

DADOS GEOLÓGICOS E DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADOS AO MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA: ESTUDO DE CASO EM MAIRIPORÃ, ESTADO DE SÃO PAULO – BRASIL

ADILSON VIANA SOARES JÚNIOR, THAÍS FERNANDES BARRADAS, JOSÉ GUILHERME FRANCHI

Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, Campus Diadema, Rua São Nicolau, 210, Centro, Diadema-SP, 09913-030. E-mail: adilson.soares@unifesp.br, barradasthais@gmail.com, jfranchi@unifesp.br.

Resumo - Este artigo apresenta o mapeamento de suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa do Município de Mairiporã-SP, utilizando dados geológicos, geomorfológicos e ambientais processados em ambiente SIG. A metodologia foi elaborada buscando a geração do mapa utilizando apenas dados espaciais disponíveis gratuitamente e programa computacional livre. Imagem de satélite Landsat 8, imagem de radar SRTM e dados geológicos foram utilizados como dados de entrada para a realização do estudo, que geraram cartas de declividade, morfologia da vertente, uso do solo, de litologia e de densidade de lineamentos. Um sistema numérico e de pesos foi aplicado às cartas para compor o Mapa de Suscetibilidade. O mapa resultante foi dividido em quatro classes de probabilidade de ocorrência de eventos: Muito Baixo, Baixo, Moderado e Alto e foi validado através da correlação das classes mapeadas à ocorrência de eventos de movimentos de massa registrados no município e pela comparação com mapas pré-existentes. Os resultados mostraram que aproximadamente metade da área do município se encontra em zonas de susceptibilidade a deslizamentos Muito Baixo (4,9%) e Baixo (44,9%), enquanto que a área da classe Moderado foi de 34,4% e a classe Alto totalizou 15,8%. As áreas onde a susceptibilidade é potencializada são as de alta declividade, rochas metamórficas e ausência de cobertura vegetal.

Keywords: Movimentos de Massa; Suscetibilidade; Risco Geológico; Mairiporã; SIG

Abstract - This paper presents the mapping of landslide susceptibility in the municipality of Mairiporã-Brazil, using geological, geomorphological and environmental data processed in a GIS environment. This methodology was developed seeking the generation of maps by using only free spatial data and computer software. Landsat 8 satellite images, Shuttle Radar Topographic Mission radar images and geological data were used as input data for this study, which generated slope, vertical curvature, land use, lithology and lineament density maps. A numerical and weighting system was applied to compose the Susceptibility Map. The resulting landslide susceptibility map delineates the area into different zones of four relative susceptibility classes: high, moderate, low, and very low. The map was validated by correlating the susceptibility classes to the occurrence of mass movement events registered in the municipality and by comparison with preexisting landslide susceptibility maps. This has shown a close agreement with the existing instability conditions. Results showed that approximately half of the municipality's area is located in zones Very Low (4.9%) and Low (44.9%), while the area classified as Moderate corresponds to 34.4% of the municipality area and the High class totaled 15.8%. The areas where susceptibility was classified as High are those with high slopes, metamorphic rocks, and bare soil.

Keywords: Landslides; susceptibility; mapping; GIS

Citação: SOARES Jr., A. V., BARRADAS, T.F., FRANCHI, J.F. Dados geológicos e de sensoriamento remoto aplicados ao mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa: estudo de caso em Mairiporã, Estado de São Paulo – Brasil. Boletim Paranaense de Geociências, v. 80, n.2, p. 166-187. 2022.

1. INTRODUÇÃO

Os Movimentos de Massa são eventos naturais de grande poder de destruição e podem ser iniciados a partir de eventos naturais, como: terremotos, erupções vulcânicas ou inundações, às vezes intensificado por ações antrópicas (Bates & Jackson 1987) e em regiões com ausência de vulcanismo ativo e terremotos de grande magnitude, como o Brasil, os Movimentos de Massa resultam da complexa interação entre vários fatores, principalmente geológicos, geomorfológicos, meteorológicos e ação do homem relativa às formas de uso e ocupação do solo (Wolle 1980; Fernandes & Amaral 1996, Augusto Filho 2001, Fernandes et al. 2001, Tominaga 2007).

Estes eventos podem causar danos materiais e morte se atingirem regiões povoadas, portanto é extremamente necessário o mapeamento da suscetibilidade de ocorrência destes eventos em regiões com incidência de migração populacional. No Brasil, vem ocorrendo nas últimas décadas um crescimento desordenado das grandes cidades, sem qualquer atenção ao planejamento territorial urbano, o que determinou uma intensa migração populacional para locais com condicionantes geológicos e geomorfológicos desfavoráveis à ocupação urbana (Guerra et al. 2007, Hoffmann et al. 2011, Vianna 2015, dentre outros). A partir de 2012, com a aprovação da Lei Federal 12.608 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), ficou estabelecido que cada município mapeie e fiscalize áreas suscetíveis a fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode gerar desastres naturais (Brasil 2012).

No município de Mairiporã, vários casos de eventos de Movimentos de Massa foram reportados por jornais locais e regionais na última década, frequentemente associados a ocupações urbanas irregulares. Em 2019 por exemplo, a Defesa Civil registrou quase um deslizamento por dia no período do verão e em 2016 ocorreram 10 mortes em

decorrência deste tipo de evento (Ihara 2020).

A aplicação de técnicas de geoprocessamento tem potencial na análise de desastres naturais como movimentos gravitacionais de massa (Sarkar & Kanungo 2004) e nos últimos anos tem crescido consideravelmente a demanda por métodos confiáveis de mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos (Piacentini et al. 2012). Estes mapas fornecem informações fundamentais para agências governamentais, planejadores urbanos, tomadores de decisões, proprietários de terra, entre outros, para que possam realizar planos emergenciais de redução do impacto negativo destes eventos em infraestrutura e vidas humanas (Kavzoglu et al. 2014).

Este trabalho tem como objetivo elaborar a carta de suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa no município de Mairiporã (SP), utilizando como fonte de dados, informações geoespaciais (imagens de satélite e radar) e geológicas de acesso livre, processados através de programa de Geoprocessamento.

2. ÁREA DE ESTUDO

O Município de Mairiporã está situado na zona norte da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), entre as coordenadas geográficas 23°13'32,9"S, 46°40'12,6"W e 23°25'51,7"S, 46°25'5,9"W. Está limitado a sul com os municípios de São Paulo e Guarulhos, a oeste com Caieiras e Franco da Rocha e a norte com Atibaia e Nazaré Paulista. Segundo IBGE (2016), o município possui área de 320,7 km² e população de 80.956 habitantes. O relevo é o serrano, classificado por Ross & Moroz (2011) como pertencente à Unidade Morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico, Unidade Morfoescultural do Planalto Atlântico (Planalto e Serra da Mantiqueira), com altitude média de 908 metros, mínima de 723 m e máxima de 1.426 m (Fig. 1). Seu principal bioma é o Mata Atlântica, com clima subtropical, temperatura média de 18º C e pluviosidade média anual de 1.408 mm (Machado et al. 2017).

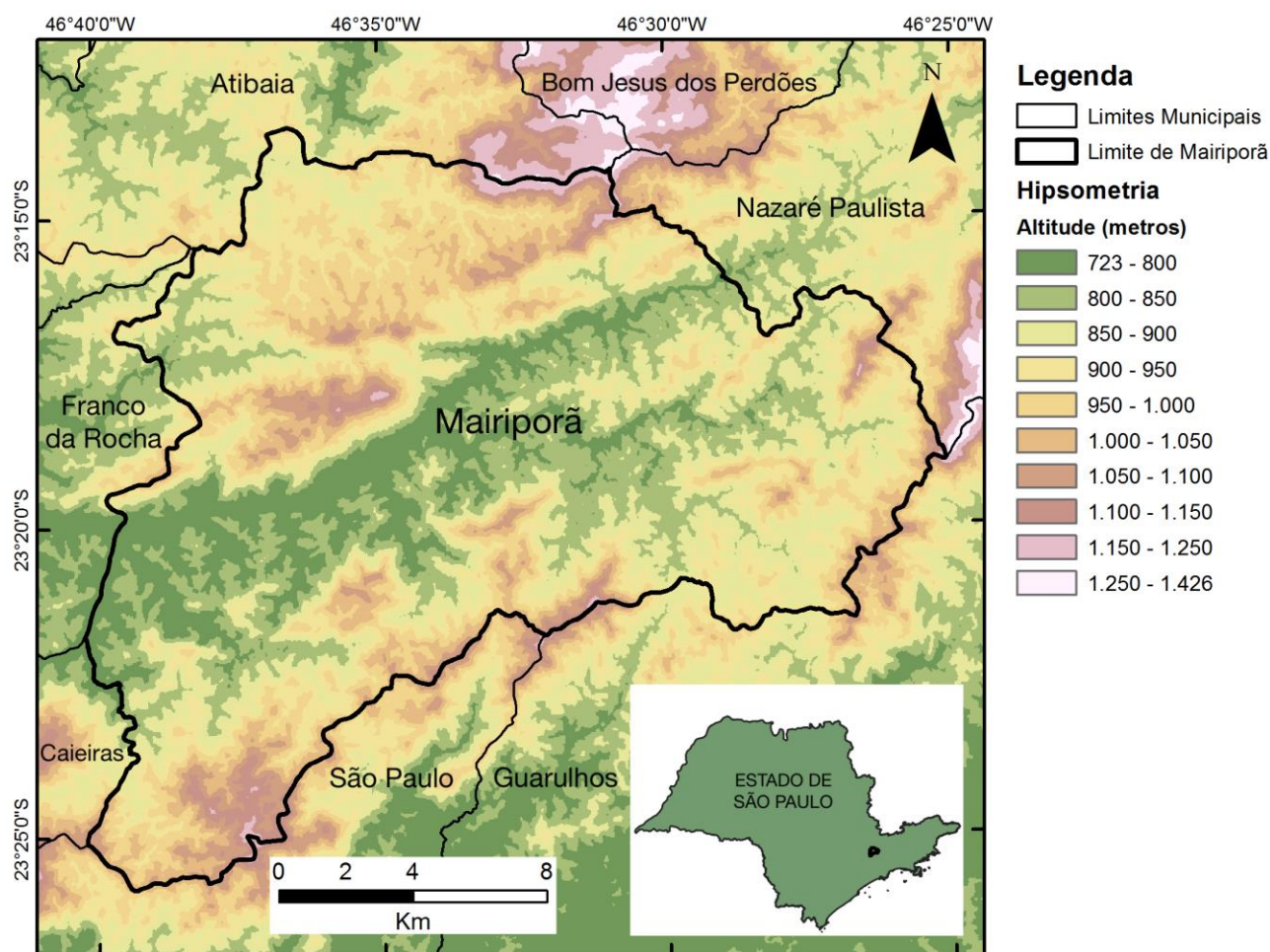


Figura 1. Mapa de Localização do Município de Mairiporã com Hipsometria.

