

AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À ESCORREGAMENTO NA SERRA DO MAR PELA APLICAÇÃO DA COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA

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

1 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Avenida 24A, 1515, Bela Vista, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil (bgabelini@gmail.com; claudiageobrax@yahoo.com.br; roocerri@gmail.com)

2 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geologia Aplicada, Rio Claro, SP, Brasil (fabioreis@rc.unesp.br; jezaine@rc.unesp.br; lcg@ecogeologia.com.br)

Resumo – Os escorregamentos são movimentos de massa recorrentes na Serra do Mar, e podem causar danos econômicos, sociais e ambientais. A ocorrência de escorregamentos está associada à combinação de diversos fatores de caráter topográfico, geológico, geomorfológico, climatológico e de uso e ocupação do solo. Os estudos de suscetibilidade a escorregamentos propõem a compreensão do meio físico e a análise dos fatores condicionantes para evitar a ocorrência destes processos. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a suscetibilidade a escorregamento de uma área dos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP) a partir do uso da compartimentação fisiográfica. A compartimentação fisiográfica é uma ferramenta que utiliza a interpretação e análise de imagens aéreas para delimitar porções menores do terreno e integrar as características do meio físico. Dessa forma, através da compartimentação fisiográfica e do inventário de cicatrizes foi possível identificar sete unidades fisiográficas com alta suscetibilidade a escorregamentos - IV, V, VI, VIII, IX e XII. Estas unidades estão associadas a terrenos com alta declividade, grande amplitude local e principalmente, rochas de origem gnáissica.

Palavras-Chave: Serra do Mar; Escorregamentos; Suscetibilidade; Compartimentação Fisiográfica.

Abstract – Landslides are recurrent mass movements in the Serra do Mar. Often these processes occur due to natural causes and can generate a lot of environmental damage and deaths. The occurrence of landslides is associated to the combination of several factors of topographic, geological, geomorphological and climatological characters. Landslides susceptibility studies propose the understanding of the physical environment and the analysis of conditioning factors to avoid these processes. Therefore, the objective of this research was to evaluate the landslides susceptibility in the region between Caraguatatuba and São Sebastião (SP) using physiographic compartmentalization. The physiographic compartmentalization is a tool that uses the interpretation and analysis of aerial images to delimit smaller areas of the terrain and integrate the characteristics of the physical environment. Thus, through physiographic compartmentalization and scars inventory it was possible to identify seven physiographic units with high susceptibility to landslides - IV, V, VI, VIII, IX and XII. These units are associated to terrains with high slope, great local amplitude and mainly, rocks of gneiss origin.

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

1. INTRODUÇÃO

Os escorregamentos são movimentos de massa recorrentes na Serra do Mar, e podem ocorrer devido a diversos fatores relacionados às características do meio físico (Cruz, 1982; Fúlfaro et al., 1976). A Serra do Mar, complexo geomorfológico, localizado na costa leste do Brasil, apresenta características específicas, como relevo escarpado e encostas íngremes. Estes fatores somados ao alto índice pluviométrico da região podem condicionar a ocorrência de escorregamentos (Vedovello e Macedo, 2007).

A recorrência destes processos pode ser avaliada através de estudos de suscetibilidade. A suscetibilidade é a predisposição de uma área a ocorrência de um determinado fenômeno, independente do poder de destruição e período de recorrência do mesmo (Cerri, 1992; Brito, 2014). Pode ser avaliada a partir de inventário, análises heurística, determinística e estatística (Carrara et al., 1995; Van Westen, 2004).

Na análise heurística, através de estudo geomorfológico e combinação de mapas temáticos, é possível avaliar a suscetibilidade e ponderar sobre os fatores condicionantes aos escorregamentos (Carrara et al., 1995; Van Westen, 2004). Ao combinar os mapas temáticos é possível identificar e atribuir pesos ao conjunto de fatores condicionantes, possibilitando a delimitação das áreas suscetíveis a escorregamentos.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a suscetibilidade a escorregamento, em parte dos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP) na Serra do Mar, através da compartimentação fisiográfica. A compartimentação fisiográfica é um método que utiliza ferramentas de sensoriamento remoto, como a fotoanálise e a fotointerpretação, para estudo do comportamento do meio (Zaine, 2011; Correa et al., 2017). Baseia-se no estudo de imagens aéreas para análise dos elementos que compõem o meio físico e para a identificação da ocorrência de processos geológicos (Zaine, 2011; Rodrigues, 2012; Correa et al., 2017).

