



Laboratório de investigação em
Sistemas Socioambientais

Aplicação do Modelo Aditivo Generalizado Espacial para a modelagem da susceptibilidade à ocorrência de inundação e alagamentos na região norte de Vila Velha - ES

Allan Lima

Docente: Dr. Antônio Miguel e Dr. Eduardo Camargo

SER-301-3: SER-301-3 - Análise Espacial de Dados Geográficos

2021



CONTEXTO AO TEMA

Contínua expansão da população urbana

- Projeções da ONU: população mundial de 9,77 bilhões de pessoas em 2050 **sendo 68% urbana;**
- No Brasil, aproximadamente **85% da população total residia** na área urbana (IBGE, 2010) e segundo a ONU, essa proporção pode atingir a marca de **92,4% no ano de 2050 (UN, 2019).**

Introdução



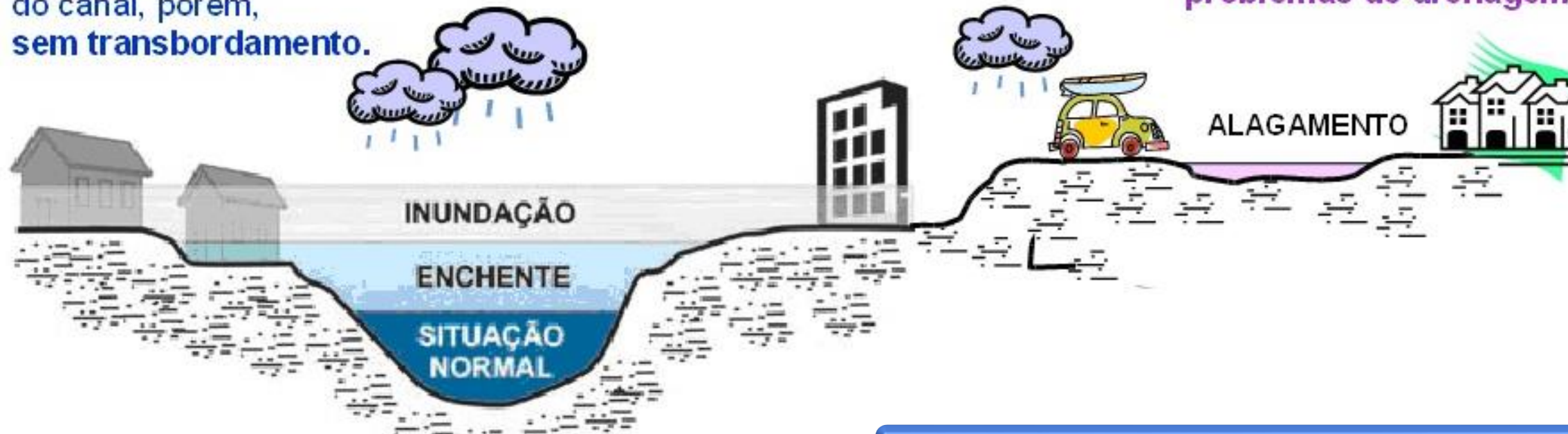
Mudanças na paisagem geográfica

Intensificação dos efeitos gerado por eventos hidrometeorológicos em áreas urbanas

Enchente ou cheia é o aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão*, atingindo a cota máxima do canal, porém, **sem transbordamento**.

Inundação é o transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo as áreas marginais (planície de inundação ou área de várzea)

Alagamento é o acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos, por **problemas de drenagem**



Causa os “desastres naturais”

**Os desastres não são naturais. O desastre “es un fenómeno eminentemente social”
(LAVELL THOMAS, 1993, p. 118)**

**Desastres
Naturais
X
Eventos
Naturais**

O termo **natural** está associado ao agente que provoca o evento, que surge por vias naturais que a Terra gera ou possui.



Implicações **negativas** tanto no ambiente físico quanto no biológico.

Inundação

Em áreas onde não há nenhuma presença humana,



os fenômenos naturais são chamados de **eventos naturais**

Proficiência a potencialização dos eventos

Aspectos bióticos

- Diferentes perfis populacionais ocupam e modificam a paisagem gerando perda e fragmentação do habitat natural e à degradação dos serviços ecossistêmicos.



Perturbações antrópicas



Aspectos físicos

Impermeabilização do solo e ocupação irregular próximo aos canais:

- Potencializa a velocidade de deslocamento e o aumento do volume para o canal de drenagem facilitando cheias, transbordamentos e inundações mais frequentes;
- Auxilia na ineficiência do escoamento da água potencializando o seu acúmulo e facilitando os alagamentos.



Característica física

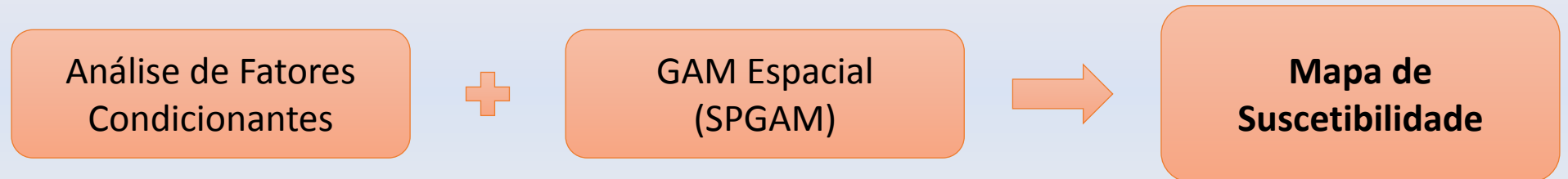
Regime de perturbações → implicações negativas

Desastres naturais

OBJETIVO

Analisar os fatores condicionantes à ocorrência de alagamentos e inundações empregando um Modelo Aditivo Generalizado Espacial e elaborar um mapa de superfície de suscetibilidade indicando locais com maior probabilidade de ocorrência desses eventos.

Objetivo

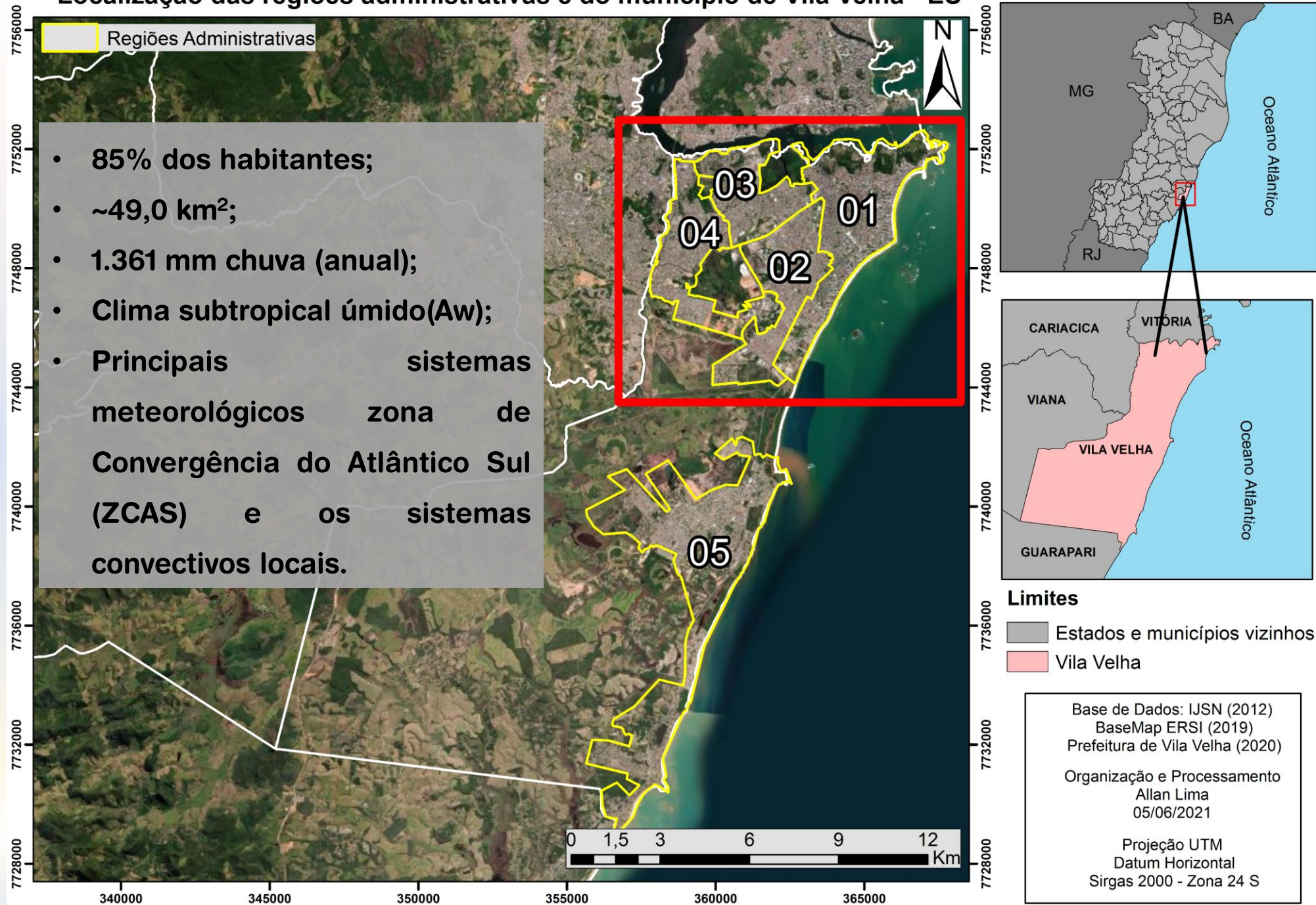


GAM → amplamente utilizado para a modelagem de áreas de suscetibilidade.

