



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM SÃO SEBASTIÃO (SP)**

Rômulo Marques

Monografia desenvolvida como trabalho de conclusão de curso da disciplina SER-300-4 Introdução ao Geoprocessamento, ministrada pelo Prof. Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro, do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do INPE.

URL do documento original:  
<<http://wiki.dpi.inpe.br/doku.php?id=ser300:seminarios2021-ser300>>

INPE  
São José dos Campos  
2021

## **RESUMO**

O Brasil, devido a fatores climáticos e do meio físico, associados a uma dinâmica de uso e ocupação do solo que não consegue ser orientada por uma agenda de planejamento urbano estratégico, tem apresentado problemas na prevenção de desastres resultantes de movimentos de massas e inundações. É o caso do município de São Sebastião, localizado no litoral de São Paulo, que em função de características geológicas, geomorfológicas e de ocupação do solo urbano, tem se demonstrado vulnerável a este fenômeno. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho consistiu em avaliar a suscetibilidade aos movimentos de massa no município de São Sebastião, SP, em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica), a partir da aplicação de diferentes modelos de inferência geográfica. Como resultados, além da apresentação de dados vetoriais e matriciais, buscou-se identificar qual modelo projetou-se como o mais adequado para alcançar o objetivo adotado na pesquisa.

Palavras-chave: movimento gravitacional de massa. São Sebastião. Inferências geográficas.

## **ABSTRACT**

Brazil, due to climatic and physical environment factors, associated with a land use and occupation dynamic that cannot be guided by a strategic urban planning agenda, has presented problems in the prevention of disasters resulting from landslides and floods. This is the case of the city of São Sebastião, located on the coast of São Paulo, which, because of its geological, geomorphological and urban land use characteristics, has shown itself to be vulnerable to this phenomenon. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the susceptibility to landslides. As results, besides the presentation of vector and matrix data, it was sought to identify which model was projected as the most appropriate to achieve the objective adopted in the research.

Keywords: Landslides. São Sebastião. Geographical inferences.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 CONCEITUAÇÕES.....	7
3 TÉCNICAS DE INFERÊNCIA GEOGRÁFICA .....	10
4 METODOLOGIA .....	14
4.1 Área de estudo .....	14
4.2 Banco de dados.....	15
4.3 Pré-processamento .....	17
4.4 Modelagem .....	20
4.4.1 Inferência <i>booleana</i> .....	20
4.1.2 Inferência por Média Ponderada .....	21
4.1.1 Suporte à decisão AHP .....	23
4.1.1 Inferência <i>fuzzy gama</i> .....	24
5 RESULTADOS .....	26
6 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil, devido a fatores climáticos e do meio físico, associados a uma dinâmica de uso e ocupação do solo que não consegue ser orientada por uma agenda de planejamento urbano estratégico, tem apresentado problemas na prevenção de desastres resultantes de movimentos de massas e inundações. Os danos provocados por tais episódios têm se manifestado não somente na dimensão material, com a destruição de residências, edifícios comerciais, equipamentos urbanos, etc., mas também na imaterial, devido ao apagamento de lugares da memória coletiva de uma dada localidade.

É o caso do centro histórico de Salvador, que em 2015, conforme reportado pelo IPHAN (2015), registrou uma série de deslizamentos de terra que colocaram em risco, ou mesmo demoliram, alguns bens arquitetônicos tidos como referências culturais. Fato também ocorrido em Nova Friburgo, RJ, quando um deslizamento de terra provocado durante o período chuvoso de 2011, atingiu parcialmente a Igreja Santo Antônio, cuja construção data do final do século XIX (G1 REGIÃO SERRANA, 2013).

Ainda sobre a tragédia do Rio de Janeiro de 2011, segundo estimativas do Banco Mundial (2012), os eventos catastróficos de deslizamentos ocorridos apenas no Rio de Janeiro (capital), em janeiro de 2011, resultaram em um prejuízo de R\$ 4.78 bilhões, dos quais 64% a serem assegurados pelo Poder Público, e o restante, pela iniciativa privada.

Outra tragédia que marca a história dos desastres naturais no Brasil é a Catástrofe de 67 de Caraguatatuba, quando chuvas intensas sobre a região da Serra do Mar resultaram em enchentes e deslizamentos de terra, que atingiram mais severamente o município de Caraguatatuba, São Paulo, em março de 1967. Os números oficiais registraram 436 vítimas fatais, no entanto, relata-se que tal número possa ser expressivamente maior, devido à inexistência de censo populacional (BASTISTA, 2017).

Catástrofes como esta evidenciam que os números são altos tanto para perdas e danos materiais, como para vidas humanas. É o que demonstra um levantamento realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de

São Paulo (IPT), entre os anos de 1997 e 2016, segundo o qual um total de 202 pessoas foram vítimas fatais de algum tipo de movimento gravitacional de massas apenas na Grande São Paulo. Dados de 2020, ainda de acordo com o IPT, evidenciam que apenas no primeiro trimestre foram registradas 73 mortes decorrentes de deslizamentos de terra no país (PESQUISA..., 2020).

Seguindo uma tendência internacional de representação regional da susceptibilidade a deslizamentos, o mapa de suscetibilidade a deslizamentos do Brasil, elaborado pelo IBGE em 2019, demonstrou que as cidades localizadas nas regiões Sudeste e Sul são mais suscetíveis a esse desastre natural em comparação com as das demais regiões. É o caso do município de São Sebastião, vizinho de Caraguatatuba, ambos localizados no litoral de São Paulo, cujo relevo é caracterizado pela predominância de serras, escarpas e morros altos. Ademais, 4,84% do seu espaço urbanizado e edificado encontra-se inserido em áreas de média ou alta suscetibilidade a deslizamentos, que juntas correspondem a 52,82% do território do município (IPT, 2017).

No *ranking* desenvolvido por Camarinha (2016), dos municípios paulistas com sensibilidade “extremamente alta” aos desastres naturais relacionados com deslizamentos de terra, ou seja, a fragilidade a qual o município está sujeito em ser impactado, São Sebastião ocupa a 7<sup>o</sup> posição de um total de 26 municípios. Ademais, ao inferir o Índice de Vulnerabilidade aos Desastres Naturais relacionados a Deslizamentos de Terra (IVDDT), o autor identifica São Sebastião como o município mais vulnerável dentre os classificados como “vulnerabilidade extremamente alta” a deslizamentos de terra.

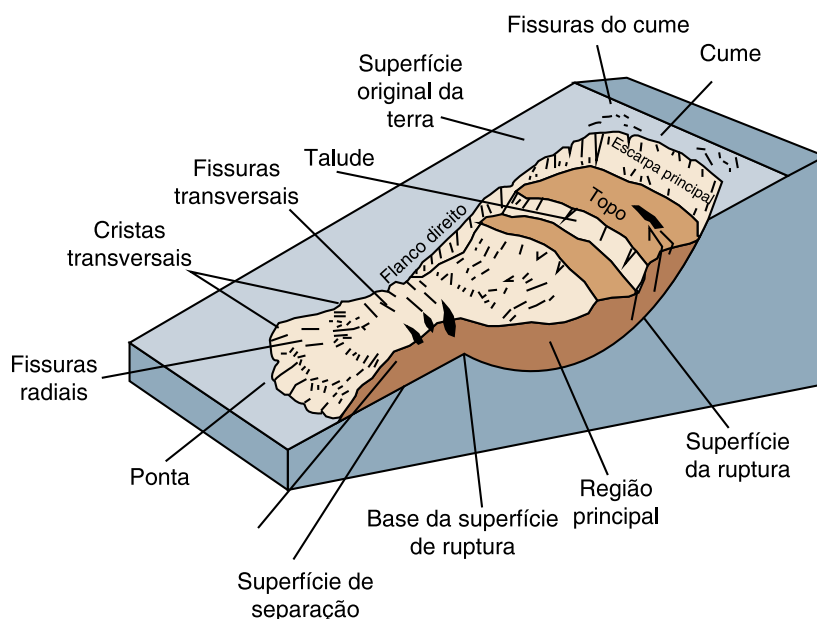
Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho consistiu em avaliar a susceptibilidade aos movimentos de massa no município de São Sebastião, SP, em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica), a partir da aplicação de diferentes modelos de inferência geográfica. Como resultados, além da apresentação de dados vetoriais e matriciais, buscou-se identificar qual modelo projetou-se como o mais adequado para alcançar o objetivo adotado na pesquisa.

## 2 CONCEITUAÇÕES

O conceito de movimento gravitacional de massa, ou mais comumente chamado, deslizamento de terra, não é definido de maneira uníssona. Contudo, por entender que não cabe à proposta do presente texto discutir tal conceituação, adotou-se, para os fins da pesquisa, a definição proposta por Highland e Bobrowsky (2008, p. 4), ratificada no Brasil pelo IBGE (2019), segundo a qual entende-se o deslizamento como “o movimento descendente de solo, rocha e matéria orgânica sob efeitos da gravidade, e a forma geomorfológica que resulta de tal movimentação”.

De acordo com o IBGE (2019), os deslizamentos ocorrem em função tanto de fatores endógenos (características geológicas, geomorfológicas, etc.), quanto de exógenos (retirada da cobertura vegetal, ocupação humana de encostas, etc.), que associados a fenômenos naturais intensos, como tempestades, perturbam o equilíbrio entre as forças de resistência, principalmente a de atrito, e as forças de tração dadas pela gravidade. O resultado encontra-se ilustrado na Figura 2.1 que indica, também, as principais terminologias empregadas para identificar as partes de um movimento gravitacional de massas.

**Figura 2.1 – Uma ilustração simples de um deslizamento rotacional que evoluiu para um fluxo de terras.**



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008, p. 5), adaptado pelo autor.

O deslizamento pode ser composto por rochas, solo ou ambos, em movimento deflagrado pela ruptura de uma superfície, que caso curva, descreverá um deslizamento rotacional, caso plana, deslizamento translacional. Os tipos de deslizamento, geralmente, são classificados segundo a categoria de movimento e o tipo de material. Quanto à mecânica do deslocamento da massa, o movimento pode ser de queda, escorregamento, espalhamento ou escoamento. Já quanto ao tipo de material, em síntese, é rocha ou solo e, quando solo, ou é terra (composto por agregados miúdos) ou é detrito (composto por agregados graúdos). A identificação do tipo de deslizamento permite estimar a velocidade potencial do movimento, o volume e a distância de deslocamento, informações necessárias à adoção das medidas mitigadoras necessárias (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

No Quadro 2.1, são apresentadas as definições e a subcategorização dos tipos de movimentos segundo Highland e Bobrowsky (2008).

**Quadro 2.1 – Tipos básicos de deslizamentos.**

<b>Tipo</b>	<b>Definição</b>
Queda	Se inicia com a separação do solo ou da rocha, ou de ambos, de um talude íngreme, ao longo de sua superfície, na qual tenha ocorrido pouco ou nenhum deslocamento por cisalhamento. Posteriormente, o material vem abaixo.
Escorregamento	Movimento de uma massa de solo ou rocha, em declive, que ocorre sobre superfícies em ruptura ou sobre zonas relativamente finas com intensa deformação por cisalhamento. O movimento não ocorre, inicialmente, de maneira simultânea, por toda área que vem a se tornar a superfície da ruptura; o volume de material deslocado aumenta a partir de uma área no local da ruptura.
Espalhamento	Extensão de uma massa coesiva, formada por solo ou rocha, combinada a um generalizado afundamento da superfície da massa fraturada de material coesivo para uma camada inferior, de material menos rígido. Podem ser o resultado de liquefação ou fluxo (extrusão) do material menos rígido.
Escoamento	Movimento espacialmente contínuo no qual as superfícies de cisalhamento têm vida curta, espaço reduzido entre si e não são preservadas. Os componentes de velocidade na massa que se desloca em um escoamento são semelhantes às de um líquido viscoso. Há, com frequência, uma mudança gradativa de escorregamentos para escoamentos, dependendo da quantidade de água presente, da mobilidade e da evolução do movimento.

Fonte: Highland e Bobrowsky (2008), adaptado pelo autor.

De acordo com Fell *et al.*, (2008), os zoneamentos de deslizamento de terra são desenvolvidos para as escalas de planejamento regional, local ou para locais específicos e são apresentados em inventários, mapas de susceptibilidade,

zoneamentos de perigo ou de risco. No Brasil, tais mapeamentos são desenvolvidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM e apresentados em forma de Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, previstas no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (BRASIL, 2012).

Julião *et al.*, (2009, p. 20) define suscetibilidade como “a incidência espacial do perigo”, e continua “representa a propensão para uma área ser *afectada* por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos *factores* de predisposição para a ocorrência dos processos ou *acções*, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência”. Ou seja, a suscetibilidade indicará a tendência de um dado fenômeno ou processo ocorrer em uma área.

Os mapeamentos de suscetibilidade, como as Cartas da CPRM, são empregados para identificar processos geodinâmicos de movimentos gravitacionais de massa em determinadas áreas, cuja ocorrência pode gerar desastres naturais. Conforme relacionados por Jackson, Bobrowsky e Bichler (2012), os métodos de mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos de terra podem ser elaborados segundo uma abordagem qualitativa e/ou quantitativa.

