



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 12, nº 1 (2026)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2026v12n1ID37427>



## **Vulnerabilidade socioambiental a inundações com inclusão de fatores tecnológicos: Casos de Bezerros, Caruaru, Escada e Sanharó, em Pernambuco.**

### ***Socio-environmental Vulnerability to Floods Including Technological Factors: Cases from Bezerros, Caruaru, Escada, and Sanharó - Pernambuco, Brazil.***

**Anelise Martins de Azevedo<sup>1</sup>; Mauro Normando Macedo Barros Filho<sup>2</sup>; Iana Alexandra Alves Rufino<sup>3</sup>; Beatriz Pessoa de Souza<sup>4</sup>; Mateus Valdevino de Siqueira<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECA, Campina Grande/PB, Brasil. Email: [eng.aneliseazevedo@gmail.com](mailto:eng.aneliseazevedo@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1005-3176>;

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), PPGECA, Campina Grande/PB, Brasil. Email: [mbarrosfilho@gmail.com](mailto:mbarrosfilho@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9811-8327>;

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), PPGECA, Campina Grande/PB, Brasil. Email: [iana.alexandra@ufcg.edu.br](mailto:iana.alexandra@ufcg.edu.br) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-4647>;

<sup>4</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), PPAD/UFRPE, Recife/PE, Brasil. Email: [beatrizpsouzaa@gmail.com](mailto:beatrizpsouzaa@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7590-6140>;

<sup>5</sup> Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) – Pesqueira/PE, Brasil. Email: [mateusengh@gmail.com](mailto:mateusengh@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5334-5585>;

**Resumo:** Inundações estão entre os desastres hidrológicos mais frequentes no Brasil e afetam diversos municípios em Pernambuco. Diversos eventos ocorreram, especialmente, após os anos 2000 e, devido a mudanças climáticas experimentadas em todo mundo, sua frequência e intensidade podem crescer. Embora de origem natural, as consequências desse fenômeno variam conforme a vulnerabilidade das comunidades. Desta forma, este artigo analisou a vulnerabilidade socioambiental a inundações em quatro municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ipojuca: Bezerros, Caruaru, Escada e Sanharó. A metodologia envolveu três etapas básicas: identificação de variáveis; proposição de indicadores sociais, ambientais e tecnológicos; e cálculo do índice de vulnerabilidade socioambiental com e sem a inclusão de fatores tecnológicos, por meio de um modelo de análise espacial. Os resultados demonstraram que as áreas com maior vulnerabilidade estão localizadas em zonas urbanas densamente povoadas e próximas a elas, e que a falta de infraestrutura acentua esta fragilidade. A inclusão de fatores tecnológicos na análise de vulnerabilidade a inundações oferece uma compreensão abrangente e pode orientar políticas públicas voltadas para redução da vulnerabilidade em áreas críticas.

**Palavras-chave:** Desastres hidrológicos; Mudanças climáticas; Sustentabilidade.

**Abstract:** Floods are among the most frequent hydrological disasters in Brazil and affect several municipalities in the state of Pernambuco. Numerous events have occurred, particularly since the 2000s, and due to climate changes experienced worldwide, their frequency and intensity may increase. Although of natural origin, the consequences of this phenomenon vary according to the vulnerability of the communities. In this context, this study analyzed socio-environmental vulnerability to floods in four municipalities located in the Ipojuca River basin: Bezerros, Caruaru, Escada, and Sanharó. The methodology involved three main stages: identification of variables; development of social, environmental, and technological indicators; and calculation of the socio-environmental vulnerability index (IVS) with and without the inclusion of technological factors, using a spatial analysis model. The results showed that the areas with the highest vulnerability are located in densely populated urban zones and their surroundings, and that the lack of infrastructure intensifies this fragility. The inclusion of technological factors in flood vulnerability analysis provides a more comprehensive understanding and can support public policies aimed at reducing vulnerability in critical areas.