ÁREA DE ESTUDO

Localização das regiões administrativas e do município de Vila Velha - ES

Área de estudo



Histórico de Eventos

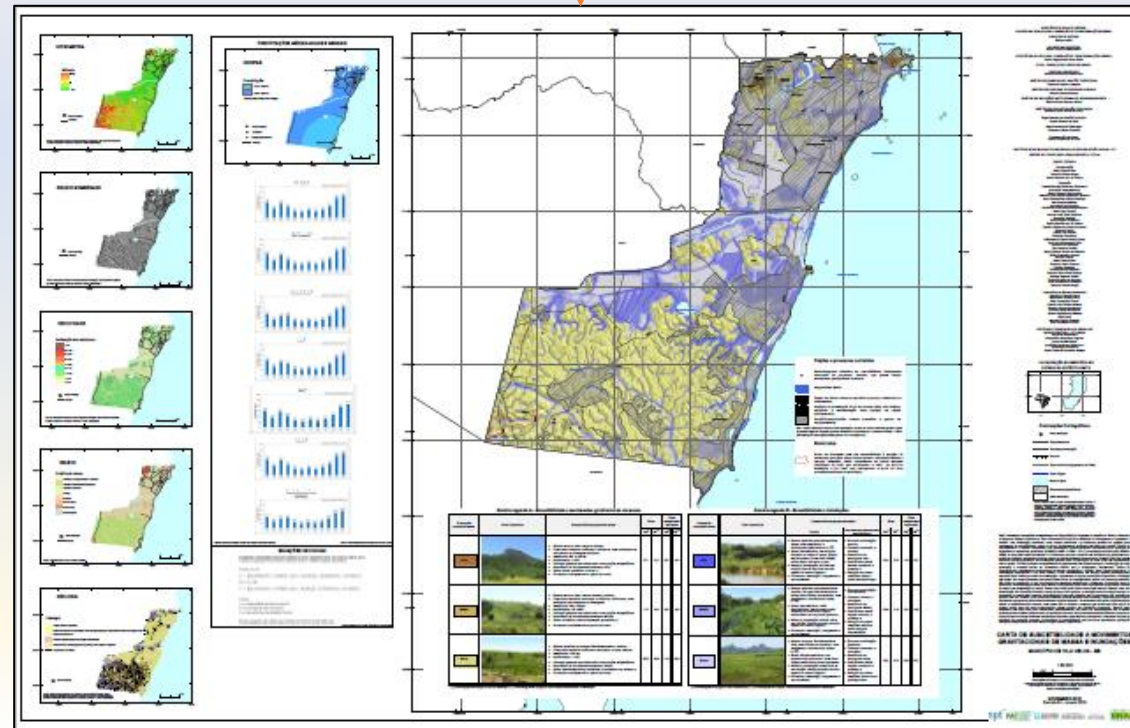
Ano	Mês	Situação Anormal	Desastre	Decreto nº
2019	Mai.	SE	Chuvas Intensas	007/2019, de 20/05
2018	Nov.	SE	Chuvas Intensas	138/2018, de 10/11
2016	Jan.	SE	Deslizamento de rocha	001/2016, de 02/01
2015	Dez.	SE	Vírus/Dengue	206/2015, de 07/12
2013	Dez.	SE	Alagamento	255/2013, de 22/12
	Mar.	SE	Alagamento	051/2013, de 19/03
2012	Jan.	SE	Enxurrada	002/2012, de 06/01
2011	Abr.	SE	Alagamento	126/2011, de 28/04
2009	Out.	SE	Alagamento	209/2009, de 30/10
2008	Nov.	SE	Alagamento	178/2008, de 24/11
2004	Jan.	ECP	Enxurrada	001/2004, de 06/01
2003	Dez.	SE	Fortes Chuvas	346/2003, de 29/12
2002	Nov.	SE	Vírus/Dengue	310/2002, de 11/11
2001	Nov.	SE	Fortes Chuvas	274/2001, de 21/11
	Jan.	SE	Vírus/Dengue	036/2001, de 17/01

Cerca de 70% de registros de desastres naturais com decretação de situação anormal estão relacionados com eventos hidrometeorológicos