Ainda conforme Jackson, Bobrowsky e Bichler (2012), quando tipicamente qualitativo, o método é denominado de geomorfológico, baseado em interpretações da distribuição de características geomorfológicas ou associadas a atributos do território. Quando tipicamente qualitativo a quantitativo, desdobra-se em cinco tipos: subjetivo-relativo (baseado em um algoritmo subjetivo), movimento previsto (baseado em um percurso previsto ou em uma zona de corrida), cálculo de estabilidade (baseado em cálculos de estabilidade das vertentes), variante relativa (baseado em um algoritmo estatístico e rigoroso) e probabilístico (baseado no relacionamento estatístico entre deslizamentos antigos e parâmetros conhecidos por serem associados com deslizamentos).

Um outro conjunto de conceitos que embasam o presente trabalho contém os termos “informação temática ou tema”, “variável”, “atributo”, “grau de potencialidade a deslizamentos” e “peso”. No que concerne ao tema, trata-se da



composição do banco de dados, que fornecerá informações geológicas, geomorfológicas, pedológicas, de cobertura e uso do solo, de declividade, pluviosidade, dentre outras. A variável descreve as características inerentes a cada tema (tipos de relevo, de solo, genética das rochas, etc.). Já o atributo é o valor ou domínio da variável. O grau de potencialidade a deslizamentos trata-se de uma escala adimensional e subjetiva, que varia de 0 a 10, empregada para inferir o potencial da variável quanto à probabilidade de ocorrência de deslizamentos. O peso é utilizado para ponderar a importância de cada tema na inferência do grau de potencialidade a deslizamentos (IBGE, 2019).

A geologia, conforme apontado por Pietrobelli e Tratz (2015), enquanto ciência, tem como objetos de estudo a composição, estrutura, propriedades físicas e história dos processos de configuração que ocorreram e ocorrem na Terra. Enquanto informação temática, fornecerá dados sobre as unidades litoestratigráficas da porção territorial analisada. Já a geomorfologia estuda as formas de relevo da superfície terrestre e como tema contém tal levantamento (WERLANG, 2019).

O tema pedologia traz a identificação dos tipos de solo, assim como a delimitação cartográfica. Por fim, as informações temáticas de declividade fornecem o percentual de inclinação da superfície terrestre. Todos esses dados combinados com o tema cobertura do solo, após inferidos geograficamente, podem produzir diversos mapeamentos, dentre eles, o de suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa.

### **3 TÉCNICAS DE INFERÊNCIA GEOGRÁFICA E SUPORTE À DECISÃO**

Câmara *et al.* (2001, p. 1) reporta que “na maioria dos projetos desenvolvidos em SIG a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de modelos, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas”. Essa combinação das diferentes informações temáticas de um banco de dados reduz eventuais confusões na interpretação dos modelos e podem ser expressas tanto como informação numérica (matricial) ou temática (vetorial).

Ainda segundo os autores, os modelos podem ser classificados como teóricos ou empíricos. Serão teóricos se os relacionamentos forem baseados no entendimento de princípios físicos e químicos, serão empíricos se forem baseados em dados observados ou, ainda, híbridos, se combinados. Os modelos empíricos, por sua vez, dividem-se em “modelos baseados em conhecimento, implementados a partir do conhecimento de especialistas, e modelos baseados em dados, implementados a partir de um conjunto de dados observados” (CÂMARA, *et al.*, 2001, p. 2).

Como a presente pesquisa foi desenvolvida a partir de modelos baseados em conhecimento (MBCs), limitou-se a abordagem a este tipo. Contudo, é possível encontrar a abordagem dos demais no trabalho de Câmara *et al.* (2001). Nos MBCs, um conjunto de informações de entrada tratado segundo uma metodologia permitirá identificar localizações ou zonas que atendam aos critérios da inferência geográfica (CÂMARA, *et al.*, 2001).

Há diferentes técnicas de análise geográfica empregadas na produção de mapas que orientarão as tomadas de decisão. Empregou-se, na presente pesquisa, àquelas pertencentes aos modelos baseados em conhecimento, sendo elas: *booleana*, *média ponderada* e *fuzzy gama*.

A inferência segundo a álgebra *booleana* combina mapas (evidências) binários por meio de operadores lógicos condicionais. Isto é, informações temáticas são combinadas em atenção à uma sequência lógica binária, que retorna um valor de verdade ou de falsidade para a hipótese testada. Os ponderadores lógicos empregados na inferência *booleana* são: “E”, “OU”, “OU exclusivo” e “NÃO”. O operador “E” retornará um valor verdadeiro quando os elementos de um conjunto A também sejam elementos de um conjunto B, ou seja, quando A intersectar B. O “OU” será verdadeiro quando houver a união dos conjuntos A e B. Já o “OU exclusivo” recupera os elementos que pertençam apenas ao conjunto A e ao B, mas não aos dois, ou seja, tudo aquilo que não está interceptado. Por fim, a negação “NÃO” identifica os elementos de um conjunto que não pertencem ao do outro (MOREIRA, 2002).

A defasagem dessa técnica reside na sua incapacidade de atribuir pesos aos diferentes atributos temáticos, considerando-os todos com o mesmo grau de relevância para testar determinada hipótese. Outro problema trata-se da rigidez com a qual a técnica define as especializações das classes temáticas, que desconsidera as zonas difusas do mundo real.

Moreira (2002, p. 22) relata que:

Neste método, cada mapa de entrada será utilizado como uma evidência que receberá um peso relativo à sua importância para a hipótese sob consideração. Cada plano de informação receberá pesos diferentes, bem como as respectivas classes desses planos de informação. O resultado será um mapa com áreas que expressam um grau de importância relativa através de valores numéricos de saída.

Na inferência por média ponderada, os atributos das variáveis de cada tema são ponderados por pesos definidos empiricamente, mas devidamente embasados em trabalhos já realizados e validados. Ou seja, os atributos são somados por ponderação segundo sua importância relativa. Segundo Moreira (2002), a função matemática que expressa a inferência é dada pela equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij} * y_j}{\sum_{i=1}^n y_j} \quad (3.1)$$

Onde:

$w_{ij}$ : peso da variável “i” do tema “j”

$y_i$ : peso do tema “j”

A lógica *fuzzy* se diferencia das funções convencionais uma vez que não é descrita por uma função característica que assume valores binários 0 ou 1, mas sim de 0 a 1, o que possibilita mensurar o grau de pertinência dos elementos do conjunto. Essa possibilidade de ter resultados difusos desobriga os especialistas de definirem “regras dicotômicas rígidas com contatos normalmente artificiais que diminuem a habilidade de articular eficientemente soluções para problemas complexos, tão comum em processos naturais” (MOREIRA, 2002, p. 22).

Os operadores lógicos *fuzzy* são classificados em mínimo, médio, máximo, ponderado e gama. Na pesquisa, apenas foi empregado o operador gama, que é definido, como exposto por Moreira (2002), por dois termos, um produto e uma

soma algébricos *fuzzy*, dados pela equação 3.2. Nessa operação, pode-se variar o peso da soma e do produto, atribuindo-se valores entre 0 e 1 para o expoente “ $\gamma$ ”.

$$\mu = (\text{soma algébrica fuzzy})^\gamma \times (\text{produto algébrico fuzzy})^{1-\gamma} \quad (3.2)$$

O primeiro termo da equação 3.2 é dado por:

$$\mu = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (3.3)$$

Onde:

$\mu_i$ : valor dos membros *fuzzy* para uma variável “ $i$ ”

O termo  $(1 - \mu_i)$  é multiplicado por meio do operador. O resultado da soma algébrica será igual ou maior ao valor de entrada do maior membro *fuzzy* ( $\mu_i$ ). Quanto ao segundo termo da equação 3.2, este é obtido pela equação 3.4. Neste caso, o operador executa a multiplicação dos atributos de todas as variáveis e o valor de saída de um determinado ponto será sempre igual ou menor ao valor do menor membro *fuzzy* (MOREIRA, 2002).

$$\mu = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (3.4)$$

Onde:

$\mu_i$ : valor dos membros *fuzzy* para uma variável “ $i$ ”

Por fim, mediante a diversidade dos modelos produzidos, cabe o emprego de ferramentas de suporte à decisão, que orientam a escolha do modelo mais racional dentre os produzidos pela combinação de dados. Na presente pesquisa, empregou-se a técnica AHP (*Analytical Hierarchy Process* ou Processo Analítico Hierárquico), baseada na comparação da relevância relativa par a par das informações temáticas utilizadas nas inferências, com vistas à definição de pesos dentro de uma consistência igualmente calculada. Câmara *et al.* (2001, p. 28) relata que a técnica AHP:

É uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos

julgamentos. Requer a estruturação de um modelo hierárquico, o qual geralmente é composto por meta, critérios, subcritérios e alternativas; e um processo de comparação pareada, por importância relativa, preferências ou probabilidade, entre dois critérios, com relação ao critério no nível superior. Com base na comparação, a AHP pondera todos os subcritérios e critérios e calcula um valor de razão de consistência entre [0, 1], com 0 indicando a completa consistência do processo de julgamento.

Como a relevância entre as variáveis é definida segundo critérios lógicos, porém, subjetivos, é necessário que haja uma consistência nas relações atribuídas na matriz par a par. Para tanto, Saaty (1987) propõe o índice CR (*consistency ratio*), cujo valor não deve exceder a 0,10, caso contrário, os julgamentos devem ser revisitados para nova avaliação.

#### **4 METODOLOGIA**

O procedimento metodológico para a realização do presente estudo foi embasado na pesquisa de Muñoz (2005), que apresenta análises comparativas de técnicas de inferência espacial para a identificação de unidades de suscetibilidade a movimento de massas.

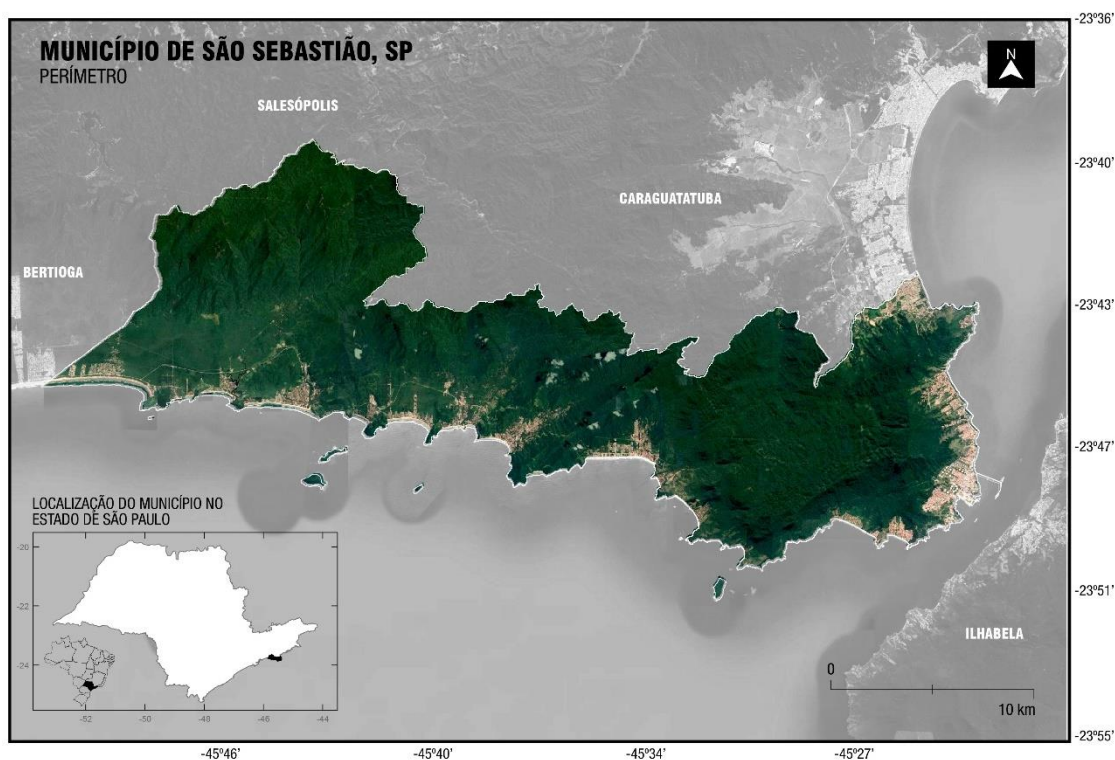
##### **4.1 Área de estudo**

Compreende a área de estudo, o município de São Sebastião, localizado na região litorânea do Estado de São Paulo (Figura 4.1). De acordo com dados do IBGE (2020), o município abriga uma população estimada em 2020 de 90.328 habitantes, distribuídos em uma área territorial de 402,395 km<sup>2</sup>, o que resulta em uma densidade demográfica de 224 hab./km<sup>2</sup> ou 2,24 hab./ha. Acerca da densidade demográfica, cabe ressaltar que o cálculo realizado pelo IBGE considera a área de toda a unidade municipal. No caso de São Sebastião, do total de sua área territorial, apenas 9% é urbanizada, segundo dados do Instituto Pólis (2013), o que representa uma densidade demográfica urbana de 2.495 hab./km<sup>2</sup> ou 24,95 hab./há.

Acerca da hierarquia urbana, o município é classificado como Centro Sub-regional B (3B), integrante do Arranjo Populacional de Caraguatatuba – Ubatuba – São Sebastião, mesorregião do Vale do Paraíba Paulista, microrregião de

Caraguatatuba. Quanto à sua caracterização climática, sob a classificação climática de Köppen, São Sebastião encontra-se inserido na zona climática Cfa, correspondente ao clima subtropical úmido.

