

# ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE SUBMUNICIPAL DE VULNERABILIDADE AOS EFEITOS DA MUDANÇA DO CLIMA EM SALVADOR – BA



Figura 1- Aniversário de Salvador - Foto Valter Pontes - AGECOM 3

**Produto 3** — Reestruturação: Relatório sobre a elaboração do índice de vulnerabilidade sub-municipal, incluindo os seus componentes, subíndices e os potenciais indicadores de vulnerabilidade

NeoUrbs

Elaborado por:  
**NeoUrbs**

Este documento foi produzido por consultores independentes no âmbito da implementação do Projeto Apoio ao Brasil na Implementação da sua Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (ProAdapta).

O ProAdapta é fruto da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) e o Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão), no contexto da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão) e implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

Contribui para o alcance dos objetivos deste projeto e para a coordenação técnica, em parceria com a GIZ, do processo de origem deste documento, a Prefeitura Municipal de Salvador (PMS), por meio de sua Secretaria de Sustentabilidade, Inovação e Resiliência (SECIS).

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ, da Prefeitura Municipal de Salvador e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

**Equipe Técnica - MMA**

Secretaria de Relações Internacionais  
Departamento de Economia Ambiental e  
Acordos Internacionais

**Equipe Técnica - GIZ**

Ana Carolina Câmara (coordenação)  
Dennis Eucker

**Equipe Técnica - SECIS/PMS**

Adriana Campelo  
Daniela Guarieiro

**Equipe Técnica – NeoUrbs**

Marcel Claudio Sant’Ana

**Ministério do Meio Ambiente**

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP 70068-901  
Telefone: + 55 61 2028-1206

**Prefeitura Municipal de Salvador**

Praça Thomé de Souza - Praça Municipal, S/N, Salvador - BA, CEP 40010-020  
Telefone: + 55 71 3202-6000

**Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn  
GIZ Agência Brasília  
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501  
Ed. Brasília Trade Center 70.711-902 Brasília/DF  
T + 55-61-2101-2170  
E giz-brasilien@giz.de  
[www.giz.de/brasil](http://www.giz.de/brasil)

A encargo de:

**Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha**

BMU Bonn:  
Robert-Schuman-Platz 3 53175 Bonn, Alemanha  
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

**Ana Carolina Câmara**  
T:+55 61 9 99 89 71 71  
T +55 61 2101 2098  
E ana-carolina.camara@giz.de

Brasília, setembro de 2019

## Sumário

1. Introdução .....	2
2. Índice de Vulnerabilidade Submunicipal.....	3
2.1. Estrutura do índice de vulnerabilidade e procedimentos metodológicos.....	5
2.2. Subíndices, indicadores e ponderações .....	6
2.2.1. Subíndice de Exposição .....	8
2.2.2. Subíndice de Sensibilidade .....	13
2.2.3. Subíndice de Capacidade Adaptativa .....	15
3. Análise de Dispersão e Concentração espacial da Vulnerabilidade .....	16
4. Referências Bibliográficas.....	18

## 1. Introdução

O presente relatório tem por objetivo apresentar os ajustes metodológicos da proposta do Índice de Vulnerabilidade Submunicipal do Município de Salvador e integra as atividades do projeto “Apoio ao Brasil na implantação da sua Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (ProAdapta)”, no âmbito da Cooperação Técnica entre o Brasil e a Alemanha. O ProAdapta tem como objetivo contribuir para o aumento da resiliência climática do Brasil por meio da implementação efetiva da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e toma como uma de suas estratégias o desenvolvimento de capacidades para que políticas públicas, métodos e instrumentos para a transversalização da adaptação à mudança do clima, bem como medidas replicáveis de adaptação.

Com este objetivo, o Índice de Vulnerabilidade Submunicipal busca retratar o estado da vulnerabilidade de cada parcela do território do município de Salvador de modo a propiciar a identificação das parcelas territoriais mais vulneráveis à mudança do clima e o planejamento de ações de adaptação e gestão de risco de desastres naturais.

Tendo este desafio em foco, em especial com a limitação de dados climáticos neste nível de detalhes territorial, o índice se estrutura de modo a perceber a dimensão da exposição, da sensibilidade e da capacidade adaptativa (IPCC, 2014). Para isto são elencados indicadores e indicadores compostos que são ponderados de modo a gerar um retrato da vulnerabilidade nas unidades de análise censitária.

No Capítulo 2 deste relatório vai ser apresentada a estratégia de estruturação do Índice de Vulnerabilidade Submunicipal, bem como seus indicadores e indicadores composto e sua forma de ponderação.

Na perspectiva do subíndice de exposição o objetivo é identificar a intensidade do estresse ambiental ou socioterritorial nas unidades territoriais que compõem o município de Salvador. Para isto o subíndice elenca indicadores que buscam aferir a exposição a extremos climáticos e às condições topográficas favoráveis a ocorrência de desastres de movimento de massa e hidrológicos.

Já o subíndice de sensibilidade tem como objetivo identificar a intensidade com a qual um sistema pode sofrer danos ou ser afetado por perturbações climáticas. A construção deste subíndice demanda a adoção de uma estratégia que consiga entender a sensibilidade dos indivíduos, de seu domicílio e da localidade onde o mesmo

reside, de modo a representar um amplo espectro da sensibilidade o índice é estruturado a partir de indicadores compostos para cada uma das dimensões do modelo teórico. Desta forma o subíndice é estruturado por indicadores compostos de: i) infraestrutura urbana; ii) renda e trabalho; e, iii) capital sociocultural e demográfico.

Por último o índice trata de aferir a dimensão da capacidade adaptativa, que pode ser entendida como a habilidade que um sistema tem de mudar para acomodar os estresses ambientais ou mudanças em outras dimensões, e manejar, da melhor forma possível, as suas consequências. Nesta perspectiva os territórios identificados como de maior capacidade adaptativa tendem a apresentar maior capacidade de enfrentamento às mudanças do clima e de seus impactos, quer seja pelas características dos indivíduos que compõem determinado sistema, das instituições que compõem as mesmas e da própria infraestrutura física que lhe dá suporte.