MATERIAIS

Carta de suscetibilidade a
inundação e alagamentos

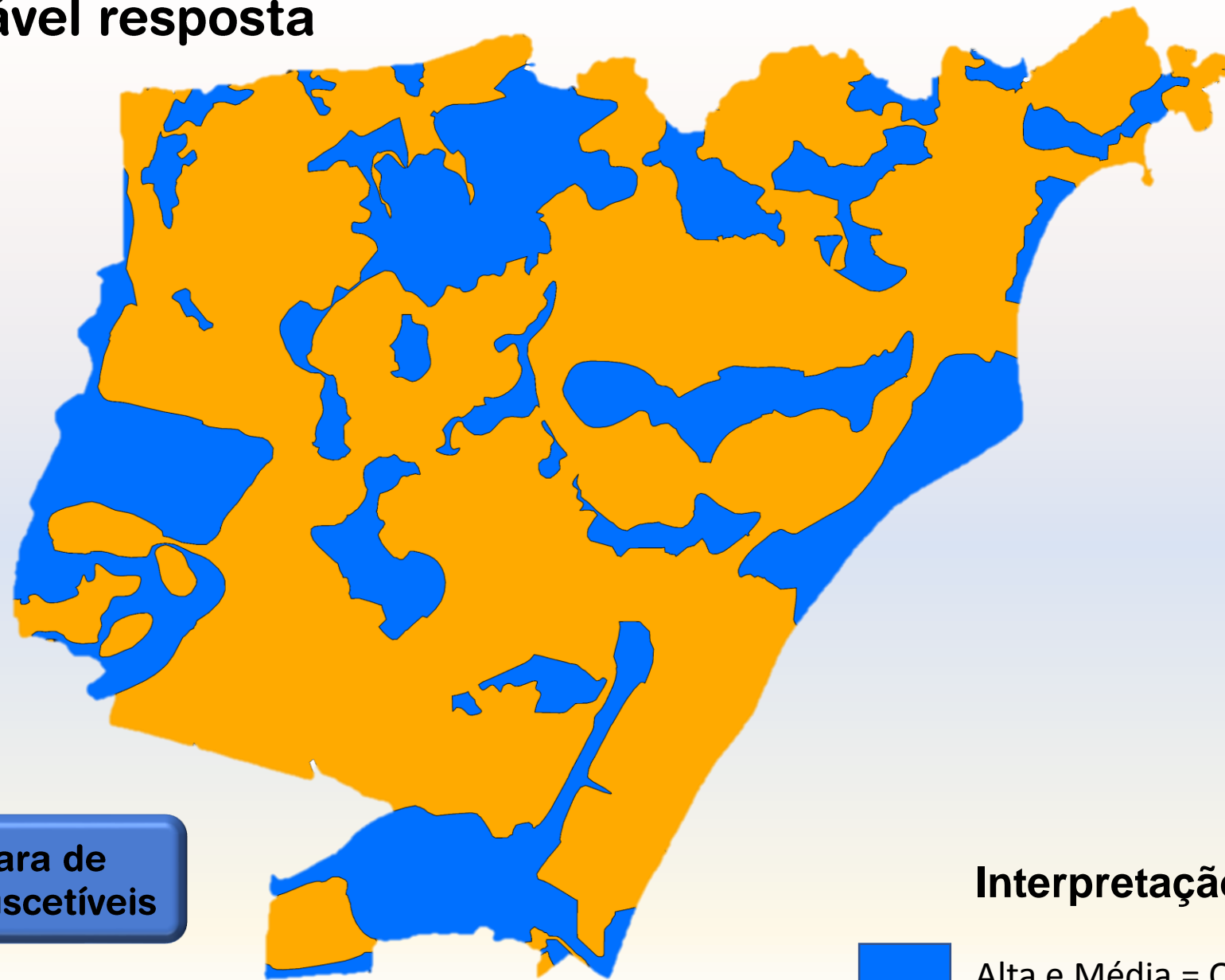
Materials



Variável
resposta

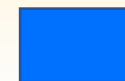
2014

Variável resposta



**Mascara de
áreas suscetíveis**

Interpretação



Alta e Média = Ocorrência



Baixa = Não Ocorrência

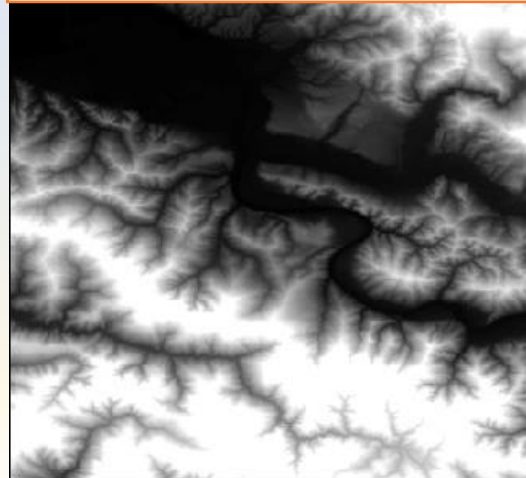
Materiais



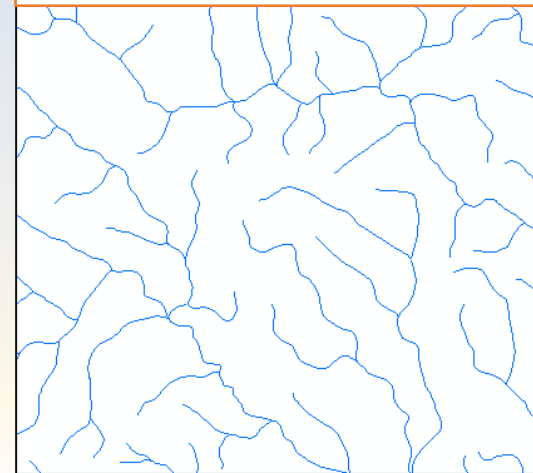
Variáveis explicativas

Resolução espacial: 5 metros

Modelo Digital de Terreno - MDT



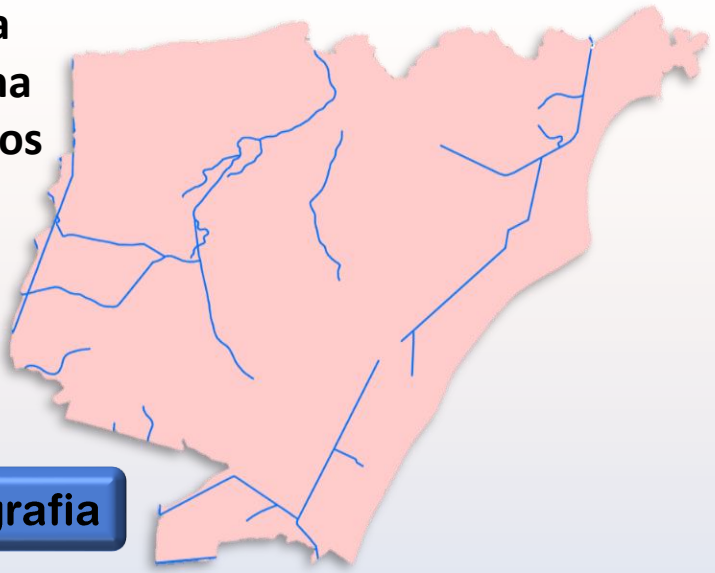
Hidrografia Municipal



Aspectos Físicos

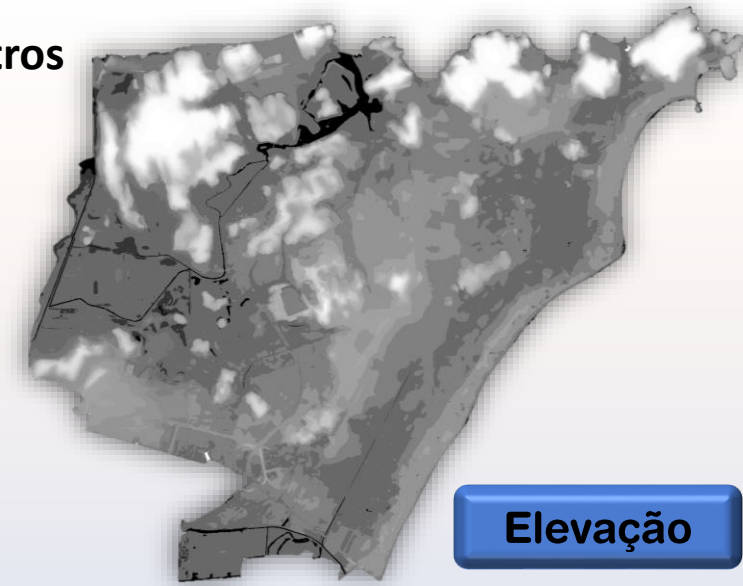
Materiais

Distância
euclidiana
em metros



Hidrografia

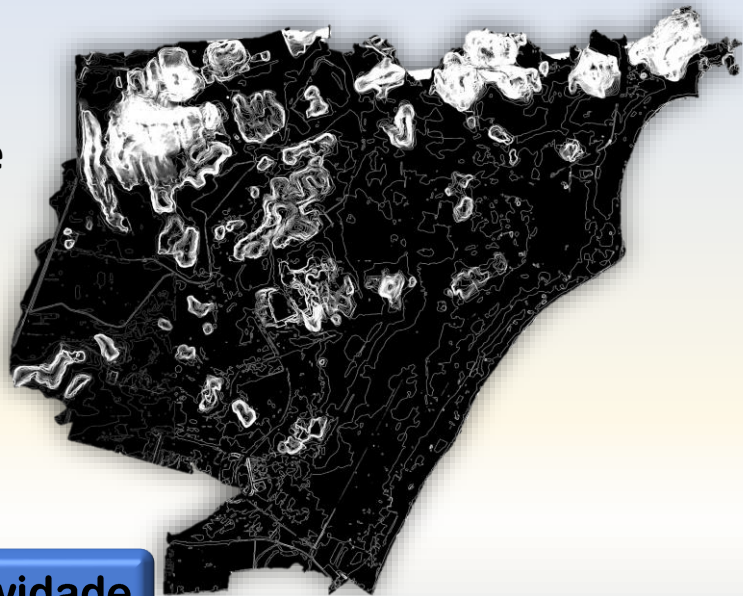
Em metros



Elevação

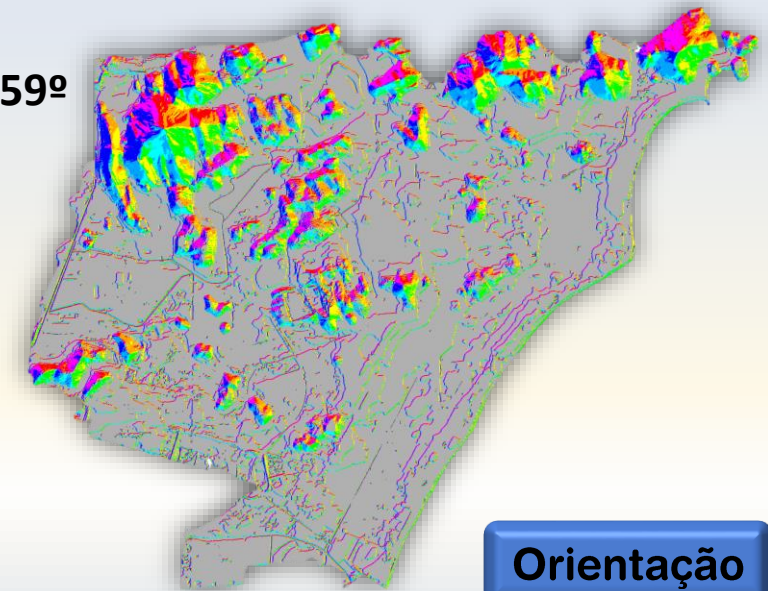
Aspectos físicos

% de
declive



Declividade

De 0 a 359°



Orientação

**Variáveis
explicativas**



sentinel-2

2015



B04 (RED)

B08 (NIR)

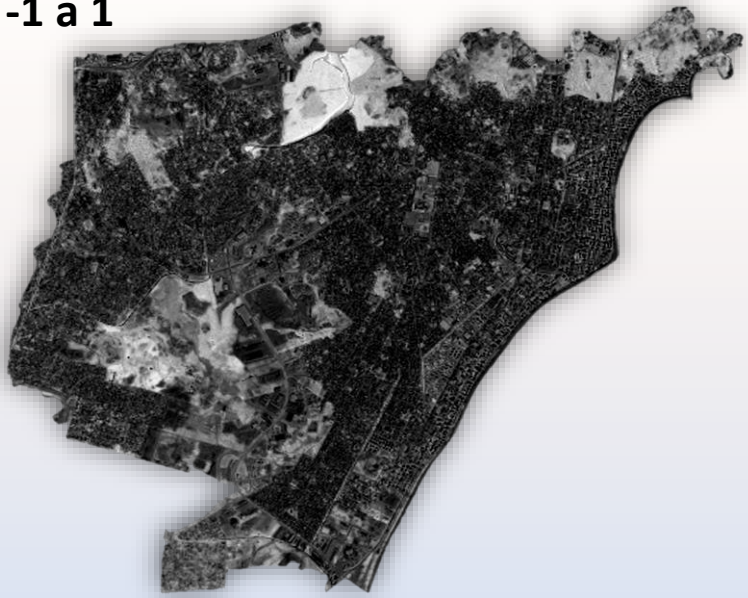
B11 (SWIR)



Aspectos Bióticos

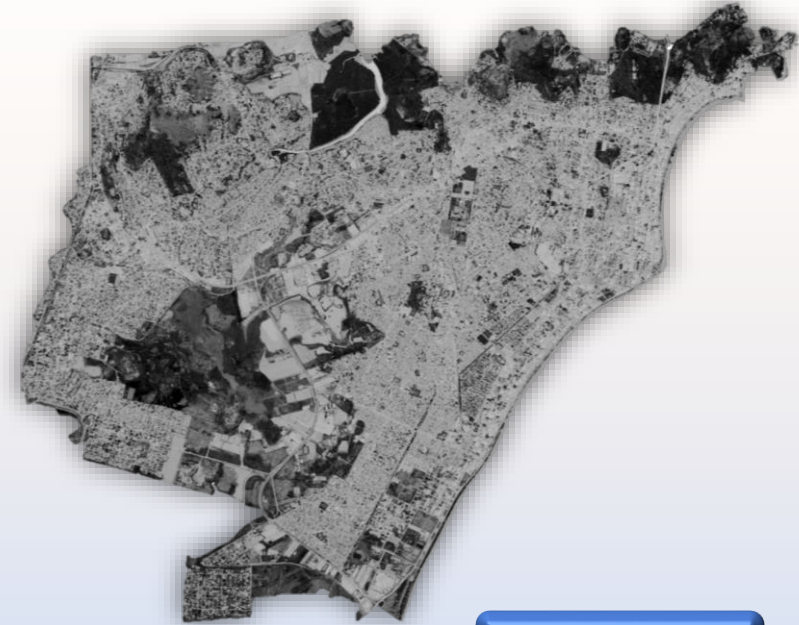
Materiais

Valores de
-1 a 1



NDBI

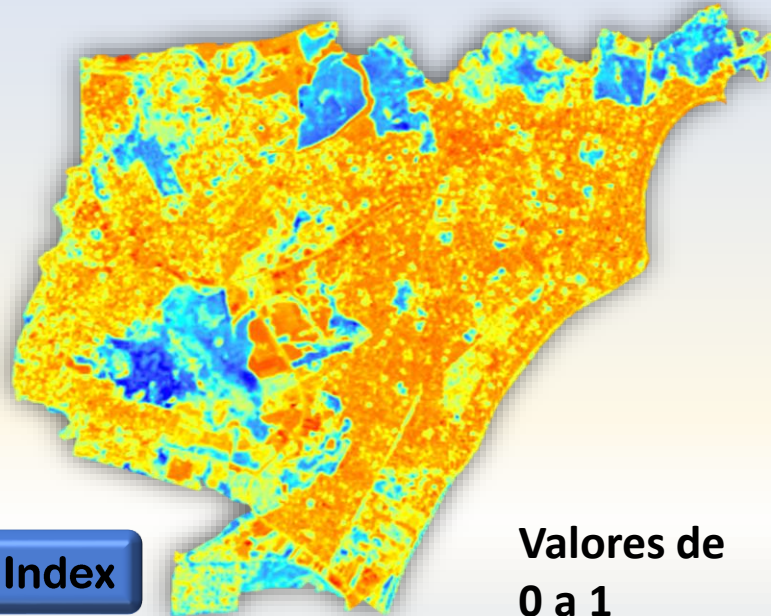
Valores de
-1 a 1



NDVI

Aspectos bióticos

Build Index



Valores de
0 a 1

Heterogeneidade da paisagem com dados contínuos

1

$$NDVI = \frac{NIR(B8) - Red(B4)}{NIR(B8) + Red(B4)}$$

Índice de Vegetação com
Diferença Normalizada.