**Figura 4.1 – Localização da área de estudo.**



Fonte: Google Earth (2021), adaptado pelo autor.

## **4.2 Banco de dados**

O banco de dados empregado para a realização das inferências foi o elaborado por Crepani e Medeiros (2002), proveniente da pesquisa “Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Estudo da Vulnerabilidade aos Movimentos de Massa no Município de São Sebastião – SP” e disponibilizado na escala intermediária de 1:20.000, UTM/Datum-SAD69. Tal banco é composto pelas seguintes informações temáticas: altimetria, cobertura do solo, declividade, geologia, geomorfologia, malha urbana, solos e modelo numérico do terreno (MNT) de vulnerabilidade.

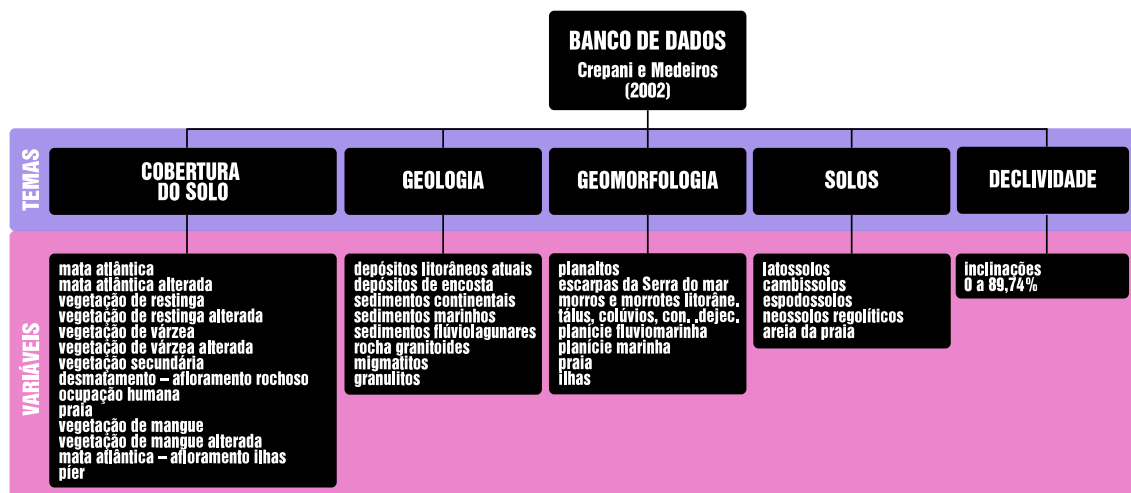
Para a pesquisa, foram empregados apenas os temas cobertura do solo, declividade, geologia, geomorfologia e solos (Figura 4.2). O tema “cobertura do solo” descreve as diferentes formas de ocupação territorial somente da

perspectiva da composição superficial da terra (solo exposto, água, vegetação, área urbanizada, etc.). Crepani e Medeiros (2002) classificaram a cobertura do solo de São Sebastião em a) mata atlântica, b) mata atlântica alterada, c) vegetação de restinga, d) vegetação de restinga alterada, e) vegetação de várzea, f) vegetação de várzea alterada, g) vegetação secundária, h) desmatamento – afloramento rochoso, i) ocupação humana, j) praia, k) vegetação de mangue, l) vegetação de mangue alterada, m) mata atlântica – afloramento ilhas e n) píer.

O tema “declividade” consiste em um MNT que representa o município pelas inclinações de seus elementos geomorfológicos, em um *range* de 0 a 89,74%. Já o tema “geologia” é composto pelas unidades litológicas da região, representadas pelas variáveis a) depósitos litorâneos atuais, b) depósitos de encosta, c) sedimentos continentais, d) sedimentos marinhos, e) sedimentos flúviolagunares, f) rocha granitoides, g) migmatitos, e h) granulitos.

Por meio das informações temáticas da “geomorfologia” é possível identificar a distribuição espacial das variáveis a) planaltos, b) escarpas da Serra do mar, c) morros e morrotes litorâneos, d) tálus, colúvios, cones de dejecção, e) planície fluvio-marinha, f) planície marinha, g) praia e h) ilhas. Completando banco, o tema “solos” identifica e localiza no espaço as variáveis a) latossolos, b) cambissolos, c) espodossolos, d) neossolos regolíticos e e) areia da praia.

**Figura 4.2 – Composição do banco de dados.**

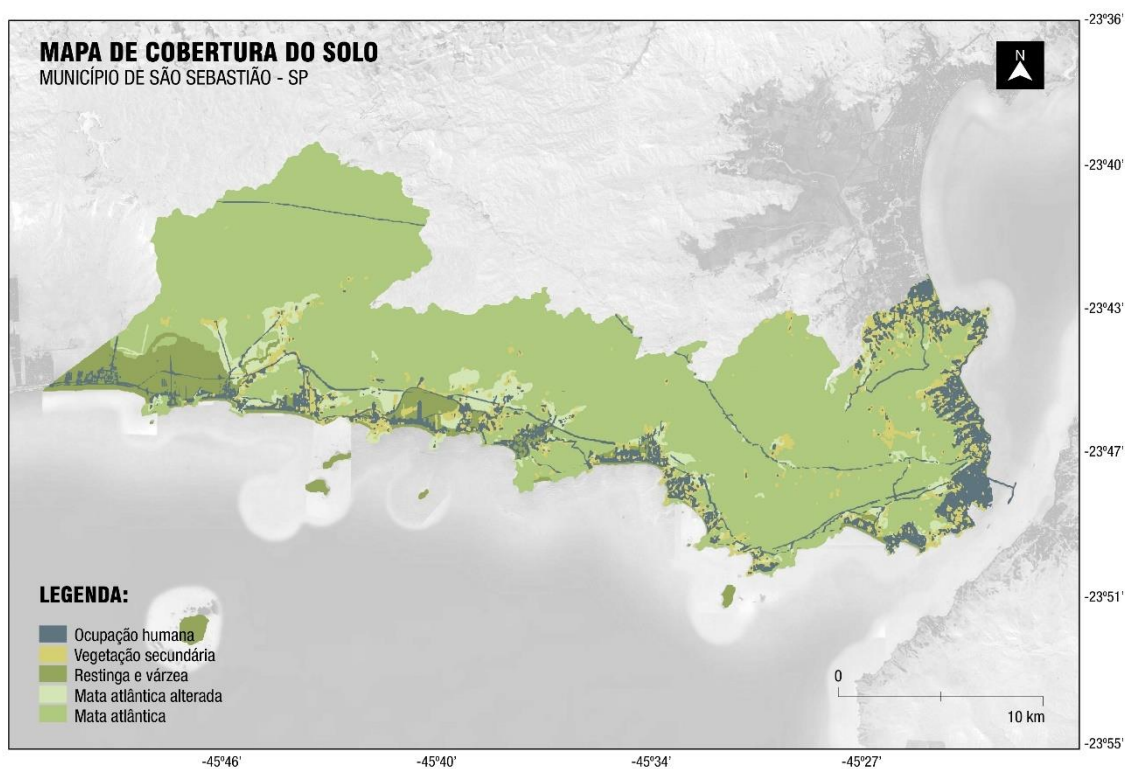


Fonte: Crepani e Medeiros (2002), adaptado pelo autor.

### 4.3 Pré-processamento

Os dados foram consultados e manipulados por operações realizadas no software SIG SPRING-5.5.6, com auxílio da linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). Em atenção ao procedimento metodológico desenvolvido por Muñoz (2005), a primeira etapa do pré-processamento consistiu na reclassificação dos temas, considerando apenas as variáveis intrínsecas ao fenômeno de deslizamento de terra. Para tanto, reclassificou-se o mapa temático de cobertura do solo considerando-se apenas as variáveis: a) ocupação humana, b) vegetação secundária, c) restinga e várzea, d) mata atlântica alterada e e) mata atlântica. O resultado é apresentado na Figura 4.3.

**Figura 4.3 – Mapa de cobertura do solo de São Sebastião.**

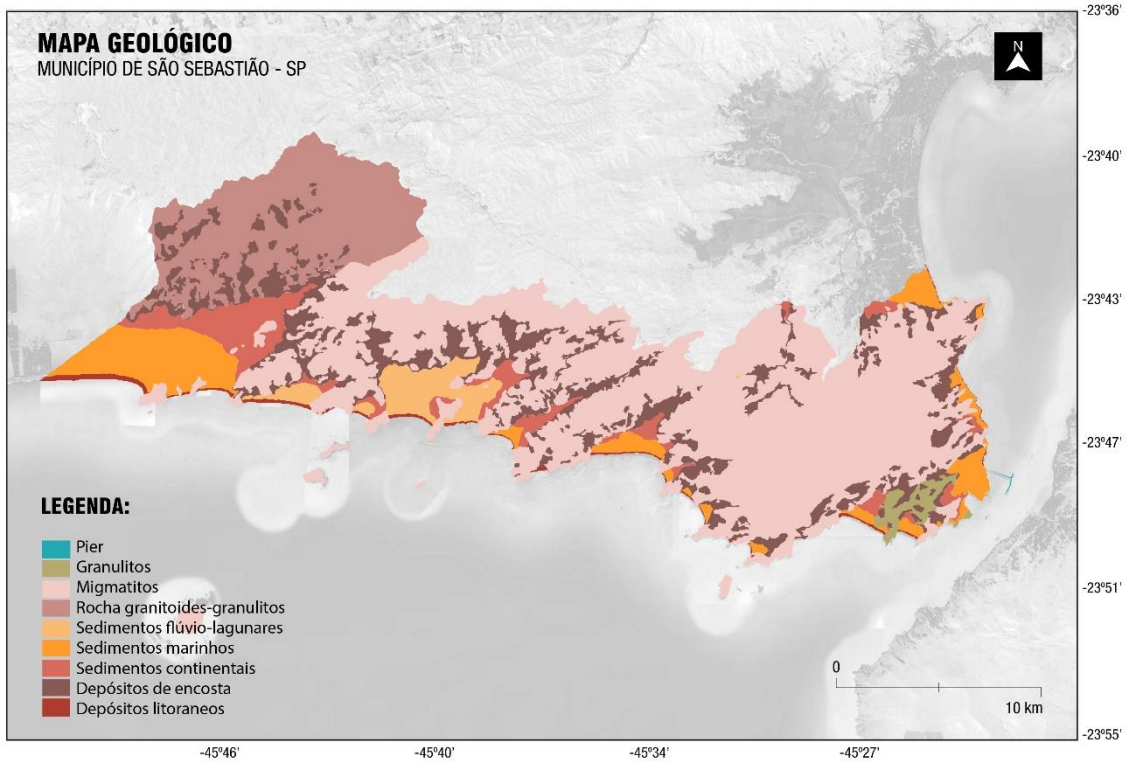


Fonte: Crepani e Medeiros (2002), adaptado pelo autor.

De igual modo, reclassificou-se os mapas temáticos de geologia, geomorfologia e solos. Para usar o tema “declividade”, primeiro procedeu-se com o fatiamento do MNT nas variáveis de inclinação “0-10%”, “10-20%”, “20-58%”, “58-77%” e “maior que 77%”. Os resultados são apresentados nas Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7.