A compartimentação fisiográfica parte do princípio de que há uma correlação natural entre os elementos constituintes do meio físico, como o solo, o relevo, o clima, os recursos hídricos e o substrato rochoso (Zaine, 2011; Rodrigues, 2012). Portanto, a compartimentação fisiográfica é um método importante para definir a suscetibilidade, pois se baseia na identificação das formas do relevo, as quais são resultantes dos processos naturais atuantes sobre a superfície terrestre, como os escorregamentos. Este método apresenta vantagens, pois possibilita a integração de diferentes atributos do meio físico a partir da análise de imagens aéreas, sem a obrigação de utilizar mapas temáticos na mesma escala, pois as formas do relevo e drenagens são analisadas diretamente das imagens aéreas e associadas às propriedades do terreno, após os trabalhos de campo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

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 (Figura 1) está inserida na unidade morfoescultural do Planalto Atlântico, da Serrania Costeira e da Baixada Litorânea.

O Planalto Atlântico é representado por relevo bastante dissecado com altitudes entre 800 a 900 m e acima de 900 m, com amplitude topográfica variando entre 20 a 200 m (até 400 m em alguns pontos), com encostas íngremes 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 1200 metros, 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 metros, onde são encontrados terraços fluviais e colúvio–aluviais, bem como, terraços e taludes de detritos coluviais e tálus (Cruz, 1974).

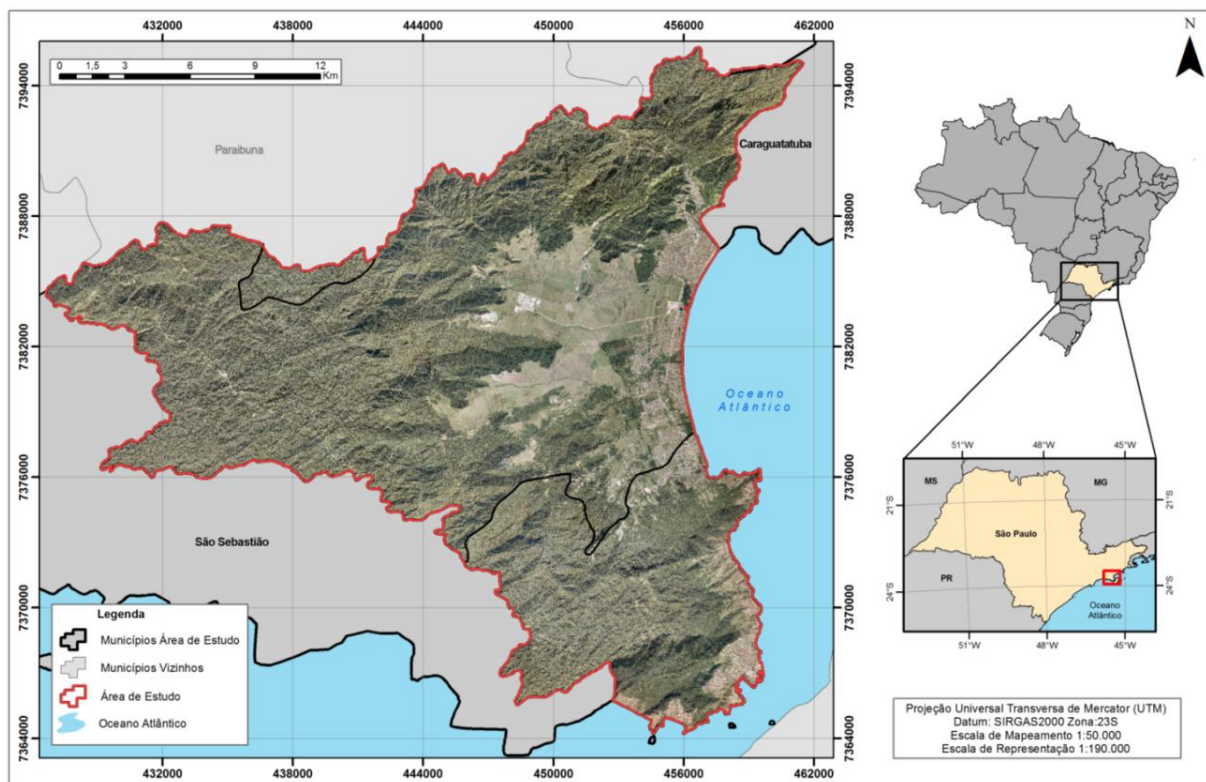


Figura 1. Localização da área de estudo

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 do Complexo Costeiro, Complexo Embu e Complexo Paraibuna, abrangendo rochas de idades variando do Embasamento Cristalino até o Cenozoico (Heibron et al., 2004; Hasui et al., 2012). 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).

