MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO–SP POR MEIO DE INFERÊNCIA FUZZY

Matheus de Souza Pinto Oliveira

Monografia realizada para a disciplina na Introdução ao Geoprocessamento Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto.

INPE
São José dos Campos
2022

SUMÁRIO

Pág.

1 INTRODUÇÃO 1
2 MATERIAIS E MÉTODOS 4
2.1 Área de estudo 4
2.2 Modelagem 7
2.3 Inferência geográfica 9
2.4 Procedimentos Teórico-metodológicos 11
3 RESULTADOS 13
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 21

1 INTRODUÇÃO

As paisagens que podemos observar são formadas ao longo de processos constantes de trocas de energia e matéria entre os componentes naturais do ambiente, relacionados entre si de forma sistêmica (ROSS, 1994). Estas trocas estão associadas à interação entre os fatores climáticos e pluviométricos, pedológicos, geomorfológicos, geológicos, bem como de uso e cobertura da terra. Os arranjos estruturais que envolvem cada um destes elementos, e que ocorrem de forma particular em cada ecossistema, é que dá a tônica das feições na paisagem atual. Para analisar estes processos que modelam a paisagem, é preciso ter em vista a relação de equilíbrio dinâmico que existe entre as variáveis associadas à água, solo, relevo, clima, geologia e de uso e cobertura da terra.

Os movimentos de massa são um exemplo destes processos. A dinâmica destes eventos é determinada principalmente pela amplitude e inclinação das encostas, bem como pelas características de drenagem e do solo (VIEIRA e GRAMANI, 2015, p.296). São, portanto, mais frequentes em ambientes de íngremes montanhas e com alta pluviosidade. Os movimentos de massa estão entre os processos de manutenção do equilíbrio dinâmico entre os diferentes componentes naturais da paisagem.

No entanto, uma unidade ecodinâmica em equilíbrio pode se tornar instável pela intervenção ação antrópica (ROSS, 1994). Entre exemplos destas intervenções estão a construção de moradias e a instalação de infraestrutura de transportes, que envolvem o desmatamento de encostas. Em um cenário de desequilíbrio das trocas de energia matéria entre os constituintes do ecossistema, os mecanismos que realizam estas trocas podem se tornar catastróficos, isto é, provocar prejuízos à vida e a infraestruturas.

Estes eventos, denominados desastres naturais, são comuns no Brasil. O país concentra 37% dos movimentos de massa fatais causados por chuvas ocorridos na América do Sul entre 2004 e 2016 (FROUDE e PETLEY, 2018). Em um país com cerca de 51,7 milhões de pessoas abaixo da linha internacional de pobreza[1] e com aproximadamente 85% da população vivendo em áreas urbanas (IBGE, 2015), é imperativo que as cidades brasileiras sejam marcadas pela presença de favelas e ocupações, que tendem a ocupar áreas vulneráveis a desastres, que não são apropriadas pelo mercado, nem gerenciadas pelo Estado. No caso dos movimentos de massa, estas áreas são morros e morrotes, que geralmente são desmatados de forma a abrir espaço para habitações.

Todos os anos, os deslizamentos de terra causam perdas humanas e materiais no Brasil. Em fevereiro de 2022, por exemplo, pelo menos 104 pessoas morreram em deslizamentos e alagamentos no município de Petrópolis, Rio de Janeiro. Apesar da recorrência dos desastres causados por movimentos de massa, a prevenção destes eventos encontra grandes dificuldades no Brasil. Um dos motivos é a falta de coordenação de estratégias e de planejamento entre as diferentes esferas do poder político (ONU, 2004). A falta de uma reação rápida e coordenada permite que os eventos climáticos extremos, como os deslizamentos de terra causados por fortes chuvas, tomem proporções catastróficas.

O atual cenário de mudanças climáticas e aumento do nível do mar tende a pressionar cada vez mais os ecossistemas do planeta, em especial as unidades ecodinâmicas que já se tornaram instáveis devido à intervenção antrópica. Por conseguinte, é urgente o monitoramento de desastres causados por chuvas, como movimentos de massa e inundações, de modo a subsidiar planos de contingência e respostas rápidas e eficientes a desastres deste tipo.

[1] Dados do IBGE (2020) coletados anteriormente à pandemia de Coronavírus (Covid-19), que ampliou a pobreza e o desemprego no Brasil (NEVES et al, 2021).

O primeiro passo para o planejamento destas reações é mapear os locais onde os eventos climáticos têm maior probabilidade de causar danos.

Há diversas formas de se produzir um mapeamento de áreas mais susceptíveis aos desastres ambientais. O método para isto consiste, basicamente, em relacionar os elementos que correm risco (população, infraestrutura e atividades econômicas) a distribuição geográfica dos fenômenos naturais que oferecem risco (seca, inundações, movimentos de massa, e etc) (PNUD, 2004). Neste sentido, os Softwares de Informação Geográfica (SIG) estão sendo cada vez mais empregados para analisar variáveis ambientais de diferentes fontes e formas, de modo a identificar quais áreas estão mais vulneráveis a determinado desastre. Esta abordagem consiste na combinação de mapas com as variáveis de entrada e, por meio de determinada função, gerar dados de saída em forma de mapa (Bonham-Carter, 1994).

Este trabalho vai ao encontro deste objetivo, e pretende avaliar a eficácia da técnica de inferência geográfica Fuzzy Gama para a modelagem da suscetibilidade a movimentos de massa. Trata-se de uma metodologia que lança mão de dados quantitativos de diferentes variáveis ambientais para mapear a vulnerabilidade a movimentos de massa no território do município de São Sebastião, estado de São Paulo. Esta técnica obteve boa eficácia para “revelar limites e formas bem definidas do terreno e, em especial, quando se deseja delimitar áreas potenciais à ocorrência de escorregamentos” (BISPO et al, 2011). Como resultados, foram confeccionados planos de informação com representações temáticas e numéricas, bem como mapas temáticos, com base nesta técnica de inferência.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

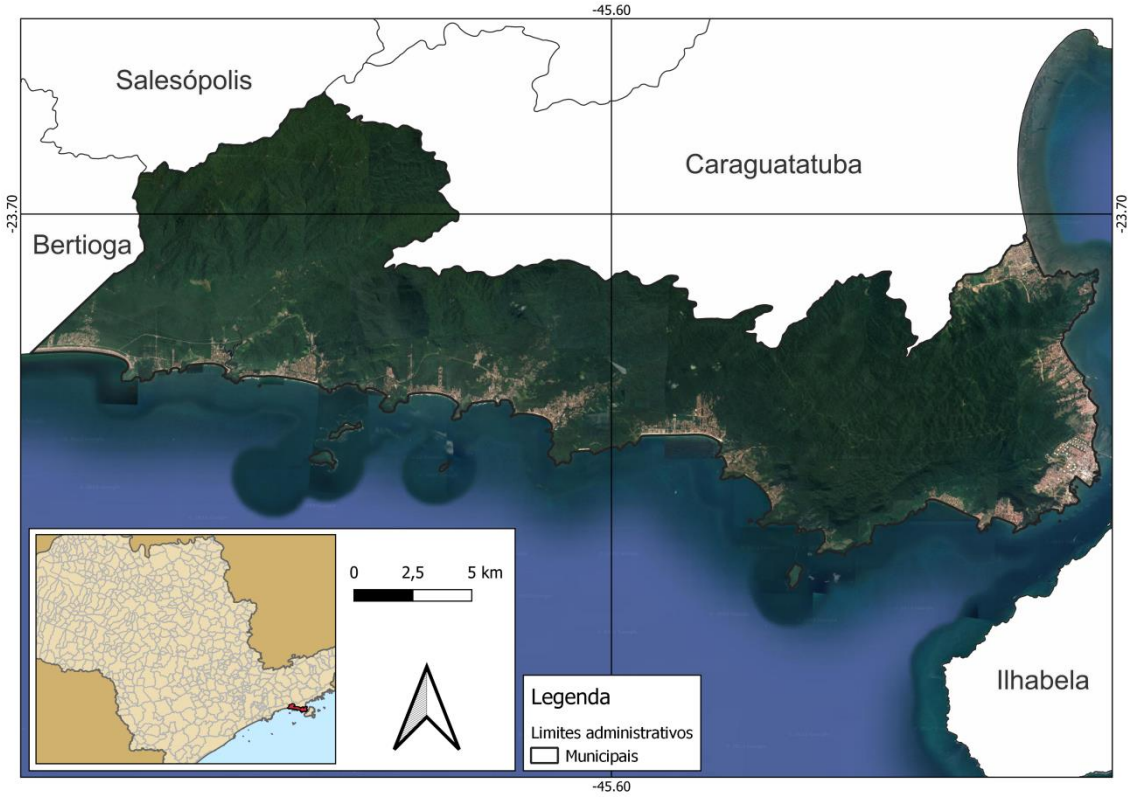
São Sebastião é um município do Litoral Norte paulista que possui uma população estimada em 91.637 habitantes, de acordo com o IBGE. O litoral da região sudeste está entre as áreas mais suscetíveis a deslizamentos em todo o Brasil (IBGE, 2019). A Figura 1 abaixo representa a localização do município em relação ao estado de São Paulo.

