráficos dos índices F, CC e PE presentes no Mapa geológico da bacia do Massaguaçu, observa-se uma concordância com os valores encontrados para a bacia do Santo Antônio, onde embora haja grandes áreas com Granitóides Caraguatatuba, e consequentemente com maior concentração de cicatrizes de escorregamentos (98,9%), as Rochas Parametamórficas são as que apresentam um potencial a ocorrência do processo elevado (1,3%), embora sua ocorrência seja bem reduzida quando comparada ao outro tipo litológico.

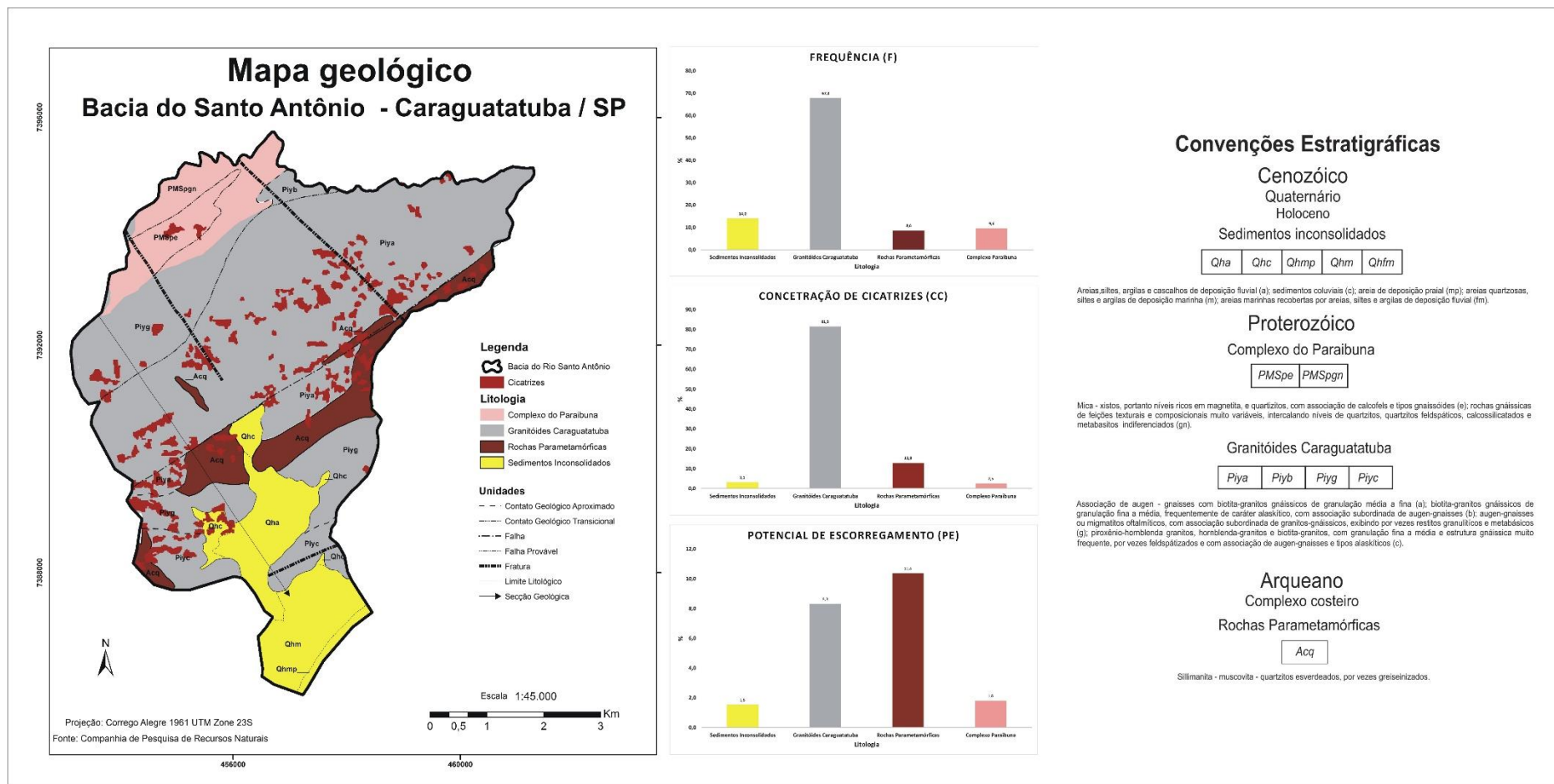


Figura 18: Geologia da bacia do Santo Antônio.

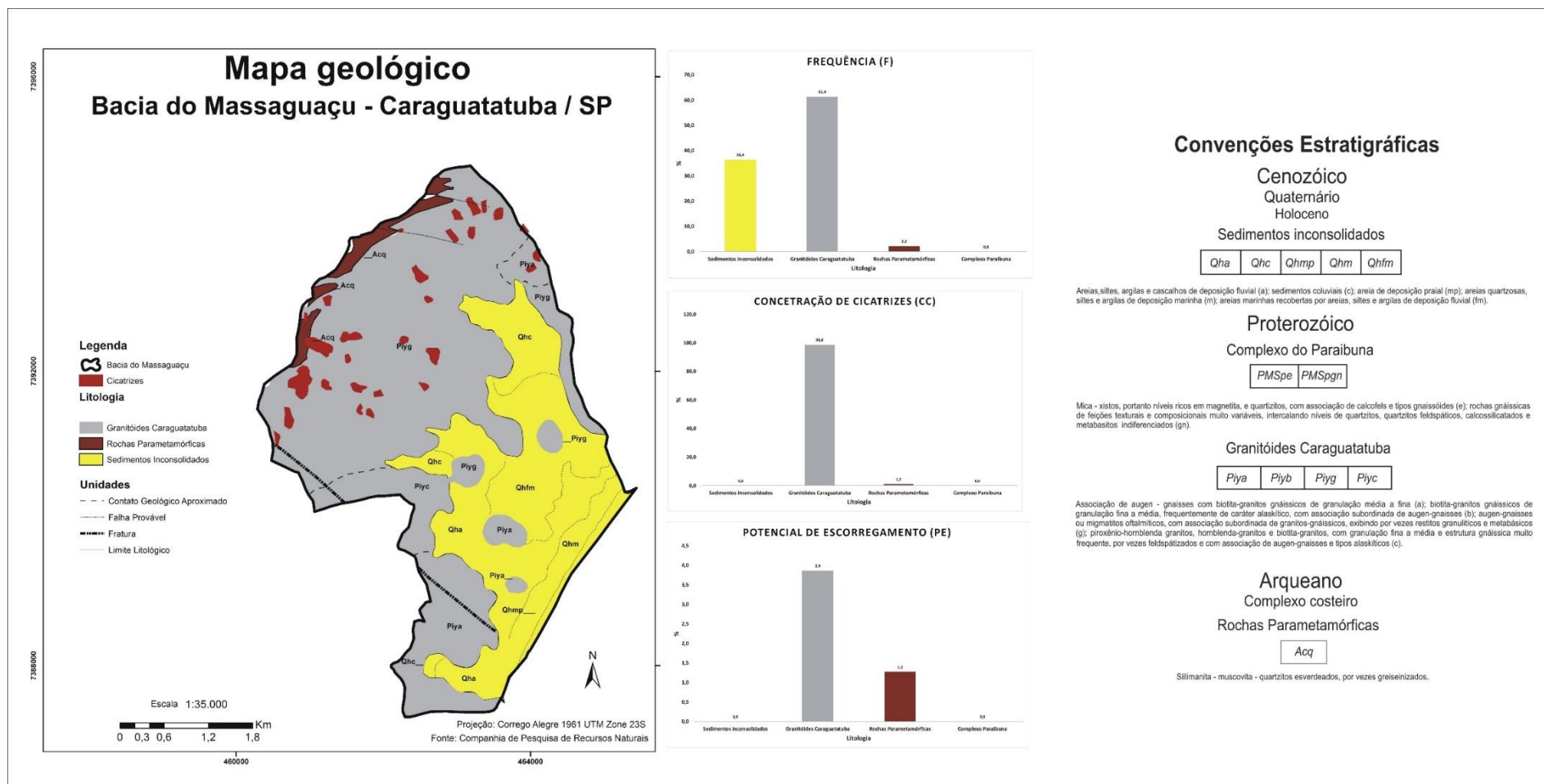


Figura 19: Geologia da bacia do Massaguaçu.