3. METODOLOGIA

3.1. Levantamento bibliográfico, cartográfico e caracterização da área de estudo

O levantamento bibliográfico e cartográfico, a caracterização da área 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”, “Análise Integrada” e “Suscetibilidade”. A base cartográfica e a caracterização da área de estudo utilizaram os materiais apresentados na Figura 2.

3.2. Georreferenciamento dos Dados Cartográficos

As cartas topográficas, mapas geomorfológicos e geológicos foram georreferenciados no programa ArcGis 10.1 a partir da ferramenta Georreferencing. Estes documentos cartográficos foram georreferenciados com a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e Datum

SIRGAS2000, zona 23S, conforme as orientações do IBGE. Os dados das cartas foram vetorizados em formato shapefile, sendo eles: drenagens, curvas de nível, principais rodovias, limites municipais, áreas urbanas e a delimitação da área de estudo.

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

Figura 2. Materiais, escalas e fontes utilizados nesta pesquisa

3.3. Geração de Produtos Auxiliares

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi produzido a partir da ferramenta Triangulated Irregular Network (TIN) do programa ArcGis 10.1. O MDE foi a base dos mapas hipsométrico e declividade e foram classificados de acordo com intervalos descritos na Figura 3.

MAPAS	CLASSES
Hipsometria (m)	0 – 20, 20 – 100, 100 – 200, 200 – 300, 300 – 400, 400 – 500, 500 – 600, 600 – 900 e 900 – 1300
Declividade (°)	0 – 10°, 10 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e maior que 45°

Figura 3. Classes dos Mapas Auxiliares

3.4. Mapeamento de cicatrizes de escorregamento

A seleção dos mapeamentos de cicatrizes de escorregamentos foi baseada no evento catastrófico ocorrido em 1967, na região da Serra do Mar, no município de Caraguatatuba. Portanto, para esta pesquisa foram analisados trabalhos – Cruz (1974) e Fúlfaro et al. (1976) – que realizaram mapeamentos de escorregamentos após a catástrofe.

Cruz (1974) mapeou movimentos de massa na Serra do Mar, porém a autora não fez distinção entre os processos de escorregamentos e corridas de massa, dificultando o reconhecimento apenas dos escorregamentos. Dessa maneira o mapeamento da autora não foi selecionado para a análise deste trabalho.

Fúlfaro et al. (1976) mapearam escorregamentos a partir de imagens de levantamento aerofotogramétrico da VASP, realizado em 1973, sete anos após a grande catástrofe ocorrida no município de Caraguatatuba. Através deste mapeamento foi possível confirmar a predisposição da área a ocorrência de escorregamentos. Portanto, estes dados foram selecionados para análise desta pesquisa devido à expressiva quantidade de cicatrizes mapeadas, principalmente nas Bacias dos Rios Santo Antônio, Canivetal e Pau d'alho.

Além do trabalho de Fúlfaro et al. (1976) também foram utilizadas imagens aéreas que foram disponibilizadas pela Emplasa. Essas imagens fazem parte do projeto Mapeia São Paulo e foram elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico realizado no Estado de São Paulo em 2011. Após fotoanálise, foi realizada a extração e vetorização manual das cicatrizes de escorregamento de toda a área de estudo, criando um novo inventário de cicatrizes.

3.5. Elaboração do Mapa de Compartimentação Fisiográfica: Análise Fotointepretativa

A elaboração do Mapa de Compartimentação Fisiográfica teve como base os princípios de análise de fotointerpretação proposto por Zaine (2011), que consiste na delimitação de unidades de terreno a partir de uma análise integrada de elementos do meio físico (Figura 4). A compartimentação fisiográfica foi realizada na escala 1:50.000, a partir da análise de fotografias aéreas com pares estereoscópicos na escala 1:20.000.

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 possuam características semelhantes para agrupa-las, e distintas para separa-las. Este método analisa os elementos texturais do relevo e drenagem; a amplitude local, a declividade média, as formas das encostas, o topo, o fundo de vale, e a orientação e simetria a fim de adquirir por meio da fotointerpretação características geotécnicas da área. As unidades foram delimitadas a partir da análise da sequência de atributos da Figura 4.

