

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 5 – Relatório final incluindo as intervenções feitas e atividades realizadas

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

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, novembro de 2019

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. CONDICIONANTES E LIMITAÇÕES.....	3
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	5
3.1 Conceitos iniciais.....	5
3.2 Subíndice de exposição	6
3.3 <i>Subíndice de Sensibilidade</i>	12
3.4 Subíndice de Capacidade Adaptativa	14
3.5 ISMV.....	15
4. RESULTADOS	16
5. CONSIDERAÇÕES E ANÁLISES DE CONCENTRAÇÃO E DISPERSÃO.	22
5.1. Considerações Gerais	22
5.2. Análise Clusters e Hotspot	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

1.1. A presente relatório tem por objetivo apresentar os resultados do Índice de Vulnerabilidade Submunicipal do Município de Salvador aos efeitos da mudança do clima 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 (*mainstreaming*) da adaptação à mudança do clima, bem como medidas replicáveis de adaptação.

1.2. O Índice Submunicipal de Vulnerabilidade aos Efeitos da Mudança do Clima em Salvador (ISMV) 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 qualificar o planejamento de ações de adaptação e gestão de risco de desastres naturais. Para isto, o índice se estrutura de modo a retratar a dimensão da exposição, da sensibilidade e da capacidade adaptativa a partir de indicadores e indicadores compostos que são ponderados de modo a gerar um retrato da vulnerabilidade nas unidades territoriais dos setores censitários, de análise censitária.

1.3. Este relatório tratará de resgatar pontos relevantes da reestruturação da metodologia do ISMV, para isto presente em seu Capítulo 2 aspectos gerais condicionantes ou limitadores da plena adaptação do Modelo MMA (2017) e da orientação IPCC (2014) em função da restrição de dados específicos bem como da própria limitação de métodos de *downscaling* ao nível de unidade de bairros ou setores censitários.

1.4. O Capítulo 3 apresenta a síntese dos procedimentos metodológicos adotados para análise da vulnerabilidade climática do território a partir da adaptação do método MMA (2017), desagregado nos subíndices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa.

1.5. O Capítulo 4 tratará de apresentar o resultado das análises desagregadas nos subíndices e o resultado final do ISVM.

1.6. O Capítulo 5 trata de apresentar uma reestruturação implementada no ISMV para aprimorar a percepção dos territórios mais vulneráveis aos desastres hidrogeológico. Com este refinamento da análise de vulnerabilidade, o relatório tratará de apresentar as análises de distribuições e concentrações espaciais de unidades territoriais de alta vulnerabilidade, por meio das análises de estática espacial i) *Hotspots Analysis* e ii) *Clusters*.

2. CONDICIONANTES E LIMITAÇÕES

2.1. De modo prévio à apresentação do relatório, tendo em vista a sua compreensão, se faz necessário explicitar os elementos condicionadores e limitadores deste estudo, em especial o que se refere aos elementos: disponibilidade de dados e informações; limites do método; e, objeto da análise.

2.2. O estudo estruturou-se no desenho dos cenários de vulnerabilidade climática dentro do Município de Salvador com base em dados existentes e disponíveis quando de sua elaboração, tanto do ponto de vista das características socioeconômicas quanto das características biofísicas do território soteropolitano. Isto significa dizer que o estudo não pretendeu desenvolver novos dados ou informações que pudessem agregar valor às análises. Desta forma, pode ser caracterizado como um estudo de tratamento e interpretação de dados e informações pré-existentes e disponibilizados.

2.3. Tal aspecto merece especial atenção ao abordar os dados pluviométricos de Salvador. Para estes, a limitação de base de dados, com série história significativa ao modelo de análise e cobertura do território municipal, impôs limitação à análise de exposição climática do território e demandou a adaptação do modelo, incluindo nesta adaptação o tratamento e interpretação de dados climáticos de pluviômetros distribuídos no território municipal, mesmo diante do curto intervalo de registro de dados e não cobertura da *baseline* (30 anos, 1960-1990) recomendada pela metodologia IPCC (2014) e demandada pelo modelo de referência dos estudos GIZ/MMA. A superação de tal carência passa pelo desenvolvimento de estudos específicos para levantamento de pontos de registros de dados, distribuídos no território e que consigam

cobrir o período de *baseline* proposto pelo método (uma estratégia, à título de exemplo, pode ser a construção a partir de dados de reanálise de imagens de satélite ou reconstrução estatística).

2.4. Outro aspecto condicionante diz respeito ao próprio limite dos métodos de *downscaling* que alimentariam as análises de exposição. Hoje é comum encontrar estudos sobre o *downscaling* de modelos globais de construção de cenários de mudança do clima em níveis regionais. Não obstante, o avanço destas metodologias, desagregadas ao nível de unidades territoriais submunicipais, como o demandado por este estudo, ainda é questão controversa dada a imprecisão de se afirmar mudanças específicas do clima em parcelas de um território municipal no qual a conformação geomorfológica não chega a condicionar variações climáticas no território, em específico no que se refere à pluviosidade, variável central para as análises de vulnerabilidade hidrogeológica.

2.5. Esta incerteza quanto ao método de *downscaling* em nível submunicipal foi contrastada pela maior precisão e disponibilidade de dados e informações de cartografias geológicas-geotécnicas sobre riscos de desastres no território municipal, para o qual as informações da prefeitura municipal de Salvador e de outras instituições traçam um desenho muito preciso do risco e da suscetibilidade à desastres naturais no território.

2.6. Tal quantidade de dados e informações das cartografias geológicas-geotécnicas acabou por fortalecer a perspectiva de atendimento ao objeto central desta análise, que se volta para a identificação de áreas de maior vulnerabilidade a ocorrência de desastres hidrogeológicos nas unidades dos territoriais submunicipais de Salvador. Tendo em vista o histórico de desastres, o acumulado de perdas materiais e de vidas humanas em decorrências dos desastres hidrogeológicos, esta análise de vulnerabilidade climática se concentra no entendimento deste fenômeno natural (desastres), tendo por objetivo principal entender sua distribuição no território em função das variáveis climáticas, socioeconômicas e morfologia urbana.

2.7. Um último aspecto que cabe consideração diz respeito a avaliação da capacidade adaptativa. Ao fim das análises, restam muitas dúvidas quanto à efetiva

capacidade adaptativa da população em relação às ameaças em foco nesta análise. Hoje, no Brasil, os desastres de movimento de massa e as inundações são caracterizados como principais responsáveis pela perda de vidas humanas e perdas materiais, a adaptação ou prevenção dos impactos derivados demanda, em grande medida, a implementação de contramedidas estruturais de infraestrutura urbana ou soluções de engenharia de construção civil nas edificações.

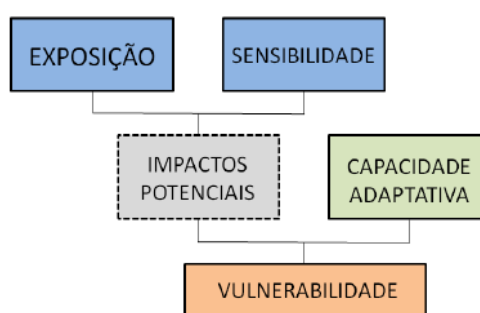
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Conceitos iniciais

3.1.1. Avançar na descrição dos processos metodológicos e nos resultados da análise requer recuperar a orientação metodológica adotada para este estudo. A análise parte da orientação do IPCC (2014), na qual 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.

