

**Mapeamento da susceptibilidade a
movimentos de massa no município de
São Sebastião (SP) por meio de
inferência fuzzy**

Matheus de S.P. Oliveira



Objetivo

Avaliar a eficácia da inferência geográfica **Fuzzy Gama** para modelar susceptibilidade a movimentos de massa.

Área de estudo

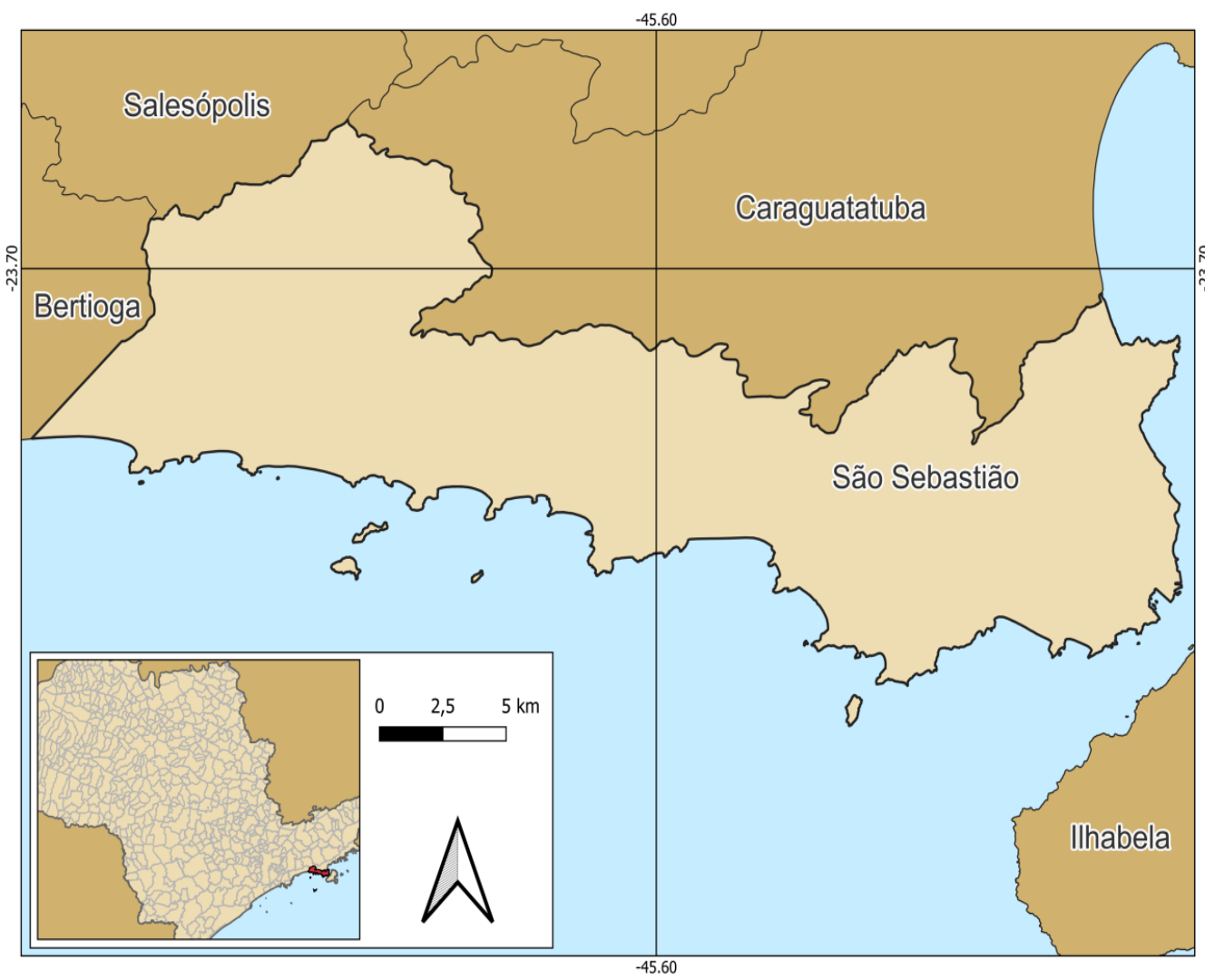
São Sebastião

Litoral Norte de SP

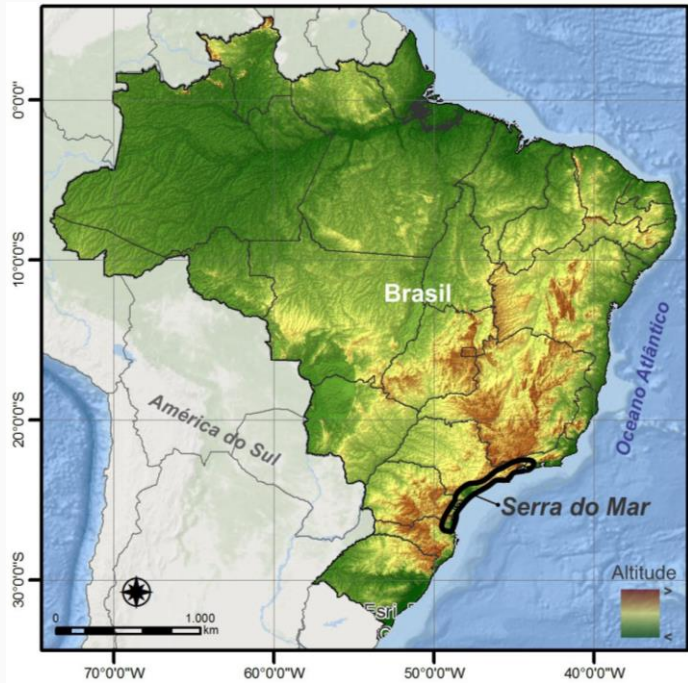
Destino turístico

91.637 habitantes

Terminais de petróleo



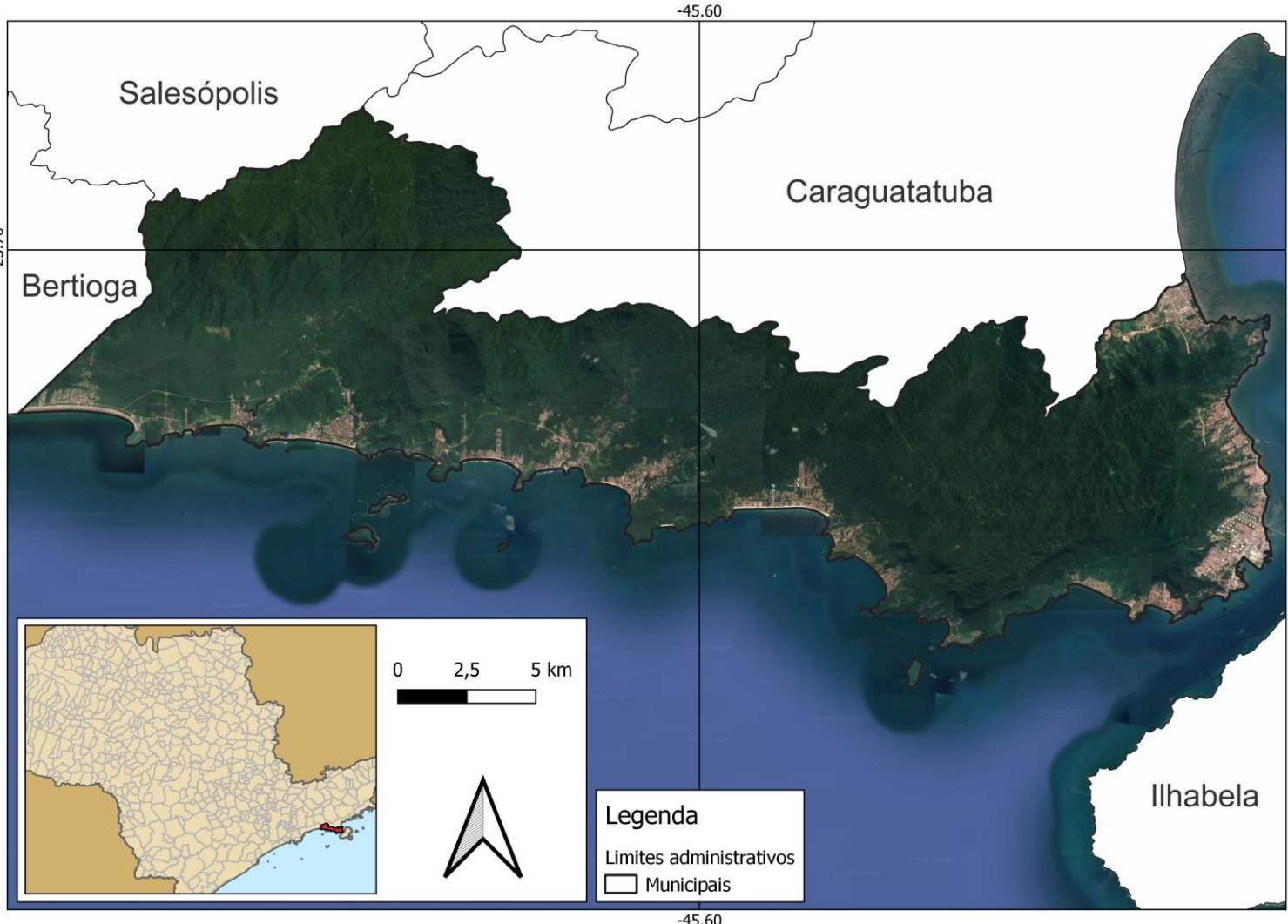
Serra do Mar



Se estende do litoral de SC a RJ



Trecho da Serra do Mar em São Sebastião



- ✓ Declividade
- ✓ Pluviosidade

Susceptível a **movimentos de massa**

- ✓ Ocupação humana
- ✓ Estradas
- ✓ Infraestrutura

Susceptível a **desastres**

Desastre em Caraguatatuba

Município vizinho de São Sebastião

Março de 1967: Movimentos de massa e inundações

500 mm de chuva em 48 horas





1200 mortes

4000 casas destruídas



SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
ANTIGAMENTE

Recorrência de eventos

Petrópolis 2022

Susceptibilidade na região Sudeste

Necessidade de prevenção

Mapeamento com Sistemas de
Informação Geográfica (SIG)



Geocampos temáticos	Classes e hierarquias
1. Declividade	<ol style="list-style-type: none"> 1. > 77%; 2. 58% a 77%; 3. 20% a 58%; 4. 10% a 20%; 5. 0% a 10%.
2. Geomorfologia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Escarpas da Serra do Mar; 2. Morros e Morrotes; 3. Tálus, Colúvios e Conos; 4. Planaltos; 5. Planície Fluviomarinha; 6. Praia.
3. Geologia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Depósitos de Encosta; 2. Migmatitos; 3. Rochas Granitoides e Granulitos; 4. Sedimentos Continentais, Marinhos e Fluviolagunares; 5. Depósitos Litorâneos Atuais.
4. Solos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Latossolos; 2. Cambissolos; 3. Espodossolos; 4. Neossolos; 5. Areia da Praia.
5. Uso do solo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ocupação Humana; 2. Mata Atlântica Alterada; 3. Vegetação Secundária; 4. Mata Atlântica; 5. Vegetação de Restinga, Várzea e Mangue.