Geologicamente a área está inserida no contexto do Sistema Orogênico Mantiqueira (Almeida 1967; Almeida & Hasui 1984), que se apresenta como uma faixa ao longo da região costeira entre o sul do Estado da Bahia até o Estado do Rio Grande do Sul, com extensão para o país vizinho Uruguai, alcançando cerca de 3.000 km de comprimento (Fig. 2). Os processos foram de inicialmente divergência, que levaram à fragmentação do Supercontinente Rodínia, abertura de oceanos e deriva continental, seguidos de convergência, resultando na reaproximação de continentes, aglutinação e formação do Megacontinente Gondwana. O Sistema Orogênico Mantiqueira é compartimentado em três cinturões orogênicos: Araçuaí no setentrional, Ribeira no central e Tijucas no meridional; o Município de Mairiporã está localizado no compartimento Ribeira, formado essencialmente de rochas pré-silurianas (>450

Ma), que representam registros de processos geológicos ocorridos desde o Arqueano até cerca de 450 Ma no Ciclo Brasileiro. Litologicamente são principalmente gnaisses variados, xistos, micaxistos, quartzitos, mármore, rochas cálcio-silicáticas e anfibolitos do Arqueano, orto e paragneisses, quartzitos, micaxistos, metabasitos, filitos, metacalcários, metarenitos, metaconglomerados e anfibolitos do Paleoproterozoico e Mesoproterozoico e rochas vulcanossedimentares (andesitos, riolitos, traquitos, metarenitos, metapelitos, metaconglomerados) e sequências sedimentares (conglomerados, siltitos, argilitos e arenitos) do Neoproterozoico (Hasui 2012). No Cinturão Ribeira formaram-se alguns corpos batolíticos granitóides atribuídos a diversos pulsos de magmatismo sin- a pós-tectônicos de 680 a 540 Ma (Gimenez Filho et al. 2000, Janasi et al. 2001, dentre outros), alguns mais jovens de até 497

Ma (Janasi et al. 2012). O processo de convergência e aglutinação continental envolveu metamorfismo e deformações tangencial e transcorrente, que resultaram em feições internas diversas, com destaque para a foliação, que no geral acompanha o alongamento dos corpos rochosos, que tem

geometria de fatias, lentes e sigmoides justapostos, de direção geral NE-SW, bem visíveis em escalas micro a megascópicas (Hasui 2012).

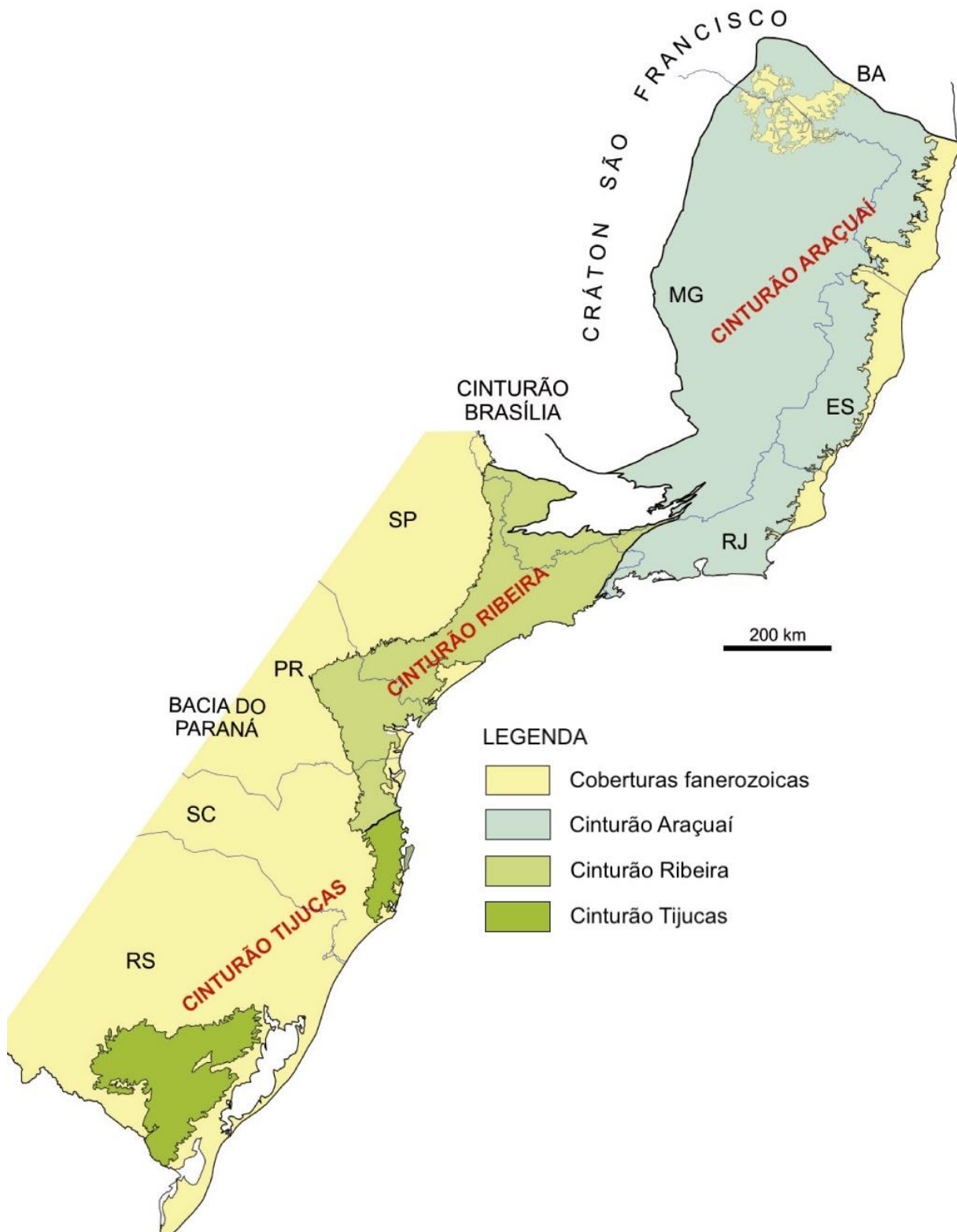


Figura 2. Mapa do Sistema Orogênico Mantiqueira (Hasui 2012).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas imagens do satélite óptico Landsat 8 OLI (Operational Land Imager), e de radar SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), ambas com resolução espacial de 30 metros, adquiridas através da plataforma Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov>), mantida pelo Serviço Geológico Americano (United States Geological Survey – USGS). O Mapa Geológico utilizado foi o de Coutinho (1980), adquirido no formato shapefile, a partir do sítio eletrônico do Programa Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, realizado pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) e CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) (IPT 2014). Todos os dados foram processados no programa QGIS, versão 3.16 (QGIS.org 2021).

Devido ao fato de Movimentos de Massa serem resultado da interação de fatores complexos, a predição da suscetibilidade não é uma tarefa simples. Nas últimas três décadas, o estudo do zoneamento da suscetibilidade a deslizamentos realizado a partir de SIG e dados de sensores remotos se intensificou e vários métodos e abordagens surgiram, de acordo com fatores como a natureza da área, escala de análise, viabilidade de dados, necessidade de detalhamento, dentre outros. Vários modelos e métodos foram desenvolvidos, tais como índice de frequência (Lee & Lee 2006, Meten et al. 2015), regressão logística (Bai et al. 2010, Timilsina et al. 2014), peso da evidência (Piacentini et al. 2012), abordagem determinística tridimensional (Xie et al. 2007, Jia et al. 2012), processo analítico hierárquico (Hasekiogullari & Ercanoglu 2012, Kayastha et al. 2013), rede neural artificial (Conforti et al. 2014), e máquina de vetores de suporte (Yao et al. 2008, Xu et al. 2012), combinação qualitativa de mapas (Kavzoglu et al. 2014, Lara & Sepúlveda 2010, Sarkar & Kanungo 2004, Gusmão Filho et al. 1992, Soares Júnior et al. 2017), dentre outros. É de extrema importância comparar os diferentes modelos e métodos (Bui et al. 2012), pois o método

mais adequado continua indefinido (Yan et al. 2019).

Neste trabalho foi adotada a técnica de combinação qualitativa de mapas, que utiliza um sistema de classificação baseado na importância relativa dos principais fatores que influenciam a instabilidade das vertentes. A definição dos fatores condicionantes e preparação dos mapas temáticos são etapas cruciais de qualquer modelo de mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa. Os fatores que definem a estabilidade das vertentes são principalmente geológicos, geomorfológicos, atividade antropogênica, uso do solo, terremotos e condições climáticas, divididos em dois grandes grupos: fatores condicionantes naturais e fatores de desencadeamento (Crozier 1986). Os fatores de desencadeamento tais como terremotos e padrão de chuvas, não foram considerados neste trabalho, devido não haverem registros de terremotos na região e o padrão de chuvas ser uniforme dentro do município (Fig. 3).

4. ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO NUMÉRICA

Foram gerados cinco mapas, um para cada fator condicionante de suscetibilidade a deslizamentos. Cada pixel de 30 x 30 metros dos mapas recebeu um Grau Numérico de 1 a 5, onde a suscetibilidade em 1 é considerada “Muito Baixa”, em 2 é “Baixa”, em 3 é “Média”, em 4 é “Alta” e em 5 é considerada “Muito Alta” (Tabela 1).

O Índice de Suscetibilidade (IS) foi gerado a partir da somatória do Grau Numérico destes mapas, multiplicado pelo peso atribuído a cada fator, conforme expresso na Equação 1.

$$IS = \sum_{i=1}^5 Ri . Pij$$

Onde: R_i é o Grau Numérico de Suscetibilidade do Fator Condicionante i ; P_{ij} representa o peso j atribuído ao Fator Condicionante i .

Os pesos considerados foram desenvolvidos com base nos fatores causais associados aos deslizamentos de terra levantados nos estudo

de cicatrizes e no conhecimento de trabalhos anteriores e foram: 40% para a Declividade; 10% para a Curvatura Vertical 20% para o

fator Litologia; 10% para a Densidade de Lineamentos; e 20% para o fator Uso do Solo.

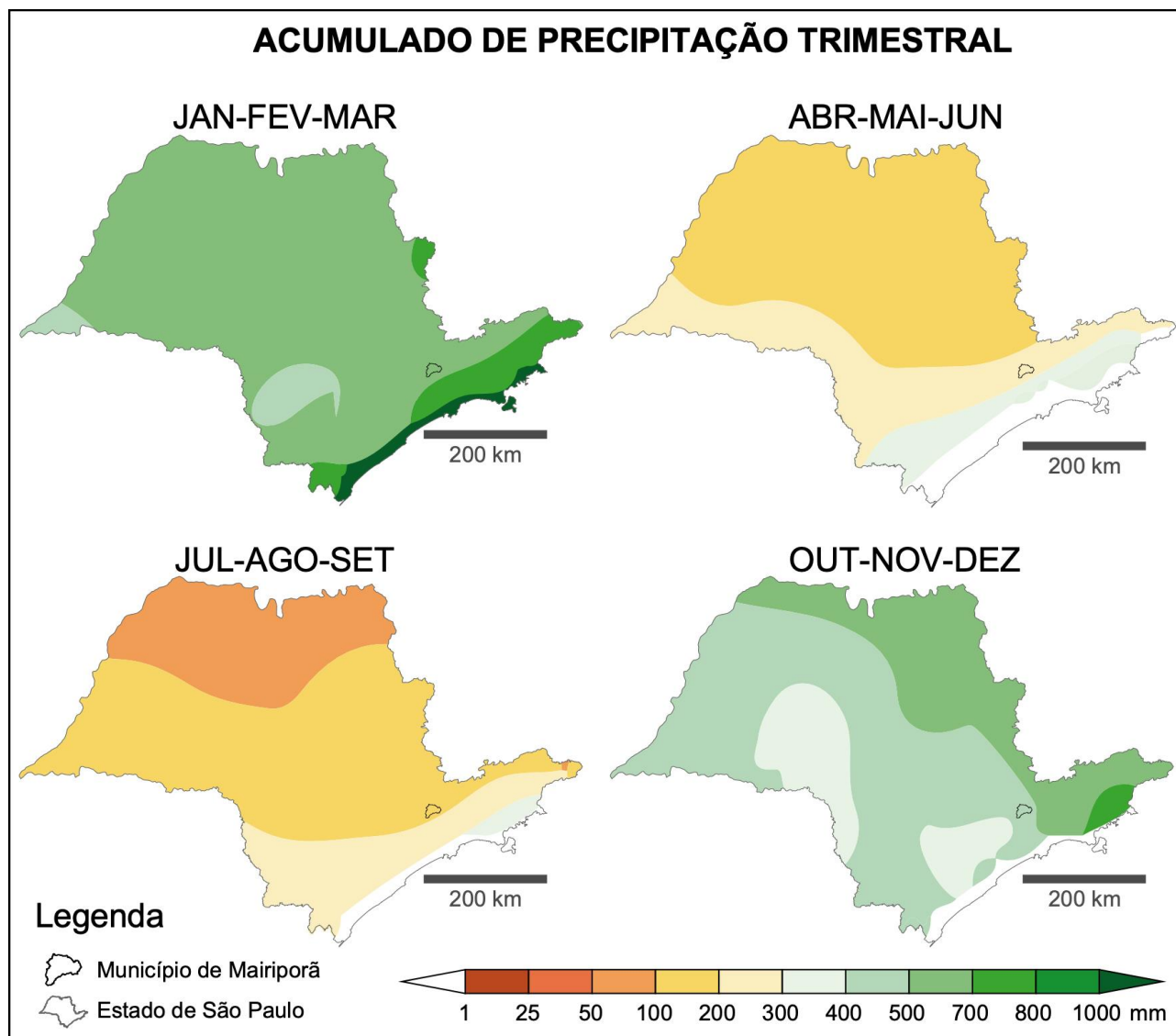


Figura 3. Mapas de chuva acumulada no Estado de São Paulo, com destaque para o Município de Mairiporã (Fonte: CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

5. MAPAS DOS FATORES CONDICIONANTES

O mapeamento foi realizado no limite máximo da resolução espacial das imagens (30 metros), na escala de 1:60.000; os mapas finais foram compilados como figuras na escala 1:200.000 e o detalhamento é apresentado a seguir.