3.1.2. Neste 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.

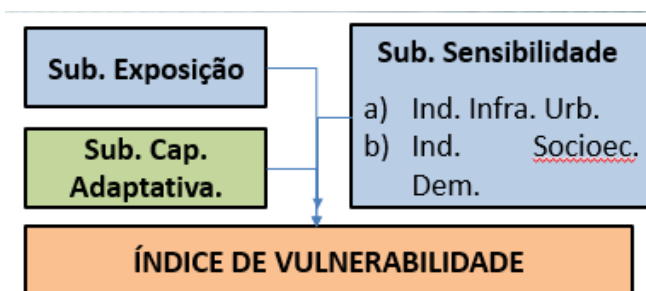
DIAGRAMA 1. Estrutura do conceito de vulnerabilidade do IPCC.



Fonte: IPCC, 2013 *apud* MMA *et. al.*, 2017.

3.1.3. Com esta orientação e tendo em vista a particularidade das características da análise desenvolvida, propõem-se a conformação do ISMV com estrutura conforme detalhado no Diagrama 2.

DIAGRAMA 2. Estrutura do ISMV.



3.2 Subíndice de exposição

3.2.1. Para aferição da exposição a análise estrutura o índice de exposição na busca da identificação de setores censitários mais expostos a eventos pluviométricos críticos e caracterização de riscos no território (especificamente os riscos de movimento de massa, deslizamentos, e hidrológicos, inundações). Estes dois fatores atuam como principais fenômenos para deflagração dos desastres naturais no país, na perspectiva das características naturais do território (IPT, 2007; LEE, 2004; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018).

3.2.2. 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 Defesa Civil de Salvador (CODESAL) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

3.2.3. 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 de todo território.

3.2.4. 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. 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 o 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).

3.2.5. O estudo centrou-se na análise dos dados dos meses de maiores precipitações e historicamente críticas para os desastres de movimento de massa e inundações (abril, a julho) e toma por base os pontos de coleta de dados disponíveis para consulta. A partir da análise destes dados foi realizada a caracterização do comportamento pluviométrico (frequência e quantidade) no território municipal.

3.2.6. 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 (atualização: abril de 2019), 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 Áreas 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.

3.2.7. A estrutura de indicadores do Subíndice de Exposição encontra-se descrita a partir destes indicadores, cuja estrutura encontra-se detalhada no QUADRO 1.

Quadro 1. Descrição e peso dos Indicadores - Exposição

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	1
		3,3 - 3,8	1	
		3,9 - 4,4	2	
		4,5 - 5,2	3	
		5,3 >	3,5	
ii. Pluviosidade Média (CEMADEN - INMET/INFRAERO)	Média de chuva nos meses de pluviosidade crítica à ocorrência de desastres naturais. (mm)	< 708	0,5	1
		709 - 780	1	
		781 - 865	2	
		866 - 977	3	
		978 >	3,5	
iii. Suscetibilidade (CPRM)	Área suscetível a ocorrência de movimento de massa	alta	3,5	1
		média	2,5	
		baixa	1	
	Área suscetível a ocorrência de inundações e alagamentos	alta	1,5	
		média	1	
iv. Setorização de risco (CPRM)	Área de risco de inundações e movimento de massa	baixa	0,5	2
		alta	3	
		muito alta	7	
		alta	1,5	
		muito alta	1	
iv. Área de Risco (CODESAL)	Área de risco de inundação	média	0,5	3
		alta	1	
		muito alta	4	
	Área de risco de inundações e movimento de massa	alta	2	
		média	1	

v. Inundações Marítimas (curvas de níveis CPRM)**	Área sujeita inundações e influência marítima	< 1 m	4	1
		1,1 - 2 m	3	
		2,1 - 3 m	2	
		3,1 - 5 m	1	

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

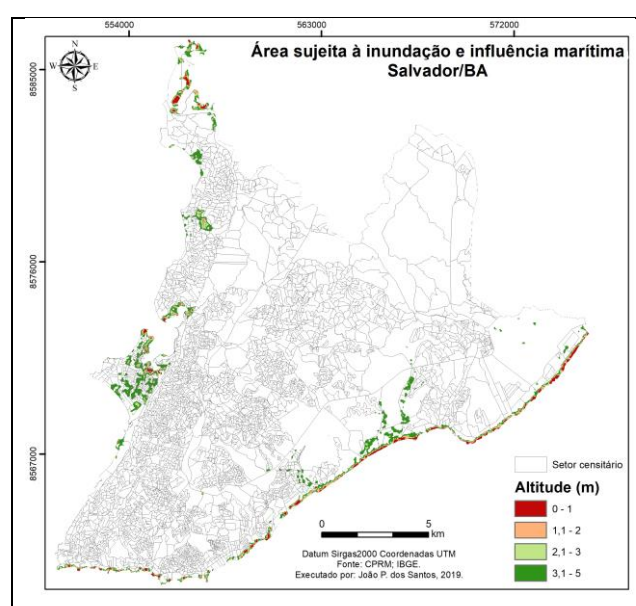
3.2.8. Procedimentos metodológicos e caracterização do território

3.2.8.1. Para obter o Índice de Exposição foram utilizadas ferramentas e procedimentos inseridos no Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para obtenção do mapa de exposição foi utilizada a álgebra de mapas, que é uma técnica de superposição de mapas, sendo que o produto obtido é oriundo de um cálculo realizado entre diferentes camadas atribuindo os pesos e notas de cada atributo.

3.2.8.2. Para tanto, foi utilizado o programa ArcGis 10.4.1 para executar as seguintes etapas:

- i) Influência Marítima: Geração do modelo digital de elevação (MDE) com imagens SRTM, que possui 30 m de resolução espacial, para classificar as áreas sujeitas à inundação e influência marítima (adaptação de metodologia CIESIN (2012). Assim, foram consideradas as altitudes menores que 5 m (FIGURA 1)), níveis com maior tendência de sofrer influências marítimas (ressacas, aumento nível do mar, entre outros);

Figura 1. Influência Marítima

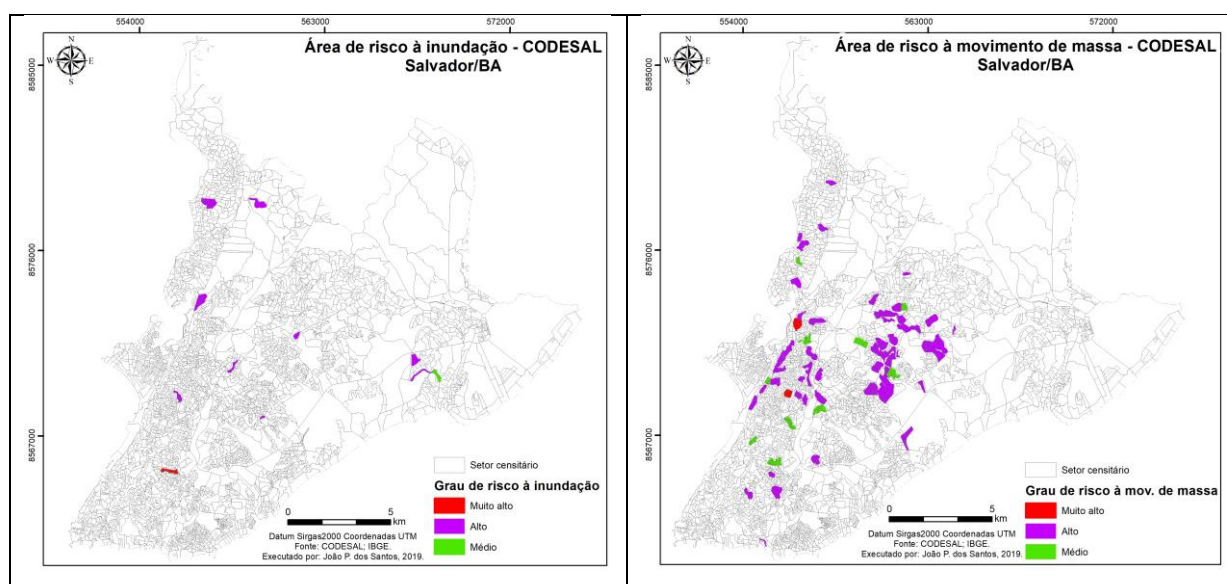


Fonte: Metodologia CIESIN (2012), adaptado.