O Capítulo 3 tratará de apresentar as estratégias metodológicas para analisar o fenômeno da vulnerabilidade enquanto suas características de dispersão e concentração espacial nas unidades territoriais dos setores censitários (IBGE,2010). Tal análise será feita por meio de análise exploratória de dados espaciais pelos métodos de *Hotspots* e *Moran Lisa (clusters)*.

## 2. Índice de Vulnerabilidade Submunicipal

Um dos desafios à adaptação à mudança do clima reside no entendimento das vulnerabilidades peculiares a cada parcela urbana do território municipal. Em especial, este desafio pode ser representado pela complexidade das metodologias de identificação das vulnerabilidades em medir o amplo espectro da vulnerabilidade social que se expressa em termos da pessoa, de seu domicílio e da localidade do domicílio.

Além disso, tais metodologias ainda apresentam fragilidade quanto sua capacidade de pontuar aspectos relevantes à mudança do clima em escala de análise ao nível das parcelas que compõem o território municipal e estruturam as estratégias de planejamento da intervenção governamental (unidades censitárias, bairros, etc). Se por um lado a ciência avançou na construção de modelos globais e regionais de construção de cenários de mudança do clima em função da projeção de emissão de GEE, tais modelos ainda são imprecisos ao traçar um cenário da mudança do clima em pequenas parcelas do território municipal. Fato que fragiliza a

compreensão dos fenômenos climáticos quando se tem a necessidade de desagregá-los em parcelas de maior resolução espacial.

Apesar dos avanços metodológicos na produção de *downscale* de projeções climáticas modeladas em nível regional e nacional das projeções globais e regionais (CHANG & FREITAS, 2015; YOUNG, 2015; CAMARINHA et al., 2017; SZLAFSZTEIN, 2015), a limitação metodológica em implementar o *downscale* em nível de unidades municipais e submunicipais ainda se configura em desafio para as análises de vulnerabilidade em nível local. Tais desafios se configuram especialmente dada a própria metodologia e característica de análise propostos pelos modelos globais e regionais de projeção da mudança do clima. Como esclarece Givertz (2013) os modelos globais e regionais de projeção adotam grades de resolução espacial que variam de 200 a 500 km.

Mesmo metodologias e experiências bem-sucedidas em *downscale* em nível local tem alcançado resolução espacial de grade de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (GIVERTZ, 2013), o que significa uma grade de  $55,55 \times 55,55$  km, aproximadamente. Para se ter uma ideia do nível de precisão destes modelos de projeção, é possível comparar a área do município de Salvador, com seus  $692,8 \text{ km}^2$ , com a área de uma grade de *downscale*, que totaliza  $3.085,8 \text{ km}^2$  de área.

No Brasil o CPTEC/INPE tem conseguido avançar na aplicação de *downscale* de projeções climáticas para a América do Sul regionalizadas pelo modelo ETA, a partir de modelos globais HADGEM2-ES, MIROC5, CANESM2 e BESM para os RCP 4.5 e 8.5. Quanto a resolução dos dados, os modelos têm alcançado 20 km de resolução, com exceção da região sudeste, cuja precisão da série histórica possibilitou o *downscale* em resolução de 5 km.

Não obstante, esta limitação da produção de informações a um nível de detalhe do território, a estruturação de um Índice de Vulnerabilidade Submunicipal (IVSM) para entendimento dos processos de vulnerabilidade no município de Salvador poderá contribuir para a compreensão do fenômeno climático, em especial do seu impacto potencial sobre as parcelas do território de Salvador.

O IVSM, aqui proposto, deve analisar, medir e ponderar uma série de variáveis de informações sobre aspectos socioeconômicos, demográficos, culturais e ambientais que qualifiquem a população de Salvador quanto a sua vulnerabilidade à mudança do clima, em especial tendo em vista o recorde dado para a questão da adaptação à mudança do clima com foco nos desastres de movimento de massa e desastres hidrológicos.

Além do entendimento dos fatores ambientais deflagradores dos desastres em foco o IVSM deve ser capaz de produzir também uma leitura sociodemográfica que consiga minimamente representar o estado da arte de parcelas do território do Município de Salvador que reflita algumas dimensões analíticas do CENSO 2010 (agregada nas unidades de territoriais dos setores censitários): a pessoa, o domicílio e a localidade (IBGE, 2011).

Com esta abordagem o IVSM deve captar o estado da arte da vulnerabilidade de uma dada localidade, social e demográfica, a partir, por exemplo, de dados de renda, composição etária, emprego dos moradores (i). Em outro eixo, deverá agregar as características do domicílio (ii) a partir de dados de tipologia habitacional, densidade domiciliar, presença de rede de esgotamento sanitário, entre outros. Por último, o índice interage com dados e informações sobre a localidade da residência, o entorno da residência e das ruas de acesso: (iii) presença de drenagem urbana, coleta de lixo, pavimentação da rua de acesso, entre outros.

A estes aspectos, socioeconômicos e demográficos, o IVSM agrega também a análise de aspectos do ambiente natural relevantes à estruturação de uma análise de vulnerabilidade do território: exposição a eventos climáticos; e, informações sobre conformações áreas de risco.

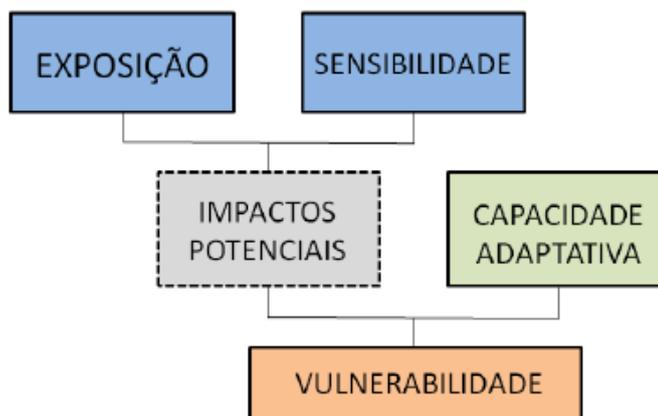
A partir da classificação e ponderação das informações será possível qualificar a vulnerabilidade de cada parcela do território municipal a partir da agregação de dados por setores censitários, bem como, possibilitará a realização de análises de padrão de distribuição espacial desta vulnerabilidade.

