

# Vulnerabilidade Socioambiental às Mudanças Climáticas: Condições dos Municípios Costeiros no Estado do Pará

Marcos Ronielly da Silva Santos <sup>I</sup>  
Maria Isabel Vitorino <sup>II</sup>  
Luci Cajueiro Carneiro Pereira <sup>III</sup>  
Marcia Aparecida da Silva Pimentel <sup>IV</sup>  
Ana Flávia Quintão <sup>V</sup>

<sup>I</sup> Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

<sup>II</sup> Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

<sup>III</sup> Universidade Federal do Pará, Bragança, Pará, Brasil.

<sup>IV</sup> Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

<sup>V</sup> Escola de Saúde Pública do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

**Resumo:** O estudo analisa a vulnerabilidade dos municípios costeiros do estado do Pará, com base na integração de indicadores socioeconômicos, epidemiológicos e climáticos. Os dados foram combinados com os cenários climáticos Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 e 8.5, com base no Índice de Vulnerabilidade Municipal (IVM). Os resultados mostraram que o Índice de Sensibilidade (ISe) e o Índice Sociodemográfico (ISd) apontaram a maior influência na vulnerabilidade atual dos municípios. Quando a vulnerabilidade atual estava relacionada às projeções futuras de mudanças climáticas verificou-se que os municípios mais vulneráveis estão na região da Ilha do Marajó – oeste da área de estudo, onde o IVM varia entre 1 (Afuá) e 0,55 (Soure) para os cenários 4.5 e 8.5, respectivamente. Acredita-se que estes resultados possam contribuir para a adoção efetivas de políticas públicas, priorizando os municípios mais vulneráveis e preparando-os para lidar com os aspectos adversos das mudanças do clima.

**Palavras-chave:** Clima; Riscos; Socioambiente; Região Costeira; Pará.

São Paulo. Vol. 24, 2021

Artigo Original

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200167r1vu2021L3AO>

## Introdução

As regiões litorâneas são particularmente vulneráveis às mudanças do clima, uma vez que estas são diretamente influenciadas por processos oceânicos, atmosféricos e continentais (NEVES; MUEHE, 2010). O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) corrobora que as regiões costeiras são as áreas mais afetadas pelas mudanças climáticas, levando em consideração o aumento médio no nível dos oceanos e a intensidade de extremos climáticos. No Brasil, as cidades litorâneas como: Florianópolis, Rio de Janeiro, Salvador, João Pessoa, Natal e Belém deverão registrar temperaturas mais altas com picos de calor mais intensos, também sofrerão com marés altas, ressacas do mar e fortes precipitações (PBMC, 2016).

A zona costeira Brasileira denota grandes extensões territoriais ocupadas, atualmente 463 municípios estão nos primeiros 100 km do litoral, compreendendo mais de 17,4 milhões de domicílios ou aproximadamente 30% da população, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes (IBGE, 2019). Estes municípios e suas populações estão expostas aos riscos ambientais costeiros causados pelas mudanças climáticas no Brasil. Na região costeira da amazônica está uma das maiores áreas de concentração humana (RODRIGUES; CASTRO, 2013), sendo marcada pela presença de três regiões metropolitanas: Macapá (AP), Belém (PA) e São Luís (MA), concentrando aproximadamente 3 milhões de pessoas (IBGE, 2019) caracterizada com um rápido e desordenado processo de urbanização o que está acarretando sérios problemas de caráter socioambiental: ocupação territorial em áreas de risco, desmatamento, sobrepesca, contaminação do lençol freático, contaminação dos rios e estuários (PEREIRA et al., 2009).

A partir desta interpretação, as mudanças climáticas ganham maior visibilidade, pois trazem profundas implicações sociais, econômicas, políticas e ambientais (OJIMA; MARANDOLA JR SANTOS, 2013; SANTOS et al., 2017). As principais consequências das mudanças climáticas em termos ambientais e sociais são apresentadas pelo aumento da temperatura, elevação do nível do mar, extremos de precipitação, intensificação do ciclo hidrológico com maior incidência de secas e inundações (CONTI, 2005; BESSAT, 2015). Essas alterações no clima global irão influenciar diretamente na vida das populações provocando diferentes impactos e interferindo no grau e/ou percepção de vulnerabilidade socioambiental (RIBEIRO, 2010; IPCC, 2014; SANTOS et al., 2017).

A vulnerabilidade socioambiental apresenta diferentes abordagens, além de representar um fenômeno complexo e multidimensional, envolvendo uma combinação de fatores que determinam o grau, em que um grupo é colocado em risco por um evento discreto e identificável na natureza e/ou sociedade (MAIOR; CÂNDIDO, 2014). Neste estudo, a vulnerabilidade socioambiental foi entendida como: “um conjunto das características de uma pessoa ou grupo, em termos de sua capacidade de antecipar, enfrentar, resistir e se recuperar do impacto de um fenômeno perigoso” (BLAIKIE et al., 2005; O'BRIEN et al., 2011).

Estudos científicos sobre a vulnerabilidade socioambiental vêm se expandindo nas últimas décadas, logo, torna-se necessário o conhecimento específico dos possíveis moduladores da vulnerabilidade socioambiental nas diversas escalas territoriais - global,

regional, local (ZANELLA et al., 2013; SCHUMANN; MOURA, 2015; MAVROMATIDI et al., 2018; GUPTA et al., 2020). Este tema está principalmente atrelado à adaptação da sociedade às mudanças do clima, requerido à grande ocorrência de eventos extremos, sobretudo de extremidades no nível de precipitação, que afetam diretamente a coletividade humana (TIBÚRCIO; CORRÊA, 2012; SANTOS et al., 2017).

Em 2014, foi lançado o projeto “Construção de Indicadores para Avaliação Municipal da Vulnerabilidade Humana às Mudanças Climáticas no Brasil”, com o objetivo de desenvolver uma metodologia para avaliar a vulnerabilidade da população frente às mudanças climáticas, por meio do uso de indicadores que ajudam a medir e comparar a realidade dos municípios em alguns estados do país (CONFALONIERI et al., 2016; QUINTÃO et al., 2017). Estudos recentes foram publicados para os estados do Amazonas, Espírito Santos e do Maranhão (MENEZES et al., 2018; SANTOS et al., 2019; VOMMARO et al., 2020) como resultados do projeto, utilizando a metodologia e o software do Sistema de Vulnerabilidade Climática (Sisvuclima), método que oferece a espacialização dos indicadores e possibilita o conhecimento dos aspectos locais mais vulneráveis, o que facilita o planejamento de estratégias, ações e recursos para a adaptação climática (FIOCRUZ, 2016).

Neste contexto, é importante o desenvolvimento de pesquisas que correlacionem metodologias visando mensurar a vulnerabilidade socioambiental a nível municipal, atrelando o componente climático e social, ambas com caráter interdisciplinar, principalmente em locais e regiões costeiras com a ausência de pesquisas nesse foco (IWAMA et al., 2014, ZANETTI et al., 2016). Estudos de Santos et al. (2017) apresentam a vulnerabilidade socioambiental por meio de índices e indicadores em uma região metropolitana da Amazônia, elucidando a importância do índice climático para a vulnerabilidade local. No estado do Pará, vários autores como Souza-Filho (2001); Szlafsztein e Sterr (2007, 2010) e Espírito-Santo e Szlafsztein (2016), desenvolveram pesquisas e metodologias com uso de índices e indicadores para tentar medir o grau de vulnerabilidade ambiental e social nos municípios da zona costeira do Estado do Pará, todavia suas pesquisas locais não incluíram os cenários de mudança climática, conforme o projeto conduzido por Confalonieri et al. (2016).

A contribuição desta pesquisa consiste em apresentar que a ocorrência de eventos extremos de clima, identificados pelos cenários climáticos, podem elevar os índices de vulnerabilidades em suas múltiplas facetas, deixando a sociedade dos municípios costeiros mais exposta aos riscos socioambientais. Sob o ponto de vista da mudança do clima em curso, que é um problema global gravíssimo, com consequências em todas as esferas da vida humana – desde a política pública até a segurança alimentar, tema particularmente crítico quando analisado sob o viés socioambiental. Neste cenário, este estudo teve o objetivo de caracterizar a vulnerabilidade socioambiental dos municípios costeiros do estado do Pará, por meio do Índice Vulnerabilidade Municipal (IVM), mediante os cenários de mudanças climáticas. Para este estudo adotou-se a concepção de vulnerabilidade a partir de características como: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, onde o sistema socioecológico contribui para tornar as pessoas e territórios mais ou menos vulneráveis.