A fim de validar e complementar o Mapa de Compartimentação Fisiográfica foram realizados trabalhos de campo, que auxiliaram na identificação e caracterização das unidades e suas feições. Os trabalhos de campo foram essenciais para a validação do material cartográfico produzido.

ELEMENTOS DA ANÁLISE		CRITÉRIOS DE ANÁLISE	CLASSES		
1	ANÁLISE DE DENSIDADE TEXTURAL	Densidade dos elementos de drenagem	Alta	Média	Baixa
		Densidade dos elementos de relevo	Alta	Média	Baixa
2	ANÁLISE DAS FORMAS E CARACTERÍSTICAS DO RELEVO	Amplitude Local	Alta	Média	Baixa
		Declividade	Alta	Média	Baixa
		Forma de Encosta	Convexa	Retilínea	Côncava
		Forma de Vale	Aberto	-	Fechado
		Forma de topo	Aplainado	Arredondado	Anguloso
3	INFORMAÇÕES A SEREM INTERPRETADAS	Profundidade do topo rochoso	Profundo	Intermediário	Raso a sub aflorante
		Espessura de material inconsolidado	Espesso	Intermediário	Delgado a inexistente
		Relação escoamento/infiltração	Alta	Intermediária	Baixa
		Potencial a movimentos de massa	Alto	Médio	Baixo

Figura 4. Sequência de procedimentos para análise e fotointerpretação geomorfológica e geológica, e associação com as propriedades geotécnicas.

3.6. Análise da Suscetibilidade

A avaliação da suscetibilidade foi realizada a partir de uma análise geomorfológica-geotécnica – compartimentação fisiográfica – e através da determinação de pesos para atributos físicos condicionantes ao processo de escorregamento – declividade, amplitude local e geologia.

As classes de declividade, amplitude local e geologia receberam pesos de 1 a 3. Assim, as classes com baixa influência receberam peso 1; as classes com média influência receberam peso 2; e as que apresentaram alta influência receberam peso 3. A Figura 5 apresenta os atributos analisados, suas classes e seus respectivos pesos.

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Declividade	0 – 10°	1
	10 – 15°	1
	15 – 30°	3
	30 – 45°	3
	Maior que 45°	2
Amplitude Local	0 – 100 m	1
	100 – 300 m	2
	> 300 m	3
Geologia	Depósitos sedimentares	1
	Colúvio e Tálus	3
	Gnaisse	3
	Granito	3
	Granito-Gnaisse	2
	Gnaisse-migmatítico	3
	Xisto	2
	Quartzito	2

Figura 5. Atributos, classes e pesos

O mapa de suscetibilidade foi gerado através da ferramenta “Raster Calculator” (ArcGis 10.1.) que permite o cruzamento dos dados com os pesos pré-estabelecidos. Assim, os mapas temáticos – declividade, amplitude local e geologia – foram analisados e ponderados com os pesos. O produto do “Raster Calculator” – o mapa de suscetibilidade – foi reclassificado por “natural breaks” definindo três classes de verde a vermelho (baixa, média e alta suscetibilidade).

O mapa de suscetibilidade foi cruzado com o mapa de compartimentação fisiográfica e o inventário de cicatrizes permitindo o estudo da concentração de cicatrizes por unidade fisiográfica e assim, a determinação das unidades fisiográficas com maior suscetibilidade a escorregamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise da compartimentação fisiográfica e cicatrizes de escorregamentos

Com base na análise da compartimentação fisiográfica e o inventário de cicatrizes de Fúlfaro et al. (1976) observou-se que cerca de 97% das cicatrizes se encontraram na unidade fisiográfica IV - Escarpas da Serra do Mar e Morros em Granitos e Gnaisses (Figura 6). A unidade IV apresenta alta densidade textural, grande amplitude local e declividades médias a altas. As cicatrizes encontradas nesta unidade estão predominantemente em áreas declivosas entre os intervalos de 15° e 30° e 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 – Mar de morros na Borda do Planalto Atlântico – são encontradas 1,6% das cicatrizes, possivelmente por conta do relevo mamelonizado marcado por encostas convexas e as rochas graníticas gnáissicas. Os outros 1,4% se encontram na unidade II e III, a unidade II – caracterizada por um perfil de alteração muito grande e a unidade III – formada por corpos graníticos em encostas predominantemente convexas.