5.1. Declividade

A Declividade é um dos aspectos mais importantes que define a estabilidade das vertentes. O Mapa de Declividade de Mairiporã (Fig. 4) foi derivado do Modelo Digital de Elevação (MDE) e representa a

distribuição espacial dos valores de declividade na área. Os valores foram classificados segundo EMBRAPA (1979), que consiste de 6 classes separadas por faixas calculadas em porcentagem, a saber: 0 a 3% (Plano), 3 a 8% (Suave Ondulado), 8 a 20% (Ondulado), 20 a 45% (Forte Ondulado), 45 a 75% (Montanhoso) e maior que 75% (Escarpado). Os dados processados mostram que existe o predomínio de áreas entre as classes Ondulado (31,2% da área total do município) e Forte Ondulado (55,2% da área total), enquanto as classes de menores valores (Plano e Suave Ondulado) e de valores

muito altos (Montanhoso e Escarpado) são menos frequentes (Tabela 2).

Tabela 1. Grau de Suscetibilidade e peso dos fatores condicionantes.

FATOR CONDICIONANTE	CLASSE	Grau de Suscetibilidade	Grau numérico
DECLIVIDADE (%)	0 a 3	Muito Baixo	1
	3 a 8	Baixo	2
	8 a 20	Moderado	3
	20 a 45	Alto	4
	45 a 75	Muito Alto	5
	>75	Muito Alto	5
CURVATURA	Convexo	Moderado	3
	Retilíneo	Baixo	2
	Côncavo	Alto	4
USO DO SOLO	Corpo D'água	<i>Não considerado</i>	-
	Vegetação Densa	Muito Baixo	1
	Vegetação Rasteira	Alto	4
	Solo Exposto	Muito Alto	5
	Área Urbanizada	Muito Baixo	1
LITOLOGIA	Aluviões	Muito Alto	5
	Argilas, areias e cascalhos (Formação São Paulo)	Alto	4
	Granitos, granodioritos, dioritos	Baixo	2
	Filitos e/ou metassiltitos	Muito Alto	5
	Rochas calcossilicatadas	Baixo	2
	Quartzitos	Moderado	3
	Anfibolitos (metadiabásio, metagabro)	Moderado	3
	Epidoto anfibolitos bandados	Moderado	3
	Micaxistos	Alto	4
	Migmatitos e gnaisses	Alto	4
DENSIDADE DE LINEAMENTOS (lineamentos/km ²)	0,69 a 1,63	Muito Baixo	1
	1,63 a 2,09	Baixo	2
	2,09 a 2,42	Moderado	3
	2,52 a 3,06	Alto	4
	3,06 a 4,35	Muito Alto	5

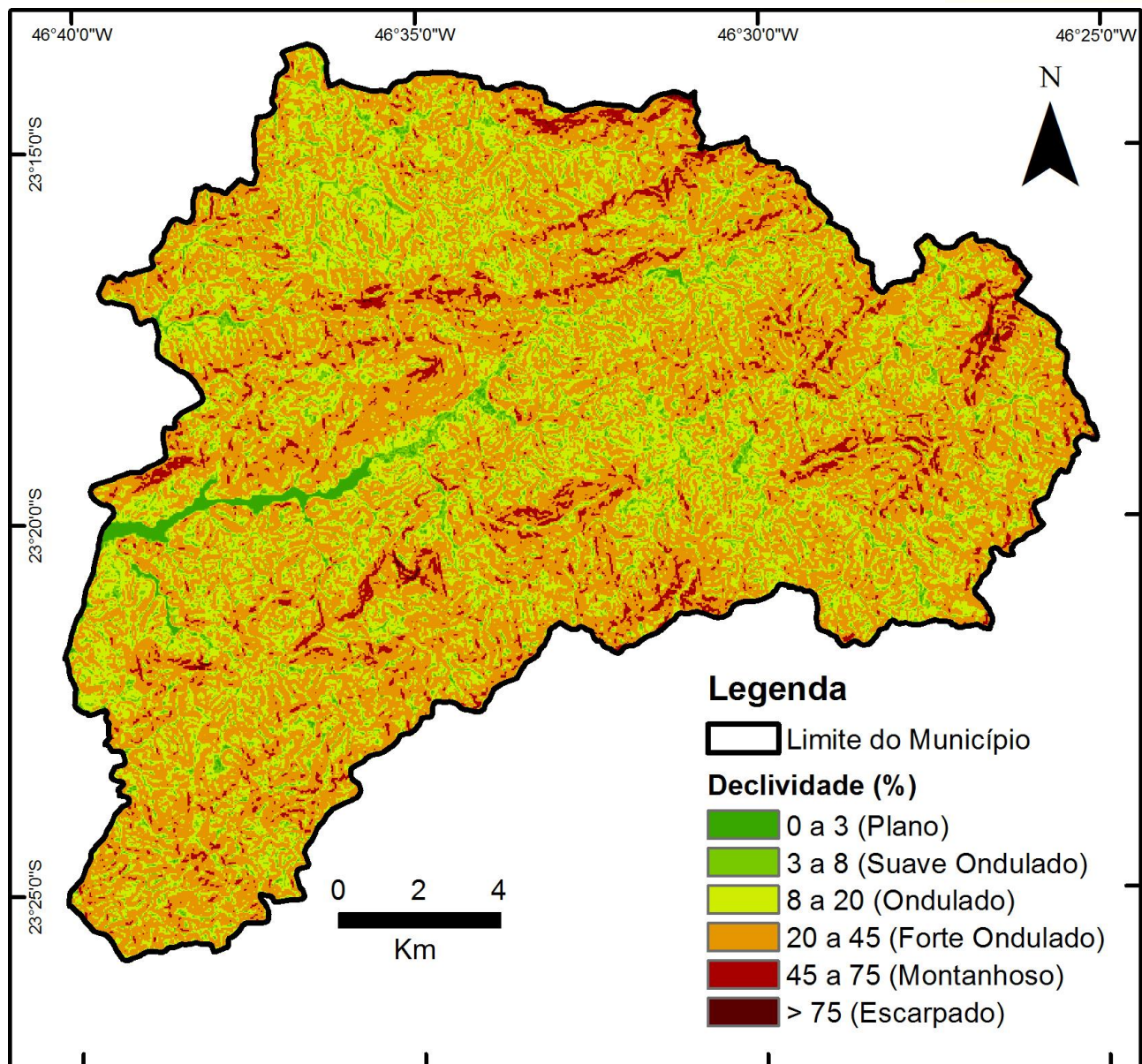


Figura 4. Mapa de classificação da declividade de acordo com EMBRAPA (1979).

Tabela 2. Área das classes do fator condicionante Declividade.

DECLIVIDADE (%)	Área (Km2)	% de Área
0 a 3	6.099	1,9
3 a 8	18.112	6,1
8 a 20	99.850	31,2
20 a 45	179.460	55,2
45 a 75	17.262	5,5
>75	275	0,1
TOTAL	321.058	100

5.2. Curvatura vertical

A Curvatura Vertical (ou Morfologia da Vertente) corresponde à característica côncava, convexa ou plana da vertente e é derivada do processamento do MDE (Fig. 5). Valores positivos de curvatura indicam que a superfície superior à célula calculada é convexa, e valores negativos indicam que a superfície superior à célula calculada é

côncava. Valores iguais a zero indicam que a superfície é plana (Oh & Lee 2010). Os dados numéricos classificados na área mostram uma distribuição equitativa entre morfologias convexas e côncavas (48,1 e 49,7%, respectivamente) e apenas 2,1% da área total do município apresenta Curvatura Plana (Tabela 3).

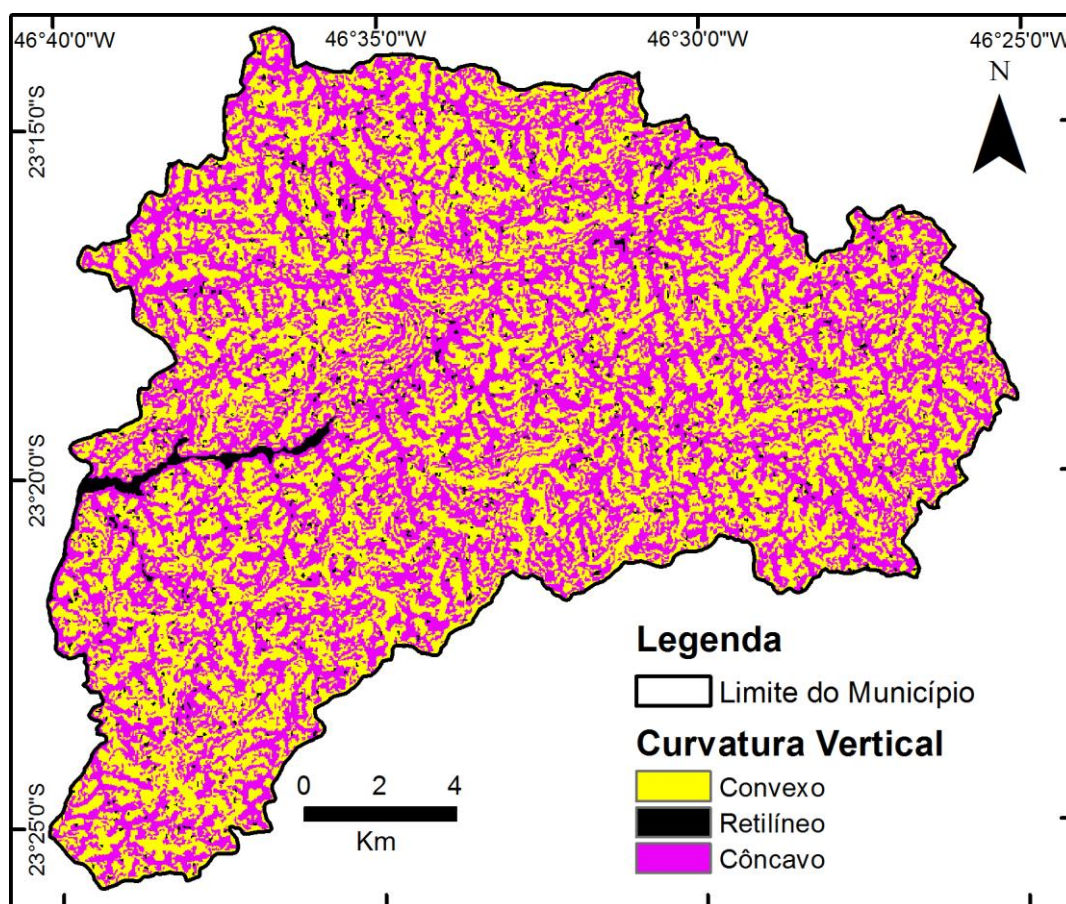


Figura 5. Mapa de Curvatura Vertical.