Modelagem de dados

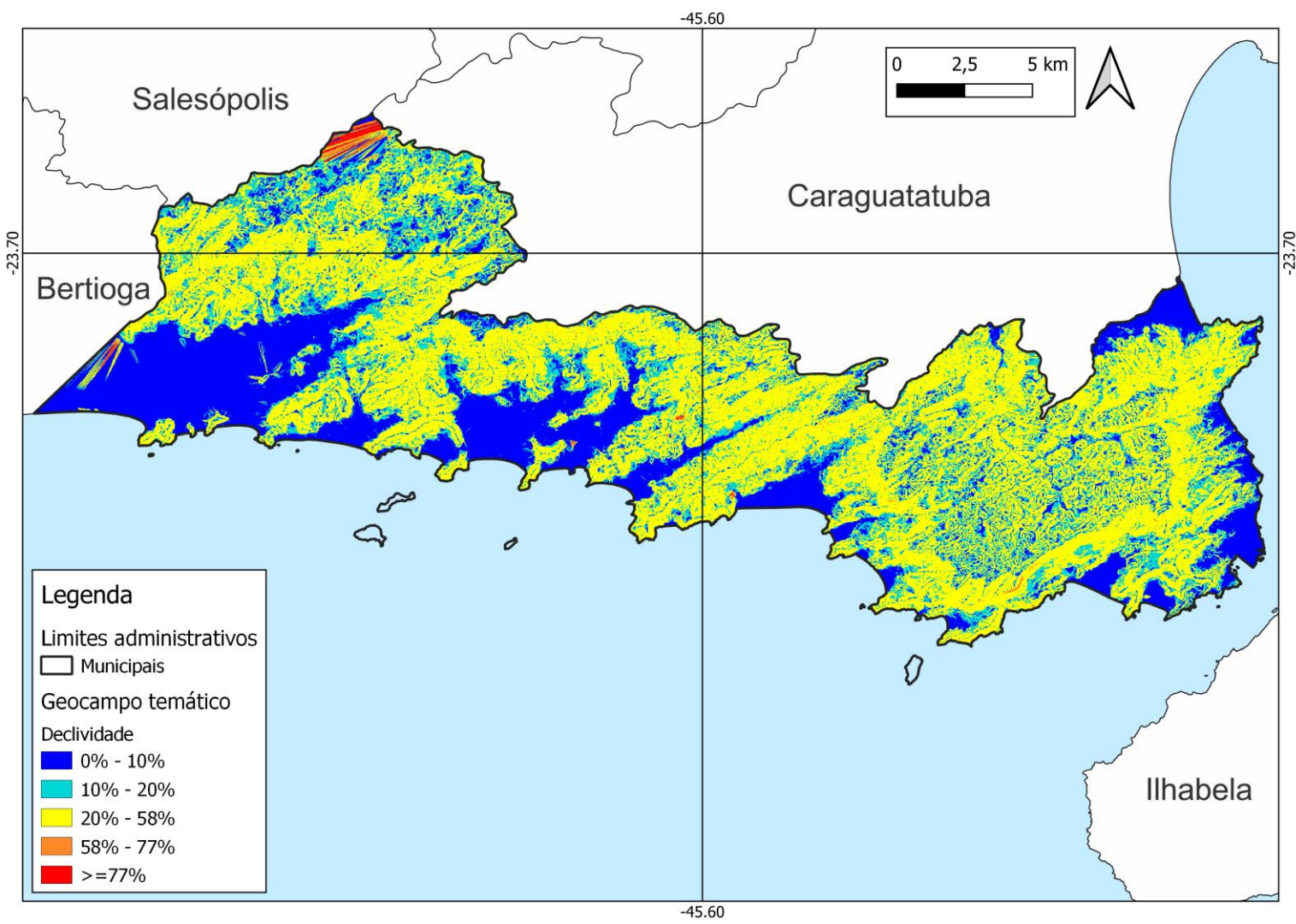
Modelo SIG

Banco de dados: Crepani e Medeiros (2002)

Hierarquia entre classes e categorias: Muñoz (2005)