As cicatrizes mapeadas por Fúlfaro et al. (1976) se concentraram nas Bacias dos Rios Santo Antônio, Canivetal, Pau D’alho e Camburu. Na bacia do Rio Camburu não foram identificadas muitas cicatrizes de escorregamentos, pois a fotografia aérea utilizada pelo mapeamento não favoreceu a identificação do processo nesta área.

Ao analisar o inventário de cicatrizes extraídas da fotografia aérea de 2011 e a compartimentação fisiográfica, identificou-se que 73,3% das cicatrizes de escorregamentos se encontraram na unidade fisiográfica IV (Figura 7). Em comparação ao mapeamento feito por Fúlfaro et al. (1976), foram encontradas cicatrizes em outras unidades fisiográficas da área. Na unidade V – Gnaisse migmatíticos em Escarpas com cristas levemente arredondadas – foram encontrados 8,6% das cicatrizes, na unidade VIII – Gnaisse migmatíticos em Escarpas – 7,96%,

na unidade VII – Morros acima das Escarpas – 2,58% e 2% na unidade VI – Gnaise migmatíticos em Morros Paralelos. Menores concentrações foram identificadas nas unidades II, IX a XV e estão relacionadas a declividades maiores que 15°. Nas unidades I – Planície Litorânea e unidade XVI – Relevo montanhoso no Planalto do Juqueriquerê – não foram encontradas cicatrizes.

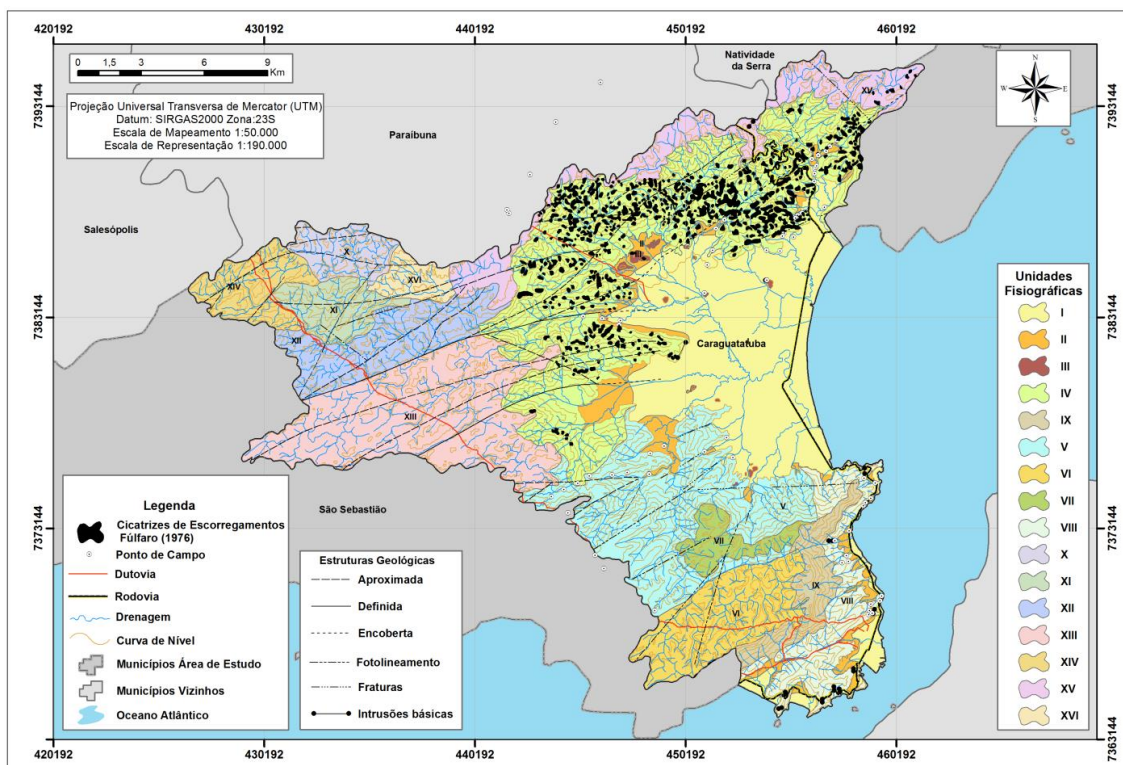


Figura 6. Mapa de Compartimentação Fisiográfica e cicatrizes mapeadas por Fúlfaro et al. (1976)