**Keywords:** Hydrological disasters; Climate change; Sustainability.

Recebido: 25/08/2024; Aceito: 25/08/2024; Publicado: 20/03/2026.

## 1 Introdução

As inundações estão entre os desastres que mais ocorrem e causam danos no Brasil. Embora relacionados a fatores naturais, diversos elementos são apontados como agravantes dos impactos desses eventos, tais como: o uso descontrolado da terra, a rápida urbanização, a degradação ambiental e o agravamento das condições de pobreza (Tasantb, 2019). Estas condições, aliadas a riscos naturais, influenciam na capacidade de prevenção, enfrentamento e recuperação frente ao desastre, tornando áreas de concentração urbanas vulneráveis a condições hidrológicas extremas (Cho; Chang, 2017).

O relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) aponta que, até 2050, 68% da população mundial poderá ser urbana e mais pessoas deixarão suas casas devido a desastres relacionados ao clima, especialmente inundações. Desta forma, o conceito de vulnerabilidade tem sido significativo e urgente para gestão de desastres e mudanças climáticas, pois fornece ferramentas de análise de riscos, impotência e marginalidade dos sistemas físicos e sociais, contribuindo para reduzir os danos e melhorar a qualidade de vida da população (Cho; Chang, 2017).

Embora esta seja uma questão global, as diferentes características de cada população vão influenciar o quanto ela estará vulnerável. Desta forma, o encontro de um evento adverso com um ecossistema mais vulnerável, irá gerar impactos mais severos (Freire; Bonfim; Natenzon, 2014). Além das questões ambientais e climatológicas, a carência de infraestrutura, as baixas condições econômicas e sociais, a falta de políticas públicas ou a não aplicação da legislação ambiental e urbana, e seu processo de urbanização também influenciam nos impactos gerados (Fragoso; Silva, 2019).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2007) apresentou o conceito de vulnerabilidade como função da exposição, sensibilidade e adaptabilidade. Essa estrutura possibilita, ao mesmo tempo, a padronização e a adoção de diferentes indicadores e variáveis para analisar as características de cada região. Tal conceito multidimensional tem sido adotado por diversos estudos estudos (Aktar et al., 2021; Chang et al., 2021a; Cho; Chang, 2017; Hamstead; Sauer, 2021; Turner et al., 2003) para integrar contextos socioeconômicos, demográficos, físicos, naturais, culturais e institucionais das populações (Adeleye et al., 2019; Freire; Bonfim; Natenzon, 2014; Guimarães et al., 2014; Hamidi et al., 2020; Salami; Von Meding; Giggins, 2017).

A exposição tem relação com o risco experimentado pela sociedade e pode ser expressa pela quantidade de indivíduos ou estruturas expostas, para isso devem ser considerados sua localização e condições físicas e temporais (Andrade; Szlafsztain, 2018). A sensibilidade diz respeito a como é provável que a comunidade seja afetada, e está relacionada com suas características internas, como fatores socioeconômicos. E a capacidade de adaptação ou adaptabilidade é o potencial de ajuste sob a influência do perigo para reduzir seus impactos, também entendida como resiliência (Chang et al., 2021a; Hamidi et al., 2020).

Sendo assim, a vulnerabilidade inclui aspectos multilaterais em suas dimensões e não deve ser estudada isolada de aspectos socioeconômicos e ambientais (Cho; Chang, 2017). Para uma melhor avaliação, é importante agregar a este conceito os aspectos tecnológicos que podem colaborar para aumentar ou diminuir a vulnerabilidade (Markolf et al., 2018). Estudos apontam a importância de incluir os aspectos tecnológicos, ainda que haja dificuldade para identificar e mensurar

esses fatores, entendendo a sociedade e a tecnologia como mutuamente constitutivas (Andrade; Szlafsztein, 2018; Grabowski et al., 2017).