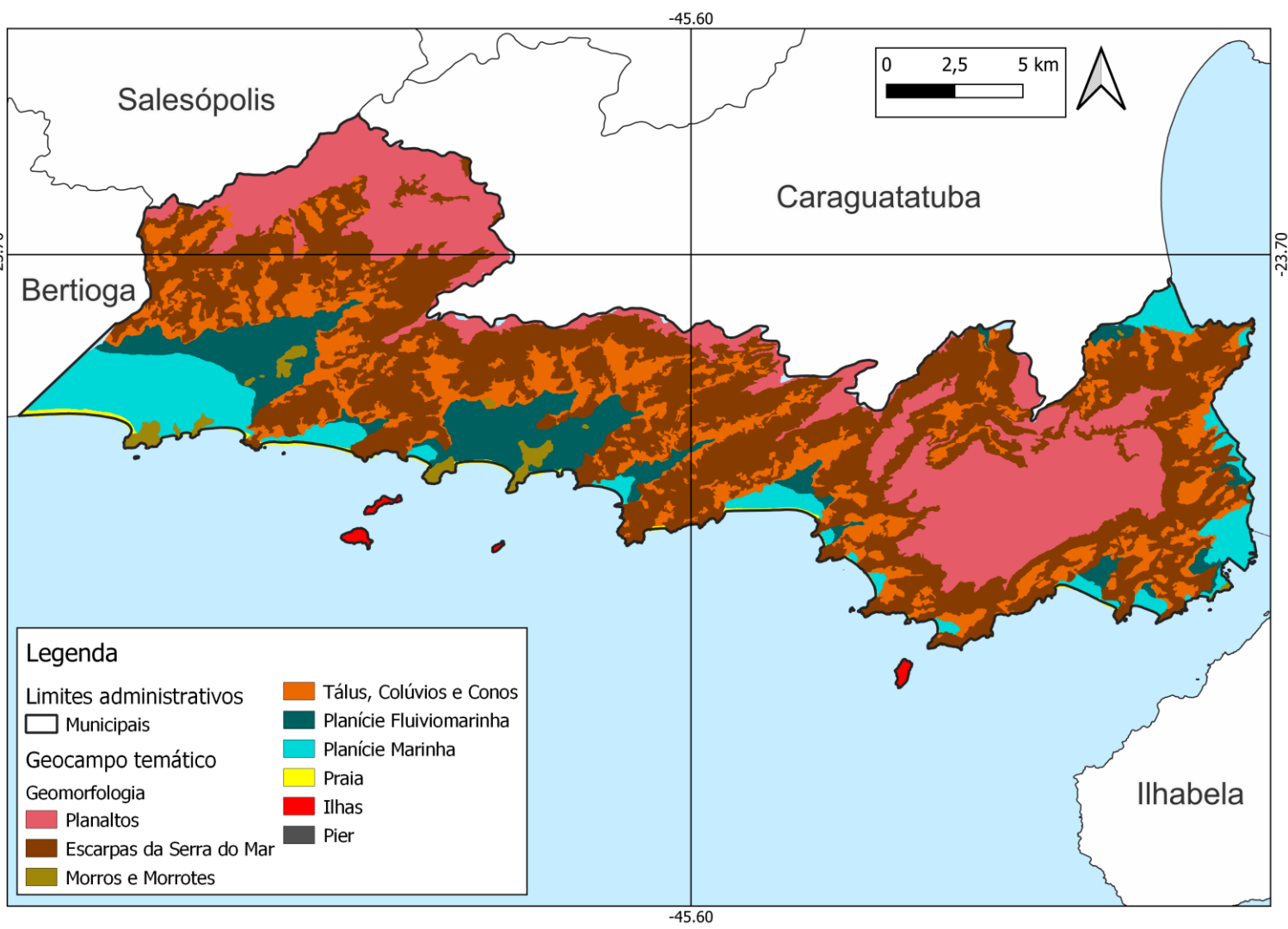
Variáveis

1. Declividade



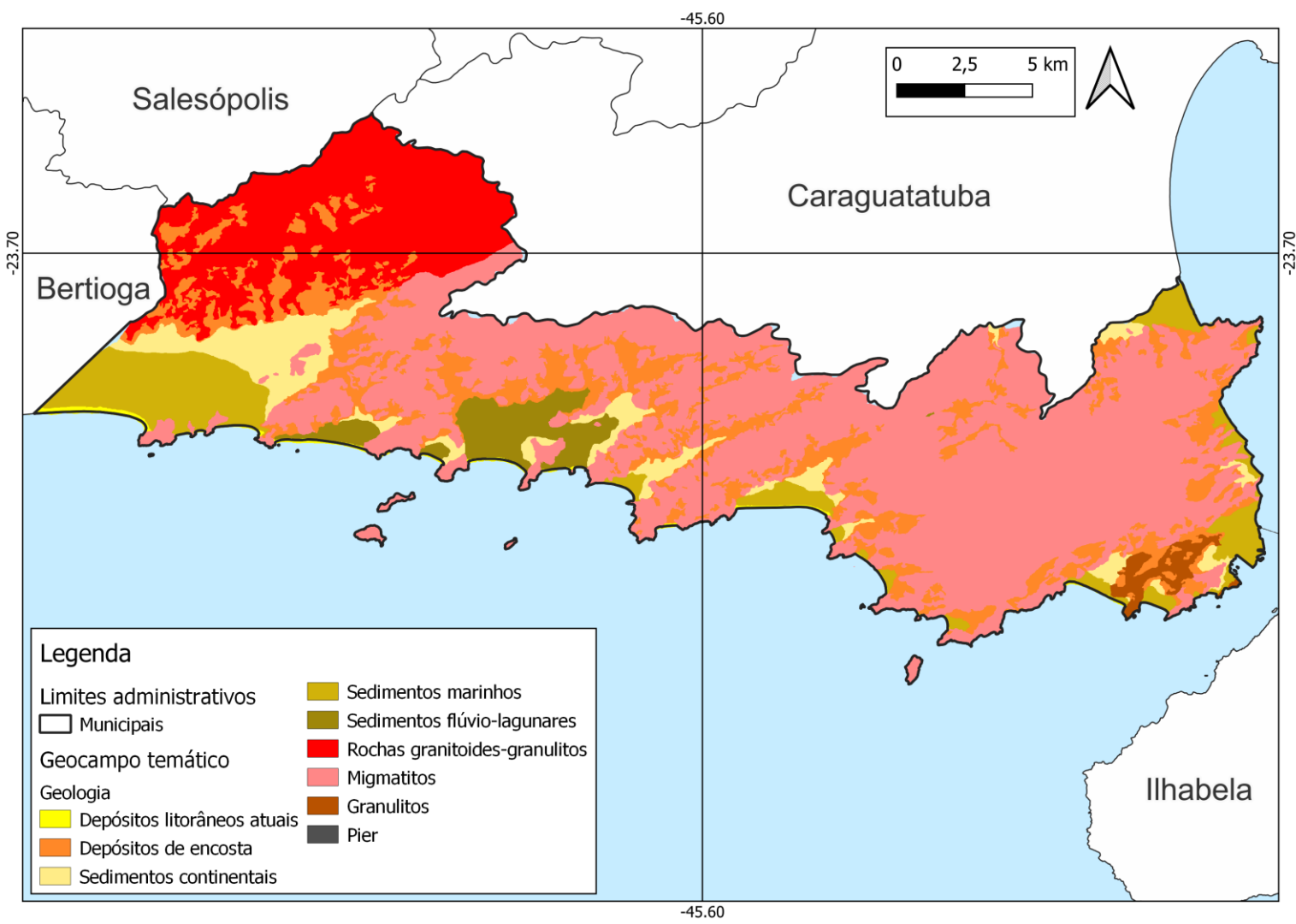
Variáveis

2. Geomorfologia



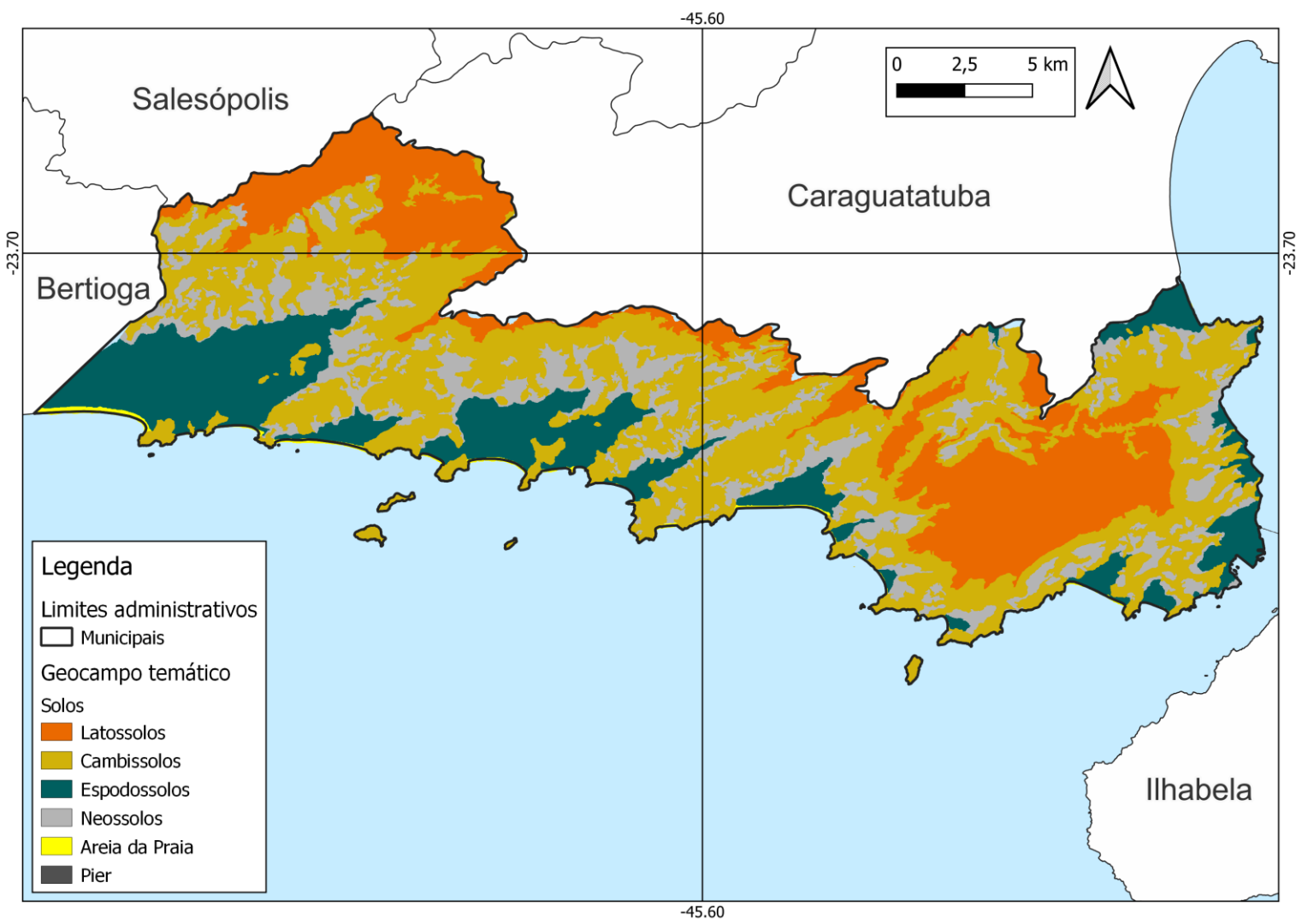
Variáveis

3. Geologia



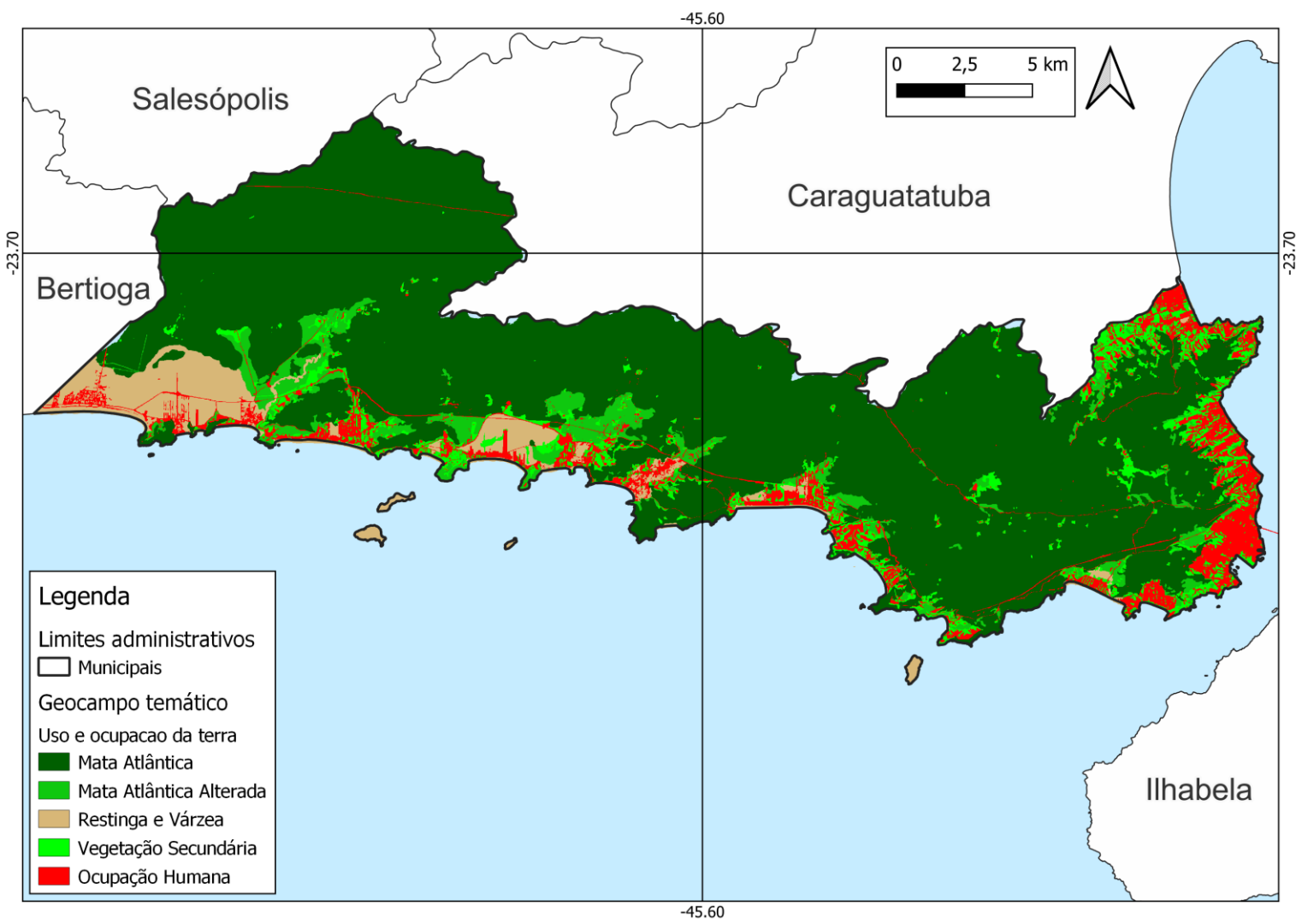
Variáveis

4. Solos



Variáveis

5. Uso e ocupação da terra



Lógica Fuzzy

Lógica difusa

Probabilidade de um elemento pertencer a um conjunto

- ✓ Conjuntos matemáticos sem limites rígidos
- ✓ Pertinência gradativa
- ✓ Lidar com cenários de incerteza, ambiguidade