- ii) Área de Risco: para análise e categorização das áreas de riscos foram analisadas e classificadas peças de cartografia geológico-geotécnica produzidas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Defesa Civil de Salvador (CODESAL). Assim, três procedimentos foram adotados:

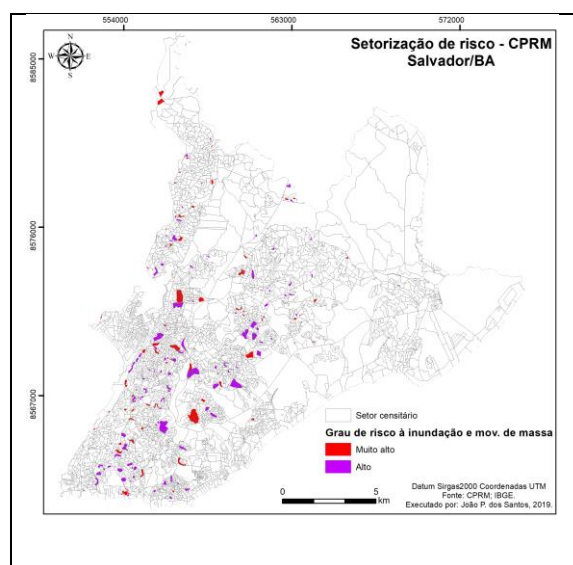
- Reclassificação das áreas de riscos a alagamento e deslizamento obtidas junto à CODESAL quanto ao grau (FIGURA 2)

Figura 2. Mapeamento de Área de Risco – Adaptado da CODESAL



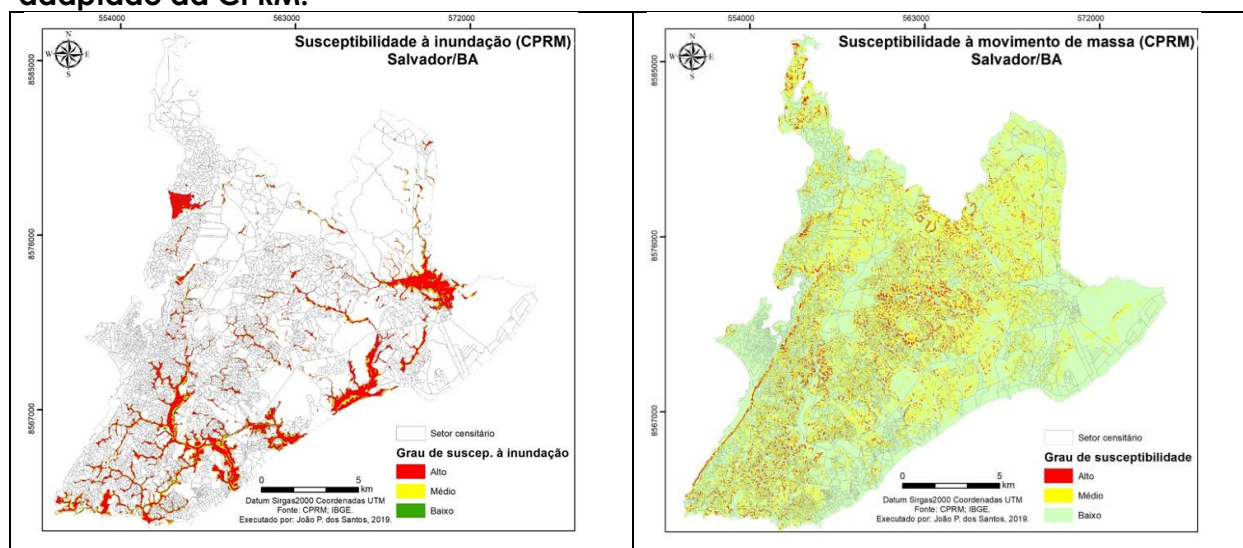
- Reclassificação da setorização de riscos a alagamento e deslizamento da CPRM (FIGURA 3);

Figura 3. Setorização de Risco – Adaptado da CPRM



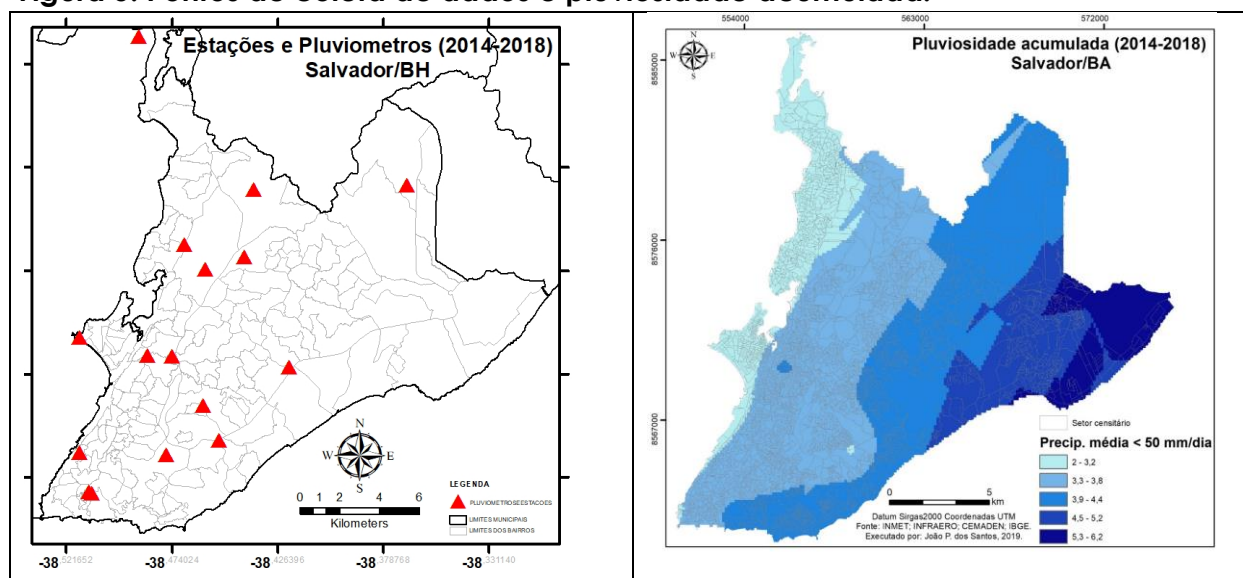
- Reclassificação das áreas susceptíveis à inundação e movimento de massa da CPRM (Figura 4);

Figura 4. Mapa de Susceptibilidade a movimento de massa e inundação – adaptado da CPRM.