Ainda assim, poucos estudos consideram os domínios social, ambiental e tecnológico, de forma descompactada e integrada, o que ajudaria a identificar efetivamente os fatores interseccionais de vulnerabilidade (Sauer et al., 2023) e, desta forma, colaborar para a formulação de políticas e ações interdisciplinares que façam frente ao desafio de forma eficaz, realista e sistêmica. Esta avaliação da vulnerabilidade é crucial para entender como diferentes comunidades ou setores, que são sistemas complexos e integrados, serão impactados pelos eventos extremos de inundações (Kim et al., 2021).

Em Pernambuco, algumas regiões, como Mata Sul e Agreste, sofreram com a intensificação de enchentes e inundações no período de 2000 a 2010 (Fragoso; Silva, 2019; Silva, 2019). Na década seguinte, de 2010 a 2020, outras catástrofes atingiram a região deixando diversos municípios em situação de emergência ou calamidade pública (Ferraz, 2019). Os eventos de maiores proporções aconteceram em 2000, 2004, 2005, 2010, 2011, 2017 e 2020 (Silva, 2019), afetando vários municípios, dentre eles: Bezerros, Caruaru, Escada e Sanharó. Neste contexto, este estudo propõe analisar a vulnerabilidade socioambiental a inundações com a inclusão de fatores tecnológicos para esses quatro municípios inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca (BHRI).

## 2 Área de estudo

Os municípios analisados foram definidos com base na ocorrência de inundações desde o ano 2000; na classificação de vulnerabilidade à inundação da Agência Nacional de Águas (ANA); e nas unidades de análise descrita no Plano HidroAmbiental (PHA) da BHRI, sendo um município de cada uma dessas unidades (Quadro 1). Os critérios climáticos, ambientais e de exposição ao risco permitem uma análise mais completa da vulnerabilidade socioambiental à inundação.

*Quadro 1 – Municípios definidos para o estudo e critérios utilizados.*

<b>Municípios definidos para o estudo e critérios utilizados.</b>			
<b>Município</b>	<b>Unidade de análise (PERH, 2010)</b>	<b>Classificação de vulnerabilidade (ANA, 2014)</b>	<b>Eventos de inundação (2000-2022)</b>
Bezerros	UA 3	Média	2000, 2010, 2018
Caruaru	UA 2	Média	2004, 2009, 2011, 2017, 2020
Escada	UA 4	Alta	2005, 2010, 2011, 2017
Sanharó	UA 1	Baixa	2019, 2020, 2021

*Fonte: Autora (2024).*

Bezerros, Caruaru, Escada e Sanharó (Figura 1) fazem parte da BHRI e possuem diferentes características sociais, econômicas, ambientais e climáticas. Dessa forma, torna-se possível realizar uma análise em diferentes níveis em relação aos fatores e ao seu impacto sobre a vulnerabilidade. A BHRI tem formato alongado com 3.435 Km de extensão e área de 3.587,24 km<sup>2</sup> (Pernambuco, 2022). Devido a sua grande extensão, atravessa as regiões do Sertão, Agreste, Mata e Litoral (CONDEPE/FIDEM, 2005). Por isso, sua característica climática é considerada intermediária, com cidades que apresentam clima úmido, como na Zona da Mata, e clima quente e seco, no Agreste e Sertão.

Bezerros está localizado na região Agreste de Pernambuco, com uma população de 61.694 mil habitantes (IBGE, 2022). Caruaru é um dos municípios mais importantes da região Agreste de Pernambuco, com uma população de aproximadamente 380 mil habitantes (IBGE, 2022). Sua área de 921,2 km<sup>2</sup> é marcada pela presença de serras, vales e rios, o que o torna suscetível a eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e inundações (CPRM, 2005).