6.2 Mapas Morfológicos

6.2.1 Ângulo de encosta

Os ângulos das encostas encontrados na bacia do Rio Santo Antônio (**Figura 20**), apresentaram-se bem diversificados, uma vez que não há uma exclusividade de determinado intervalo específico na área. A distribuição, por outro lado, demonstra uma tendência, pois, a presença de ângulos maior que 30° está concentrada nos níveis altimétricos intermediários da bacia e na porção central da mesma, o que indica uma concentração de fluxos nesta parte da bacia. Áreas com ângulos de até 20° encontram-se na planície fluvial e na porção norte da bacia, onde a mesma alcança o planalto.

Partindo das análises dos índices de CC e PE foi possível estabelecer em qual classe de ângulo o processo se mostrou mais recorrente. Assim, o índice de CC demonstra que as cicatrizes de escorregamentos estão concentradas na bacia do Santo Antônio entre $20,1^\circ$ a 30° com 33,1%, embora o índice PE mostre que o intervalo com a classe com maior suscetibilidade seja em encostas com ângulos $>30^\circ$.

Na bacia hidrográfica do Rio Massaguaçu os ângulos das encostas (**Figura 21**) mais frequentes foram abaixo de 10° , presentes na maior parte da bacia, na porção centro-sul.

Os índices de CC e PE possibilitaram estabelecer em qual classe de ângulo o processo se mostrou mais recorrente. As cicatrizes de escorregamentos se concentraram em encostas com ângulos $>30^\circ$ com 51,8%, resultado que dialoga com o índice PE. Tal índice (7,4%) indica o mesmo intervalo como o com maior potencialidade a escorregamentos na bacia.

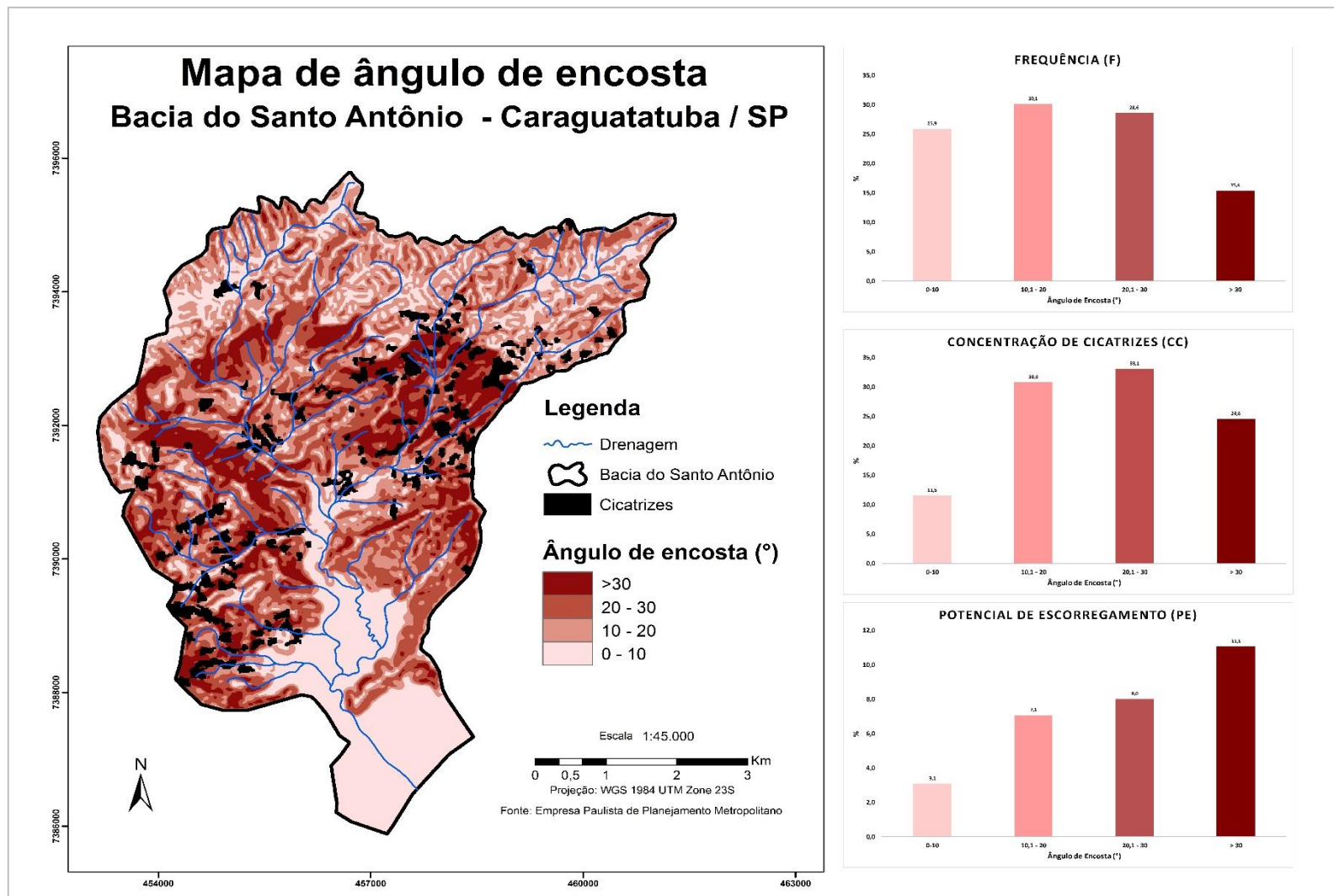


Figura 20: Mapa de ângulo das encostas da bacia do Santo Antônio.