Tabela 3. Área das classes do fator condicionante Curvatura Vertical.

CURVATURA	Área (Km2)	% de Área
Convexo	154.537	48,1
Retilíneo	6.903	2,1
Côncavo	159.618	49,7
TOTAL	321.058	100

5.3. Litologia

O Mapa litológico foi derivado da Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo na escala 1:100.000 de Coutinho (1980) (Fig. 6). Existem 11 litotipos mapeados na área, desde rochas metamórficas de alto, médio e baixo graus, rochas ígneas intrusivas de composição félsica e intermediária, a rochas sedimentares não consolidadas, além de depósitos recentes (aluviões). Em área exposta, há o predomínio dos litotipos granitos e granodioritos (31,1% da área do

município), filitos e/ou metassiltitos (22,2% da área do município), micaxistos (22,3% da área do município) e migmatitos e gnaisses (16,3% da área do município). Todas as áreas demais litologias somadas (aluviões, argilas, areias e cascalhos da Formação São Paulo, dioritos a quartzo dioritos, rochas calcossilicatadas, quartzitos, anfibolitos, epidoto anfibolitos, micaxistos e migmatitos/gnaisses) perfazem 8,1% do total do município (Tabela 4).

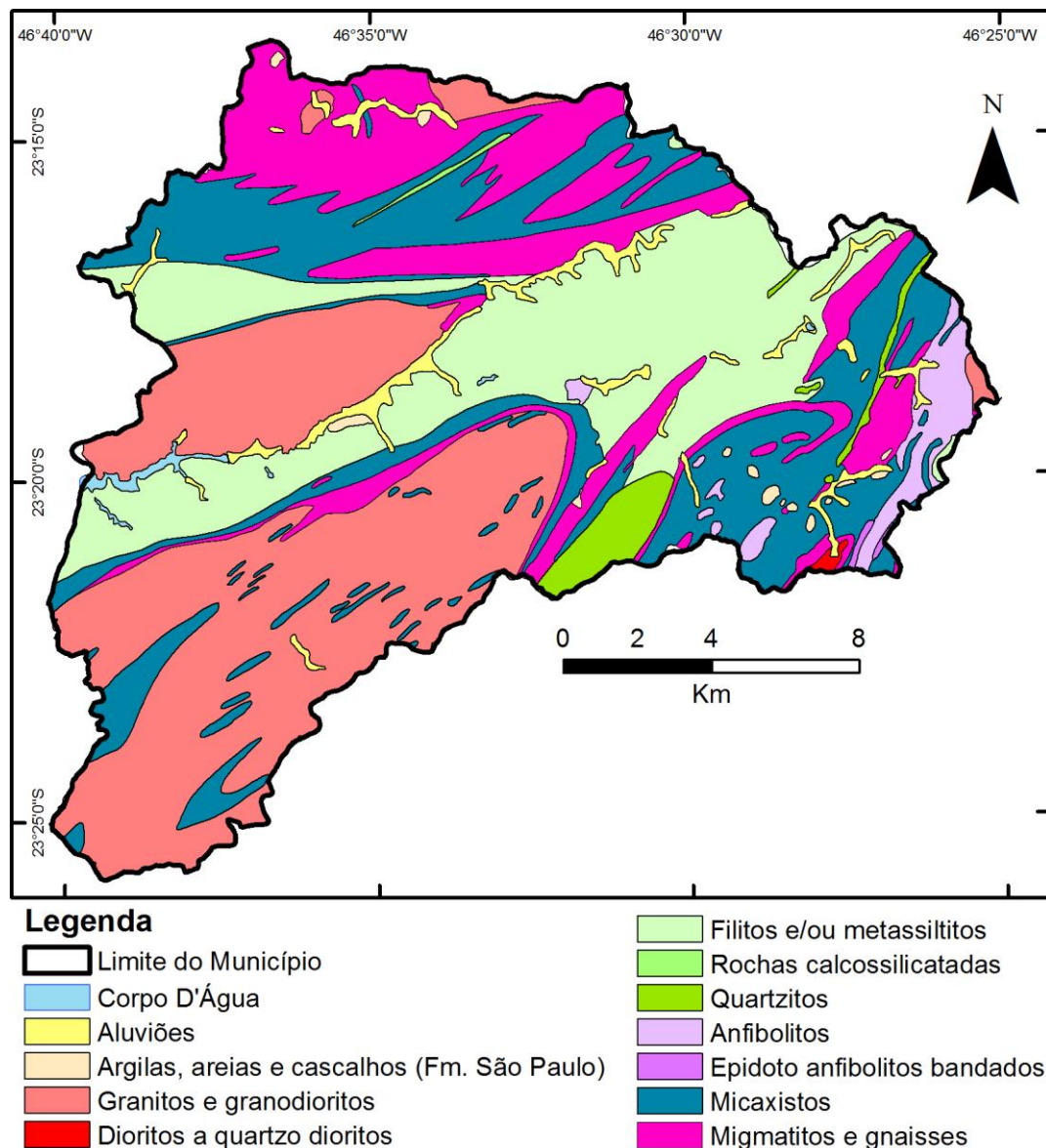


Figura 6. Mapa de Litologia (Coutinho 1980).

Tabela 4. Área das classes do fator condicionante Litologia.

CLASSE	Área (Km ²)	% de Área
Aluviões	8.968	2,8
Argilas, areias e cascalhos (Formação São Paulo)	1.302	0,4
Granitos e granodioritos	99.094	31,1
Dioritos a quartzo dioritos	454	0,1
Filitos e/ou metassiltitos	72.488	22,2
Rochas calcossilicatadas	534	0,2
Quartzitos	6.516	2,1
Anfibolitos (metadiabásio, metagabro)	7.570	2,4
Epidoto anfibolitos bandados	369	0,1
Micaxistos	71.793	22,3
Migmatitos e gnaisses	51.971	16,3
TOTAL	321.058	100,0

5.4. Lineamentos Estruturais

Os elementos estruturais como falhas, dobras, juntas, etc. tornam os materiais mais suscetíveis ao deslizamento por promoverem separações e consequente fraqueza nos materiais. Porém não há um consenso definido na literatura a respeito da relação entre distância das estruturas e fraqueza impetrada (Ercanoglu & Gökceoglu 2004). Portanto, diferentes trabalhos têm apresentado diferentes distâncias no que diz respeito à influência dos lineamentos em relação à suscetibilidade (Choubey & Litoria 1990, Van Westen & Bonilla 1990, Pachauri & Pant 1992, Maharaj 1993, Luzi & Pergalani 1999, Donati & Turrini 2002, dentre outros). Na área da Serra do Mar, Lin et al. (2016) observaram que a frequência dos escorregamentos se apresenta diretamente proporcional à proximidade com os lineamentos. Neste estudo foi considerada densidade de lineamentos como fator de proximidade, considerando que quanto maior a densidade, maior a suscetibilidade a deslizamentos.

Os lineamentos de área, representando fraturas, falhas geológicas, descontinuidades

nas rochas e zonas de cisalhamento, foram interpretados através de cristas alinhadas, fundos de vale e drenagens sobre mapas de Relevo Sombreado gerados a partir do MDE, com iluminações de azimute 0º, 45º, 90º e 315º (Fig. 7).

Na região município de Mairiporã, há predominância de lineamentos de direção NE-SW (N35E, N60E) e secundariamente direções E-W e NW-SE (Fig. 8), sendo a primeira direção associada ao quadro dúctil das estruturas regionais da Província Mantiqueira. As faixas de lineamentos de direção E-W são associadas ao quadro neotectônico da região Sudeste do Brasil (Hasui 1990, Hasui et al. 2000), que promoveram soerguimentos e abatimentos localizados a partir de um evento tectônico transcorrente de direção E-W, ligado à movimentação da Placa Sul-Americana, com partição da deformação em domínios morfotectônicos eminentemente direcionais, transpressivos e transtensivos.

O mapa de Densidade de Lineamentos resultante desta interpretação foi classificado em 5 categorias: Muito Baixo: 0,69 a 1,63 lineamento/km², Baixo: 1,63 a 2,09

lineamentos/km², Moderado: 2,09 a 2,42
lineamentos/km², Alto: 2,42 a 3,06

lineamentos/km², e Muito Alto: 3,06 a 4,35
lineamentos/km² (Fig. 9) (Tabelas 1 e 5).

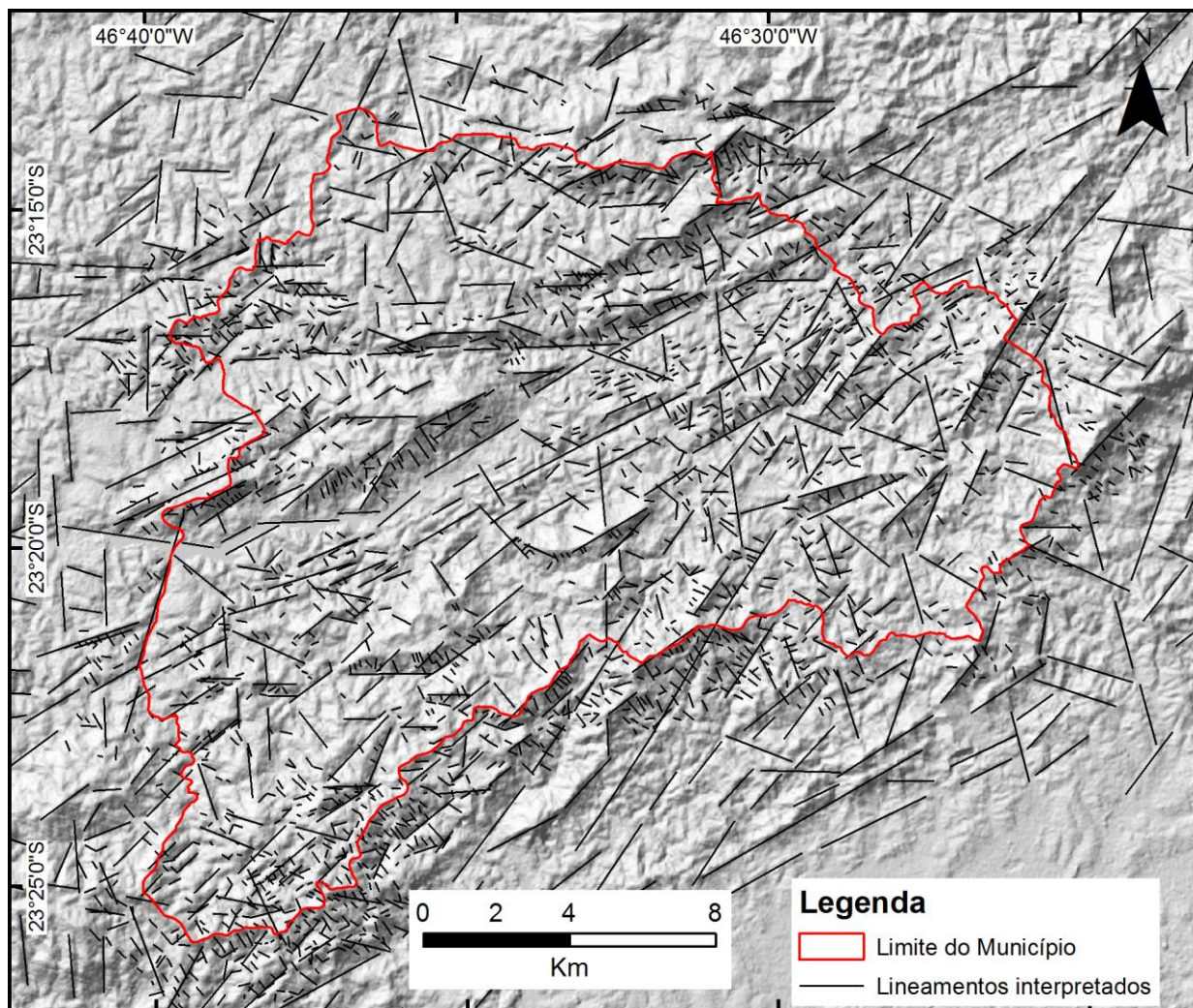


Figura 7. Mapa de lineamentos interpretados sobre o relevo sombreado.