Figura 1 – Caracterização da área de Estudo.

A paisagem da costa brasileira entre os estados de Santa Catarina e Rio de Janeiro, no meio da qual se encontra o município de São Sebastião (SP), é marcada pela Serra do Mar: um “sistema de escarpas e montanhas que se estende por mais de 1500 quilômetros (...) com uma orientação, em geral, ENE” (VIEIRA e GRAMANI, 2015). Neste contexto, no relevo do município em questão, predominam as serras, escarpas e morros altos, tendo em vista a elevação máxima de 1200 m da Serra do Mar no estado de São Paulo e de

cerca de 1000 m em São Sebastião. A Figura 2 mostra a paisagem de São Sebastião:

Figura 2 – Mapa físico de São Sebastião.



Estas características geológicas e geomorfológicas que compõem a paisagem da área de estudos favorecem a ocorrência de deslizamentos de terra do tipo deslizamentos[2] e fazem com que as regiões Sul e Sudeste do Brasil sejam as mais afetadas por desastres deste tipo em todo o país (IBGE, 2019). Além deste fator, há também altos níveis de precipitação anual ao longo da Serra do Mar. Segundo Vieira e Gramani (2015), esta taxa alcança uma média entre 1000 e 2000 mm, e já fora registrada uma precipitação anual de 5000 mm em eventos associados a ciclones tropicais. Estes autores apontam que, conjuntamente com a região amazônica, o litoral de São Paulo é um dos

[2] CREPANI e MEDEIROS, 2000.

lugares onde mais chove em todo o Brasil. No município de São Sebastião, a taxa de precipitação varia entre 1500 e 2500 mm anuais (MUÑOZ et al, 2006).

Todos estes fatores apontam para uma classificação de susceptibilidade a movimentos de massa que, na área de estudos, favorece as categorias de média ou alta suscetibilidade na área de estudos. A alta taxa de pluviosidade e alto grau de declividade tornam a área de estudo vulnerável aos movimentos de massa do tipo escorregamento[3]. Estes eventos ocorrem em encostas com frentes instáveis e cuja declividade forneça superfícies de deslizamentos, e resultam em "movimentos rápidos (...) e de curta duração" (CREPANI e MEDEIROS, 2001). São, portanto deslizamentos de terra com grande potencial destrutivo. Estes eventos ocorrem na Serra do Mar todos os anos no período chuvoso, entre Dezembro e Março. Trata-se de processos geomorfológicos que contribuem para a formação da paisagem da região (VIEIRA e GRAMANI, 2015) e não necessariamente são considerados desastres.

No entanto, os deslizamentos de terra podem se tornar catastróficos quando ocorrem em locais onde existe ocupação humana ou econômica. A região de São Sebastião é o lar de aproximadamente 345 mil pessoas[4] e muito frequentada por turistas, bem como abriga importantes infraestruturas. Entre elas, a recém-ampliada Rodovia dos Tamoios, a Rodovia Rio-Santos (parte da Rodovia BR-101), e o terminal de petróleo de São Sebastião, que recebe carregamentos de petróleo por meio de navios e distribui para refinarias por meio de oleodutos.

Um desastre histórico ocorreu em Caraguatatuba (SP), município vizinho a São Sebastião. Ao longo do mês de Março de 1967, foi registrada uma precipitação de 947 mm, sendo 580 mm em dois dias. O grande volume de chuva causou

[3] Conforme a classificação em quatro categorias baseada no movimento gravitacional dos regolitos associados a encostas, adotada por Crepani e Medeiros (2001)

[4] População estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2021, obtida por meio do portal IBGE Cidades para a Região de Governo de Caraguatatuba. Esta unidade administrativa é composta pelos municípios de Caraguatatuba, São Sebastião, Ilhabela e Ubatuba.

deslizamentos de terra e inundações que resultaram na morte de 440 pessoas, assim como na destruição de casas e rodovias (VIEIRA e GRAMANI, 2015).

2.2 Modelagem

Os dois bancos de dados geográficos utilizados neste trabalho são o de Crepani e Medeiros (2002), para as variáveis geologia, uso e cobertura do solo, pedologia e geomorfologia; e o do TOPODATA, para a variável declividade (VALERIANO, 2005). Estas cinco variáveis foram de entrada passaram por processamento no software livre SPRING 4.3.3, que resultou em modelos com representações numéricas e temáticas a partir dos quais foram gerados os mapas de susceptibilidade a movimentos de massa. A linguagem utilizada para a álgebra de mapas no trabalho foi a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL).

Os mapas abaixo retratam os geocampos temáticos que constituem os dados de entrada para a inferência fuzzy.

Figura 3 – Geologia de São Sebastião.

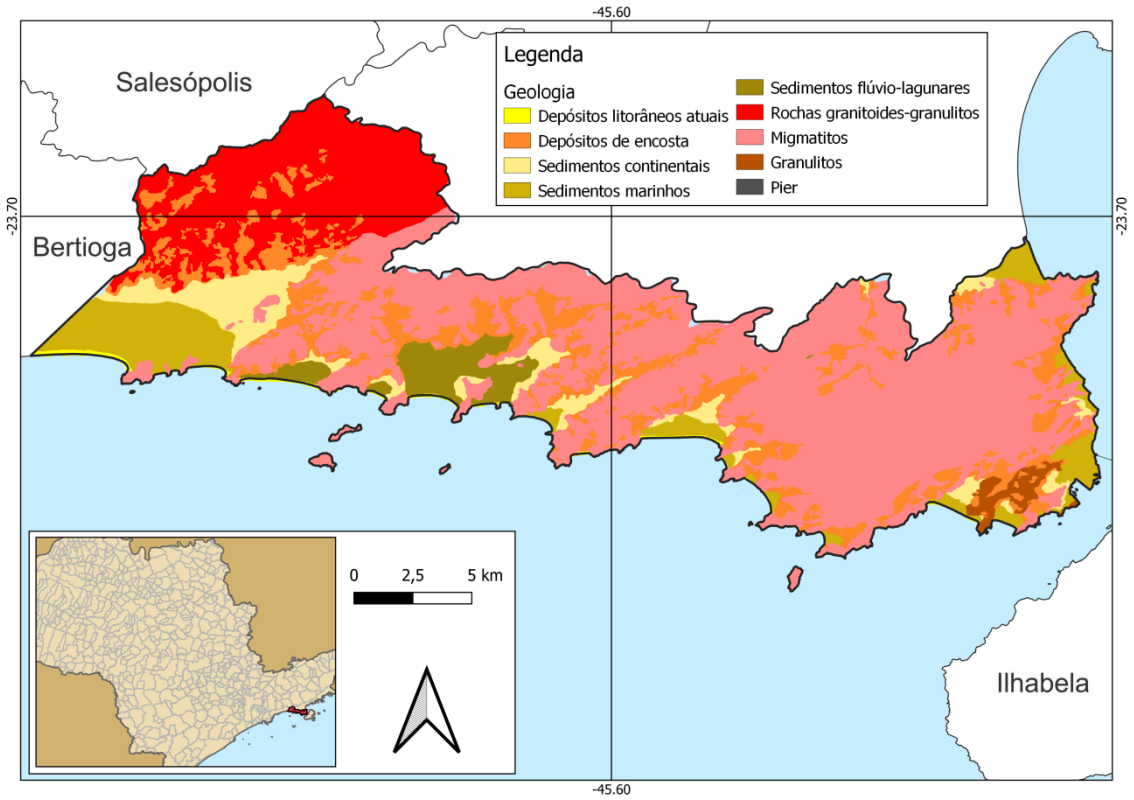


Figura 4 – Geomorfologia de São Sebastião.