- iii) Caracterização pluviométrica: Interpolação da pluviosidade média anual e a pluviosidade acumulada (ver FIGURA 1) obtidas dos pluviômetros (CEMADEN) e das estações meteorológicas automáticas (INMET e INFRAERO) presentes na cidade de Salvador, para o mesmo período do recorte temporal. Para a interpolação foi utilizado o método Krigagem ordinária com o semivariograma esférico, como recomenda Viola et al. (2010) para estudos como esse. 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; EBASA-Alto peru; EBASA-Cabula; EBASA- Alto do Pituaçu; EBASA Brotas; EBASA- Gomeia; EBASA-Pirajá; EBASA- Rio Sena; EBASA- Valéria; MAS-Dois de Julho; Monte Serrat, Rua Prof. Aristides Novis (ver FIGURA 5).

Figura 5. Pontos de coleta de dados e pluviosidade acumulada.



- iv) Os indicadores foram reclassificados em categorias de impacto para execução da álgebra de mapas com conforme as notas e os pesos (Quadro 2). Para este quadro adotou-se a prática de maior peso para os indicadores de mapeamento de risco, e nestes, consequentemente, para as cartografias de maior precisão quanto a risco efetivo;
- v) A partir do mapa de exposição gerado na álgebra de mapas, os valores foram igualmente divididos entre muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto quanto ao grau de exposição e essa informação foi incluída na camada "setor censitário". Assim, cada setor censitário foi classificado conforme o grau de exposição mais alto que o intersecciona, gerando assim o Subíndice de Exposição.

3.3 Subíndice de Sensibilidade

3.3.1. Estrutura do índice

3.3.1.1. 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.

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

3.3.1.3. Os índices compostos do Subíndice de Sensibilidade foram aferidos e padronizados 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 pela tabela a seguir, com variação de 0,00 a 1,00:

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 0,81 a 1

3.3.1.4. Desta forma, por exemplo, se um indicador apresenta 60% de concentração no setor censitário em análise, sua pontuação será de 0,6 do valor total, caso a concentração fosse de 100% do setor.

3.3.1.5. 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.

3.3.1.6. 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, bem como quanto à ameaça específica. Diante deste desafio, estrutura-se um Subíndice de Sensibilidade que analisa e pondera uma série de variáveis de informações sobre aspectos socioeconômicos, demográficos e do ambiente urbano 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 (ver QUADRO 2).

Quadro 2. Descrição e peso dos Indicadores - Sensibilidade

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 água	Proporção de pessoas residentes atendidas por sistemas de abastecimento de água	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	0,1 0,1
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

3.4 Subíndice de Capacidade Adaptativa

3.4.1. 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 às chuvas críticas e frequências de chuva que caracterizam a deflagração de desastres de movimento de massa e desastres hidrológicos.

3.4.2. O subíndice de capacidade adaptativa adota indicadores alimentados pelos resultados do Censo 2010 (IBGE, 2010), a saber: Tipologia habitacional, renda e faixa etária da população residente (LICCO,2013; BODSTEIN,2014). A composição do Subíndice de Capacidade Adaptativa encontra-se descrita no Quadro 3. Neste quadro também temos o detalhamento de cada indicador bem como seu respectivo peso.

3.4.3. Tendo em vista a fragilidade de dados e informações disponíveis para construção deste indicador, há de se destacar sua fragilidade quanto ao atendimento de seus objetivos, em especial tendo em vista que ÍSMV tem por foco identificar a

vulnerabilidade climática no que tange aos desastres hidrogeológico (inundações e movimentos de massa).

Quadro 3. Descrição e peso dos Indicadores - Capacidade Adaptativa

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

3.5 ISMV.

3.5.1. A etapa seguinte à aferição dos subíndices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa será a ponderação dos mesmos a partir da incorporação da equação desenvolvida no estudo MMA, 2017, na qual a capacidade adaptativa foi limitada em 50% (dada existência de dúvidas sobre efetiva capacidade de se adaptar as ameaças e impactos derivados que são alvo desta análise):

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

3.5.2. Seguindo o mesmo modelo dos subíndices, o índice de vulnerabilidade climática 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.

3.5.3. 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).

3.5.4. 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).

4. RESULTADOS

4.1. Neste capítulo, serão apresentados os resultados da ponderação dos indicadores e indicadores compostos que integram os Subíndices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, e conformam o Índice de Vulnerabilidade Climática no território do Município de Salvador. A partir da conformação do Índice serão realizados dois testes geoestatístico (*Hotspot* e *Clusters*) para compreender o comportamento da distribuição territorial da vulnerabilidade climática, e possibilitar o planejamento de ações de adaptação aos desastres hidrogeológicos.

4.2. Os Subíndices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, bem como o Índice de Vulnerabilidade Climática, serão estruturados a partir de 5 classes, variando de 0,00 a 1,00 (ver QUADRO 4). Para efeito da análise interessa entender a distribuição ou ocorrência de índices de alta e muita alta exposição no território de Salvador, com exceção do Subíndice de Capacidade Adaptativa para qual o indicador funciona de forma oposta aos demais, o destaque deve ser dado para as parcelas territoriais de menor valor (muita baixa ou baixa capacidade adaptativa).

Quadro 4. Classe e valores dos indicadores – Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa

Classe	Valores
Muito Baixa	< 0,2
Baixa	0,21 – 0,4
Média	0,41 – 0,6
Alta	0,61 – 0,8
Muito Alta	0,81 >

4.3. A Figura 6 apresenta a conformação do Subíndice de Exposição, resultado da ponderação de indicadores que compõem o índice. Com o foco voltado para a identificação de ocorrências de alta e muito alta exposição no território, verifica-se a dispersão acentuada de tais tipos de ocorrência na região central e eixo nordeste-sudoeste (concentrado principalmente nos eixos das prefeituras-bairros de Cabula,

Tancredo Neves e Pau da Lima e Liberdade-São Caetano) e ao longo do litoral norte da Baía de todos os Santos (prefeitura-bairro de Subúrbio). Paralelamente, não se verifica significativa ocorrência de alta e muito alta exposição ao longo da orla atlântica e parcela norte do território que faz divisa com o município Lauro de Freitas, conformando assim como áreas de menor exposição as unidades territoriais das prefeituras-bairros de Barra-Pituba e Itapuã-Ipitanga.

4.4. Embora seja verificada dispersão de ocorrências para os valores de alta e muito alta exposição, tal conformação da distribuição territorial seguem certa proximidade em termos de distribuição territorial quando comparadas às áreas de risco mapeadas pela CODESAL (ver FIGURA 2), se posicionando principalmente a oeste da Falha do Iguatemi (ver FIGURA 7).

4.5. Tal tipo de concentração de ocorrências podem encontrar respaldo também nos estudos realizados por Santos (2014), que destaca as seguintes características e fragilidades geomorfológicas em Salvador: (i) no Alto de Salvador a presença de uma grande diversidade de litotipos metamórficos de alto e médio grau. (ii) a Parte oeste do Alto Salvador, caracterizada por terrenos que possuem um relevo mais acidentado, onde a altitude média é superior a 60 metros, ocorrem granulitos; (iii) Na parte leste, onde o relevo é mais baixo, com altitudes inferiores a 30 metros, são encontradas rochas da fácies anfibolito; (iv) A Formação Barreiras “compõe-se de sedimentos areno-argilosos que se acumulam na forma de tabuleiros sobre o embasamento cristalino, geralmente em cotas superiores a 70 metros” (Prefeitura Municipal de Salvador, 2009, p. 34, apud SANTOS, 2014).

4.6. Em relação ao subíndice de Sensibilidade verifica-se uma concentração de valores de média, alta e muito alta sensibilidade na porção norte do território, ao longo da área que faz divisa com os municípios de Lauro de Freitas e Simões Filho (ver FIGURA 8). Em oposição, os territórios de menor sensibilidade se concentram nas prefeituras-bairros de Barra-Pituba e Itapuã-Ipitanga.