Visualização da presença da
vegetação natural ou não

2

$$NDBI = \frac{SWIR(B11) - NIR(B8)}{SWIR(B11) + NIR(B8)}$$

Índice de construção de
diferença normalizada

Visualização densidade de área
construída

Visualização da densidade
de área construída

3

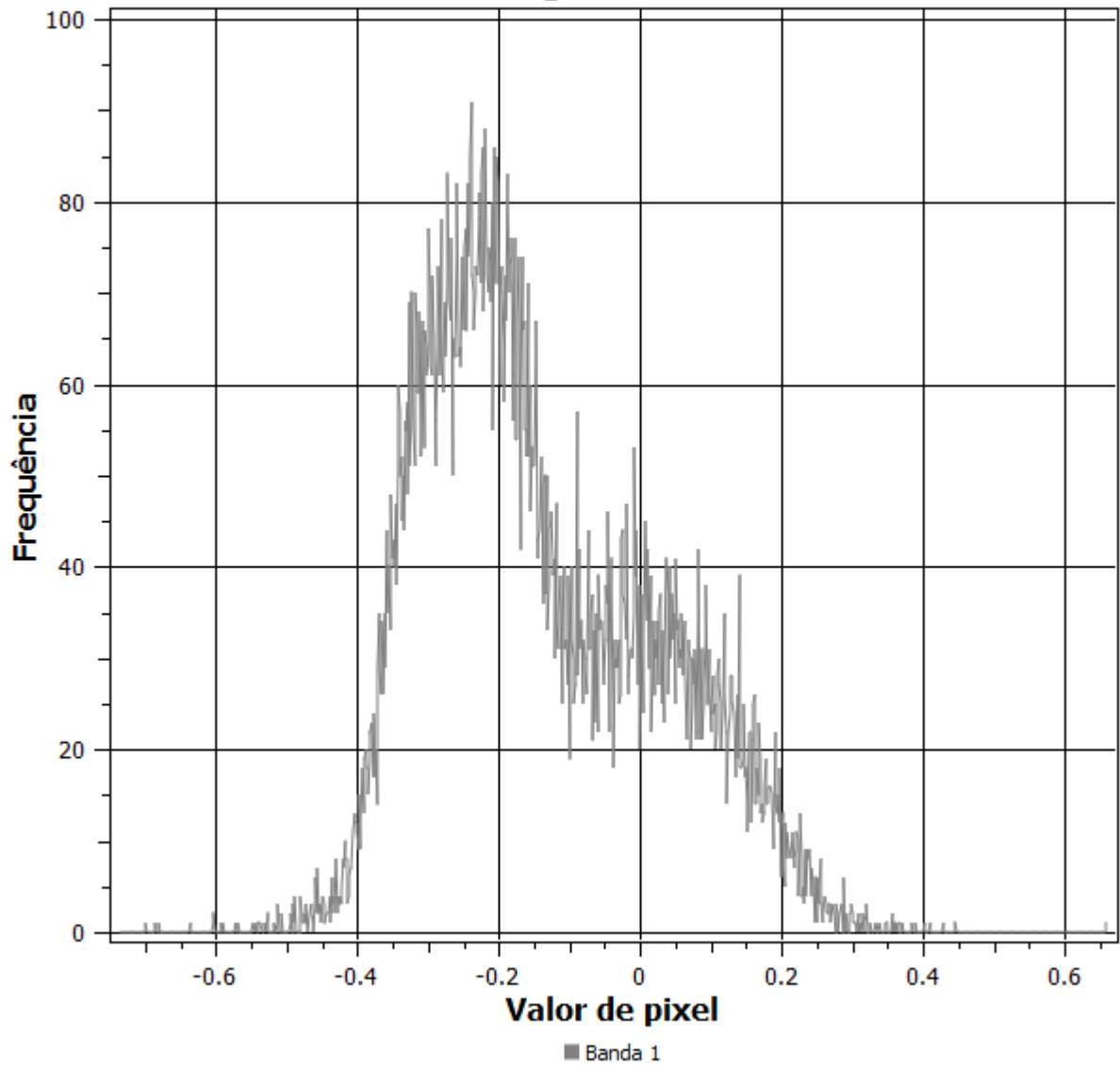
Índice Biofísico

$$BU = NDBI - NDVI$$

Índice de Construção realçado

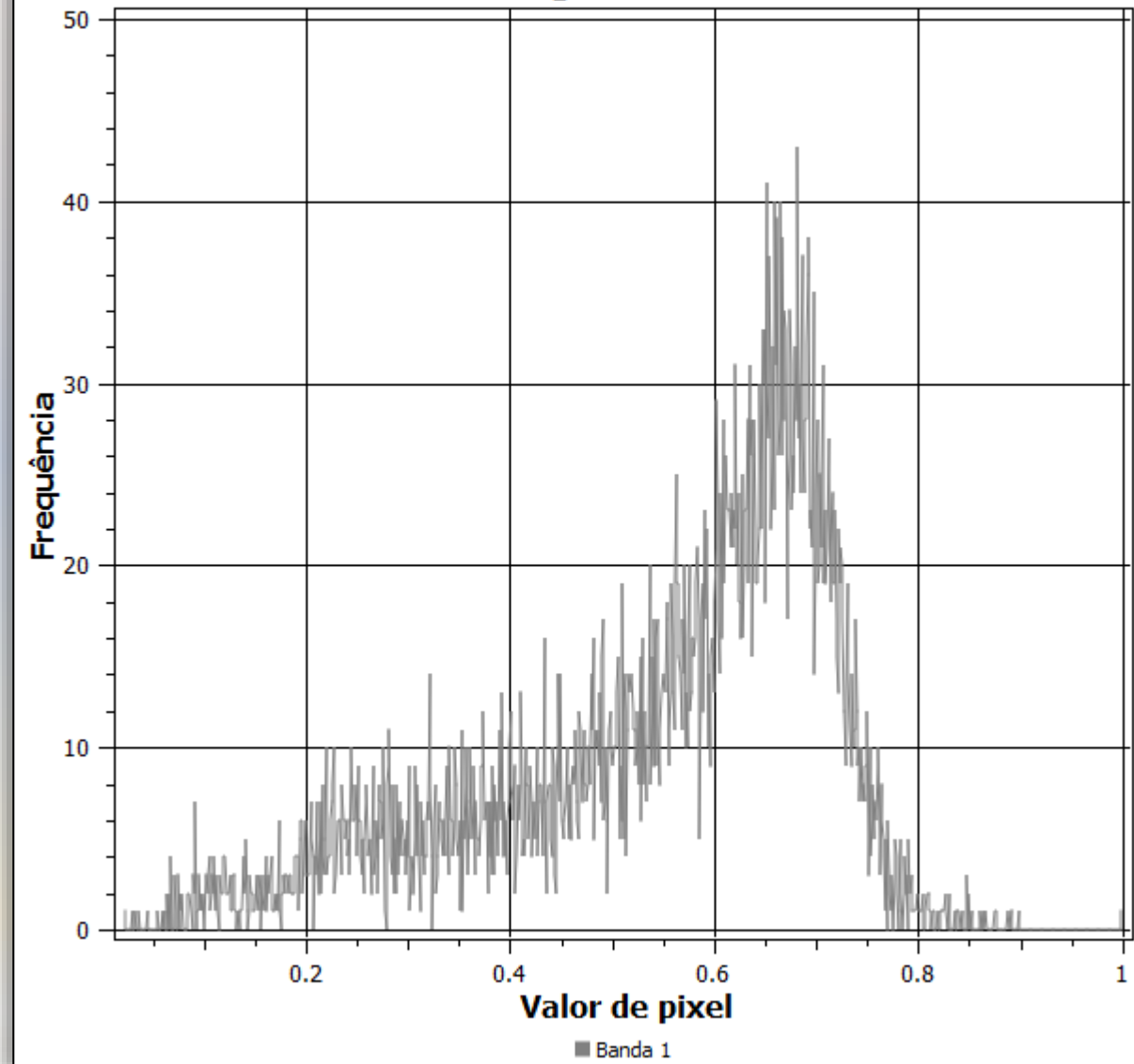
NDBI

Histograma Raster



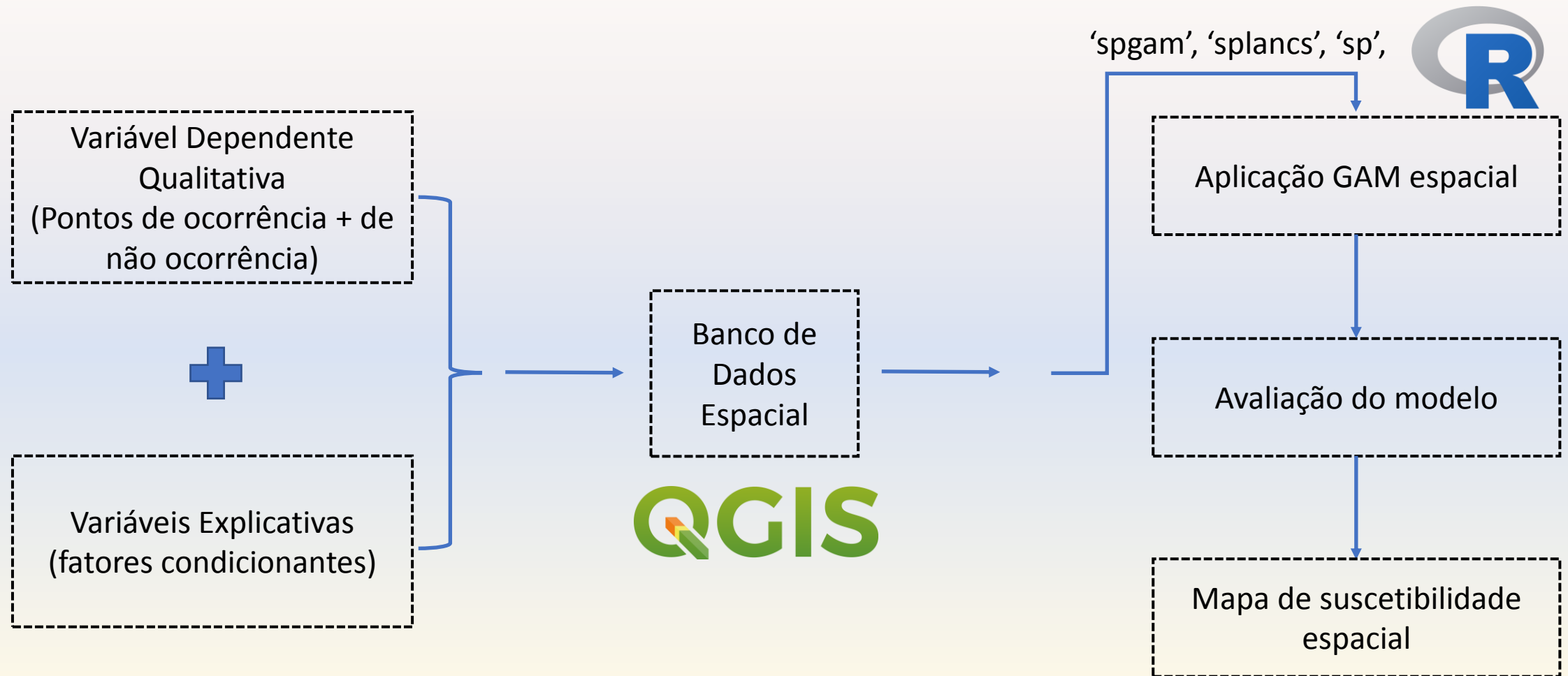
BU

Histograma Raster



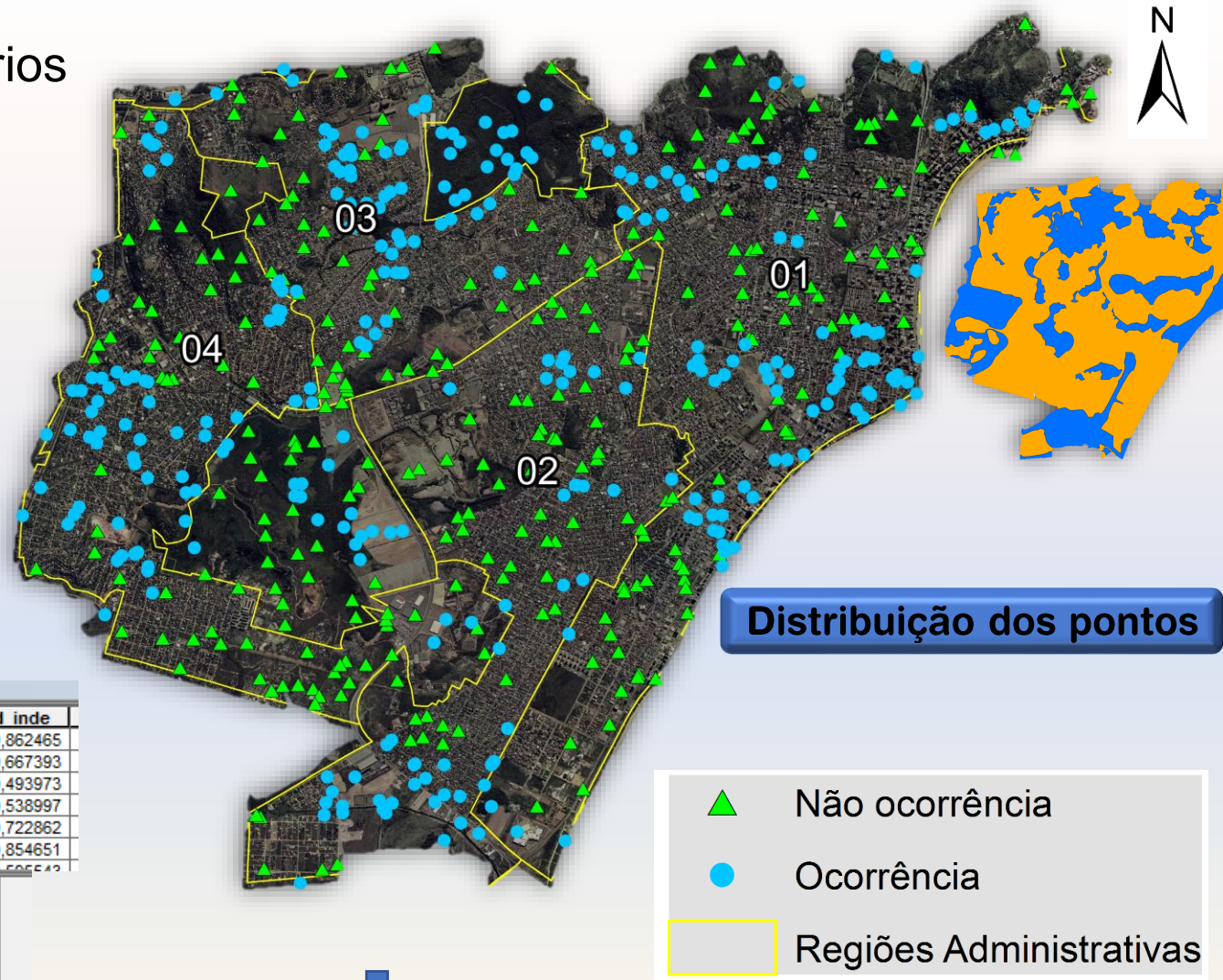
METODOLOGIA

Fluxograma das etapas desenvolvidas no trabalho



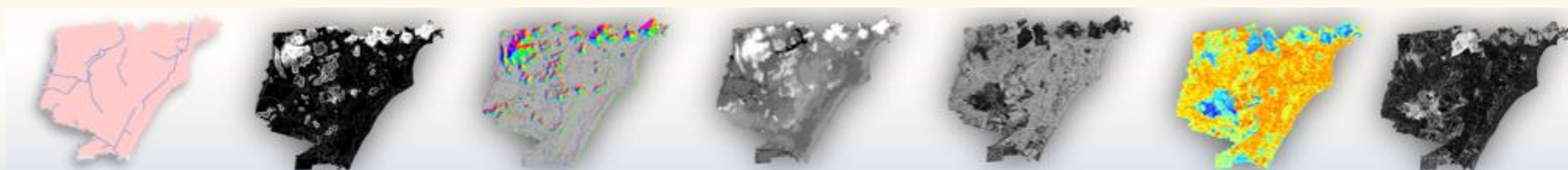
Metodologia

- Gerados 300 pontos aleatórios para cada classe (0 e 1);
- Total de 600 pontos;
- 70% treinamento 30% validação;
- Construção do banco de dados.



FID	Shape	classe	elevacao	declividad	orientacao	build inde
0	Point	0	2	4,04469	45	0,862465
1	Point	0	2	0	0	0,667393
2	Point	0	4	0	0	0,493973
3	Point	0	8	4,04469	135	0,538997
4	Point	0	2	0	0	0,722862
5	Point	0	6	0	0	0,854651

ndbi	ndvi	distancia	X	Y
0,155303	-0,009072	612,950496	364345,545	7749529,112
0,128205	0,099495	269,106895	364824,348	7748475,181
0,010602	0,47864	549,715561	362051,224	7746325,722
0,175138	0,2	546,750702	362961,789	7745008,287
0,113094	0,0716	99,944262	360588,153	7749542,09
0,259633	0,089165	654,373084	364193,719	7747299,642
0,102774	0,508165	655,32274	365028,504	7751682,468