## **2.1. Estrutura do índice de vulnerabilidade e procedimentos metodológicos**

Partindo da orientação do IPCC (2014), a Vulnerabilidade deve ser entendida enquanto “propensão de sofrer danos” e pode ser definida pela interação entre a exposição, a sensibilidade e a capacidade adaptativa, conforme a Diagrama 1. Nesta inter-relação (i) a exposição representa “a presença de pessoas, meios de subsistência, espécies ou ecossistemas, funções ambientais, serviços e recursos, infraestrutura ou ativos econômicos, sociais ou culturais em lugares e cenários que poderiam ser afetados negativamente” (IPCC, 2014). Já por (ii) sensibilidade entende-se a intensidade com a qual um sistema pode sofrer danos ou ser afetado por perturbações, determinadas pelas susceptibilidades intrínsecas ao sistema; e por fim, entende-se por (iii) capacidade

adaptativa a habilidade que um sistema tem de mudar para acomodar os estresses ambientais ou mudanças em outras dimensões, e manejar, da melhor forma possível, as suas consequências (ver Diagrama 1 com modelo MMA,2017, adaptado a partir de IPCC,2014).

**DIAGRAMA 1. Estrutura do conceito de vulnerabilidade.**

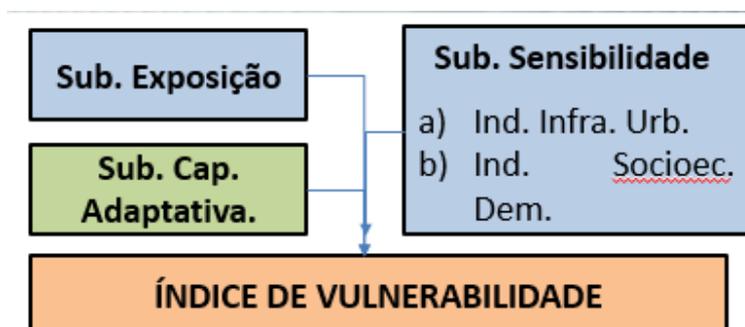


Fonte: IPCC, 2014 apud MMA et. al., 2017.

Para efeito deste estudo, a metodologia terá por foco a caracterização da Exposição, da Sensibilidade e da Capacidade Adaptativa. Tais dimensões serão abordadas ao nível de qualificação das unidades territoriais dos setores censitários urbanos e poderão futuramente serem agregadas nas unidades dos bairros ou das subprefeituras de Salvador.

Neste arranjo, propõe-se a conformação de um Índice de Vulnerabilidade conforme, conforme exposto no Diagrama 2.

**DIAGRAMA 2. Estrutura do Índice de Vulnerabilidade.**



## 2.2. Subíndices, indicadores e ponderações

Este capítulo trata de explicitar as estratégias para conformação de cada subíndice bem como dos índices compostos, seus indicadores e forma de ponderação. Como explanado na Diagrama 2, o Índice de Vulnerabilidade Submunicipal se estrutura em três subíndices: o de Exposição, o de Sensibilidade e o de Capacidade Adaptativa. Tendo em vista este arranjo da estruturação do Índice de Vulnerabilidade, a metodologia de pesquisa estabelece uma estrutura de análise conforme o Quadro 1.

**QUADRO 1. Descrição da Composição do índice Submunicipal de Vulnerabilidade**

DESCRI	
<b>1.SUBÍNDICE DE EXPOSIÇÃO</b>	
Indicador	Descrição
i. Pluviosidade acumulada	Setores com média de dias de chuva forte (> 50mm/dia)
ii. Pluviosidade Média	Média de chuva nos meses de pluviosidade crítica à ocorrência de desastres naturais
iii.Suscetibilidade	setores suscetível a ocorrência de movimento de massa/ inundações e alagamentos
iv. Setores de risco	setores de risco de inundação e movimentos de massa
iv.Área de Risco	Área de risco de inundação e movimento de massa
v.Inundações Marítimas	Setores sujeitos a inundações e influência marítma
<b>2.SUBÍNDICE DE SENSIBILIDADE</b>	
<b>2.1 INDICADOR DE SENSIBILIDADE. DA INFRESTRUTURA URBANA - ISIU</b>	
i. Domicílios sem Pavimentação	Proporção de Domicílios sem rua de acesso pavimentada. <sup>1</sup>
ii. Domicílios sem drenagem Pluvial	Proporção de Domicílio em rua sem acesso sistema de drenagem pluvial.
iii. Domicílios com lixo acumulado na rua de acesso	Domicílios Proporção de domicílios em rua com lixo acumulado no logradouro de acesso. <sup>1</sup>
iv. Domicílios com esgoto a céu aberto	Proporção dos Domicílios com esgoto sanitário a céu aberto. <sup>1</sup>
<b>2.2 INDICADOR DE SENSIBILIDADE. SOCIOECONOMICA E DEMOGRÁFICA</b>	
i.Proporção de pessoas atendidas por rede de esgoto sanitário	Proporção de pessoas atendidas por sistema de esgoto sanitário
ii.Proporção de pessoas atendidas atendidos por rede de abastecimento de água esgoto sanitário	Proporção de pessoas atendidas por sistema de esgoto sanitário
iii. Densidade habitacional	Número médio de habitantes por domicílio
iv. Faixas etárias de idade de maior sensibilidade	Proporção de idosos e crianças no setor censitário
v. Domicílios de baixa renda	Proporção de domicílios no setor censitário que integram as classes D e E, com renda de até 2 SM
vi. Domicílios Precários	Proporção de domicílios no setor censitário que se enquadram nas categorias de moradia semiadequada e inadequada do Censo 2010
vii. Idosos responsáveis pelo domicílio	Proporção de Idosos responsáveis por domicílio
<b>3.SUBÍNDICE DE CAPACIDADE ADAPTATIVA</b>	
i. Tipologia habitacional	proporção de domicílios que se enquadrma na tipologia apartamento
ii. Renda nominal média do domicílio	proporção de domicílios pertencentes às classes A e B ( classes de alta renda)
iii. Pop. Adulta	proporção da população adulta residente no setor censitário