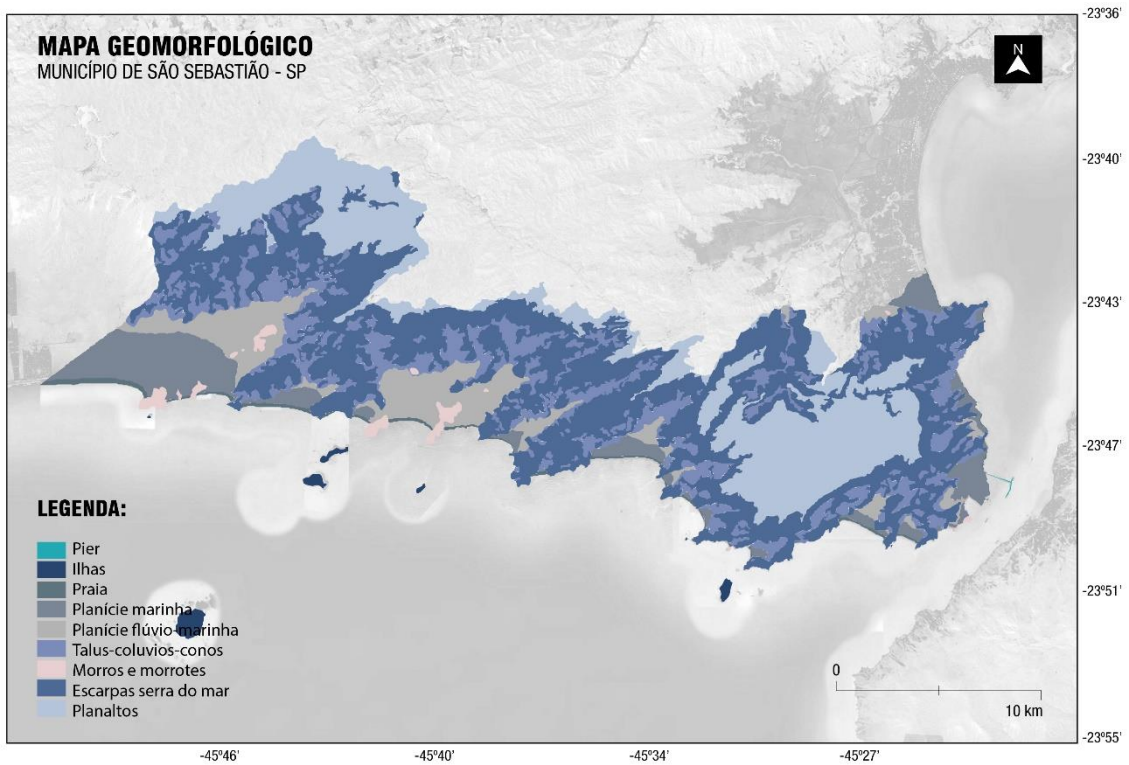


**Figura 4.4 – Mapa geológico de São Sebastião.**



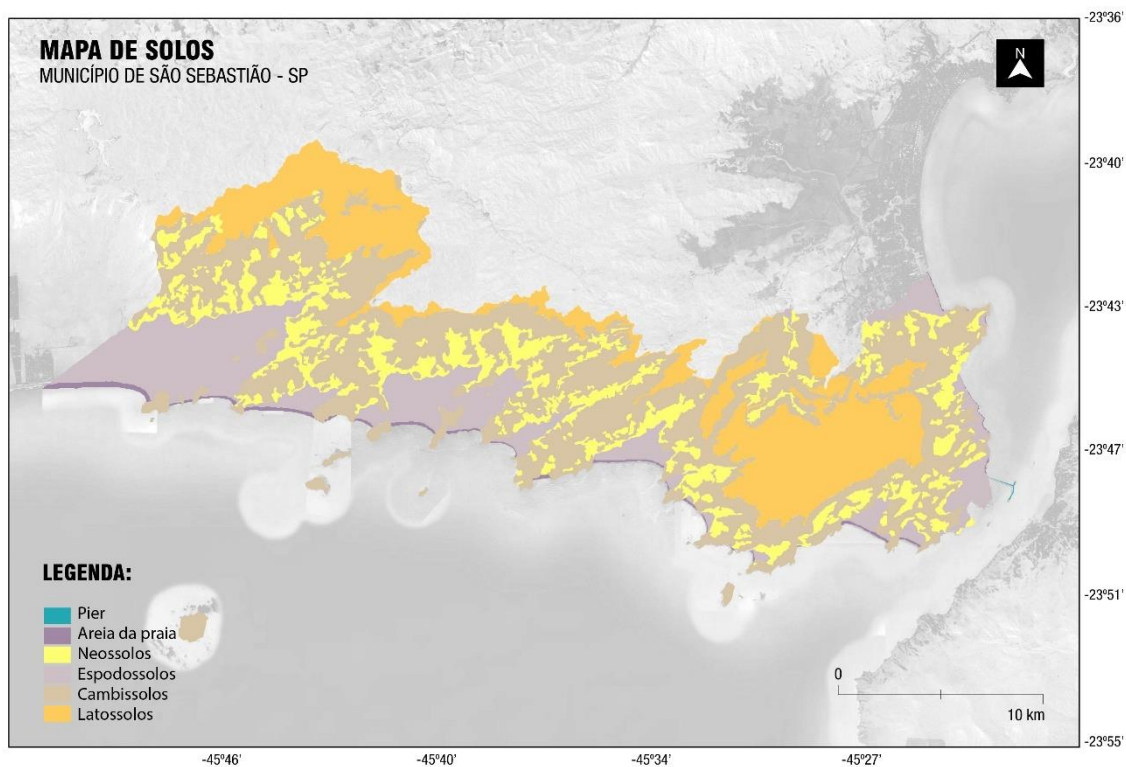
Fonte: Crepani e Medeiros (2002), adaptado pelo autor.

**Figura 4.5 – Mapa geomorfológico de São Sebastião.**



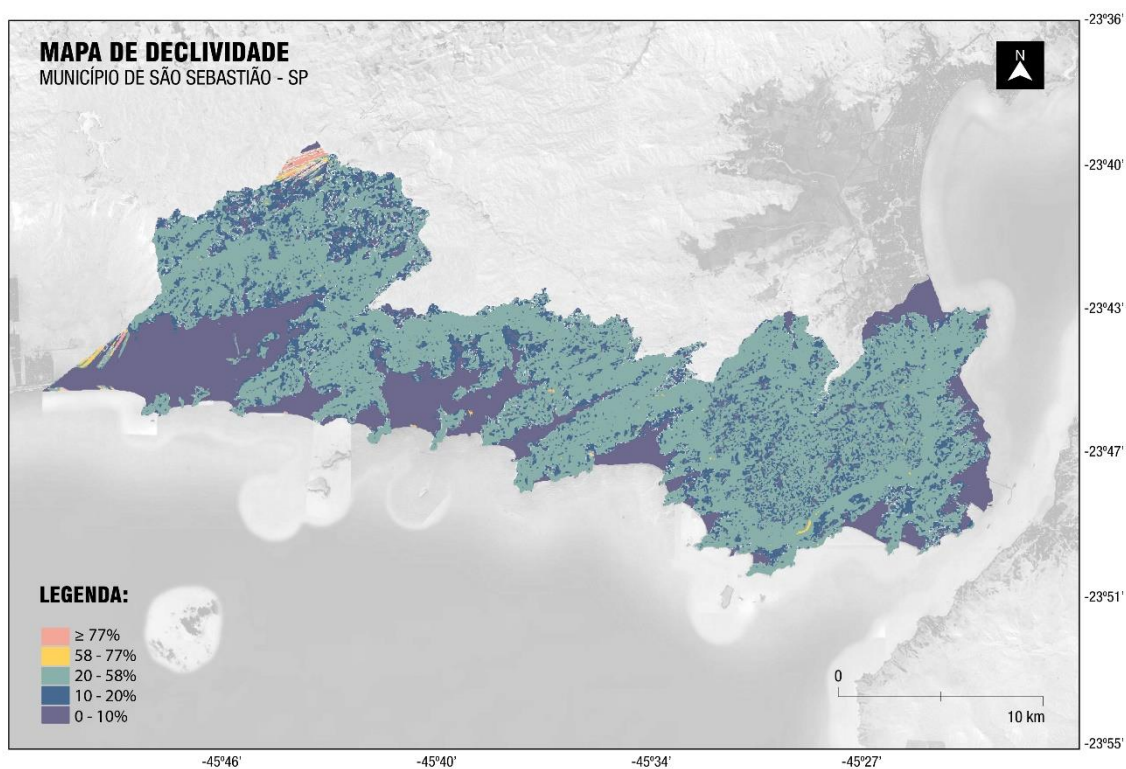
Fonte: Crepani e Medeiros (2002), adaptado pelo autor.

Figura 4.6 – Mapa de solos de São Sebastião.



Fonte: Crepani e Medeiros (2002), adaptado pelo autor.

Figura 4.7 – Mapa declividade de São Sebastião.



Fonte: Crepani e Medeiros (2002), adaptado pelo autor.

## 4.4 Modelagem

Após a fase de pré-processamento dos dados, elaborou-se os mapas temáticos de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa segundo as técnicas de inferência *booleana*, média ponderada e *fuzzy gama*, além dos mapas temáticos de suporte à decisão AHP e de incertezas.

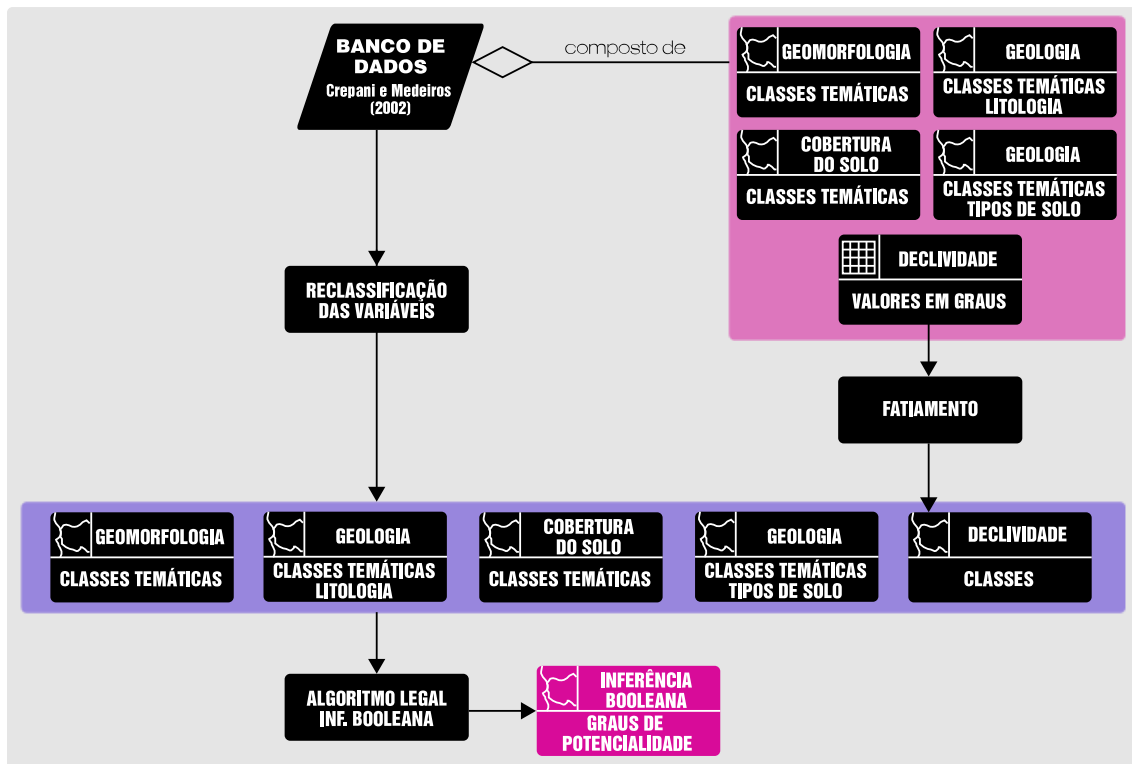
### 4.4.1. Inferência *booleana*

Para gerar o mapa temático segundo a álgebra *booleana*, adotou-se os seguintes relacionamentos para definir o grau de potencialidade a deslizamentos, segundo os quais o algoritmo classificaria a porção territorial como:

- a) **Muito alta**, quando a declividade fosse maior que 77% e fosse verificada a ocorrência de escarpas Serra do Mar, morro e morrotes e houvesse a presença de depósitos de encosta e migmatitos, assim como solos do tipo cambissolos e latossolos;
- b) **Alta**, quando a declividade fosse maior que 20% e menor que 77%, com ocorrência de morros e morrotes, tálus-colúvios e escarpas Serra do Mar e houvesse a presença de migmatitos e rochas granitoides-granulitos, para solos do tipo cambissolos e espodossolos;
- c) **Baixa**, para declividade entre 10% e 20%, com ocorrência de tálus-colúvios-conos, planaltos, planície fluviomarinha e planície marinha, e quando houvesse a presença de rochas granitoides-granulitos, sedimentos continentais e depósitos litorâneos, para solos do tipo espodossolos, neossolos e areia da praia;
- d) **Muito baixa**, para declividade entre 0% e 20%, mas onde fossem verificadas as variáveis geomorfológicas tálus-colúvios-conos e planaltos, com sedimentos continentais e depósitos litorâneos, para solos classificados como neossolos e areia da praia;
- e) **Média**, para qualquer outra associação de variáveis.

O processo de classificação seguiu o OMT-G apresentado na Figura 4.8. O resultado, obtido em dado matricial, foi convertido para dado vetorial composto pelas classes muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

Figura 4.8 – OMT-G para a inferência *booleana*.



Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.4.1. Inferência por Média Ponderada

Para gerar o mapa temático por média ponderada, adotou-se os pesos definidos por Muñoz (2005) para cada variável, apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Pesos e grau de potencialidade das variáveis.

		TEMAS					PESO	GRAU
		COBERTURA DO SOLO	GEOLOGIA	GEOMORFOLOGIA	SOLOS	DECLIVIDADE		
VARIÁVEIS	Ocupação humana	Depósitos de encosta	Escarpas Serra do Mar	Latosolos	≥ 77%	10	Muito alto	
	Mata Atlântica alterada	Migmatitos	Morros e morrotes	Cambissolos	58%-77%	7,5	Alto	
	Vegetação secundária	Rochas granitoides-granulitos	Tálus-colúvios-conos	Espodossolos	20%-58%	5	Médio	
	Mata Atlântica	Sedimentos continentais	Planaltos	Neossolos	10%-20%	2,5	Baixo	
	Restinga e Várzea	Depósitos litorâneos	Planícies fluvio-marinha/marinha	Areia da praia	0%-10%	0	Muito baixo	

Fonte: elaborado pelo autor.

