

Avaliação da suscetibilidade a escorregamento na Serra do Mar pela aplicação da compartimentação fisiográfica

Assessment of landslides susceptibility in Serra do Mar by application of physiographic compartmentalization

Beatriz Marques Gabelini¹ , Claudia Vanessa dos Santos Corrêa¹ , Rodrigo Irineu Cerri¹ , Fábio Augusto Gomes Vieira Reis² , José Eduardo Zaine² , Lucília do Carmo Giordano² 

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente (IGCE/PPG-GMA), Avenida 24A, 1.515, Bela Vista, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, BR (bgabelini@gmail.com; claudiageobrax@yahoo.com.br; roocerri@gmail.com)

²Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geologia Aplicada (IGCE/DGA), Rio Claro, SP, BR (fabioreis@rc.unesp.br; jezaine@rc.unesp.br; lcg@ecogeologia.com.br)

Recebido em 27 de setembro de 2017; aceito em 18 de fevereiro de 2019

Resumo

A área de estudo localiza-se nos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião, litoral norte do Estado de São Paulo, e apresenta alto potencial para ocorrência de escorregamentos, pois está localizada no domínio da Serra do Mar, com relevo escarpado associado ao alto índice pluviométrico da região. Desse modo, análises voltadas ao reconhecimento e maior compreensão dos fatores condicionantes e dos fenômenos naturais, como os escorregamentos, são de grande importância para que possam ser evitados danos e riscos a partir da previsão de tais fenômenos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a suscetibilidade a escorregamento pela aplicação da compartimentação fisiográfica na região que abrange parte dos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP). Para alcançar tais objetivos, foram utilizadas técnicas de fotoanálise e fotointerpretação de imagens aéreas que proporcionaram a divisão da área em unidades menores, de acordo com características fisiográficas semelhantes, que favoreceram a escolha de fatores condicionantes à ocorrência de escorregamentos. Além disso, também foram utilizados inventários de cicatrizes de escorregamentos em dois períodos distintos (1976 e 2011). A associação do mapa de cicatrizes de escorregamentos com a análise da compartimentação fisiográfica foi fundamental para a elaboração desta pesquisa, pois validou as informações adquiridas pela compartimentação e determinou os pesos dos fatores condicionantes na elaboração do mapa de suscetibilidade. Os resultados mostraram que, entre as 16 unidades fisiográficas, as com alta suscetibilidade — IV, V, VI, VIII, IX e XII — apresentaram declividade predominantemente alta (> 30°), grande amplitude local (acima de 300 m) e rochas de composição gnáissicas e migmatitos.

Palavras-chave: Serra do Mar; Escorregamento; Inventário de cicatrizes; Suscetibilidade; Compartimentação fisiográfica.

Abstract

The study area is in Caraguatatuba and São Sebastião municipalities, in the north coast of the state of São Paulo, Brazil. The area presents high potential for landslides occurrence because it is in the domain of Serra do Mar, with steep relief associated with the high rainfall index of the region. Thus, analyzes aimed at the recognition and greater understanding of conditioning factors and natural phenomenon, such as landslides, are of great importance in avoiding damages and risks from the prediction of such phenomenon. The aim of this research is to assess the susceptibility to landslides through the application of physiographic compartmentalization of the coast and mountain region of Caraguatatuba and São Sebastião municipalities, in the State of São Paulo, Brazil. For this, photoanalysis techniques and photointerpretation of aerial images were used, which allowed the division of the area into smaller units, according to similar physiographic characteristics, which favored the choice of factors conditioning the occurrence of landslides. In addition, landslide scars maps were also used in two different periods (1976 and 2011). The association of the landslides scars map with the physiographic

compartmentalization analysis was fundamental for the elaboration of this research, since it validated the information acquired by the compartmentalization and determined the weights of the conditioning factors in the susceptibility map. The results showed that, among sixteen units, the physiographic units with high susceptibility — IV, V, VI, VIII, IX and XII — exhibited a predominantly high slope ($> 30^\circ$), a large local amplitude (over 300 m) and gneisses and migmatites rocks.

Keywords: Serra do Mar; Landslides; Scars inventory; Susceptibility; Physiographic compartmentalization.

INTRODUÇÃO

Os escorregamentos são movimentos de massa recorrentes em regiões montanhosas e escarpadas e sua ocorrência está condicionada aos fatores topográficos, geomorfológicos (declividade, altimetria e forma de encosta), geológicos (falhas, foliações, xistosidade) e ambientais (densidade de ocupação, drenagem natural, vegetação, clima) (Cruz, 1982; Fúlfaro et al., 1976; Gusmão Filho et al., 1992; Augusto Filho e Virgili, 1998; Vieira, 2007).

No contexto brasileiro, a Serra do Mar é identificada como uma das áreas mais suscetíveis a escorregamentos no país (Tomimaga, 2009; Cruz, 1974, 1982; Fúlfaro et al., 1976). Esse complexo geológico-geomorfológico, situado na costa leste brasileira, é caracterizado por um relevo escarpado e encostas íngremes. Esses fatores, somados ao alto índice pluviométrico da região, podem condicionar a ocorrência de escorregamentos (Wolle e Pedrosa, 1981; Ahrendt, 2005; Vedovello e Macedo, 2007).

A suscetibilidade é a predisposição de uma área à ocorrência de um determinado fenômeno, independentemente do poder de destruição e de seu período de recorrência (Cerri, 1992; Guzzetti et al., 2006; Brito, 2014). A avaliação da suscetibilidade a escorregamento resulta da combinação das características do meio físico (declividade, tipo do relevo, clima etc.) e do inventário de cicatrizes, levando em consideração os principais condicionantes e desencadeadores dos escorregamentos (Einstein, 1988).

A suscetibilidade pode ser avaliada a partir de inventário de cicatrizes e/ou por análises heurística, determinística e estatística. A partir da análise heurística — estudo geomorfológico e mapas temáticos —, é possível avaliar a suscetibilidade por meio da atribuição de pesos nos fatores condicionantes à ocorrência de escorregamentos, possibilitando a identificação de áreas predispostas a serem afetadas (Carrara et al., 1995; Van Westen, 2004).

A compartimentação fisiográfica é um método que utiliza ferramentas de sensoriamento remoto, como a fotoanálise e a fotointerpretação, para o estudo do comportamento do meio (Vedovello e Mattos, 1998; Zaine, 2000, 2011; Amaral et al., 2015; Chaves et al., 2015; Corrêa et al., 2017). Esse método baseia-se na análise dos elementos componentes do meio físico, em relação a sua natureza geomorfológica e geológica, e na identificação da ocorrência de processos de dinâmica superficial (Vedovello e Mattos, 1998; Oliveira, 2004; Zaine, 2000, 2011; Rodrigues, 2012; Amaral et al., 2015; Chaves et al., 2015; Corrêa et al., 2017).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a suscetibilidade a escorregamento pela aplicação da compartimentação fisiográfica na região que abrange parte dos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP), nas Bacias Hidrográficas dos Rios Barequeçaba, Camburu, Canivetal, Enseada, Perequê, Perequê-Mirim, Piraçununga, Ribeirão Grande, Ribeirão da Lagoa, Rio Claro, Santo Antônio, São Thomé, São Francisco, Vila Baby e Pau d'Alho.

A área foi selecionada como objeto de estudo por ser constantemente afetada por processos de escorregamento. Em março de 1967, ocorreu um dos mais expressivos eventos de movimentos de massa registrados no Estado e no Brasil, ocasionado por fortes chuvas que ocorreram na Região Serrana de Caraguatatuba. Por conta dos escorregamentos generalizados nas encostas da Serra do Mar, mais de 30 mil árvores atingiram as porções baixas do relevo, cerca de 400 moradias foram total ou parcialmente destruídas e, oficialmente, foram contabilizados 120 mortos e milhares de pessoas desabrigadas (Gomes et al., 2008).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) localiza-se no litoral norte do Estado de São Paulo, entre os municípios de Caraguatatuba, São Sebastião e uma pequena parte de Paraibuna. O município de Caraguatatuba tem área total de 485 km², com cerca de 70% de seu território situado em Unidade de Conservação, correspondente ao Parque Estadual da Serra do Mar. O município de São Sebastião tem uma área total de 399 km² e Paraibuna possui uma área de 809 km² (IBGE, 2017).

O presente trabalho focou sua análise em uma área de aproximadamente 497 km² que abrange parte desses municípios, atualmente em intenso desenvolvimento econômico gerado pela implantação e ampliação de grandes empreendimentos regionais, como a construção da rodovia do contorno de Caraguatatuba, a ampliação do Porto de São Sebastião e a implantação de rede de gasodutos e unidades industriais da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) (Figura 1).

Devido ao alto índice pluviométrico, o litoral norte é caracterizado como uma das áreas mais úmidas do país. Em Caraguatatuba, a precipitação média anual é de 1.757 mm, em São Sebastião, de 1.289 mm e em Paraibuna, de 1.200 mm. As chuvas com maior intensidade ocorrem entre outubro e

março, atingindo cerca de 70 a 80% da pluviometria anual (Cruz, 1974; Santos e Galvani, 2012).

Contexto físico

Caraguatatuba e São Sebastião (SP) estão localizados no Domínio da Serra do Mar, formado por um conjunto de escarpas festonadas que configura a costa leste do Brasil, abrangendo os Estados de Santa Catarina até o Rio de Janeiro.

A área de estudo está inserida nas unidades morfoesculturais do Planalto Atlântico, da Serrania Costeira e da Baixada Litorânea. O Planalto Atlântico é representado por um relevo bastante dissecado com altitudes acima de 900 m, amplitude topográfica variando entre 20 e 200 m (até 400 m em alguns pontos), presença de encostas íngremes e cristas angulosas e alta densidade de drenagem associadas às falhas, fraturas e contatos litológicos (Cruz, 1974; Ross e Moroz, 1997).

A Serrania Costeira, com altitudes de até 1.200 m, apresenta feições como escarpas festonadas, espigões, serras alongadas, morros paralelos e morros isolados. Os vales são profundamente entalhados e apresentam formato em “V”, caracterizando o controle litológico e estrutural da região.

As Baixadas Litorâneas — planícies litorâneas — são as áreas de deposição, caracterizadas por relevo baixo com

altitudes inferiores a 70 m, em que são encontrados terraços fluviais e colúvio-aluviais, bem como terraços e taludes de detritos coluviais e tálus (Cruz, 1974).