Tabela 1 – Tabela de pertinência para os conjuntos clássicos.

	Baixo	Médio	Alto
1,50m	1	0	0
1,60m	1	0	0
1,70m	0	1	0
1,80m	0	1	0
1,90m	0	0	1
2,00m	0	0	1

Tabela 2 – Tabela de pertinência para os conjuntos fuzzy.

	Baixo	Médio	Alto
1.50m	1	0	0
1,60m	0.6	0.3	0
1,70m	0.1	1	0
1,80m	0	0.3	0.5
1,90m	0	0	1
2,00m	0	0	1

KOHAGURA, Tiago. Lógica fuzzy e suas aplicações.

Monografia. UEL, 2007.

Inferência Fuzzy Gama

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

Produto (μ) entre a **soma algébrica fuzzy** e o **produto algébrico fuzzy**

Índice gama (γ) pode ser manipulado para gerar diferentes cenários

$0 < \gamma < 0,35$ = Caráter “diminutivo”

$0,8 < \gamma < 1,0$ = Caráter “aumentativo”

$\gamma = 0$ \rightarrow **Soma algébrica** anulada

$\gamma = 1$ \rightarrow **Produto algébrico** anulado

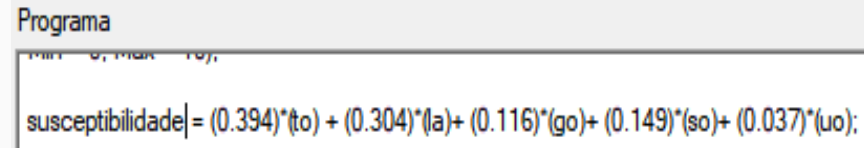
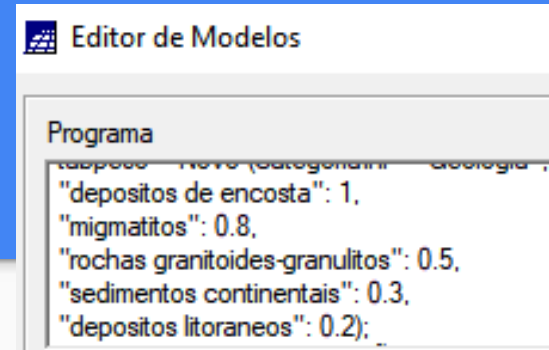
Inferência Fuzzy Gama

Geomorfologia, Geologia, Solos e Uso do solo:

Valores do conjunto Fuzzy para cada classe, conforme hierarquia entre as classes.