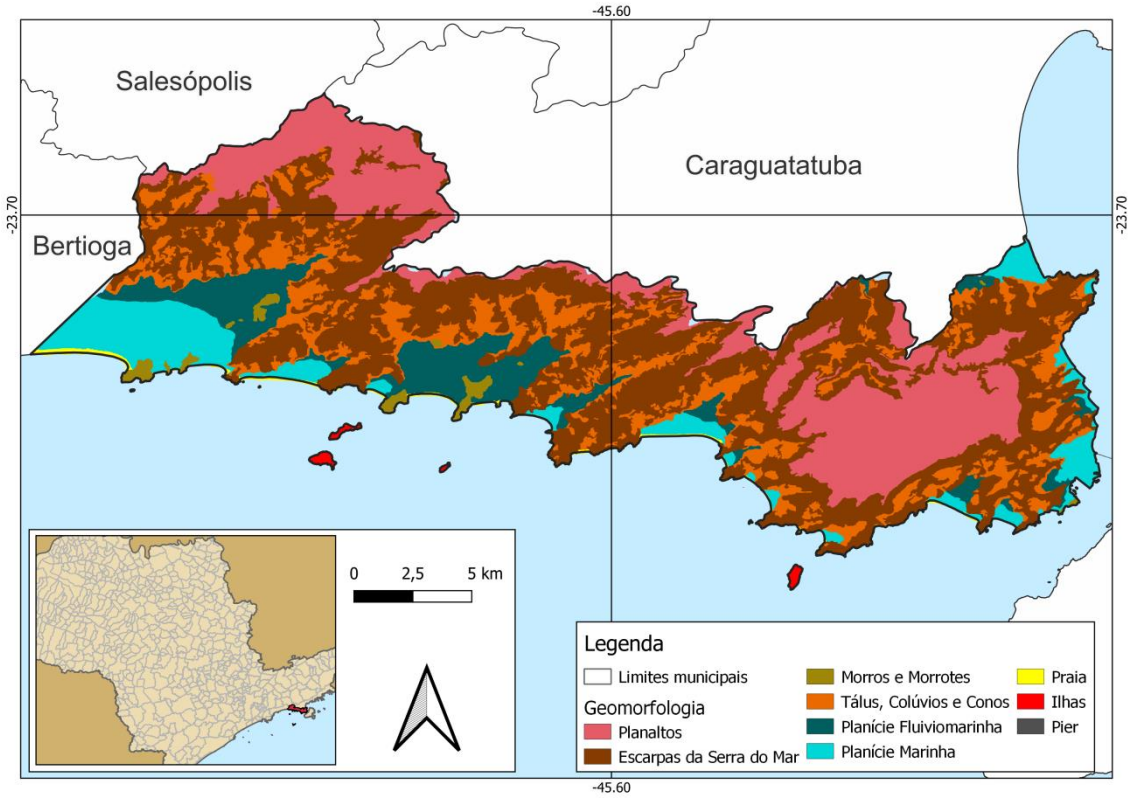


Figura 5 – Pedologia de São Sebastião.

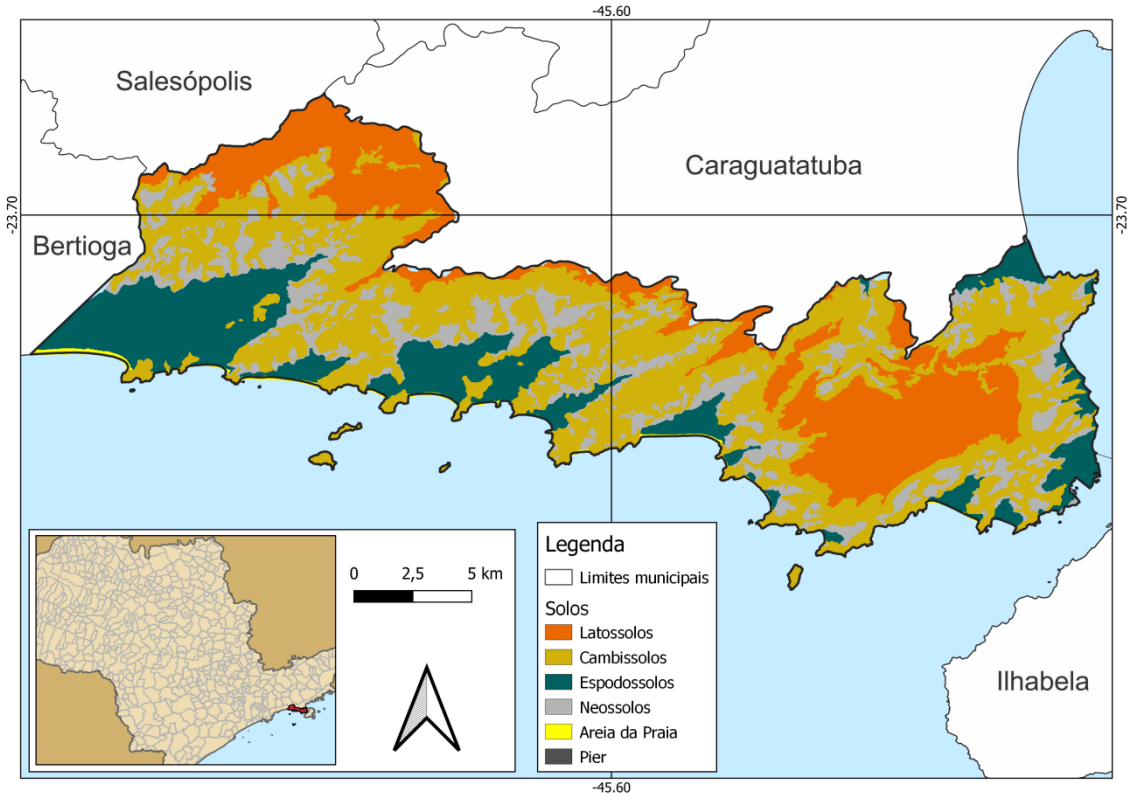
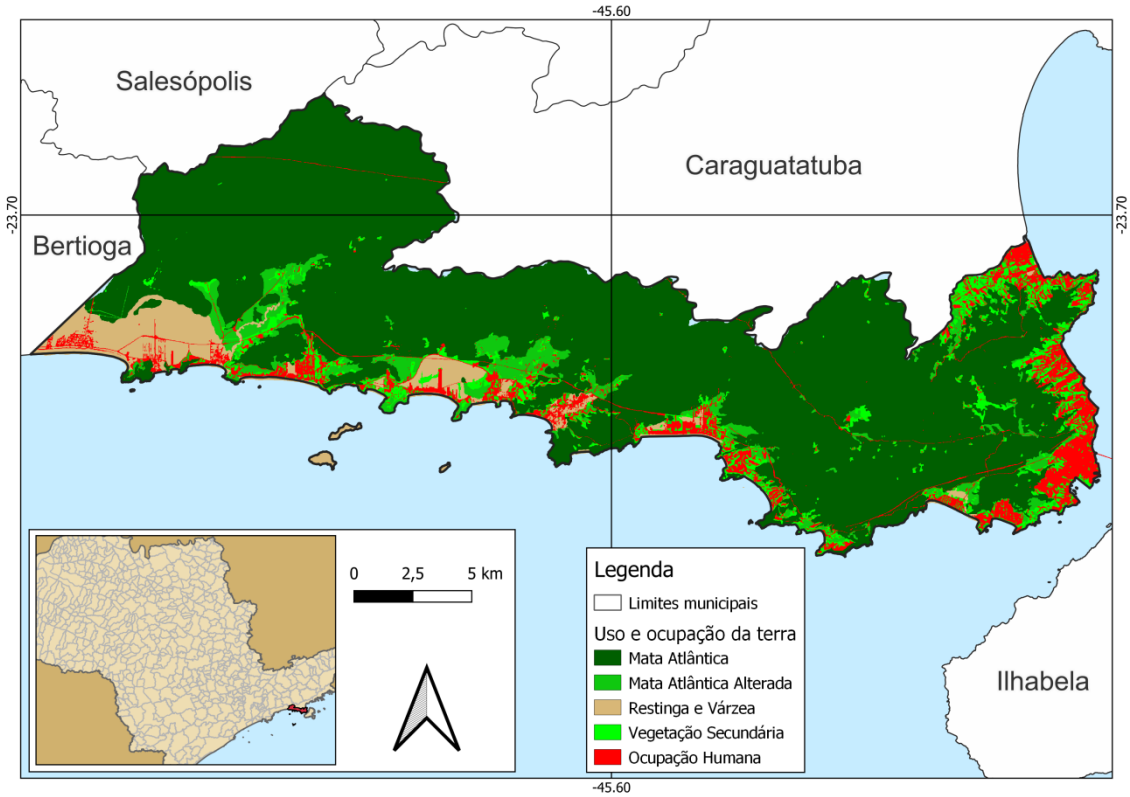