Figura 6. Subíndice de Exposição.

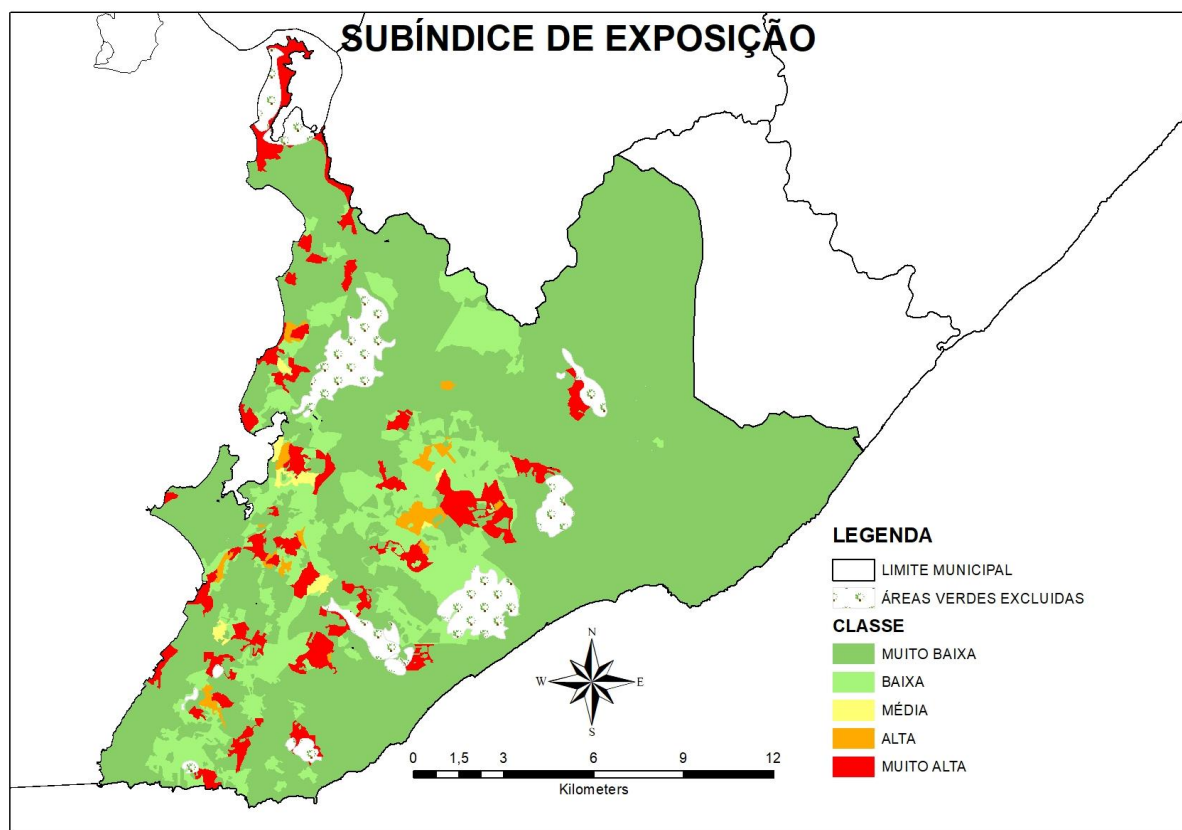
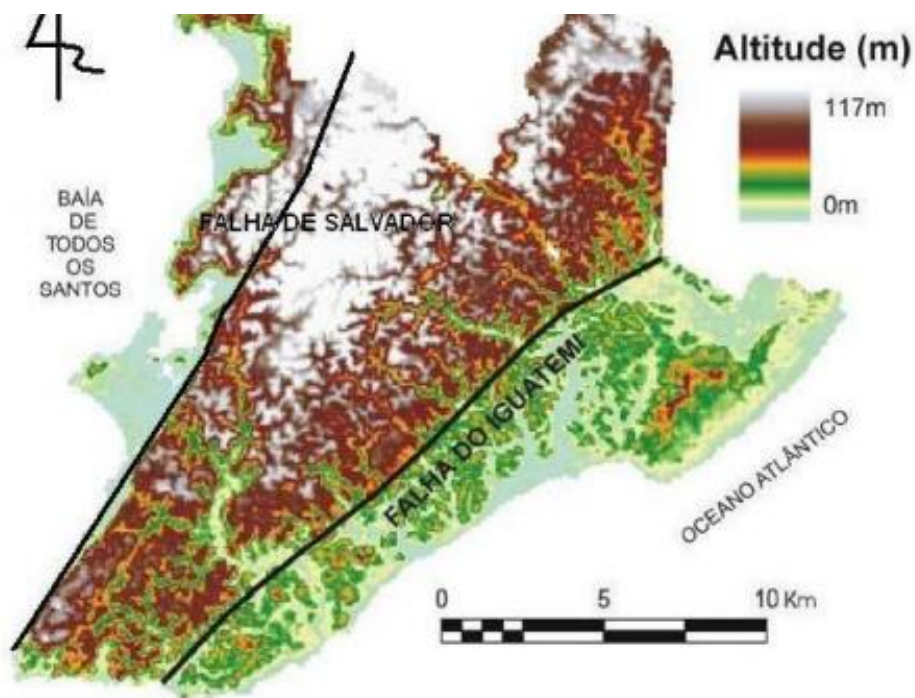


Figura 7. Altimetria do Município de Salvador.



Fonte: Cruz (2005 apud SANTOS, 2014, p. 38)

Figura 8. Subíndice de Sensibilidade.