Com base nesta estrutura, o índice de vulnerabilidade será dado pelo seguinte modelo:

$$ISMV = \left( \frac{(SE \times 3,5) + (SS \times 1,5)}{5} \right) \times \left( 0,2 + \frac{(1 - SCA)}{2} \right)$$

Onde:

*ISMV*: Índice de Vulnerabilidade Submunicipal

*SE*: Subíndice de Exposição

*SS*: Subíndice de Sensibilidade

*SCA*: Subíndice de Capacidade Adaptativa

Seguindo o mesmo modelo dos subíndices, o índice de vulnerabilidade será dividido em 5 classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta), a partir do intervalo 0,00 a 1,00, para o qual, quanto mais próximo ao índice um, maior será a vulnerabilidade. O mapa de Vulnerabilidade de Salvador será estruturado neste arranjo a partir de mapas coropléticos.

### 2.2.1. Subíndice de Exposição

Para aferição da exposição climática, esta análise estrutura um índice que busca identificar os setores censitários: expostos a eventos pluviométricos deflagradores de desastres naturais; suscetíveis a ocorrência de desastres naturais de movimento de massa (deslizamento, fluxo de detritos e queda de blocos) e hidrológico (inundações, cheias e enxurradas)<sup>1</sup>; e, propensos a variações do nível do mar (fenômeno que também tem forte impacto em Salvador dada característica turística da cidade e de ocupação urbana em áreas que sofrem influência marítima)<sup>2</sup>.

Basicamente o subíndice busca captar o fenômeno da exposição nas unidades territoriais do Município de Salvador dado seu nível dos fenômenos, indicadores, elencados. Sua estrutura é conformada por indicadores de: i) exposição à variação pluviométrica (dias consecutivos de chuva e média mensal da pluviosidade no período crítico); ii) exposição a desastres (áreas de risco e suscetibilidade a ocorrência de desastres); e iii) exposição a influência de variações marítimas (áreas de suscetíveis a ocorrência de inundações marítimas). Ver Tabela 1 com composição e peso dos indicadores do subíndice de exposição climática.

---

<sup>1</sup> Desenvolvidas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), as cartas de suscetibilidade são documentos cartográficos, de caráter geológico-geotécnico, que tem por objetivo identificar e registrar as parcelas do território municipal com possibilidade de ocorrência de desastres naturais de movimento de massa e inundações. Com este objetivo, a CPRM estrutura uma modelagem matemática, validade por visitas de campo, para classificar o grau de exposição do território à ocorrência de desastres naturais.

Tal estudo é baseado principalmente na análise de dados de geologia, pluviosidade e altimetria. Tais fatores atuam como principais atores da deflagração dos desastres naturais no país, na perspectiva das características naturais. (IPT,2007; LEE, 2004, MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018). Embora não sejam determinantes, as cartas de suscetibilidade se configuram em instrumentos que possibilitam a identificação e análise de áreas propensas a ocorrência de desastres naturais.

<sup>2</sup> Para este estudo adotou-se a estratégia metodológica de CIESIN, 2012 (apud LUDENA & YOON, 2015) que se constitui na categorização da influência marítima direta até a cota de 5m acima do nível do mar.

Quanto a composição de peso dos indicadores, tendo em vista a delimitação precisa de áreas com ocorrências de desastres naturais (movimento de massa e inundações) atribuiu-se peso diferenciado para as respectivas cartografias de risco em função do nível de detalhe e precisão do mapeamento e do risco a perda de vidas humanas. Desta forma: i) Suscetibilidade – peso 1; ii) Setorização de Risco – peso 1,5; e, iii) Áreas de Risco – peso 2, iv) Pluviosidade – peso 1 e v) Influência Marítima – peso 1.

A partir desta estrutura de notas e pesos (TABELA 1), o estudo utilizou-se de técnicas de Álgebra de Mapas para categorizar nas unidades dos setores censitários o subíndice de Exposição. A técnica de álgebra de mapas consiste na associação de unidades territoriais (neste caso foi adotado os setores censitários do IBGE, base de referência 2010) ao qual o estudo atribui determinado valor quantitativo em um mapa que representará o resultado final da relação entre os elementos elencados no estudo.

Ainda sobre o subíndice, a leitura do fenômeno pluviométrico no território de Salvador será instituída a partir de análise com ferramentas de geoestatística, em específico, a análise de krigagem por meio da interface do software ArcGis 10.0. A análise por krigagem será um recurso a ser utilizado dada existência de poucos pontos de coleta de dados pluviométricos em Salvador, fato que demanda a necessidade de uso de técnicas de interpolação para mapeamento do comportamento pluviométrico no território municipal (Ver Carvalho & Assad, 2005; Viola et al., 2010; Carvalho et al., 2012 sobre uso de krigagem para mapeamento de dados pluviométricos). O método de Krigagem pode ser entendida como um estimador estruturado a partir de técnicas de regressão, nos quais se busca reduzir a variância estimada a partir de um modelo prévio levando em consideração a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço (Landim, 2003). Para análise da Krigagem o estudo fará uso do programa ArcGIS10.0.