## Material e Métodos

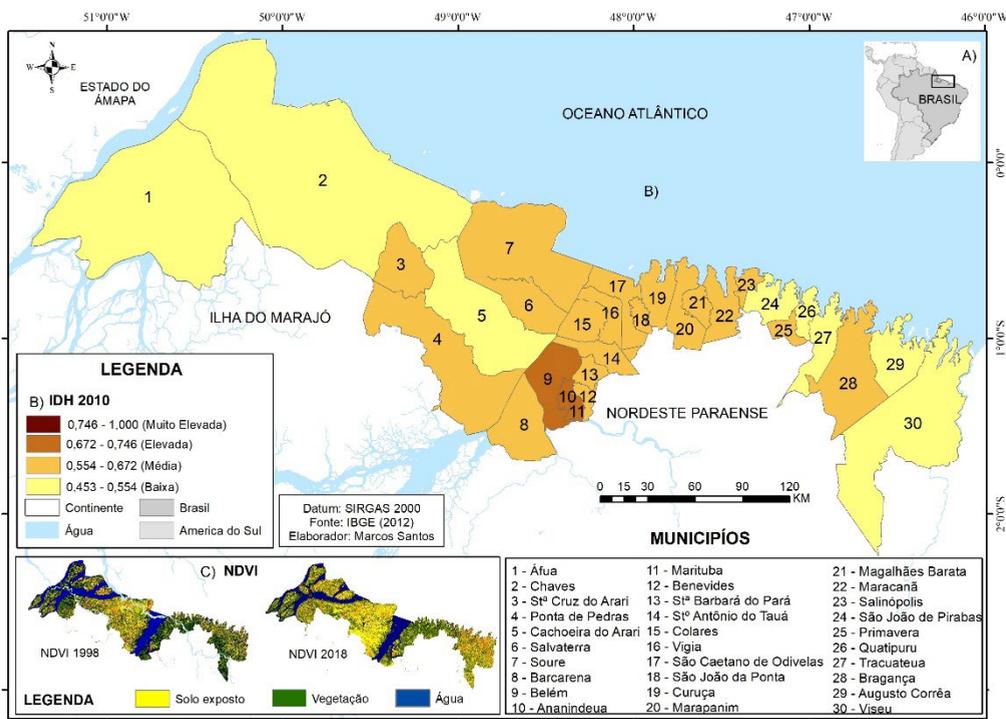
### Caracterização da área de estudo

A pesquisa abrange os 30 municípios costeiros do estado do Pará (MMA, 2020), que estão situados na porção leste da região costeira da Amazônia, pertencentes às mesorregiões do Nordeste Paraense e do Marajó (Figura 1A). A área de estudo possui uma extensão de 52.520 km<sup>2</sup>, com população estimada em 3.037.179 habitantes (IBGE, 2019). A região costeira paraense detém 36% da população em aproximadamente 5% do território estadual, e grande parte dos municípios apresentam o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) com indicador baixo a médio (PNUD, 2019) (Figura 1B). Os municípios estudados apresentam formação histórica distintas, tamanhos de população e peso econômico diferentes, condições essas que devem ser levadas em consideração na análise e interpretação dos resultados. De acordo com (ALMEIDA; JARDIM, 2018) as mudanças socioeconômicas e ambientais que ocorrem no litoral do nordeste paraense são resultantes das políticas públicas de desenvolvimento socioeconômico. A vegetação da região apresenta formações pioneiras, floresta ombrófila densa, áreas de manguezais, e nas últimas décadas têm indicado modificações no índice de vegetação, conforme verifica-se na imagem de NDVI (Figura 1C) (IBGE, 2012).

O clima regional é caracterizado como equatorial úmido, com duas estações bem definidas, com período chuvoso compreendido entre dezembro e maio, e menos chuvoso de junho a novembro (AMANAJÁS; BRAGA, 2012). O regime chuvoso apresenta um volume pluviométrico entre 125 a 400 mm/mês, gerados pela presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) principais sistemas meteorológicos precipitantes, com temperatura média de 23°C e umidade relativa do ar de 85%. No regime menos chuvoso a precipitação fica com acumulados entre 30 e 150 mm/mês, provocados pela atuação de aglomerados convectivos, linhas de Instabilidade e sistemas locais, registrando temperatura média de 26°C e umidade relativa do ar em entorno de 70% (SILVA SANTOS et al., 2016; SOUZA et al., 2017).

A área de estudo está inserida na unidade geomorfológica litoral de mangues e rias e tabuleiros paraenses (IBGE, 2009), formada por um conjunto de feições deposicionais de origem fluvial, marinha e lacustre, envolvendo também uma série de ilhas, baías e canais; onde destacam-se o relevo plano com baixa amplitude e elevações menores que 100m (DANTAS et al., 2014). Outra característica peculiar da área de estudo é o regime de macromarés com valores máximos de 6m de altura e extensa área de manguezais (PEREIRA et al., 2009).

Figura 1 – (A) Localização da área de estudo na América do Sul. (B) área de estudo com dados do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). (C) área de estudo com Índice de Cobertura de Vegetação (NDVI) 1998 a 2018



Fonte: Elaboração do autor, 2021.

### Modelo conceitual do Índice de Vulnerabilidade Municipal - IVM

O índice de vulnerabilidade municipal (IVM) aplicado neste estudo procede de pesquisas anteriores realizados em outras localidades brasileiras (BARATA et al., 2011; CONFALONIERI et al., 2015, 2016; QUINTÃO et al., 2017; MENEZES et al., 2018; SANTOS et al., 2019 e VOMMARO et al., 2020), e foi adaptado nos modelos conceituais do Índice de Vulnerabilidade Humana apresentado em Quintão et al. (2017) e pelo modelo de IVM de Vommaro et al. (2020). Conceitualmente, o IVM considera que os múltiplos processos de desenvolvimento humano, social, ambiental e econômico que ocorrem nos municípios e contribuem para o perfil de vulnerabilidade frente às mudanças climáticas, portanto, partindo da concepção de Adger (2006) e Quintão et al. (2017), esse perfil pode ser caracterizado por três dimensões básicas da vulnerabilidade geral (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa), somados aos cenários de mudanças climáticas apresentado nesse estudo.

A exposição é caracterizada pela natureza e intensidade do estresse ambiental a que os municípios costeiros estão expostos: biofísico – área de cobertura vegetal, extensão da linha costeira e climático – extremos de chuva e temperatura) ou ainda sociopolítico

analisado por um sistema (o território). As características desse estresse incluem sua dimensão, frequência, e extensão da área de risco. A sensibilidade investiga a intensidade em que um sistema pode sofrer danos ou ser afetado por distúrbios (climáticos), conforme determinado pelas suscetibilidades intrínsecas ao sistema. Nesta pesquisa considera-se as endemias com vinculação hídrica e processos socioeconômicos que estão suscetíveis as anomalias climáticas.

A capacidade adaptativa é promovida pela condição que os sistemas têm de realizar ou introduzir mudanças para acomodar tensões ambientais, políticas e a capacidade de gerenciar melhor quaisquer consequências, expandindo assim a faixa de variabilidade com a qual ele pode lidar. Considerando-se neste estudo os serviços públicos e básicos de saúde para atendimento da população em casos adversos de clima. Nesse contexto, a pesquisa considera que as mudanças climáticas atuam como uma influência externa que pode modificar o perfil de vulnerabilidade em cada município, transformando as populações residentes mais vulneráveis aos impactos socioambientais.

### Índices e subíndices

O método utilizado nesta pesquisa combina índices sintéticos que fornecem uma medida comparativa para a vulnerabilidade em diferentes aspectos e sua associação a extremos climáticos (Quadro 1). As informações são analisadas estatisticamente para cada município, considerando a incidência ao tamanho populacional superior a 10.000 e gerando um Índice de Vulnerabilidade Municipal, que é calculado em relação às mudanças climáticas nas duas vias de concentração representativa (RCPs) 4.5 e 8.5. A seleção dos dados foi baseada em: 1) disponibilidade dos dados, 2) no arcabouço conceitual estabelecido por pesquisas anteriores para a região amazônica (MENEZES et al., 2018 e VOMMARO et al., 2020) e 3) literatura científica sobre quantificação e avaliação da vulnerabilidade (CONFALONIERI et al., 2015, 2016; QUINTÃO et al., 2017).

O Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG) representa as condições atuais dos municípios costeiros do Pará e está relacionado aos subíndices de exposição (IEx), sensibilidade (ISe) e capacidade adaptativa (ICA). O Índice Climático (IC) foi construído a partir de anomalias climáticas geradas pela diferença absoluta entre o clima projetado (2020-2050) e as observações climatológicas da linha de base (1961-1990).