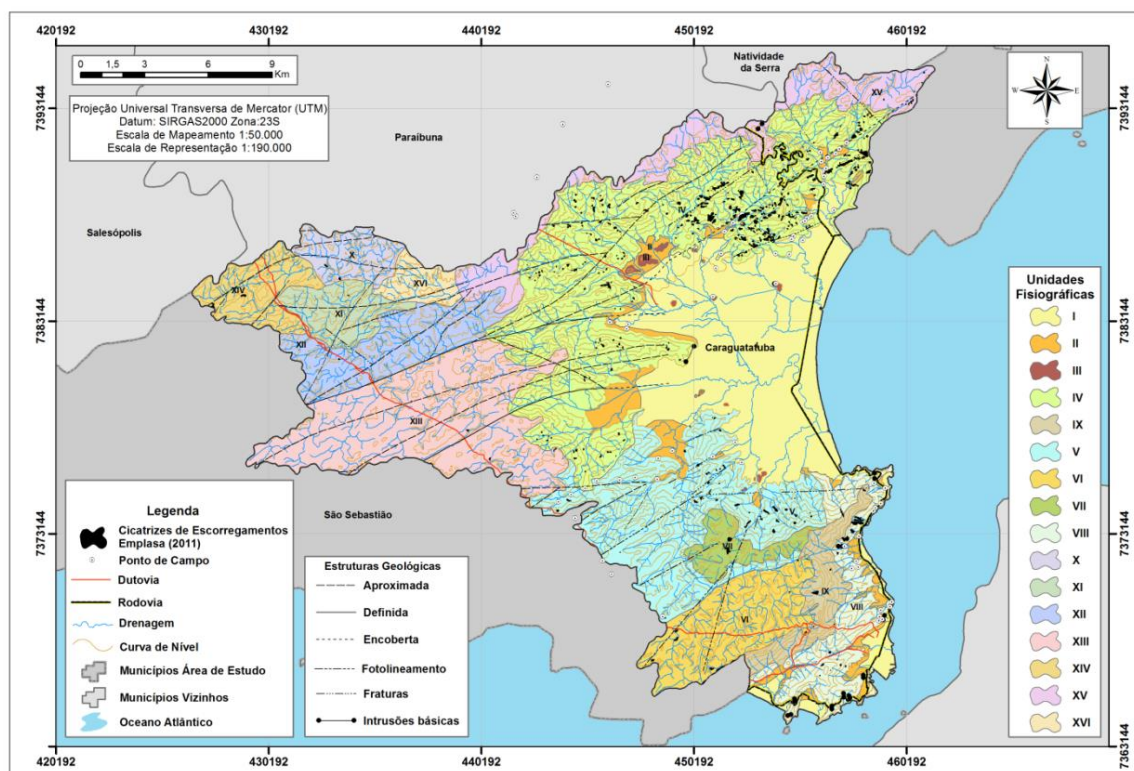


Figura 7. Mapa de Compartimentação Fisiográfica e cicatrizes mapeadas a partir das fotografias aéreas disponibilizadas pela Emplasa (2011)

As cicatrizes identificadas nas fotografias aéreas de 2011 (Figura 7) apontaram que a área de estudo apresenta outras unidades fisiográficas suscetíveis a escorregamentos, não somente a unidade fisiográfica IV, demonstrando, portanto, que a área possui uma recorrência a escorregamentos, comprovada pela comparação do mapeamento feito por Fúlfaro et al. (1976) e por este trabalho através das imagens aéreas da Emplasa (2011).

A segunda unidade com maior concentração de cicatrizes foi a unidade V, que contém características muito similares a unidade IV, que possui a maior concentração de cicatrizes de escorregamentos. A unidade IV e V estão localizadas na Serra do Mar e são formadas por escarpas com encostas côncavas a retilíneas onde 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 fotografias disponibilizadas pela Emplasa (2011) não possuem reflexos de um evento tão grande, porém demonstram que o município de Caraguatatuba possui outras áreas e unidades suscetíveis e que possuem escorregamentos recorrentes em áreas próximas as bacias dos rios Santo Antônio, Canivetal e Pau d'álho.

4.2. Análise da Suscetibilidade

A partir da correlação da compartimentação fisiográfica e o inventário de cicatrizes foi possível determinar a suscetibilidade da área de estudo a escorregamentos. (Figura 8). A análise integrada entre os atributos físicos e a compartimentação demonstraram que nas unidades com alta suscetibilidade há a presença de pelo menos, dois atributos – declividade, amplitude e geologia – considerados muito favoráveis à ocorrência desses processos.