Figura 6 – Uso e ocupação da terra em São Sebastião.



2.3 Inferência geográfica

Conforme anteriormente exposto, a técnica de inferência utilizada neste trabalho é o Fuzzy Gama. Esta gerou os resultados mais satisfatórios em comparação a utilização de outros métodos de inferência, como o booleano, ou média ponderada (MUÑOZ et al, 2006 e BISPO et al, 2011).

A lógica Fuzzy, ou lógica difusa, possibilita a definição de conjuntos sem a definição de bordas rígidas. Por meio desta, as classes podem ter uma pertinência gradativa entre as situações favoráveis e desfavoráveis de cada estudo, e não apenas ser classificada como “favorável” ou “desfavorável”. Sendo assim, é utilizada para tratar a ambiguidade, inexatidão, em modelos matemáticos de fenômenos empíricos (CÂMARA et al, 1996).

A aplicação da função de pertinência resulta em um valor de combinação fuzzy entre 0 e 1, sendo o valor 1 associado a maior pertinência possível entre um conjunto e um objeto (ESCADA, 1998). Este número representa um parâmetro

numérico para analisar sistemas complexos, nos quais as variáveis possuem diversas naturezas.

O operador Fuzzy Gama, que foi utilizado neste trabalho, consiste no “produto entre a soma algébrica fuzzy e o produto algébrico fuzzy” (MUÑOZ et al, 2006). A soma algébrica é o primeiro termo do produto, e representa a parte que tende a “aumentar” os fenômenos modelados com o operador Fuzzy. Já o produto algébrico, segundo termo do produto, representa a parte que tende a “diminuir” o fenômeno. A Equação 1, abaixo, representa o operador Fuzzy:

$$\mu = \left(1 - \prod_{i=1}^{n} \mu_i(1-\mu_i)\right)^{\gamma} \cdot \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_i\right)^{1-\gamma} \qquad (1)$$

O μ_i representa o valor de cada uma das variáveis para um plano de informação i. O μ é o valor que resulta da operação fuzzy gama (BISPO et al, 2011).

O índice gama (γ) é um valor entre 0 e 1 que permite modelar os cenários de susceptibilidade a determinado fenômeno (BISPO et al, 2011). Quando $\gamma = 0$, a soma algébrica é anulada, tornando a combinação Fuzzy (μ) igual ao produto algébrico (segundo termo). Deste modo, o resultado será o cenário mais otimista possível para o fenômeno analisado. Quando $\gamma = 1$, o produto algébrico é anulado, tornando μ igual à soma algébrica e resultando no cenário mais pessimista.

Desta maneira, a manipulação do índice gama para valores intermediários entre 0 e 1 permite a geração de cenários de susceptibilidade mais ou menos otimistas. Bispo et al (2011, p.470) aponta que os “valores $0 < \gamma < 0{,}35$ apresentam um caráter ‘diminutivo’ para o fenômeno estudado, e valores no intervalo $0{,}8 < \gamma < 1{,}0$ têm um caráter ‘aumentativo’”.

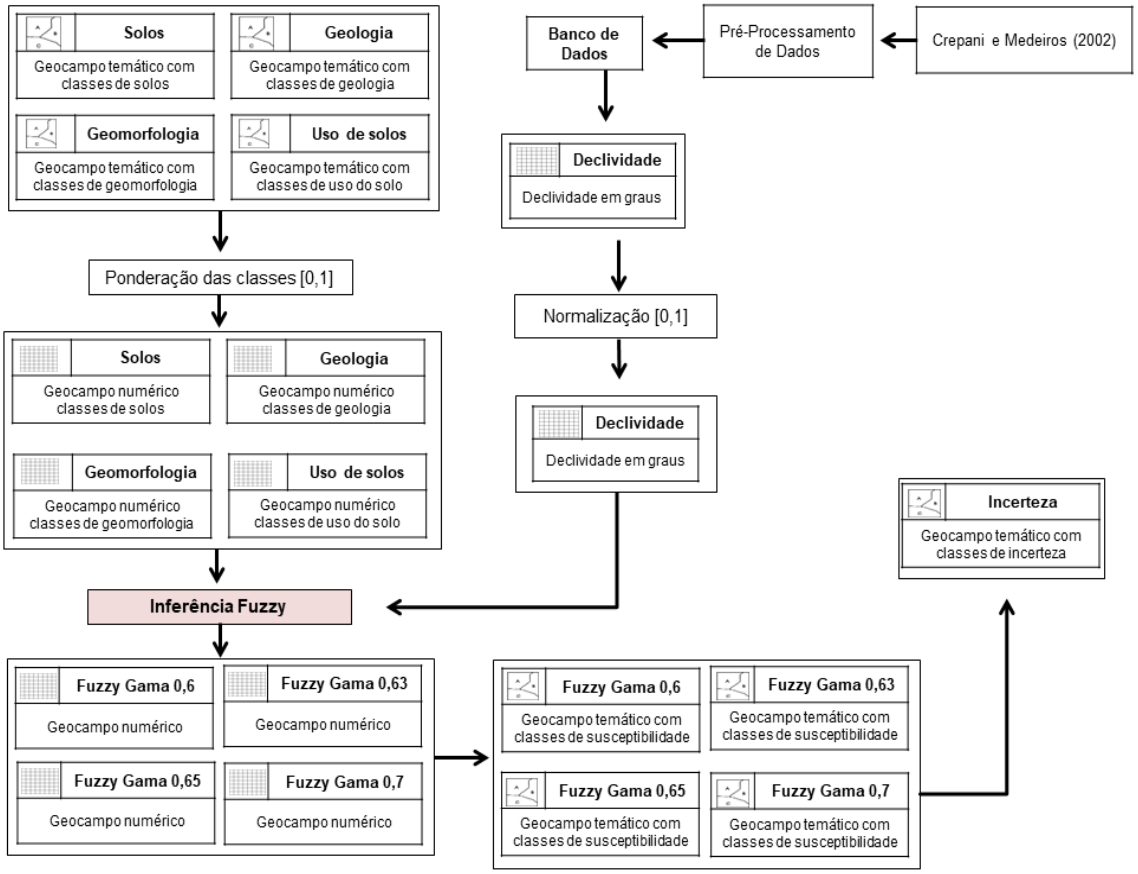
Para este trabalho, foram testados os seguintes valores de índices gama: 0.60, 0.63, 0.65 e 0.7. Trata-se de números definidos por Munõz et al (2005) de modo a gerar os cenários que, segundo Bispo et al (2011), se aproximam mais dos mapas de risco obtidos por Crepani e Medeiros (2001). No Capítulo 3, serão apresentados os mapas dos quatro cenários de índice gama

mencionados, bem como mapas de susceptibilidade gerados com índice gama 0 e 1, que representam os cenários mais pessimista e mais otimista, respectivamente[5].

2.4 Procedimentos Teórico-metodológicos

Este trabalho seguiu a sequência metodológica proposta por Muñoz et al (2006) para a modelagem da susceptibilidade a movimentos de massa. Abaixo, a Figura 6 representa o processo realizado no trabalho.