As variáveis climáticas utilizadas a partir do modelo de saída foram as temperaturas médias anuais (TP2M) em graus celsius e a precipitação total (PREC) em milímetros para o período de 2020 a 2050 fornecidos pelo modelo ETA / HadGEM2 (CHOU et al., 2014, CPTEC, 2019). Adotou-se os cenários referentes aos RCPs 4.5 e 8.5 que foram usados pelo Painel Climático (IPCC, 2014). O RCP 4.5 corresponde a uma estabilização das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para o ano 2100 (melhor cenário), e o RCP 8.5 corresponde a um aumento nas emissões de GEE para o ano 2100 (pior cenário).

Quadro 1 – Variáveis utilizadas

Índice de Vulnerabilidade Municipal (IVM) IVM =			
Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG) IVG =			
Índice de Exposição I <sub>ex</sub> =	Índice de Cobertura Vegetal (ICV) ICV =	(i) Cobertura vegetal nativa (área absoluta) (ii) Cobertura vegetal nativa (Porcentagem)	Mapbiomas. Período: 1998 a 2019
	Índice de Desastres Naturais (IDN) IDN =	(i) Desastre. Naturais (porcentagem) (ii) Extremos de chuva (porcentagem)	Atlas Brasileiro de Desastres Naturais. Período: 1991 a 2012
	Índice de Exposição Costeira (IEC) IEC =	(i) Linha costeira (LC) (Quilômetros) (ii) Distancia da Costa para o Centro Urbano (DCCU) (Quilô- metros)	Autor, (2019) Base cartográfica IBGE (2019)
Índice de Sensibilidade (I <sub>se</sub> ) I <sub>se</sub> =	Índice de Doenças Endêmica (IDE) IDE =	(i) Doenças endêmica (incidência) (ii) Doença endêmica (proporção)	Secretaria de Saúde do Pará (DATASUS/ SESPA) Período: 1998 a 2019
	Índice Sociodemográfico (ISD) ISD =	(i) População com escolaridade (Ensino fundamental incompleto e analfabeto com 25anos ou mais (proporção) (ii) Mortalidade de crianças com menos de 1 ano de vida (Taxa) (iii) Domicílios com saneamento inadequado (Taxa) (iv) População com economia inativa (Taxa)	Instituto Brasileiro de geografia e estatística. Censo 2010
Índice de Capacidade Adaptativa (ICA) ICA =	Índice FIRJAN de desenvolvimento Municipal – IFDM	(i) Resultado do IFDM	Federação da Indústria, IDHM, Ed. 2010
	Indicador de Cobertura de Atenção Básica – ICAB	(i) População coberta pela atenção primária à saúde	Ministério da Saúde. (DATASUS) 2014
Índice Climático (IC) IC =	(i) – Anomalia de Precipitação e temperatura RCP 4,5 (ii) Anomalia de Precipitação e temperatura RCP 8.5		Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) 2019

Fonte: Elaboração do autor, 2021.

O IVM é a agregação de IVG e o IC 4.5 ou IC 8.5 obtidos para cada município, representando sinteticamente a relação entre a vulnerabilidade atual e os cenários futuros sob as mudanças climáticas. A obtenção dos dados que compõem os indicadores e variáveis foram retirados de sites governamentais e estão disponíveis gratuitamente em suas páginas específicas.

### Padronização e cálculo

O cálculo dos índices envolveu três etapas: i) atribuição de pesos, ii) média aritmética e padronização e iii) combinação de índices. As variáveis, por município, foram agrupadas em cluster hierárquico (WANG; SONG, 2011) analisados no software SPSS com o método de ligação entre grupos e com o intervalo da distância euclidiana, classificados em cinco grupos, de modo que os pesos variam entre 1 e 5, onde: 1 representa o menos vulnerável e 5 o mais vulnerável. No caso dos componentes do Índice de Cobertura Vegetal (ICV), Distância da Costa para o Centro Urbano (DCCU), Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) e Indicador de Cobertura da Atenção Básica (ICAB), essa lógica é inversa, pois apresentam elementos que reduzem a vulnerabilidade da população, ou seja, quanto maior os valores das variáveis, menor a vulnerabilidade, nestes casos, os pesos foram atribuídos de maneira inversa.

Posteriormente, os pesos foram agregados pela média aritmética simples para formar os subíndices. Todos os subíndices e índices foram padronizados para que apresentem a mesma faixa de 0 a 1 (0 menos vulnerável e 1 mais vulnerável), seguido a equação (1):

$$I_p = \frac{I_{obs} - \text{Mínimo } I}{\text{Máximo } I - \text{Mínimo } I}$$

Onde,

$I_p$  = Índice padronizado

$I_{obs}$  = Índice observado (para cada município)

Máximo I = maior valor observado entre os índices calculados

Mínimo I = menor valor observado entre os índices calculados

Todos os procedimentos de cálculos foram realizados no Excel. Deve-se observar que o índice gerado é comparativo, e sua pontuação zero não indica a ausência de vulnerabilidade, e uma pontuação 1 não significa vulnerabilidade completa, mas que de acordo com (SANTOS et al., 2017) as pontuações indicam o grau de vulnerabilidade de um determinado município em relação aos demais municípios da área estudada.

### Espacialização dos dados

Os índices foram mapeados considerando às bases cartográficas municipais de acordo com IBGE (2019), e ilustrados segundo a metodologia de classificação da escala de vulnerabilidade apresentada por Freitas e Cunha (2013), onde os valores dos índices são agregados em cinco categorias muito baixa (0 – 0,19), baixa (0,20 – 0,39), média (0,40 – 0,59), alta (0,60 – 0,79) e muito alta (0,80 – 1). Esta classificação foi atribuída ao software de sensoriamento remoto (QGis 2.18.14) para a geração dos mapas temáticos.

## Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores dos índices sintéticos de cada dimensão analisada, bem como os valores padronizados de cada indicador ou variável que compuseram os referidos índices.

**Tabela 1 – Índices de vulnerabilidade por municípios e indicadores padronizados**

Município	ICV	IDN	IEC	IEx	IDE	ISD	ISe	IFDM	ICAB	ICA	IVG	IC 4.5	IC 8.5	IVM 4.5	IVM 8.5
Afuá	0,14	0,16	1,00	0,36	0,14	0,92	0,86	1	1	1,00	1,00	1,0	1	1,00	1,00
Ananindeua	0,57	0,33	0,43	0,38	0,73	0,08	0,55	0,25	0,25	0,14	0,47	0,8	0,4	0,59	0,34
Augusto Corrêa	0,43	0,83	0,57	0,69	0,40	0,77	0,99	0,5	0	0,14	0,82	0,0	0	0,34	0,31
Barcarena	0,57	0,33	0,57	0,46	0,26	0,23	0,16	0	0,25	0,00	0,27	0,8	0,4	0,48	0,22
Belém	0,71	0	0,71	0,43	1,00	0,00	0,78	0	0,75	0,29	0,67	0,6	0,4	0,59	0,45
Benevides	0,43	0,16	0,14	0,00	0,14	0,23	0,02	0,25	0	0,00	0,00	0,8	0,4	0,33	0,06
Bragança	0,43	1	0,57	0,79	0,66	0,46	0,92	0,5	0	0,14	0,83	0,4	0	0,57	0,31
Cachoeira do Arari	0,86	0,66	0,29	0,67	0,00	0,46	0,13	0,75	1	0,86	0,74	0,6	0,6	0,63	0,61
Chaves	0,00	0,66	1,00	0,67	0,00	1,00	0,78	0,5	0,75	0,57	0,91	0,8	1	0,84	0,95
Colares	0,57	0,33	0,71	0,55	0,00	0,54	0,22	0,25	0	0,00	0,34	0,4	0,4	0,30	0,26
Curuçá	0,43	0,5	0,57	0,48	0,00	0,54	0,22	0,75	0,25	0,43	0,50	0,8	0,6	0,61	0,47
Magalhães Barata	0,43	0,33	0,43	0,29	0,00	0,54	0,22	0,5	0	0,14	0,28	0,4	0,6	0,27	0,34
Maracanã	0,43	0,33	0,57	0,38	0,07	0,54	0,30	1	0	0,43	0,49	0,2	0,2	0,27	0,23
Marapanim	0,43	0,66	0,43	0,49	0,15	0,46	0,31	0,5	0,25	0,29	0,48	0,8	0,6	0,60	0,46
Marituba	0,43	0,16	0,29	0,10	0,59	0,15	0,47	0,25	0,5	0,29	0,38	0,8	0,4	0,54	0,28
Ponta de Pedras	0,43	0,16	0,57	0,27	0,15	0,46	0,31	0,5	0,5	0,43	0,45	0,6	0,4	0,47	0,32
Primavera	0,43	0,33	0,29	0,20	0,00	0,39	0,03	0,25	0	0,00	0,09	0,2	0,2	0,05	0
Quatipuru	0,43	0,33	0,43	0,29	0,38	0,62	0,77	0,5	0,5	0,43	0,67	0,2	0,2	0,37	0,34
Salinópolis	0,43	0,33	0,71	0,47	0,13	0,23	0,00	0,25	0	0,00	0,20	0,0	0,2	0,00	0,06
Salvterra	0,71	0,5	0,71	0,74	0,00	0,46	0,13	0,5	0,5	0,43	0,58	0,0	0,4	0,21	0,40
Santa Bárbara do Pará	0,43	0	0,29	0,00	0,07	0,39	0,11	0,25	0	0,00	0,04	0,6	0,4	0,24	0,08
Santa Cruz do Arari	1,00	0,5	0,00	0,48	0,30	0,54	0,59	0,5	0	0,14	0,54	0,6	0,6	0,52	0,49
Santo Antônio do Tauá	0,57	0,66	0,29	0,49	0,28	0,39	0,37	0,5	0	0,14	0,44	0,6	0,4	0,47	0,32
São Caetano de Odivelas	0,43	0,33	0,43	0,29	0,00	0,46	0,13	0,75	0	0,29	0,31	1,0	0,4	0,62	0,24
São João da Ponta	0,43	0,5	0,29	0,31	0,00	0,54	0,22	0,25	0	0,00	0,23	0,2	0,4	0,13	0,19
São João de Pirabas	0,43	0,33	0,71	0,47	0,13	0,62	0,47	0,5	0	0,14	0,48	0,2	0	0,27	0,11
Soure	1,00	0,33	1,00	0,99	0,26	0,46	0,44	0,5	0,5	0,43	0,84	0,4	0,4	0,58	0,55
Tracuateua	0,57	0,33	0,29	0,29	0,29	0,62	0,67	1	0	0,43	0,62	0,0	0	0,23	0,19
Vigia	0,43	0,5	0,43	0,39	0,25	0,46	0,43	0,75	0,5	0,57	0,62	0,4	0,4	0,46	0,42
Viséu	0,29	0,33	0,57	0,29	0,29	0,77	0,86	0,5	0,5	0,43	0,71	0,0	0	0,28	0,24