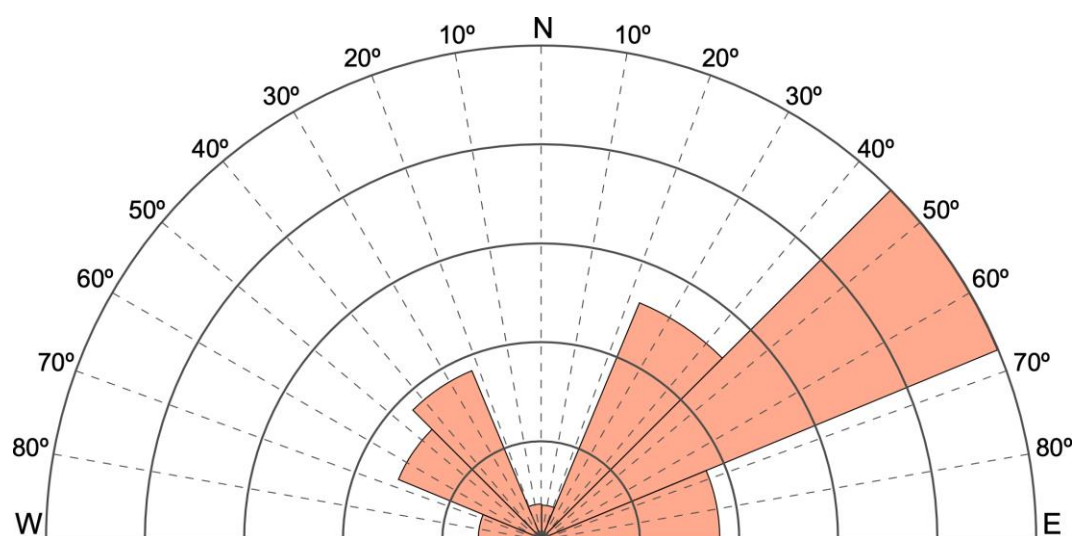


Figura 8. Diagrama de Roseta (frequência) dos lineamentos.

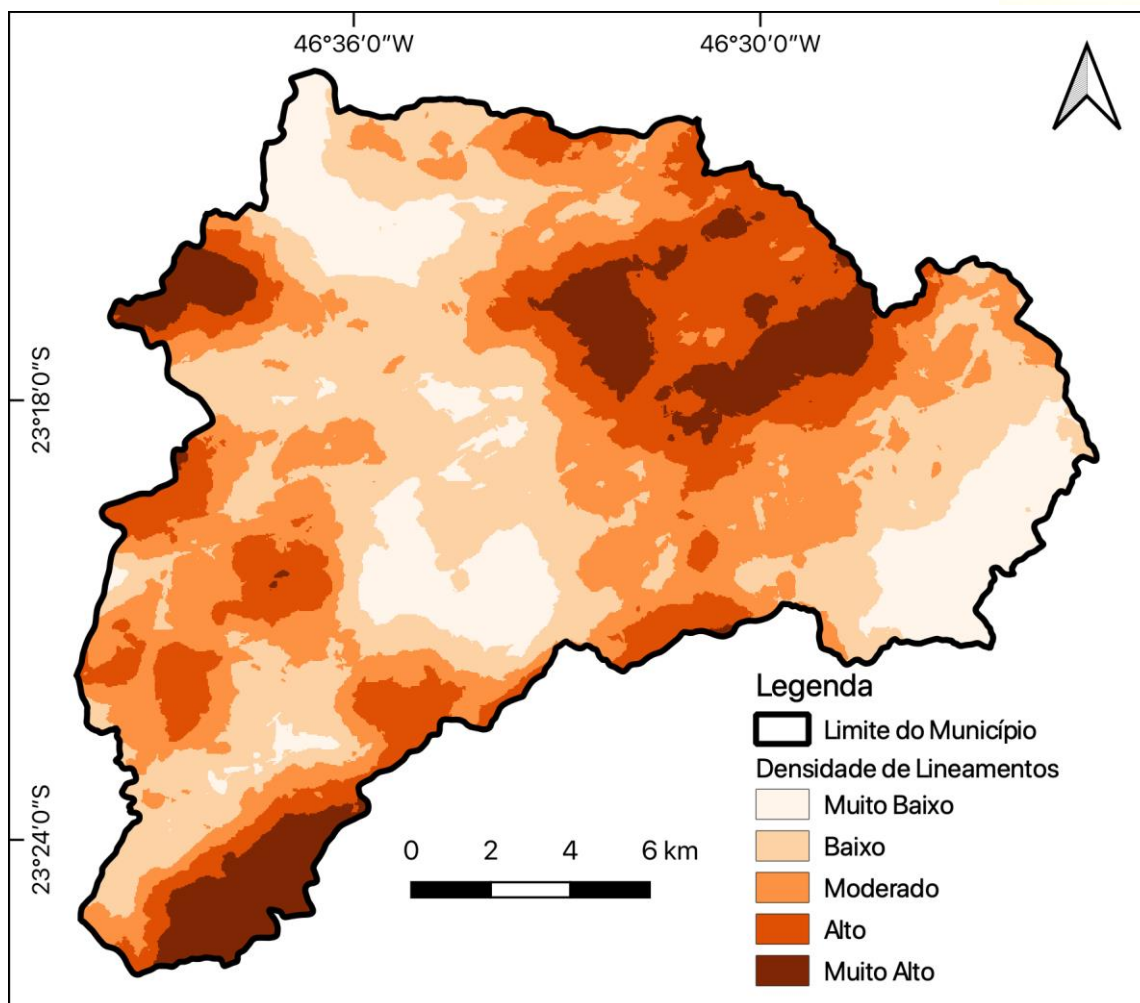


Figura 9. Mapa de Densidade de Lineamentos.

Tabela 5. Área das classes do fator condicionante Densidade de Lineamentos.

LINEAMENTOS/Km2	Área (Km2)	% de Área
0,69 a 1,63	43.183	13,5
1,63 a 2,09	100.505	31,3
2,09 a 2,42	85.254	26,6
2,52 a 3,06	61.780	19,1
3,06 a 4,35	30.336	9,5
TOTAL	321.058	100

5.5. Uso e ocupação do solo

O mapa de Uso do Solo foi realizado a partir da Classificação

Supervisionada de uma cena do Satélite Landsat 8, a partir da interpretação visual das classes existentes na área que são: Corpo D'água, Vegetação Densa, Vegetação

Rasteira, Solo Exposto e Área Urbanizada (Fig. 10).

A classe "Corpo D'Água" é representada pela Represa Paiva Castro, pertencente ao sistema de abastecimento Cantareira. A classe "Vegetação Densa" corresponde a florestas primárias e secundárias de Mata Atlântica. A

classe 'Vegetação Rasteira' é representada por áreas desmatadas em recuperação, áreas de cultivo, árvores isoladas, gramíneas e arbustos de pequeno porte. A classe 'Solo Exposto' representa áreas com ausência total de vegetação (Ex.: extração de minérios ou cortes do talude, estradas não pavimentadas, zonas destinadas a loteamentos imobiliários).

A classe "Área Urbana", é caracterizada por sua vez por construções civis de todos níveis, desde pavimentação de ruas a edificações residenciais e comerciais. As áreas das classes estão expressas na Tabela 6.

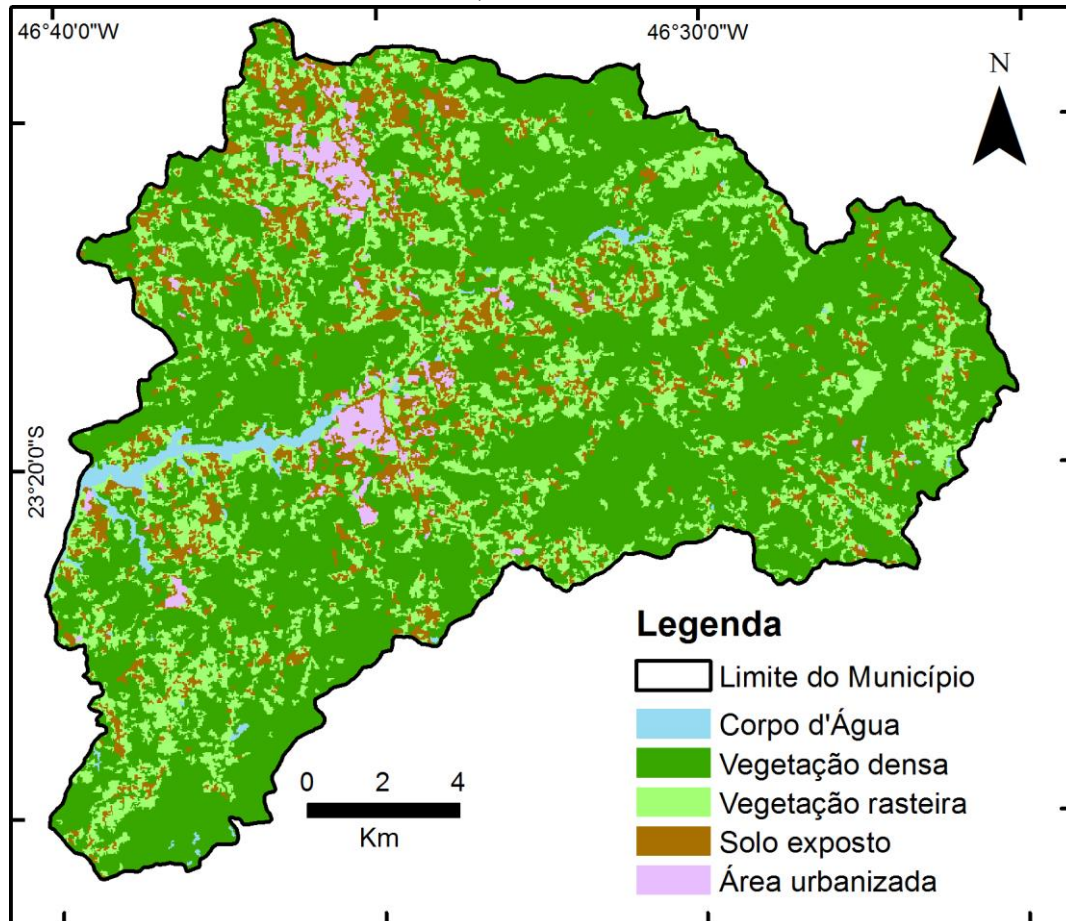


Figura 10. Mapa de e Ocupação Uso do Solo.

Tabela 6. Área das classes do fator condicionante Uso e Ocupação do Solo.

CLASSE	Área (Km ²)	% de Área
Água	4.996	1,6
Vegetação Densa	193.919	60,4
Vegetação Rasteira	76.498	23,8
Solo Exposto	37.786	11,8
Área Urbana	7.859	2,4
TOTAL	321.058	100,0

6. MAPA DE SUSCETIBILIDADE

Segundo Bitar et al. (1992), a suscetibilidade de um determinado processo geológico ocorrer, como o Movimento Gravitacional de Massa, é expressa em classes de possibilidade de ocorrência deste processo.

O Índice de Suscetibilidade (IS) obtido variou de 1,2 até 4,9 em uma escala que vai de 1,0 a 5,0. Para realizar a classificação dos intervalos, foi criado um histograma de frequência do IS (Fig. 11). A classificação dos intervalos pode ser realizada a partir das mudanças abruptas nos valores, como marcações dos limites entre as classes (Davis 1986), pelas quebras naturais da curva do gráfico (Zêzere et al. 2004), ou pela interpretação do executor a partir das proporções de ocorrências esperadas em cada classe, como em Blahut et al. (2010) e Ghosh et al. (2011). As variações dos gradientes do gráfico foram definidas entre os intervalos 1,2 a 2,47, classificada como “Muito Baixo”; 2,47 a 2,99, considerada como

“Baixo”; de 2,99 a 3,53; mapeada como “Moderado” e; 3,53 a 4,9 classificada como “Alto”.