Figura 7 – Modelo OMT-G do processo.



[5] Estes cenários foram gerados com índice gama 0,02 e 0,98, de modo a não ultrapassar os limites do geocampo, que são 0 e 1.

Primeiramente, as categorias de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra foram reclassificada em um geocampo temático de Uso do Solo com as classes: Mata Atlântica, Mata Atlântica Alterada, Restinga e Várzea, Vegetação Secundária, Ocupação Humana. A seguir, os geocampos temáticos foram ponderados de acordo com hierarquias entre as classes. Os valores de ponderação são apresentados abaixo. A Tabela 1 apresenta os geocampos temáticos utilizados e suas respectivas classes em ordem hierárquica de contribuição para a susceptibilidade a movimentos de massa:

Tabela 1 – Geocampos e suas respectivas classes, ambos em ordem hierárquica.

Geocampos temáticos	**Classes e hierarquias**
Declividade	1. > 77%; 2. 58% a 77%; 3. 20% a 58%; 4. 10% a 20%; 5. 0% a 10%.
Geomorfologia	1. Escarpas da Serra do Mar; 2. Morros e Morrotes; 3. Tálus, Colúvios e Conos; 4. Planaltos; 5. Planície Fluiviomarinha; 6. Praia.
Geologia	1. Depósitos de Encosta; 2. Migmatitos; 3. Rochas Granitoides e Granulitos; 4. Sedimentos Continentais, Marinhos e Fluviolagunares; 5. Depósitos Litorâneos Atuais.
Solos	1. Latossolos; 2. Cambissolos; 3. Espodossolos; 4. Neossolos; 5. Areia da Praia.
Uso do solo	1. Ocupação Humana; 2. Mata Atlântica Alterada; 3. Vegetação Secundária; 4. Mata Atlântica; 5. Vegetação de Restinga, Várzea e Mangue.

As hierarquias entre as variáveis e classes, bem como os valores de ponderação para cada classe temática, foram definidas por Munõz (2006):

Declividade, Geomorfologia, Geologia, Solos e Uso da Terra. Os valores de ponderação são: Muito alta: 1; Alta: 0,8; Média: 0,5; Baixa: 0,3; Muito baixa: 0,2.

A categoria de Declividade é, então, fatiada, de acordo com as classes apresentadas na Tabela 1. Posteriormente, os geocampos de Geologia, Geomorfologia, Solos e Uso do Solo, são ponderados de acordo com a hierarquia os valores apresentados.

Após a ponderação, é realizada a operação gama (Equação 1) com quatro valores de índice gama: 0,60; 0,63; 0,65; 0,70. Como resultado, são gerados quatro planos de informação (PI) com dados de susceptibilidade a movimentos de massa considerando os quatro diferentes índices gama. Estes PI são, então, fatiados em cinco classes temáticas: Muito alta ($0,8 < \mu < 0,9$), Alta ($0,5 < \mu < 0,8$), Média ($0,3 < \mu < 0,5$), Baixa ($0,2 < \mu < 0,3$), Muito baixa ($0 < \mu < 0,2$). Deste modo, são gerados os mapas temáticos de susceptibilidade a movimentos de massa para os quatro diferentes índices gama.

3 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os mapas de susceptibilidade a movimentos de massa em São Sebastião, obtidos por meio de inferência fuzzy gama com quatro índices gama ($\gamma = 0,60$; $\gamma = 0,63$; $\gamma = 0,65$; $\gamma = 0,70$). Primeiramente, para fins de comparação, serão apresentados os cenários de susceptibilidade mais otimista e mais pessimista, gerados com índice gama $\gamma = 0$ e $\gamma = 1$, respectivamente (Figura 8 e Figura 9).

Figura 8 – Susceptibilidade a movimentos de massa em São Sebastião por meio de inferência fuzzy com índice gama γ = 0.

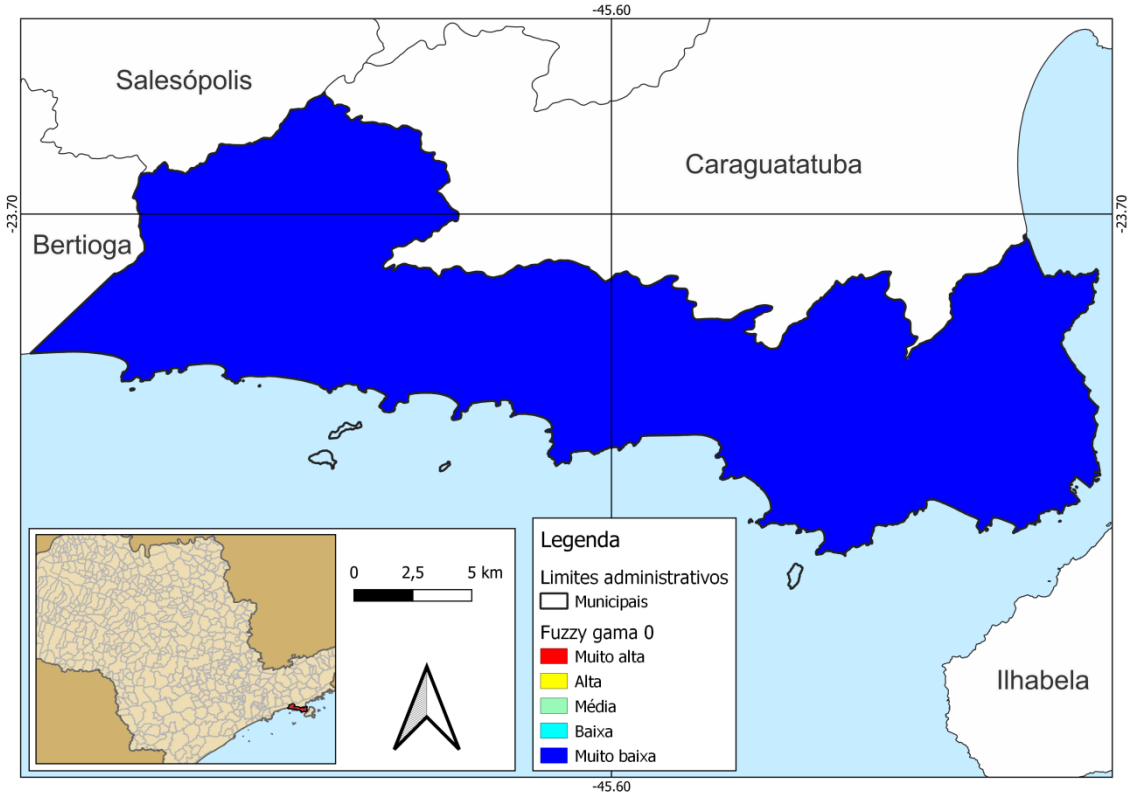
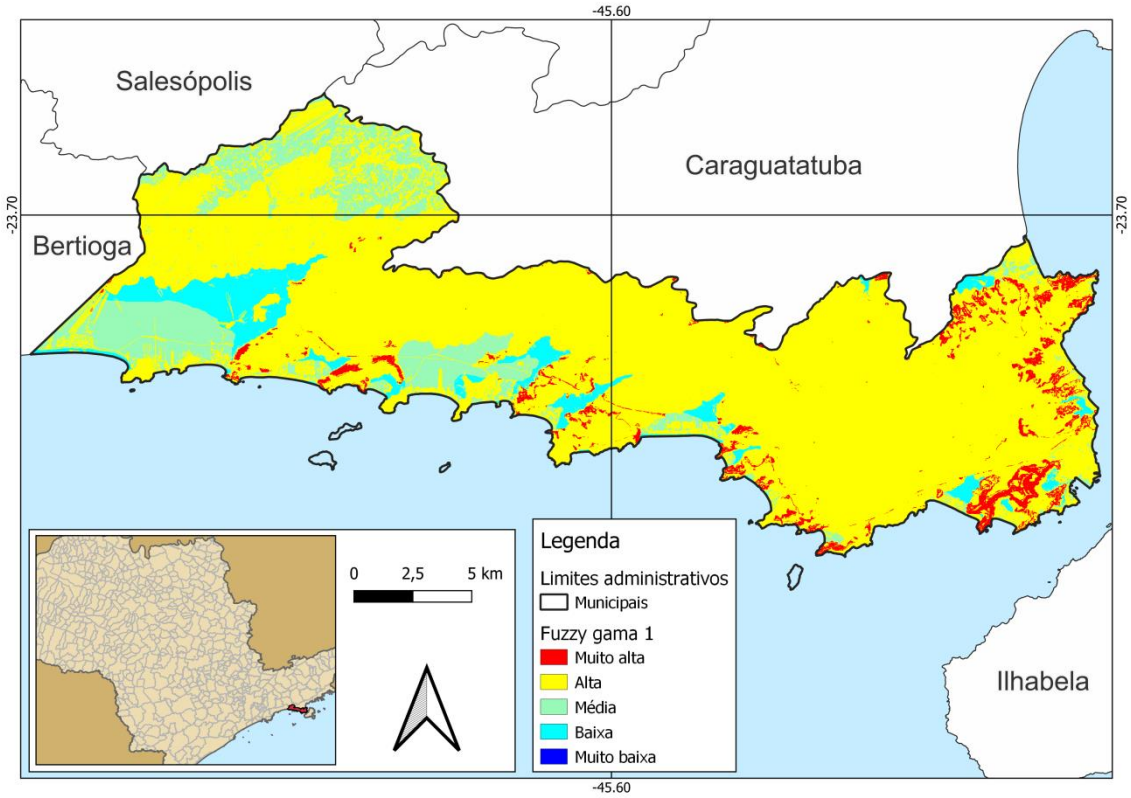