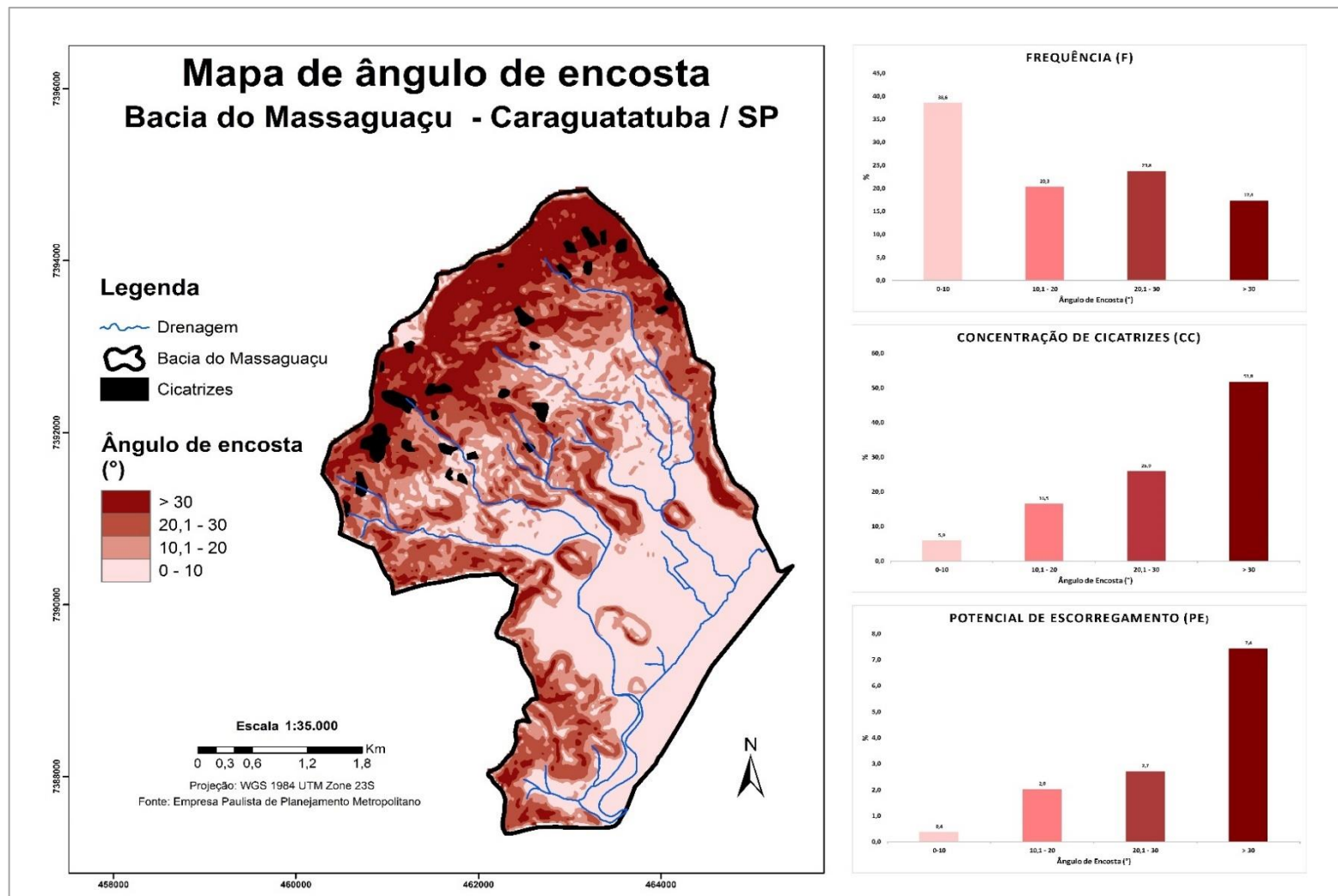


Figura 21: Mapa de ângulo das encostas da bacia do Massaguaçu.

6.2.2 Hipsometria

A bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio apresenta altitudes bem variadas (**Figura 22**), uma vez que há uma distribuição homogênea e gradativa pelo perímetro da bacia, que atinge o planalto, portanto grande parte da sua porção norte possui níveis acima de 600 m, contudo a maior parte da bacia se encontra em níveis inferiores a isso (61,4%).

Partindo das análises dos índices de CC e PE, foi possível estabelecer em qual classe hipsométrica os escorregamentos se mostram mais recorrentes. Assim, o índice de CC demonstra que as cicatrizes de escorregamentos estão concentradas entre 200 - 400 m (35,6%), valor este confirmado pelo índice de PE da mesma classe (12,4%).

As variações altimétricas da bacia do Massaguaçu (**Figura 23**) são pouco diversificadas, visto que aproximadamente 70% da área da mesma se encontra em níveis até 200 m, cabendo apenas a porção norte da bacia altitudes que chegam a 800 m.

Os índices de CC e PE possibilitaram inferir em qual classe os escorregamentos se mostram mais recorrentes. De maneira que, o índice de CC apresenta cicatrizes de escorregamentos concentradas (79,7%) na bacia do Massaguaçu, diferentemente da bacia anterior, entre 200 - 600 m. Onde o índice PE ilustra que o intervalo com maior potencialidade a escorregamentos 400 - 600 m acima do nível do mar (12,1%).

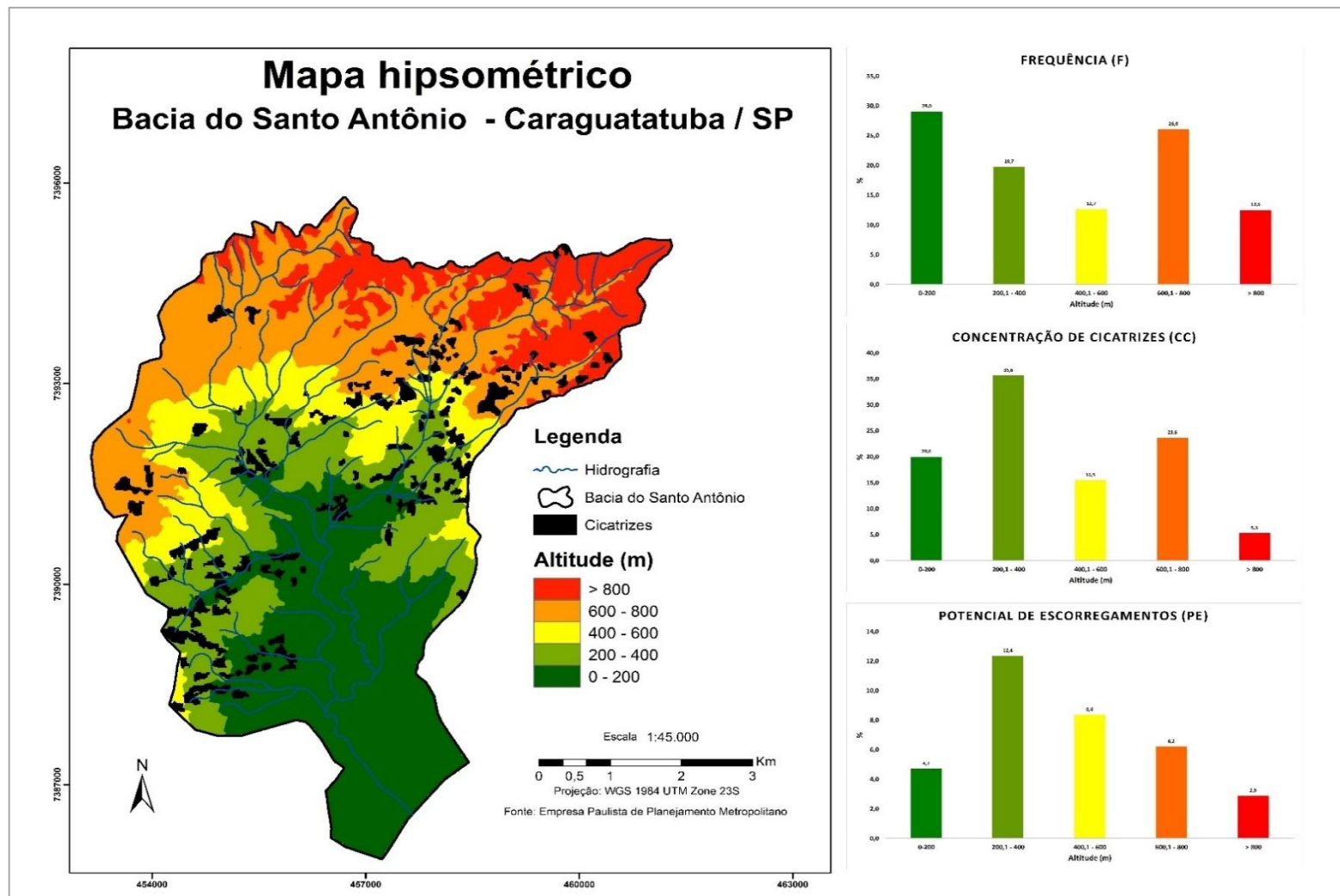


Figura 22: Mapa de hipsometria da bacia do Santo Antônio.

