

MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTO DE MASSA NO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO –SP COM DIFERENTES TÉCNICAS DE INFERÊNCIA ESPACIAL.

Teule Lemos Branco

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

INPE
São José dos Campos
2019

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 MOTIVAÇÃO	1
2 MATERIAS E MÉTODOS.....	3
2.1 Área de estudo	3
2.2 Banco de dados espaciais.....	3
2.3 Modelagem	5
2.4 Técnicas de Inferência Espacial.....	8
2.4.1 Booleano	8
2.4.2 Média Ponderada.....	9
2.4.3 AHP	10
2.4.4 <i>Fuzzy Gamma</i>	11
3 RESULTADOS	14
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 MOTIVAÇÃO

Os movimentos de massa são processos dinâmicos capazes de mudar a paisagem terrestre. A movimentação de partículas de solo vertente abaixo, tem como agente principal a força gravitacional (CHRISTOFOLETTI, 1980) , mas também há outros fatores que são importantes, como o tipo de solo, forma do terreno, variáveis climáticas, fatores antrópicos, entre outros (BISPO et al., 2011). Estes processos ocorrem na maioria das vezes em locais montanhosos, e têm alto impacto no ambiente e na sociedade, pois tem capacidade de promover perdas materiais e de vida humana.

O estudo da susceptibilidade aos movimentos de massa e a elaboração de uma cartografia apropriada, são necessários para tentar descrever as zonas mais propícias para a ocorrência desses processos, oferecendo uma base científica para a tomada de decisão dos agentes públicos e privados. Segundo Munõz (2005), zoneamento do risco é uma ferramenta fundamental para o planejamento do território onde os componentes do risco são a ameaça e vulnerabilidade, onde a ameaça está associada a susceptibilidade e aos fatores perturbadores. De acordo com Silveira et al.(2014), a susceptibilidade a movimentos de massa compreende a pré-disposição de ocorrência de processos numa área, com base nos fatores condicionantes físico-naturais expressos na morfologia do terreno.

Entretanto, alguns desafios são encontrados para a realização do mapeamento de susceptibilidade, como a falta de critérios consensuais pré estabelecidos, processo na análise, o conjunto de dados disponíveis e a questão da escala do trabalho (SILVEIRA et al., 2014). O uso de dados de sensoriamento remoto dá suporte a confecção destes mapas, e fornecem informações da topografia do terreno, como também sua forma, e também dados de geologia e uso da terra, por exemplo.

De acordo com Munõz (2005), A modelagem espacial refere-se a metodologia utilizada e o conjunto de técnicas de análises que são utilizadas para a geração do modelo. As técnicas de inferências espacial são ferramentas para a integração de dados espaciais, e são utilizadas para realizar a análise, descrição

dos dados, e também a previsão através de modelos prospectivos empíricos ou teóricos.

Este trabalho tem como objetivo realizar o mapeamento da susceptibilidade de massa no município de São Sebastião – SP, através de diferentes técnicas de inferência espacial, a partir de uma modelagem teórica.

2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O município de São Sebastião (Figura 1) encontra-se no litoral norte do estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 23°50'44''S, 45°51'12''W e 23°38'40''S 45°22'37''W. O município apresenta clima tropical, temperatura média de 20 a 25°C, com precipitação anual entre 1500 e 2500 mm (MUÑOZ, 2005).

Está localizada na região chamada Serra Mar, que é caracterizada por suas escarpas com alta declividade, formada por rochas metamórficas, como granitos e gnaisses. A região apresenta também locais de baixada litorânea, apresentando baixa elevação composto por sedimentos de areia, argila e outras partículas (MUÑOZ, 2005).

Figura 1 Mapa do município de São Sebastião. Composição RGB

Fonte: Munõz (2005)



2.2 Banco de dados espaciais

Os dados utilizados para a realização das técnicas de inferência espacial são provenientes de duas fontes: do Banco do trabalho de Crepani e Medeiros

(2000), fazendo uso das variáveis de Geomorfologia, Geologia, Solos e Uso do Solo e; do TOPODATA nas quais foram utilizadas as variáveis de Topografia, Curvatura Vertical e Curvatura Horizontal.

O dado de Geomorfologia, representado por um geocampo temático com 6 classes geomorfológicas: Planaltos; Escarpas da Serra do Mar; Morros e Morrotes Litorâneos; Tálus, Colúvio e conos e ejeção; Planície Fluviomarinha e Planície Marinha e; Praia.

Segundo Munõz (2005) as classes podem ser descritas como: (a) Planaltos: definem superfícies planas com pouca elevação, delimitado por escarpas íngremes; (b) Escarpas da Serra do mar: é o declive de terrenos que estão presentes nas bordas dos planaltos, em específico, a serra mar é caracterizado por blocos falhados e com declividades altas; (c) Morros e morrotes litorâneos: Montes pouco elevados, onde predominam declividade média e alta; (d) Tálus, Colúvio e Conos de Ejeção: tálus é superfície inclinada na base de um morro ou encosta onde se encontra depósito de detritos. Colúvio é o material deslocado pelo efeito da gravidade. Conos de ejeção são depósitos de detritos que localizam a jusante de canais de escoamento. (e) Planície Fluviomarinha e Planície Marinha: são de natureza sedimentar e baixas altitudes. (f) Praia: Depósito de areias.

O dado de Geologia corresponde às unidades litológicas existentes na região, representado por um geocampo temático. As classes são descritas a seguir de acordo com Munõz (2005): (a) Depósitos Litorâneos Atuais e Depósitos de Encosta: Conjunto de materiais sólidos acumulados; (b) Sedimentos Continentais, Marinhos e Fluviolagunares: material originado pela desagregação de rochas pré-existentes, e capaz de ser transportado e depositado; (c) Rochas Granitoides: elemento cristalino com textura granular; (d) Migmatitos: rochas metamórficas originadas de maciços graníticos; (e) Granulitos: Rochas constituídas principalmente de quartzo.

O dado de Solos, representado por geocampo temático, com 5 classes, descritas abaixo de acordo com Munõz (2005): (a) Latossolos: solos profundos que apresentam avançado estágio de intemperização; (b) Cambissolos: solos pouco

profundos, com ausência de argila acumulada; (c) Espodossolos: possuem uma camada orgânica e um mineral lixiviado; (d) Neossolos. Solos pouco desenvolvidos, constituídos por material mineral ou orgânico pouco espessos; (e) Areia da Praia: grãos essencialmente de quartzo resultantes da decomposição de rochas de sílica.

O uso do solo é representado por um geocampo temático com 5 classes de ocupação do solo, sendo elas: (a) Mata Atlântica; (b) Mata Atlântica Alterada; (c) Vegetação de Restinga, Várzea e Mangue; (d) Ocupação Humana e; (e) Vegetação Secundária.

O dado de declividade é representado por um geocampo numérico, com valores de percentagem da declividade. A curvatura vertical e horizontal, são representados por um geocampo numérico. A curvatura vertical tem valores negativos que correspondem a vertentes côncavas, enquanto os positivos as vertentes convexas, e nulos às retas. Já a curvatura horizontal, valores negativos correspondem vertentes convergentes, nulo às planas, e positivos divergente.

A curvatura vertical e horizontal, apresentam o poder de identificação de unidades homogêneas para mapeamentos diversos, além de estarem relacionadas aos processos de migração e acúmulo de matéria através da superfície, proporcionados pela gravidade (VALERIANO, 2014).

Também foi utilizado um dado de ocorrência de movimento de massa no município. Este dado foi fornecido pelo Instituto Geológico de São Paulo, e é representado por pontos localizados onde pessoas foram atingidas por um movimento de massa.

2.3 Modelagem

O modelo teórico proposto neste trabalho foi baseado no trabalho de Munõz (2005), na qual já havia uma hierarquia entre as variáveis e suas classes. Sendo elas: Declividade, Geomorfologia, Geologia, Solos e Uso da Terra. A utilização da curvatura vertical e horizontal foram utilizadas para a melhora dos resultados como visto por Bispo et al.(2011).

A hierarquia entre as classes de curvatura horizontal foi baseada no trabalho de Mandal e Mandal (2018), onde as curvaturas convergentes são as mais importantes, seguindo das planares e depois divergentes. Já entre as classes de curvatura vertical, a hierarquia foi baseada no trabalho de Effgen e Marchioro (2017), cuja as curvaturas convexas são as mais importantes, seguindo das côncavas e depois retilíneas.

Ao fim a hierarquia entre as variáveis ficou na seguinte ordem: Declividade; Geomorfologia; Geologia; Curvatura Vertical; Curvatura Horizontal; Solos e; Uso do Solo. A hierarquia entre as respectivas classes de cada variável, bem como o valor numérico associado a cada classe, está descrita na Tabela 1 abaixo.

Os mapas de susceptibilidade classificados em cinco classes de susceptibilidade, sendo elas: muito alta; alta; média; baixa e; muito baixa. A confecção dos mapas foi realizada no software Spring, com a álgebra de mapas na linguagem espacial LEGAL.