As áreas de alta suscetibilidade – unidades IV, V, VI, VII, VIII, IX e XII – se encontram na Serra do Mar e são caracterizadas por um relevo bastante dissecado, com grande amplitude altimétrica e altas declividades. Dentre as unidades fisiográficas definidas com alta suscetibilidade, as unidades IV e V, possuem maior quantidade de áreas suscetíveis, concordando com o inventário de Fúlfaro et al. (1976) e o inventário gerado pelas fotografias da Emplasa (2011). A unidade IX – Gnaisse migmatítico em Escarpas retilíneas – também apresenta áreas altamente suscetíveis em todo o seu território e estão associadas às áreas extremamente íngremes, encostas retilíneas e a grande amplitude topográfica.

As unidades fisiográficas I e II apresentam áreas planas associadas à planície litorânea e as coberturas cenozoicas em áreas de rampas de colúvio e tálus, em geral, apresentam baixa suscetibilidade a escorregamentos. A unidade XV – Mar de morros na Borda do Planalto Atlântico – apresenta áreas de baixa suscetibilidade, principalmente nas áreas de pequena amplitude topográfica.

As unidades III, X, XI, XIII, XIV e XVI apresentam média suscetibilidade. Em sua totalidade, a unidade XIII foi considerada de média suscetibilidade, porém contém porções com alta suscetibilidade, em áreas de grande amplitude topográfica e em áreas com declividade entre 30° e 45°. A unidade III, morros isolados na planície, também apresentou média suscetibilidade, principalmente pela declividade, considerada média a alta.

A análise dos atributos fisiográficos das unidades permitiu o estudo das formas do relevo e conseqüente conhecimento dos principais condicionantes aos escorregamentos, portanto, dentre as dezesseis unidades definidas, sete unidades apresentam alta suscetibilidade, seis apresentam média suscetibilidade e três apresentam baixa suscetibilidade a escorregamentos (Figura 9). 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, portanto, os escorregamentos não estão associados à indução antrópica.