Em termos geológicos, a área de estudo abrange o 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 dos Complexos Costeiro, Embu e Paraíba, abrangendo rochas de idades variando do Embasamento Cristalino até o Cenozoico (Heibron et al., 2004; Hasui et al., 2012). De modo geral, as rochas que predominam são gnaisses, gnaisses migmatíticos, granitos, migmatitos com estruturas gnáissicas associadas, com forte presença de mica (biotita e muscovita).

No município de Caraguatatuba observa-se forte orientação NE-SW, que corresponde à presença de diversos sistemas de falhas e zonas de cisalhamento na mesma direção. Ademais, a região apresenta as falhas de Bertioiga-Caraguatatuba, dos Quinhentos Réis, do Bairro Alto e de Freire-São Lourenço, além de outras estruturas, como falhas e diques na mesma direção (Cerri et al., 2018).

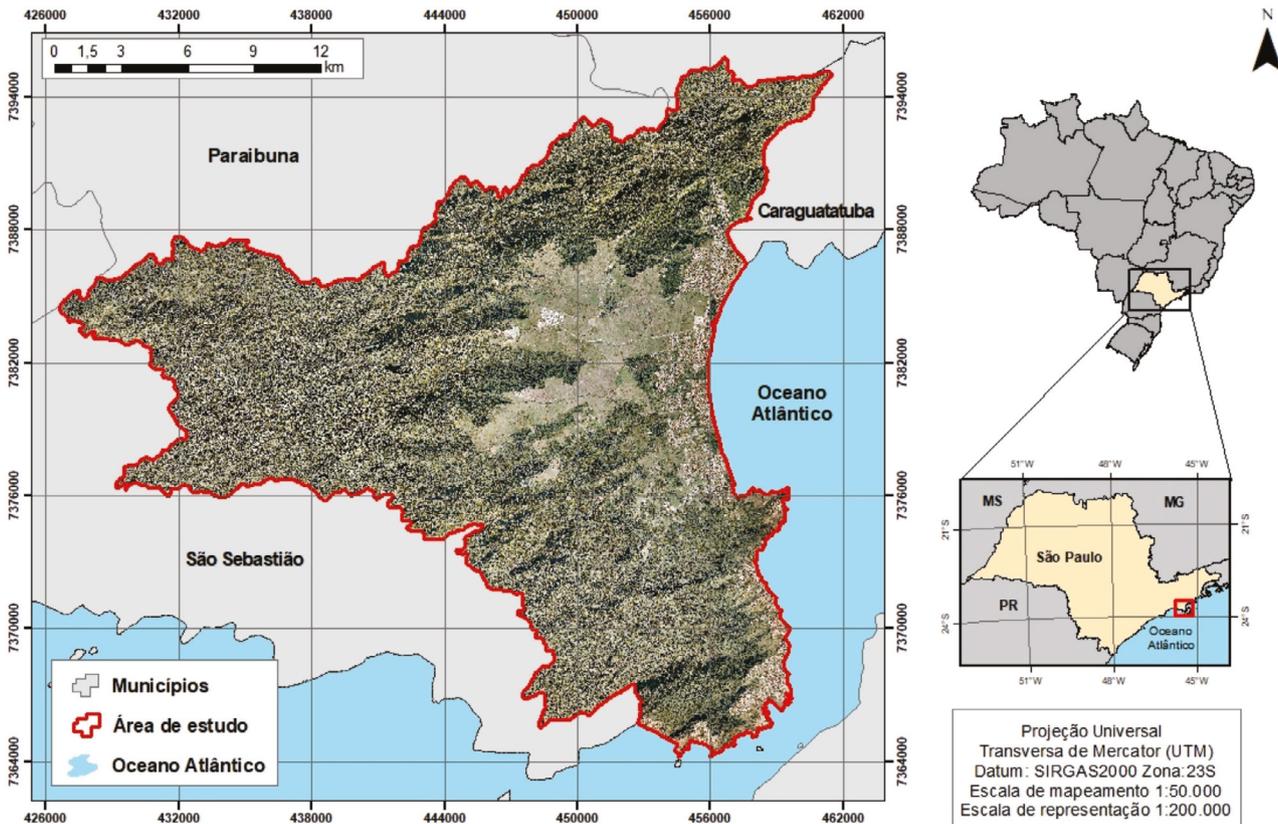


Figura 1. Localização da área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são descritos os materiais e métodos necessários para a elaboração da avaliação da suscetibilidade a escorregamento na Serra do Mar.

Levantamento bibliográfico, cartográfico e caracterização da área de estudo

O levantamento bibliográfico e a fundamentação teórica consistiram na revisão de materiais, como livros, teses e publicações, e foram selecionados a partir das palavras-chave: “Compartimentação Fisiográfica”, “Escorregamentos”, “Serra do Mar” e “Suscetibilidade”. A base cartográfica e a caracterização da área de estudo utilizaram os materiais apresentados na Tabela 1.

Georreferenciamento dos dados cartográficos

Cartas topográficas e mapas geomorfológicos e geológicos foram georreferenciados no programa ArcGis 10.1, a partir da ferramenta Georreferencing, considerando quatro pontos de controle estabelecidos, com erro menor que 1 m. Foram adotadas a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o Datum SIRGAS2000, zona 23S, conforme as orientações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2005). Os dados das cartas foram vetorizados em formato *shapefile*, sendo eles: drenagens, curvas de nível, principais rodovias, limites municipais, áreas urbanas e delimitação da área de estudo.

Elaboração de produtos auxiliares

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi elaborado após a vetorização das curvas de nível das cartas topográficas por meio da ferramenta Triangulated Irregular Network (TIN) do programa ArcGis 10.1. Com o MDE foram produzidos os mapas hipsométrico e de declividade da área de estudo.

Tabela 1. Materiais, escalas e fontes utilizados na pesquisa.

Material	Escala
Folhas Topográficas:	
Folha Maresias (SF-23-Y-D-V-4, 1973)	
Pico do Papagaio (SF-23-Y-D-V-2, 1974)	1:50.000
Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1, 1974)	
São Sebastião (SF-23-Y-VI-3, 1975)	
Mapa Geomorfológico da Folha Caraguatatuba	1:50.000
Mapa Geológico do litoral de São Paulo: Caraguatatuba	1:100.000
Mapa Geológico da Folha Caraguatatuba	1:50.000
Mapa Geológico da Folha Pico do Papagaio	1:50.000
Mapa Geológico da Folha São Sebastião	1:50.000
Ortofotos e Fotografias aéreas	1:25.000

Em razão da grande amplitude da área de estudo, o mapa hipsométrico foi dividido em nove classes, sendo cinco delas com intervalos de 100 em 100 m, de modo a facilitar a etapa da análise fotointerpretativa proposta por Zaine (2011), e quatro classes com intervalos diferentes, determinados após análise dos inventários de cicatrizes. O mapa de declividade foi dividido em cinco intervalos produzidos a partir de adaptações das classificações de Lee e Pradhan (2006) e Hadmoko et al. (2017), que analisaram a suscetibilidade a escorregamentos em ambientes montanhosos. O mapa geológico foi confeccionado a partir da digitalização de dados compilados dos mapeamentos geológicos de Hasui (1982) e do Instituto Geológico (1996), como mostra a Tabela 2.

Elaboração da carta de compartimentação fisiográfica: análise fotointerpretativa

A elaboração da carta de compartimentação fisiográfica teve como base os princípios de análise de fotointerpretação proposta por Zaine (2011), que consiste na delimitação de unidades de terreno a partir de uma análise integrada entre elementos do meio físico. A compartimentação fisiográfica foi realizada na escala 1:50.000, a partir da análise de fotografias aéreas com pares estereoscópicos na escala 1:25.000.

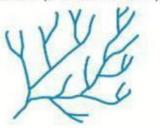
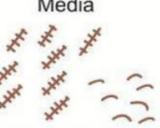
Para delimitar as unidades fisiográficas, foi realizada uma análise integrada dos elementos do relevo e drenagem, geologia, geomorfologia e uso e cobertura do solo, identificando áreas que tinham características semelhantes, para agrupá-las, e distintas, para separá-las. Esse método analisa os elementos texturais do relevo e drenagem; a amplitude local, a declividade média, a forma da encosta, o topo rochoso, o fundo de vale, a orientação e simetria da encosta, com a finalidade de identificar, por meio da fotointerpretação, características geotécnicas da área. As unidades foram delimitadas a partir da análise da sequência de atributos listados na Figura 2.

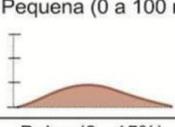
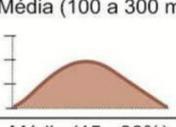
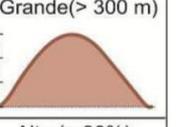
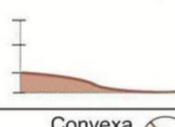
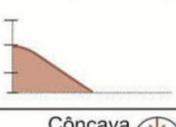
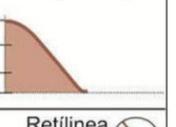
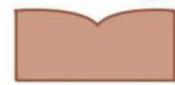
Mapeamento de cicatrizes de escorregamento

De modo a subsidiar a etapa de compartimentação fisiográfica e a elaboração do mapa de suscetibilidade, foram elaborados inventários de cicatrizes de escorregamentos. Os dados fornecidos pelos mapas de cicatrizes foram utilizados para

Tabela 2. Mapas auxiliares e respectivas classes adotadas.

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 900–1.300
Declividade (°)	0–10°, 10–15°, 15–30°, 30–45° e maior que 45°

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 km ²) 	Média (5 a 30/10 km ²) 	Alta (> 30/ km ²) 
	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 <small>* Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al, (1995)</small>		
Propriedades a serem interpretadas	Solubilidade	Não solúvel	Média	Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	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

Fonte: Zaine (2011).

Figura 2. Sequência de procedimentos para análise e fointerpretação geomorfológica e geológica, e associação com as propriedades geotécnicas.

a determinação dos pesos das classes dos fatores condicionantes aos escorregamentos e, posteriormente, validaram os resultados apresentados pela análise fisiográfica de cada unidade (Figura 2).

Foram utilizadas as cicatrizes de escorregamento mapeadas por Fúlfaro et al. (1976), que foram extraídas a partir do levantamento aerofotogramétrico da VASP em 1973, seis anos após o evento de 1967. No levantamento realizado pelos respectivos autores, as cicatrizes se concentraram nas Bacias dos Rios Santo Antônio, Canivetal e Pau d'Alho. Além destas feições, em ambiente ArcGis 10.1, também foram identificadas e mapeadas as cicatrizes de escorregamento nas imagens aéreas da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa, 2011), seguindo critérios utilizados por Vieira (2007) (ausência de vegetação e posição da encosta). Destaca-se que essas cicatrizes de escorregamentos — 2011 — não estão associadas a um evento pluviométrico específico.