Tabela 1: Importância das classes das variáveis

evidencia	Declividade	Geomorfologia	Geologia	Solos	Uso do Solo	Valoração Qualitativa	Valor Numérico	Curvatura Vertical	Valor Numérico	Curvatura Horizontal*	Valor numérico*
classe											
1	> 77%	Escarpas da Serra do Mar	Depósitos de encosta	Latosolos	Ocupação Humana	Muito Alta	0.95	Convexo	0.95	Convergente	0.95
2	[58% - 77%)	Morros e morrotes	Migmatitos	Cambissolos	Mata Atlântica Alterada	Alta	0.75	Côncavo	0.45	Planar	0.6
3	[20% - 58%)	Talús, colúvios e Conos	Rochas Granitóides e Granulitos	Espodossolos	Vegetação Secundaria	Média	0.5	Retilíneo	0.25	Divergente	0.25
4	[10% - 20%)	Planaltos	Sedimentos continentais, marinhos e fluviolagunais	Neossolos	Mata Atlântica	Baixa	0.25				
5	[0% - 10%)	Planície Flúvio Marinha	Depósitos litorâneos atuais	Areia da praia	Vegetação de Restinga, Várzea, Mangue	Muito Baixa	0.05				

2.4 Técnicas de Inferência Espacial

A inferência espacial são ferramentas para a integração de dados espaciais, e previsão de modelos prospectivos. Neste trabalho foram utilizadas quatro técnicas de inferência espacial, descritas nos itens subsequentes.

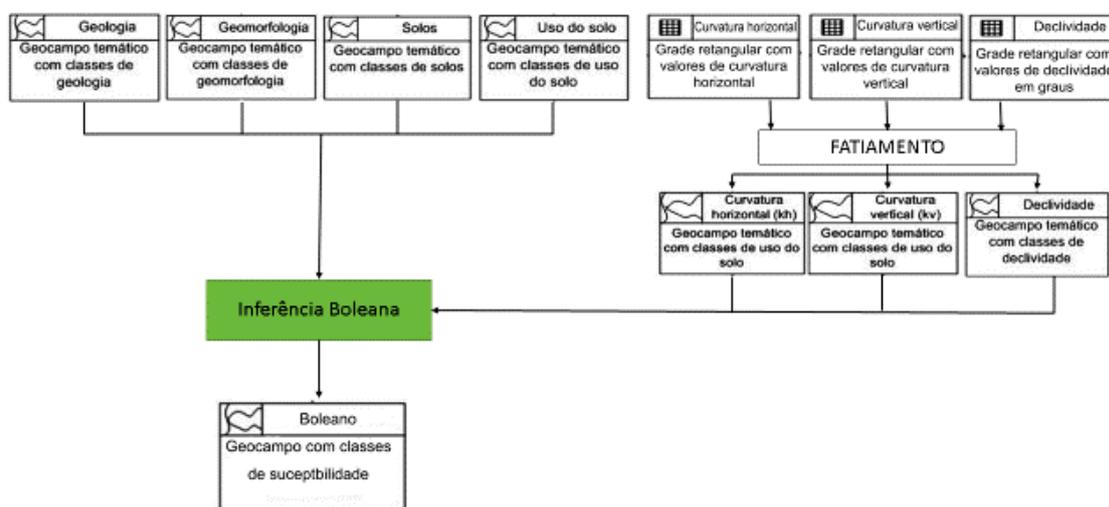
2.4.1 Booleano

O método Booleano é a combinação lógica de mapas binários através de operações condicionais, onde cada mapa é entendido como um plano de informação. O resultado é um mapa temático com as classes que atendem às condições

Para a integração dos planos, a técnica Booleana faz uso dos ponderadores lógicos “E”, “OU”, “Exclusivo OU (XOR)” e “NÃO”, que determinam se a hipótese satisfaz ou não a condição. O operador “E” retorna interseção entre os conjuntos e, o operador “OU” retorna a união dos conjuntos. O operador “XOR” recupera as entidades que pertencem a um conjunto e ao outro, mas não aos dois simultaneamente e, o “NÃO” é da diferença entre os conjuntos (MOREIRA, 2001).

Neste trabalho, foi realizado o fatiamento das variáveis declividade, curvatura vertical e horizontal, e posteriormente a inferência com o método booleano, demonstrado no diagrama na Figura 2

Figura 2: Diagrama OMT-G da inferência booleana



2.4.2 Média Ponderada

Neste método cada mapa de evidência recebe um peso relativo à sua importância, baseado no modelo proposto. A ponderação entre os mapas e entre as suas respectivas classes, é feita empiricamente, no qual o resultado é um mapa com áreas que expressam um grau de importância através de valores numéricos (MOREIRA, 2001).

A operação de média ponderada é realizada entre os mapas, expressa pela função matemática a seguir:

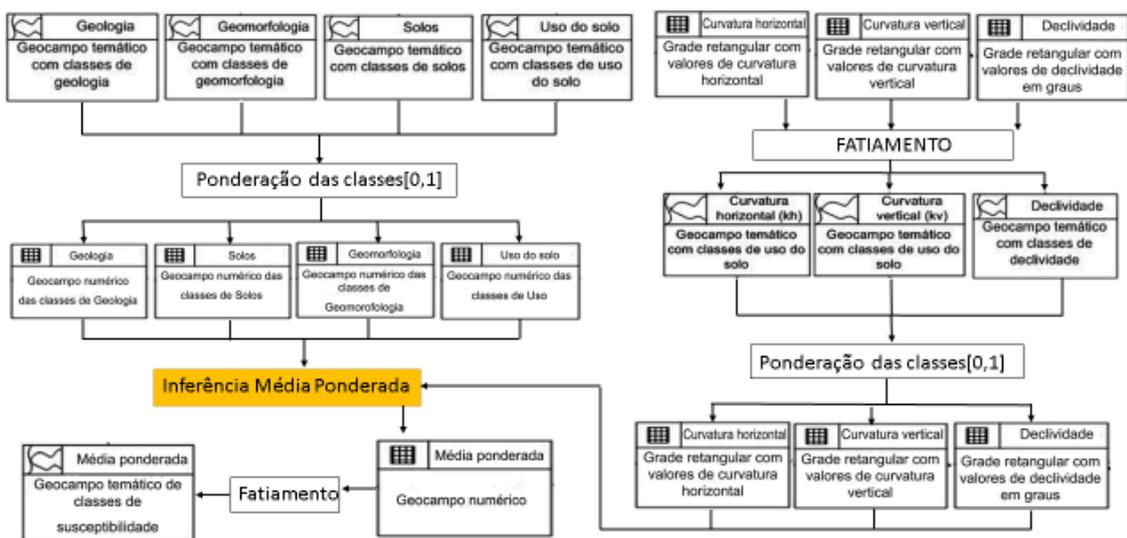
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij} * y_j}{\sum_{i=1}^n y_j}$$

Onde w_{ij} é o peso da classe "i" do plano de informação "j", e y_j o peso do plano de informação "j".

O diagrama OMT-G dessa abordagem está descrito na Figura 3, onde as classes de cada mapa de evidência obtiveram um peso (ponderadas), e depois foi feito a média ponderada entre os mapas. A equação utilizada foi utilizada: $(0.43*dl)+(0.23*gp)+(0.15*ge)+(0.03*sp)+(0.01*up)+(0.1*cv)+(0.05*ch)$

Onde, dl: declividade; sp: solos; ch: curvatura horizontal; gp: geomorfologia; up: uso do solo; ge: geologia; cv: curvatura vertical.

Figura 3: OMT-G abordagem média ponderada



2.4.3 AHP

A AHP é uma metodologia baseada na comparação pareada entre mapas de evidência. Desenvolvida por Thomas Saaty (1977), a técnica permite avaliar a importância relativa entre critérios, a partir de uma hierarquia pré determinada, e medir a consistência dos julgamentos.

A escala de comparação está num intervalo entre 1 (um) e 9 (nove), onde o valor 1 considera que as variáveis têm igual importância, enquanto o valor 9 uma variável um absolutamente mais importante que a outra. (SAATY, 1977). Ao fim da comparação entre todas as variáveis, é gerado os pesos relativos de cada variável e também uma matriz com a importância relativa de cada variável.

A fim de verificar a consistência do resultado gerada pelas comparações, realiza um cálculo da razão da consistência do julgamento. Esta razão não deve ultrapassar 10%, onde valores maiores que estes demonstram que o julgamento realizado teve inconsistência nas comparações par a par. Se a razão de consistência é satisfatória, os pesos estipulados pela metodologia são utilizados para realizar a média ponderada entre as evidências.

Neste trabalho a comparação foi realizada numa plataforma online, disponível no [link https://bpmsg.com/academic/ahp_calc1.php?t=AHP+priorities&n=7&new=Go](https://bpmsg.com/academic/ahp_calc1.php?t=AHP+priorities&n=7&new=Go). A matriz e os pesos estão descritos na Figura 4 abaixo, a razão de consistência obtida foi de 5,2%. Após a comparação par a par, os pesos estimados foram utilizados para realizar cálculo de média ponderada.