Fonte: Elaboração do autor, 2021.

### Índice de Vulnerabilidade Geral – IVG e o subíndice de Exposição Costeira (IEC)

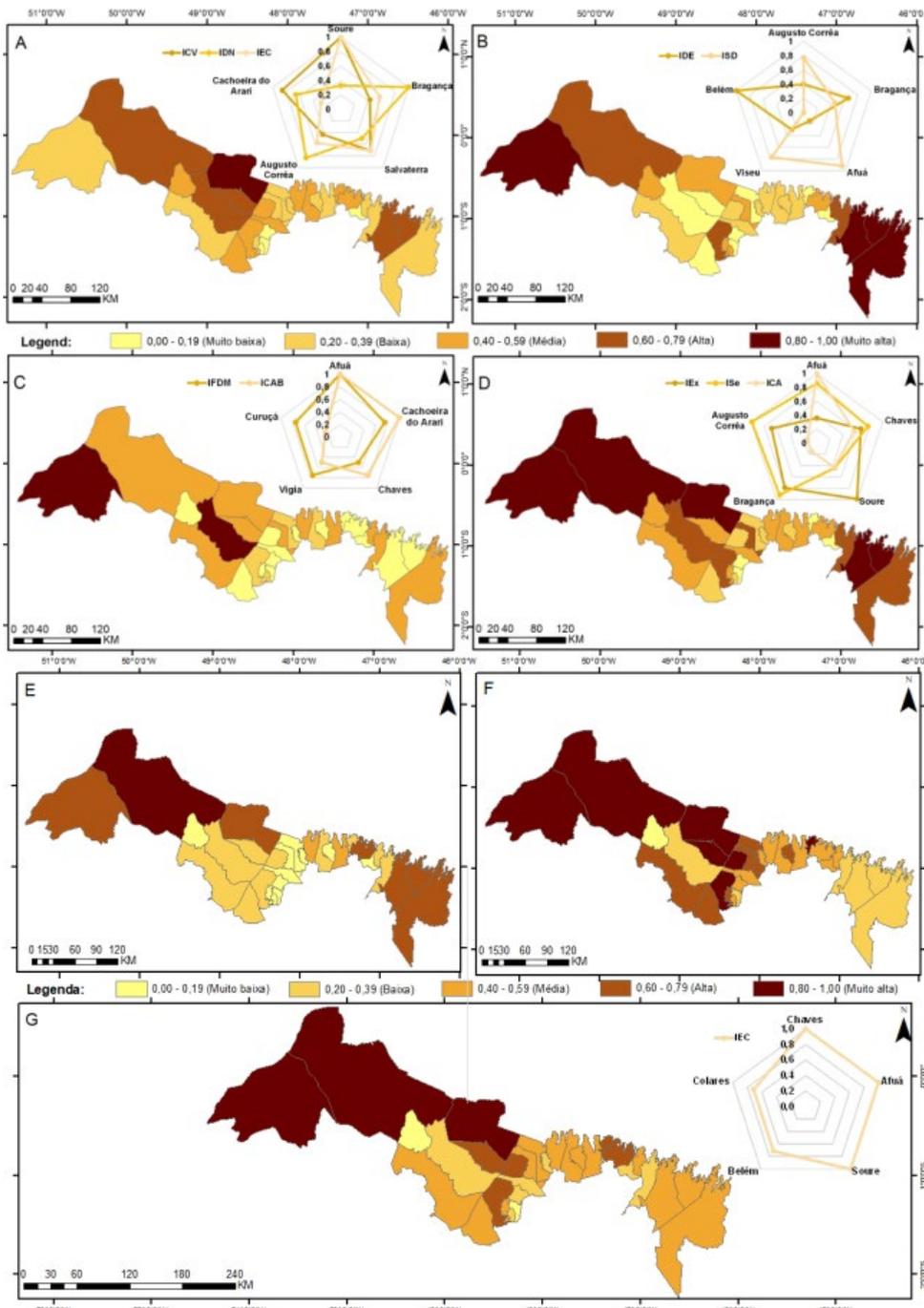
O IVG é o resultado dos subíndices de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa observados para a região costeira do estado do Pará. O Índice de Exposição (IEx) apresentou uma vulnerabilidade alta e muito alta ( $0,67 > 0,99$ ) nos municípios de Soure, Bragança, Salvaterra, Augusto Corrêa e Cachoeira do Arari (Figura 2A). Em Soure e Salvaterra os indicadores de cobertura vegetal ( $0,71 > 1$ ) e a exposição costeira ( $0,71 > 1$ ) caracterizam os municípios com vulnerabilidade alta e muito alta, respectivamente. Para Bragança e Augusto Corrêa a vulnerabilidade alta está atrelada aos indicadores de desastres naturais que apresentam os respectivos valores ( $0,83 > 1$ ). Em Cachoeira do Arari, o valor do indicador de cobertura vegetal ( $0,84$ ) está associado à alta vulnerabilidade do município (Figura 2A).

Quanto ao Índice de Sensibilidade (ISe) os municípios de Augusto Corrêa, Bragança, Afuá, Viseu e Belém apresentaram os maiores valores, elucidando uma vulnerabilidade alta e muito alta ( $0,78 > 0,99$ ) (Figura 2B). Os indicadores do índice sociodemográfico nos municípios de Augusto Corrêa ( $0,77$ ), Afuá ( $0,92$ ) e Viseu ( $0,77$ ) foram os principais responsáveis por elevar a vulnerabilidade, relacionados principalmente à expressiva quantidade de pessoas com economias inativas e analfabetas. Os maiores valores nos índices de doenças endêmicas foram encontrados para Bragança ( $0,66$ ) com dados de dengue e Belém ( $1$ ) com altos valores de leptospirose e esquistossomose elucidando maior vulnerabilidade a estes municípios (Figura 2B).

O Índice de Capacidade Adaptativa (ICA) que apresenta os valores dos Índice FIRJAN de desenvolvimento Municipal (IFDM) e Indicador de Cobertura de Atenção Básica (ICAB), apontou os municípios de Afuá, Cachoeira do Arari, Chaves, Vigia e Curuçá com os maiores valores ( $0,43 > 1$ ) elucidando uma vulnerabilidade média a muito alta (Figura 2C). Afuá apresentou os maiores valores para ambos índices ( $1$ ) demonstrando ser o município com menor possibilidade capacidade adaptativa. Cachoeira do Arari e Chaves referenciam os maiores (ICAB) ( $0,75 > 1$ ) e Vigia e Curuçá com maiores valores de (IFDM) ( $0,75$ ) ambos (Figura 2C).

O Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG) apresentou uma vulnerabilidade muita alta ( $0,82 > 1$ ) para os municípios de Afuá, Chaves, Soure, Bragança e Augusto Corrêa (Figura 2D). Em Afuá o índice de capacidade adaptativa ( $1$ ) foi mais elevado. Para Chaves, Bragança e Augusto Corrêa a vulnerabilidade muito alta está associada ao índice de sensibilidade com os valores de ( $0,78 - 0,92$  e  $0,99$ ) respectivamente. Em Soure foi o índice de exposição ( $0,99$ ) que caracterizou a vulnerabilidade municipal (Figura 2D).

Figura 2 – Mapa do: (A) Índice de Exposição, (B) Índice de Sensibilidade, (C) Índice de Capacidade Adaptativa, (D) Índice de Vulnerabilidade Geral, (E) Pesos da Extensão Costeira, (F) Peso da Distância da Costa para o Centro Urbano, (G) Índice de Exposição Costeira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Quando analisada a extensão costeira verificou-se alta vulnerabilidade ao município de Chaves com peso 5, compreendendo uma extensão > 283,87 Km de linha de costa. Os municípios de Afuá, Soure, Augusto Corrêa, Bragança e Viseu obtiveram peso 4 e com linhas costeiras entre 104 km e 127 km. (Figura 2E). Os municípios de Afuá, Belém, Chaves, Colares, Salinópolis, Salvaterra e Soure, apresentaram peso 5 para o distanciamento entre a linha de costa e o centro urbano, elucidando alta vulnerabilidade, seus valores foram menores que 0 km, deixando os aglomerados urbanos susceptíveis a aumento no nível do mar e a enchentes (Figura 2F).

Os mais vulneráveis quanto ao aumento do nível do mar, verificados pelo IEC foram três municípios da Ilha do Marajó (Chaves, Afuá e Soure) pois tiveram o IEC corresponde a 1 demonstrando vulnerabilidade muito alta, ambos apresentaram as maiores extensões costeira e as menores distâncias entre a linha de costa para os centros habitacionais e urbanos. Os municípios de Belém, Colares, Salinópolis e Salvaterra registraram índices com valores > 0,71 demonstrando alta vulnerabilidade (Figura 2G).

### Índice Climático – IC e o Índice de Vulnerabilidade Municipal – IVM

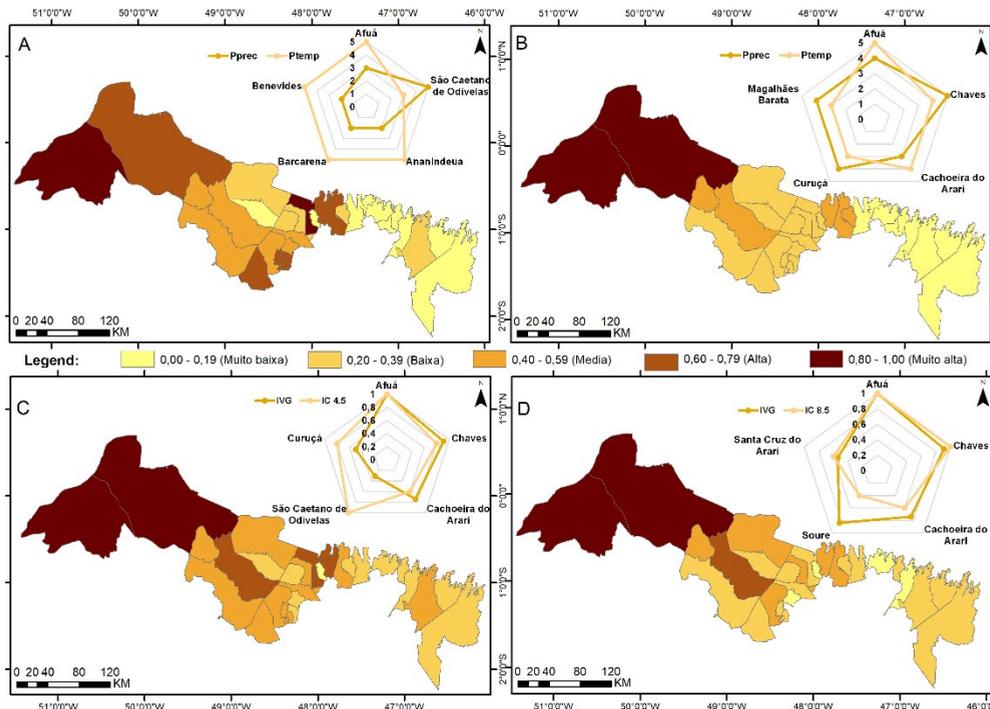
O Índice Climático (IC) é resultado das anomalias de precipitação e temperatura nos cenários 4.5 e 8.5 do RCP. Quando analisado o IC no cenário 4.5 verificou-se que os municípios de Afuá, São Caetano de Odivelas, Ananindeua, Barcarena e Benevides apresentaram uma vulnerabilidade muito alta ( $0,8 < 1$ ) (Figura 3A). As anomalias de temperatura com pesos de (5 e 3) foram os principais responsáveis pela alta vulnerabilidade nos municípios de Afuá ( $1,75C^{\circ}$ ), Ananindeua ( $1,74C^{\circ}$ ), Barcarena ( $1,78C^{\circ}$ ) e Benevides ( $1,75C^{\circ}$ ). Para São Caetano de Odivelas o peso da anomalia de precipitação (5) foi a principal responsável pelo aumento da vulnerabilidade com valores máximos de 1.208mm (Figura 3A).

O Índice Climático (IC) para o cenário 8.5 apresentou os municípios de Afuá, Chaves, Cachoeira do Arari, Curuçá e Magalhães Barata com vulnerabilidade média a muito alta ( $0,6 > 1$ ) (Figura 5B). As anomalias de precipitação com pesos (5 e 4) foram encontradas em Chaves (1004 mm), Curuçá (806 mm) e Magalhães Barata (791 mm), conferindo aos municípios a alta vulnerabilidade. Para Afuá ( $2,26C^{\circ}$ ) e Cachoeira do Arari ( $2,12C^{\circ}$ ) os pesos (5 e 4) das anomalias de temperatura foram determinantes nesse cenário para conferir a alta vulnerabilidade (Figura 3B).

O IVM é o resultado dos índices de vulnerabilidade geral (IVG) e do índice climático (IC), observados nos municípios costeiros do Pará, para os cenários 4.5 e 8.5 do RCP. No IVM, durante o cenário 4,5 (Figura 3C), os municípios de Afuá, Chaves, Cachoeira do Arari, São Caetano de Odivelas e Curuçá registraram uma vulnerabilidade média a muito alta ( $0,61 > 1$ ). Nos municípios de Afuá, Chaves, Cachoeira do Arari, o IVG foi quem elevou a vulnerabilidade com valores de  $1 - 0,91 - 0,74$  respectivamente. Para São Caetano de Odivelas e Curuçá o determinante foi o IC com valores de 1 e 0,8, respectivamente (Figura 3C).

Com relação ao IVM, durante o cenário 8.5, foram observados os municípios de Afuá, Chaves, Cachoeira do Arari, Soure e Santa Cruz do Arari com vulnerabilidade média (0,49 > 0,6) a muito alta (0,8 > 1) (Figura 3D). O município de Afuá apresentou alto valor (1) para os IVG e o IC 8.5. Quando analisados o IVG os municípios de Cachoeira do Arari e Soure obtiveram os valores de 0,74 e 0,84 respectivamente, ambos determinaram a vulnerabilidade nesse cenário. Os municípios de Chaves e Santa Cruz do Arari registraram média e alta vulnerabilidade por decorrência dos valores o IC.8.5 (0,6 e 1) (Figura 3D).

Figura 3 – Mapa do: (A) Índice Climático 4.5, (B) Índice Climático 8.5 (C) Índice de Vulnerabilidade Municipal 4.5, (D) Índice de Vulnerabilidade Municipal 8.5



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

## Discussão

Metodologias como o IVM tem sido utilizada pelos órgãos de pesquisa e administradores governamentais em vários municípios, regiões e estados brasileiros (CONFALONIERI et al., 2016; DARELA FILHO et al., 2016; DEBORTOLI et al., 2017), fornecendo uma base para a tomada de decisões, como parte das políticas públicas que visam a vulnerabilidade socioambiental a partir da perspectiva de mudanças climática. Todavia, o presente estudo apresenta uma nova abordagem da metodologia, aplicada pela

primeira vez aos municípios costeiros do estado do Pará, considerando variáveis adaptadas para a região. O IVM associa dois cenários esperados de mudança climática e destaca o município que será potencialmente mais afetado. A avaliação do IVM contribui para o planejamento e a priorização de estratégias de adaptação climática.