Mapeamento do uso e ocupação da terra

O mapeamento do uso e ocupação da área de estudo foi realizado por meio da interpretação de imagens aéreas, seguindo os critérios estabelecidos no Manual Técnico de Uso da Terra, elaborado pelo IBGE (2013). Assim, o mapeamento foi realizado de modo manual, ou seja, não automático e digitalmente no ArcGis 10.1.

Mapeamento e análise de suscetibilidade a escorregamento

Para avaliar a suscetibilidade das unidades fisiográficas a escorregamentos, foram adotados pesos para cada classe dos atributos analisados (declividade, amplitude local e geologia). Esses pesos foram determinados a partir da análise de concentração de cicatrizes realizada por intermédio dos mapeamentos de cicatrizes de escorregamentos.

A concentração de cicatrizes 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 escorregamentos (Vieira, 2007). Os maiores pesos estão relacionados às classes com maiores concentrações de cicatrizes. Assim, as classes com baixa concentração receberam peso 1; as classes com média concentração, peso 2; e as que apresentaram alta concentração, peso 3. A Tabela 3 apresenta os atributos analisados, suas classes, seus critérios e seus respectivos pesos.

O mapa de suscetibilidade a escorregamento foi gerado pela ferramenta Raster Calculator do programa ArcGis 10.1. Essa ferramenta permite o cálculo, a conversão e a administração de dados a partir da sobreposição de mapas temáticos em formato *raster*. O produto desse procedimento foi reclassificado por “*Natural Breaks*” definindo três classes

(baixa, média e alta suscetibilidade). As unidades que apresentaram a soma dos fatores igual a 3 foram consideradas de baixa suscetibilidade, as unidades com soma entre 4 e 6, de média suscetibilidade e as unidades entre 7 e 9, de alta suscetibilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados e as discussões obtidas durante a pesquisa. Nesse sentido, optou-se por organizá-los em seis grupos.

Mapas auxiliares: declividade e hipsometria

Na Figura 3 está representado o mapa de declividade da área de estudo. A classe com maior frequência e maior ocorrência na área é o intervalo entre 0 e 10°, ocupando 42% da área total, representada por áreas planas e suaves, encontradas na planície litorânea. A segunda maior classe é o intervalo entre 15 e 30° (35,5%), seguida do intervalo entre 30 e 45° (12%), caracterizados pelas áreas serranas. As classes com menores áreas são as que têm ângulos maiores que 45° (1,7%) e intervalo entre 10 e 15° (9,1%).

Tabela 3. Atributos, classes, concentração de cicatrizes e pesos.

Atributos	Classes	Concentração de cicatrizes	Pesos
Declividade	0–10°	< 10%	1
	10–15°	< 10%	1
	15–30°	< 15%	3
	30–45°	> 15%	3
	Maior que 45°	10 e 15%	2
Amplitude Local	0–100	< ou igual a 25%	1
	100–300	26 a 35%	2
	> 300	36 a 50%	3
Geologia	Depósitos sedimentares	< ou igual a 10%	1
	Colúvio e Tálus	< ou igual a 10%	1
	Gnaisse	11 a 15%	2
	Granito	11 a 15%	2
	Granito-Gnaisse	16 a 25%	3
	Gnaisse-migmatítico	16 a 25%	3
	Xisto	< ou igual a 10%	1
	Quartzito	< ou igual a 10%	1

A declividade é um dos principais condicionantes aos escorregamentos, pois influencia na energia do movimento, no fator de segurança das encostas e no volume do material mobilizado (Gusmão Filho et al., 1997; Lopes, 2006). Quanto maior a declividade, maior será a possibilidade de ocorrência de escorregamento; sendo assim, valores menores de declividade indicarão baixa ocorrência desses processos (Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998).

O mapa de hipsometria está representado na Figura 4 e tem nove classes hipsométricas. A classe hipsométrica com maior frequência é aquela entre os intervalos de 600 e 900 m, com 27% da área total; em seguida, com 20% de frequência, está o intervalo entre 0 e 20 m; e o intervalo entre 500 e 600 m está com 11% de frequência.

As classes entre 600 e 900 m e 500 e 600 m são representadas pelas escarpas da serra, e o intervalo entre 0 e 20 m representa a planície litorânea. As classes de elevação com menos frequência se encontram nos intervalos entre 300 e 500 m, com cerca de 6% de frequência na área de estudo. Assim, as regiões mais altas do relevo são caracterizadas por escarpas, serras e morros, os quais apresentam as maiores declividades. Nas regiões mais baixas do relevo se encontra a planície litorânea, com alguns morros isolados nos quais a declividade é considerada baixa.

Mapeamento de cicatrizes

Fúlvaro et al. (1976) mapearam uma área da Serra do Mar (Figura 5) atingida pela catástrofe de 1967, ocorrida no município de Caraguatatuba. No total, foram mapeadas 407 cicatrizes de escorregamentos que se concentraram nas Bacias dos Rios Santo Antônio, Canivetal e Pau d'Alho.

A partir das fotografias aéreas da Emplasa (2011), foram identificadas cicatrizes de escorregamentos (Figura 6) em outras bacias hidrográficas além das que foram mapeadas por Fúlvaro et al. (1976). Essas cicatrizes são possivelmente escorregamentos posteriores a análise do referido autor. Assim, 465 cicatrizes de escorregamentos foram mapeadas em diferentes compartimentos da Serra do Mar, contemplando as Bacias dos Rios São Francisco, Claro, Perequê, Perequê-Mirim, Camburu, Piraçununga, Novo, Canivetal e Pau d'Alho.

Compartimentação fisiográfica e análise das unidades

A compartimentação fisiográfica da área de estudo (Figura 7), na escala 1:50.000, resultou em 16 unidades, associadas às unidades geomorfológicas da Província Costeira (Serrania Costeira e Baixada Litorânea) e do Planalto Atlântico.

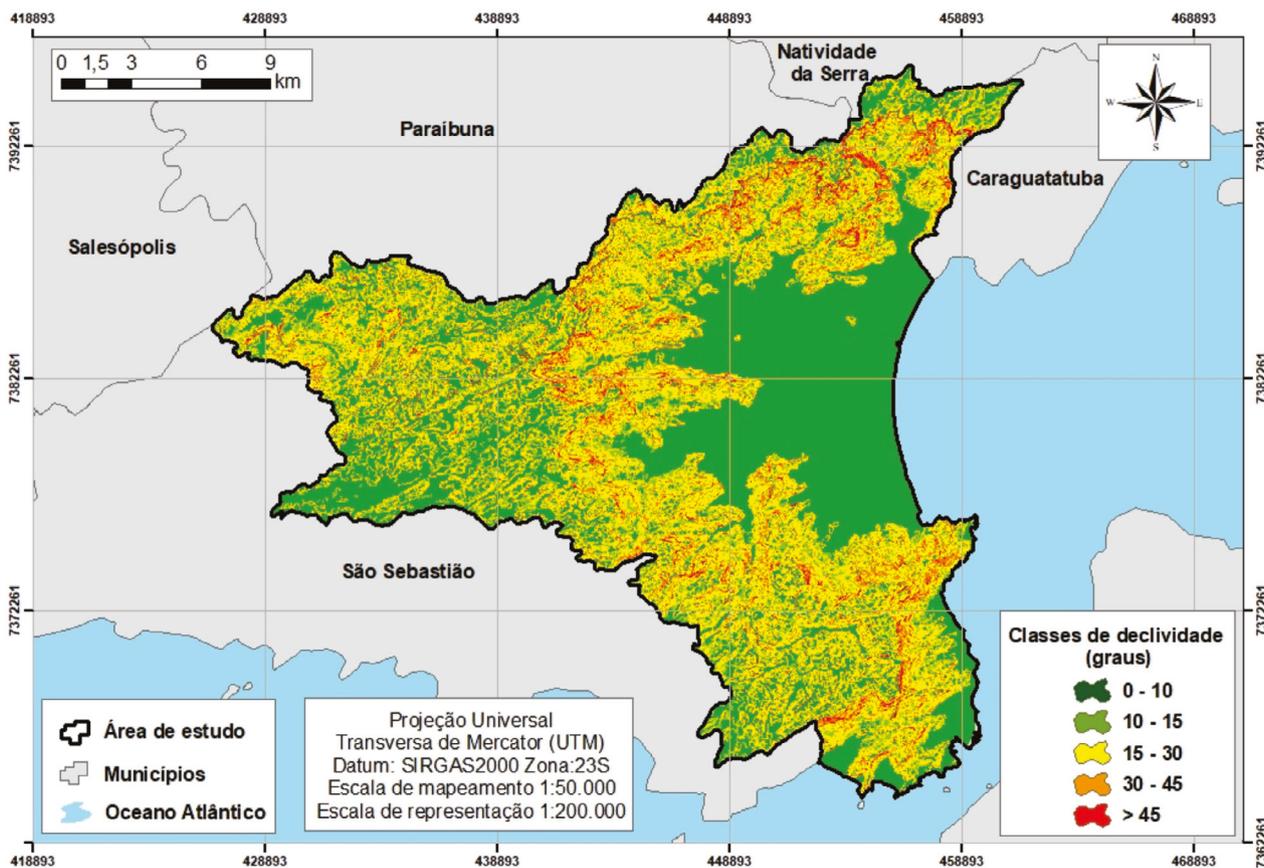


Figura 3. Mapa de declividade da área de estudo, em graus. Elaborado pelos autores a partir das cartas topográficas do IBGE em 1:50.000 (IBGE, 1973, 1974a, 1974b, 1975).

A seguir estão descritas as Unidades I a IX, pertencentes à Unidade Morfoescultural da Província Costeira:

Unidade I: planície litorânea

A planície sedimentar litorânea (Figura 8) é formada por sedimentos inconsolidados quaternários, tem baixa densidade de elementos de relevo e drenagem, amplitude e declividade muito baixas. Os vales são abertos, a permeabilidade é considerada alta, a relação de escoamento e infiltração também é alta, com espesso material inconsolidado. Tem baixo potencial à ocorrência de escorregamentos, pois a existência desses processos geológicos está relacionada às encostas da serra que se encontram no entorno da planície, bem como nos morros isolados que nela ocorrem.

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

Unidade II: rampas de colúvio e tálus

Os sedimentos coluvionares ou de tálus provêm da erosão das áreas serranas (Nunes et al., 1994; Tricart, 1965), sua

existência está relacionada à 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 e Pires Neto, 1998).