Variável de **Declividade**: função fuzzy não-linear (Eq. 1)

- μ = Susceptibilidade a deslizamentos para o pixel x
- Midpoint = Ponto onde a susceptibilidade é 0,5
- 3 = Valor adequado para representar o grau de inclinação da encostas



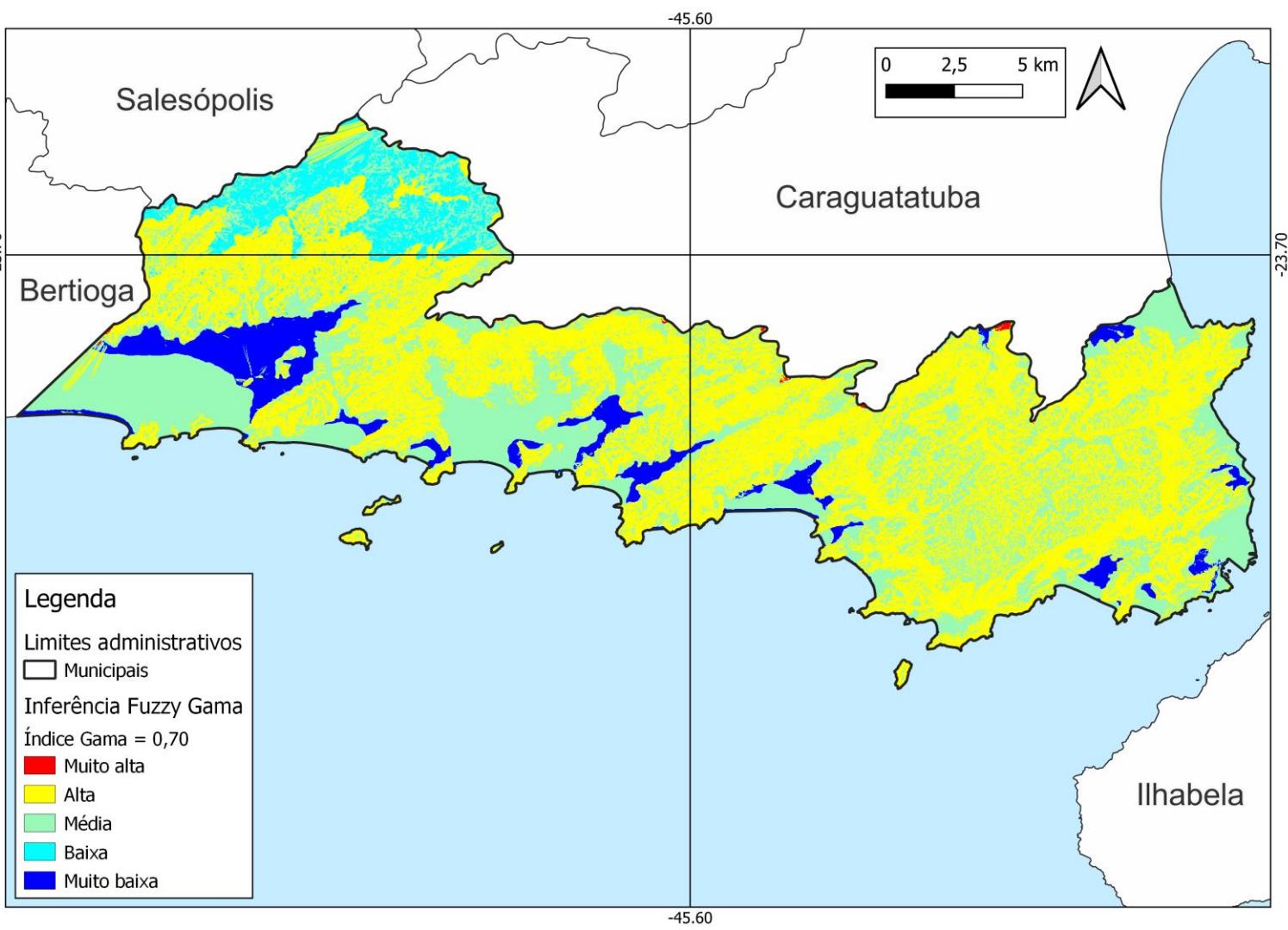
Valores de ponderação por Muñoz (2005)

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{midpoint}\right)^{-3}} \quad (1)$$

Kirschbaum et al. (2016 apud BISPO, 2011)