O mapa gerado a partir do Índice de Suscetibilidade (Fig. 12) foi classificado em três categorias: S1: Estável (classes “Muito Baixo” e “Baixo”), S2: Pouco Estável (classe “Moderado”) e S3: Instável (classe “Alto”), de acordo com a classificação de Crozier (1986), onde: Estável são as vertentes onde a estabilidade é suficientemente alta para suportar todas as forças atuantes; Pouco Estável são as encostas que irão desabar em algum momento em resposta às forças desestabilizadoras, ao atingirem certo nível de atividade e; Instável são aquelas em que forças que causam desestabilidade produzem movimento contínuo ou intermitente. Cerca de 50% da área do município se encontra dentro da classe S1: Estável, enquanto que 34,4% foi mapeado como S2: Pouco Estável e 15,8% como S3: Instável (Tabela 7).

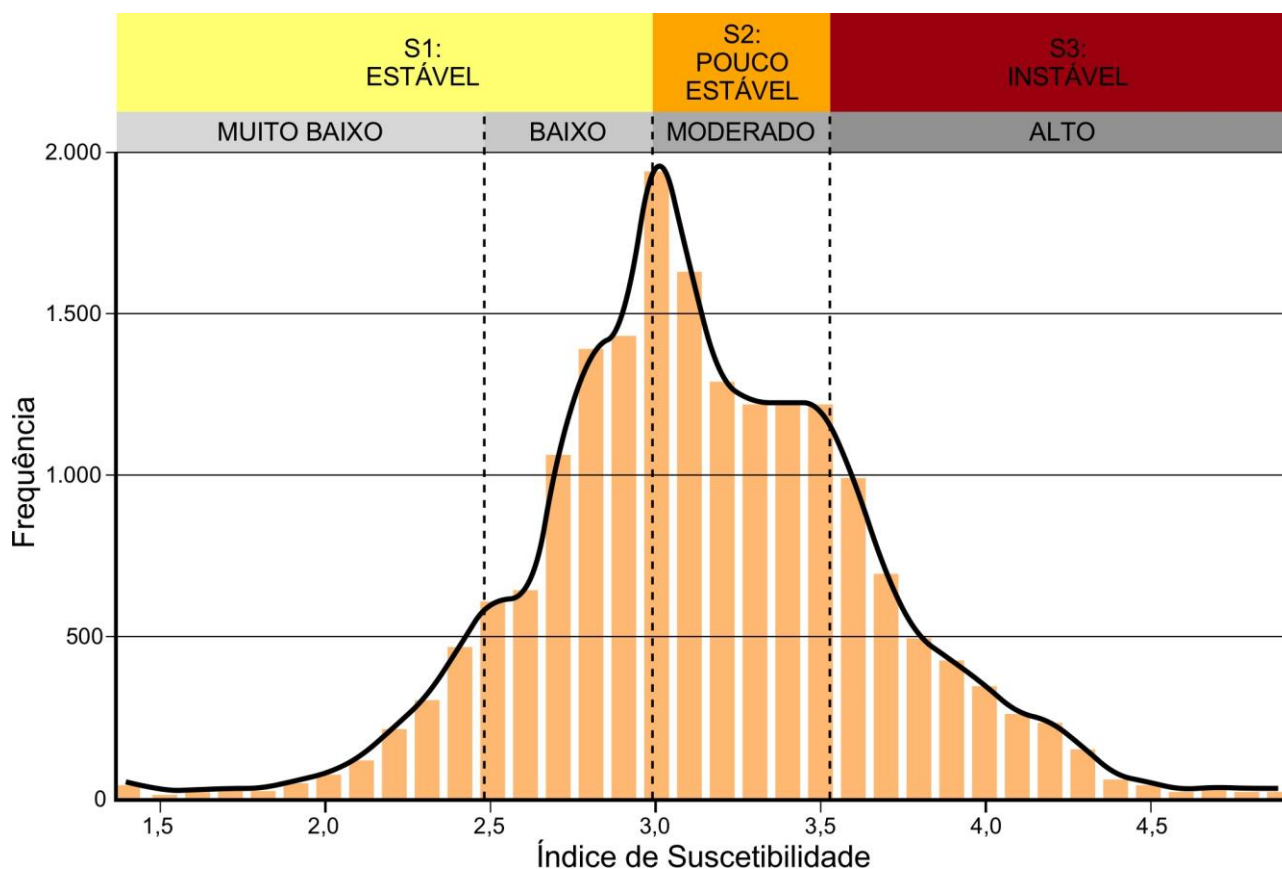


Figura 11. Histograma de frequência do Índice de Suscetibilidade e classificação dos intervalos.

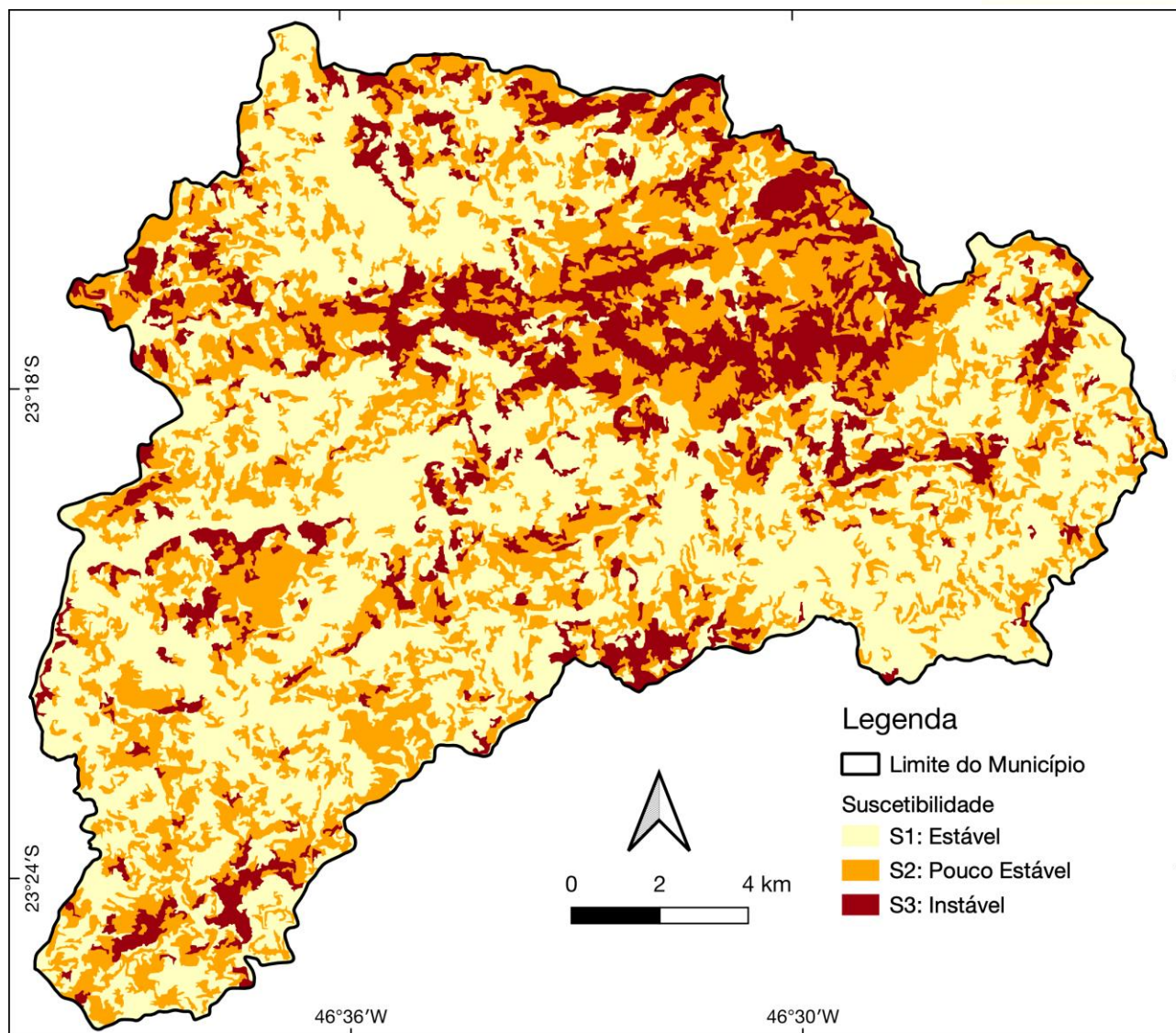


Figura 12. Mapa de Suscetibilidade do Município de Mairiporã.

Tabela 7. Área das classes do Mapa de Suscetibilidade.

CLASSE	Área (Km ²)	% de Área
S1: Estável	159.816	49,8
S2: Pouco Estável	110.516	34,4
S3: Instável	50.726	15,8
TOTAL	321.058	100

7. VALIDAÇÃO DO MAPA

A validação dos resultados é a etapa mais importante na modelagem de previsões, sem a qual os resultados se tornariam completamente inúteis sob um ponto de vista científico (Chung & Fabbri 2003). Em estudos

de mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, a validação geralmente é realizada através da comparação com dados e mapas pré-existentes, como fotografias, relatórios de desastres e localização de cicatrizes (Begueria

2006, Huabin et al. 2005). Para este fim, duas comparações foram realizadas: o cruzamento dos dados de cicatrizes de deslizamento no município com o Mapa de Suscetibilidade gerado neste trabalho e a comparação com a Carta de Suscetibilidade do IPT (2015).

8. CICATRIZES DE DESLIZAMENTO

Para determinar a qualidade do Mapa de Suscetibilidade é importante computar a frequência de cicatrizes em cada uma das classes (Sarkar, 1996). Foram mapeadas 21 cicatrizes, 61 depósitos e 20 campos de blocos provenientes de escorregamentos na área do Município, cuja distribuição está expressa na Fig. 13.

A frequência destas feições, calculada por área das classes de Suscetibilidade está

resumida na Tabela 8. Os dados mostram que 58,5% dos deslizamentos se propagaram em áreas mapeadas como “S3: Instável”, enquanto que 36,9% ocorreram com a classe “S2: Pouco Estável”; e apenas 4,6% na classe mapeada como “S1: Estável”. Os depósitos provenientes de deslizamentos se distribuíram da seguinte forma: 67% ocorreram na classe “S3: Instável”, 30,8% na classe “S2: Pouco Estável”; e apenas 2,2% na classe “S1: Estável”. Os campos de blocos provenientes de antigos deslizamentos de terra se comportaram da seguinte forma: 76,3% em áreas mapeada como “S3: Instável”, 12,7% na classe “S2: Pouco Estável”; e 11% ocorreram na classe mapeada como “S1: Estável”.