Metodologia - “Road to SPGAM”

Modelos de Regressão

1º *Generalized Linear Model (GLM)*

Extensão do modelo linear clássico

$$g(m_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \dots$$

Pressupostos:

- Variável resposta pertence a família **exponencial**
- Função de ligação estabelece uma relação entre a média e o modelo proposto $\rightarrow g(\mu_i) = E(Y_i)$

Variável resposta segue uma **distribuição binomial**
(ex: ocorrência ou não ocorrência de alagamento)

Probabilidade de ocorrência = “ p ”
Probabilidade de não ocorrência = “ $1-p$ ”

$$\left(\frac{p}{1-p}\right) \rightarrow \text{razão de chances}$$

(difícil estabelecer relações)

Aplicando uma transformação logarítmica no modelo:

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \text{logit}(p)$$

∞ (por limite) $-\infty$ (por limite)

Sem limites \rightarrow Passa a ser contínua

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots$$

Metodologia - “Road to SPGAM”

2º *Generalized Additive Model (GAM)*

Extensão do GLM
o termo $\Sigma \mathbf{Xb}$ é substituído por $\Sigma f(\mathbf{X})$,
($f(\mathbf{X})$ função não paramétrica)



- Estimada através de curvas de alisamento
- A curva alisada permite lidar com relações não lineares no modelo (splines)

3º *Modelo Aditivo Generalizado Espacial (SPGAM)*

$$\text{logit}[p(s, x)] = \log \left(\frac{p(s, x)}{1 - p(s, x)} \right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + k(s)$$