Na área de estudo está localizada na Subzona Serra do Mar, sendo composta por matações, blocos (Figura 9) e materiais finos sem estruturas, como areais e cascalhos. Esta unidade é caracterizada por pequena amplitude topográfica e média declividade, tem alta permeabilidade, média relação de escoamento superficial/infiltração, topo rochoso profundo e espesso material inconsolidado. Esta unidade tem alto potencial a movimento de massa, como rastejo e escorregamento induzidos.

Unidade III: morros isolados na planície

Caracterizada por morros isolados (Figura 10), esta unidade, em sua maioria, é composta por rochas graníticas, podendo variar de gnaisses até migmatitos. Esses morros estão localizados na planície litorânea e podem sofrer processos como rastejo e escorregamento. A unidade está localizada nas porções baixas do relevo, portanto

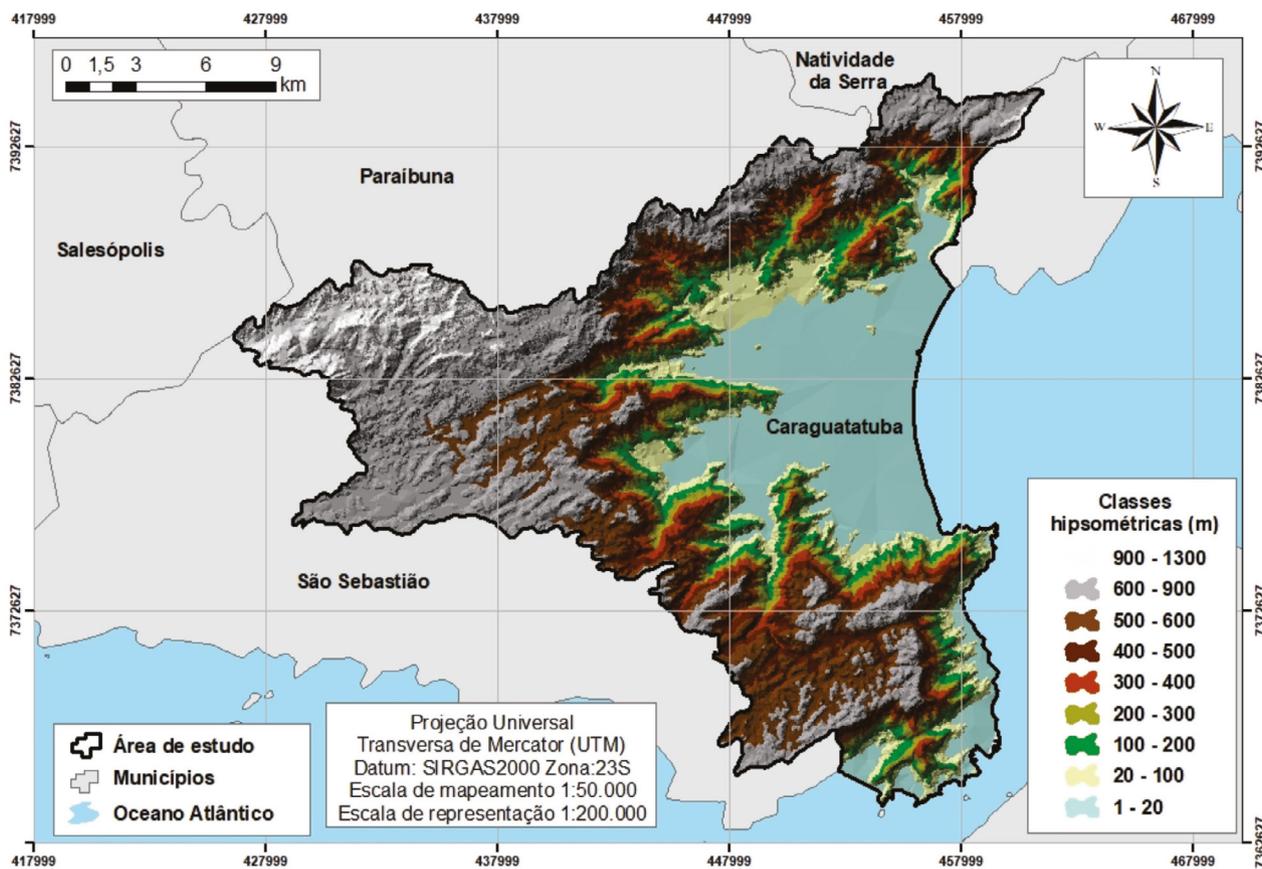


Figura 4. Mapa hipsométrico (metros). Elaborado pelos autores a partir das cartas topográficas do IBGE em 1:50.000 (IBGE, 1973, 1974a, 1974b, 1975).

tem baixa amplitude altimétrica e tem declividade predominante média.

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

Unidade IV: escarpas da Serra do Mar em gnaisses

Esta unidade é composta por gnaisses em escarpas (Figuras 10 e 11) em anfiteatros e espigões digitados gnaisses. Está inserida no contexto geomorfológico Zona Serrania Costeira, apresenta grande amplitude altimétrica (cerca de 800 m) e declividade média a alta, tem vales fechados encaixados em estruturas geológicas (zonas de falhas e fraturas) que influem na baixa sinuosidade da drenagem, tendendo a padrão de estruturação retilínea.

A permeabilidade e a relação escoamento superficial/infiltração são médias, assim como o manto de alteração e a espessura dos materiais inconsolidados são considerados intermediários. Foi possível observar, em campo, a ocorrência de

blocos métricos e centímetros, 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 de mineração e dutovias. Cabe destacar que acima da cota de 100 m a região de Caraguatatuba e São Sebastião insere-se no domínio do Parque Estadual Serra do Mar, cuja intervenção antrópica é muito pequena, praticamente nula.

Unidade V: gnaisses 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 por meio de lineamentos estruturais. Apresenta grande amplitude topográfica (cerca de 500 m) e declividade predominantemente alta. Inserida na Zona Serrania Costeira, na Subzona Serra do Mar, esta unidade é caracterizada por vales fechados em encostas de forma predominantemente côncava, com topos arredondados a angulosos.

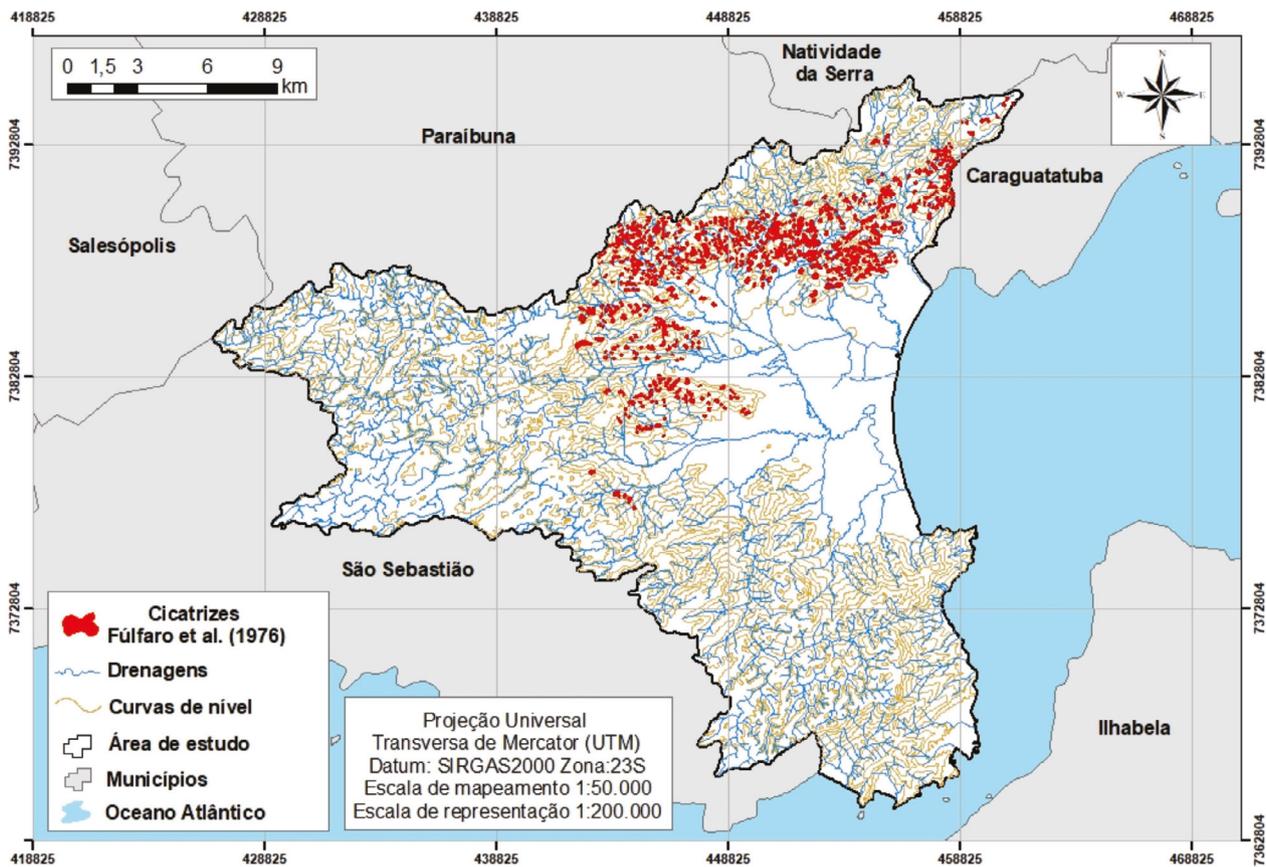


Figura 5. Mapa de cicatrizes de escorregamento de 1967 identificadas por Fúlvaro et al. (1976).

Esta área tem permeabilidade e relação escoamento-infiltração intermediárias, assim como a espessura do manto de alteração e topo rochoso. Em relação ao uso e à ocupação, predominam áreas de mata nativa, área de mineração e cultura permanente. Ademais, cabe salientar que esta unidade é atravessada por rede dutoviária (Figura 12).

Quanto ao potencial à 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.

Unidade VI: gnaisses migmatíticos em morros paralelos

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

O relevo de morros é mais suave que o 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 tem permeabilidade e relação escoamento-infiltração médias, espessura média do manto de alteração, profundidade do topo rochoso intermediária, com médio potencial a movimentos de massa.

Unidade VII: gnaisses migmatíticos em morros

A Unidade VII está localizada na Zona Serrania Costeira, na Subzona Serra do Mar, que se encontra 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 declividade média, com predominância de encostas côncavas, com drenagens em vales fechados.

A permeabilidade e a 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 área da unidade é ocupada completamente por vegetação nativa.