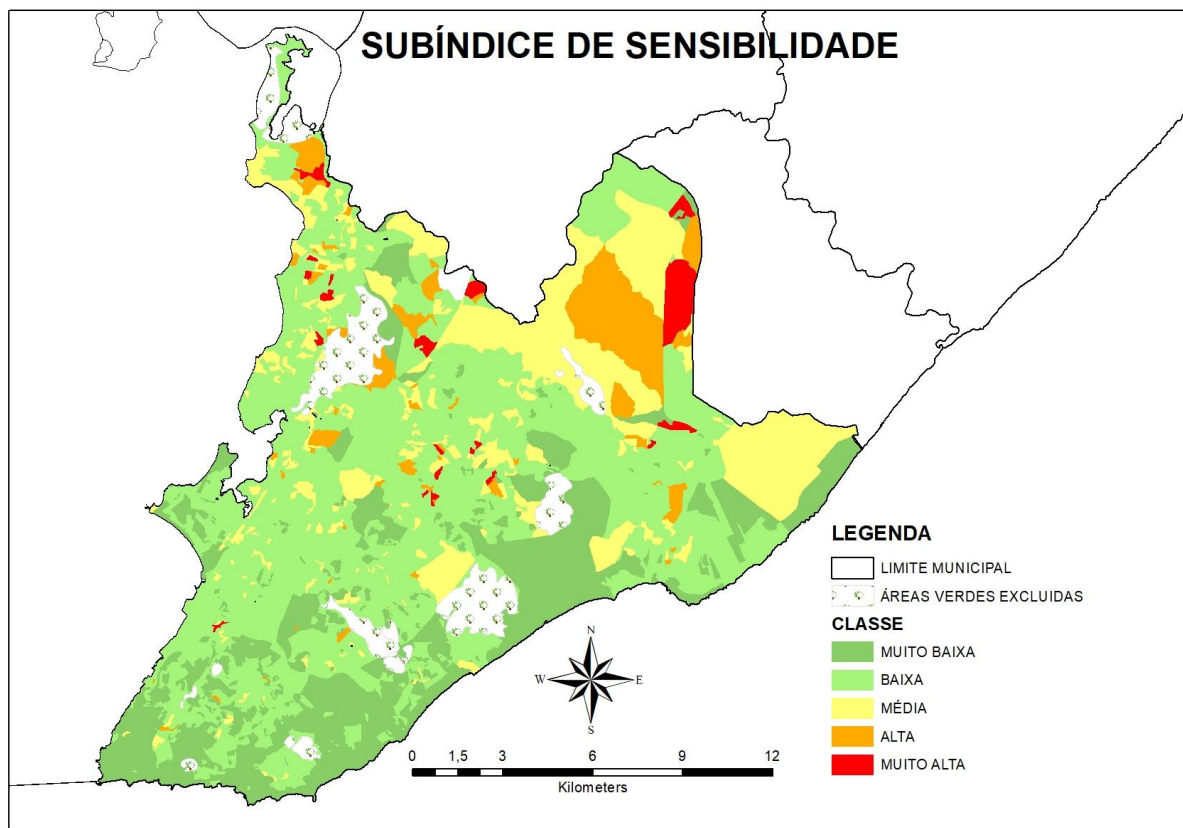
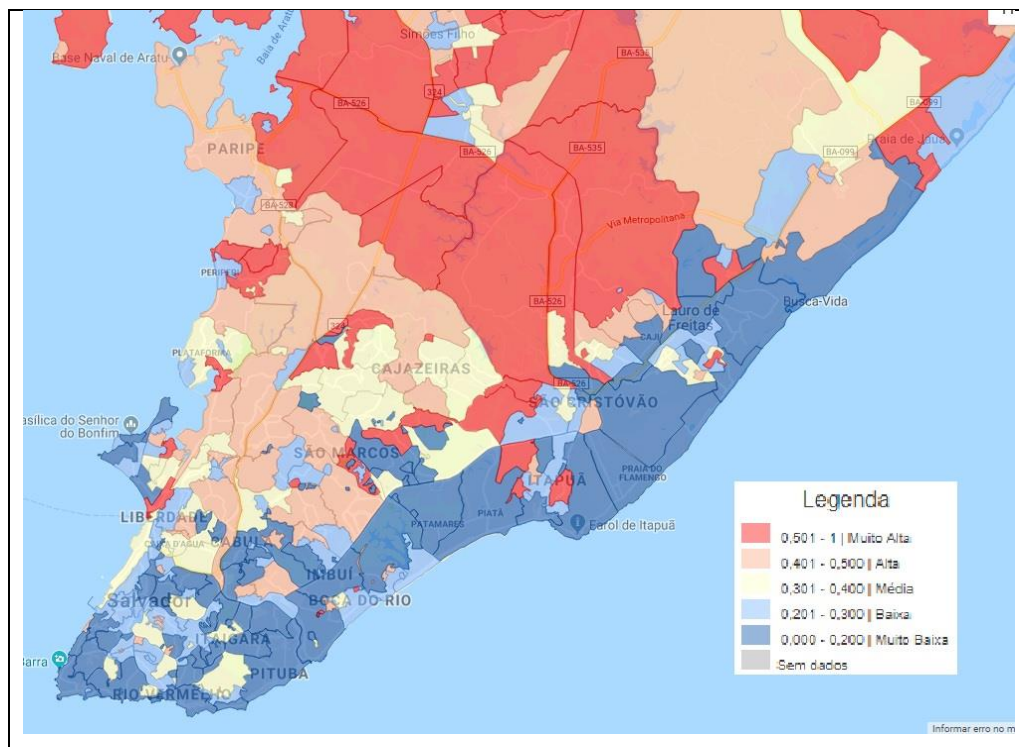


FIGURA 9. Índice de Vulnerabilidade Social — Infraestrutura Urbana.



Fonte: Adaptado a partir de IVS (IPEA-2015)

4.7. Tal distribuição está em acordo com a configuração urbana do município de Salvador, no qual vemos a concentração da população de maior renda na orla atlântica e região sul do município. Tais regiões também apresentam os melhores resultados quanto à indicadores de atendimento por serviços de infraestrutura urbana (ver FIGURA 9, IVS-IPEA, 2015).

4.8. A Figura 10 apresenta o resultado para o Subíndice de Capacidade Adaptativa. Como explanado, o desenho do subíndice buscou fugir de modelos genéricos e busca identificar a distribuição territorial de parcela da população mais resiliente à especificidade de eventuais impactos derivados de desastres de movimento de massa e inundações. Para isto foram elencados indicadores de tipologia habitacional, de faixa etária e nível de renda. Com este arranjo identificou-se a área da prefeitura-bairro de Barra-Pituba como de muito alta, alta e média capacidade adaptativa, se distinguindo por consequência do restante do território municipal onde praticamente temos a ocorrência de um território homogêneo de baixa e muito baixa capacidade adaptativa.

4.9. A partir da ponderação entre os Subíndices de Exposição, de Sensibilidade e Capacidade Adaptativa constrói-se o ISMV (ver FIGURA 11). Para efeito da identificação das parcelas territoriais mais vulneráveis, interessa ao estudo a identificação dos setores censitários de alta e muito alta vulnerabilidade. Com este objetivo é possível caracterizar a área central da Falha do Iguatemi (ver FIGURA 7) e a área litorânea norte da Baía de Todos os Santos como de alta e muito alta vulnerabilidade.

4.10. Tanto pela análise da distribuição da vulnerabilidade por setores censitários quanto por bairros de Salvador verifica-se a dispersão deste fenômeno no território, fato que dificulta a perspectiva do estudo em subsidiar a adoção de estratégias de planejamento de ações ou de políticas públicas para promoção de medidas de adaptação ou de prevenção de riscos de desastres naturais.

4.11. Há de se destacar que no ISMV, bem como nas análises de seus subíndices (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa), as grandes áreas verdes urbanas se configuram como áreas de limitação ao método, dada a ausência de ocupação

residencial, comercial ou institucional e, por consequência, dada a ausência de dados e informações necessários ao método. Desta forma, a partir da demanda da equipe técnica da prefeitura, foi elaborado um mapeamento de áreas verdes que foram excluídas das análises.

Figura 10. Subíndice de Capacidade Adaptativa.