Figura 4: Pesos das variáveis e matriz de comparação

Category	Priority	Rank	(+)	(-)
1 Declividade	41.1%	1	16.3%	16.3%
2 Geomorfologia	23.6%	2	7.7%	7.7%
3 Geologia	14.2%	3	3.1%	3.1%
4 Curvatura Vertical	9.3%	4	2.9%	2.9%
5 Curvatura Horizontal	6.3%	5	2.4%	2.4%
6 Solos	3.4%	6	1.4%	1.4%
7 Uso do Solo	2.1%	7	1.1%	1.1%

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3.00	4.00	5.00	7.00	8.00	9.00
2	0.33	1	2.00	4.00	5.00	7.00	8.00
3	0.25	0.50	1	2.00	3.00	5.00	7.00
4	0.20	0.25	0.50	1	2.00	4.00	6.00
5	0.14	0.20	0.33	0.50	1	3.00	5.00
6	0.12	0.14	0.20	0.25	0.33	1	3.00
7	0.11	0.12	0.14	0.17	0.20	0.33	1

2.4.4 Fuzzy Gamma

A lógica *Fuzzy* surgiu a partir da preocupação com a diminuição da qualidade de informação fornecidos pelos modelos matemáticos tradicionais, na qual possibilita a captura do conhecimento próximo ao “modelo cognitivo” utilizado pelos especialistas (MOREIRA, 2001). Desta forma, diferente a teoria clássica, onde a função de pertinência é definida como verdadeira ou falsa, ou seja 1 ou 0, o conjunto *Fuzzy* é expresso em numa escala que varia continuamente entre 0 e 1. Indivíduos mais próximos ao conceito central tem valores da função de pertinência próximos de 1 enquanto os mais distantes recebem valores menores, próximos de 0. (ESCADA, 1998)

Existem diversas funções de conjunto *Fuzzy*, sendo as mais utilizadas a linear, sigmoide e quadrática. Estes conjuntos podem ser manipulados, utilizando métodos lógicos para combinar dados de diferentes conjuntos, afim de obter um mapa resultante (ESCADA, 1998).

O operador *Fuzzy Gamma* é combinação entre o produto faz e a soma algébrica *Fuzzy*. Onde o produto *Fuzzy* é a função de pertinência combinada, dada por:

$$\mu = \prod \mu_i$$

Onde μ_i é valor de pertinência *Fuzzy* para o i -enésimo mapa de todos os mapas a serem combinados.

Os valores de pertinência tendem a ser menores que os valores de entrada, já que se multiplica diversos números menores que 1.

A soma algébrica é representada por:

$$\mu = 1 - \prod \mu_i$$

O resultado é um valor maior ou igual ao maior valor de pertinência *Fuzzy* de entrada, desta forma tende a aumentar o valor de pertinência resultante.

O operador *Fuzzy Gamma* é a combinação dos dois operadores acima, representado por:

$$\mu = (1 - \prod \mu_i)^\gamma * (\prod \mu_i)^{(\gamma-1)}$$

Onde γ é um parâmetro escolhido num intervalo (0,1). Quando $\gamma=0$, a combinação *fuzzy* é igual ao produto algébrico, e quando $\gamma = 1$, é igual à soma.

Valores de gama entre $0 < \gamma < 0.35$ apresentam caráter “diminutivo”, entre $0.8 < \gamma < 1$ têm caráter “aumentativo, sendo o intervalo ideal entre $0.35 < \gamma < 0.8$ (MOREIRA, 2001).

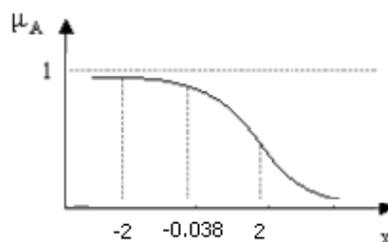
Neste trabalho, o conjunto Fuzzy para a variável Declividade foi dada pela função abaixo, utilizado por Kirschbaum et al. (2016):

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{midpoint}\right)^{-spread}}$$

Onde μ é o valor *Fuzzy*, *midpoint* é o valor onde $\mu=0.5$, $spread=3$.

Para a variável Curvatura Horizontal foi utilizada uma função sigmoide demonstrada no gráfico na figura abaixo:

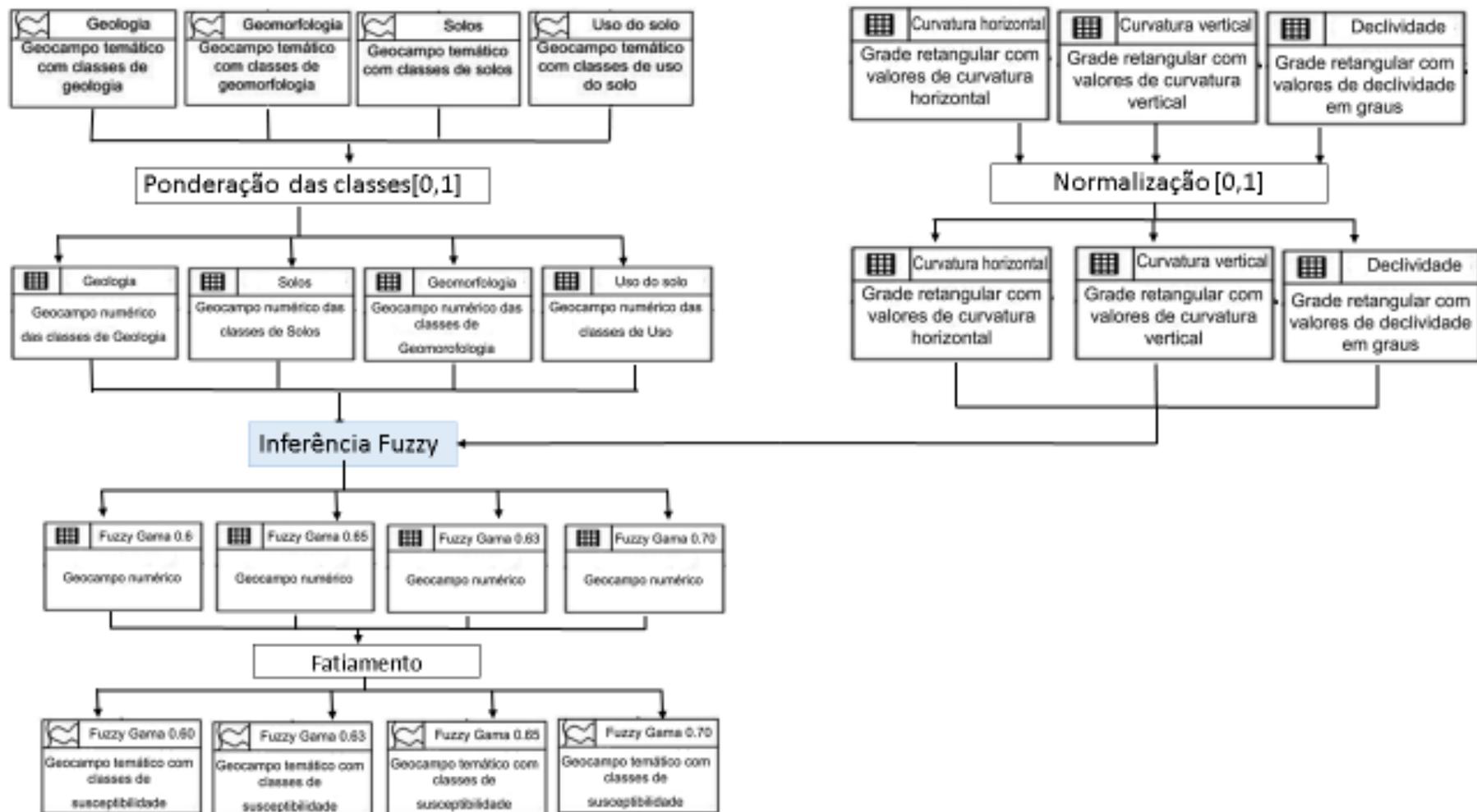
Figura 5: Gráfico Sigmoide



Para a variável Curvatura Vertical foi utilizada uma função linear. As variáveis temáticas Geomorfologia, Geologia, Solos e Uso do solo, tiveram valores do conjunto Fuzzy estipulados para cada classe, atribuído baseada na hierarquia entre as classes.

Após gerar os planos de informação dos conjuntos Fuzzy para cada variável, foi utilizado o operados Fuzzy gamma com valores de gamma (γ) igual a 0.60, 0.63, 0.65 e 0.7, que foram determinados como os melhores valore por Munõz (2005).

O diagrama OMT-G da inferência Fuzzy gamma está demonstrado na Figura 6.