Escada é um município localizado na região da Mata Sul de Pernambuco, com uma área de cerca de 470 km<sup>2</sup> e população de aproximadamente 60 mil habitantes (IBGE, 2022). A Mata Sul de Pernambuco é uma região sujeita a eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e enchentes (Fragoso; Silva, 2019). Sanharó é um município localizado na região Agreste do estado de Pernambuco, com uma população de 18.624 mil habitantes (IBGE, 2022). Os quatro municípios da pesquisa fazem parte dos municípios monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

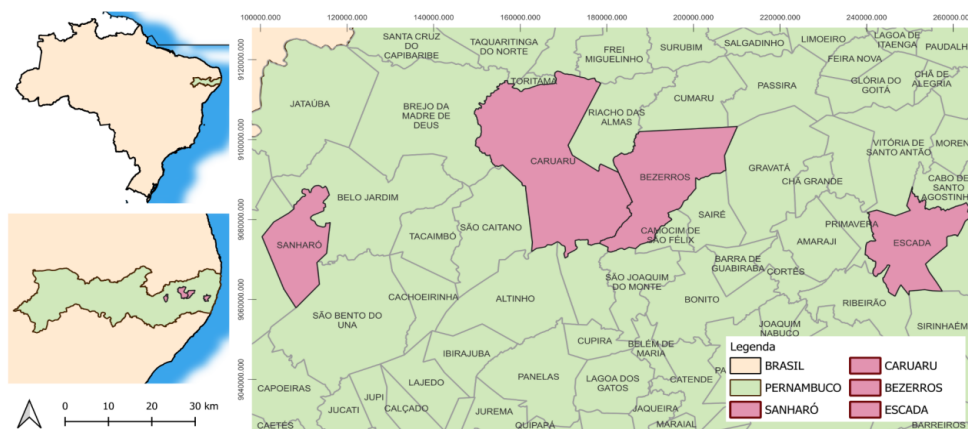
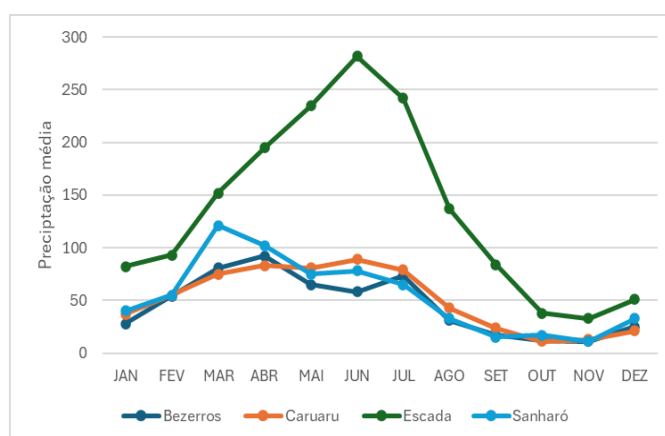


Figura 1: Mapa de localização dos municípios do estudo. Fonte: Autora (2024).

Em 2023, os municípios de Sanharó, Caruaru, Bezerros e Escada apresentaram um aumento no volume acumulado de chuvas. Em março deste ano, o volume de chuvas ultrapassou os 100 mm para o município de Sanharó. Esse comportamento foi repetido em Escada, porém os índices se mantiveram acima dos 100 mm e continuaram crescendo até o mês de setembro de 2023, tendo seu maior valor em julho que acumulou aproximadamente 300 mm de chuvas (Gráfico 1). Este cenário de variação climática, chuvas isoladas e volume acumulado acima da média mensal, desempenha um papel fundamental na ocorrência de inundações e desastres.



---

Gráfico 1: Precipitação acumulada mensal do ano de 2023. Fonte: Autora (2024)<sup>1</sup>.

### 3 Metodologia

#### 3.1 Indicadores de vulnerabilidade

Esta pesquisa propõe um conjunto de indicadores sociais, ambientais e tecnológicos com base em três dimensões da vulnerabilidade: exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação. As variáveis escolhidas para compor os indicadores sociais foram obtidas a partir de dados do Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de setor censitário. Para as variáveis ambientais, os dados foram obtidos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). E as variáveis tecnológicas foram obtidas da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas (INEP) e do Ministério dos Transportes e da Saúde.