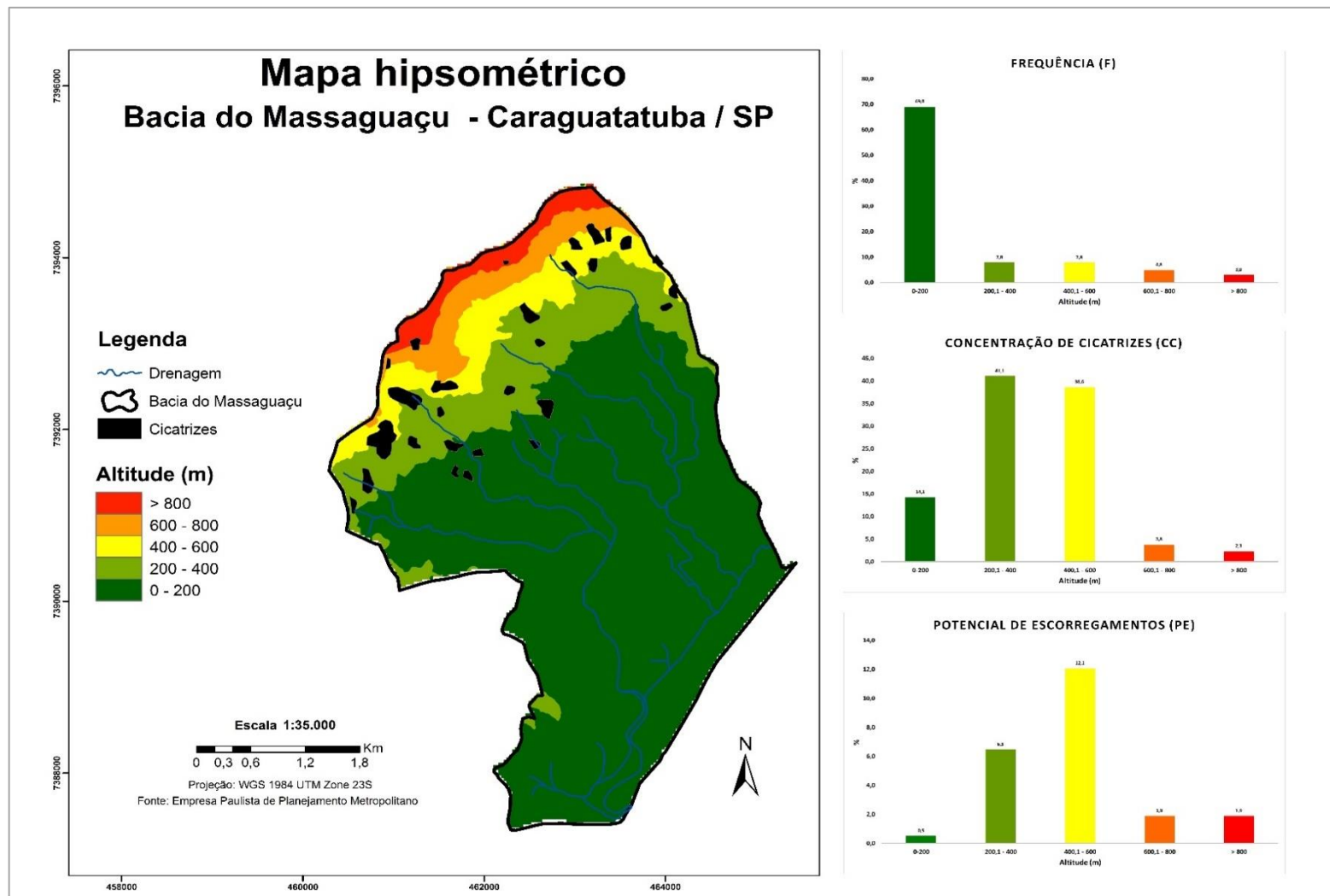


Figura 23: Mapa de curvatura das encostas da bacia do Massaguaçu.

6.2.3 Aspecto

A bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio apresenta predomínio de orientações no quadrante sul (direção sudeste, sul e sudoeste) com 49,3%, concentrados na porção nordeste da bacia (**Figura 24**).

Os índices de CC e PE possibilitaram estabelecer em qual classe de orientação de encosta o processo se mostrou mais recorrente. Mais da metade dos escorregamentos se concentraram nas orientações sul, sudeste e leste. Porém o índice PE não indicou uma única orientação com maior potencial de ocorrência a escorregamentos, uma vez que todas as orientações nessas bacias apresentaram índices muito semelhantes.

As orientações das encostas da bacia do Rio Massaguaçu (**Figura 25**) apresentam uma grande diversidade mas com o predomínio da direção sudeste, sul e leste (54%), em sua porção norte, orientações também muito frequentes na bacia anterior analisada.

A partir das análises dos índices de CC e PE (**Figura 25**) foi possível inferir que as cicatrizes de escorregamentos se concentram, respectivamente, em orientações sul, sudeste e leste, que juntas formam 83,5 do total da bacia, resultado que dialoga com o índice PE, uma vez que ele indica que a encostas voltadas para o sul apresentam um maior potencial de escorregamento, sendo mais favoráveis ao processo em questão.

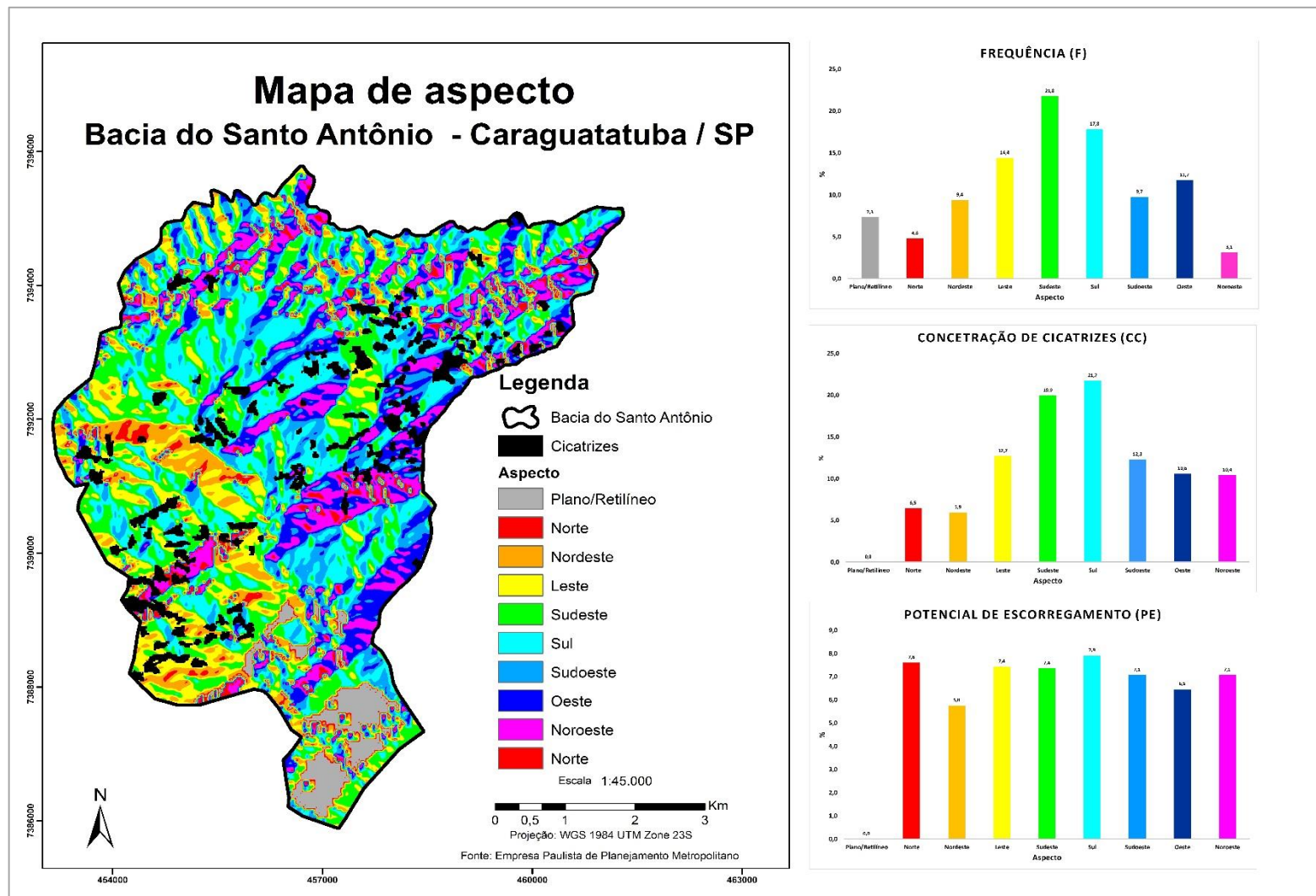


Figura 24: Mapa de aspecto da bacia do Santo Antônio.