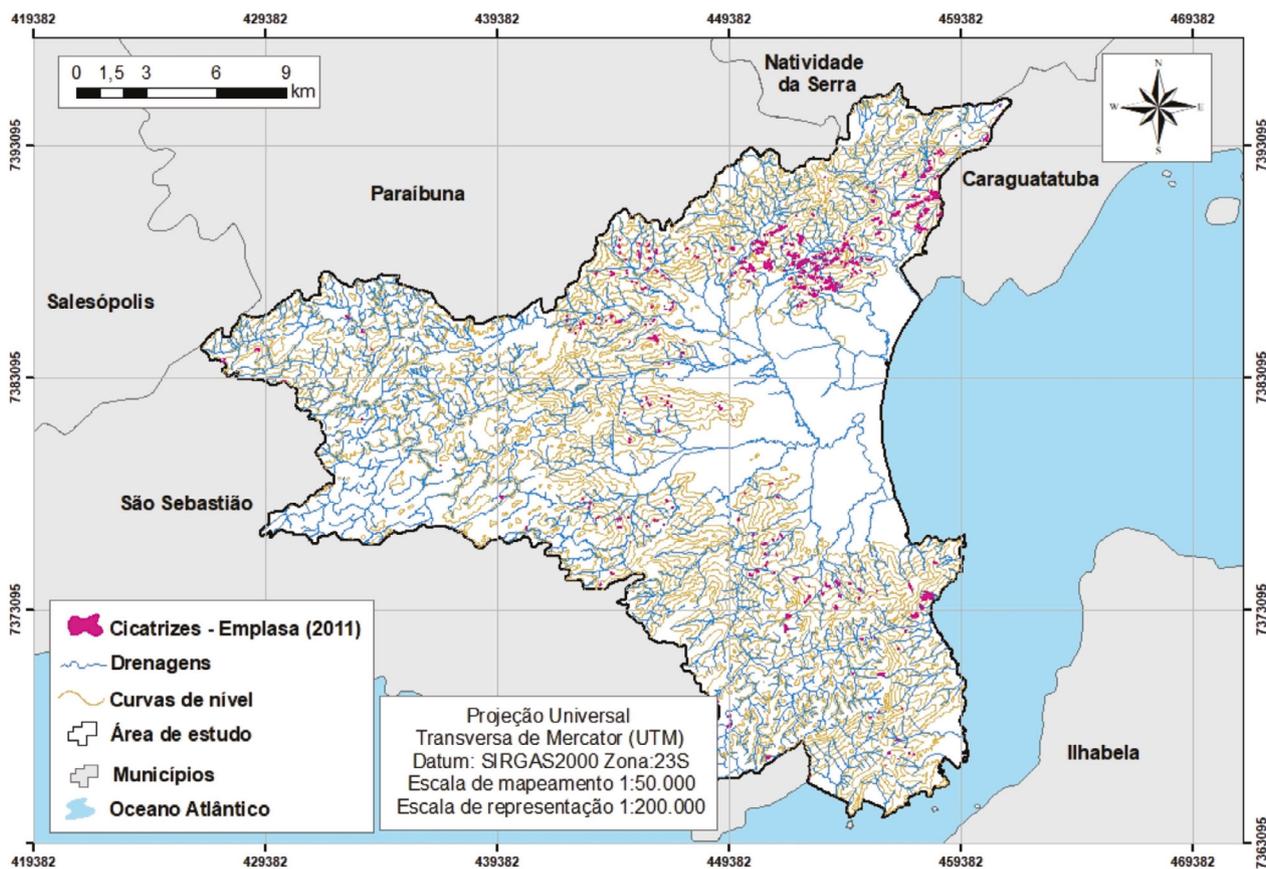


Figura 6. Mapa de cicatrizes de escorregamento identificadas nas ortofotos da Emplasa (2011).

Unidade VIII: gnaisses migmatíticos em escarpas

Composta por rochas gnáissicas migmatíticas, esta unidade (Figura 13) é caracterizada por relevo em escarpas com espigões digitados, com drenagens em vales fechados, encostas côncavas (predominantemente) e retilíneas, com topos angulosos. A Unidade VIII está localizada na Subzona Serra do Mar, com amplitude média a alta (400 m) e declividade predominantemente média.

A permeabilidade e a 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, urbana, industrial, de mineração, de pastagem e de cultura permanente.

Unidade IX: gnaisses migmatíticos em escarpas retilíneas

A Unidade IX é caracterizada por 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°). Está localizada no complexo geomorfológico da Província Costeira, na Zona Serrania Costeira, Subzona Serra do Mar, com rochas gnáissicas



Figura 8. Vista das escarpas da Serra do Mar (Unidade IV), com grande amplitude altimétrica, encostas íngremes e topos arredondados para a planície litorânea (Unidade I) em Caraguatatuba. Destaque para as áreas baixas e vale aberto da Unidade I.

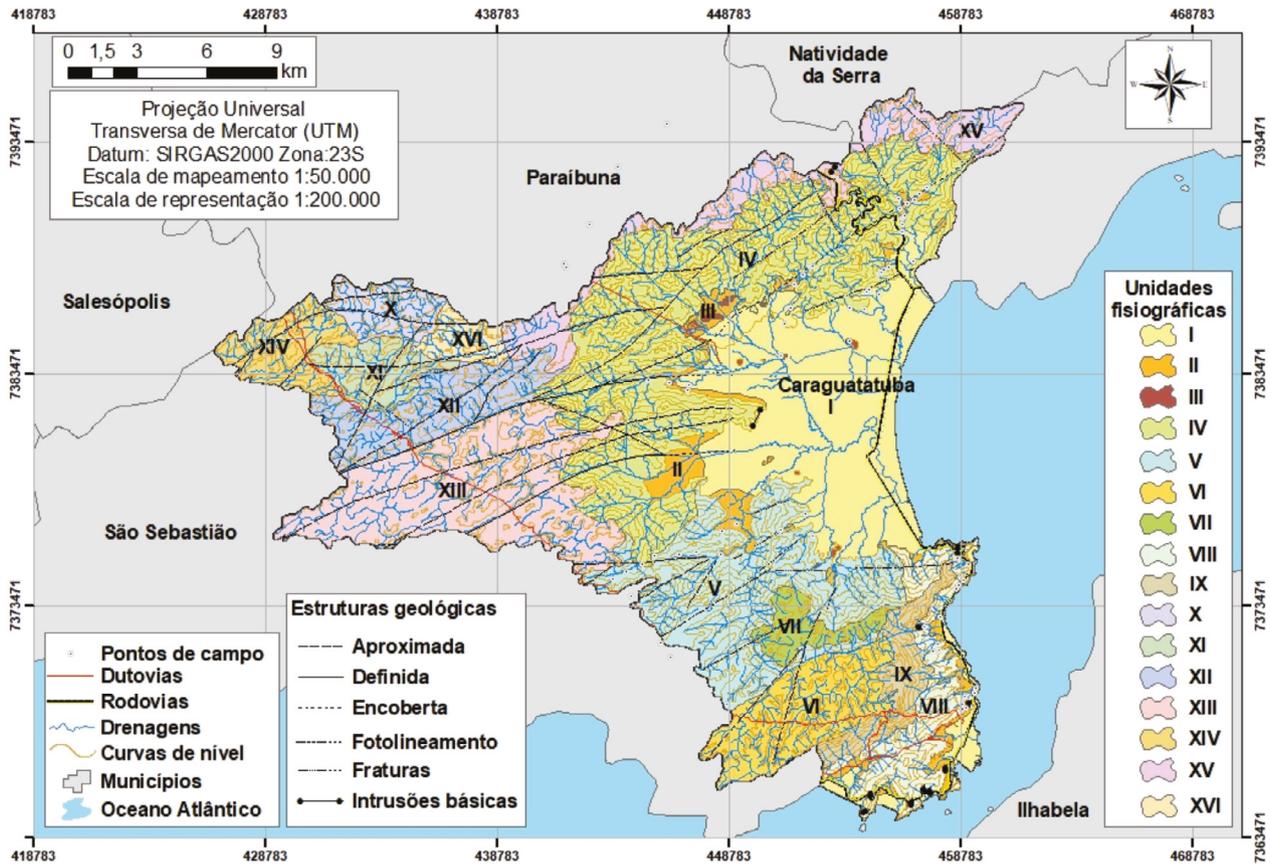


Figura 7. Carta de compartimentação fisiográfica.



Figura 9. Rampa de tálus da Unidade II com depósito de blocos métricos (granito).

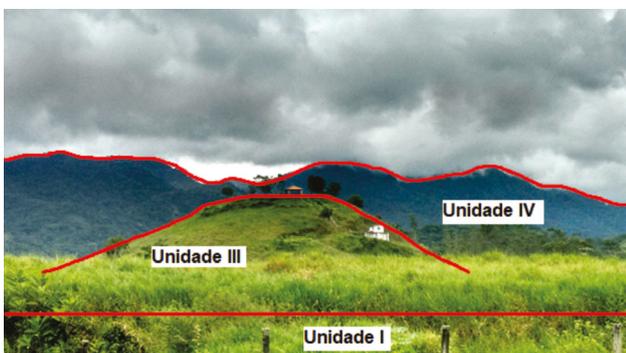


Figura 10. Morro Isolado (Unidade III) localizado na planície litorânea (Unidade I), área de baixa declividade e amplitude topográfica. Ao fundo, escarpas da Serra do mar (Unidade IV) com grande amplitude altimétrica (> 800 m) (Unidade IV).



Figura 11. Ao fundo, escarpas em anfiteatros e espigões digitados com topos predominantemente angulosos.

migmatíticas, em encostas predominantemente retilíneas, vales fechados e topos angulosos.

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

A seguir estão descritas as Unidades X a XVII, pertencentes à Unidade Morfoescultural do Planalto Atlântico.

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 é média a alta, a espessura do manto de alteração é pequena e o topo rochoso é raso.



Figura 12. Escarpas da Serra do Mar com topos levemente arredondados.

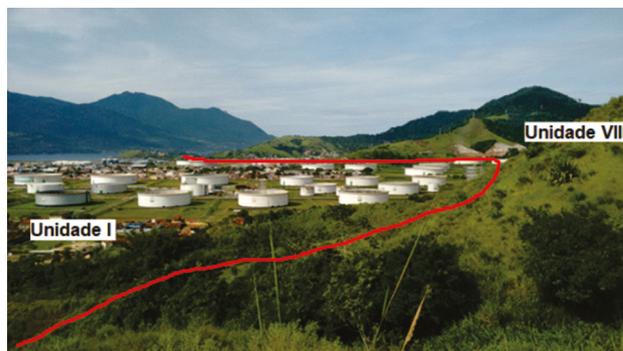


Figura 13. Vista da escarpa da Serra do Mar (Unidade VIII) para a planície litorânea (Unidade I) onde está localizado o Terminal da Petrobras em São Sebastião (TEBAR).