As variáveis sociais passaram por normalização por meio do escalonamento linear mínimo-máximo, semelhante ao trabalho de Chang *et al.* (2021a) e Hamidi *et al.* (2020) que gerou valores entre zero e um. A operação consistiu em subtrair o mínimo valor da variável de seu valor real, quando esta aumenta a vulnerabilidade (Equação 1), e subtrair o valor máximo do valor real da variável (Equação 2), quando esta diminui a vulnerabilidade.

$$V_i = \frac{X_i - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad [1]$$

$$V_i = \frac{X_{imax} - X_i}{X_{imax} - X_{imin}} \quad [2]$$

Sendo  $X_i$ , o indicador,  $V_i$  o valor normalizado e  $X_{imax}$  e  $X_{imin}$  os valores máximo e mínimo do indicador, respectivamente. Os valores resultantes, que variam entre 0 e 1, foram divididos em 5 classes de intervalos iguais que receberam valores de 1 a 5 para representar o grau de exposição, sensibilidade ou capacidade de adaptação (Quadro 2). As variáveis ambientais e tecnológicas seguiram um processo semelhante de classificação, com atribuição de notas de 1 a 5 a suas classes (Quadro 3).

Vale ressaltar que para as variáveis de capacidade de adaptação, o grau 5 representa a classe com muito alta capacidade de adaptação, sendo a melhor situação, enquanto o valor 1, a classe de muito baixa capacidade de adaptação, portanto a pior situação.

---

<sup>1</sup> Com dados extraídos do site da APAC - Climatologia – Precipitação média por município. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/193-climatologia/521-climatologia-por-municipio>. Acesso em: 01/08/2024.

Quadro 2: Normalização e Classificação das variáveis sociais.

Normalização e Classificação das variáveis sociais		
Valor normalizado	Peso	Grau
0	1	Muito baixo
0.25	2	Baixo
0.50	3	Moderado
0.75	4	Alto
1	5	Muito Alto

Fonte: Autora (2024).

Quadro 3 – Normalização e Classificação das variáveis ambientais e tecnológicas.

Normalização e Classificação das variáveis ambientais e tecnológicas.			
Variável	Classes	Peso	Grau
Precipitação	800 a 1100 mm	1	Muito Baixo
	1100 a 1400 mm	2	Baixo
	1400 a 1700 mm	3	Moderado
	1700 a 2000 mm	4	Alto
	> 2000 mm	5	Muito Alto
Distância de Recursos Hídricos	> 400 m	1	Muito Baixo
	400 m	2	Baixo
	300 m	3	Moderado
	200 m	4	Alto
	100 m	5	Muito Alto
Declividade	> 20%	1	Muito Baixo
	8 - 20%	3	Moderado
	0 - 8%	5	Muito Alto
Elevação	> 829 m	1	Muito Baixo
	572 a 829 m	2	Baixo
	314 a 572 m	3	Moderado
	58 a 314 m	4	Alto
	< 58 m	5	Muito Alto
Uso e Cobertura do Solo	Água	5	Muito Alto
	Florestal	4	Alto
	Não Florestal	3	Moderado
	Área Antropizada	2	Baixo
Tipos de solos	Área Edificada	1	Muito Baixo
	Latossolos	5	Muito Alto
	Planossolos	4	Alto
	Podzólicos	3	Moderado
	Regossolos e Litólicos	2	Baixo
Trechos inundáveis	Vertissolos	1	Muito Baixo
	Baixo risco	1	Muito Baixo
	Médio risco	3	Moderado
	Alto risco	5	Muito Alto
Infraestrutura (Estradas)	< 200 m	1	Muito Baixo
	200 a 400 m	2	Baixo
	400 a 600 m	3	Moderado
	600 a 800 m	4	Alto
	> 800	5	Muito Alto
Serviços de emergência (Hospitais)	> 2,5 Km	5	Muito Alto
	2,5 a 5 Km	4	Alto
	5 a 7,5 Km	3	Moderado
	7,5 a 10 Km	3	Baixo
	> 10 Km	1	Muito Baixo
Capacidade de abrigo (Escolas)	< 250 m	5	Muito Alto
	250 a 500 m	4	Alto
	500 a 750 m	3	Moderado
	750 a 1000 m	3	Baixo
	> 1000 m	1	Muito Baixo

Fonte: Autora (2024).