O estado atual da vulnerabilidade para os municípios costeiros do estado do Pará foi identificado pelas análises do IVM, elucidando que a região investigada é afetada por pressões naturais (extremos de precipitação e grande exposição marinha) indicadas pelos altos valores de índices encontrados. A exemplo disto verifica-se a crescente retirada da cobertura vegetal, aumento no número de desastres naturais, aumento de anomalias climática e os fatores sociais como: baixa escolaridade, aumento no número doenças endêmicas – Leptospirose e Dengue, e ausência de políticas e serviços públicos, resultando em impactos significativos e à progressiva degradação dos sistemas sociais e ambientais da região costeira. Estudos de Menezes et al. (2018), Santos et al. (2019) e Vommaro et al. (2020) asseguram que muitos municípios de estados brasileiros, apresentam realidades semelhantes em relação aos altos valores observados para os indicadores de vulnerabilidade citados, principalmente nos estados do Amazonas, Espírito Santo e Maranhão; assim estes indicadores podem também ser comparados a realidade dos municípios costeiros dos Pará.

No Índice de Exposição, o indicador de cobertura vegetal foi apontado como determinante para a alta e muito alta vulnerabilidade nos municípios da Ilha do Marajó (Soure, Salvaterra e Cachoeira do Arari), nesta região as principais atividades econômicas são o turismo, a pecuária bovina e bubalina e extrativismo vegetal (SOUZA, 2009), estas atividades podem estar interferindo no aumento do desflorestamento local e embora os municípios apresentem grandes áreas verdes, também são maiores em porção territorial o que eleva os pesos para este índice. Para achados de Santos et al. (2019) o baixo percentual de cobertura vegetal é também um fator agravante na vulnerabilidade dos municípios no norte do estado do Espírito Santo. A cobertura vegetal pode auxiliar na mensuração da vulnerabilidade, pois sua retirada e/ou ausência pode provocar inundações, deslizamento de terra e erosão costeira – em regiões litorâneas (DEBORTOLI et al., 2017), está é uma das variáveis utilizadas como indicador na equação apresentada por Leal Filho et al. (2018) na comparação de índice de vulnerabilidade costeira entre países.

O aspecto sociodemográfico é considerado um fator agravante à sensibilidade municipal, uma vez que populações socialmente marginalizadas (por ex. com baixa escolaridade/analfabeta, domiciliados com saneamento inadequado e população com economia inativa) encontrados em muitos municípios costeiros do estado do Pará (SILVA et al., 2018) têm maior dificuldade em se adaptar às mudanças climáticas (VOMMARO et al., 2020). Estudos de Menezes et al. (2018) e Vommaro et al. (2020) apresentam que o índice de pobreza é o principal indicador de sensibilidade que eleva a vulnerabilidade nos estados do Amazonas e Maranhão. Neste estudo o índice de pobreza foi atribuído ao indicador da população economicamente inativa, registrando os maiores valores nos municípios de Chaves, Colares, Viseu, Magalhães Barata e Augusto Corrêa.

O índice de capacidade adaptativa apresenta resultados mistos, elucidando que cada município possui características diferentes na capacidade de adaptação e na forma-

ção de resiliência. Verificou-se uma maior capacidade de adaptação em municípios mais populosos, próximos a Região Metropolitana de Belém (RMB) e situados no Nordeste paraense (Belém, Barcarena, Salinópolis e Ananindeua) que tendem a ter melhor acessibilidade, infraestrutura e economia mais desenvolvida em comparação aos municípios menos populosos, mais afastados da região metropolitana de Belém e situados na ilha do Marajó (Afuá, Chaves, Soure e Salvaterra). O estudo corrobora com os achados de Pereira e Vieira (2016) que consideram a importância das organizações institucionais, da infraestrutura e da formação de capital social econômica para o enfrentamento das mudanças climáticas.

Atualmente a Região metropolitana de Belém (RMB) se apresenta na 18<sup>o</sup> colocação de melhor IDH das regiões metropolitanas brasileiras (IDH, 2019). A oferta de serviços de saúde, educação e a economia baseada na prestação de serviços são os principais diferenciais de Belém e Ananindeua em relação aos demais municípios da RMB podendo favorecer para diminuir a vulnerabilidade social e humana da sociedade (LIMA; MOYSÉS, 2009; PNUD, 2019). Pesquisas de (MENEZES et al., 2018; SANTOS et al., 2019 e VOMMARO et al., 2020) utilizando metodologias semelhantes para a vulnerabilidade municipal apresentaram o Índice de Capacidade Adaptativa como um gargalo para adaptação local frente às mudanças do clima.

Analisando os cenários climáticos por meio da interpretação das anomalias observadas, as estimativas de ambos os cenários (4.5 e 8.5) apontam para uma tendência de aumento de temperatura (entre 1 °C e 3 °C) e redução da precipitação (entre 5% e 20%) para os municípios costeiros (CHOU et al. 2014; CPTEC, 2019). Essas tendências são semelhantes aos resultados encontrados nas pesquisas de (NOBRE et al., 2007; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2013; COSTA et al., 2019) para outras escalas. No cenário 4.5 os municípios do nordeste paraense (São Caetano de Odivelas, Ananindeua, Barcarena e Benevides) foram os mais vulneráveis às anomalias de precipitação e temperatura. Todavia no cenário 8.5 os municípios do Marajó (Afuá, Chaves e Cachoeira do Arari) serão os mais afetados pelas mudanças climáticas de temperatura e precipitação. Nesta perspectiva essa pesquisa traz informações preliminares a nível local sobre a vulnerabilidade socioambiental frente às mudanças climáticas para os municípios costeiros da Amazônia oriental.

Estudos de Szlafsztein (2003), Szlafsztein e Sterr (2007) sobre a vulnerabilidade em municípios costeiros do nordeste paraense indicam que Maracanã, Curuçá e Magalhães Barata apresentam alta e muito alta vulnerabilidade, quando investigados indicadores socioeconômicos: renda, educação economia e os naturais: topografia, cobertura vegetal, linha de costa etc., corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa. Todavia estes trabalhos não apresentam os municípios costeiros situados na ilha do Marajó. Os municípios de Afuá e Chaves apresentaram os maiores índices de vulnerabilidade, principalmente no que tange aos aspectos sociais: com alto percentual da população com baixa escolaridade; demográficos: elevado número de residências sem saneamento básico; e saúde: alto número de crianças que não deverão chegar a 1 ano de vida, estes resultados são similares aos de Crispim et al. (2016) para a região do Marajó e com os dados oficiais de Brasil (2007).

## Conclusões

O estudo apresentou uma tentativa pioneira de avaliação dos aspectos da vulnerabilidade socioambiental para os municípios costeiros do estado do Pará frente aos cenários de mudanças climáticas. As principais colaborações desta pesquisa são o desenvolvimento de um conjunto de indicadores adaptado à realidade dos municípios costeiros do Pará e o mapeamento da vulnerabilidade municipal a nível local a partir de uma perspectiva de mudanças do clima. Os resultados apontaram um primeiro passo no sentido de diminuir a vulnerabilidades dos municípios costeiros do Pará e tornar a população mais adaptadas para lidar com os impactos climáticos, a partir das seguidas medidas: fortalecer as condições de sensibilidade, melhorando as suas condições de vida, saúde e renda, pois o percentual com economia inativa e a mortalidade de crianças com menos de 1 ano de vida são os fatores que mais influenciaram a atual vulnerabilidade dos municípios.

A vulnerabilidade dos municípios costeiros do estado do Pará está principalmente atrelada às condições de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Os cenários climáticos de anomalias de precipitação e temperatura apontaram que as mudanças do clima serão um aporte para intensificar a vulnerabilidade local. O IVM para o cenário 4.5 apresentou que os municípios do Nordeste paraense - porção leste da área de estudo - estarão mais vulneráveis às mudanças climáticas. Em contrapartida, no outro cenário 8.5 os municípios da região da ilha do Marajó - porção oeste da área pesquisada - apresentaram as maiores tendências à vulnerabilidade às mudanças do clima.

A metodologia aplicada embasou-se na construção dos índices de vulnerabilidade, por meio da análise de cluster, padronização de variáveis e média aritmética. Esta metodologia é bastante utilizada em pesquisas de mensuração de vulnerabilidade. Atualmente softwares como o Sisvuclima, otimizam os cálculos apresentados neste trabalho, mas que ainda não estão amplamente disponíveis para utilização. Concordamos que a implementação de softwares - principalmente entre as instituições de ensino e pesquisas auxiliam na avaliação da vulnerabilidade e nas propostas de adaptação para os municípios brasileiros, tornando-se, portanto, necessária sua capilarização para os diversos níveis de governança relacionados às mudanças climáticas no Brasil.

Nesse contexto, o trabalho visou primeiramente colaborar com a literatura local sobre a vulnerabilidade socioambiental na perspectiva de mudanças climáticas, propondo a discussão e ampliação do tema, bem como o incentivo a futuras pesquisas com a utilização e o aperfeiçoamento do método proposto. Segundo, busca assessorar as gestões municipais permitindo o gerenciamento e a criação de um banco de dados sobre a atual e futura vulnerabilidade da sociedade frente às mudanças do clima. E por fim a aplicabilidade aos formuladores de políticas públicas, tentando a prevenção e minimização da vulnerabilidade socioambiental em nível local.