Os pesos adotados para os temas foram os indicados na Equação 4.1:

$$r = \frac{(0,46 * dec) + (0,26 * gmo) + (0,17 * geo) + (0,09 * sol) + (0,02 * cob)}{1} \quad (4.1)$$

Onde:

dec: raster de declividade

gmo: raster de geomorfologia

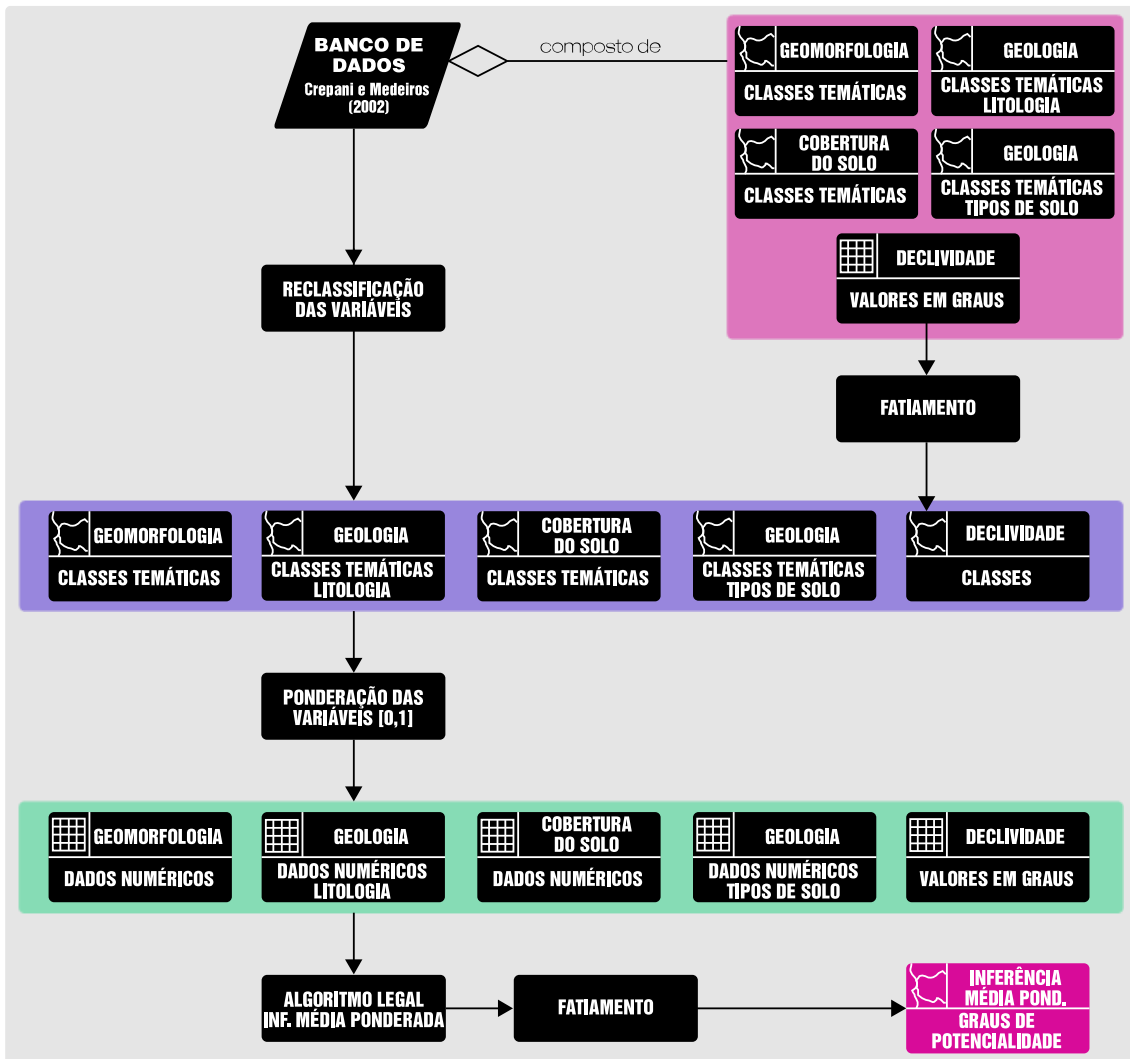
geo: raster de geologia

sol: raster de solos

cob: raster de cobertura do solo

O processo de classificação seguiu o OMT-G apresentado na Figura 4.9. O resultado, obtido em dado matricial, foi convertido para dado vetorial composto pelas classes muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

**Figura 4.9 – OMT-G para a inferência por média ponderada.**



Fonte: elaborado pelo autor.



#### 4.4.1. Suporte à decisão AHP

A análise AHP foi realizada pela ferramenta do SPRING 5.5.6 “Análise>Suporte à decisão AHP”. O cálculo dos pesos a serem utilizados para ponderação dos temas foram obtidos a partir da comparação par a par demonstrada na Figura 4.10. O índice de consistência CR obtido foi de 0,029.

**Tabela 4.2 – Comparação par a par para determinação dos pesos.**

TEMAS	PESO	JULGAMENTO	TEMAS
Declividade	1	IGUAL	Geologia
Declividade	6	BEM MELHOR	Geomorfologia
Declividade	2	UM POUCO MELHOR	Solos
Declividade	9	ABSOLUTAMENTE MELHOR	Cobertura do solo
Geologia	2	UM POUCO MELHOR	Geomorfologia
Geologia	2	UM POUCO MELHOR	Solos
Geologia	9	ABSOLUTAMENTE MELHOR	Cobertura do solo
Geomorfologia	1	IGUAL	Solos
Geomorfologia	3	ALGO MELHOR	Cobertura do solo
Solos	4	MODERADAMENTE MELHOR	Cobertura do solo

Fonte: SPRING 5.5.6 (2017), adaptado pelo autor.

O cálculo realizado pelo SPRING retornou a seguinte atribuição de pesos,

$$r = \frac{(0,394 * dec) + (0,116 * gmo) + (0,304 * geo) + (0,149 * sol) + (0,037 * cob)}{1} \quad (4.2)$$

empregada na ponderação dos temas para a técnica AHP:

Onde:

dec: raster de declividade

gmo: raster de geomorfologia

geo: raster de geologia

sol: raster de solos

cob: raster de cobertura do solo

As operações realizadas para produção do mapa temático da AHP seguiram o fluxo apresentado na Figura 4.9, com alteração apenas nos pesos empregados no algoritmo, que foram os apresentados pela Equação 4.2.

#### 4.4.1. Inferência *fuzzy gama*

A primeira etapa desta inferência consistiu na transformação logística dos dados. Os pesos das variáveis foram normalizados em um intervalo de 0 a 1, segundo a função:

$$f(x) = \frac{1}{1 + \alpha(x - \beta)^2} \quad (4.3)$$

Onde:

f(x): peso normalizado no intervalo de 0 a 1

x: peso expresso no intervalo de 0 a 10

Após a normalização, definiu-se que os graus corresponderiam aos seguintes pesos: a) muito alto – 1; b) alto – 0,8; c) médio – 0,5; d) baixo – 0,3; e) muito baixo – 0,2. À cada variável foi atribuído um peso normalizado segundo a Equação 4.3. Os temas normalizados foram então processados por algoritmo LEGAL, resultando em um novo dado matricial, sobre o qual executou-se o operador gama para quatro expoentes “ $\gamma$ ” distintos: 0,60 (cenário mais otimista); 0,63; 0,65 e 0,70 (cenário mais pessimista).

A operação gama deu-se por meio da Equação 4.4. Cada mapa foi obtido por uma operação raster, na qual subtraiu-se de 1 os dados numéricos da matriz acima mencionada, elevando o resultado obtido ao expoente “ $\gamma$ ” considerado e, novamente, subtraindo o resultado de 1. Parte do procedimento foi realizado com o segundo termo da equação, no entanto, o expoente “ $\gamma$ ” foi substituído pelo valor de sua diferença até 1.

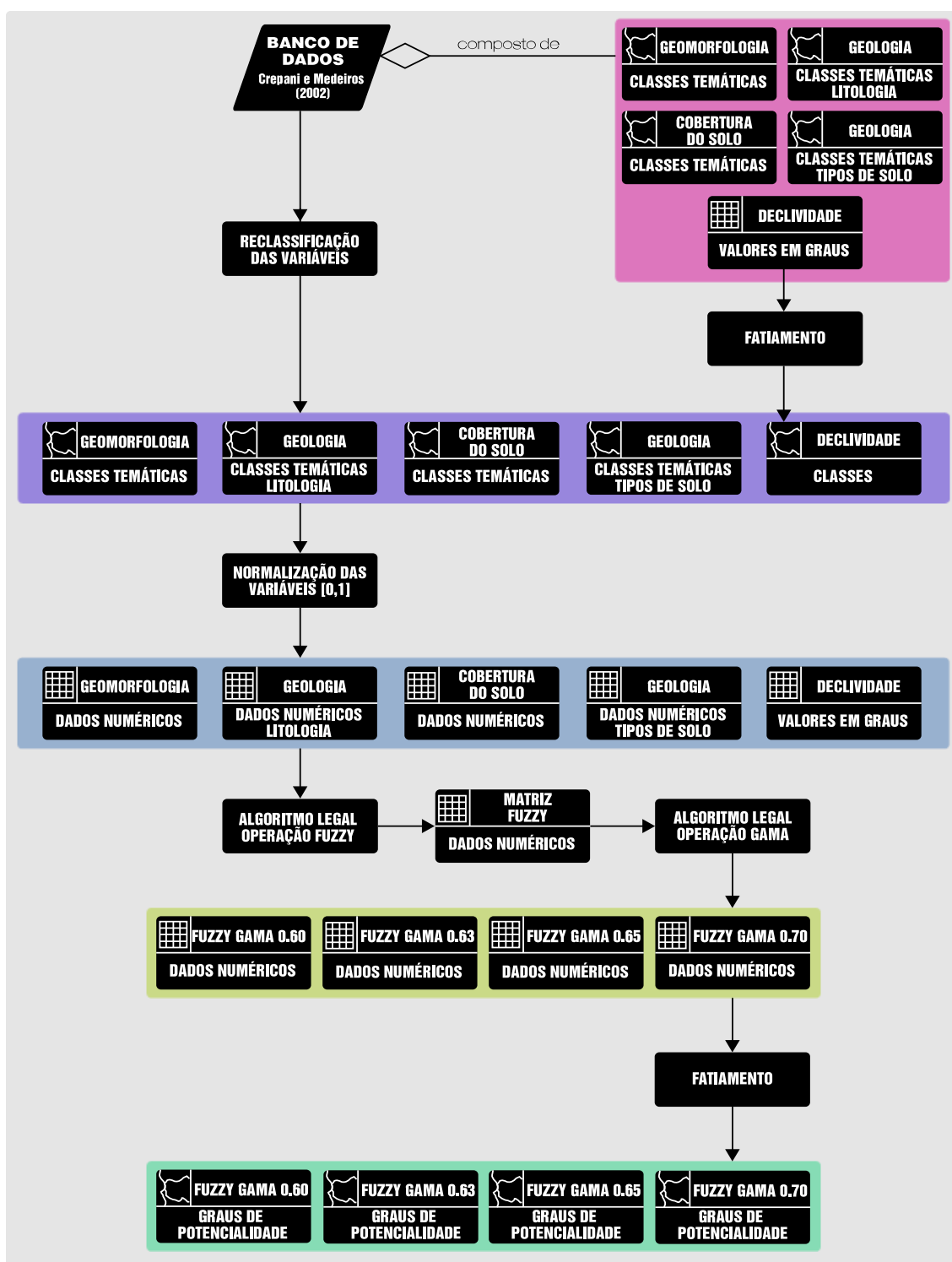
Onde:

$$M_\gamma = (1 - (1 - raster)^\gamma) * (raster)^{1-\gamma} \quad (4.4)$$

$\gamma$ : expoente gama adotado

Por fim, procedeu-se com o fatiamento do dado matricial segundo o grau de potencialidade a deslizamentos (muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo). Ainda no software SPRING, converteu-se o dado matricial em vetorial. O OMT-G para a inferência *fuzzy gama* é apresentado na Figura 4.10.

Figura 4.10 – OMT-G para a inferência *fuzzy gama*.



Fonte: elaborado pelo autor.

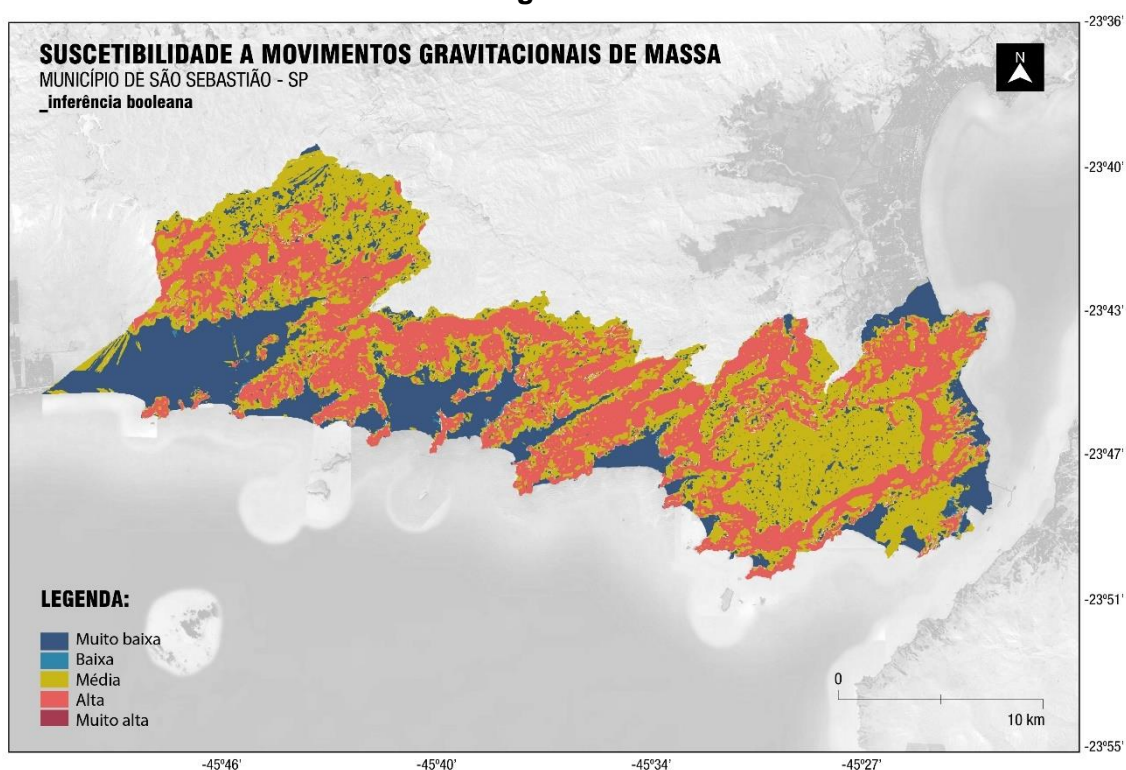
Para a inferência *fuzzy gama* produziu-se um mapa de incerteza, que identificou as porções territoriais cujo grau de potencialidade divergiu em ao menos um dos operadores gama.