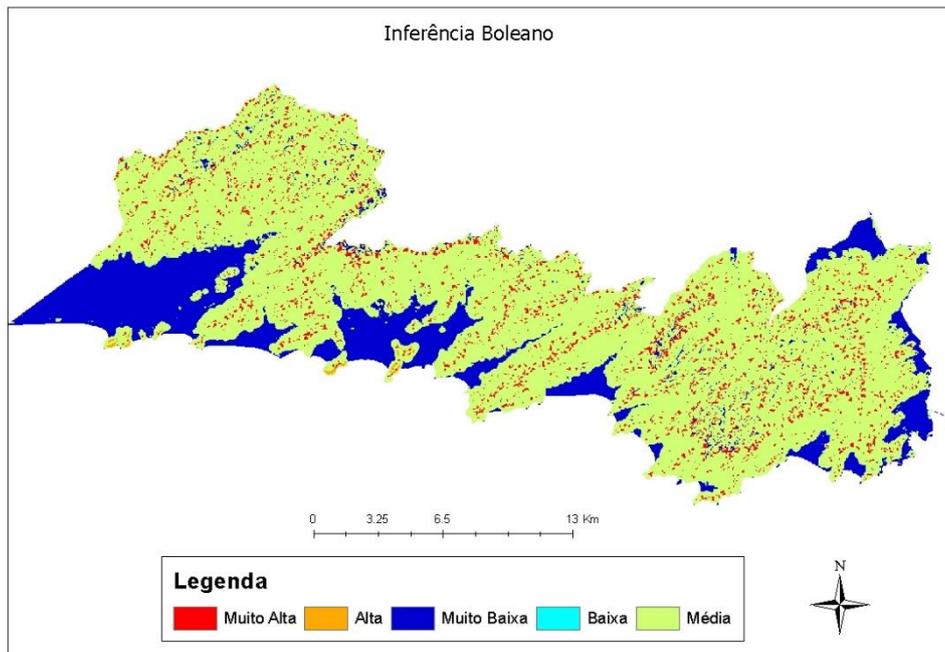


3 RESULTADOS

Os resultados obtidos foram sete mapas de susceptibilidade, um mapa de desvio padrão para cada técnica) de inferência (menos a booleana) e, um mapa de erro da técnica *fuzzy gamma*.

O mapa da abordagem booleana é apresentado na Figura 6 abaixo. Pode-se perceber que tal técnica não consegue representar o processo, já que se trata de uma metodologia binária. Como as classes de curvatura vertical e horizontal variam bastante, o mapa fica com aspecto salpicado, além de ocorrer uma generalização da classe média.

Figura 6 Mapa de susceptibilidade com abordagem booleana



O mapa referente a abordagem de média ponderada (Figura 7) e o mapa da abordagem AHP (Figura 8) são bem semelhantes, já que eles são realizados através da média ponderada das variáveis. Como ambos partem de um mesmo modelo teórico, onde a hierarquia entre as variáveis é a mesma para ambas abordagens, os mapas ficam parecidos, sendo a classe baixa mais evidente no da abordagem AHP que na abordagem Média ponderada.

Figura 7 Mapa de susceptibilidade com abordagem Média Ponderada

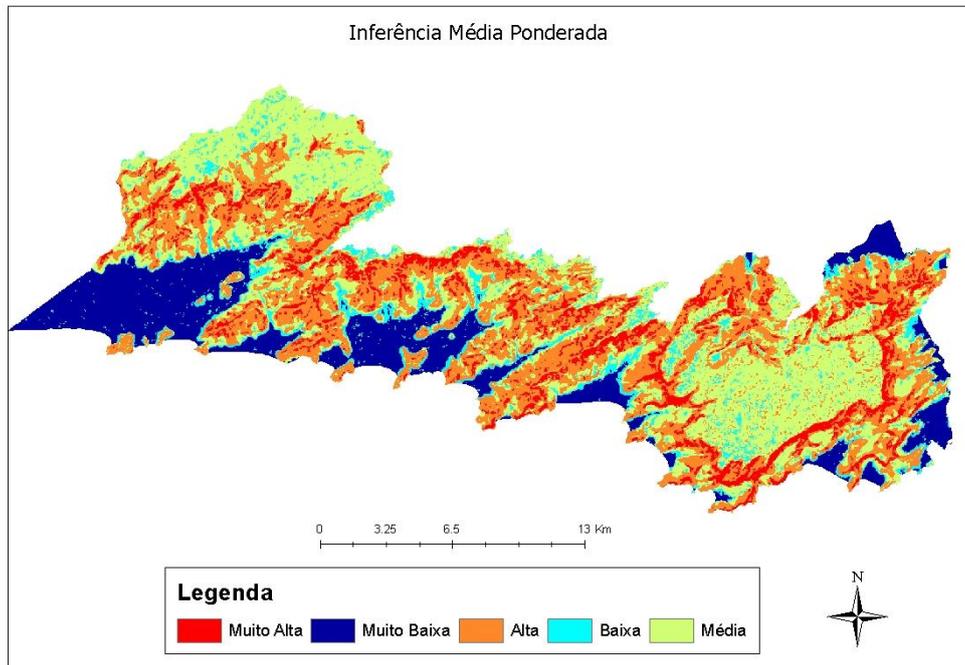
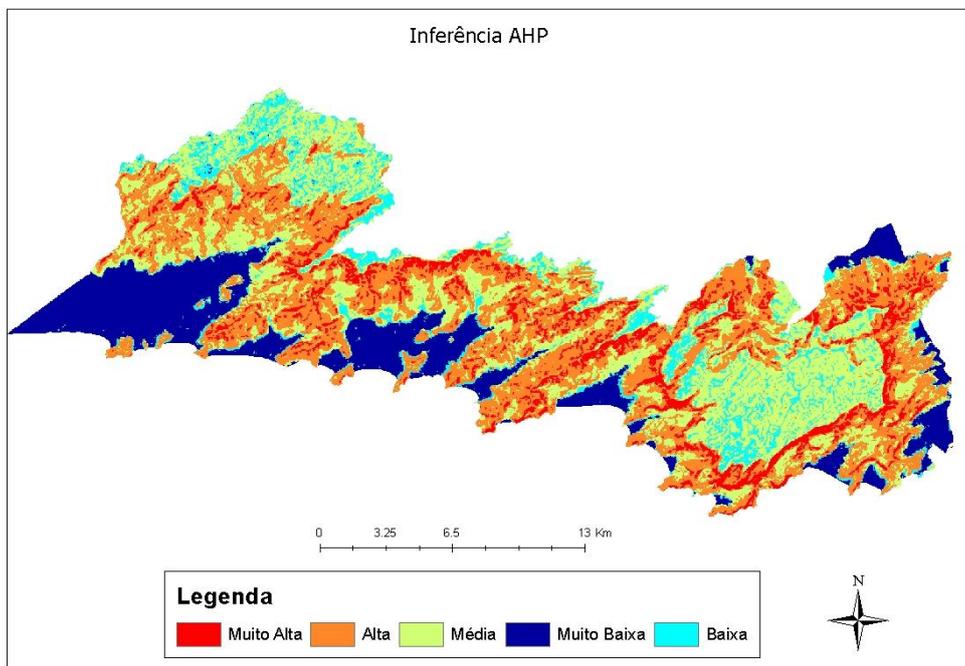


Figura 8 Mapa de susceptibilidade com AHP



Os mapas referentes a abordagem *Fuzzy Gamma*, com os valores de gama 0.6, 0.63, 0.65 e 0.70 estão representados nas Figuras 9, 10, 11, 12, respectivamente.

Figura 9: Mapa de susceptibilidade com abordagem *Fuzzy Gama* ($\gamma=0.6$)

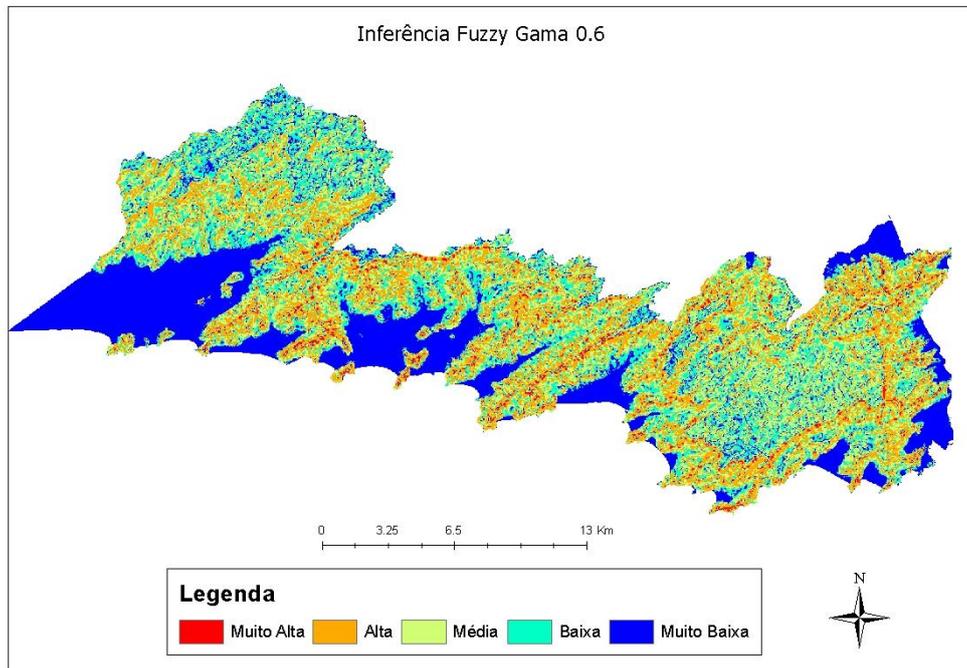


Figura 10: Mapa de susceptibilidade com abordagem *Fuzzy Gama* ($\gamma=0.63$)