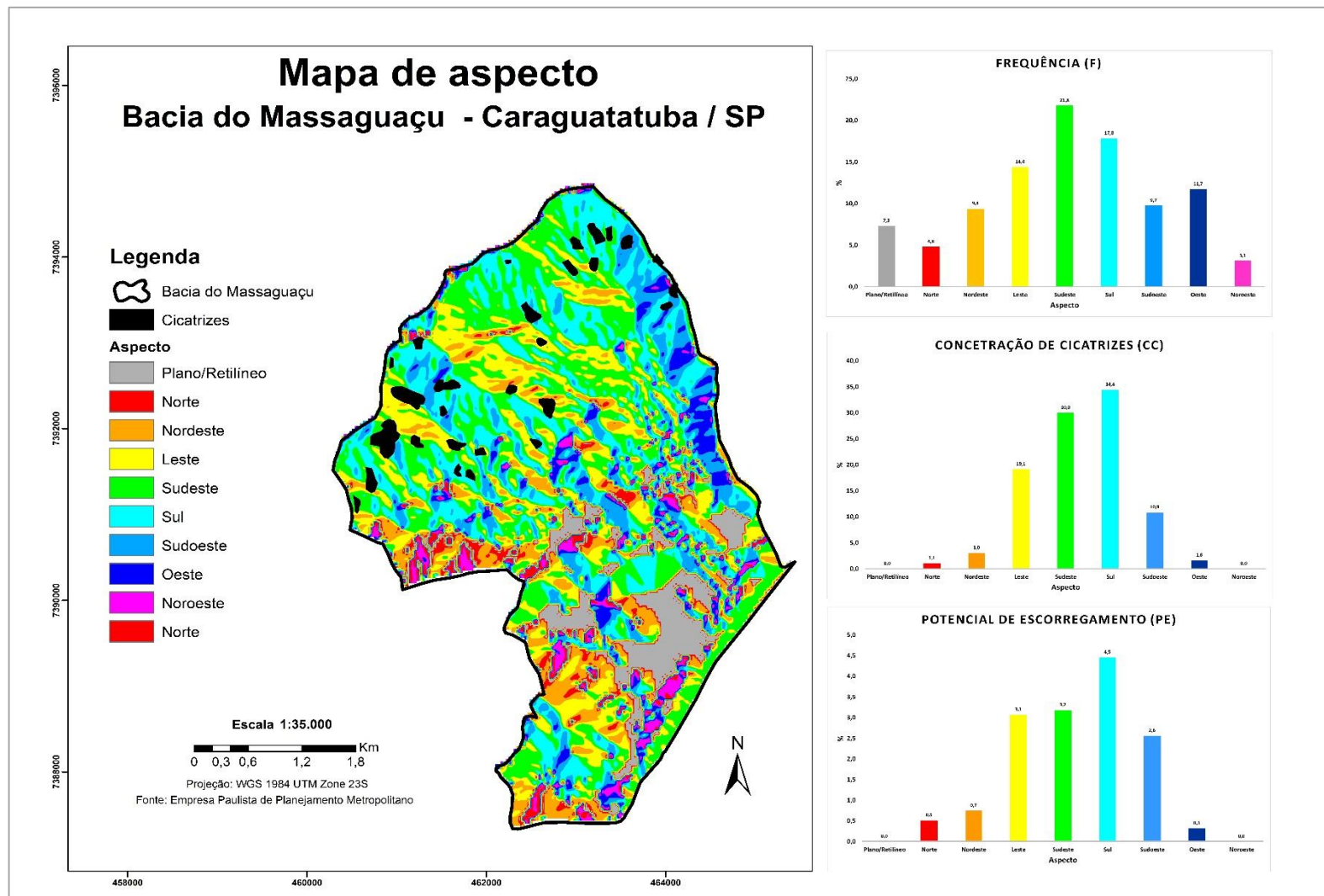


Figura 25: Mapa de aspecto da bacia do Massaguaçu.

6.2.4 Curvatura

A distribuição da curvatura das encostas da bacia do Rio Santo Antônio (**Figura 26**), demonstra uma concentração de formas retilíneas na planície fluvial, porção sul da bacia, onde geralmente concentram-se os depósitos de corridas de detritos. Deixando o restante da bacia, até o planalto, com predomínio de encostas convexas e côncavas (60,6%).

Partindo das análises dos gráficos dos índices de CC e PE (**Figura 26**), foi possível inferir que os tipos de curvaturas mais recorrentes nas encostas da bacia do Santo Antônio são, respectivamente, convexas (41,1%), planares/retilíneas (38,4%) e côncavas (20,5%). A curvatura com maior potencial de escorregamento, no entanto, é a côncava com 8,1%, que tem como característica a tendência a concentrar fluxos.

A curvatura das encostas da bacia do Rio Massaguaçu (**Figura 27**) se distribui de uma maneira em que há áreas retilíneas em toda a bacia, mas com predomínio na porção centro-sul. Por outro lado, as formas convexas e côncavas encontram-se principalmente na região serrana, nas áreas de maiores altitudes.

Os gráficos dos índices de CC, PE (**Figura 27**), assim como na bacia anterior, ilustram padrões próximos para as curvaturas, onde os tipos mais recorrentes nas encostas da bacia são, respectivamente, planares/retilíneas (53,3%) e convexas (31,3%) e as cicatrizes se concentram nas mesmas curvaturas, planares/retilíneas (36,7%) e convexas (36%). Porém, assim como na bacia do Rio Santo Antônio, a classe de curvatura mais suscetível, ou seja, com o maior valor de PE, também foi a côncava, com 4,4%.

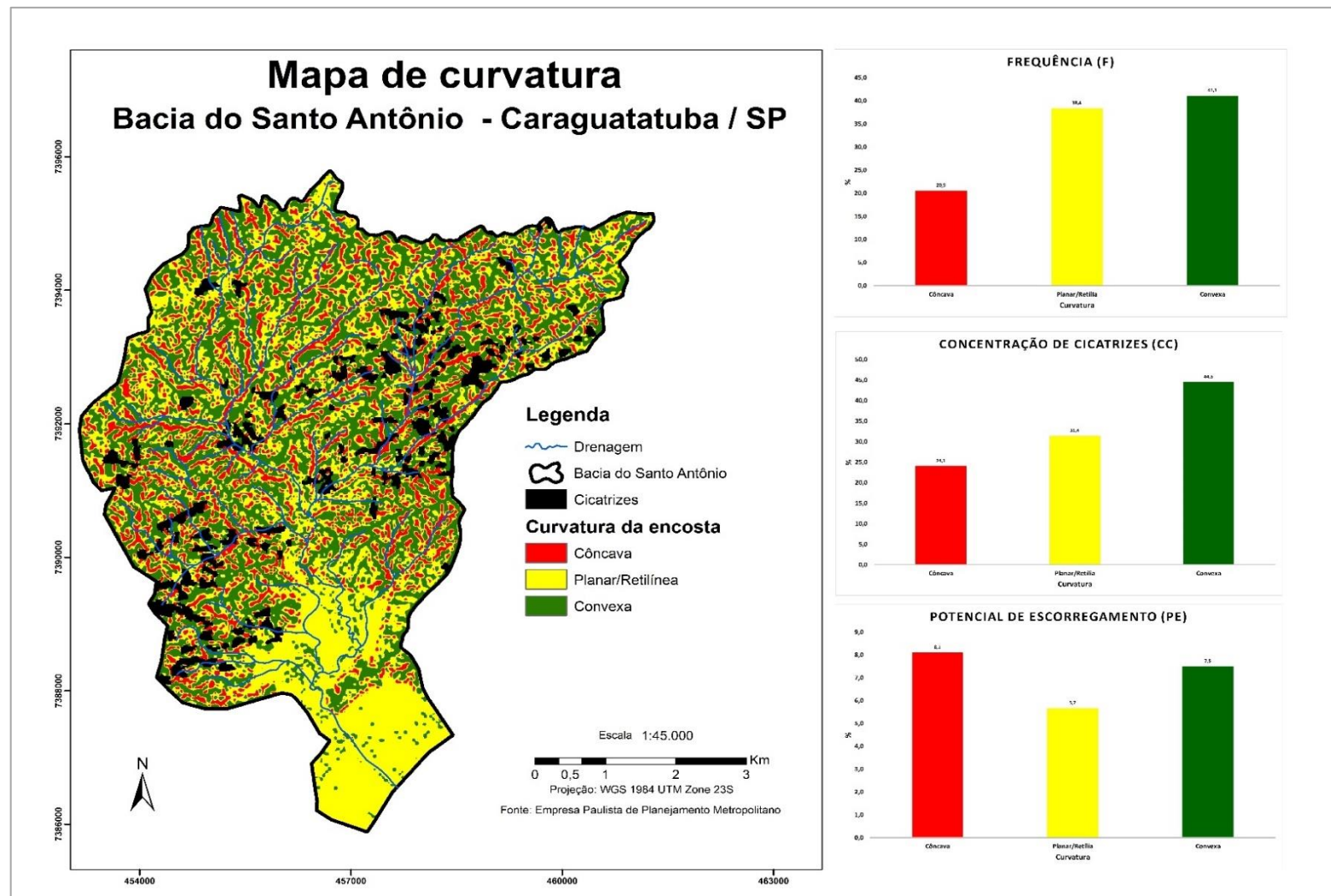


Figura 26: Mapa de curvatura das encostas da bacia do Santo Antônio.