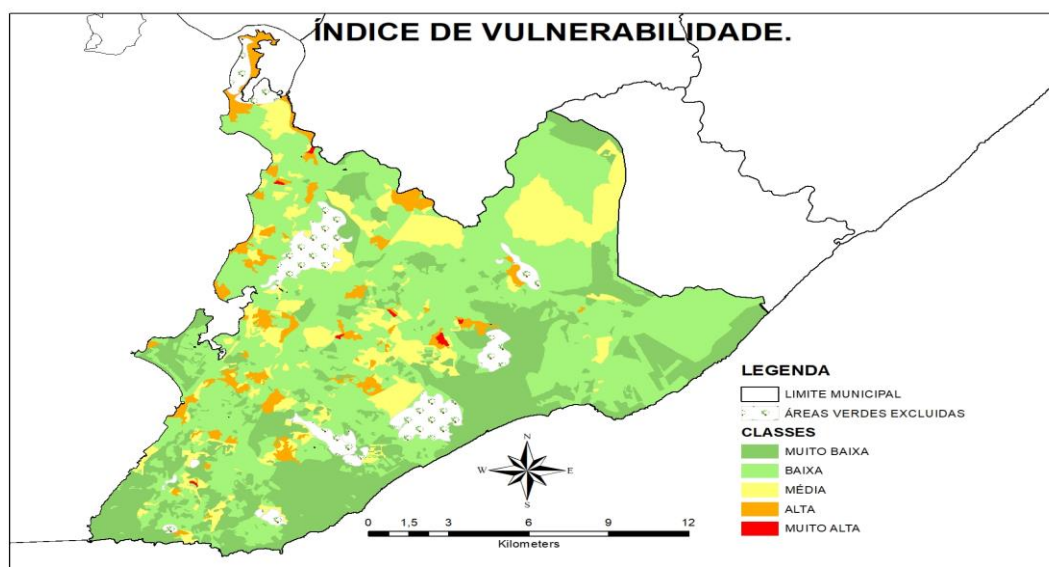
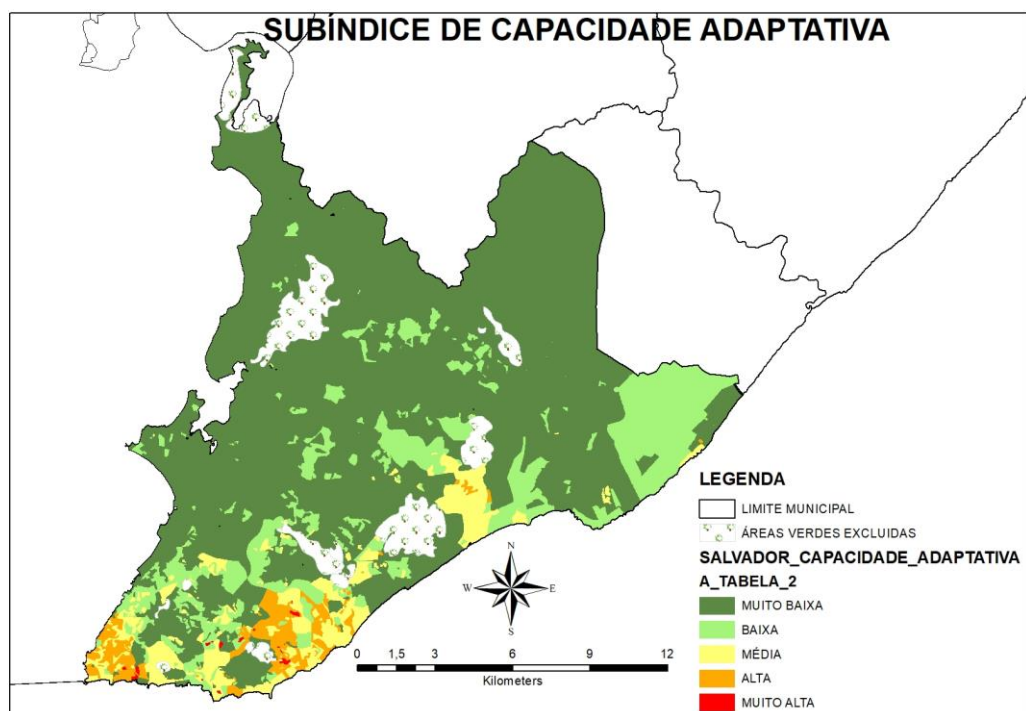


Figura 11. Índice Submunicipal de Vulnerabilidade Climática.



5. CONSIDERAÇÕES E ANÁLISES DE CONCENTRAÇÃO E DISPERSÃO.

5.1. Considerações Gerais

5.1.1. O estudo desenvolvido teve por objetivo avaliar a vulnerabilidade climática do território do município de Salvador tendo por objetivo principal entender o fenômeno da vulnerabilidade no que tange a dimensão dos desastres hidrogeológicos, com foco específico nas inundações e movimentos de massa.

5.1.2. Tendo em vista este objetivo e a própria estratégia de construção dos indicadores desta análise, que foram voltados para percepção multidimensional destes fenômenos hidrogeológicos, verifica-se uma amenização das áreas de risco em função da característica da distribuição da sensibilidade no território. O ajuste desta conformação, visando grafar de forma mais precisa os territórios inseridos em situação de risco de desastres naturais, aponta para a necessidade de alteração da fórmula de conformação do ISMV de modo captar com maior precisão os fenômenos hidrogeológicos.

5.1.3. Neste realinhamento, considerando que há uma limitação da base de dados e informações para identificar as possibilidades de câmbio climático no território, mas que também há uma base de informações sólidas sobre as análises e mapeamento de riscos e suscetibilidade a desastres naturais no território, executou-se uma nova estratégia para ponderação do Subíndice de Exposição em sua inter-relação com os demais índices.

5.1.4. Tal realinhamento também é reforçado pela própria configuração urbana de Salvador que do ponto de vista do seu desenvolvimento socioeconômico apresenta conformação bem seccionada no território: as ocupações urbanas que margeiam o litoral atlântico se destacam em termos de melhor desempenho nos indicadores socioeconômicos e de desenvolvimento urbano (conforme destacado pelo IVS IPEA, 2015), no restante do território temos um nível de sensibilidade mais homogêneo, com exceção aos limites territoriais ao norte do município onde temos a concentração dos piores níveis do indicador de sensibilidade .

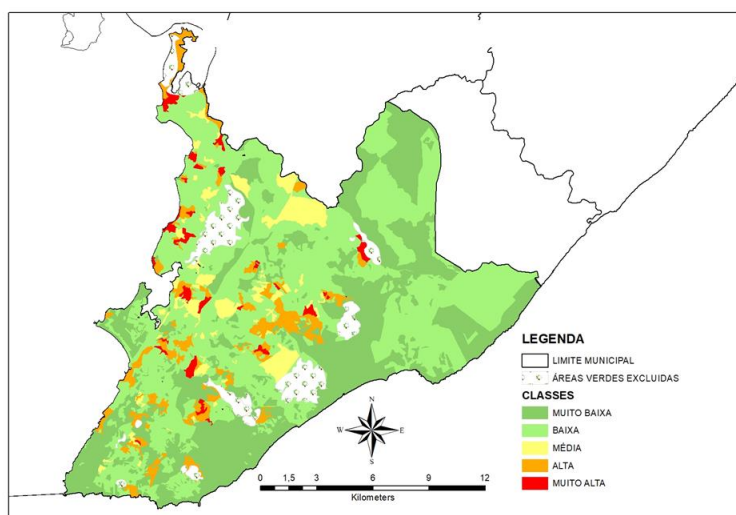
5.1.5. Sob o ponto de vista do Subíndice de Capacidade Adaptativa, verifica-se também uma fragilidade do mesmo em relação ao seu objetivo principal que é identificar os setores com capacidade de se adaptar às variações climáticas e seus impactos. Em se tratando de desastres naturais como deslizamentos e inundações, tendo em vista o poder destrutivo (perdas materiais e de vidas humanas) de tais desastres, é limitada a afirmação da eficiência de tal índice.

5.1.6. Na perspectiva deste entendimento, visando identificar com maior propriedade as parcelas do território mais vulneráveis, propomos um destaque para a função exposição em detrimento das funções sensibilidade e capacidade adaptativa. Desta forma, para ajuste da fórmula da Vulnerabilidade, foram realizados testes de correlação entre o resultado do índice e a demarcação das áreas de risco. Os melhores resultados foram alcançados quando ajustamos a ponderação do Índice de Vulnerabilidade Climática conforme a seguinte proposta:

$$ISMV = \left(\frac{(SE \times 3,5) + (SS \times 1,5)}{5} \right) \times \left(0,25 + \frac{(1 - SCA)}{2} \right)$$

5.1.7. Nesta ponderação o Subíndice de Exposição ganha maior peso em relação ao Subíndice de Sensibilidade. Há também uma maior limitação do Subíndice de Capacidade Adaptativa, o que gera o Índice de Vulnerabilidade conforme exposto na Figura 12.