Figura 9 – Susceptibilidade a movimentos de massa em São Sebastião por meio de inferência fuzzy com índice gama γ = 1.



É possível observar que o índice gama 0 classifica toda área de estudo como Muito baixa susceptibilidade a movimentos de massa, se apresentando como o cenário mais otimista. Já o índice gama 1, tem grande predominância de áreas classificadas como Alta susceptibilidade. Abaixo, a Tabela 2 mostra a distribuição dos pixels classificados.

Tabela 2 – Classificação dos pixels nos mapas de susceptibilidade fuzzy com índices gama 0 e 1.

Classes temáticas	**0,02**	**0,98**	**0,02 (%)**	**0,98 (%)**
Muito alta	0	3.437	0%	3,9%
Alta	0	67.608	0%	78,1%
Média	0	10.494	0%	12,1%
Baixa	0	5.026	0%	5,8%
Muito baixa	86.565	0	100%	0
TOTAL	**86.565**	**86.565**	**100,0%**	**100,0%**

A seguir, serão apresentados os mapas de susceptibilidade com os índices gama definidos como mais próximos ao cenário real.

Figura 10 – Susceptibilidade a movimentos de massa em São Sebastião por meio de inferência fuzzy com índice gama γ = 0,60.

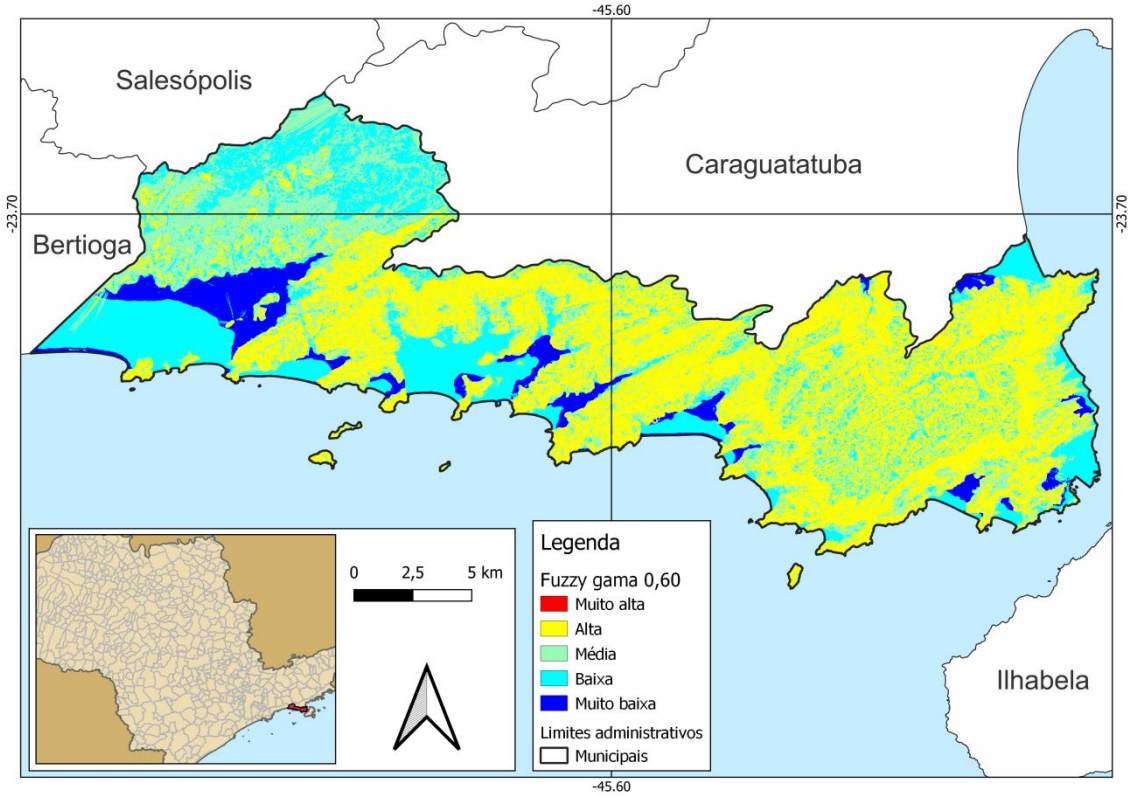


Figura 11 – Susceptibilidade a movimentos de massa em São Sebastião por meio de inferência fuzzy com índice gama γ = 0,63.

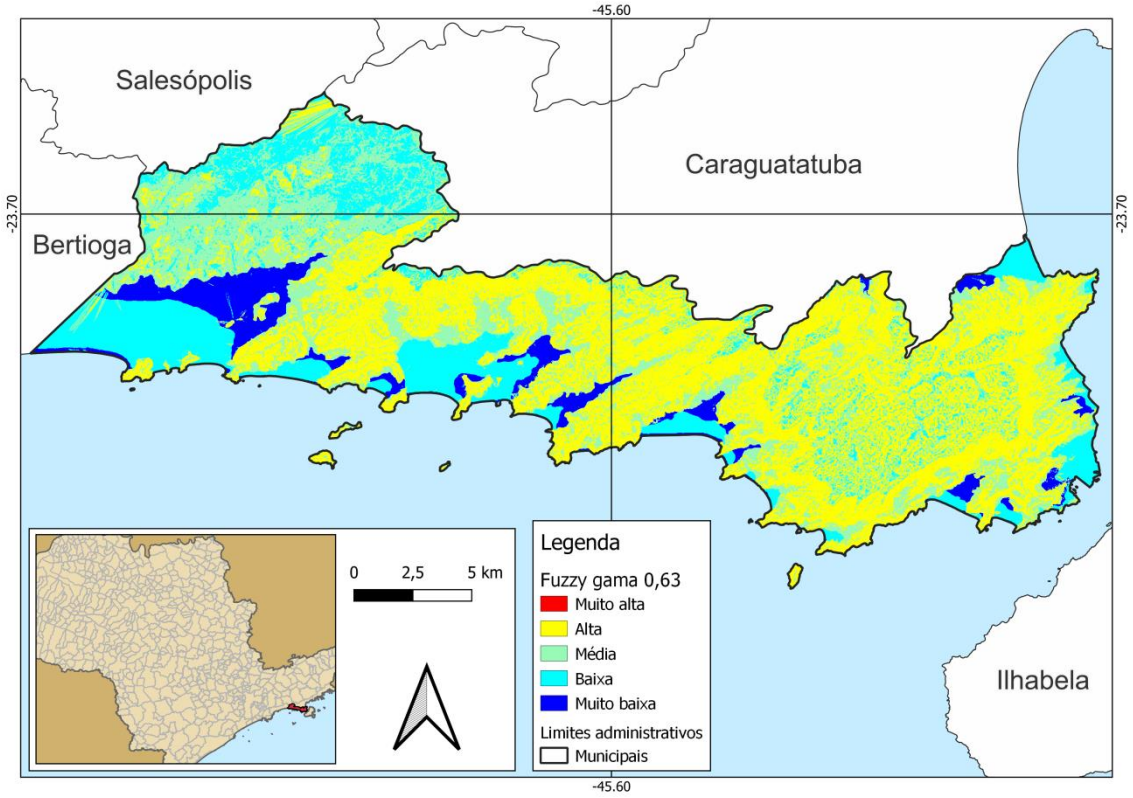


Figura 12 – Susceptibilidade a movimentos de massa em São Sebastião por meio de inferência fuzzy com índice gama γ = 0,65.