## Referências

- ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**. v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006.
- ALMEIDA, A. F.; JARDIM, M. A. G. Mudanças socioeconômicas e ambientais resultantes das políticas públicas de desenvolvimento socioeconômico no litoral do Nordeste do Pará, Brasil. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 49, p.108-127, 2018.
- AMANAJÁS, J.C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporais pluviométricos na Amazônia Oriental usando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012.
- ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; DA SILVA SILVEIRA, C.; DE SOUZA FILHO, F. D. A.; GUIMARÃES, S. O.; PORTO, V. C. análise das projeções de precipitação e temperatura do ipcc-ar5 para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 para o século XXI para a Amazônia. 2013
- BARATA, M. M. L., CONFALONIERI, U. E. C., LIMA, A. C. L., MARINHO, D. P., LUIGI, G., SIMONE, G. C., SILVA, H. V. Mapa de vulnerabilidade da população do Estado do Rio de Janeiro aos impactos das mudanças climáticas nas áreas social, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Fiocruz. fev.2011.162p.
- BESSAT, F. A mudança climática entre ciência, desafios e decisões: olhar geográfico. **Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 11-26, 2015.
- BLAIKIE, P. et al. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. Routledge, 2005.
- BRASIL. Governo Federal. **Plano de Desenvolvimento Territorial Sustentável do Arquipélago do Marajó**. 2007. 313p. Disponível em [http://bvsm.sau.gov.br/bvsm/publicacoes/plano\\_de\\_senv\\_arquipelago\\_marajo.pdf](http://bvsm.sau.gov.br/bvsm/publicacoes/plano_de_senv_arquipelago_marajo.pdf). Acesso em: 27 maio 2020.
- CEPED, Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e defesa civil. **Atlas Brasileiro de Desastres naturais**. Santa Catarina. Acesso <http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012> em 31 de agosto 2019.
- CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I., GOMES, J.; CAMPOS, D. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v.3, n.05, p. 512, 2014.
- CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil, **Terra livre**, v. 1, n. 20, p. 193-204, 2015.
- CONFALONIERI, U.E.C. et al. Modelo Conceitual para Avaliação Municipal da Vulnerabilidade Humana à Mudança do Clima no Brasil: Contribuição da Fiocruz ao Plano Nacional de Adaptação. **Sumário Metodológico**. Belo Horizonte 2016. 28p. Disponível em: <http://www.sisvuclima.com.br/sobre/>. Acesso em 25 de maio de 2020.
- CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 70-75, 2005.

COSTA, C. P. W.; DE SOUZA, E. B.; ALVES, L. M.; MEIRA FILHO, L. G.; DA SILVA FERREIRA, D. B.; KUHN, P. A. F.; SODRÉ, G. R. C. Avaliação de simulação histórica da precipitação e temperatura na Amazônia oriental utilizando um modelo de alta resolução. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Cenários Climáticos**. Acesso: <https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard> em 10 agosto 2019.

CRISPIM, D. L., RODRIGUES, R. S. S., DE ABREU VIEIRA, A. S., DE OLIVEIRA SILVEIRA, R. N. P., FERNANDES, L. L. Espacialização da cobertura do serviço de saneamento básico e do índice de desenvolvimento humano dos municípios do Marajó, Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n.4, p. 112-122, 2016.

DANTAS, M. E., SHINZATO, E., BRANDÃO, R. D. L., FREITAS, L. C. B., TEIXEIRA, W. G. Origem das paisagens. **Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE)**. 2014.

DARELA FILHO, J. P., LAPOLA, D. M., TORRES, R. R., LEMOS, M. C. Socio-climatic hotspots in Brazil: how do changes driven by the new set of IPCC climatic projections affect their relevance for policy?. **Climatic change**, v. 136, n.3-4, p.413-425, 2016.

DEBORTOLI, N. S., CAMARINHA, P. I. M., MARENGO, J. A., RODRIGUES, R. R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Natural hazards**, v.86, n.2, p.557-582, 2017.

ESPIRITO-SANTO, C. M.; SZLAFSZTEIN, C. F. Gestão de risco de desastres em planos diretores de três municípios da zona costeira do estado do Pará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 16, n. 2, p. 223-229, 2016.

FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz. Manual Sistema de Vulnerabilidade Climática, **Sisvuclima**. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. Acessado <http://www.sisvuclima.com.br/> em 25/10/2019.

FREITAS, M. I. C; CUNHA, L. Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, p. 15-31, 2013.

GUPTA, A. K.; NEGI, M.; NANDY, S.; KUMAR, M.; SINGH, V.; VALENTE, D.; PANDEY, R. Mapping socio-environmental vulnerability to climate change in different altitude zones in the Indian Himalayas. **Ecological Indicators**, v.109, p.105787, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed., Rio de Janeiro, 175 p. 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed., Rio de Janeiro, 271 p. 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas populacionais dos municípios**. Disponível <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 29 de novembro de 2019.

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano municipal. Disponível em <https://www.firjan.com.br/ifdm/>. Acessado em 05/03/2019

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. “Intergovernmental Panel on Climate Change,” in *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, R. K. Pachauri and L. A. Meyer, Eds., IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>, 2014.

IWAMA, A. Y.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, L. D. C. Riscos geotécnicos e vulnerabilidade social em zonas costeiras: desigualdades e mudanças climáticas. **Ambiente & Sociedade**, v.17, n.4, p.251-274, 2014.

LIMA, J.; MOYSÉS, A. (Org.). *Como andam Belém e Goiânia*. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles, v. 11, 2009.

LEAL FILHO, W., MODESTO, F., NAGY, G. J., SAROAR, M., YANNICKTOAMUKUM, N., HA'APIO, M. Fostering coastal resilience to climate change vulnerability in Bangladesh, Brazil, Cameroon and Uruguay: a cross-country comparison. **Mitigation and adaptation strategies for global change**, v.23, n.4, p.579-602, 2018.

MAIOR, M. M. S.; CÂNDIDO, G. A. Avaliação das metodologias brasileiras de vulnerabilidade socioambiental como decorrência da problemática urbana no Brasil. **Caderno Metropolitano**, v. 16, n. 31, p. 241-264, 2014.

MAVROMATIDI, A., BRICHE, E., CLAEYS, C. Mapping and analyzing socio-environmental vulnerability to coastal hazards induced by climate change: An application to coastal Mediterranean cities in France. **Cities**, v. 72, p.189-200, 2018.

MAPBIOMAS. Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/estatisticas>. Acesso em 25 de março de 2019.

MENEZES, J. A., CONFALONIERI, U., MADUREIRA, A. P., DUVAL, I. D. B., SANTOS, R. B. D., MARGONARI, C. Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: the construction of a municipal vulnerability index. **PloS one**, v.13, n.2, 2018.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Municípios costeiros do Estado do Pará**. Disponível em <https://www.mma.gov.br/informma/item/10592-lista-munic%C3%ADpios-da-zona-costeira.html> Acesso em: 20 janeiro 2020.

NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 217-296, 2010.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

O'BRIEN, K. A. R. E. N., ERIKSEN, S., NYGAARD, L. P., SCHJOLDEN, A. N. E. Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. **Climate policy**, v.7, n.1, p.

73-88, 2011

OJIMA, R.; MARANDOLA JR, E. **Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social.** Editora Blucher, 2013.

PBMC, Política Brasileira de Mudanças Climática. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6, 2016.

PEREIRA, F. S.; VIEIRA, I. C. G. Expansão urbana da Região Metropolitana de Belém sob a ótica de um sistema de índices de sustentabilidade. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 3, p. 731-744, 2016.

PEREIRA, L. C. C. DIAS, J. A., DO CARMO, J. A., POLETTE, M. A zona costeira amazônica brasileira. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 9, n. 2, p. 3-7, 2009.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil.** Acesso PNUD <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010> em 20/11/2019.

QUINTÃO, A. F.; BRITO, I.; OLIVEIRA, F.; MADUREIRA, A. P.; CONFALONIERI, U. Social, Environmental, and Health Vulnerability to Climate Change: The Case of the Municipalities of Minas Gerais, Brazil. **Journal of environmental and public health**, 2017.

RIBEIRO, W. C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 297-322, 2010.

RODRIGUES, J. C.; CASTRO, E. M. R. Companhia Docas do Pará (CDP): plataforma logística do capital internacional na Amazônia Oriental. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v.20, p.1-14, 2013.