Figura 12. Índice Submunicipal de Vulnerabilidade Climática - Reponderado.



5.1.8. Entende-se que com esta nova ponderação a análise de vulnerabilidade climática se aproxima com maior precisão ao fenômeno dos riscos a desastres tal qual o registro histórico de sua ocorrência no território e a perspectiva dos mapeamentos de suscetibilidade.

5.2. Análise Clusters e Hotspot

5.2.1. Do ponto de vista da análise de concentração e dispersão territorial da vulnerabilidade, a pesquisa implementou análises de *Hotspots* e *Clusters*, executadas a partir de teste de relação de vizinhança e 1000m, 500m e 250m para as análises de *Hotspots* (FIGURA 13) e 1000m e 500m para a análise de *Clusters* (FIGURA 14).

Figura 13. Análise de Hotspots do ISMV

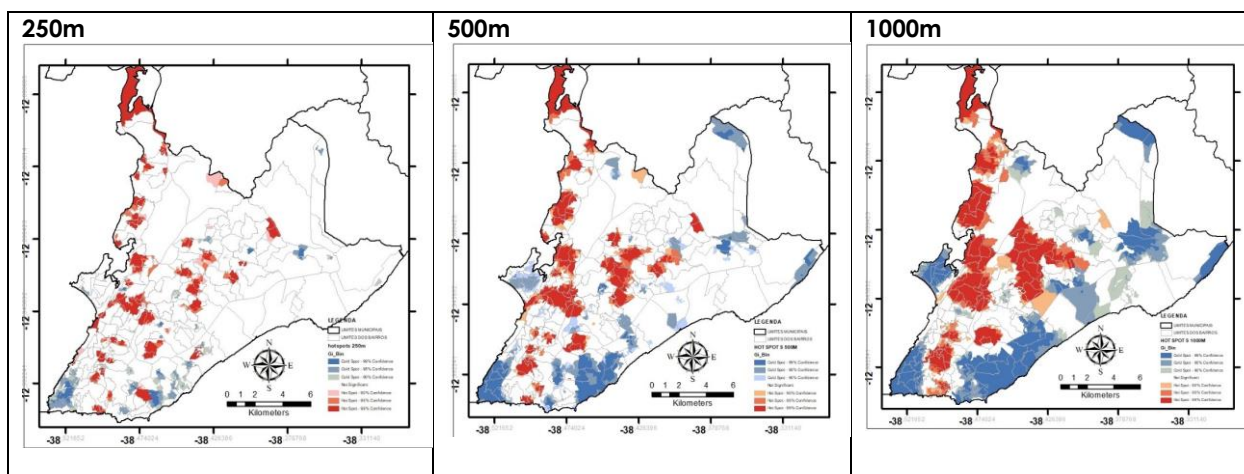
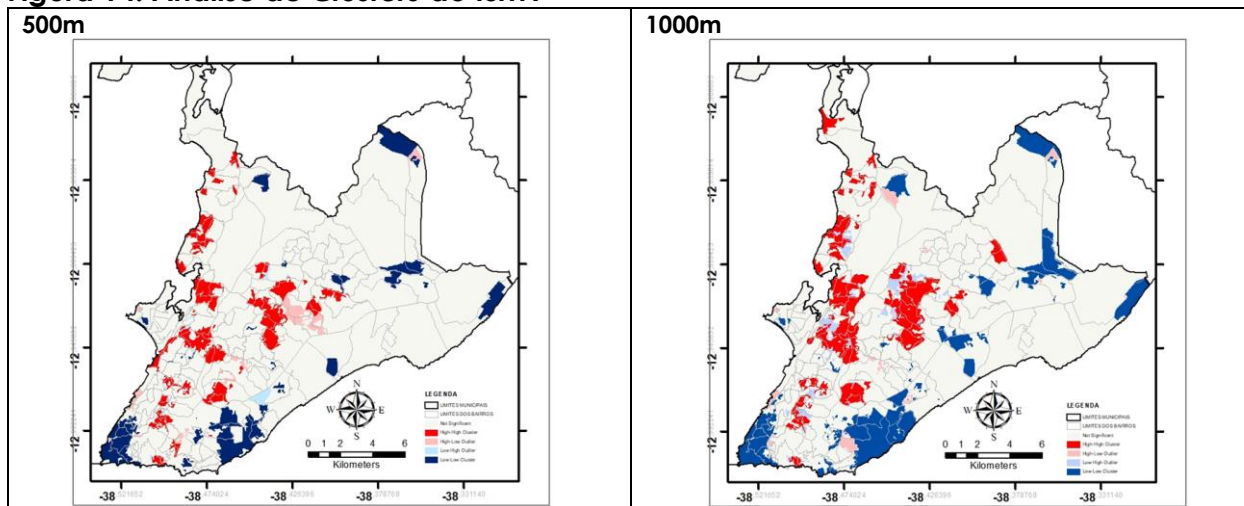


Figura 14. Análise de Clusters do ISMV



5.2.2. Tanto para as análises de *Hotspots* quanto para as análises de formação de *Clusters*, os testes com distância fixa de 1000m, para a relação de vizinhança, permitem a priorização de territórios vulneráveis estratégicos para a conformação de ações de adaptação ou de prevenção de riscos de desastres naturais. As análises identificam um conjunto de aglomerados de bairros que seriam prioritários para intervenções de adaptação: i) Grupamento formado pelos bairros de Novo Horizonte, São Caetano, Águas Claras, Pau da Lima e vizinhança; ii) Grupamento formado pelos bairros de Fazenda Grande do Retiro, Arraial do Retiro, Lobato, alto do Cabrito e vizinhança; iii) Grupamento formado pelos bairros de Alto da Terezinha, Plataforma, Periperi, Itacaranha e vizinhança; e iv) Grupamento formado pelos bairros de Coutos, Fazenda de Coutos, São Tomé e vizinhança.

6. 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.
- CARVALHO, J.R.P. de; ASSAD, E.D. **Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação**. Engenharia Agrícola, v.25, p.377-384, 2005
- CARVALHO, J.R.P. de; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. **Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, p.1235-1242, 2012.
- 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.
- CHANG, M; FREITAS, M. Mapeamento e Indicadores de Vulnerabilidade a extremos Climáticos no Estado do Paraná- Uma proposta Metodológica In. **Metodologias de Estudos de Vulnerabilidade à Mudança do Clima**. Coleção Mudanças Globais. V5. (orgs) Chang, M. et al. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 2015.
- 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 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 ChangeCambridge; New York: Cambridge University Press, 2014.

- LEE, C.C.Y. **Damages to school infrastructure and development to disaster prevention education strategy after Typhoon Morakot in Taiwan.** Disaster Prevention and Management: An International Journal, v. 21 n. 5, p.541- 555, 2004.
- 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.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018. **Manual Técnico para redução de Riscos de Desastres Plicado ao Planejamento Urbano.**
- MMA; MI; WWF-BRASIL. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima.** Brasília, DF: MMA, 2017.
- 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.
- SANTOS, D. A.C. **Análise espaço-temporal das ocorrências de deslizamento de terras registradas entre jan/2009 a dez/2013 na área do “miolo” da cidade de Salvador – Bahia.** Salvador, 2014
- SCOTT, L.; GETIS, A. Spatial statistics. In: KEMP, K. (Ed.) **Encyclopedia of geographic informations.** Sage, Thousand Oaks, CA. 2008.
- 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 set. 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.