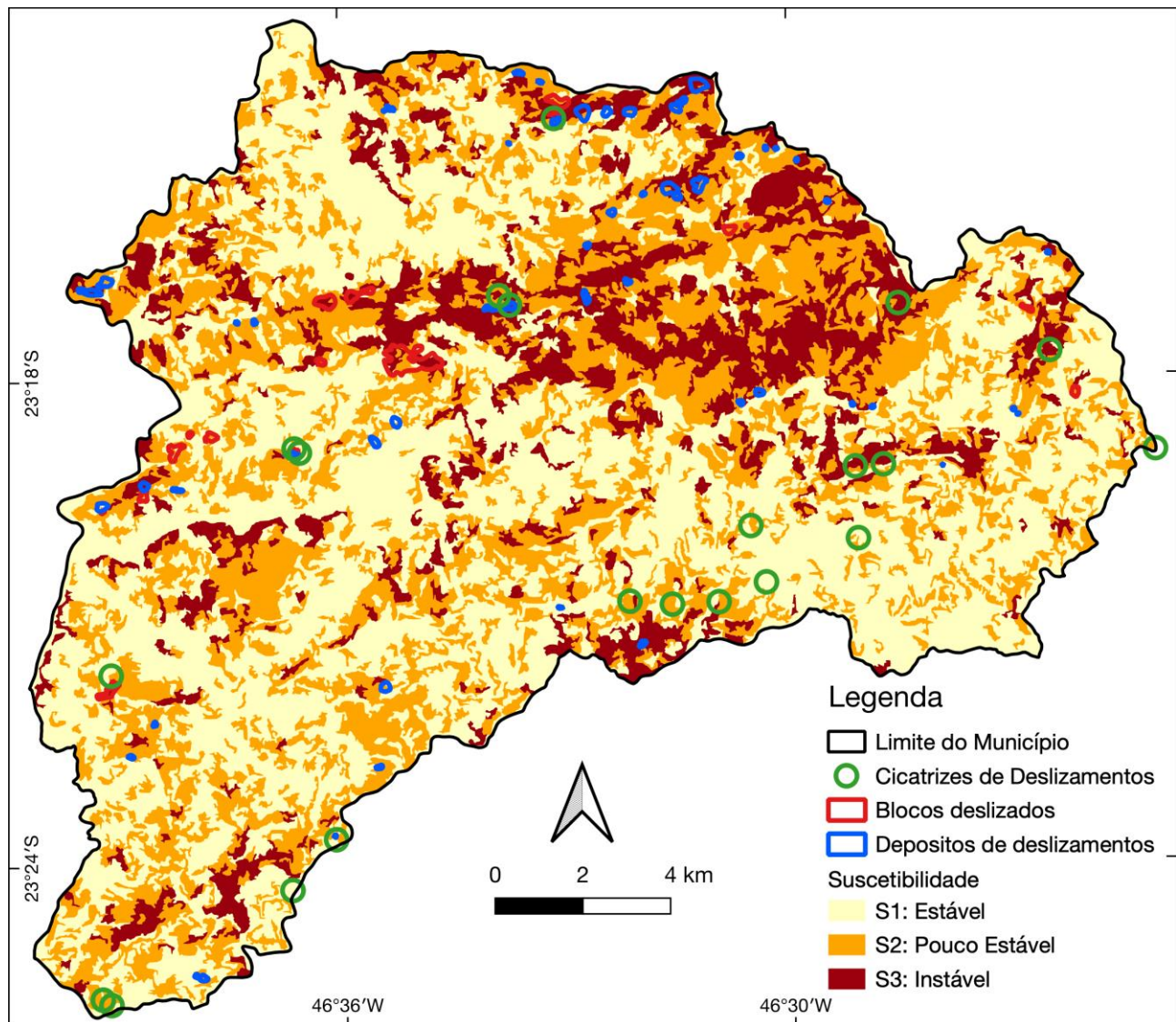


Figura 13. Mapa de Cicatrizes, Depósitos e Blocos provenientes de deslizamento, relacionado com as classes de Suscetibilidade mapeadas.

Tabela 8. Frequência e área das Cicatrizes, Depósitos e Campos de Blocos sobre as classes do Mapa de Suscetibilidade.

CLASSE	Área (Km ²)	Cicatrizes		Depósitos		Campos de blocos	
		Frequência	Cicatrizes/ % de Área	Frequência	Depósitos/ % Área	Frequência	Campos de Blocos/% Área
S1: Estável	159.816	2	4,6	3	2,2	5	11,0
S2: Pouco Estável	110.516	11	36,9	29	30,8	4	12,7
S3: Instável	50.726	8	58,5	29	67,0	11	76,3
TOTAL	321.058	21	100,0	61	100,0	20	100,0

Há uma forte correlação entre as classes de suscetibilidade mapeadas e a ocorrência de eventos de movimentos de massa no município (cicatrizes, depósitos e campos de blocos) portanto, pode-se inferir que as zonas de suscetibilidade a movimentos de massa mapeadas pelo método refletem as condições de instabilidade existentes.

9. COMPARAÇÃO COM A CARTA GERADA PELO IPT/CPRM

Os mapas de Suscetibilidade gerado neste trabalho e o do IPT (2015) foram colocados

lado a lado para comparação visual (Fig. 14) e também foi realizado o cálculo de áreas das classes mapeadas nos dois mapas.

Comparando a proporção de área dos dois mapas, a classe S1: Estável apresentou 49,8% no Mapa de Suscetibilidade deste trabalho e 56% no mapeamento do IPT (2015); a classe S2: Pouco Estável abrangeu 34,4% da área total do município no mapa aqui apresentado e 33,4% no mapa do IPT/CPRM; por fim, a classe S3: Instável ocupou 15,8% de área no Mapa de Suscetibilidade realizado por este método, contra 10,5% do IPT (2015) (Tabela 9).

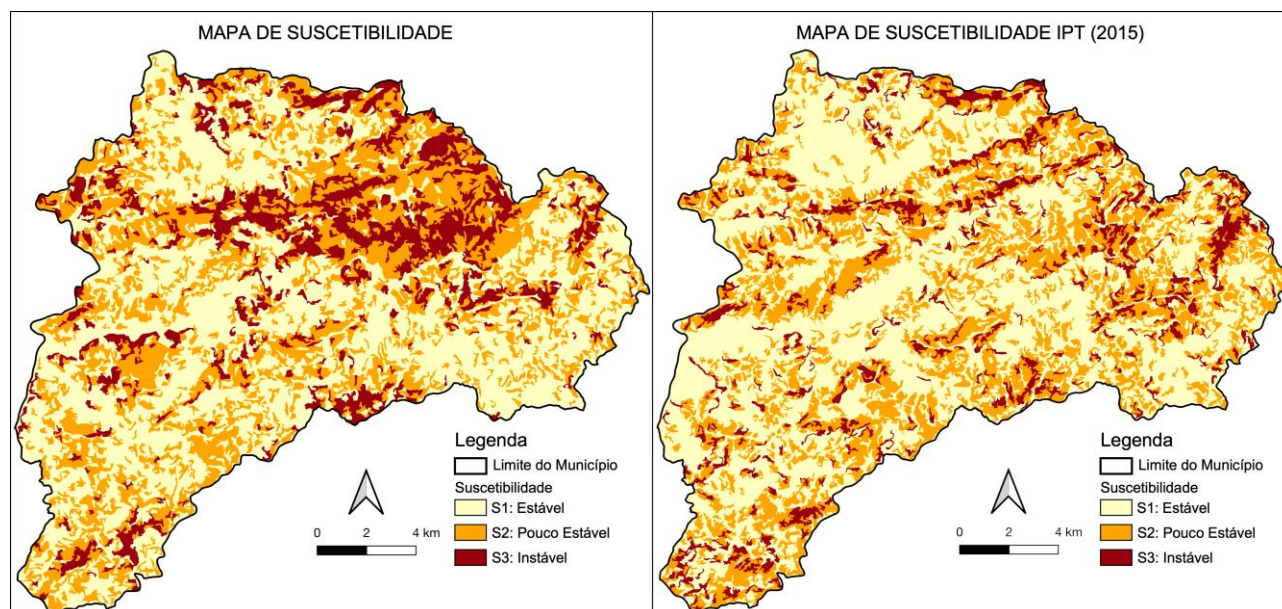
**Figura 14.** Comparação do Mapa de Suscetibilidade gerado neste trabalho com o Mapa de Suscetibilidade do IPT (2015).

Tabela 9. Áreas das classes dos Mapas de Suscetibilidade deste trabalho e do IPT (2015).

CLASSE	Mapa de Suscetibilidade deste trabalho		Mapa de Suscetibilidade IPT (2014)	
	Área em km ²	% de Área	Área em km ²	% de Área
S1: Estável	159.816	49,8	179.929	56,0
S2: Pouco Estável	110.516	34,4	107.326	33,4
S3: Instável	50.726	15,8	33.767	10,5
TOTAL	321.058	100,0	321.022	100,0

10. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O método utilizado para realizar o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa aqui apresentado envolveu a geração de mapas temáticos dos fatores condicionantes a estes eventos, o desenvolvimento e aplicação de um sistema de quantificação numérica e pesos, integração dos dados através de calculadora de pixels e a validação dos resultados. Para este fim, dados geológicos, geomorfológicos e ambientais foram integrados em ambiente de SIG, cuja aplicação se mostrou extremamente eficaz e precisa.

A escolha dos fatores condicionantes, o sistema de classificação numérica e os pesos aplicados se mostraram efetivos, porém, devido à natureza complexa dos movimentos de massa, a aplicação deste se restringe prioritariamente a regiões de clima sazonal úmido e seco de áreas como as serras do Mar e da Mantiqueira, região da aplicação do método. Regiões com morfologia, geologia e clima diferentes necessitam de testes para confirmar a viabilidade do método.

É importante ressaltar que este é um estudo piloto desenvolvido em apenas um município do Estado de São Paulo, em região serrana; mais estudos semelhantes precisam ser aplicados para a confirmação dos resultados em nível regional e nacional. Porém, muitos outros municípios em condições geológicas e geomorfológicas semelhantes podem se beneficiar do mesmo banco de dados e métodos para gerar as suas próprias cartas de suscetibilidade a movimentos de massa.

A utilização de dados e programas computacionais livres ou de domínio público, e de baixa a média resoluções (30 metros) se mostrou perfeitamente suficiente para a realização deste tipo de mapeamento em escala de semi detalhe (1:60.000), cujos resultados não se mostraram muito diferentes daqueles mapeamentos realizados utilizando fotografias aéreas ou imagens de satélite de alta resolução, quando apresentados em escala semelhante (p.ex.: carta de suscetibilidade do IPT na escala 1:25.000). A vantagem desta metodologia é a disponibilidade praticamente imediata do banco de dados de imagens, pois as imagens Landsat 8 são adquiridas a cada 16 dias na mesma região e estão disponíveis em até 24 horas para acesso gratuito.

O resultado final obtido indica que os padrões espaciais de distribuição das classes de suscetibilidade estão de acordo com o esperado, como: (1) áreas de baixa e média declividades (0 a 20%), com florestas preservadas, sustentadas por rochas ígneas não alteradas, distantes de lineamentos, apresentaram baixa suscetibilidade a movimentos de massa; enquanto que (2) áreas de alta declividade (>20%), formadas por rochas metamórficas (filitos, xistos), áreas sem vegetação (solo exposto/vegetação rasteira) e mais próximas a estruturas geológicas (lineamentos) apresentaram grau de suscetibilidade alto.

A validação do mapeamento realizado, quando cruzado com a incidência de cicatrizes de deslizamentos, ou comparado com mapeamentos anteriores (que utilizaram

dados de alta resolução) mostrou que a metodologia apresentada se mostrou satisfatória e relativamente rápida para mapeamentos de deslizamentos em municípios da Serras da Mantiqueira.

É importante ressaltar que devido à natureza dinâmica das condições ambientais na região, principalmente em áreas de elevado índice de intervenção humana, é necessária a atualização periódica deste tipo de mapeamento.

Cabe ao Poder Público controlar a implantação de ocupações urbanas e impedir sua instalação em áreas de alto risco, bem como de remover e realocar populações já instaladas. A carta aqui produzida oferece meios de se observar a vulnerabilidade a eventos geológicos em locais já consolidados, de modo a levar o município a estudar sobre realocação de moradias, reduzindo consideravelmente riscos de danos à população.

Trabalhos de coleta de dados e mapeamentos de campo são procedimentos demorados, que envolvem uma equipe especializada e grande investimento humano e monetário. Com o uso de geotecnologias, estudos podem ser realizados com maior agilidade para acompanhamento de locais propensos a atividades geológicas intensas ou evolução de uma região ao longo de um determinado período. Assim, o uso de Geoprocessamento para estudo de riscos geológicos oferece identificação rápida de áreas propensas a eventos de movimentos de massa, permitindo a aplicação dos recursos humanos e monetários em áreas específicas.