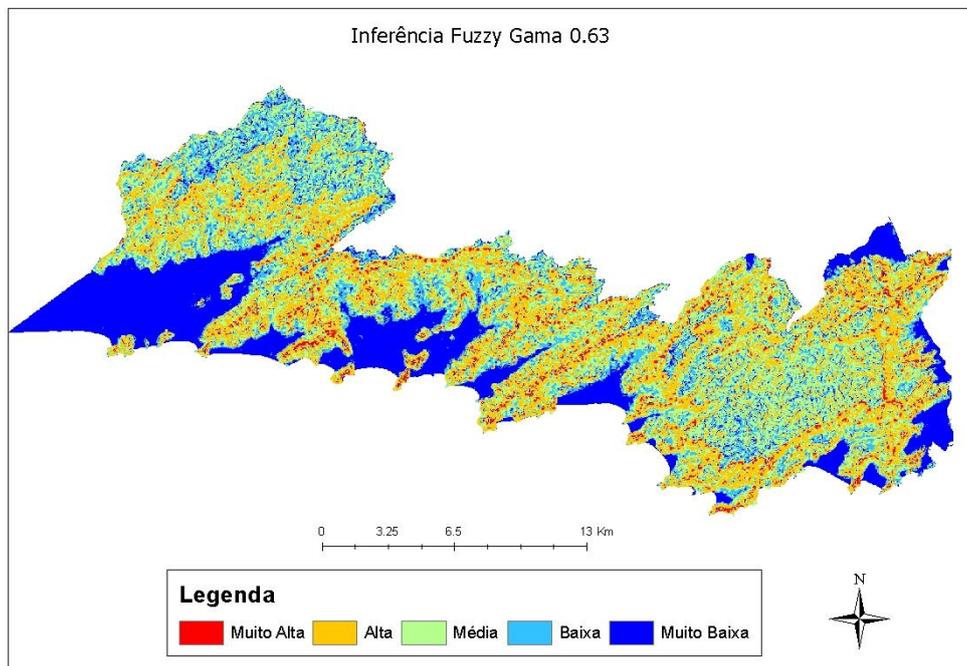


Figura 11: Mapa de susceptibilidade com abordagem *Fuzzy Gama* ($\gamma=0.65$)

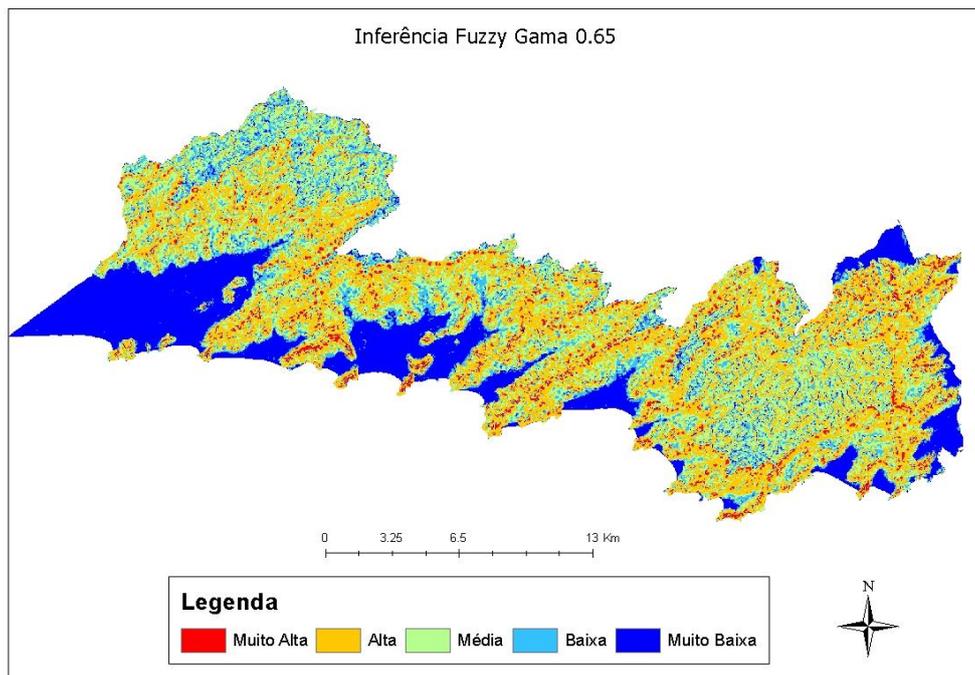
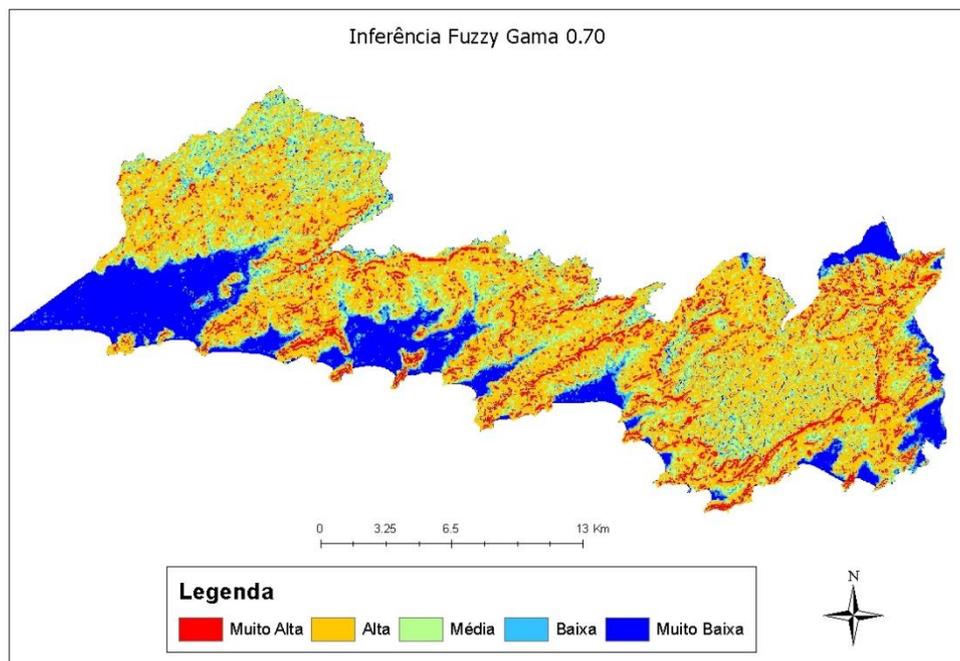


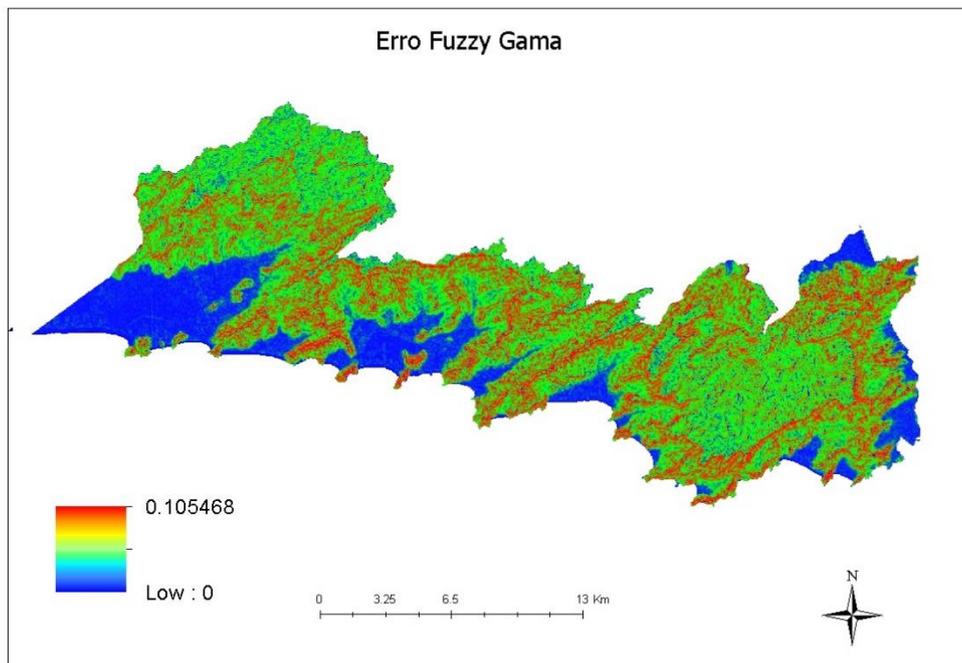
Figura 12: Mapa de susceptibilidade com abordagem *Fuzzy Gama* ($\gamma=0.7$)



Nos mapas com esta abordagem, a susceptibilidade vai aumentando de acordo com o aumento de gamma, na qual o mapa com gama 0.7 apresenta um cenário com maior área da classe Muito Alta. Os mapas apresentam menor continuidade espacial, ou seja, regiões menores da mesma classe, que as outras abordagens. Isto porque os conjuntos *fuzzy* das variáveis de declividade, curvatura horizontal

e vertical resultam em valores que variam mais, já que nas outras abordagens os valores foram ponderados para cada classe dessas variáveis. Desta forma, a abordagem *fuzzy* consegue melhor representar os diferentes valores das variáveis numéricas. A abordagem *Fuzzy Gama*, com diferentes valores de γ , tem um diferencial das outras abordagens pois é possível apresentar a incerteza entre os cenários, que é representado no mapa do erro na Figura 13.