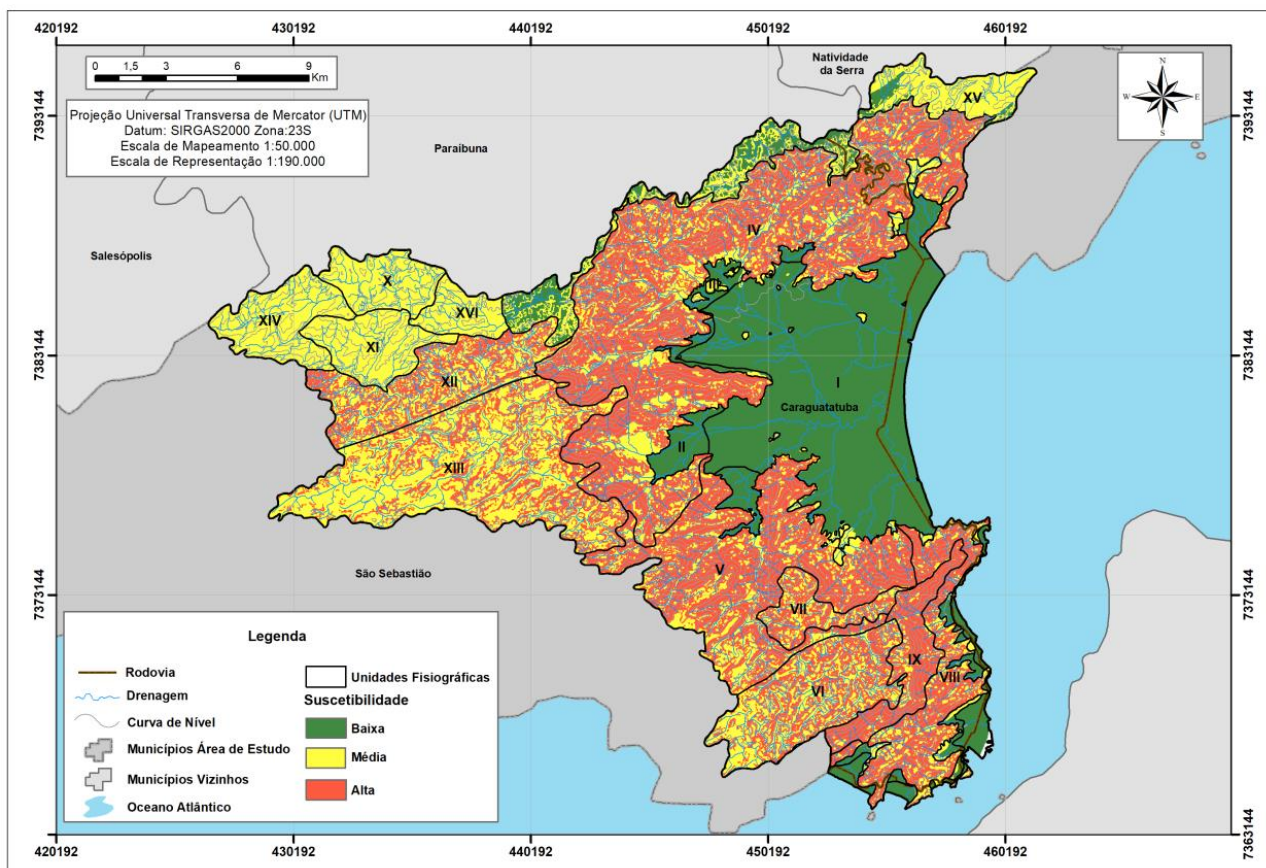


Figura 8. Mapa de suscetibilidade

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

Figura 9. Suscetibilidade por unidades fisiográficas e suas características.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa obteve sucesso na avaliação da suscetibilidade a escorregamento a partir da compartimentação fisiográfica, gerando o mapa de compartimentação fisiográfica e o mapa de suscetibilidade em escala 1:50.000. Os dois mapas produzidos permitiram a compreensão do meio físico dos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP), que estão inseridos em um contexto geomorfológico e geotécnico bastante suscetível a processos superficiais.

O uso da compartimentação fisiográfica, a partir do método de Zaine (2011) permitiu a análise integrada de cada unidade, inter-relacionando as características específicas – declividade, amplitude e geologia – com os processos naturais atuantes – o escorregamento, o rastejo e a queda de blocos. Este método permitiu a elaboração de um único produto, sem a necessidade de preparar mapas geológicos e geomorfológicos na mesma escala, permitindo uma análise a partir de produtos cartográficos em escalas regionais.

A associação da compartimentação fisiográfica, do inventário de cicatrizes e do mapa de suscetibilidade demonstraram concordância, principalmente nas unidades IV e V, que apresentaram maiores concentrações de cicatrizes tanto no trabalho de Fúlfaro et al. (1976) quanto nas fotografias da Emplasa (2011). Sendo assim, as unidades com maior suscetibilidade a escorregamentos são as unidades IV, V, VI, VII, VIII, IX e XII, que estão associadas a terrenos com alta declividade, grande amplitude local e principalmente, rochas de origem gnáissica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e a Petrobras pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, e ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP – Universidade Estadual Paulista pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

BRITO, M. M. de. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS. 2014.

CARRARA, A et al. GIS technology in mapping landslide hazard. In: Geographical information systems in assessing natural hazards. Springer, Dordrecht, 1995. p. 135-175.

CERRI, L. E. S. Identificação, análise e cartografia de riscos geológicos associados a escorregamentos. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidades de encostas. Rio de Janeiro, 1992. Rio de Janeiro: ABGE. v. 3. p. 605-617.

CORREA, C. V. et al. Geo-environmental zoning using physiographic compartmentalization: a proposal for supporting sustainable decision-making. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 89, n. 3, p. 1503-1530, 2017.

CRUZ, O. A Serra do Mar e o Litoral na área de Caraguatatuba - SP. p. 181. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

CRUZ, O. Estudo dos processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba – S. Paulo. Tese de Livre Docência. FFLCH-USP, S. Paulo, 1982.

FÚLFARO, V. J. et al. Escorregamentos de Caraguatatuba: expressão atual, e registro na coluna sedimentar da planície costeira adjacente. In: Congresso brasileiro de geologia de engenharia. 1976. p. 341-350.

HASUI, Y et al. Geologia do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

HEILBRON, M et al. Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. D. Carneiro, & B. B. Brito-Neves, Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida (pp. 203-235). Beca: São Paulo, 2004.

RODRIGUES, F. H. Análise integrada aplicada ao mapeamento geológico-geotécnico na escala de 1:20.000 da estrada de Castelhanos, Ilhabela - SP. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2012.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Laboratório de Geomorfologia. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP (Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), 1997. (Mapas e Relatórios)

VEDOVELLO, R.; MACEDO, E. Deslizamentos de encostas. In: SANTOS, R. F. dos (org.). Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2007.

ZAINE, J. E. Método de Fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese (Livre docência em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2011.