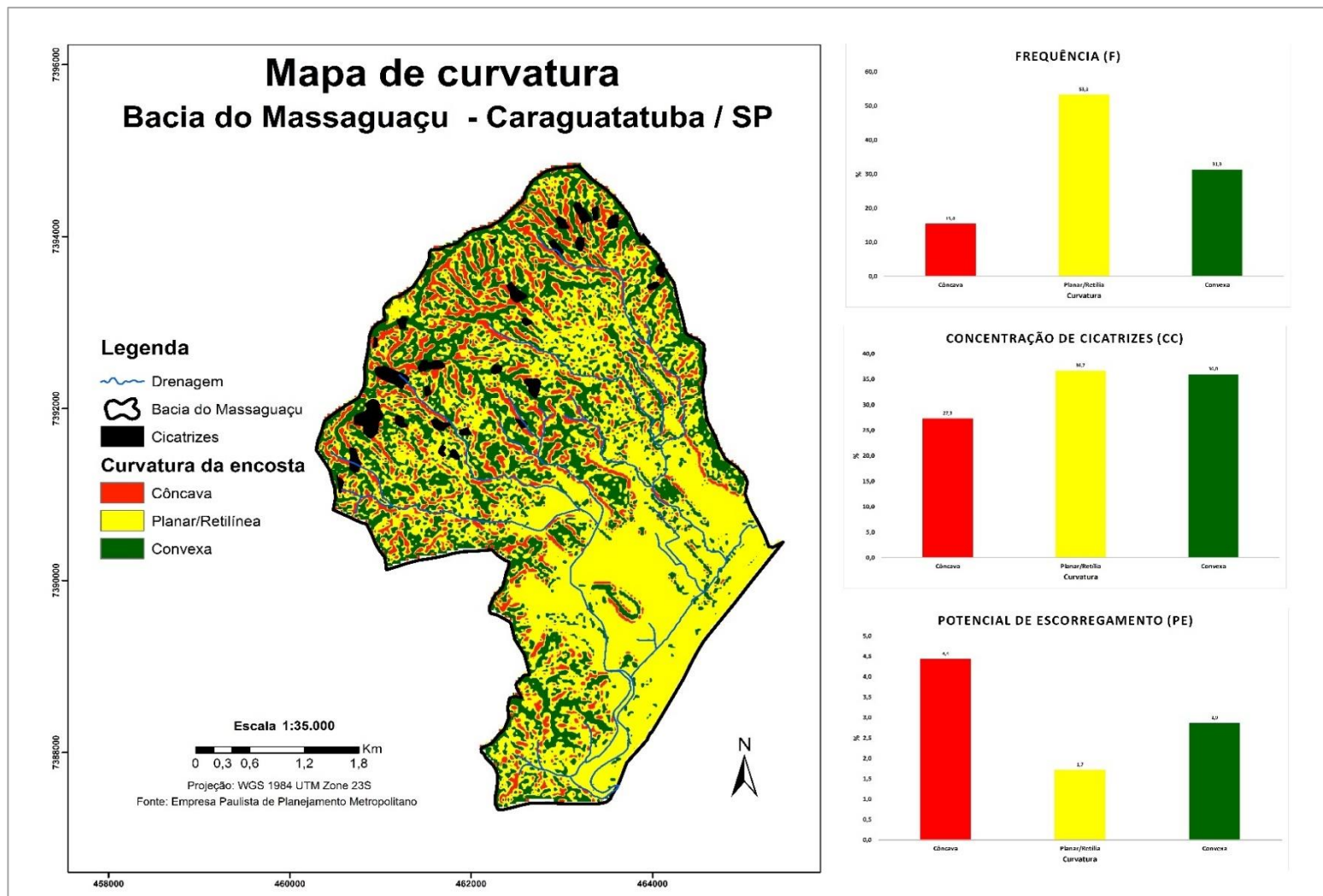


Figura 27: Mapa de curvatura das encostas da bacia do Massaguaçu.

7. DISCUSSÕES

As análises dos parâmetros geológicos (Litologia e Estruturas) e morfológicos (Ângulo de Encosta, Curvatura, Aspecto e Hipsometria) resultaram em importantes relações e aferições acerca dos processos morfodinâmicos recorrentes nas encostas da Serra do Mar, em especial a deflagração de escorregamentos.

A relação entre a ocorrência de tal processo e os parâmetros utilizados foi encontrada em ambas as bacias hidrográficas selecionadas para estudo, Santo Antônio e Massaguaçu, de maneira que tornou possível as comparações com outros autores que estudaram estas bacias e até mesmo com autores que trabalham com essa temática em outros países.

Com relação aos fatores geológicos, os resultados permitiram discorrer uma estreita relação com o lineamento estrutural regional presente nas bacias, em especial a bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, que apresenta extensas falhas e fraturas (orientação NE-SW), caracterizadas por serem condicionantes estruturais que influenciam a ocorrência de escorregamentos nos maciços rochosos (HASSUI, *et al.*, 1994; CERRI, *et al.*, 2016). Tais discontinuidades mecânicas e hidráulicas tornam-se caminhos preferenciais de alteração, visto que são superfícies de menor resistência no maciço, onde o espaço entre as superfícies de alteração e as rochas abriga materiais frequentemente muito heterogêneos, com propriedades mecânicas precárias (Ex: Elevada deformidade e resistência baixa ao corte), podendo apresentar elevada permeabilidade, favorecendo a circulação no maciço, ou seja, afetando frequentemente a dinâmica hidrológica interna das encostas, podendo influenciar na deflagração de escorregamentos (ROCHA, 1971; FERNANDES e AMARAL, 1996; HART, 2007).

Por outro lado, a ocorrência de escorregamentos nos quartzitos, rocha mais resistente e não suscetível à ocorrência de fraturamentos, pode estar condicionada mais às características do lineamento estrutural regional, com a presença da falha de Caraguatatuba no quartzito e a níveis mais intensos de intemperismo. Por tratar-se de uma rocha com predomínio de quartzo, pode-se supor com base em Ferreira (2013) que, quando intemperizada, a mesma poderá dar origem a um material mais arenoso, e consequente, inconsolidado, friável e mais instável a processos morfodinâmicos.

A bacia do Rio Massaguaçu não sofre demasiada influência do lineamento estrutural regional como a anterior, visto que não possui alta quantidade de falhas e fraturas tendo como base o mapeamento de 1:50.000. A litologia com maior potencial de escorregamento foram os Granitóides Caraguatatuba, que apresenta predominância de Biotita-granito gnaiss, rocha

caracterizada pela presença do mineral micáceo biotita, cuja origem faz com que se clive com mais facilidade, sendo rico em ferro e potencialmente instável (GOODMAN, 1989). É um mineral frequente em rochas ígneas e geralmente está associado a feldspato, quartzo, magnetita, hornblenda e muscovita (ERNST, 1996).

Dessa forma, por sua composição mineralógica e sua facilidade ao fraturamento, os Granitóides Caraguatatuba são um local favorável para a ocorrência de escorregamentos em ambas as bacias. No entanto, são necessários estudos mais detalhados de cada tipo litológico, realizando trabalhos de tradagem para verificação do manto de alteração afim de obter resultados mais objetivos relacionados a esses parâmetros, conforme enfatizam Henriques *et al.* (2015).

Os parâmetros morfológicos analisados não podem ser avaliados individualmente, pois foi possível verificar que a ocorrência das cicatrizes de escorregamentos do evento estudado frequentemente possui uma associação entre um e mais parâmetros morfológicos, sendo o ângulo da encosta um dos fatores mais recorrentes nas análises realizadas por diversas pesquisas sobre escorregamentos (**Tabela 4**).

Desta forma, o estudo da morfologia das encostas é uma método comum entre os pesquisadores de movimentos de massa o que possibilita o diálogo e troca de experiências de diversas regiões acerca das características dos processos nos diferentes ambientes.