Um GAM adaptado
mas com uma
abordagem
semiparamétrica

Probabilidade de
ocorrência da variável
resposta

Efeito da
variável

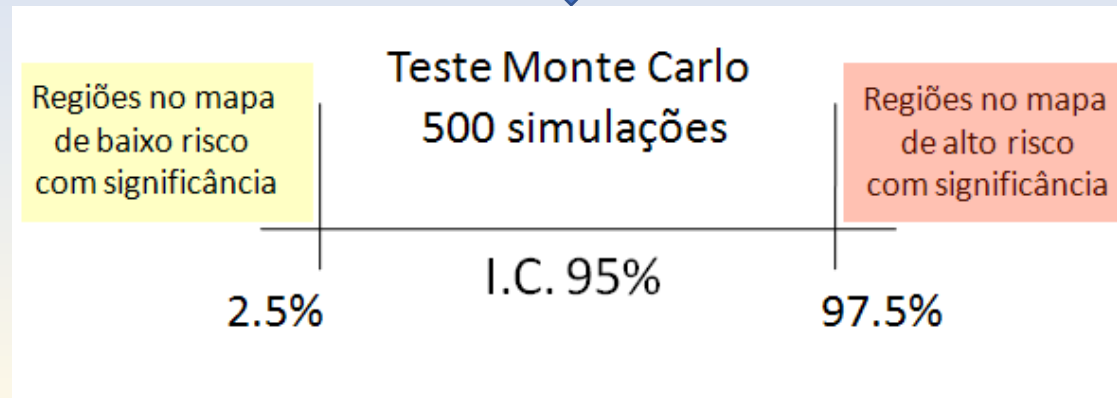
Variável
explicativa

Efeito espacial
Função de
Kernel

Possibilita a geração de um mapa
contínuo e suavizado da variável
resposta

Metodologia

SPGAM – Modelo Aditivo Generalizado Espacial



Teste global para avaliar se superfície varia significativamente e identificação dos locais com alta e baixa suscetibilidade

RESULTADOS & DISCUSSÕES

Construção do modelo final SPGAM

1º Teste - (nível de confiança de 95%)

$$\text{logit}[p(s)] = \beta_0 + \beta_{\text{Elevação}} + \beta_{\text{Orientação}} + \beta_{\text{Declividade}} + \beta_{\text{Dist.Drenagem}} + \beta_{\text{Build Index}} + \beta_{\text{NDBI}} + \beta_{\text{NDVI}} + k(s)$$

Resultados

β	Estimativa	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Intercepto (β_0)	-1.493130960	0.574946855	-2.596990	9.740E-03
Orientação de vertente	0.000819261	0.001229831	0.6661576	0.5056832
Elevação	-0.058819111	0.013399300	-4.3897151	1.444E-05
Declividade	0.076485651	0.020778122	3.6810666	2.631E-04
Distância euclidiana à drenagem	-0.001884283	0.000237737	-7.9259280	2.141E-14
Build Index	2.226444420	0.698145268	3.1890847	1.536E-03
NDBI	2.889302320	0.687721078	4.2012706	3.256E-05
NDVI	2.873579672	0.724383053	3.9669339	8.585E-05

Construção do modelo final SPGAM

nº Testes - (nível de confiança de 95%)

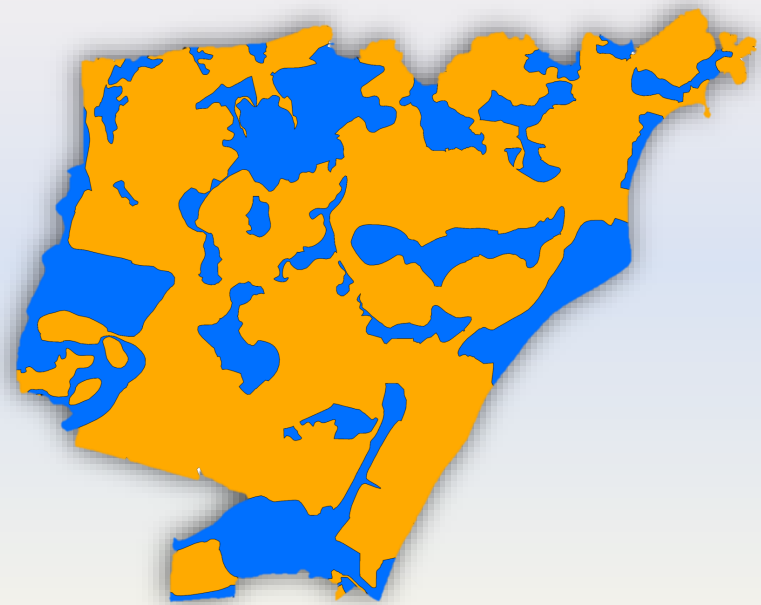
$$\text{logit}[p(s)] = \beta_0 + \beta_{\text{Elevação}} + \beta_{\text{Declividade}} + \beta_{\text{Dist.Drenagem}} + \beta_{\text{Build Index}} + \beta_{\text{NDBI}} + \beta_{\text{NDVI}} + k(s)$$

β	Estimativa	Erro Padrão	t-valor	p-valor
Intercepto (β_0)	-1.493130960	0.574946855	-2.596990	9.740E-03
Elevação	-0.059934441	0.0133278	-4.496949	8.969E-06
Declividade	0.086927977	0.014528172	5.983408	4.742E-09
Distância euclidiana à drenagem	-0.001895673	0.000237396	-7.985297	1.406E-14
Build Index	2.373962732	0.683907585	3.471175	5.728E-04
NDBI	2.773429357	0.678664224	4.086600	5.261E-05
NDVI	2.930181579	0.720780685	4.065289	5.745E-05

Resultados

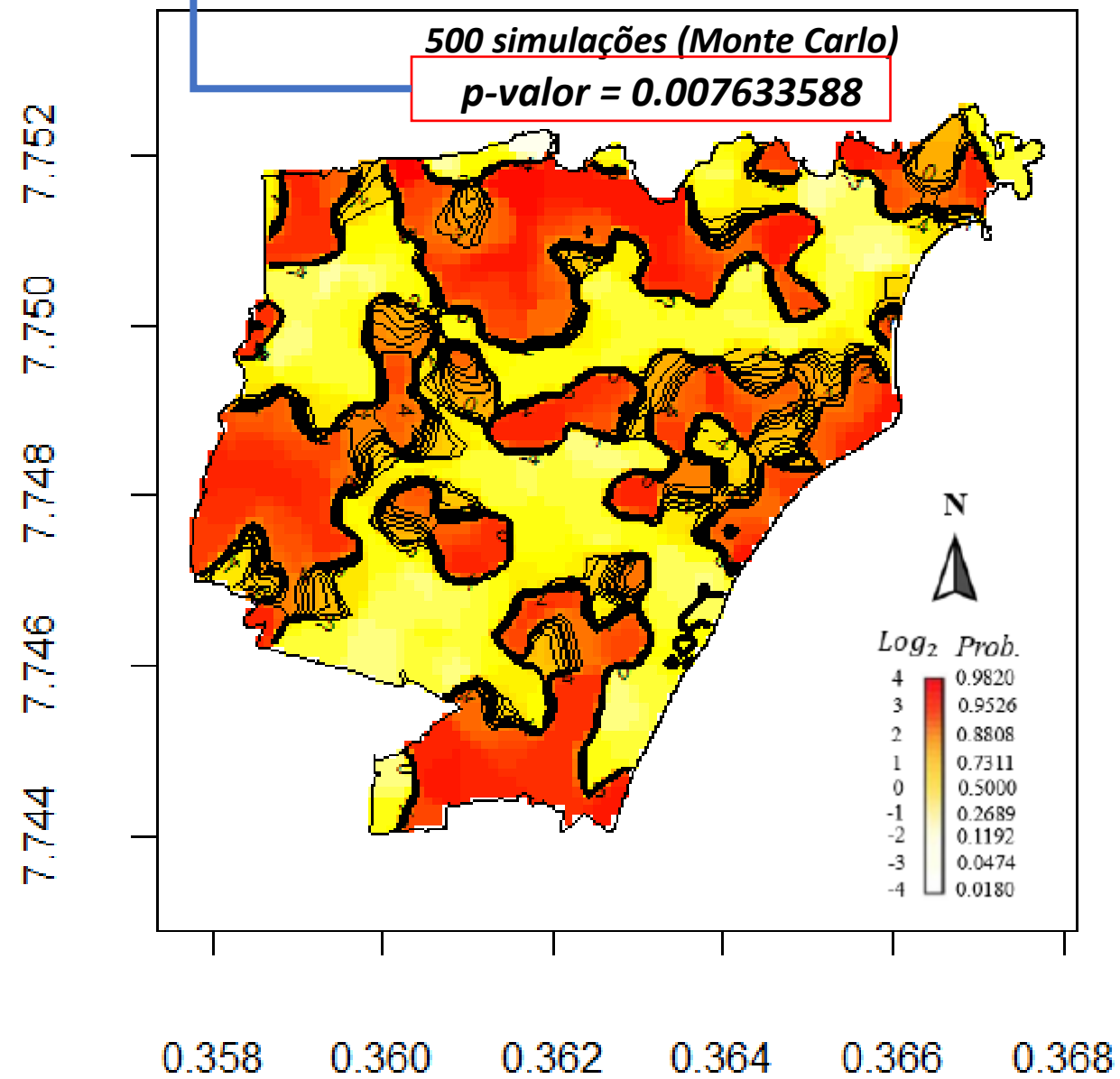
Resultados

evidenciando que não há suscetibilidade constante ($g(s) = 0$)