**Tabela 1. Descrição e peso dos Indicadores**

Indicador	Descrição	Classe	Nota	Peso
i. Pluviosidade acumulada* (CEMADEN - INMET/INFRAERO)	Área com média de dias de chuva forte por ano. (> 50mm/dia)	< 3,2	0,5	
		3,3 - 3,8	1	
		3,9 - 4,4	2	1
		4,5 - 5,2	3	
ii. Pluviosidade Média (CEMADEN - INMET/INFRAERO)	Média de chuva nos meses de pluviosidade crítica à ocorrência de desastres naturais. (mm)	5,3 >	3,5	
		< 708	0,5	
		709 - 780	1	1
		781 - 865	2	

		866 - 977	3		
		978 >	3,5		
iii. Suscetibilidade (CPRM)	Área suscetível a ocorrência de movimento de massa	alta	3,5		
		média	2,5	1	
		baixa	1		
	Área suscetível a ocorrência de inundações e alagamentos	alta	1,5		
		média	1	1	
		baixa	0,5		
iv. Setorização de risco (CPRM)	Área de risco de inundações e movimento de massa	muito alta	7		
		alta	3		
				1,5	
	Área de risco de inundação	muito alta	1,5		
		alta	1		
		média	0,5		
v. Área de Risco (CODESAL)	Área de risco de inundações e movimento de massa	muito alta	4,5		
		alta	1,5	2	
		média	0,5		
	vi. Inundações Marítimas (curvas de níveis CPRM)**	Área sujeita inundações e influência marítima	< 1 m	4	
			1,1 - 2 m	3	
			2,1 - 3 m	2	1
3,1 - 5 m			1		

Fonte: Adaptado de Chang e Freitas, 2015\*; CIESIN, 2012\*\*

A estudo do comportamento pluviométrico centrou-se na análise dos dados dos meses de maiores precipitações e historicamente críticos para a deflagração de desastres de movimento de massa e inundações (abril, a julho) e toma por base os pontos de coleta de dados já disponíveis para livre consulta. A partir da análise destes dados foi elaborada a caracterização do comportamento pluviométrico em aspectos de frequência (média de dias consecutivos de chuva acima de 50mm) e quantidade (volume mensal médio de chuva no período crítico a desastres).

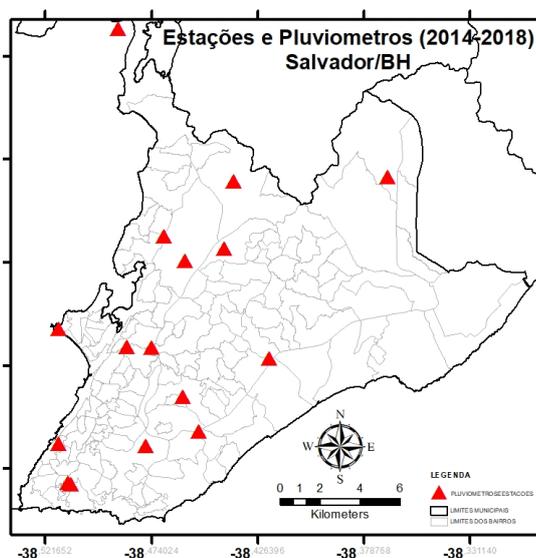
Basicamente o subíndice busca captar o fenômeno da exposição nas unidades territoriais do Município de Salvador dado seu nível de exposição à eventos pluviométricos, frequência e quantidade (CHANG e FREITAS, 2015), correlacionando tais eventos às características da conformação do risco no território soteropolitano, variáveis que serão aferidas a partir das cartografias geológicas-geotécnicas elaboradas pela Defesas Civil de Salvador e (CODESAL) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Para verificação do comportamento pluviométrico foram aferidos dados de Pluviômetros junto ao Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais

(CEMADEM) e das estações ONDINA (INMET) e Aeroporto (INFRERO), para o período 2014–2018, período no qual a cobertura de dados permitiu um retrato, para o momento atual, do comportamento pluviométrico ao longo do território da análise (Ver FIGURA 1, com a localização dos pontos de coleta de informações).

Desta forma a Interpolação da pluviosidade (pelo método Krigagem ordinária com o semivariograma esférico, como recomenda Viola et al., 2010) estrutura-se a partir de dados obtidos obtidas dos pluviômetros e das estações meteorológicas automáticas presentes na cidade de Salvador, para o mesmo período do recorte temporal. Foram sistematizados dados das Estações Ondina e Aeroporto de Salvador e dos pluviômetros: BATRE-São Cristovão; BNA-Paripe; Caminho das Árvores; Federação; EBASA-Águas Claras; EMBASA-Alto peru; EMBASA-Cabula; EMBASA- Alto do Pituaçu; EMBASA Brotas; EMBASA- Gomeia; EMBASA-Pirajá; EMBASA- Rio Sena; EMBASA-Valéria; MAS-Dois de Julho; Monte Serrat, Rua Prof. Aristides Novis (Ver FIGURA 1).

**FIGURA 1. Localização dos pontos de coleta de dados Pluviométricos**



Para caracterização do risco a movimento de massa (deslizamentos rotacionais e planares, queda de bloco e corrida de detritos, entre outros) e inundações, o subíndice de exposição afere dados de cartografias geológicas-geotécnicas com base na cobertura dos seguintes elementos: cobertura territorial, escala de detalhe, caracterização do risco. Desta forma foram selecionados os Mapas de Suscetibilidade e de Setorização de Risco da CPRM, e o mapeamento de Área de Risco da CODESAL, dadas as seguintes características:

- i) Mapa de Suscetibilidade: As **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações** indicam áreas suscetíveis a fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode gerar desastres naturais. Elaboradas em escala 1:25.000, para todo o território municipal, o mapa de susceptibilidade pode ser considerado um instrumento básico para leitura de áreas sujeitas a risco de desastres no território municipal, por identificar, em aspectos gerais, os processos do meio físico, tais como movimentos gravitacionais de massa (deslizamentos; rastejos; quedas, tombamentos, deslocamentos e rolamentos de rochas; e corridas de massa) e de processos hidrológicos (inundações e enxurradas). (Ver Cartas de Suscetibilidade a movimentos gravitacionais e inundações – 1:25.000. Nota Técnica Explicativa-CPRM. Brasília-Df, 2014).
- ii) Setorização de Risco: Conforme orientação da CPRM, a **Setorização de Áreas de Risco Geológico** corresponde a documentos cartográficos que representam as áreas sob situação de perigo, perda ou dano, ao homem e suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processos geológicos, induzidos ou não. As áreas de risco geológico se restringem às regiões atualmente ocupadas e, portanto, são constituídas por uma ou mais edificações propensas a serem atingidas e danificadas por um dado evento geológico, seja ele natural ou induzido por ações humanas. Distintamente das cartas de suscetibilidade, a setorização de risco é feita em escala de detalhe (podendo chegar até 1:2.000 ou de maior detalhe), a partir da avaliação de áreas que apresentam potencial ou histórico de ocorrência de desastres.
- iii) Mapeamento de Área de Risco: O mapeamento das **Áreas de Risco**, segundo manual do Ministério das Cidades (ver: Mapeamento de riscos em Encostas e Margens de Rios. Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT. Brasília, 2007), é voltado para a identificação dos riscos, objetivando reconhecer mais detalhadamente o cenário presente em um determinado espaço físico com ocupação urbana, de acordo com os diferentes tipos de processos previamente reconhecidos. O mapeamento destas áreas envolve as seguintes etapas: Zoneamento ou setorização das áreas; quantificação relativa ou absoluta do risco; Cadastramento de risco; Carta de risco; Hierarquização de risco e Avaliação de possíveis cenários de acidentes

### 2.2.2. Subíndice de Sensibilidade

A estruturação do subíndice de sensibilidade busca aferir a sensibilidade dos indivíduos em função de suas características sociais, demográficas e da infraestrutura residencial e urbana. Com o foco direcionado para a sensibilidade aos desastres hidrogeológicos, movimento de massa e inundações, os indicadores foram selecionados de modo a capturar esta sensibilidade específica.

Desta forma o subíndice de sensibilidade se estrutura em dois eixos de indicadores compostos: **i) Indicador de Infraestrutura Urbana;** **ii) Indicador Socioeconômico e Demográfico.**

As variáveis do Subíndice de Sensibilidade serão aferidas e padronizadas para cada um dos 3592 (três mil quinhentos e noventa e dois) setores censitários, a partir de dados e da base cartográfica do IBGE (2010). Para que este índice composto se relacione com os demais componentes do cálculo do Subíndice de Sensibilidade, os valores de seus componentes, foram padronizados conforme estratégia do Quadro 2r, com variação de 0,00 a 1,00, divididos em cinco classes.

**QUADRO 2. Descrição e peso dos Indicadores**

Concentração	Valores
< 20%	até 0,2
de 21% a 40%	de 0,21 a 0,4
de 41 a 60%	de 0,41 a 0,6
de 61% a 80%	de 0,61 a 0,8
> de 80%	de a,81 a 1,00

Desta forma, por exemplo, se determinado indicar apresenta 60% de concentração no setor censitário em análise, sua pontuação será de 0,6. Desta forma a concentração percentual definirá o valor do indicador em referência a variável em análise.

Com este arranjo de composição de indicadores, o subíndice busca superar uma parcela dos desafios à adaptação à mudança do clima que reside no entendimento da sensibilidade dos sistemas sociais de cada parcela do território municipal e a sensibilidade a um tipo de ameaça específica, dados que um mesmo sistema social reage de forma distinta a distintas ameaças.

Em especial, este desafio pode ser representado pela fragilidade das metodologias de identificação das vulnerabilidades em medir o amplo espectro da

sensibilidade social que se expressa em termos da pessoa, de seu domicílio e da localidade do domicílio, do entorno do domicílio<sup>3</sup>, bem como quanto à ameaça específica.

### **Indicador de Sensibilidade socioeconômica e demográfica**

Diante deste desafio, estrutura-se um Subíndice de Sensibilidade que analisa e pondera uma série de variáveis de informações sobre aspectos socioeconômicos, demográficos que qualificam a população e o território de Salvador quanto a sua sensibilidade climática, em especial tendo em vista o recorde dado para a questão da adaptação à mudança do clima com foco nos desastres de movimento de massa e desastres hidrológicos.

A Tabela 4 tratará de apresentar os indicadores selecionados para identificar no território municipal as maiores sensibilidades ao fenômeno alvo desta pesquisa. Assim, buscou se identificar a população mais sensível em função da faixa etária, do mantenedor do domicílio e do nível de precariedade da residência.

**Tabela 4. Descrição e peso dos Indicadores**

Indicador	Descrição	Peso
i. Atendimento por Rede de Esgoto	Proporção de pessoas residentes atendidas por sistemas de esgotamento sanitário	0,1
ii. Atendimento por Rede de Abastecimento de água	Proporção de pessoas residentes atendidas por sistemas de esgotamento sanitário	0,1
iii. Densidade Habitacional	Número médio de habitantes por domicílio	0,1
iv. Faixas etárias de maior sensibilidade	Proporção de idosos e crianças residentes no setor censitário	0,2
v. Domicílios precários	Proporção de domicílios no setor censitários que enquadram nas categorias de moradia semiadequada e inadequada do Censo 2010	0,2
vi. Domicílio de baixa renda	Proporção de domicílios no setor censitário que integram as classes D e E, com renda de até 2 SM.	0,2
vii. Idosos responsáveis pelo domicílio	Proporção de idosos responsáveis por domicílio no setor censitário	0,1

### **Indicador de Sensibilidade da Infraestrutura Urbana**

<sup>3</sup> Segundo IBGE (2010) As informações do "Entorno" foram coletadas para os setores urbanos. Apesar de a cobertura da pesquisa ter alcançado mais de 96% dos domicílios particulares permanentes, alguns setores de aglomerados subnormais não compõem este levantamento e estão fora desta cobertura. "setores onde não houve coleta, das informações do entorno, são aqueles que nos arquivos entorno01, entorno02, entorno03, entorno04 e entorno05 apresentam valor zero para todas as informações" (IBGE, 2010).