Figura 13: Erro da abordagem *Fuzzy Gama*



Foi verificado que a incerteza é na ordem de 10%, onde os maiores valores estão associados a locais com maior declividade. Isto ocorre pois os valores de declividade alta, são muito maiores e variam muito mais que os valores em locais com menor declividade. Isto resulta em valores *fuzzy* maiores quando adotado um γ 0.7, e conseqüentemente uma incerteza maior quando comparados com valores γ menores.

As Figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19 são os mapas do desvio padrão da abordagem de média ponderada, AHP, *fuzzy gamma* com os valores de γ adotados. Podemos perceber que o mapa que tem menor desvio padrão é o mapa *Fuzzy Gama* com o valor de γ igual a 0.7, o que mostra que é o que menos varia em relação a média dos valores obtidos pelas diferentes abordagens. Como observado no mapa do erro da abordagem *Fuzzy Gamma*, os maiores valores

de desvio padrão são identificados nas zonas com maior declividade. As abordagens AHP e média ponderada foram que obtiveram maior desvio padrão, porque utilizam valores fixos estipulados para cada classe de declividade, curvatura horizontal e vetorial, enquanto a abordagem *fuzzy* utiliza os dados numéricos de um conjunto *fuzzy* dessas variáveis, o que melhora os resultados do modelo.

Figura 14. Mapa de desvio padrão da abordagem média ponderada

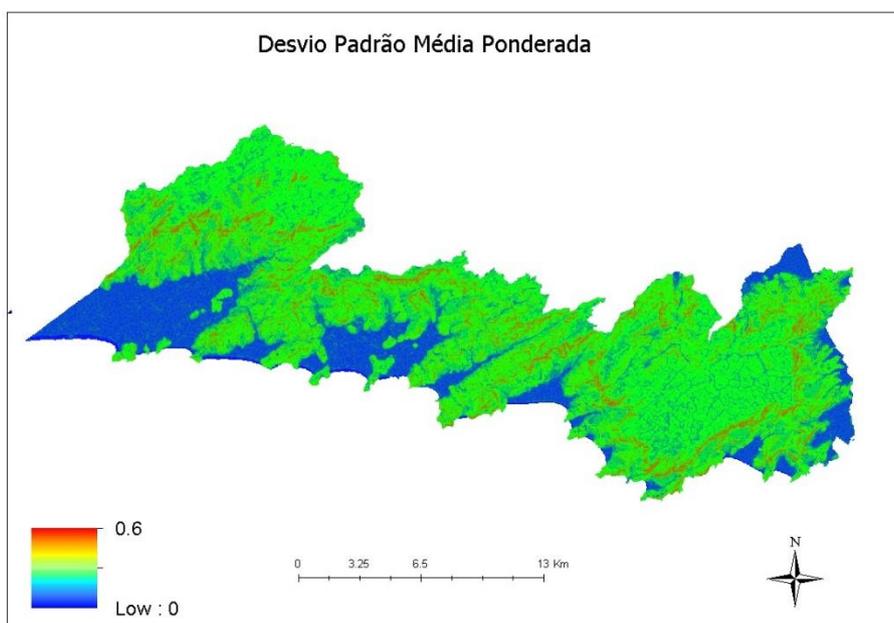


Figura 15 Mapa de desvio padrão da abordagem AHP

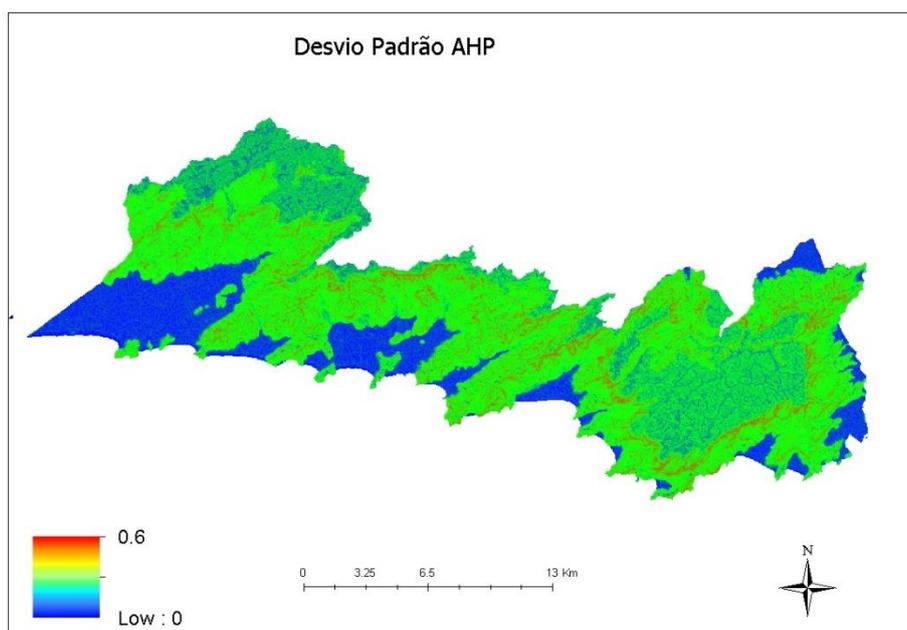


Figura 16: Mapa de desvio padrão da abordagem *Fuzzy Gamma* ($\gamma=0.6$)

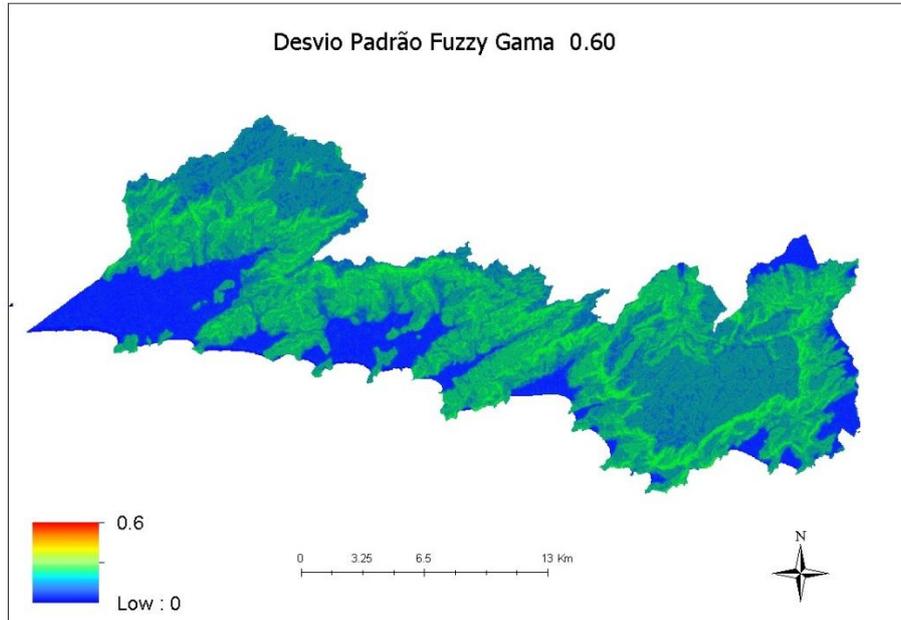


Figura 17: Mapa de desvio padrão da abordagem *Fuzzy Gamma* ($\gamma=0.63$)