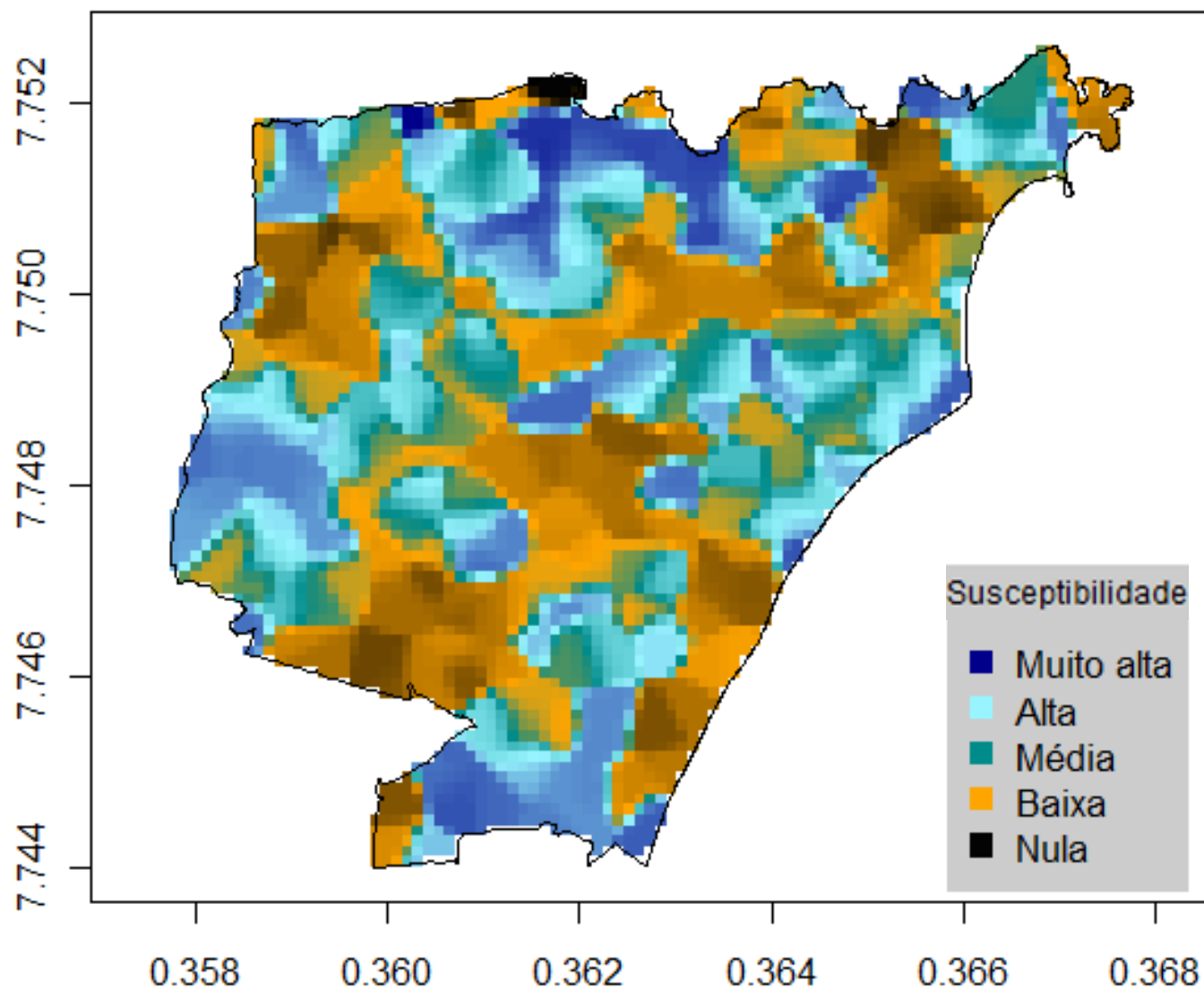
Mascara de áreas suscetíveis

Estimativa da suscetibilidade espacial a inundação e alagamento

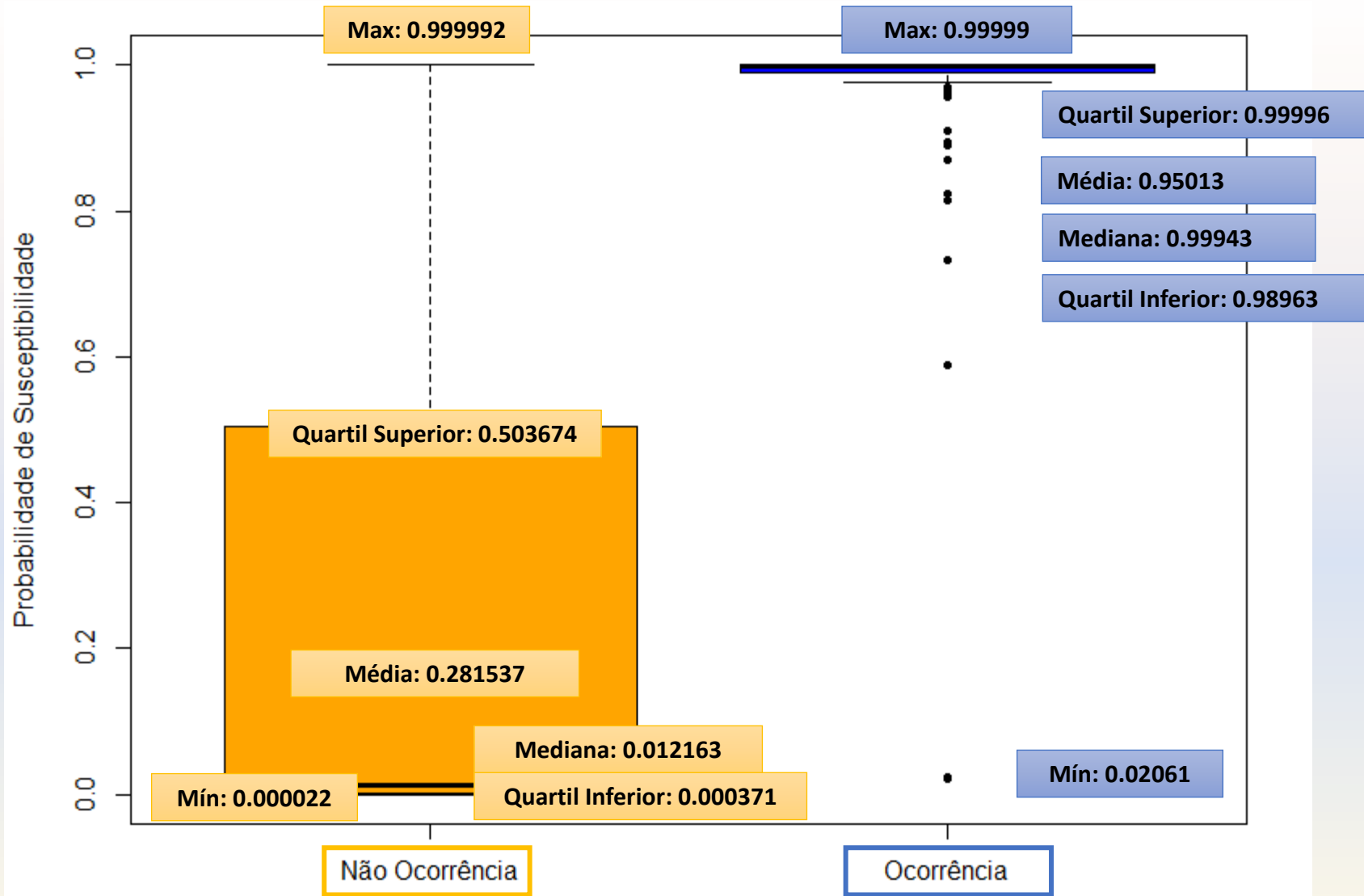


Resultados

Estimativa da susceptibilidade espacial a inundação e alagamento

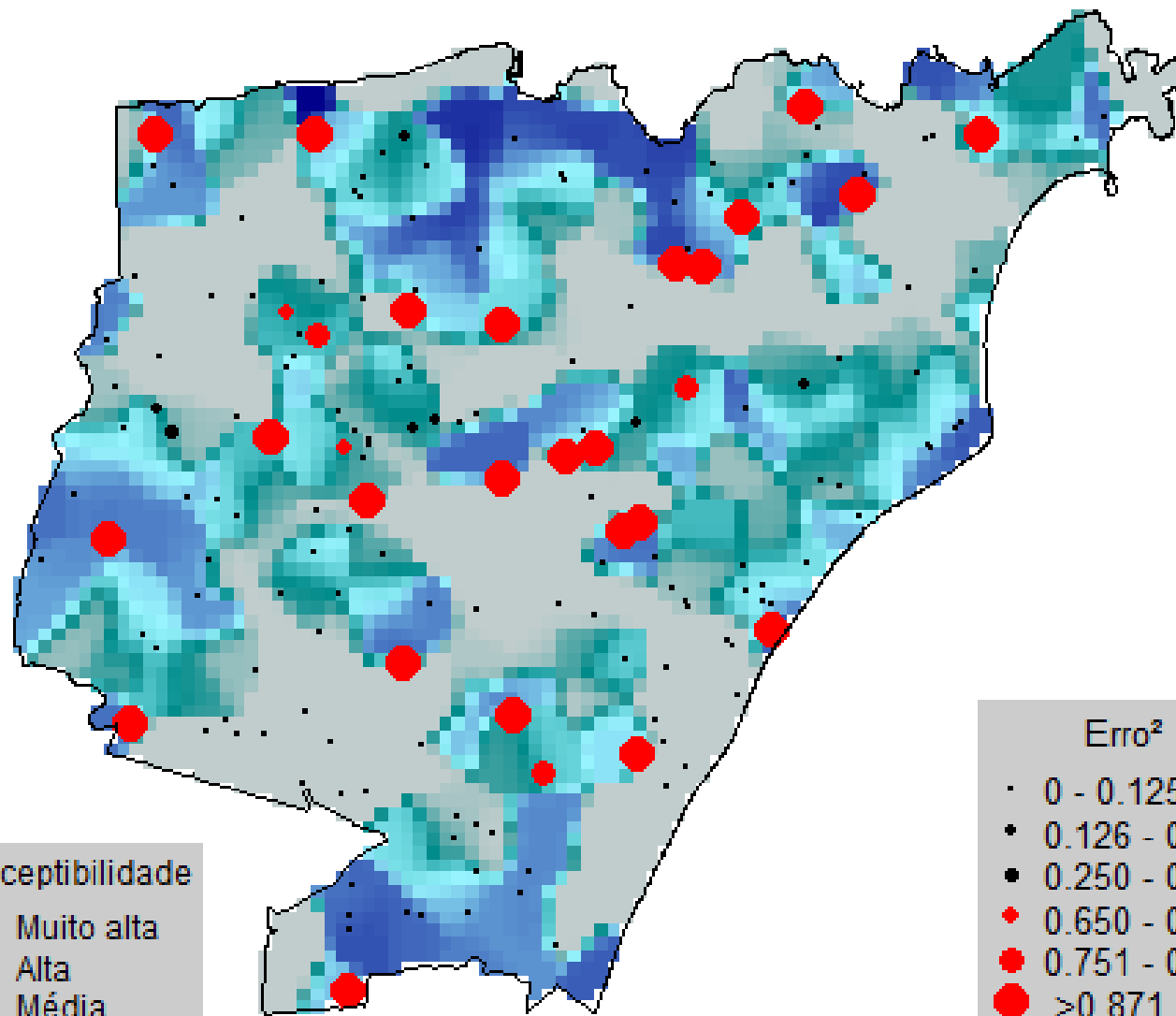


Validação do modelo

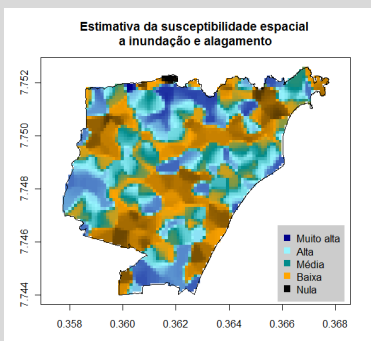


Como esses erros estão distribuídos espacialmente

Estimativa da susceptibilidade espacial a inundações e alagamentos vs Erro²



Resultados



DISCUSSÕES



Alagamentos

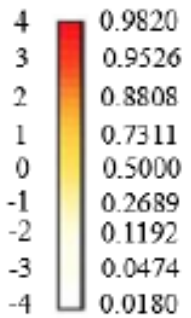
Praia da Costa



N

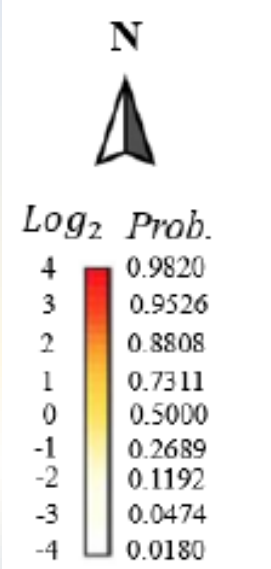
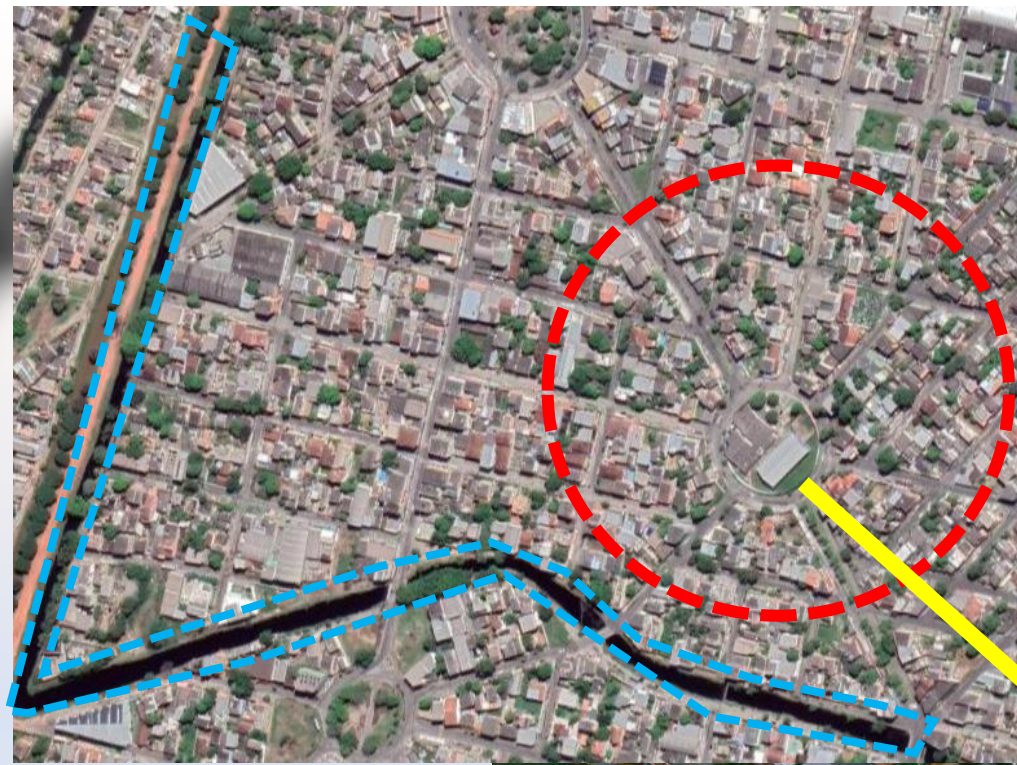


\log_2 Prob.



DISCUSSÕES

Cobilândia



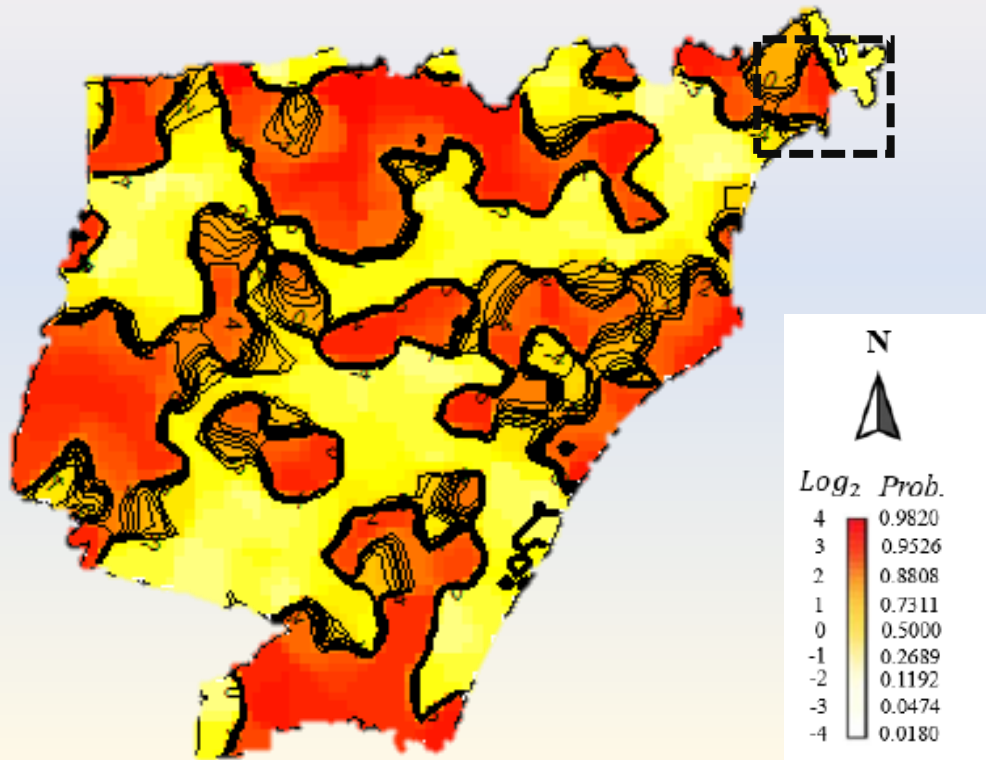
Conclusões

- A modelagem e a interpretação das tendências espaciais de inundações e alagamentos em áreas urbanas é um grande desafio. Os eventos normalmente geram **dados complexos** que são **multivariados e potencialmente não lineares**;