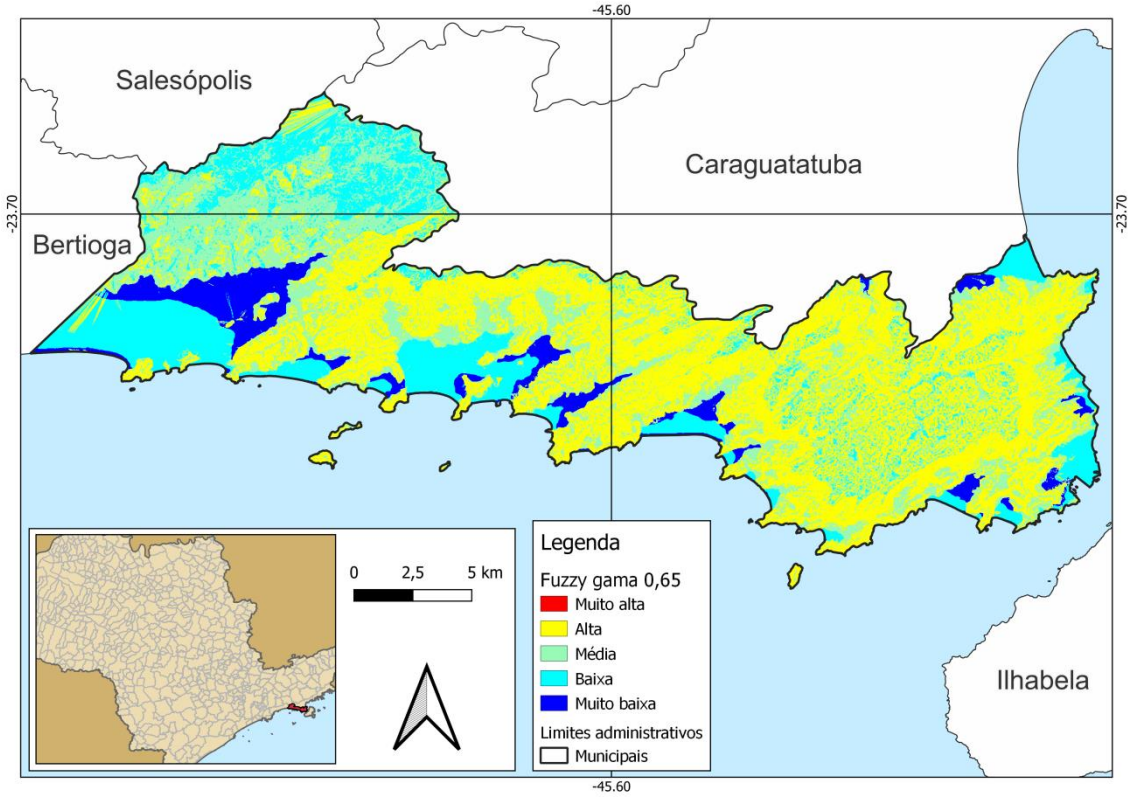
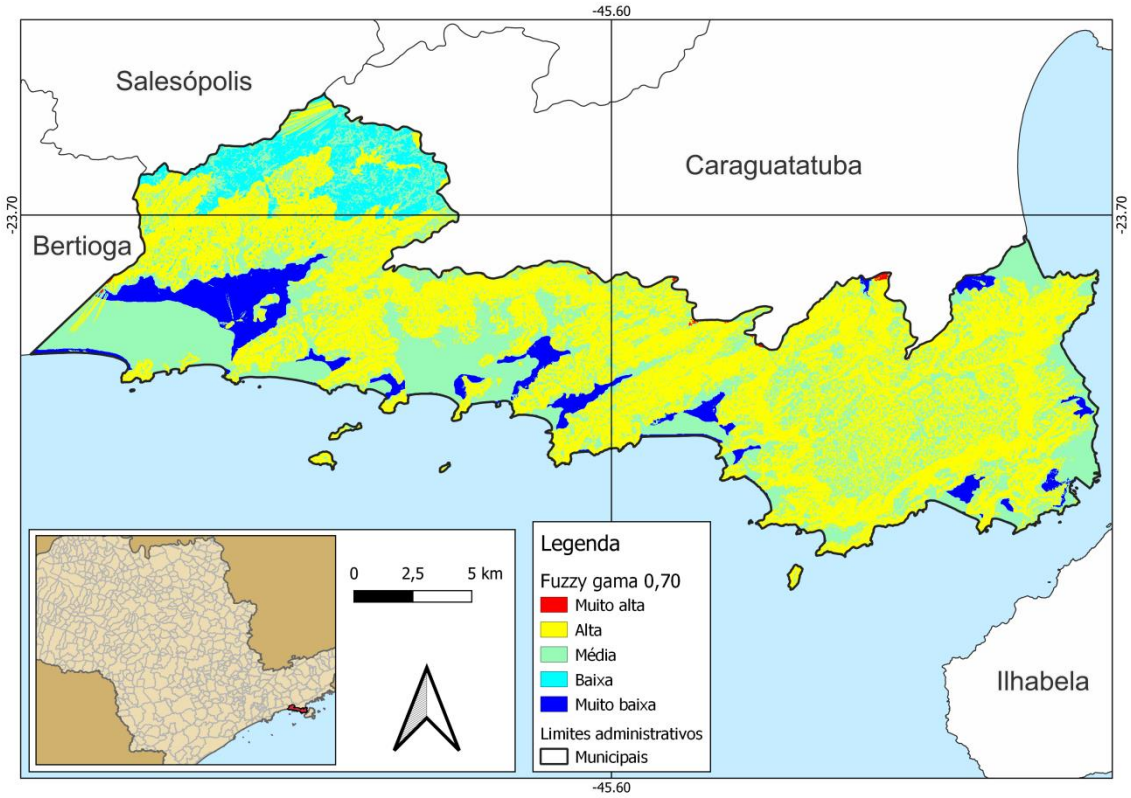


Figura 13 – Susceptibilidade a movimentos de massa em São Sebastião por meio de inferência fuzzy com índice gama γ = 0,70.



A Tabela 3 abaixo apresenta a quantidade de pixels atribuídos às diferentes classes temáticas nos diferentes índices gama.