Essa área foi considerada com médio potencial à 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 mata nativa.

Unidade XI: montanhas com afloramentos rochosos

Assim como a Unidade X, esta unidade tem relevo de montanhas com rochas graníticas e gnáissicas. É 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 tem permeabilidade, relação escoamento-infiltração, espessura do manto de alteração, profundidade do topo rochoso e espessura dos materiais inconsolidados médias, com médio potencial a movimentos de massa. Tem afloramento rochoso nos topos de morros, característica que a diferencia das unidades ao redor. A Unidade XI contém áreas de mata nativa.

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 1.200 m, com declividade média a baixa (predomínio de 10 a 20°).

A permeabilidade, a relação escoamento-infiltração, a espessura do manto de alteração, a profundidade do topo rochoso e a 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.

Unidade XIII: morros paralelos

Unidade predominantemente inserida em área de mata nativa, na qual 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 é média a baixa. A permeabilidade, a relação escoamento-infiltração, a espessura do manto de alteração, a profundidade do topo rochoso e a espessura dos materiais inconsolidados foram consideradas médias, com baixo potencial a movimentos de massa.

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 e declividade média predominante. As encostas são retilíneas, formando vales fechados e topos angulosos a arredondados. Presença de altas declividades associadas a 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 foram consideradas intermediárias. Foram observadas poucas cicatrizes de escorregamento a partir da fotointerpretação, mas, devido às altas declividades e ao relevo de montanhas com vales fechados, considerou-se uma área de médio potencial a movimento de massa. A unidade é recoberta por mata nativa.

Unidade XV: mar de morros na Borda do Planalto Atlântico

Esta unidade representa a Borda do Planalto Atlântico, caracterizada pelo relevo em mar de morros, com rochas graníticas e gnáisses com micaxistos e quartzitos. A densidade de elementos de drenagem e relevo é baixa, a amplitude local é média, variando de 800 a 1.100 m, com declividade média a baixa. O relevo de mar de morros é caracterizado pelas encostas côncavas, nesse caso formando vales abertos, com topos arredondados.

A permeabilidade, a relação escoamento/infiltração, a espessura do manto de alteração, a profundidade do topo rochoso e a espessura dos materiais inconsolidados foram consideradas médias, com baixo potencial a movimentos de massa. Em relação ao uso e ocupação da terra, a unidade está inserida predominantemente em florestas do domínio do Parque Estadual Serra do Mar.

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 (aproximadamente 200 m) e declividade predominantemente média a baixa. Suas encostas são côncavas a retilíneas, formando vales fechados e topos arredondados. Nesta unidade há ausência de morros com afloramentos rochosos.

A área tem média permeabilidade, média relação 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, a Unidade XIV contém áreas de mata nativa.

Análise da compartimentação fisiográfica e cicatrizes de escorregamentos

Das cicatrizes mapeadas por Fúlvaro et al. (1976), 97% encontram-se na Unidade IV (Figura 14). Com base na análise fisiográfica da Unidade IV, as cicatrizes estão predominantemente em áreas declivosas entre os intervalos de 15 e 30° e de 30 e 45° em encostas retilíneas a côncavas. As drenagens são controladas por fraturas, padronizando o perfil em retilíneo e demarcando vales encaixados.

Na Unidade XV é possível encontrar 1,6% das cicatrizes, possivelmente por conta do relevo — mar de morros — marcado por encostas convexas e as rochas graníticas gnáissicas. O restante das cicatrizes (1,4%) está na Unidade II, de colúvio e tálus, na qual o perfil de alteração é espesso (maior que 5 m), suscetível a escorregamento; e na Unidade III, de morros isolados formados por corpos graníticos com encostas predominantemente convexas.

As cicatrizes mapeadas por Fúlvaro et al. (1976) concentraram-se nas Bacias dos Rios Santo Antônio, Córrego Canivetal, Pau D'alto e Camburu. Na Bacia do Rio Camburu não foram identificadas muitas cicatrizes de escorregamento. Acredita-se que a fotografia aérea utilizada pelo mapeamento

não favoreceu a identificação do processo nesta área e não tenha alcançado a áreas que contemplam as Unidades V, VI, VII, VIII e IX.

Ao analisar as cicatrizes mapeadas pela imagem aérea de 2011 e a compartimentação fisiográfica, identificou-se que 73,3% das cicatrizes de escorregamentos se encontram na Unidade IV (Figura 15). Em comparação ao mapeamento feito por Fúlvaro et al. (1976), foram encontradas cicatrizes em outras unidades fisiográficas da área. Na Unidade V foram encontrados 8,6%, na Unidade VIII, 7,96%, na Unidade VII, 2,58% e na Unidade VI, 2,05%. Menores concentrações foram identificadas nas Unidades II, IX a XV e estão relacionadas a declividades maiores que 15°. Nas Unidades I e XVI não foram encontradas cicatrizes.

As cicatrizes identificadas nas imagens aéreas de 2011 demonstraram que a área de estudo apresenta outras unidades fisiográficas suscetíveis a escorregamentos, não somente a Unidade IV, demonstrando, portanto, que a área tem recorrência a escorregamentos, comprovada pela comparação do mapeamento feito por Fúlvaro et al. (1976) e por este trabalho por meio das imagens aéreas da Emplasa (2011).

A segunda maior concentração de cicatrizes foi verificada na Unidade V, que contém características muito similares às

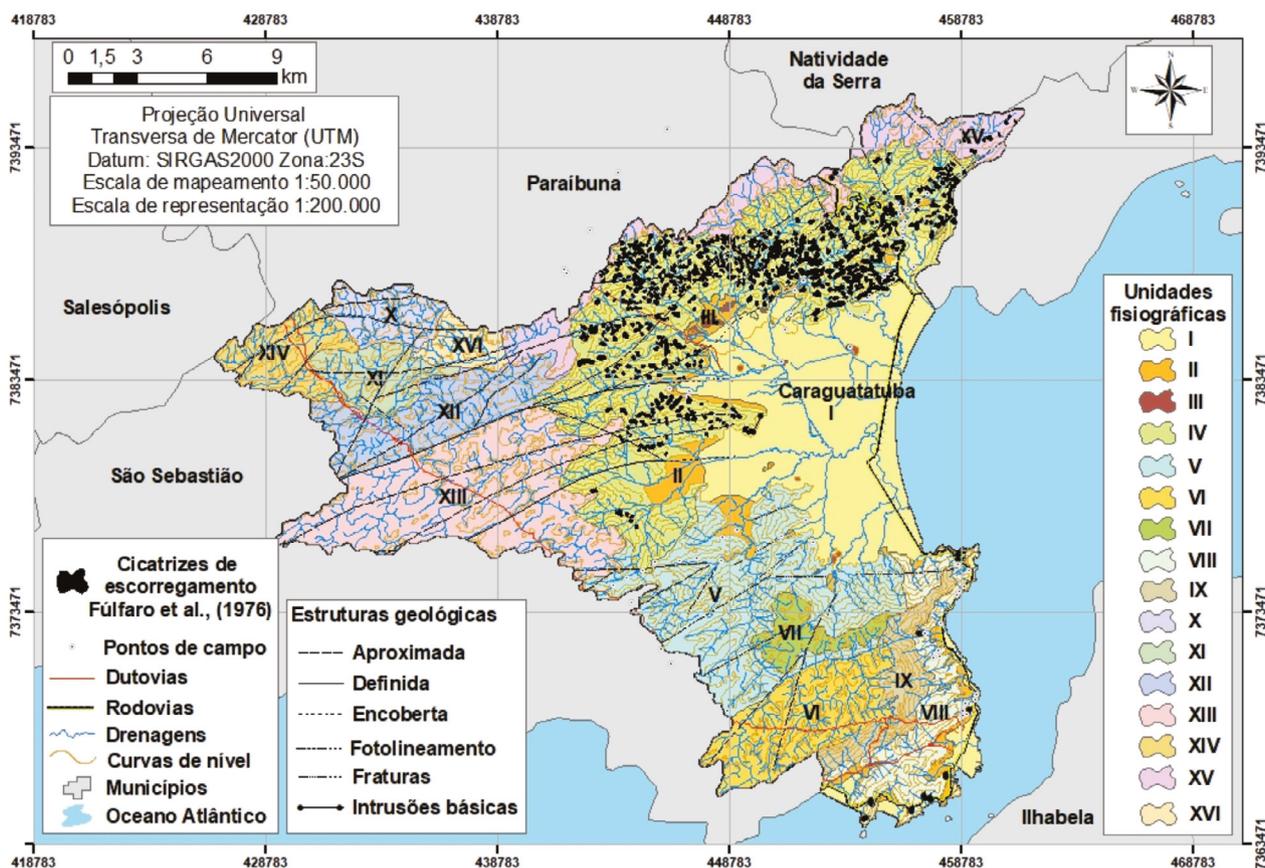


Figura 14. Mapa de Compartimentação Fisiográfica e cicatrizes de escorregamento mapeadas por Fúlvaro et al. (1976).

da Unidade IV, que possui a maior concentração de cicatrizes de escorregamento. A Unidade V está localizada ao sul da Unidade IV e pertence à Serra do Mar com escarpas em gnaisses, formada por encostas côncavas a retilíneas nas quais os escorregamentos predominam de forma alongada.

É importante destacar que o mapeamento de Fúlfaro et al. (1976) foi realizado após um grande evento, a catástrofe ocorrida, em 1967, no município de Caraguatatuba. As imagens disponibilizadas pela Emplasa (2011) não têm reflexos de um evento tão grande, porém demonstram que o município de Caraguatatuba tem outras áreas e unidades suscetíveis e que há escorregamentos recorrentes nas proximidades das Bacias dos Rios Santo Antônio, Canivetal e Pau d'Alho. Além disso, as imagens aéreas comprovam, pela presença de cicatrizes de escorregamentos, que a porção sul da área de estudo (São Sebastião) também é suscetível a tal processo.

Avaliação da suscetibilidade associada às unidades fisiográficas

A área de estudo apresenta características fisiográficas muito favoráveis à ocorrência de escorregamento. A Figura 16

ilustra o mapa de suscetibilidade a escorregamentos, no qual se observa que as áreas com maior suscetibilidade estão associadas às características fisiográficas de unidades com encostas íngremes do relevo escarpado e serrano. As áreas de alta suscetibilidade — Unidades IV, V, VI, VII, VIII, IX e XII — se encontram na Serra do Mar, caracterizada por um relevo bastante dissecado, com grande amplitude altimétrica e altas declividades.