### 3.2 Índices de vulnerabilidade

Para compor os índices de vulnerabilidade, as variáveis foram agrupadas em três indicadores: social, ambiental e tecnológico (Quadro 4). Os indicadores foram compostos com ponderação igual, por meio da sobreposição de mapas pela Equação 3, e com estes foi calculada a vulnerabilidade socioambiental (IVSA), considerando os fatores sociais e ambientais; bem como a vulnerabilidade integrada (IVSAT), que inclui os fatores tecnológicos no cálculo, utilizando o mesmo método (Aktar *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2021a; Hamidi *et al.*, 2020).

Quadro 4: Variáveis agrupadas em indicadores.

Variáveis agrupadas em indicadores.		
Indicador	Variável	Variáveis agrupadas
Social	$\frac{\text{Exposição social} \times \text{Sensibilidade social}}{\text{Capacidade de adaptação social}}$	$\frac{(\text{Pop}) \times (\text{Dep} + \text{Pob})}{(\text{Edu} + \text{Ren})}$
Ambiental	$\frac{\text{Exposição ambiental} \times \text{Sensibilidade ambiental}}{\text{Capacidade de adaptação ambiental}}$	$\frac{(\text{Precip} + \text{Rec. Híd.}) \times (\text{Dec} + \text{Ele})}{(\text{T. Solos} + \text{C. Solo})}$
Tecnológico	$\frac{\text{Exposição tecnológica} \times \text{Sensibilidade tecnológica}}{\text{Capacidade de adaptação tecnológica}}$	$\frac{(\text{T. inun}) \times (\text{Infra})}{(\text{Emerg} + \text{Abrigo})}$

Fonte: Autora (2024).

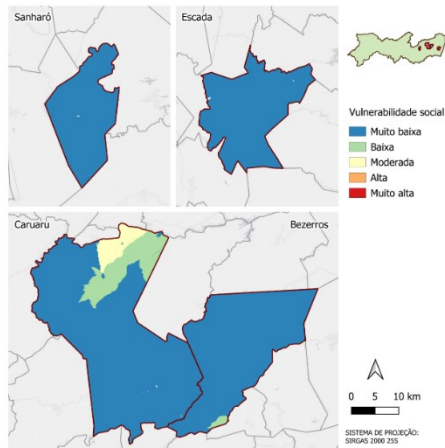
$$IV_d = \left( \frac{\sum_{i=1}^n E \times \sum_{j=1}^n S}{\sum_{j=1}^n A} \right)^{1/3} \quad [3]$$

Sendo  $IV$  o valor do índice e  $d$ , o domínio que representa as dimensões social, ambiental ou tecnológica. E, S e A representam os fatores de exposição, sensibilidade e adaptabilidade, respectivamente.