## 5 RESULTADOS

Como resultados, produziu-se 8 mapas para avaliar o grau de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa em São Sebastião, a partir de diferentes técnicas de inferência geográfica. O primeiro mapa temático foi elaborado segundo a lógica *booleana*, apresentado na Figura 5.1. Por esta inferência, observa-se que os graus de potencialidade “baixa” e “muito alta” não aparecem de forma expressiva, fato decorrente da natureza binária da técnica.

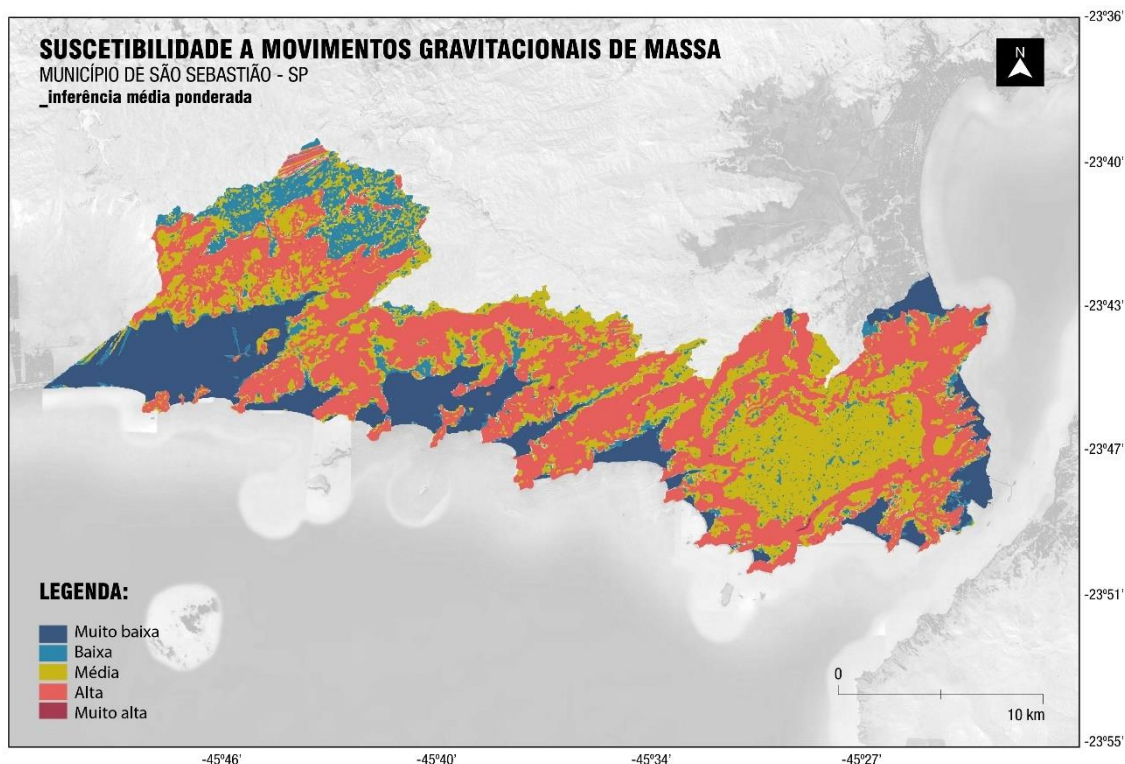
**Figura 5.1 – Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais segundo a abordagem *booleana*.**



Fonte: elaborado pelo autor.

Pela técnica da média ponderada (Figura 5.2), o processamento retornou um resultado com uma distribuição espacial mais heterogênea dos graus de potencialidade. Em comparação com o mapa da Figura 5.1, nota-se a ocorrência do grau “baixa” em áreas onde, pela inferência *booleana*, foram classificadas como “muito baixa” e “média”. Cabe ressaltar, ainda sobre o grau “muito baixa”, que em ambas as técnicas este correspondeu a áreas onde a geomorfologia é caracterizada por planícies e a geologia por sedimentos.

**Figura 5.2 – Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais segundo a abordagem média ponderada.**

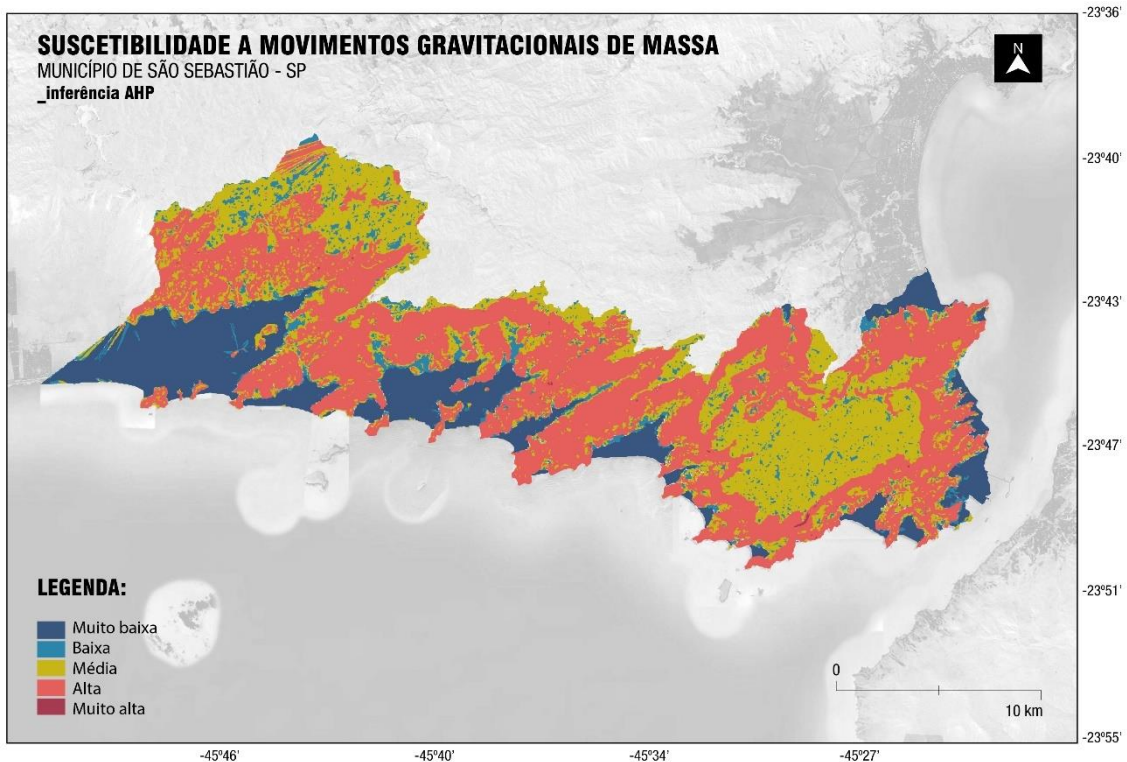


Fonte: elaborado pelo autor.

O cenário gerado a partir da análise AHP recuperou as variáveis ponderadas no processo de inferência por média ponderada, no entanto, atribuindo-se outros pesos a partir da comparação par a par dos temas entre si. O resultado foi uma classificação mais pessimista quando comparada àquela obtida por média ponderada, visto que áreas classificadas com grau baixo passaram a ter grau médio. Também se observou um aumento na distribuição espacial do grau “alta”.

Como as porções territoriais cuja classificação mostrou-se discrepante compartilham o mesmo tipo de solo (latossolo), geomorfologia (planaltos) e faixa de declividade (de 10 a 58%), atribui-se às características geológicas a mudança no grau de potencialidade. Enquanto a porção situada ao noroeste é formada por rochas granitoides-granulitos, a situada ao sudeste é constituída por migmatitos. Além disso, na AHP o peso atribuído à geologia é superior ao atribuído à geomorfologia (ver equações 4.1 e 4.2). A Figura 5.3 mostra o resultado temático da aplicação da técnica AHP.

Figura 5.3 – Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais com a AHP.



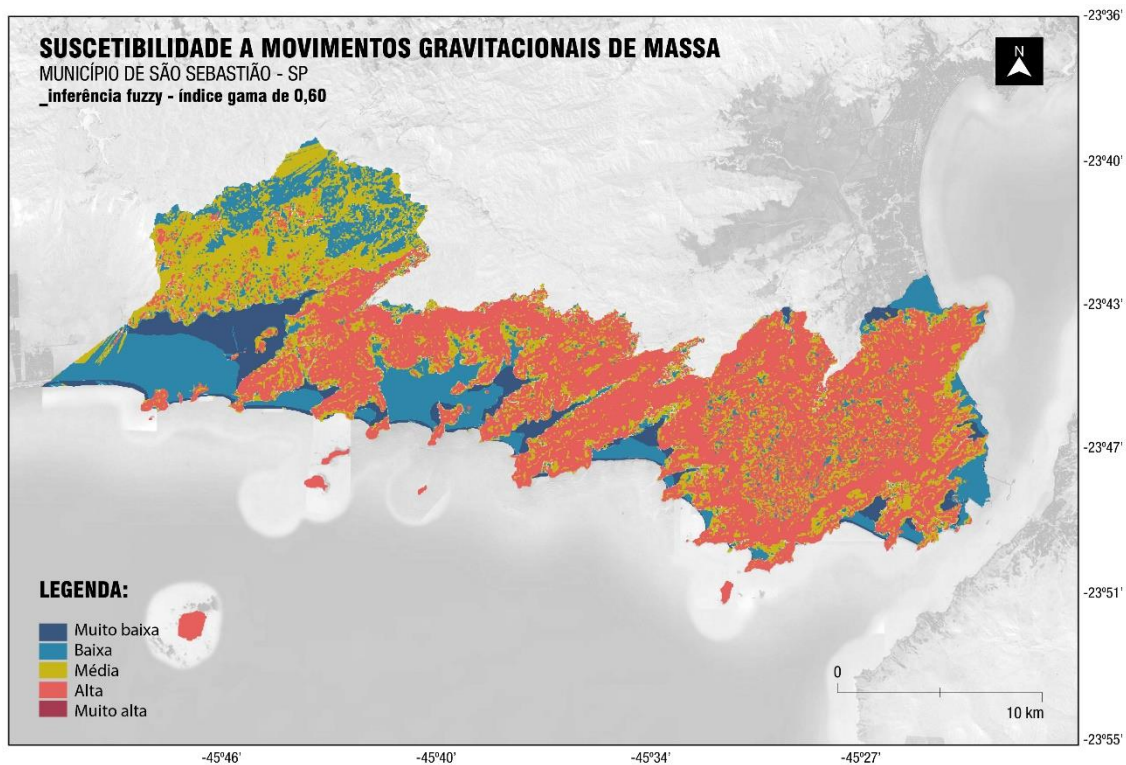
Fonte: elaborado pelo autor.

Os cenários simulados com os operadores *fuzzy* retornou distribuições espaciais dos graus de forma mais difusa. No operador  $\gamma_{60}$ , nota-se que as áreas onde há ocupação humana foram classificadas com grau baixo ou muito baixo. Geologicamente, correspondem a sedimentos flúviolagunares, marinhos e continentais, em relevos de planícies, solo do tipo espodossolos e declividade de 0 a 10%. Ao simular o cenário com o operador  $\gamma_{63}$  há uma expansão do grau médio, sobretudo para áreas de depósitos de encosta.

Entre os operadores  $\gamma_{63}$  e  $\gamma_{65}$ , somente é constatada mudança expressiva de grau em uma porção territorial localizada à sudoeste, com declividade variando de 20 a 58%. Enquanto que no primeiro operador a porção foi classificada com grau médio, no segundo, passou a ter grau alto. Tal sutileza não ocorreu no cenário mais pessimista, com  $\gamma_{70}$ , uma vez que o grau médio se expandiu vertiginosamente sobre porções antes classificadas com risco baixo, e porções classificadas como de risco médio foram lidas como de risco alto. As Figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 apresentam os resultados da inferência *fuzzy gama*.