A sensibilidade da população residente pode ser medida também a partir da verificação de indicadores que qualifiquem o entorno no qual o domicílio se insere, buscando para isso traçar um panorama das características da infraestrutura urbana que tenderiam a imputar maior sensibilidade aos fenômenos pluviométricos extremos e aos riscos derivados. Nesta perspectiva, por exemplo a ausência de infraestrutura básica de drenagem tenderia a sensibilizar áreas passíveis de ocorrências de movimento de massa, dada a infiltração de água no solo. Ao mesmo tempo, áreas passíveis de ocorrência de inundações são mais sensíveis diante da ausência de sistemas de drenagem urbana. Para retratar o aspecto da sensibilidade no que toca as características da infraestrutura urbana foram selecionados sistemas de infraestrutura cuja ausência ou precariedade

A Tabela 5 apresenta os indicadores selecionados

**Tabela 5. Descrição e peso dos Indicadores**

Indicador	Descrição	Peso
i. Domicílio sem Pavimentação	Proporção de domicílio sem acesso a rua pavimentada	0,2
ii. Domicílio sem Drenagem Pluvial	Proporção de domicílio em rua sem acesso a sistemas de drenagem urbana	0,3
iii. Domicílio com lixo acumulado	Proporção de domicílios em rua com lixo acumulado na rua de acesso	0,2
iv. Domicílio com Esgoto a céu aberto	Proporção de domicílio com esgoto sanitário correndo à céu aberto na rua de acesso	0,3

### 2.2.3. Subíndice de Capacidade Adaptativa

Para a construção do subíndice de capacidade adaptativa a análise se estrutura em indicadores que buscam captar aspectos da capacidade da população residente na cidade de Salvador, desagregada em setores censitários, em se adaptar aos impactos derivados da mudança do clima, especificamente se adaptar à chuva críticas e frequências de chuva que caracterizam a deflagração de desastres de movimento de massa e desastres hidrológicos.

Trata-se de um subíndice passível de questionamento tendo em vista a fragilidade de uma base de dados mais robustas (cobertura e atualização) sobre sistema de infraestrutura urbana e prevenção de riscos que efetivamente proteja determinada população ou setor urbano. Tendo em vista esta característica frágil do subíndice para o tipo de fenômeno priorizado neste estudo e seus impactos derivados,

que interage diretamente com as características do sítio, optou-se por limitar o indicador a 20% de seu valor total quando do cálculo do índice de Vulnerabilidade, como expresso na fórmula de cálculo da vulnerabilidade.

O subíndice de capacidade adaptativa adota indicadores alimentados pelos resultados do Censo 2010 (IBGE, 2010), como foco específico para: Tipologia habitacional, renda e faixa etária da população residente. A composição do Subíndice de Capacidade Adaptativa encontra-se descrita na Tabela 6. Neste quadro também temos o detalhamento de cada indicador bem como seu respectivo peso.

**Tabela 6. Descrição e peso dos Indicadores**

Indicador	Descrição	Peso
iv. Tipologia Habitacional.	Proporção de domicílios enquadrados na tipologia apartamento.	0,45
v. Renda nominal Média do domicílio	Proporção de domicílios pertencentes à classe A e B.	0,35
vi. População Adulta	Proporção de população adulta ( > de 18 anos e < de 65) residente do setor censitário	0,20

### 3. Análise de Dispersão e Concentração espacial da Vulnerabilidade

O entendimento sobre a distribuição e concentração das ocorrências de vulnerabilidade no território soteropolitano serão realizadas a partir da aplicação de ferramentas de geoestatística, com fins a constituir uma análise exploratória de dados espaciais. Com este objetivo, tendo em vista as características dos dados analisados e objetivo final do uso, direcionado a orientação de políticas públicas, propõem o uso de do Métodos *Moran-Lisa* e *Hotspots* a partir do uso do software Arcgis10.0.

As ferramentas de análise espacial são superiores a simples identificação visual em mapas para analisar a distribuição e concentração espacial de dados disponíveis para caracterização de um fenômeno em uma área, testando hipóteses sobre o padrão observado quanto a aleatoriedade, a aglomeração e a regularidade da sua distribuição. Distintamente das técnicas tradicionais de análise estatística, as ferramentas e instrumentais de estatística espacial envolvem na análise variáveis espaciais, como: distância, área, orientação (ver SCOTT;GETIS, 2008)

A ferramenta *Hot Spot Analysis* e *MORAN (Clusters)* disponível no software ArcGis10.0 funciona num contexto de análise da relação de vizinhança, o que permite

verificar se a ocorrência de alta vulnerabilidade nos setores censitários apresenta agrupamento com significados estatístico. Para estes testes de hipóteses da relação entre vizinhança serão testadas distâncias de 250, 500 e 1000 metros (Fixed Band).

O Índice global de Moran consiste em um dos indicadores de autocorrelação espacial mais utilizados quando se quer entender a concentração de determinado fenômeno no espaço. Esse índice caracteriza-se por fornecer uma medida geral da associação espacial existente no conjunto dos dados.). Para este estudo optou-se pelo uso de indicadores locais, pois os mesmos possibilitam a produção de um valor específico para cada elemento, fato que permite a identificação de grupamento de elementos com valores de atributos semelhantes, o que configura uma área de *cluster* do fenômeno em análise.

Os indicadores locais caracterizam-se por gerar um índice de associação espacial para cada setor censitário da cidade de Salvador, tornando-se possível evidenciar àquelas que possuem maiores semelhanças quanto a Vulnerabilidade, conformando assim grupos de *clusters*.