Devido à urgência do Brasil em realizar mapeamentos desta natureza periodicamente, este método se provou robusto e de alta capacidade de replicação por técnicos de prefeituras e Defesa Civil de forma gratuita (com apenas a necessidade de um computador) e rápida, promovendo auxílio fundamental para o planejamento urbano e territorial.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F. F. M. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM-DGM. 36p. (Boletim 241).
- ALMEIDA F. F. M., HASUI Y. 1984. O pré-cambriano do Brasil. São Paulo: Edgard Blücher, 378p.
- AUGUSTO FILHO O. 2001. Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba, SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP), Rio Claro. 196p.
- BAI S. B., JIAN W., ZHOU PG, HOU SS, XU SN. 2010. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China. *Geomorphology*. v. 115:23–31.
- BATES R.L., JACKSON J.A. 1987. Glossary of Geology. 3rd Edition, American Geological Institute, Alexandria, 788 p.
- BEGUERIA, S. 2006. Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management, *Natural Hazards*, 37:315– 329.
- BITAR O.Y., CERRI L.E.S., NAKAZAWA V.A. 1992. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: Simposio Latino Americano Sobre Riesgo Geológico Urbano, 2, Pereira, Colômbia, Anais... 35-41p.
- BLAHUT J, HORTON P., STERLACCHINI S., JABOYEDOFF M. 2010. Debris flow hazard modelling on medium scale: Valtellina di Tirano, Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10:2379–2390.
- BRASIL. 2012. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012. Disponível em:

<<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12608-10-abril-2012-612681-publicacaooriginal-135740-pl.html>>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

- BUI D.T., PRADHAN B., LOFMAN O., REVHAUG I., DICK O.B. 2012. Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh province of Vietnam: a comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks. *Geomorphology*. 171–172:12–29.
- CHOUBEY, V.D., LITORIA, P.K. 1990. Landslide hazard zonation in the Garhwal Himalaya, a terrain evaluation approach. 6th IAEG Congress, vol. 1. Balkema, Rotterdam, 65–72p.
- CHUNG C.J.F., FABBRI A.G. 2003. Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, v. 30, n.3:451-472.
- CONFORTI M., PASCALE S., ROBUSTELLI G., SDAO F. 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy). *Catena*. 113:236–250.
- COUTINHO, J.M.V. 1980. Carta geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo. EMPLASA, São Paulo. 2 folhas, mapa geológico, escala 1:100.000.
- CROZIER M.J. 1986. Landslides Causes, consequences and environment. Croom Helm, London, 252 p.
- DAVIS J.C. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons, New York, N.Y., 646p.
- DONATI L., TURRINI M.C. 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina, Perugia, Italy). *Engineering Geology*, 63:277–289.

- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro. 83p.
- ERCANOGLU M., GOKCEOGLU C. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75, Issues 3-4:229-250.
- FERNANDES N. F., AMARAL C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand, Rio de Janeiro. 123-194p.
- FERNANDES N. F., GUIMARÃES R. F., GOMES R.A.T., VIEIRA B.C., MONTGOMERY D. R., GREENBERG H. 2001. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, UGB, 2001. Vol. 2, Nº 1. p 51-71.
- GIMENEZ FILHO A., JANASI V.A. CAMPANHA G.A.C., TEIXEIRA W., TREZOLI JUNIOR L.E. 2000. U-Pb dating and Rb-Sr isotope geochemistry of the eastern portion of the Três Córregos Batholit, Ribeira Fold Belt, São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1):45-50.
- GHOSH S., CARRANZA E.J.M., VAN WESTEN C.J., JETTEN V.G., BHATTACHARYA D.N. 2011. Selecting and weighting spatial predictors for empirical modeling of landslide susceptibility in the Darjeeling Himalayas (India). *Geomorphology*, v. 131, n.1:35-56.
- GUERRA A. J. T., GONÇALVES L.F.H., LOPES P.B.M. 2007. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis nas últimas décadas - RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.8, n.1, p.35-43.
- GUSMÃO FILHO J.A., MELO L.V., ALHEIROS M.M. 1992. Estudo das Encostas de Jabotão dos Guararapes, PE. Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. Anais... ABMS-ABGE-ISSMGE, v 1, p.191-209.
- HASEKIOGULLARI G.D., ERCANOGLU M. 2012. A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). *Natural Hazards*. 63:1157-1179.
- HASUI, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SE DO BRASIL, 1, Belo Horizonte. Anais..., Belo Horizonte: SBG/Núcleo Minas Gerais: v.1:1-31.
- HASUI Y., BORGES M.S., MORALES N., COSTA J.B.S., BEMERGUY R.L., JIMENEZ-RUEDA J.R. 2000. Intraplate neotectonics in South-East Brazil. In: International Geological Congress, 31, Abstract Volume... Rio de Janeiro: IUGS., CD-ROM.
- HASUI Y. 2012. Sistema orogênico Mantiqueira. In: HASUI, Y., CARNEIRO, C. D. R., ALMEIDA, F. F. M., BARTORELLI, A., *Geologia do Brasil*, 1ª Ed. São Paulo, Beca Editora, Capítulo 15, 331-374p.
- HOFFMANN R.C., MIGUEL R.A.D. PEDROSO, D.C. 2011. A Importância do Planejamento Urbano e da Gestão Ambiental para o Crescimento Ordenado das Cidades. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. V. 3, n. 3:70-81.
- HUABIN W., GANGJUN L., WEIYA X., GONGHUI W. 2005. GIS-based landslide hazard assessment: an overview, *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 29:548-567.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98965.pdf>>. Acesso em 25 de outubro de 2021.
- IHARA R. 2020. Defesa Civil registra quase um deslizamento de terra por dia no verão em SP. G1, São Paulo, 11/01/2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2020/01/11/defesa-civil-registra-quase-um-deslizamento-de-terra-por-dia-no-verao-em-sp.ghtml>>. Acesso em: 18 de junho de 2020.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2014. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa. Coordenação Omar Yazbek Bitar. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2015. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Mairiporã - SP. Rio de Janeiro, 2015. Mapa de movimentos de massa, escala 1:50.000.
- JANASI V.A., LEITE R.J., VAN SCHMUS W.R. 2001. U-Pb Chronostratigraphy of the granitic magmatism in the Agudos Grandes Batholit (west of São Paulo, Brazil): implications for the evolution of the Ribeira Belt. *Journal of South America Earth Sciences*, 14(4): 363-376.
- JANASI V. A., SIGA Jr O., SATO K, MACHADO F. B., SOARES JUNIOR A.V., MAGALHÃES, A.O.B.F. & MACHADO, A.V. 2012. The young guys are in town: a ~500 Ma U-Pb Shrimp age for the Santos and Guarujá granites extends further south the Ribeira "G5" Magmatism. In: 46º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais... Santos.
- JIA N., MITANI Y., XIE M., DJAMALUDDIN I. 2012. Shallow landslide hazard assessment using a three-dimensional deterministic model in a mountainous area. *Computers and Geotechnics*. 45:1-10.
- KAVZOGLU T, SAHIN E. K., COLKESEN I. 2014. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*. 11:425-439.
- KAYASTHA P, DHITAL M.R., DE SMEDT F. 2013. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: a case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers & Geosciences*. 52: 398-408.
- LARA M., SEPÚLVEDA S.A. 2010. Landslide susceptibility and hazard assessment in San Ramon Ravine, Santiago de Chile, from an engineering geological approach. *Environmental Earth Sciences*, 60:1227-1243.
- LEE, S., LEE, M.J. 2006. Detecting landslide location using KOMPSAT 1 and its application to landslide susceptibility mapping at the Gangneung area, Korea. *Advances in Space Research*. 38:2261-2271.
- LIN C.C., GRAMANI M.F., CAMPOS A.B. 2016. Levantamento das Cicatrizes de Deslizamentos na Bacia do Rio Gurutuba (SP) e Correlações com Parâmetros Físicos. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, Anais.
- LUZI L., PERGALANI F. 1999. Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the Oltre Po Pavese case history (regione Lombardia-Italy). *Natural Hazards* 20:57-82.
- MACHADO A.R., SILVA A.P.S., SOUZA C.A., SOLERA M.L., LONGO M.H.C., IELO P.K.Y., MONTEIRO A.C.M.C., MARINS A.M.A., CAVALHIERI C., TERRELL D., ALBUQUERQUE FILHO

- J.L., ALMEIDA M.C.J., CORREA N.F., IKEMATSU P., ARGENTIN P.M., SOUZA R.A., CORDEIRO S.M. 2017. Atlas socioambiental de Mairiporã. São Paulo: IPT. 1 CD-ROM.
- MAHARAJ R. 1993. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from St. Andrew, Jamaica, West Indies. *Engineering Geology*. 34:53–79.
- METEN M, PRAKASHBHANDARY N, YATABE R. 2015. Effect of landslide factor combinations on the prediction accuracy of landslide susceptibility maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*. 2:1–17.
- OH H.J., LEE, S. 2010. Cross-validation of logistic regression model for landslide susceptibility mapping at Geneoung areas, Korea. *Disaster Advances*, 3:44–55.
- PACHAURI A.K., PANT M. 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology*. 32: 81–100.
- PIACENTINI D, TROIANI F, SOLDATI M, NOTARNICOLA C, SAVELLI D, STEFAN S, SCHNEIDERBAUER S, STRADA C. 2012. Statistical analysis for assessing shallow-landslide susceptibility in South Tyrol (south-eastern Alps, Italy). *Geomorphology*. 151–152:196–206.
- QGIS.org. 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- ROSS J., MOROZ I. 2011. Mapa Geomorfológico Do Estado De São Paulo. *Revista Do Departamento De Geografia*, 10: 41-58.
- SARKAR S. 1996. Landslide Hazard Zonation and Slope Stability Assessment Techniques: Applications to Srinagar-Rudraprayag, Garhwal Himalaya. Ph.D. Thesis, University of Roorkee, Roorkee, India, 156 p.
- SARKAR S., KANUNGO D.P. 2004. An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 70, No. 5: 617–625p.
- SOARES JUNIOR A.V., SANTANA W.R. BARRADAS T.F., FRANCHI J.G. 2017. Mapeamento da Suscetibilidade a movimentos de massa no Município de Santo André - SP utilizando dados geológicos e de Sensoriamento Remoto. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). Anais... Santos, SP. 6521-6528p.
- TIMILSINA M., BHANDARY N.P., DAHAL R.K., RYUICHI Y. 2014. Distribution probability of large-scale landslides in central Nepal. *Geomorphology*. 226:236–248.
- TOMINAGA L.K. 2007. Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado 220 p.
- VAN WESTEN C.J., BONILLA J.B. 1990. Mountain hazard analysis using a PC based GIS. *Proceedings, 6th international congress International Association of Engineering Geology*, Amsterdam, The Netherlands, pp. 265-271.
- VIANNA A.M. 2015. Poluição ambiental, um problema de urbanização e crescimento desordenado das cidades. *Revista Sustinere*, v. 3, n. 1, p. 22-42.
- WOLLE C. M. 1980. Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 245p.
- XIE M., TETSURO E., QIU C., JIA L. 2007. Spatial three-dimensional landslide susceptibility mapping tool and its applications. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 14:73–84.
- XU C., DAI F., XU X., YUAN H.L. 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China. *Geomorphology*. 145–146:70–80.
- YAN G., LIANG S., GUI X., XIE Y., ZHAO H. 2019. Optimizing landslide susceptibility mapping in the Kongtong District, NW China: comparing the subdivision criteria of factors, *Geocarto International*, 34:13, 1408-1426.
- YAO X., THAM L.G., DAI F.C. 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: a case study on natural slopes of Hong Kong, China. *Geomorphology*. 101:572–582.
- ZÊZERE J.L., REIS E., GARCIA R., OLIVEIRA S., RODRIGUES M.L., VIEIRA G., FERREIRA A.B. 2004. Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 4, n. 1:133-146.

Submetido em 03/02/2022

Aceito em 16/03/2022