Os escorregamentos se mostram mais recorrentes em determinadas classes morfológicas, como ilustra as cicatrizes de escorregamentos do Evento de 1967 nas bacias hidrográficas do Rio Santo Antônio e do Rio Massaguaçu. As encostas com ângulos $>30^\circ$, curvatura côncava, orientação quadrante sul, entre 200-600 m, mostraram-se ser as classes mais suscetíveis ao processo pois caracterizam-se por serem ambientes cujos altos ângulos geram encostas mais instáveis; os formatos côncavos possibilitam uma maior concentração de fluxos. Assim como as orientações com menor incidência solar, maior capacidade de retenção de umidade e temperaturas mais baixas, que sob eventos pluviométricos extremos ou de longa duração, influenciam diretamente no nível de saturação dos solos, tornando-os instáveis (GAO, 1993; OLIVEIRA *et al.*, 1995; HAVENITH, 2006; SIDLE E OCHIAI, 2006; HART, 2007).

Tabela 4: Resultados similares encontrados na literatura que relacionam parâmetros morfológicos e escorregamentos.

Autor	Parâmetros morfológicos analisados	Classe morfológica com maior recorrência de escorregamentos
Pachauri and Pant (1992)	Ângulo de encosta	> 35°
	Hipsometria	Altitudes médias (1500 a 2500 m)
Fernandes et al. (2001)	Ângulo de encosta	37,1° a 55,5 °
	Curvatura	Côncava
Zhou et al. (2001)	Ângulo de encosta	25° - 35°
	Hipsometria	Altitudes médias (300 a 400 m)
Lan et al. (2004)	Ângulo de encosta	30° - 50°
	Hipsometria	Altitudes baixas e médias (1500 a 2000 m)
Vieira (2007)	Ângulo de encosta	40° - 50°
	Hipsometria	Altitude médias (600 a 800 m)
	Curvatura	Convexo
	Aspecto	NO, N e NE
Santos (2009)	Ângulo de encosta	40° - 50°
	Hipsometria	Altitude médias (600 a 800 m)
	Curvatura	Resultado aproximado entre as três formas
	Aspecto	NO e N.
Ramos (2012)	Ângulo de encosta	30° - 40°
	Curvatura	Convexa
	Aspecto	NO e NE.
Nery e Vieira (2014)	Ângulo de encosta	30° -50°
	Hipsometria	Altitudes baixas e médias (200 - 600 m)
	Curvatura	Convexa
	Aspecto	O

Resultados similares foram encontrados na literatura, em que o parâmetro ângulo de encosta (**Tabela 4**), onde são encontradas ângulos altos como as mais recorrentes para os escorregamentos. Lan *et al.* (2004), Ramos (2012) e Nery e Vieira (2014) inferiram os ângulos mais propícios em suas áreas de estudo a partir de 30°, mesmo valor encontrado para as bacias hidrográficas do Rio Santo Antônio e do Rio Massaguaçu; mas de maneira geral todos os resultados encontrados se relacionam, uma vez que nenhum dos autores indica baixos ângulo da encostas para o processo de escorregamentos.

O segundo parâmetro mais recorrente nas análises é a hipsometria, levando-se em consideração a altitude máxima dos maciços de cada área de estudo. As altitudes médias foram as mais afetadas por cicatrizes de processos pretéritos, que no caso da Serra do Mar do Estado de São Paulo estão entre 200 a 600 m. Tal resultado pode estar relacionado ao ângulo de encosta e a formação de solos, pois em altitudes muito elevadas são comuns áreas mais inclinadas, impossibilitando a formação de solo, criando grandes paredões rochosos na paisagem e consequentemente diminuindo a ocorrência de escorregamentos, uma vez que não há a disponibilidade de material para ser transportado.

Conforme afirmam Wolle e Carvalho (1994), os maciços dessa unidade de relevo no Estado de São Paulo têm a predominância de horizontes superiores sobre maciços intensamente fraturados, característica que também auxilia a criação de zonas instáveis nas encostas.

O terceiro parâmetro comum entre os autores é a curvatura das encostas. Montgomery e Dietrich (1994) afirmam que encostas côncavas tendem a serem mais propícias a escorregamentos, pois são favoráveis para a concentração de fluxos, apresentando menos tempo para a saturação dos solos. Tal resultado é similar ao encontrado nas duas bacias de estudo assim como por Fernandes *et al.* (2001). Entretanto Vieira (2007), Ramos (2012) e Nery e Vieira (2014) identificaram que o formato convexo foi o mais recorrente na concentração de cicatrizes

Por fim, sobre o parâmetro orientação das encostas, Vieira (2007), Santos (2009) e Ramos (2012) encontraram o quadrante norte como o mais recorrente aos escorregamentos, resultado que não dialoga com o observado nas bacias do Rio Santo Antônio e Massaguaçu, que não apresentaram índices de potencialidade similares para todas as orientações. Uma interpretação para a razão da Massaguaçu apresentar o quadrante sul como relevante é a característica da mesma, visto que é uma orientação com menor incidência solar e, consequente

maior capacidade de retenção de umidade, deixando os solos úmidos por maior período de tempo.

Autores como Sidle et al. (1985) e Pachauri e Pant (1992), identificaram como áreas suscetíveis a escorregamentos, locais com falhas, fraturas e encostas com ângulos $> 35^\circ$; Lee & Min (2001) e Lan et al. (2004), respectivamente, identificaram também alta ocorrência do processo em encostas com ângulos acima de $> 25^\circ$ e $> 30^\circ$, corroboraram com as discussões dos resultados obtidos nesta pesquisa, enfatizando que o processo, no geral, possui características comuns responsáveis por contribuir em sua deflagração independentemente da localidade.

As dificuldades que surgiram na pesquisa foram relacionadas ao MDT fornecido pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A, que demonstrou ter algumas inconsistências, que influenciaram no cálculo das células e cicatrizes das bacias (**Tabelas 5 e 6**). O mapa hipsométrico, produzido com a mesma base que os demais mapas morfológicos, apresentou valores diferenciados de células totais das bacias e das cicatrizes, porém tais valores não influenciaram no resultados finais, uma vez que se manteve a proporção, assegurando a veracidade do produto final.

Tabela 5: Número de células e cicatrizes encontradas para a bacia do Massaguaçu.

Bacia do Santo Antônio		
Mapas Temáticos	Células totais	Cicatrizes totais
Geológico	20864	1444
Hipsometria	36658	2508
Ângulo de encosta	25274	1750
Curvatura	25277	1750
Aspecto	25277	1750

Tabela 6: Número de células e cicatrizes encontradas para a bacia do Santo Antônio.

Bacia do Massaguacu		
Mapas Temáticos	Células totais	Cicatrizes totais
Geológico	10749	258
Hipsometria	46856	1137
Ângulo de encosta	22619	564
Curvatura	22619	564
Aspecto	24426	564

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar uma análise quantitativa por meio dos índices de CC, PE e F, foi possível inferir que ambas possuem características semelhantes nas classes preferenciais de cada parâmetro morfológico e geológico para a ocorrência de escorregamentos, indicando o êxito desta pesquisa que tinha como objetivo compreender a influência de tais parâmetros na distribuição dos escorregamentos nas bacias hidrográficas.

Na bacia do Santo Antônio, grandes áreas com falhas e fraturas, rochas quartzíticas, encostas com ângulos $> 30^\circ$, altitudes acima de 350 m e com orientação sul, indicam uma maior potencialidade aos escorregamentos. Ambas as bacias possuem tais características, porém na bacia do Santo Antônio essa ocorrência é maior que na bacia do Massaguacu. Tal diferença pode indicar que somente tais parâmetros não são possíveis de explicar a magnitude de tais processos, sendo importante a análise de parâmetros morfométricos, pedológicos e climáticos para inferir o motivo das diferentes magnitudes ao evento de 1967.

Assim, um único parâmetro geológico ou morfológico não é capaz de explicar a deflagração do processo exclusivamente, de maneira que foi possível verificar que a ocorrência das cicatrizes de escorregamentos do evento possui uma associação entre dois ou mais parâmetros.