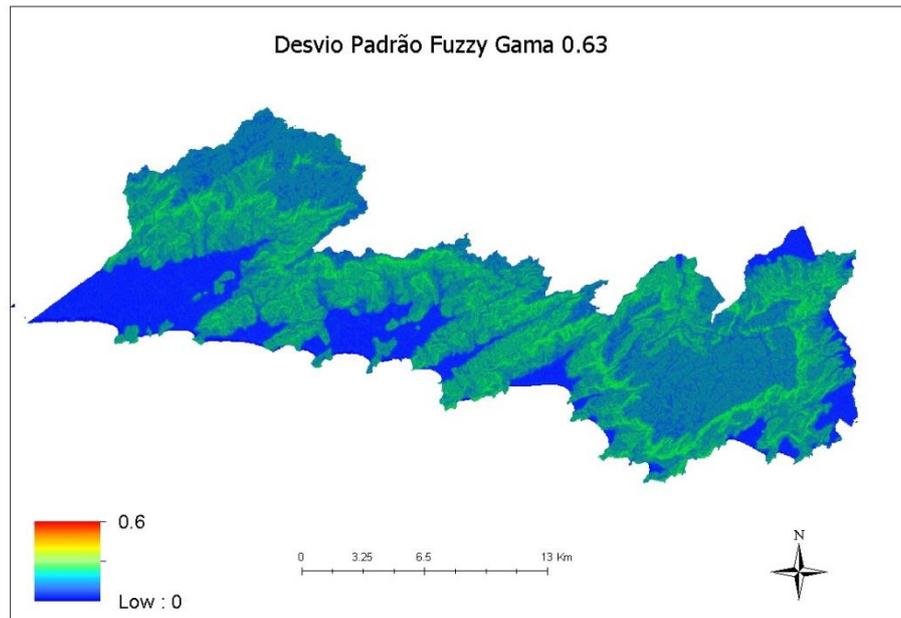


Figura 18: Mapa de desvio padrão da abordagem *Fuzzy Gamma* ($\gamma=0.65$)

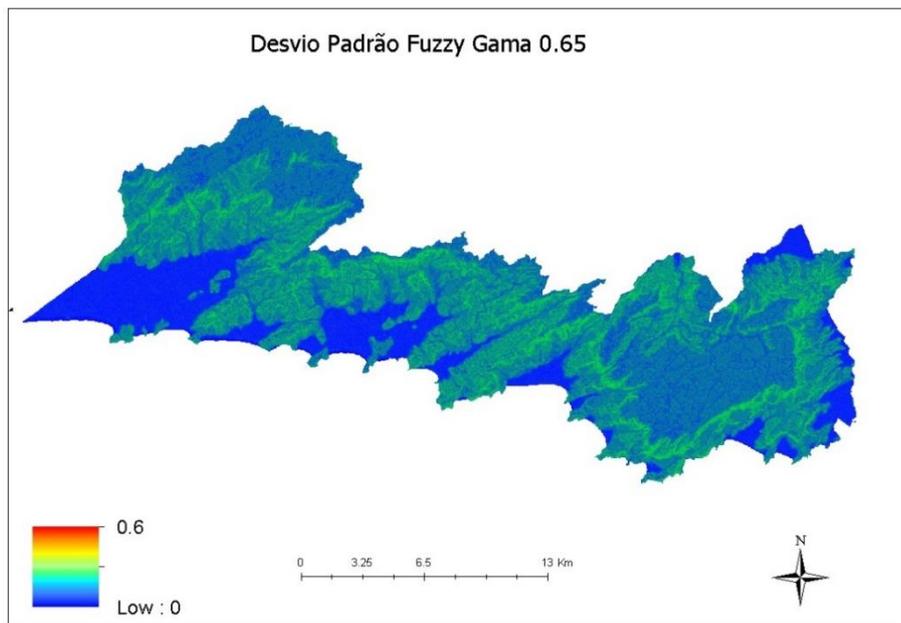
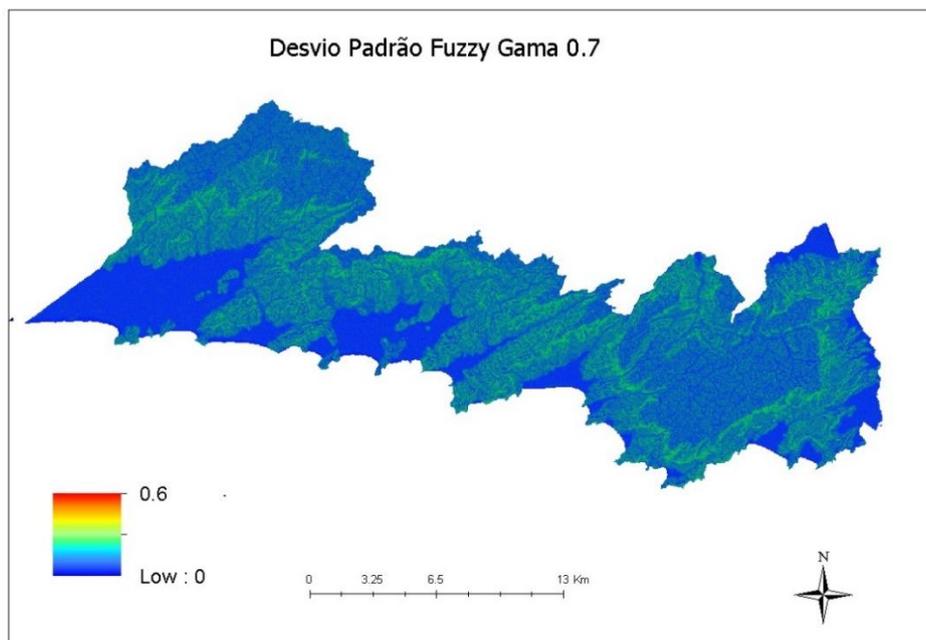
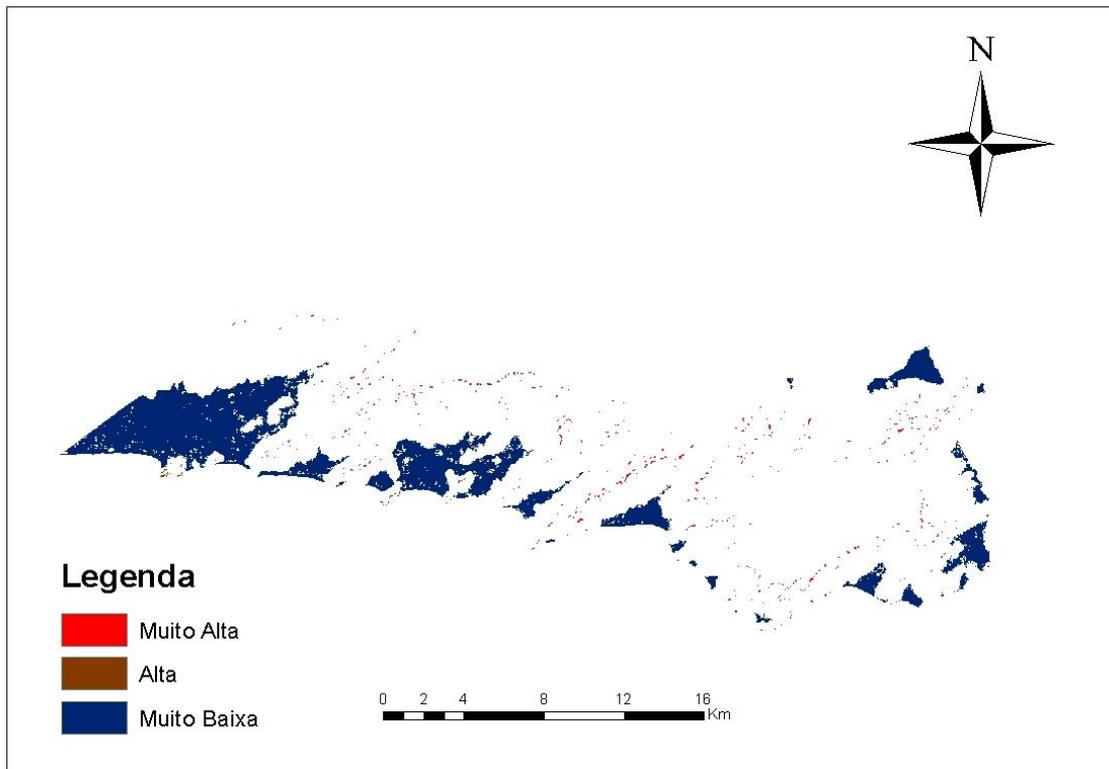


Figura 19: Mapa de desvio padrão da abordagem *Fuzzy Gamma* ($\gamma=0.7$)



O mapa de incerteza de todos os mapas (Figura 20) mostra que a classe Muito Baixa foi a que menos teve incerteza, isto porque os valores de declividade são baixos e variam pouco. Algumas pequenas regiões de classe alta e muito alta também foram representadas em todos os mapas, entretanto as demais classes tiveram bastante incerteza, nem sendo representadas. Isto pode ser resultado da diferença do resultado do método booleano dos demais métodos.