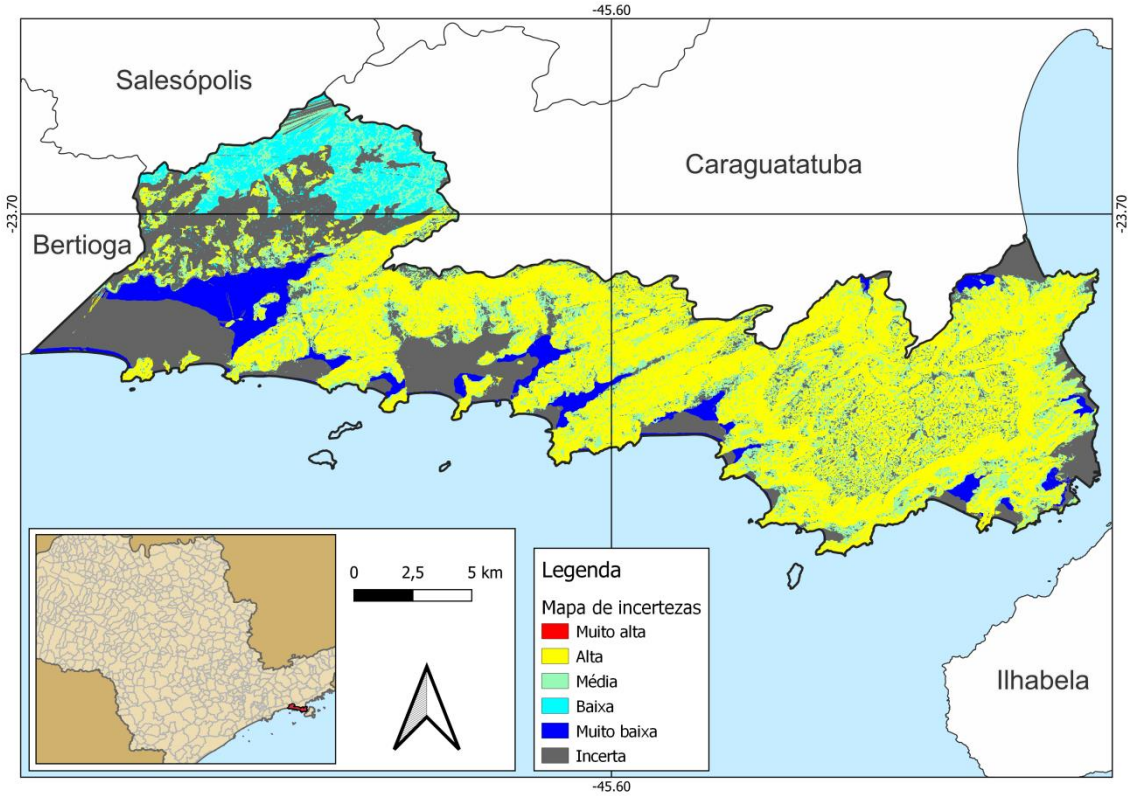
Tabela 3 – Classificação dos pixels nos mapas de susceptibilidade fuzzy com diferentes índices gama.

Classes temáticas	**0,70**	**0,65**	**0,63**	**0,60**	**0,70 (%)**	**0,65 (%)**	**0,63 (%)**	**0,60 (%)**
Muito alta	76	0	0	0	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
Alta	21.640	19.124	19.010	18.888	50,6%	44,7%	44,5%	44,2%
Média	16.197	13.007	13.047	11.934	37,9%	30,4%	30,5%	27,9%
Baixa	2.122	7.904	7.978	9.213	5,0%	18,5%	18,7%	21,6%
Muito baixa	2.707	2.707	2.707	2.707	6,3%	6,3%	6,3%	6,3%
TOTAL	**42.742**	**42.742**	**42.742**	**42.742**	**100,0%**	**100,0%**	**100,0%**	**100,0%**

Os dados apresentados na Tabela 2 indicam que a utilização do índice gama γ = 0,70 favoreceu a classificação como Muito alta, Alta e Média. Por outro lado, a utilização do índice gama γ = 0,60 levou a classificações que privilegiaram a classe de Baixa susceptibilidade.

O mapa de incertezas ajuda a analisar estes dados. Nele, é averiguado se cada ponto permaneceu na mesma classe temática em cada operação fuzzy com diferentes índices gama. Se o ponto não foi classificado da mesma forma em pelo menos uma das quatro operações fuzzy, será classificado como “incerto” no mapa de incertezas. A Figura 12 abaixo apresenta o mapa de incertezas para as quatro operações fuzzy realizadas com diferentes índices gama.

Figura 14 – Mapa de incertezas.



Os números expressos na Tabela 3, abaixo, apresenta a quantidade de pixels classificados nas classes temáticas do fatiamento do mapa de incertezas. Nota-se que a classe temática “Alta” foi a que manteve mais os pixels. Também é possível observar que quase ¼ dos pixels não foram classificados da mesma forma por operações fuzzy com diferentes índices gama.

Tabela 4 – Classificação dos pixels no mapa de incertezas.

Classes temáticas	**Mapa de Incerteza**	
Muito alta	0	0,0%
Alta	45.057	44,2%
Média	21.264	20,8%
Baixa	5.129	5,0%
Muito baixa	6.474	6,3%
Incerta	24.125	23,6%
TOTAL	**102.049**	**100,0%**

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho permitiu a avaliação do uso da técnica de inferência geográfica fuzzy gama no mapeamento da susceptibilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião, SP. Esta metodologia propõe a aplicação de técnicas quantitativas para obter cenários de susceptibilidade com precisão, mas que, precisam ser avaliados de forma comparativa com a verdade terrestre, conforme a sequência metodológica apresentada por Muñoz et al (2006).

Ainda assim, foi possível constatar que a inferência Fuzzy Gama foi eficiente na classificação de áreas com risco potencial de movimentos de massa, bem como foi flexível ao possibilitar a modelagem de cenários variados por meio da manipulação do índice fuzzy gama. Ainda que careçam de validação em campo, os quatro cenários gerados para os objetivos deste trabalho condizem com os estudos realizados por outros autores, como Muñoz et al (2005) e Bispo et al (2011).

Foi observado que, ao aumentar o valor de índice gama na operação fuzzy, aumenta-se também a susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa nos mapas de saída. Por outro lado, ao diminuir o índice gama para valores mais próximos de 0,60, os cenários se tornam menos favoráveis a estes eventos.

O trabalho de Bispo et al (2011) introduz ainda as variáveis geomorfométricas de curvatura horizontal e curvatura vertical. Segundo os autores, a inserção destas variáveis ao modelo possibilita o melhor refinamento das formas e limites das classes (BISPO et al, 2011, p.474). No entanto, estas variáveis não foram testadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISPO et al, P. C.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.; MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E. **Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial**. Revista Geociências, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 467-478, 2011. Disponível em: https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7188. Acesso em: 15 abr. 2022.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C. C.; ALMEIDA FILHO, R.; BÖNISCH, S. Inferência geográfica e suporte à decisão. In: **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 48. Disponível em: http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.15.04. Acesso em: 15 abr. 2022.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião - SP**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil, 2002.

CREPANI, E. & MEDEIROS, J.S. de. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião - SP**. Relatório Técnico. São José dos Campos: INPE, 26 p., 2001.

ESCADA, M. I. S. **Aplicação de técnica Fuzzy em SIG como alternativa para o zoneamento ecológico econômico (ZEE)**. São José dos Campos, 1998.

FROUDE, M.; PETLEY, D. **Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016**. Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 18, n. 8, p. 2161-2181, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil**: primeira aproximação. 1ed. Rio de Janeiro, IBGE, 2019. 54p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101684.pdf>. Acesso em 15 abr 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Síntese de indicadores sociais**: uma análise das condições de vida da população brasileira: 2020 / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 148 p.: il. - (Estudos e Pesquisas. Informação Demográfica e Socioeconômica, ISSN 1516-3296; n. 43)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

MOREIRA, F. R. S. **Uso da avaliação de técnicas de integração e análise espacial de dados em pesquisa mineral aplicadas ao planalto de Poços de Caldas**. 2002. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002. Disponível em: http://urlib.net/rep/6qtX3pFwXQZ3P8SECKy/zHxkM. Acesso em: 15 abr. 2022.

MUÑOZ et al, V. et al. Técnicas de Inferência Espacial na Identificação de Unidades de Susceptibilidade aos Movimentos de Massa na Região de São Sebastião, São Paulo, Brazil. In: **Proceedings of the 12 Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica (SELPER)**. 2006.

NEVES, J. A. et al. **Desemprego, pobreza e fome no Brasil em tempos de pandemia por Covid-19**. Revista de Nutrição, v. 34, 2021.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). BUREAU FOR CRISIS PREVENTION. **Reducing disaster risk**: a challenge for development-a global report. Nações Unidas, 2004.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo: FFLCH /USP, n. 8, p. 63-74, 1994.

TOMINAGA, L. K. et al. **Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo**: conceitos e técnicas. Cartografia Geotécnica e Ambiental-Conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade. São Paulo: ABGE, p. 205-216, 2004.

VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o Projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia, GO. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3595-3602.

VIEIRA, B. C.; GRAMANI, M. F. Serra do Mar: the most “tormented” relief in Brazil. In: **Landscapes and landforms of Brazil**. Springer, Dordrecht, 2015. p. 285-297.