Entre as unidades fisiográficas definidas com alta suscetibilidade, as Unidades IV e V têm as maiores concentrações de área mais suscetíveis, correspondendo às feições de indícios de escorregamentos mapeados por Fúlfaro et al. (1976) e àquelas extraídas das imagens aéreas da Emplasa (2011). A Unidade IX apresenta áreas altamente suscetíveis em todo o seu território que estão associadas às áreas extremamente íngremes, às encostas retilíneas e a grande amplitude.

As Unidades I e II apresentam baixa suscetibilidade a escorregamentos, por representarem áreas planas associadas à planície litorânea e as coberturas cenozoicas em áreas de rampas de colúvio e tálus. A Unidade I pode receber os materiais mobilizados por escorregamentos ocorridos em outras unidades. Na Unidade II podem ocorrer escorregamentos ocasionados pela intervenção antrópica, em áreas

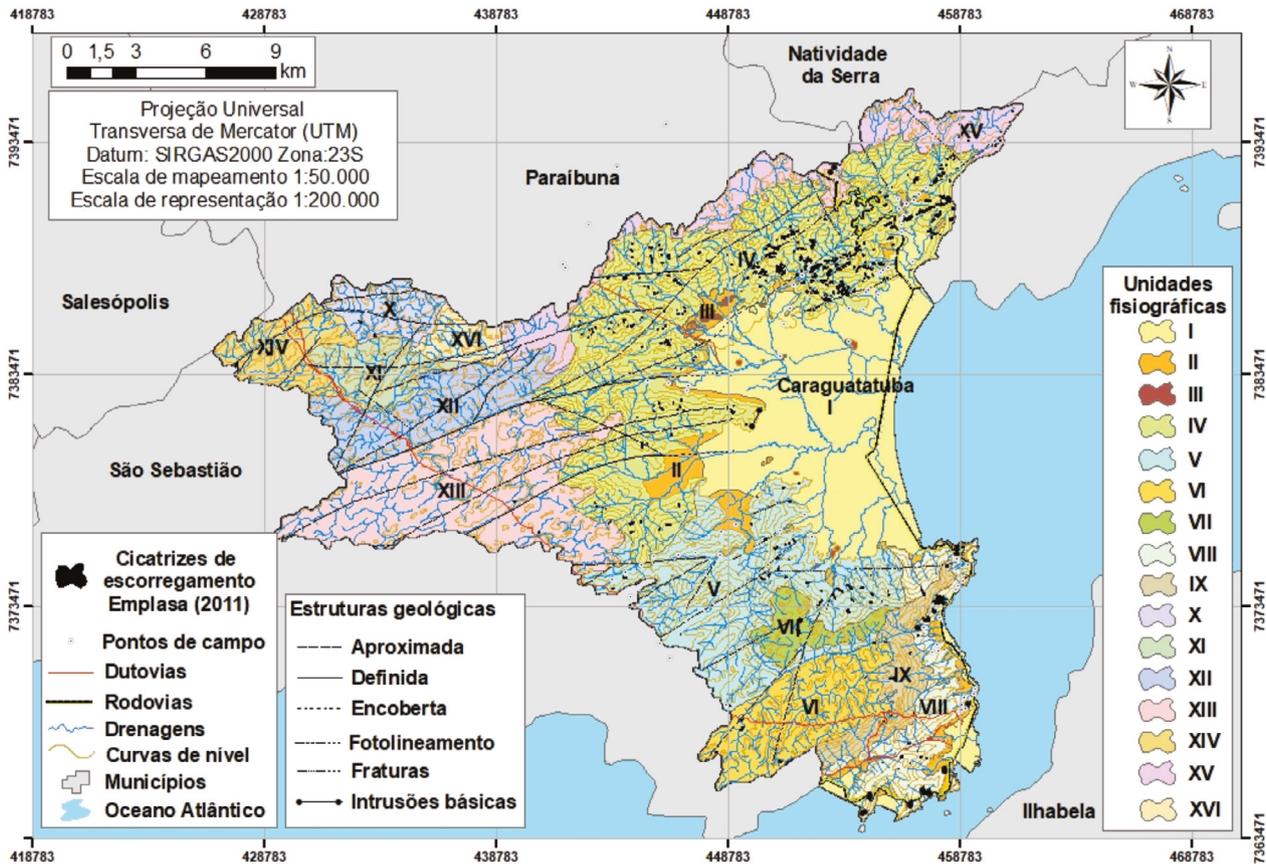


Figura 15. Mapa de Compartimentação Fisiográfica e cicatrizes mapeadas a partir de ortofotos da Emplasa (2011).

de taludes de obras civis. A Unidade XV apresenta grande concentração de áreas de baixa suscetibilidade, principalmente nas áreas de pequena amplitude topográfica.

As Unidades X, XI, XIV e XVI, localizadas no Planalto Atlântico, apresentam média suscetibilidade. A Unidade XIII apresenta porções com alta suscetibilidade em áreas de amplitude topográfica maior e em áreas com declividade entre 30 e 45°, porém a unidade é predominantemente considerada de média suscetibilidade. A Unidade III, de morros isolados na planície, apresentou média suscetibilidade, pois tem declividade média a alta.

O estudo dos atributos fisiográficos das unidades permitiu a análise das formas do relevo e dos principais condicionantes aos escorregamentos. Portanto, entre as 16 unidades definidas, sete apresentam alta suscetibilidade, sete têm média suscetibilidade e duas apresentam baixa suscetibilidade a escorregamentos (Tabela 4).

Quanto ao uso e ocupação do solo, tanto as áreas de média suscetibilidade quanto as áreas de alta suscetibilidade se encontram em áreas de vegetação natural; logo, os escorregamentos não estão associados à indução antrópica.

Tabela 4. Suscetibilidade por unidades fisiográficas e suas características.

Índice de suscetibilidade	Unidades fisiográficas	Características das unidades
Baixa	I, II	Baixa declividade, baixíssima amplitude local, formada por depósitos sedimentares.
Média	III, X, XI, XIII, XIV, XV e XVI	Média declividade, média amplitude local. Formada por granito gnaisse, granito, xisto e quartzito.
Alta	IV, V, VI, VII, VIII, IX e XII	Alta declividade, alta amplitude local. Geologicamente compostas por gnaisse e gnaisse migmatítico.

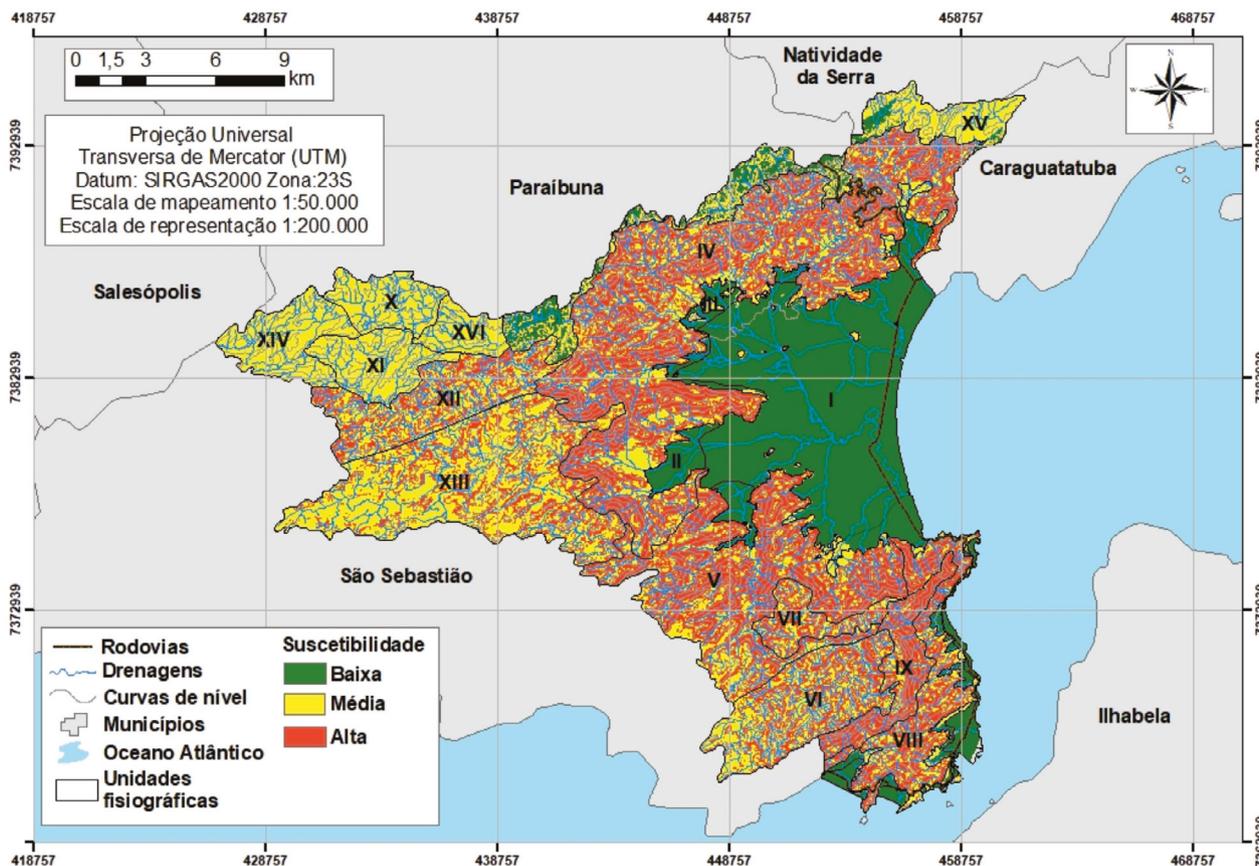


Figura 16. Mapa de suscetibilidade.

CONCLUSÃO

Os municípios de Caraguatatuba e São Sebastião estão inseridos em um contexto físico suscetível a processos de dinâmica superficial, como os escorregamentos. A utilização da compartimentação fisiográfica, baseada no método de Zaine (2011), permitiu análises integradas do meio físico, a partir da divisão da área em unidades fisiográficas, fundamental para avaliação da suscetibilidade, uma vez que as diferentes características do meio físico refletem comportamentos diferenciados em relação aos processos de dinâmica superficial.

A compartimentação fisiográfica possibilitou a interpretação do potencial à ocorrência de movimentos de massa, mas de forma subjetiva, a partir da análise de fotografias aéreas e da análise do conjunto de características físicas. A desvantagem desse método é que ele considera os movimentos de massa como um único conjunto, sem diferenciar de acordo com uma característica específica, o que é fundamental na avaliação da suscetibilidade de qualquer processo. Portanto, para estudos mais específicos, é sugerida a elaboração do inventário dos processos, como o realizado neste trabalho.