Figura 20: Mapa da incerteza



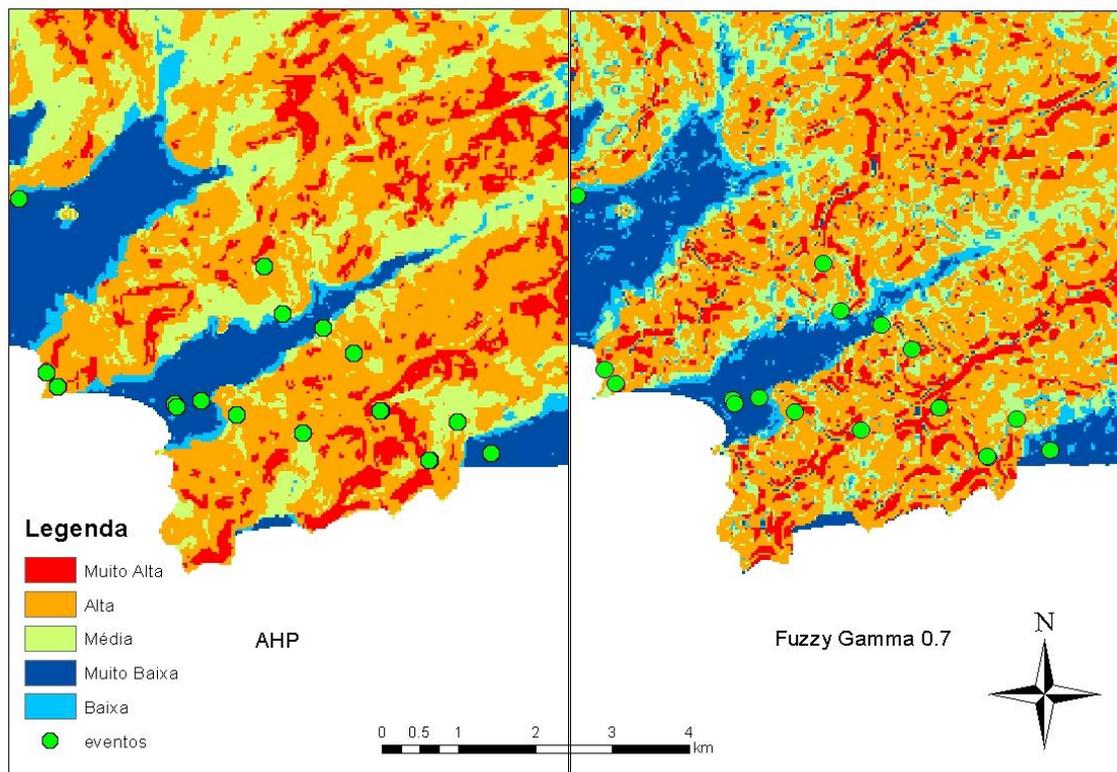
A Tabela 2 apresenta os valores percentuais da ocorrência de eventos de movimento de massa em cada classe, para cada abordagem utilizada. Estes valores percentuais indicam quantos eventos ocorreram em cada classe, a fim de avaliar os mapas gerados pelas diferentes abordagens. Vale ressaltar que estes eventos são pontos localizados onde o escorregamento atingiu a população, e não onde foi o início do rompimento. No modelo proposto, a declividade é a variável que mais influencia o movimento o movimento de massa, e como as pessoas não moram em declividades muito altas, muitos desses eventos estão localizados em baixas declividades, e assim se localizam em regiões de classe Muito Baixa.

A Figura 21 é uma aproximação dos mapas com a técnica AHP e Fuzzy Gamma, com os pontos de ocorrência de eventos de movimento de massa. Pode-se perceber que para esse local a maioria dos eventos estão localizados em zonas de muito alta e alta susceptibilidade, e alguns eventos estão localizados em zozna de muito baixa susceptibilidade.

Tabela 2: Tabela das classes onde ocorreram eventos

AORDAGEM	CLASSES				
	Muito alta	Alta	Media	Baixa	Muito baixa
BOLEANA	1.10%	0.37%	69.85%	0.00%	28.68%
MÉDIA PONDERADA	6.99%	29.41%	26.10%	9.56%	27.94%
AHP	6.25%	37.50%	20.96%	27.94%	7.35%
FUZZY GAMMA ($\gamma=0.6$)	2.94%	19.12%	26.47%	13.97%	37.50%
FUZZY GAMMA ($\gamma=0.63$)	5.15%	27.94%	20.96%	10.66%	35.29%
FUZZY GAMMA ($\gamma=0.65$)	6.62%	29.78%	19.49%	13.24%	30.88%
FUZZY GAMMA ($\gamma=0.7$)	12.13%	38.24%	12.50%	8.09%	29.04%
MAIORIA DE TODAS AS ABORDAGENS	5.9%	28.7%	25.7%	8.5%	31.3%

Figura 21: Ocorrência de eventos e Mapas de susceptibilidade



A abordagem *Fuzzy Gama*, com gamma igual a 0.7 foi a que teve mais eventos em locais de Muito Alta e Alta susceptibilidade, apesar de ter 31% dos eventos em áreas de muito baixa susceptibilidade. Outros valores de gamma apresentaram bons resultados, onde mais de 25% dos eventos ocorreram na

classe de Alta susceptibilidade. A abordagem AHP também obteve bons resultados, pois apenas 7,4% dos eventos estão em áreas de muito baixa susceptibilidade. As abordagens como um todo tiveram a maioria dos eventos em regiões de muito baixa susceptibilidade (31%), mas também muitos deles estão em regiões de Alta susceptibilidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapa de susceptibilidade ao movimento de massa é uma ferramenta muito importante para o planejamento e gestão do território, pois esta indica as áreas mais prováveis de ocorrência do evento, dando suporte para a elaboração de estratégia a fim de diminuir o risco às pessoas.

As técnicas de inferência espacial são necessárias para a realização e análise de processos que ocorrem na Terra, e com ela é possível modelar e mapear estes processos, para melhor entender a dinâmica da paisagem. Entretanto, a escolha da técnica a ser implementada deve ser escolhida de acordo com os tipos de dados que está utilizando e o tipo do processo que quer representar.

No caso de variáveis numéricas, o uso da técnica *Fuzzy* tem ótimos resultados pois tem a capacidade de representar a mudança entre as classes de uma forma gradual através dos conjuntos *fuzzy*. Nessa abordagem, há uma variedade de funções que podem ser aplicadas para determinar um conjunto *Fuzzy*, e isto permite que o método represente melhor o fenômeno a ser modelado, já que pode ser utilizada uma função específica para uma determinada variável. Além do mais, a técnica de *Fuzzy Gamma*, adotando diferentes valores para gamma, permite que seja considerada uma incerteza dos mapas, o que é um grande diferencial quando comparadas as técnicas de média ponderada e AHP.

Entretanto, um bom modelo teórico pode fornecer mapas bem fieis a realidade quando utiliza a técnica AHP. Uma boa consistência da comparação hierárquica entre as variáveis é de suma importância para que os resultados sejam mais fidedignos ao mundo real. Este método também pode ser utilizado para obter os valores entre as classes de cada variável, desta forma os valores atribuídos no momento da ponderação terão como base a comparação par a par.

O dado dos eventos geológicos de movimento de massa foi de grande utilidade para observar a veracidade dos mapas. Entretanto, este dado não representa o local do início do movimento de massa e sim onde atingiram as pessoas. Como o modelo abordado foi proposto para representar os locais que são mais susceptíveis de ocorrer um movimento de massa, tendo como a declividade o

fator predominante do processo, muitos dos eventos registrados foram localizados na classe de. Muito baixa susceptibilidade.

Desta forma pode-se dar duas soluções, a primeira é um mapeamento das cicatrizes deixadas pelos movimentos de massa, e assim conseguir validar os mapas gerados. Outra solução é a proposta de um outro modelo que leve mais em consideração o risco das pessoas serem atingidas. Para isso é necessário o uso de dados atualizados das moradias, densidade populacional, entre outros dados censitários.

Em geral os mapas realizados apresentaram bons resultados, principalmente a abordagem *Fuzzy Gamma*, e a abordagem AHP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 1980.

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. **SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA (SELPER)**, v. 9, p. 889–898, 2000.

DA CONCEIÇÃO BISPO, P.; DE ALMEIDA, C. M.; DE MORISSON VALERIANO, M.; DE MEDEIROS, J. S.; CREPANI, E. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. **Geociências (São Paulo)**, v. 30, n. 3, p. 467–478, 2011.

DA SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; SCHILIPACK, P.; DIAS, S. M. Mapeamento preliminar da suscetibilidade natural a movimentos de massa da Serra do Mar Paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014.

EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE VILA VELHA-ES, COM O USO DE ANÁLISE DE PROCESSOS HIERARQUIZADOS (AHP). **Geosciences= Geociências**, v. 36, n. 4, p. 731–742, 2017.

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

KIRSCHBAUM, D.; STANLEY, T.; YATHEENDRADAS, S. Modeling landslide susceptibility over large regions with fuzzy overlay. **Landslides**, v. 13, n. 3, p. 485–496, 2016.

MANDAL, B.; MANDAL, S. Analytical hierarchy process (AHP) based landslide susceptibility mapping of Lish river basin of eastern Darjeeling Himalaya, India. **Advances in Space Research**, v. 62, n. 11, p. 3114–3132, 2018.

MOREIRA, F. R. DA S. Uso e avaliação de técnicas de integração e análise espacial de dados em pesquisa mineral aplicadas ao planalto de Poços de Caldas. **São José dos Campos**. 164p.(INPE-9481-TDI/825). **Dissertação**

(Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

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. **São José dos Campos, 2005.**

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. 72 p. 2014.**