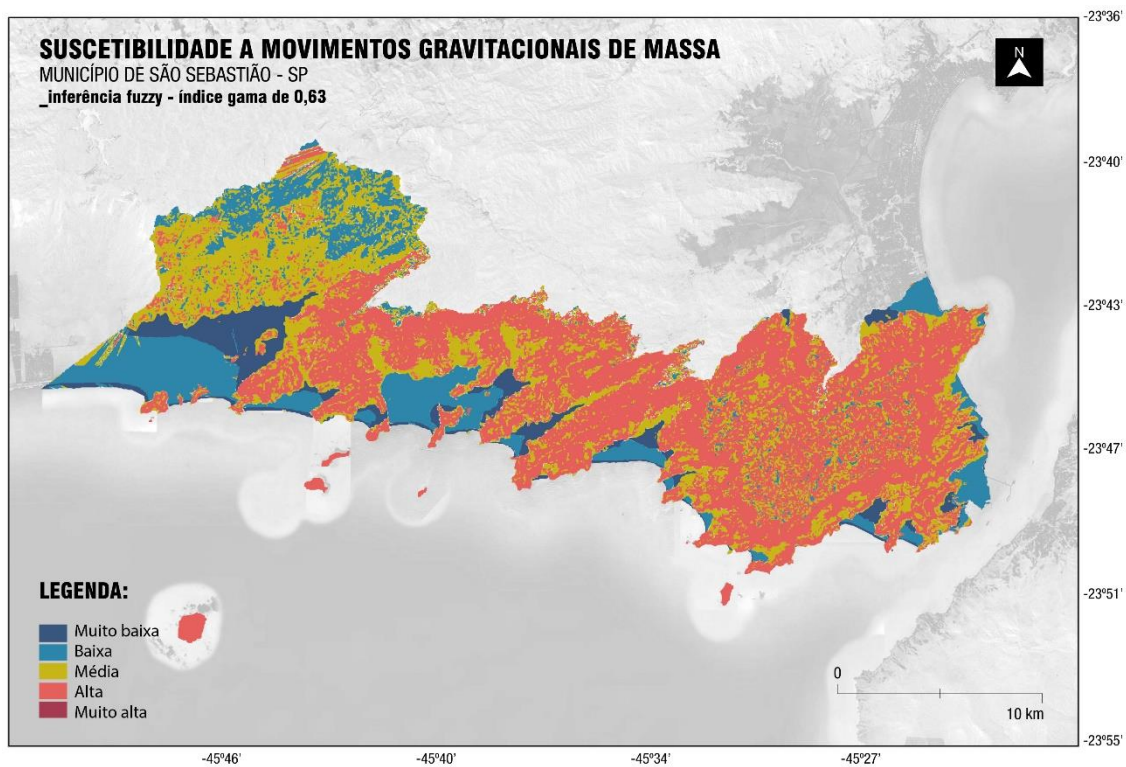


Figura 5.4 – Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais - *fuzzy gama 0,60*.



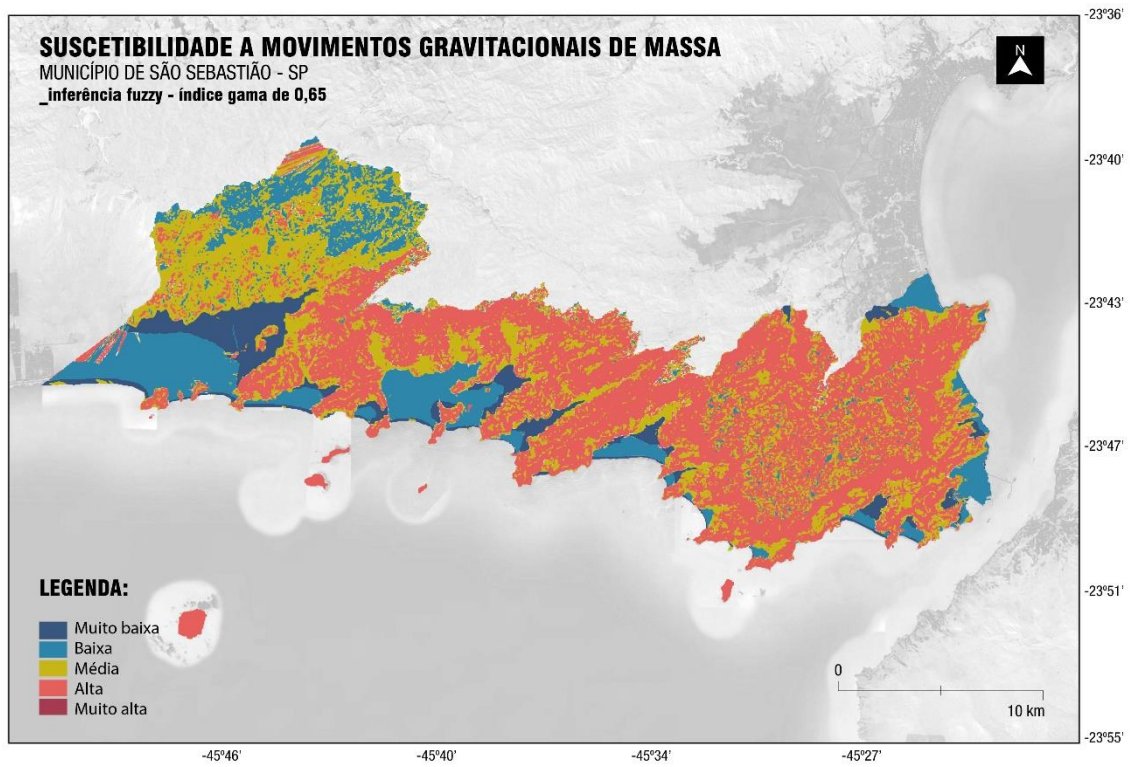
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5.5 – Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais - *fuzzy gama 0,63*.



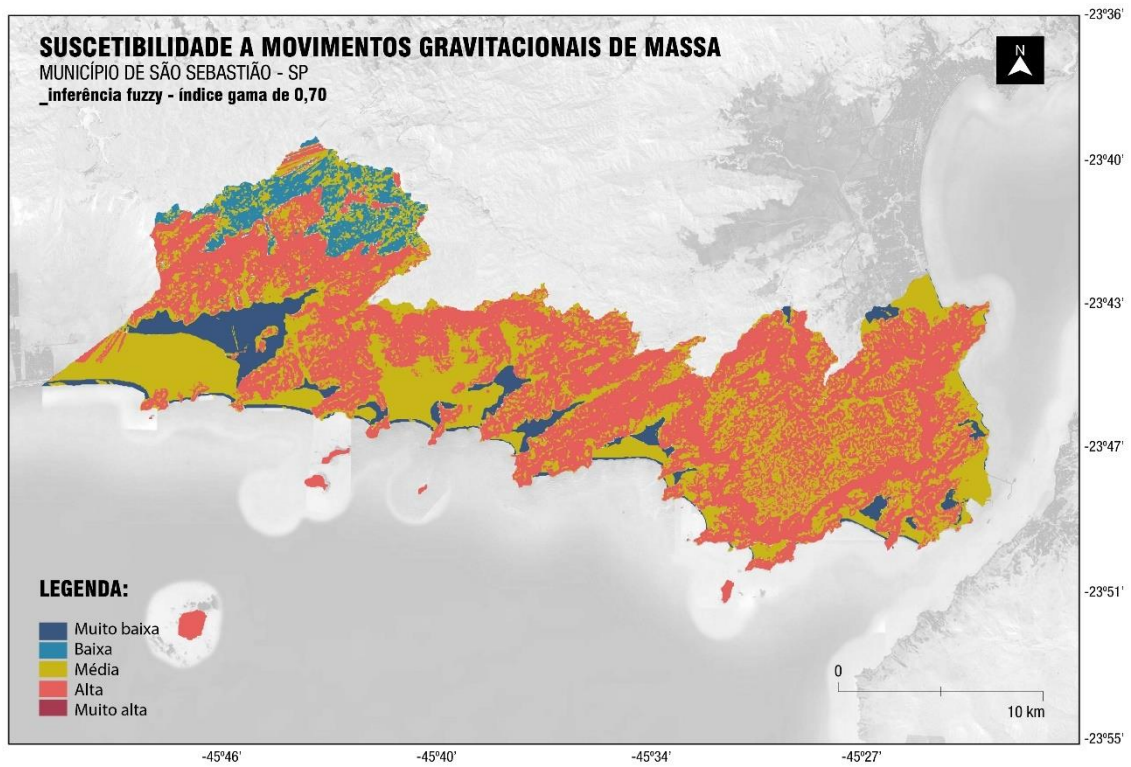
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5.6 – Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais - *fuzzy gama 0,65*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5.7 – Mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais - *fuzzy gama 0,70*.

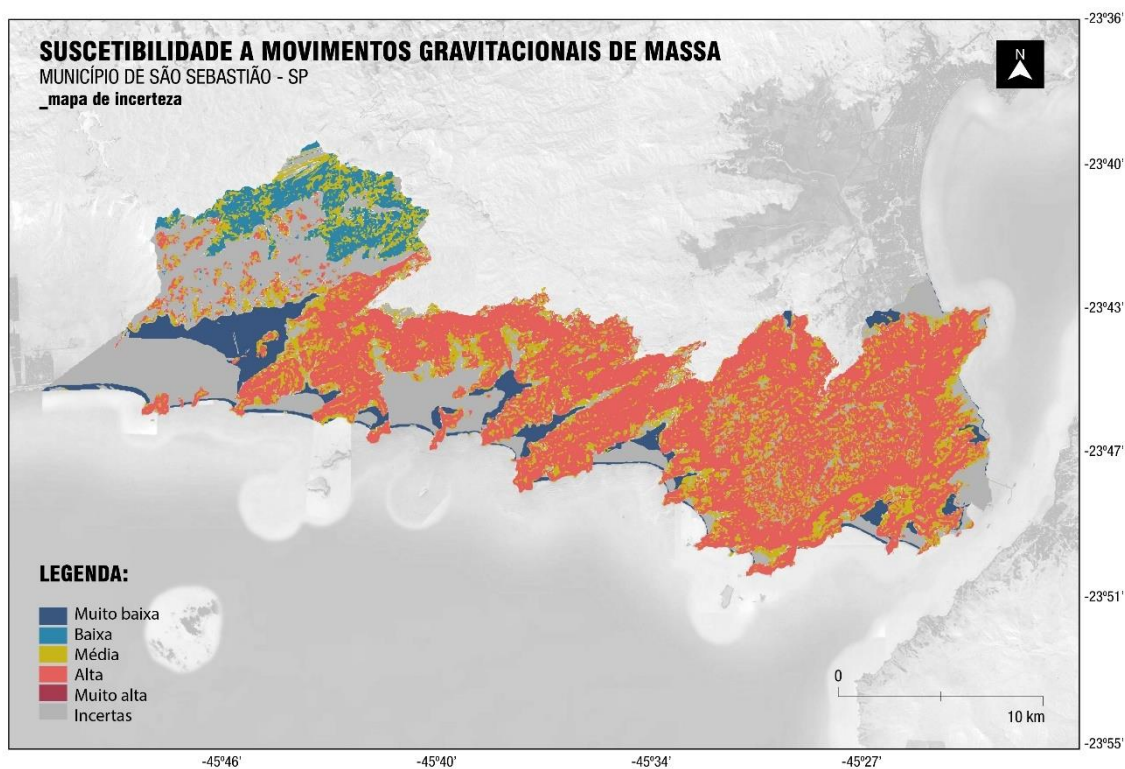


Fonte: elaborado pelo autor.



Para melhor avaliar os resultados obtidos com a inferência *fuzzy gama*, foi elaborado o mapa de incerteza apresentado na Figura 5.8. Verifica-se que houve inconsistência na avaliação do grau de potencialidade, principalmente, em porções territoriais onde o relevo é planície marinha, com sedimentos flúviolagunares e marinhos e solo do tipo espodossolo. Tal discrepância decorre do fato de que na operação gama com  $\gamma 70$ , a multiplicação do raster amplia de forma exponencial o resultado em comparação com os demais em uma amplitude maior. Além disso, o dado matricial empregado na operação foi proveniente de uma normalização onde as variáveis citadas foram associadas a pesos intermediários no intervalo de 0 a 1.