- A escolha **de boas variáveis explicativas** ajudou a estabelecer um padrão de suscetibilidade **justa e aceitável** para esse local em Vila Velha, porém essas variáveis podem sofrer mudanças a depender das características da área de estudo;
- O modelo fez uma boa predição para pontos de alagamento e inundação, já para os de não ocorrência houve uma considerável variação;
- A espacialização dos erros associados aos valores obtidos pelo modelo mostrou que as áreas de transição entre as classes apresentaram maiores erros associados.

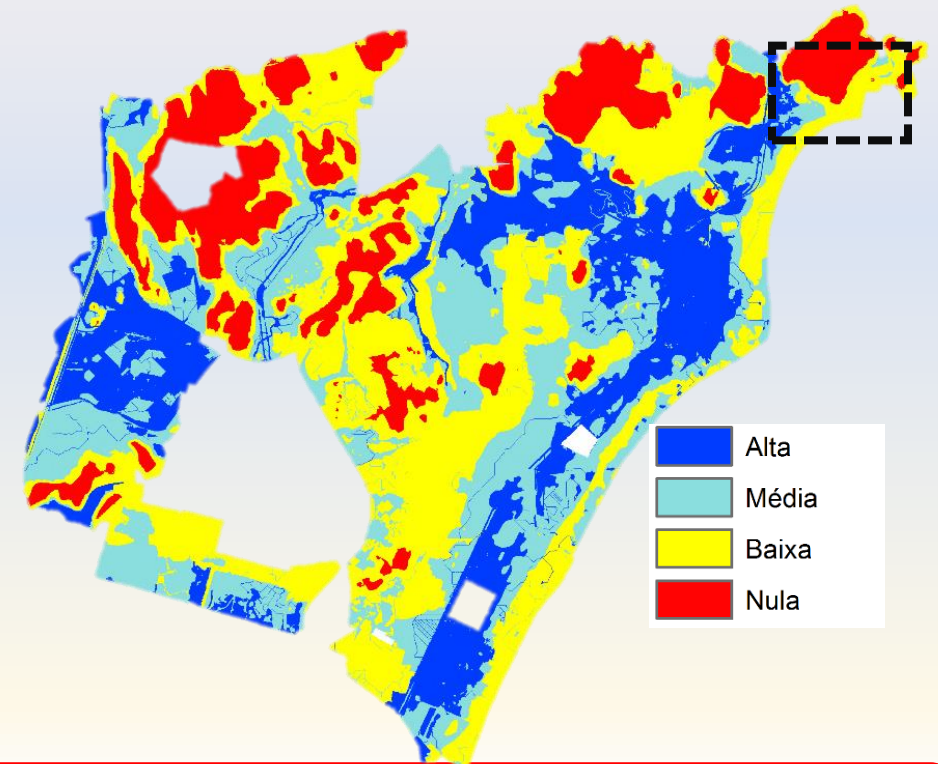
Consideração Final

Os mesmos efeitos causados por esses eventos (probabilidade) são sensibilizados e expõem de formas diferentes a depender do perfil populacional.

Suscetibilidade a inundações e alagamentos



Exposição e sensibilidade da população a inundações e alagamentos



DESAFIO: TRABALHAR EM CONJUNTO COM ESSAS DUAS INFORMAÇÕES PARA MELHORAR A TOMADA DE DECISÃO FINAL



OBRIGADO!