O mapa de cicatrizes de escorregamento forneceu os dados que complementaram e oportunizaram a elaboração do mapa de suscetibilidade. O mapa de cicatrizes foi uma ferramenta útil para validar o trabalho resultante da compartimentação fisiográfica e determinar os pesos dos fatores condicionantes. A correlação da análise fisiográfica com o mapa de cicatrizes foi fundamental para a avaliação da suscetibilidade a escorregamento, pois forneceu uma análise dos fatores condicionantes baseada em eventos reais.

A associação da compartimentação fisiográfica e dos mapas de cicatrizes proporcionaram a concordância das unidades mais suscetíveis com as unidades com maior número de cicatrizes, principalmente as Unidades IV e V, que apresentam maiores concentrações de cicatrizes tanto no trabalho de Fúlfaro et al. (1976) quanto nas imagens aéreas de 2011. Sendo assim, a maior suscetibilidade a escorregamento ocorre nas Unidades IV, V, VI, VII, VIII, IX e XII, que têm grande amplitude topográfica (acima de 300 m) e declividades médias a altas ($> 30^\circ$) e são geologicamente compostas por rochas gnáissicas e migmatitos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho; e ao Laboratório de Geologia de Engenharia e Ambiente (GEMA), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Rio Claro, pelo apoio e suporte técnico.

REFERÊNCIAS

- Ahrendt, A. (2005). *Movimentos de massa gravitacionais – proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP*. 390 f. Tese (Doutorado). São Carlos: Universidade de São Paulo.
- Amaral, A. M. C., Reis, F. A. G. V., Giordano, L. C., Corrêa, C. V. S., Chaves, C. J. (2015). Compartimentação fisiográfica pela análise integrada: estudo de caso no município de Casa Branca (SP). *Geologia USP. Série Científica*, 15(1), 15-28. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v15i1p15-28>
- Augusto Filho, O., Virgili, J. C. (1998). Estabilidade de Taludes. In: A. M. S. Oliveira, S. N. A. Brito (Eds.), *Geologia de Engenharia* (243-269). São Paulo: ABGE.
- Brito, M. M. (2014). *Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS*. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. In: A. Carrara, F. Guzzetti. (Eds.). *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards* (135-175). https://doi.org/10.1007/978-94-015-8404-3_8
- Cerri, L. E. S. (1992). Identificação, análise e cartografia de riscos geológicos associados a escorregamentos. *Conferência Brasileira sobre Estabilidades de Encostas*, 3, 605-617. Rio de Janeiro: ABGE.
- Cerri, R. I., Reis, F. A. G. V., Gramani, M. F., Gabelini, B. M., Zaine, J. E., Sisto, F. P., Giordano, L. do C. (2018). Análise da influência de atributos fisiográficos e morfométricos na definição da suscetibilidade de bacias hidrográficas à ocorrência de corridas de massa. *Geologia USP. Série Científica*, 18(1), 35-50. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-133737>
- Chaves, C. J., Reis, F. A. G. V., Giordano, L. C., Amaral, A. M. C., Corrêa, C. V. S. (2015). Aplicação da compartimentação fisiográfica e da abordagem multitemática para elaboração de mapa geoambiental: estudo de caso nos municípios de Espírito Santo do Pinhal e Santo Antônio do Jardim (SP). *Geologia USP. Série Científica*, 15(2), 3-24. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v15i2p3-24>
- Corrêa, C. V. S., Reis, F. A. G. V., Giordano, L. C., Bressane, A., Chaves, C. J., Amaral, A. M. C. do, Brito, H. D., Medeiros, G. A. (2017). Geo-environmental zoning using physiographic compartmentalization: a proposal for supporting sustainable decision-making. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(3), 1503-1530. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160915>

- Cruz, O. (1974). *A Serra do Mar e o Litoral na área de Caraguatatuba - SP*. Tese (Doutorado). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP.
- Cruz, O. (1982). *Estudo dos processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba – S. Paulo*. Tese (Livre Docência). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP.
- Einstein, H. H. (1988). Landslides risk assessment procedue. *5th Internacional Symposium on Landslides*, v. 2, 1075-1090. Lausanne.
- Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa). (2011). *Imagens aéreas projeto Mapeia São Paulo*. São Paulo: Emplasa.
- Fúlfaro, V. J., Ponçano, W. L., Bistrichi, C. A., Stein, D. P. (1976). Escorregamentos de Caraguatatuba: expressão atual, e registro na coluna sedimentar da planície costeira adjacente. *II Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 341-350. Rio de Janeiro: ABGE.
- Gomes, C. L. R., Ogura, A. T., Gramani, M. F., Corsi, A. C., Alameddine, N. (2008). Retro-análise da corrida de massa ocorrida no ano de 1967 nas encostas da Serra do Mar, vale dos rios Camburu, Pau D' Alho e Canivetal, município de Caraguatatuba - SP: quantificação volumétrica dos sedimentos depositados nas planícies de inundação. *XII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Recife: ABGE.
- Gusmão Filho, J. A., Alheiros, M. M., Gusmão, A. D. (1997). Estudo das Encostas Ocupadas do Recife. *2nd PAN-AM Symposium of Landslides*, COBRAE, Anais, v. 2, 919-927. Rio de Janeiro: IAEG/ABMS.
- Gusmão Filho, J. A., Alheiros, M. M., Melo, L. V. (1992). Estudo das Encostas de Jaboaão dos Guararapes – PE. *I Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas*, Anais, v. 1, 191-209. Rio de Janeiro: ABMS.
- Guzzetti, F., Galli, M., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M. (2006). Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 115-131. <https://doi.org/10.5194/nhess-6-115-2006>
- Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Samodra, G. (2017). Application of a semiquantitative and GIS-based statistical model to landslide susceptibility zonation in Kayangan Catchment, Java, Indonésia. *Natural Hazards*, 87(1), 437-468. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2772-z>
- Hasui, Y. (1982). *Mapa geológico da folha Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1)*. Escala 1:50.000. São Paulo: CPRM/PRÓ-MINÉRIO.
- Hasui, Y., Carneiro, C. D., Almeida, F. F., Bartorelli, A. (2012). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Heibron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. C., Silva, L. C., Trouw, R. A., Janasi, V. A. (2004). Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. D. Carneiro, B. B. Brito-Neves (Eds.), *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida (203-235)*. São Paulo: Beca.
- Infanti Jr., N., Fornasari Filho, N. (1998). Processos de dinâmica superficial. In: A. M. S. Oliveira, S. N. A. Brito (Eds.), *Geologia de Engenharia* (9, 131-152). São Paulo: ABGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (1973). *Folha de Maresias*. SF-23-Y-D-V-4. Escala 1:50.000. São Paulo: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (1974a). *Folha de Caraguatatuba*. SF-23-Y-D-VI-1. Escala 1:50.000. São Paulo: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (1974b). *Folha do Pico do Papagaio*. SF-23-Y-D-V-2. Escala 1:50.000. São Paulo: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (1975). *Folha de São Sebastião*. SF-23-Y-D-VI-3. Escala 1:50.000. São Paulo: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2005). *Resolução do Presidente do IBGE n° 1 de fevereiro de 2005*. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. IBGE. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/noticia_sirgas.shtm>. Acesso em: 13 fev. 2019.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2013). *Manual Técnico de Uso da Terra*. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2017). *Dados municipais: aspectos gerais*. IBGE. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/home-cidades>>. Acesso em: 9 set. 2017.
- Instituto Geológico (IG). (1996). *Mapa Geológico de São Sebastião*. Escala 1:50.000. São Paulo: IG.
- Lee, S. E., Pradhan, B. (2006). Probabilistic landslide and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Journal of Earth System Science*, 115(6), 661-672. <https://doi.org/10.1007/s12040-006-0004-0>

- Lopes, E. S. S. (2006). *Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da serra do mar paulista, na escala de 1:10.000*. Tese (Doutorado). Rio Claro: UNESP.
- Moreira, C. V. R., Pires Neto, A. G. (1998). Clima e Relevo. In: A. M. S. Oliveira, S. N. A. Brito (Eds.), *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE.
- Nunes, B. A., Ribeiro, M. I. C., Almeida, V. J., Natali Filho, T. (1994). *Manual técnico de geomorfologia*. Rio de Janeiro: IBGE, 113 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 5).
- Oliveira, T. A. (2004). *Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos: subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia-SP*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
- Rodrigues, F. H. (2012). *Análise integrada aplicada ao mapeamento geológico-geotécnico na escala de 1:20.000 da estrada de Castelhanos, Ilhabela - SP*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
- Ross, J. L. S., Moroz, I. C. (1997). *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. Escala 1:500.000. São Paulo: Departamento de Geografia – USP/ Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP.
- Santos, D. D. S., Galvani, E. (2012). Caracterização sazonal das precipitações no Município de Caraguatatuba-SP, entre os anos de 1943 a 2004. *Geonorte*, 3(8), 1196-1203.
- Suguio, K., Martin, L. (1978). *Mapas Geológicos do Litoral de São Paulo*. Escala 1:100 000. São Paulo: Secretaria de Obras e Meio Ambiente / Departamento de Águas e Energia Elétrica.
- Tominaga, L. K. (2009). Escorregamentos. In: L. K. Tominaga, J. Santoro, R do Amaral. (Eds.), *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico.
- Tricart, J. (1965). *Principes et méthodes de l'geomorphologie*. Paris: Masson, 201 p.
- Van Westen, C. J. (2004). Geo-Information tools for Landslide Risk Assessment. An overview of recent developments. In: W. Lacerda, M. Ehrlich, S. Fontoura, A. Sayao (Eds.) *Landslides, Evaluation & Stabilization. Proceedings 9th International Symposium on Landslides*, p. 39-56. Rio de Janeiro.
- Vedovello, R., Macedo, E. (2007). Deslizamentos de encostas. In: R. F. dos Santos (Ed.). *Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- Vedovello, R., Mattos, J. T. (1998). A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas: uma abordagem a partir do Sensoriamento Remoto. *III Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*. Florianópolis: UFSC/ABGE.
- Vieira, B. C. (2007). *Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas*. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 193 p.
- Wolle, C. M., Pedrosa, J. A. B. (1981). Horizontes de Transição Condicionam Mecanismo de Instabilidade de Encostas na Serra do Mar. *III Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, v. 2, p. 121-135. Itapema: ABGE.
- Zaine, J. E. (2000). *Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
- Zaine, J. E. (2011). *Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG*. Tese (Livre-Docência). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.