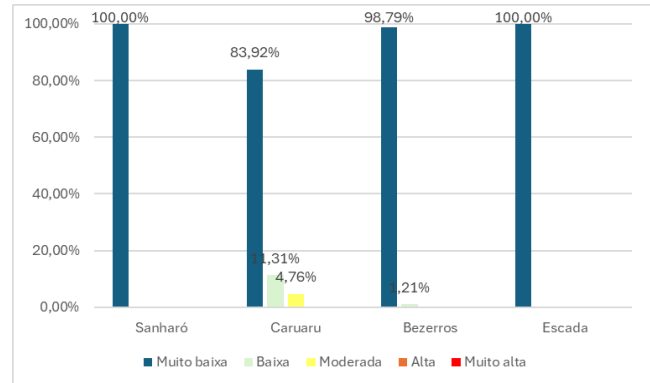
## 4 Resultados

### 4.1 Indicadores de vulnerabilidade a inundações

Acerca da vulnerabilidade social (Figura 2 e gráfico 2), Caruaru foi o único município que apresentou áreas de vulnerabilidade moderada (4,76%) e baixa (11,31%), e Bezerros apresentou uma região de baixa vulnerabilidade que corresponde a apenas 1,21% do seu território. Os outros dois municípios têm áreas predominantemente de muito baixa vulnerabilidade.



**Figura 2:** Indicador de Vulnerabilidade Social.  
 Fonte: Autora (2024).



**Gráfico 2:** Percentuais do Indicador de Vulnerabilidade Social.  
 Fonte: Autora (2024).

Na dimensão da exposição, os municípios do estudo não apresentaram áreas de alta vulnerabilidade. Esse comportamento é devido à população ser distribuída em grande área territorial, de maneira que ocorre a diminuição da densidade populacional. Sanharó, Bezerros e Escada possuem taxa de urbanização abaixo de 30%, distintamente de Caruaru, o qual possui uma urbanização superior a 80% (IBGE, 2020). Contudo, as áreas urbanas dos municípios são cortadas pelo Rio Ipojuca (Figura 3, 4, 5 e 6), o que as torna mais expostas.



**Figura 3:** Área de concentração urbana do município de Bezerros.  
 Fonte: Autora (2024).



**Figura 3:** Área de concentração urbana do município de Caruaru.  
 Fonte: Autora (2024).



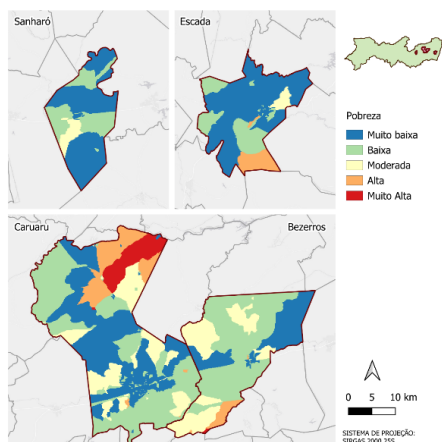
**Figura 5:** Área de concentração urbana do município de Escada.  
 Fonte: Autora (2024).



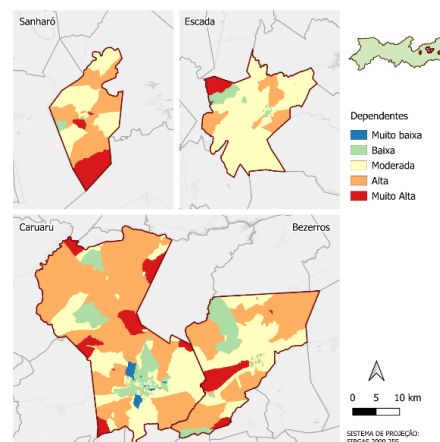
**Figura 6:** Área de concentração urbana do município de Sanharó.  
 Fonte: Autora (2024).

Em relação à sensibilidade, os municípios apresentaram vulnerabilidade moderada a alta em algumas áreas. Isso ocorreu devido à sobreposição de áreas de maior vulnerabilidade quanto à pobreza (Figura 7), com a predominância de domicílios com renda abaixo de  $\frac{1}{4}$  de salário-mínimo per capita, com maior número de dependentes (Figura 8), cujos moradores têm idade menor que 14 anos ou maior que 60 anos. Essas áreas estão localizadas na parte noroeste do município de Caruaru e na parte sul do município de Bezerros.