Os valores determinados pelo índice de Moran Local serão visualizados na forma de um LISA MAP, que será estruturado a partir da seguinte tipologia de classificação:

- **HH:** alta-alta (agrupamento de valores altos e próximos);
- **LL:** baixa-baixa (agrupamento de valores baixos e próximos);
- **HL:** alta-baixa (outlier de valores altos que não se agrupam, pois se encontram em meio a valores baixos);
- **LH:** baixa-alta (outlier de valores baixos que não se agrupam, pois se encontram em meio a valores altos);

A ferramenta *MORAN LISA (Clusters)* disponível no software ArcMap 10.4, funciona em um contexto de análise da relação de vizinhança, o que permite verificar se a ocorrência de alta vulnerabilidade nos setores censitários apresenta agrupamento com significados estatístico. Para estes testes de hipóteses da relação entre vizinhança serão estabelecidas distâncias de 250, 500 e 1000 metros (Fixed Band).

A análise *hotspot* é uma ferramenta de estatística local e funciona em um contexto de inter-relação de vizinhança, para o qual apresenta concentrações de pontos a partir de valores quentes (*hotspots*) e valores frios (*coldspots*), o resultado desta análise estrutura um conjunto de pontos em que para cada ponto é apresentado um valor de z-score e de p-value.

Para efeito do cálculo, a ser realizado por meio do software ArcGis 10.0, serão testadas duas distâncias para a relação de vizinhança, 500m e 1000m. Esta definição de distância é importante pois os resultados na análise *hotspots* são atribuídos aos pontos vizinhos dentro de determinado raio que estabelece a relação de vizinhança a ser analisada.

A caracterização do *hotspot* depende da significância estatística de um ponto de valor alto estar próximo a outros pontos de valores altos. A soma local para um ponto e os seus vizinhos é comparada proporcionalmente à soma de todos os pontos dentro da relação de vizinhança estabelecida. Assim, quando a soma local é muito diferente da soma local esperada, e essa diferença é demasiado grande, resulta num valor z estatisticamente significativo ( ver DIAS, 2013).

#### 4. Referências Bibliográficas

BODSTEIN, A et. al. **A vulnerabilidade do idoso em situação de desastres: necessidade de uma política de resiliência**. Ambiente & Sociedade, Vol.17, nº.2, Apr/Jun. São Paulo, 2014.

Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (eds) "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br>.

Acesso em 17/02/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). **Censo Demográfico**. Disponível em :<http://cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?codmun=330340>. Acesso em: 18 fev. 2019

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2001: Synthesis Report**. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Watson, R.T., Core Writing Team (Ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

\_\_\_\_\_. **Climate Change 2007: The physical science basis; v.II: Impacts, adaptation and vulnerability; v.III: Mitigation of climate change**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007. v.1:

\_\_\_\_\_. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2014..

LICCO, E. A. **Vulnerabilidade Social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis**. INTERFACEEHS, Revista de Saúde, meio ambiente e Sustentabilidade. Vol. 8, nº 1. Petrópolis, 2013.

GIVISIEZ et al. **Risco e Vulnerabilidade a Desastres Naturais no Brasil: Proposta de um arcabouço para indicadores multifiscares**. Anais do XVII simpósio Brasileiro de Geografia Física / I Congresso Nacional de Geografia Física: Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento. Campinas, 2017.

MARENGO, J. A et.al. **Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system**. Int. J. Climatol, 2009. Disponível em [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com). Acesso em: 15 de Nov. 2018.

MARENGO, J.A. et. al. **Avaliação da capacidade adaptativa (ACI) no município de Santos/SP a partir das mudanças climáticas**. In Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, Edition: 1, Editors: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, pp.1478-1491. Campinas, 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018. **Manual Técnico para redução de Riscos de Desastres Plicado ao Planejamento Urbano.**

RIFFEL, E.S et al. **Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de Literatura.** Geogr. (Online). Goiânia, v. 36, n. 2, p. 285-101, mai./jul. 2016.

UNISDR, 2014. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining.** Disponível em: <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2014/en/home/index.html>. Acesso em: 15 fev. 2019

MMA; MI; WWF-BRASIL. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima.** Brasília, DF: MMA, 2017.

NOBRE, C.A. **Estudo 1- Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação à Mudança do Clima Estudo Consolidado.** CPTEC/INPE. Disponível em <  
[https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/mc20\\_1254.pdf/da525b60-5e3b-4c12-8939-3d1e11d0ff90?version=1.0](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/mc20_1254.pdf/da525b60-5e3b-4c12-8939-3d1e11d0ff90?version=1.0)>. Visitado em 10/2/2019.

PBMC. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas.** Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

RIBAS, U.; LANGA, R. **Implementation of school catchments network for water resources management of the Upper Negro River region, southern Brazil.** From Headwaters to the Ocean: Hydrological Change and Watershed Management. London: Taylor & Francis Group, p. 151-157, 2009.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. **Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

Center for International Earth Science Information Network (CIESIN). **National Aggregates of Geospatial Data: Population, Landscape and Climate Estimates** Version 3 (PLACE III), Palisades, NY: CIESIN, Columbia University, 2012. Disponível em: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/nagdc-population-landscapeclimate-estimates-v3>. Visitado em 18/2/2019.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. **Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

---

O entendimento sobre a distribuição e concentração das ocorrências de alta e muito alta vulnerabilidade no território foram realizadas a partir da aplicação de ferramentas de geoestatística, análise de conformação de *Clusters* e *Hotspots*. As ferramentas de análise espacial são superiores a simples identificação visual em mapas para analisar a distribuição e concentração espacial de dados disponíveis para caracterização de um fenômeno em uma área, testando hipóteses sobre o padrão observado quanto a aleatoriedade, a aglomeração e a regularidade da sua distribuição. Distintamente das técnicas tradicionais de análise estatística, as ferramentas e instrumentais de estatística espacial envolvem na análise variáveis espaciais, como: distância, área, orientação (ver SCOTT;GETIS, 2008)

A ferramenta *Hot Spot Analysis* e *MORAN (Clusters)* disponível no software ArcMap 10.4 funciona num contexto de análise da relação de vizinhança, o que permite verificar se a ocorrência de alta vulnerabilidade nos setores censitários apresenta agrupamento com significados estatístico. Para estes testes de hipóteses da relação entre vizinhança serão testadas distâncias de 250, 500 e 1000 metros (Fixed Band).