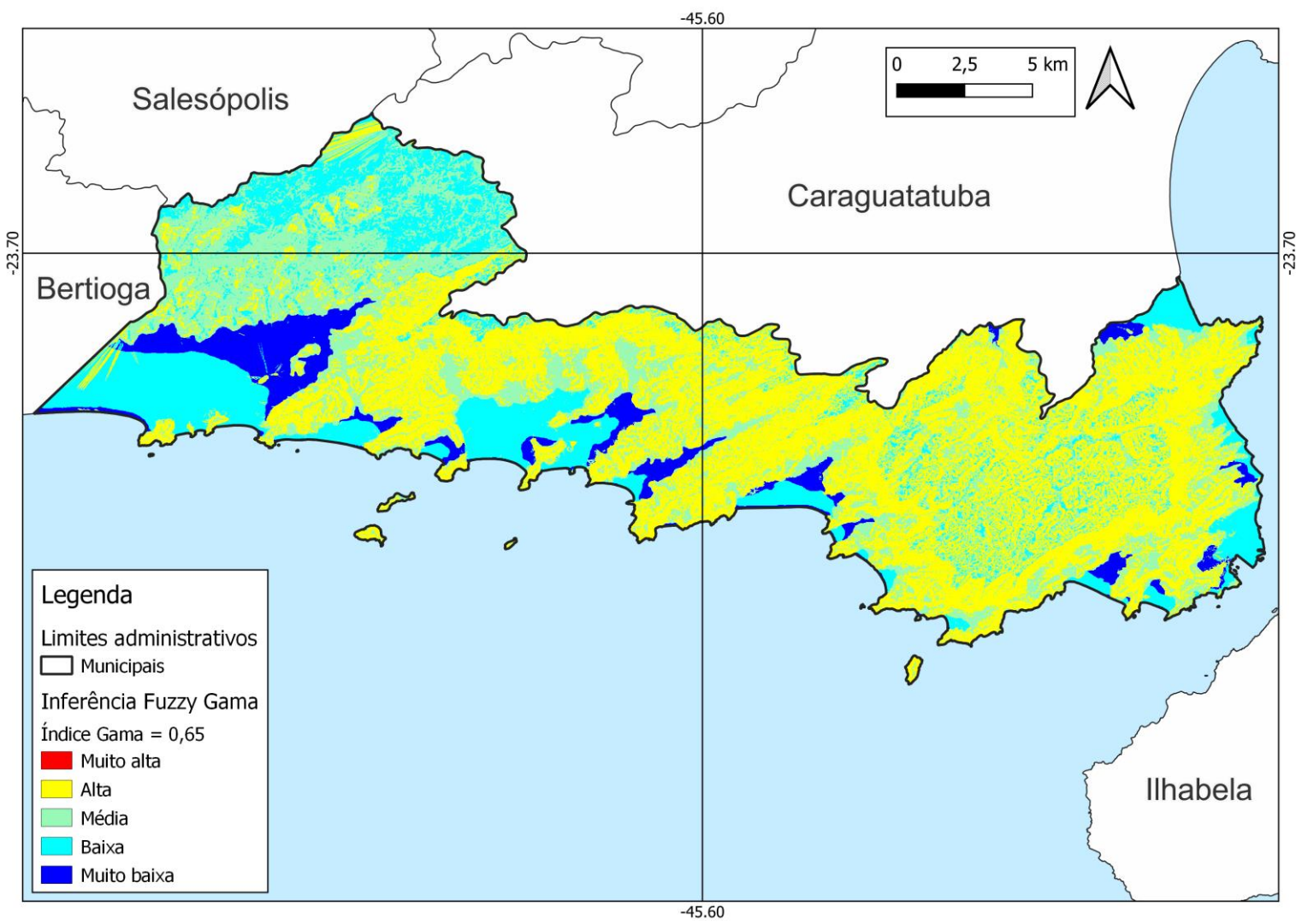
Resultados

Índice gama
0,70



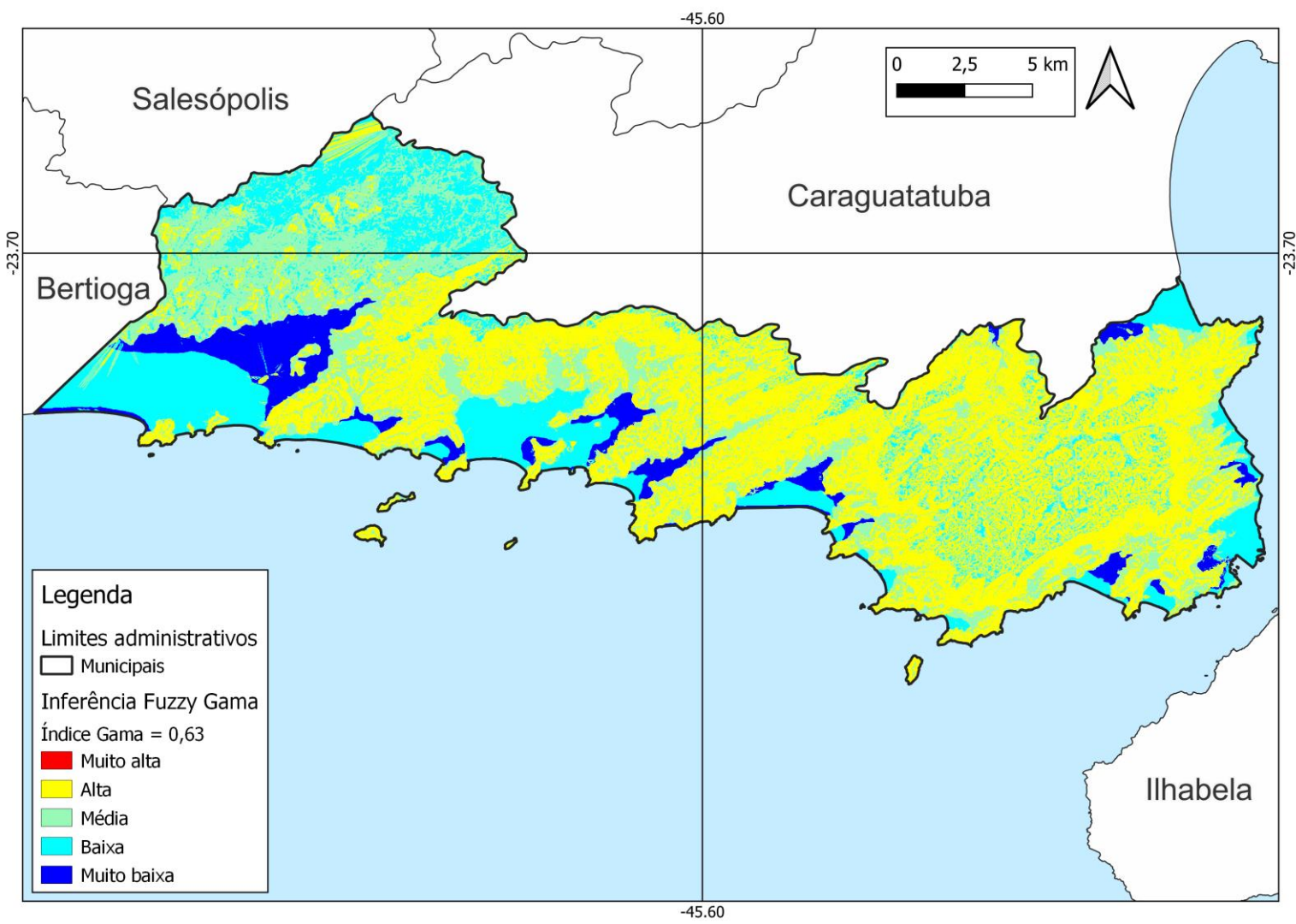
Resultados

Índice gama
0,65



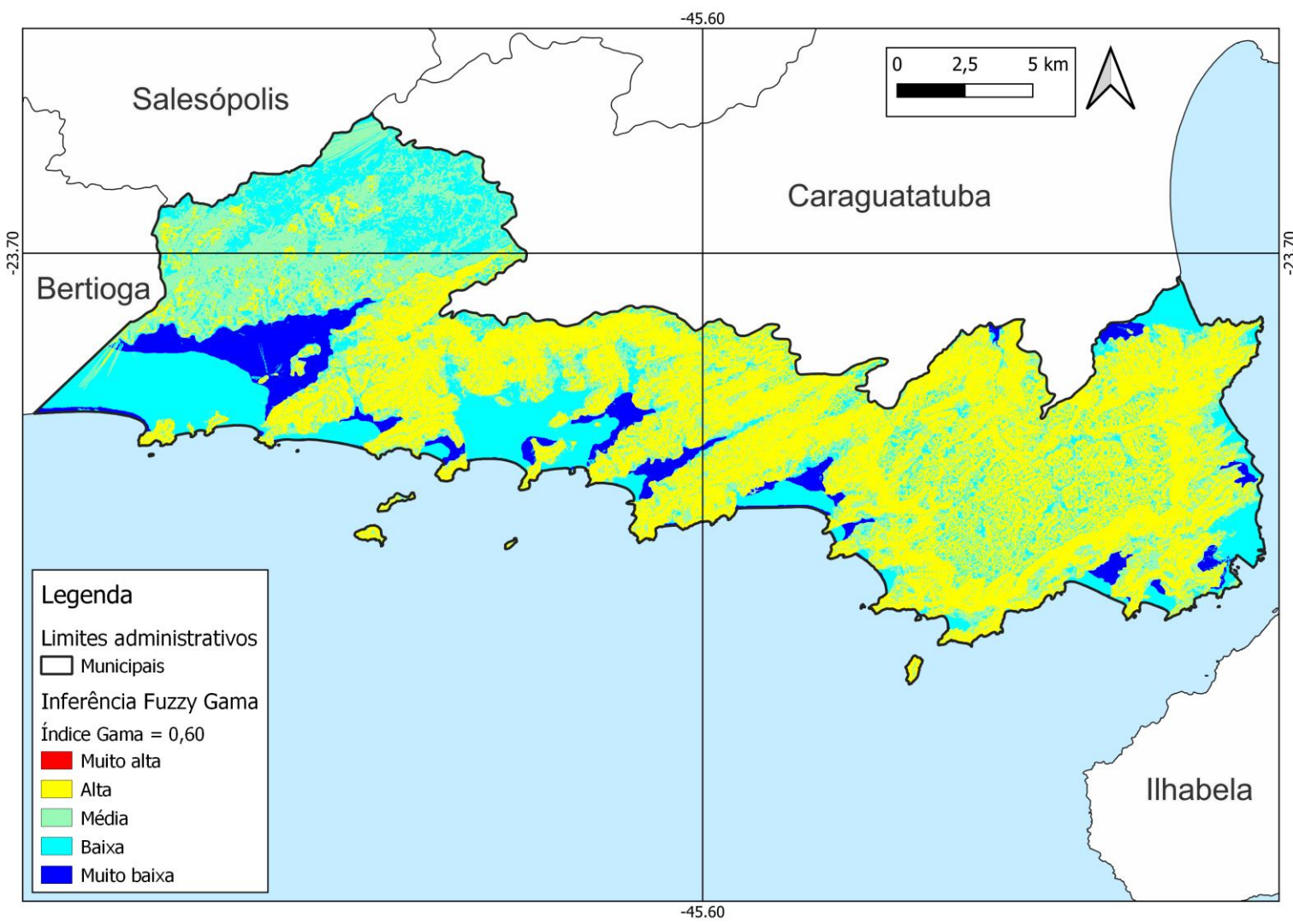
Resultados

Índice gama
0,63



Resultados

Índice gama
0,60



Resultados

Maior índice gama =

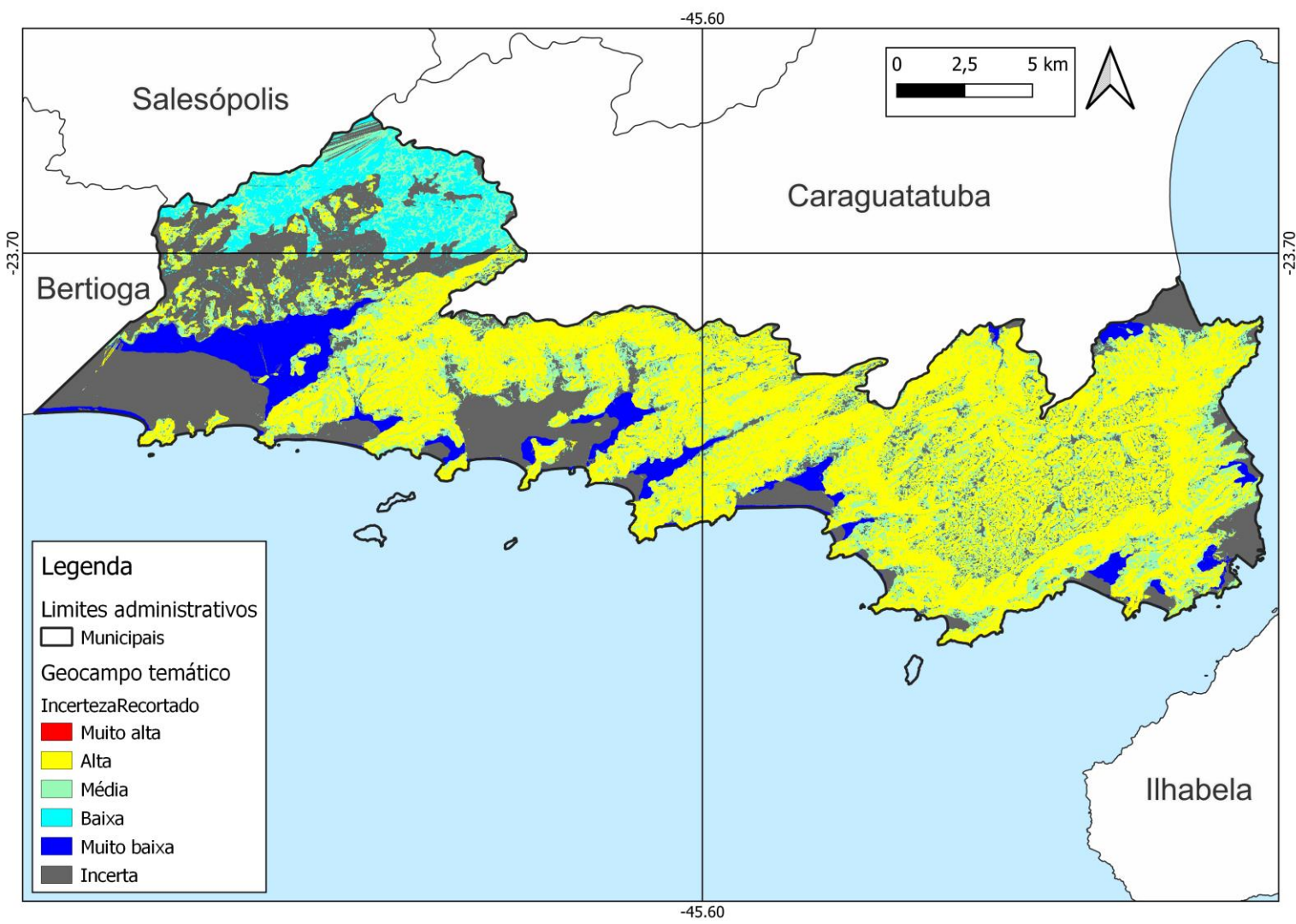
Maior susceptibilidade

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%

Quantidade de pixels classificados pela inferência fuzzy com diferentes valores de índice gama

Resultados

Mapa de Incertezas



Resultados

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%

Quantidade de pixels que foram classificados da mesma forma por todas as operações fuzzy com diferentes índices gama

Considerações finais

- **Precisão** do modelo para avaliar susceptibilidade
- **Flexibilidade** da inferência fuzzy ao modelar susceptibilidade
- **Novas** variáveis
- Verdade de **campo**
- Avaliar **índice gama**

Referências bibliográficas

BISPO et al, P. C. et al. **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.

CÂMARA, G. et al. **Inferência geográfica e suporte à decisão**. In: Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 48.

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

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

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**. 2006.

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.

VALERIANO, M.M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o Projeto TOPODATA**. INPE, p. 3595-3602. 2005