Os fatores preferenciais para a ocorrência de escorregamentos são objeto de estudo de diversos pesquisadores, tendo como análise diferentes tipos de ambientes e condições. Foi

possível dialogar com outros autores e encontrar resultados semelhantes que ajudam a entender a dinâmica dos ambientes que já sofreram eventos dessa tipologia inclusive fora do Brasil.

A existência de classes morfológicas e geológicas mais suscetíveis aos escorregamentos foi confirmada nesta pesquisa, visto que foi possível determinar com base na análise dos mapas temáticos e do mapa de cicatrizes de escorregamentos do Evento de 1967, a existência de áreas preferenciais para a ocorrência deste processo geomorfológico. Tal resultado possibilita a aferição de áreas de risco, podendo auxiliar no planejamento urbano e evitar, assim, eventos causadores de danos a sociedade.

9. REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, F.F.M e CARNEIRO, C.D.R. (1998). Origem e evolução da Serra do Mar. In: Revista Brasileira de Geociência, v.28 - São Paulo, p.135-150.
2. ALMEIDA, F.F.M. (1964). Os fundamentos geológicos do relevo paulista. In: Geologia do Estado de São Paulo, Bol. Inst. Geogr. Geol., São Paulo, n°41, 169-263.
3. BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (2014). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos Municípios Brasileiros 2013. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/defaulttab_pdf.sh tm. Acesso em: Julho, 2016.
4. CERRI, R. I.; REIS, F. A. G. V.; GABELINI, B. M.; AMARAL, A. M. C.; CORREA, C. V. S. ; BRESSAN, R. ; SALA, L. A. ; GIORDANO, L. C.(2016). Relação entre os Condicionantes Estruturais e susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos nos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP). In: III Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana SRA-LA, 2016, São Paulo (SP). Anais do III Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana SRA-LA.
5. CRUZ, O. (1974) A Serra do Mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba – SP. Contribuição à Geomorfologia Litorânea Tropical. Tese de Doutorado. IG – Série Teses e Monografias nº 11, 181p.
6. DIAS, V. C. (2014). Análise da influência dos parâmetros morfológicos e morfométricos na geração de corridas de detritos em Caraguatatuba (SP). Trabalho de Graduação Individual em Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 73p.
7. DOURADO, F., ARRAES, T.C. e SILVA, M.F. (2012). O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – as Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre. In: Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, v.35, p.43-54.
8. ERNST, W.G. (1996). Mineralogia dos silicatos. In: Minerais e rochas. São Paulo: Editora Edgard Blücher, p. 64 - 98.
9. FERNANDES, N. F. e AMARAL, C.P. (1996) Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia e Meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123- 181.
10. FERREIRA, F. S. (2013). Análise da influência das propriedades físicas do solo na deflagração dos escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP). Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 113p.
11. FERREIRA, R.B. (2013). Inventário de escorregamentos rasos de 1967 e sua influência na análise de suscetibilidade na Bacia do Rio Guaxinduba, Caraguatatuba (SP). Trabalho de Graduação Individual em Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 71p.

12. FÚLFARO, V.J., PONÇANO, W.L., BISTRICHI, C.H., STEIN, D.P. (1976). Escorregamento de Caraguatatuba: expressão atual e registro na coluna sedimentar da planície costeira adjacente. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1º, Rio de Janeiro: Anais Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, v. 2, p.341-346.
13. GAO, J. (1993). Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.18, p.579-591.
14. GUIMARÃES, R. F., VIEIRA, B.C., GOMES, R.A.T. e FERNANDES, N.F. (1998). Avaliação Estatística de Parâmetros Fito-Morfológicos nas Cicatrizes dos Movimentos de Massa da Bacia do Rio Quitite, Jacarepaguá (RJ) In XL Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte/MG: 417.
15. GOMES, M.C.V. (2012). Análise da influência da condutividade hidráulica saturada dos solos nos escorregamentos rasos na Bacia do Rio Guaxinduba (SP). Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 153p.
16. GOODMAN, R.E. (1989). Identification of Rocks and Minerals. In: Introduction to Rock mechanics. Toronto: John Wiley & Sons, p.415 - 425.
17. GRAMANI, M. F. (2001) Caracterização Geológico-Geotécnica das Corridas de Detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 375p.
18. HART, M. G. (2007) *Geomorphology: Pure and Applied*. London, Allen & Unwin, p. 81-107.
19. HASSUI, Y.; MIOTO, J.A.; MORALES, N. (1994). Geologia do Pré-Cambriano. In: Solos do litoral de São Paulo. Santos: ABMS, cap.2, p.41-67.
20. HAVENITH, B. H., STROM, A., CACERES, F., PIRARD, E. (2006). Analysis of landslides susceptibility in the Suusamy region, Tien Shan: statistical and geotechnical approach, *Landslide*, nº 3, p. 59-50.
21. HENRIQUES, C.; ZEZE, J.L. and MARQUES, F. (2015). The role of the lithological setting on the landslide pattern and distribution. *Engineering Geology* 189, p. 17-31.
22. IPT. (1988). Estudo das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno de corrida de lama e da prevenção dos seus efeitos. IPT, São Paulo.
23. LAN, H. X.; ZHOU, C. H.; WANG, L. J.; ZHANG, H. Y. and LI, R. H. (2004) Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology* 76, p. 109-128.

24. LEE, E.M. and JONES, D.K.C. (2004). Landslide hazard. In: Landslide risk assesement. London: Thomas Telford, p. 39-128.
25. LEE, S. and MIN, K. (2001) Statistical analysis of landslide suscetibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology* 40, p. 1095-1113.
26. MONTGOMERY, D.R e DIETRICH, W.E., (1994). A physically-based model for topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research* 30 (4): p. 1153-1171
27. NERY, T. D. e VIERA, B. C. (2014). Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment (Print)*, v. 74, p. 369-378.
28. OLIVEIRA, R.R.; ZAUÍ, A.S.; LIMA, D.F.; VIANNA, M.C. SODRÉ, D.O. &SAMPAIO, P.D. (1995). Significado ecológico da orientação de encostas no maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. *Oecologia Brasiliensis*, vol. 1, p. 523-541.
29. PACHAURI, A. K. and PANT, M. (1992). Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology* 32, p. 81-100.
30. QUEIROZ NETO, J.P. e OLIVEIRA, J.B. (1994). Solos do Litoral. Instituto Agronômico de Campinas, 18p.
31. RAMOS, H. A. A. (2012). Avaliação da Suscetibilidade aos Escorregamentos Translacionais Rasos a partir do Modelo Shalstab na Bacia do Rio Guaxinduba em Caraguatatuba (SP). Trabalho de Graduação Individual em Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 73p
32. ROCHA, M. (1971). Os Maciços Rochosos. In: *Mecânica das Rochas*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, p. 27-95.
33. SANTOS, W. (2009). Influência dos fatores topográficos na distribuição dos escorregamentos translacionais rasos na Serra de Cubatão (SP). Trabalho de Graduação Individual em Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
34. SELBY, M. J. (1993) Mass Wasting of Soils. In: *Hillslope Materials and Processes*. Second Edition. Oxford University Press, Oxford, p. 249-355.
35. SIDLE, R., OCHIAI, H., (2006). Lanslides: Processes, Prediction and Land Use, AGU Water Resources Publication, 312p.
36. SIDLE, R.C; PEARCE, A.J. and O'LOUGHLIN, C.L, (1985). Natural factors affecting slope stability. In: *Hillslope Stability and Land Use*. Washington: American Geophysical Union, p. 31-72.
37. VIEIRA, B. C. (2007). 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, Rio de Janeiro, 193p.

38. VIEIRA, B. C. and GRAMANI, M. F. (2015) Serra do Mar: The Most “Tormented” Relief in Brazil. In: Landscapes and Landforms of Brazil, World Geomorphological Landscapes (Ed. Vieira, B. C.; Salgado, A. A. R. e Santos, L. J. C.). Springer, 403p.
39. WOLLE, C. M. e CARVALHO, C.S. (1994). Taludes Naturais. In: Solos do litoral de São Paulo. Santos: ABMS, cap.8, p.179-203.
40. WU, C. and QIAO, J. (2009). Relationship between landslides and lithology in the Three Gorges Reservoir area based on GIS and information value model. Front. For. China 4(2): p. 165–170.