**Figura 5.8 – Mapa de incerteza da inferência *fuzzy gama*.**

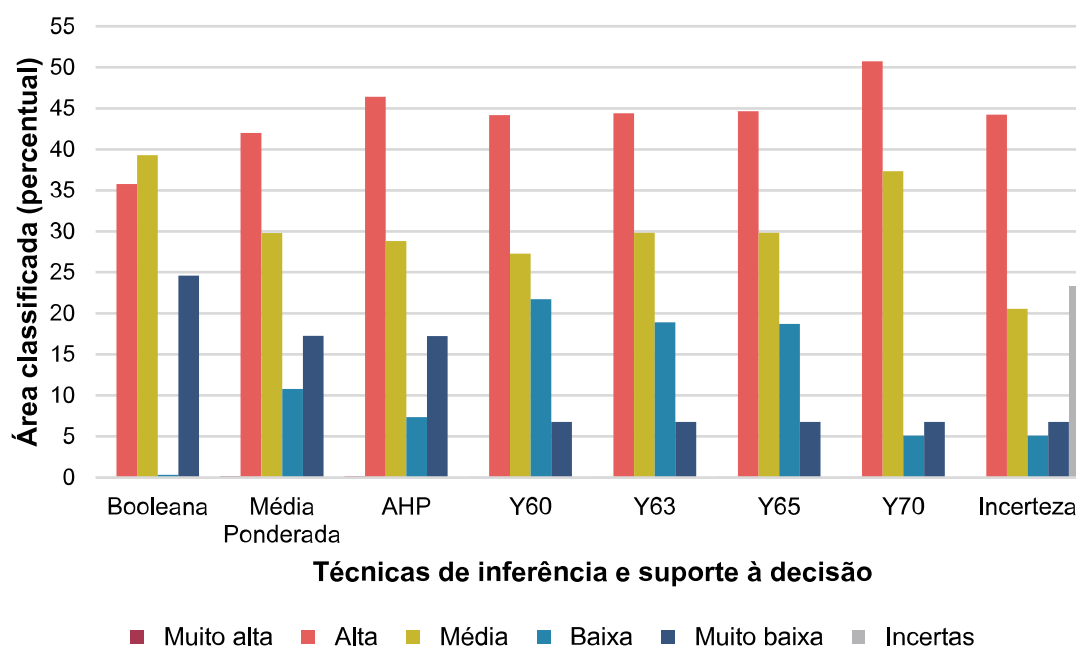


Fonte: elaborado pelo autor.

Ao se comparar os percentuais de ocorrência de cada grau de potencialidade nos mapas elaborados segundo as diferentes técnicas de inferência, observa-se uma flutuação expressiva nos graus “baixa” e “muito baixa”. No mapa de incerteza, o percentual de variação entre os diferentes graus, nos distintos cenários criados pelos operadores *fuzzy gama*, atingiu 23%. Ademais, conforme

pode-se inferir por meio da Figura 5.9, o cenário mais pessimista foi o simulado pelo operador *fuzzy gama 0,70*, seguido por AHP, booleana, *fuzzy gama 0,65*, *fuzzy gama 0,63*, média ponderada e *fuzzy gama 0,60*.

**Figura 5.9 – Gráfico dos percentuais de ocorrência de cada grau de potencialidade segundo as diferentes técnicas de inferência geográfica.**

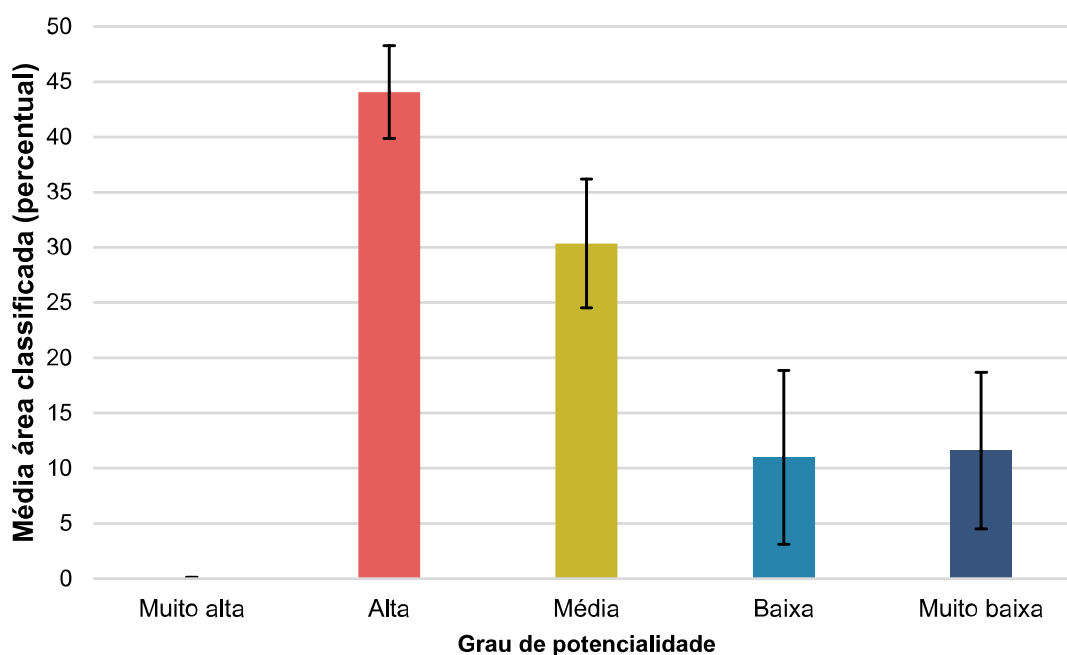


Fonte: elaborado pelo autor.

Ao se avaliar conjuntamente a ocorrência de cada grau nos 7 mapas, inferiu-se que o grau alto ocorre, em média, em 44% de todo o território do município, seguido pelo grau médio (32%), grau muito baixo (12%) e grau baixo (12%). O grau muito alto não atingiu percentual expressivo (0,06%).

Seguindo o evidenciado pelo mapa de incerteza da inferência *fuzzy gama*, os graus “baixa” e “muito baixa”, no geral, apresentaram uma variação expressiva entre a ocorrência mínima e máxima. Em valores absolutos de área, essas classes tiveram desvio padrão de 32,55 km<sup>2</sup> e 29,52 km<sup>2</sup>, respectivamente. As classificações mais consistentes foram as referentes aos graus “alta” e “média”, com médias de ocorrência, em números absolutos, de 176,83 km<sup>2</sup> ± 18,25 e 127,50 km<sup>2</sup> ± 18,51, respectivamente. A Figura 5.10 representa graficamente as médias percentuais obtidas com a indicação do desvio padrão.

**Figura 5.10 – Gráfico dos percentuais médios de ocorrência de cada grau de potencialidade.**



Fonte: elaborado pelo autor.

## 6 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou como resultados, um conjunto de mapas de suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massas para o município de São Sebastião, SP, elaborados segundo diferentes técnicas de inferência geográfica.

A primeira técnica, a inferência *booleana*, não se mostrou indicada para os objetivos da pesquisa, pois em função de sua lógica binária, os graus de potencialidade não foram devidamente distribuídos no espaço. Como observado, dos cinco graus adotados, apenas foram espacializados os denominados de “alta”, “média” e “muito baixa”, o que demonstra a imprecisão do modelo para a avaliação de suscetibilidade.

A inferência por média ponderada, por sua vez, conseguiu retornar uma distribuição mais heterogênea dos graus. Ao utilizar a técnica de suporte à decisão AHP, nota-se a criação de um cenário mais potencialmente pessimista, uma vez que houve aumento da ocorrência do grau “alta” e diminuição do grau



“baixa”. Os operadores *fuzzy gama* 0.60, 0.63 e 0.65 retornaram um resultado linear para o grau “alta”, e entre si, oscilaram sutilmente os demais graus. Já o *fuzzy gama* 0.70 gerou o cenário mais pessimista, ampliando os percentuais dos graus “alta” e “média”.

O mapa de incerteza demonstrou a consistência da classificação do grau “muito baixa”, uma vez que manteve uma baixa flutuação em torno da média derivada dos quatro operadores. Fato não ocorrido nos demais graus, o que resultou em uma incerteza na distribuição dos graus entre os operadores de 23%.

Por fim, constata-se que o grau “alta” se manteve preponderante independentemente da técnica, os graus “baixa” e “muito baixa” apresentaram as maiores variações em torno da média e o cenário mais pessimista foi o retornado pelo operador *fuzzy gama* 0.70, ao passo que o mediano pelas inferências AHP e *fuzzy gama* 0.65, e o mais otimista pelo *fuzzy gama* 0.60.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, R. A. **Centro de operações da prefeitura da cidade do Rio de Janeiro: vulnerabilidades e potencialidades da estrutura governamental de resposta a emergências**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32275/32275.PDF>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BANCO MUNDIAL. **Relatório de Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011**. [Brasília: Gráfica e Editora Executiva], 2012. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/InundacoesDeslizamentosnaRegiaoSerranadoRiodeJaneiro.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2006**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2012]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm). Acesso em: 11 jun. 2021.

CÂMARA, G. *et al.* Inferência geográfica e suporte à decisão. *In*: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Ed.). **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: 22 mar. 2021.

CAMARINHA, P. I. M. **Vulnerabilidade aos desastres naturais decorrentes de deslizamentos de terra em cenários de mudanças climáticas na porção paulista da Serra do Mar**. 2016. 252 f. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LT6C4S>. Acesso em: 11 jun. 2021.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião - SP. *In*: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA (SELPER), 9, 2000, Misiones, Argentina. **Anais...** Misiones, Argentina: SELPER, 2000, v. 9, p. 889-898.

FELL, R. *et al.* Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 108, p. 85-98, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795208001762?via%3Dihub>. Acesso em: 11 jun. 2021.

G1 REGIÃO SERRANA. Capela de Santo Antônio será reaberta em Nova Friburgo, RJ. **G1.globo.com**, Cabo Frio, 12 jun. 2013, 20:36. Disponível em: <http://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2013/06/capela-de-santo-antonio-sera-reaberta-em-nova-friburgo-rj.html>. Acesso em: 11 jun. 2021, 11:51.

GOOGLE EARTH. **São Sebastião, São Paulo**. 2021. 1 imagem de satélite, color. Data SIO, NOAA, US. Navy, NGA, GEBCO. Lat. -23.482285, Long. -45.240595.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY. **The landslide handbook**: a guide to understanding landslides. Circular 1325. Virginia: USGC, 2008, 129 p. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/circ/1325/>. Acesso em: 22 mar. 2021.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY. **O manual de deslizamento**: um guia para a compreensão de deslizamentos. Tradução de Paulo R. Rogério e Juarês José Aumond. Pomerode: Qualicopy Serviços e Comércio Ltda, 2008, 158 p. Disponível em: [https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos\\_M5DS\\_0.pdf](https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS_0.pdf). Acesso em: 11 jun. 2021.

IBGE. **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2019, 56 p. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101684.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

IBGE. **São Sebastião**: panorama. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-sebastiao/panorama>. Acesso em: 11 jun. 2021.

IPHAN. O impacto das últimas chuvas e as ações do Iphan no centro histórico de Salvador (BA). **Portal.iphan.gov.br**, Brasília, 28 maio. 2015, 17:51. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/noticias/detalhes/2318/o-impacto-das-ultimas-chuvas-e-as-acoes-do-iphan-no-centro-historico-de-salvador-ba>. Acesso em: 11 jun. 2021, 11:39.

INPE. SPRING. Versão 5.5.6 [São José dos Campos]: INPE, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações município de São Sebastião – SP**. [São Paulo]: IPT, 2017. Escala 1:25.000. Disponível em: [http://gd.cprm.gov.br/suscetibilidade/saosebastiao/mapa\\_saosebastiao\\_sp\\_suscet.pdf](http://gd.cprm.gov.br/suscetibilidade/saosebastiao/mapa_saosebastiao_sp_suscet.pdf). Acesso em: 22 mar. 2021.

JACKSON JUNIOR, L. E.; BOBROWSKY, P. T. BICHLER, A. Identification, Maps and Mapping – Canadian Technical Guidelines and Best Practices related to Landslides: a national initiative for loss reduction. **Geological Survey of Canada**, n. 7059, p. 1-33, 2012. DOI 10.4095/292122. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/278668618\\_IDENTIFICATION\\_MAPS\\_AND\\_MAPPING\\_Canadian\\_Technical\\_Guidelines\\_and\\_Best\\_Practices\\_related\\_to\\_Landslides\\_a\\_national\\_initiative\\_for\\_loss\\_reduction--Authors\\_LE\\_Jackson\\_Jr\\_Peter\\_T\\_Bobrowsky\\_Ahren\\_Bichler](https://www.researchgate.net/publication/278668618_IDENTIFICATION_MAPS_AND_MAPPING_Canadian_Technical_Guidelines_and_Best_Practices_related_to_Landslides_a_national_initiative_for_loss_reduction--Authors_LE_Jackson_Jr_Peter_T_Bobrowsky_Ahren_Bichler). Acesso em: 11 jun. 2021.

JULIÃO, R. P. *et al.* **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal**. [S.l.]: Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2009. ISBN 978-989-96121-4-3. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/39562>. Acesso em: 11 jun. 2021.

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: 22 mar. 2021.

MUÑOZ, V. A. **Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil**. 2005. Monografia (Especialização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação

Geográfica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

PESQUISA mostra que número de mortos em deslizamentos de terra em 2020 é o maior em 9 anos. Entrevistadora: Janaina Lepre. Entrevistada: Alessandra Cristina Corsi. Rio de Janeiro: Bom Dia Brasil, 11 mar. 2020. 1 vídeo (4 min). Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/8389913/>. Acesso em: 22 mar. 2021.

PIETROBELLI, G.; TRATZ, E. B. **Geologia**. Guarapuava: Gráfica Unicentro, 2015. 105 p. Disponível em: <http://repositorio.unicentro.br:8080/jspui/bitstream/123456789/957/5/GEOLOGIA.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021, 11:39.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. **Mat/d Modelling**, Oxford, v. 9, n.3-5, p. 161-176, 1987. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/82000104.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

WERLANG, M. K. **Geomorfologia**. Santa Maria: UFSM, NTE, 2019. *E-book* (67 p.). Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/18367>. Acesso em: 11 jun. 2021.