SANTOS, M. R., VITORINO, M. I., DA SILVA PIMENTEL, M. A. Vulnerabilidade e mudanças climáticas: análise socioambiental em uma mesorregião da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v.12, n.5, p. p. 842-854, 2017.

SANTOS, R. B. D., MENEZES, J. A., CONFALONIERI, U., MADUREIRA, A. P., DUVAL, I. D. B., GARCIA, P. P., MARGONARI, C. Construção e aplicação de um índice de vulnerabilidade humana à mudança do clima para o contexto brasileiro: a experiência do estado do Espírito Santo. **Saúde e Sociedade**, v. 28, p. 299-321, 2019.

SCHUMANN, L. R. M. A.; MOURA, L. B. A. Índices sintéticos de vulnerabilidade: uma revisão integrativa de literatura. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.20, p.2105-2120, 2015.

SILVA SANTOS, M. R. VITORINO, M. I., BRAGA, C. C., DE OLIVEIRA SOUTO, J. I., DO NASCIMENTO MOURA, M., JÚNIOR, P. P. F. Padrões de precipitação mensal na mesorregião metropolitana de Belém: uso do CMORPH e componentes principais. **Revista Brasileira de**

**Geografia Física**, v.9, n.7. p,2301-2311, 2016.

SILVA, D. F.; DA COSTA, G. G. G.; LOPES, M. D. S. B.; LOPES, D. F.; DE OLIVEIRA CUNHA, M. V. P. Análise da relação entre esgotamento sanitário, idh e mortalidade infantil no estado do Pará. **Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação**, p. 23, 2018.

SOUZA FILHO, P. Impactos naturais e antrópicos na planície costeira de Bragança (NE do Pará). *Ecosistemas Costeiros, Impactos e gestão ambiental*. MPEG, Belém, p. 113-125, 2001.

SOUZA, E. B., DA SILVA FERREIRA, D. B., GUIMARÃES, J. T. F., DOS SANTOS FRANCO, V., DE AZEVEDO, F. T. M., DE MORAES, B. C. (2017). Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 81 -93, 2017.

SOUZA, L.S.B.; ROSSETTI, D.F.; ELIS, W.R. Sondagem elétrica vertical na ilha de Marajó. Em: *Simp. de Geol. Amaz.*, 9, Manaus. CD-ROM: Questões técnicas e científicas (geofísica, sensoria-mento remoto / SIG). (Em português), 2009.

SZLAFSZTEIN, C. F. Vulnerability and response measures to natural hazard and sea level rise im-pacts: long-term coastal zone management, NE of the State of Pará, Brazil. **Tese de Doutorado**. Christian-Albrechts Universität Kiel. 2003.

SZLAFSZTEIN, C.; STERR, H. A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazard, state of Pará, Brazil. **Journal of Coastal Conservation**. v.11, n.1, p, 53-66, 2007.

SZLAFSZTEIN, C.; STERR, H. Coastal zone management tool: a GIS-based vulnerability as-sessment to natural hazards. In: Saint Paul, U.; Schneider, H. (Orgs.), *Mangrove dynamics and management in North Brazil*, Berlin: Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 2010.

TIBÚRCIO, L. H.; CORRÊA, M. D. P. Análise da vulnerabilidade da microrregião de Itajubá por meio do IVG com vistas à mitigação dos impactos causados pelas mudanças climáticas. **Ambi-ente e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 123-139, 2012.

VOMMARO, F.; MENEZES, J. A.; DE LIMA BARATA, M. Contributions of municipal vulner-ability map of the population of the state of Maranhão (Brazil) to the sustainable development goals. **Science of The Total Environment**, v. 706, p. 134629, 2020.

WANG, H.; SONG, M. CKmeans.1d.dp: Optimal k-means clustering in one dimension by dy-namic programming. **The R. Journal**, Ohio, v. 3, n. 2, p. 29-33, 2011.

ZANELLA, M. E., OLÍMPIO, J. L., COSTA, M. C. L., DANTAS, E. W. C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. **Sociedade & Natureza**, v.25, n.2, p.317-331, 2013.

ZANETTI, V. B., DE SOUSA JUNIOR, W. C., DE FREITAS, D. M. A climate change vulner-ability index and case study in a Brazilian coastal city. **Sustainability**, v.8, n.8, p. 811, 2016.

**Marcos Ronielly da Silva Santos**

✉ [mronielly.mr@gmail.com](mailto:mronielly.mr@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1959-1424>

Submetido em: 10/07/2020

Aceito em: 08/03/2021

2021;24e:01671

**Maria Isabel Vitorino**

✉ [vitorino.ufpa@gmail.com](mailto:vitorino.ufpa@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-5301>

**Luci Cajueiro Carneiro Pereira**

✉ [luciccp17@gmail.com](mailto:luciccp17@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3494-3248>

**Maria Aparecida da Silva Pimentel**

✉ [mapimentel@ufpa.br](mailto:mapimentel@ufpa.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9893-9777>

**Ana Flávia Quintão**

✉ [anaflaviaqf@gmail.com](mailto:anaflaviaqf@gmail.com)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0882-2151>

**Como citar:** SANTOS, M.R.S.; VITORINO, M.I; PEREIRA, L.C.C.; PIMENTEL, M.A.S.; QUINTÃO, A.F. Vulnerabilidade Socioambiental às Mudanças Climáticas: Condições dos Municípios Costeiros no Estado do Pará. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 24, p. 1-22, 2021.

# Vulnerabilidad Socio-Ambiental al Cambio Climático: Condiciones en Los Municipios Costeros Del Estado de Pará

Marcos Ronielly da Silva Santos  
Maria Isabel Vitorino  
Luci Cajueiro Carneiro Pereira  
Marcia Aparecida da Silva Pimentel  
Ana Flávia Quintão

São Paulo. Vol. 24, 2021

*Artículo original*

**Resumen:** Texto do resumo em espanhol. El estudio analiza la vulnerabilidad de los municipios costeros del estado de Pará, a partir de la integración de indicadores socioeconómicos, epidemiológicos y climáticos. Los datos se combinaron con los escenarios climáticos Vía de Concentración Representativa (RCP) 4,5 y 8,5, basados en el Índice de Vulnerabilidad Municipal (IVM). Los resultados mostraron que el Índice de Sensibilidad (ISe) y el Índice Sociodemográfico (ISd) señalaron la mayor influencia en la vulnerabilidad actual de los municipios. Al relacionar la vulnerabilidad actual con las proyecciones futuras de cambio climático se verificó que los municipios más vulnerables se encuentran en la región de la Isla de Marajó - al oeste del área de estudio, donde el IVM varía entre 1 (Afuá) y 0,55 (Soure) para los escenarios 4,5 y 8,5, respectivamente. Se cree que estos resultados pueden contribuir a la adopción efectiva de políticas públicas, priorizando los municipios más vulnerables y preparándolos para hacer frente a los aspectos adversos del cambio climático.

**Palabras-clave:** Clima; Riesgos; Socioambiente; Región Costera; Pará.

**Como citar:** SANTOS, M.R.S; VITORINO, M.I; PEREIRA, L.C.C; PIMENTEL, M.A.S; QUINTÃO, A.F. Vulnerabilidad Socio-Ambiental al Cambio Climático: Condiciones en Los Municipios Costeros Del Estado de Pará. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 24, p. 1-22, 2021.

# Socio-environmental Vulnerability to Climate Change: Conditions of Coastal Municipalities in the State of Pará

Marcos Ronielly da Silva Santos  
Maria Isabel Vitorino  
Luci Cajueiro Carneiro Pereira  
Marcia Aparecida da Silva Pimentel  
Ana Flávia Quintão

São Paulo. Vol. 24, 2021  
*Original Article*

**Abstract:** The study analyzes the vulnerability of coastal municipalities of the state of Pará, based on the integration of socioeconomic, epidemiological, and climatic indicators. The data were combined with Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 and 8.5 climate scenarios, based on the Municipal Vulnerability Index (IVM). The results showed that the Sensitivity Index (ISe) and the Sociodemographic Index (ISd) pointed out the greatest influence on the current vulnerability of the municipalities. When current vulnerability was related to future projections of climate change it was verified that the most vulnerable municipalities are in the region of Ilha do Marajó - west of the study area, where the IVM varies between 1 (Afuá) and 0.55 (Soure) for scenarios 4.5 and 8.5, respectively. It is believed that these results can contribute to the effective adoption of public policies, prioritizing the most vulnerable municipalities and preparing them to deal with the adverse aspects of climate change.

**Keywords:** Environmental policies; green areas; urbanization; urban biota.

**How to cite:** SANTOS, M.R.S; VITORINO, M.I.V; PEREIRA, L.C.C; ZQUINTÃO, A.F. Socio-environmental Vulnerability to Climate Change: Conditions of Coastal Municipalities in the State of Pará. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 24, p. 1-22, 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200167r1vu2021L3AO>