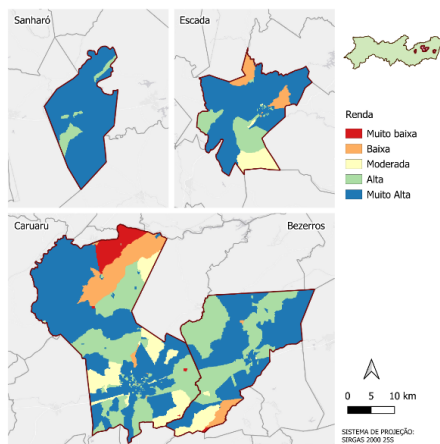
A capacidade de adaptação apresentou resultados heterogêneos, quanto à renda (Figura 9). Caruaru tem áreas de muito baixa capacidade de adaptação neste aspecto (renda). Entretanto, Bezerros e Escada possuem poucas áreas de moderada a baixa. Com relação à educação (Figura 10), os municípios apresentam a maior do território com áreas de muito baixa a moderada capacidade de adaptação. As áreas com maior capacidade de adaptação estão localizadas mais próximas aos centros urbanos.



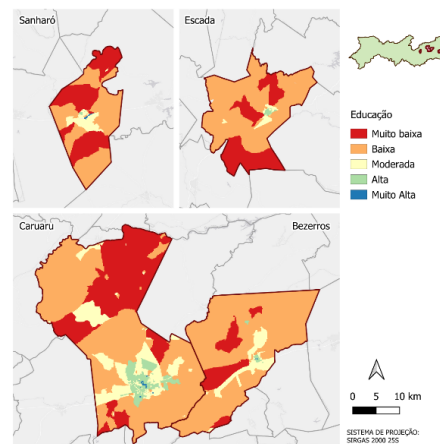
**Figura 7:** Variável de sensibilidade social: pobreza.  
**Fonte:** Autora (2024).



**Figura 8:** Variável de sensibilidade social: dependentes.  
**Fonte:** Autora (2024).

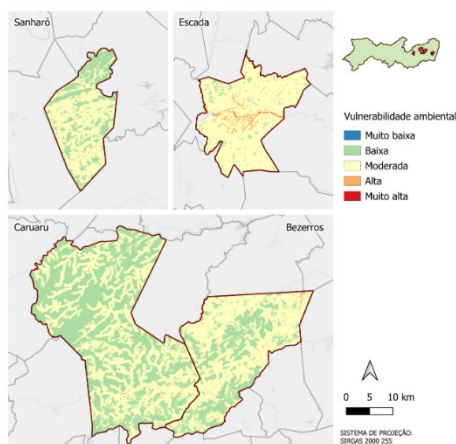


**Figura 9:** Variável capacidade de adaptação social: renda.  
**Fonte:** Autora (2024).

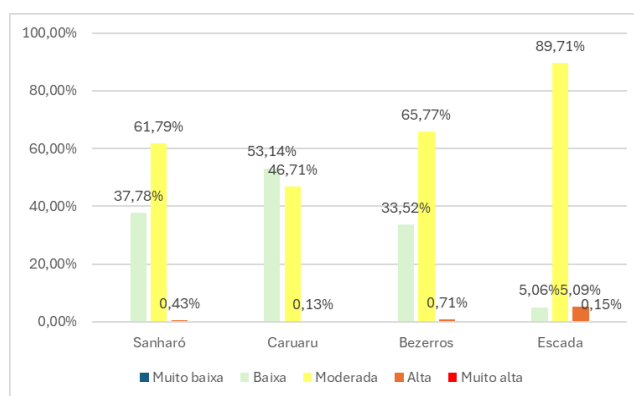


**Figura 10:** Variável capacidade de adaptação social: educação.  
**Fonte:** Autora (2024).

A vulnerabilidade ambiental (Figura 11) teve como resultado valores de baixa e moderada vulnerabilidade. O município de Escada apresentou áreas de alta (5,09%) e muito alta (0,15%) vulnerabilidade, devido ao fato de ser o município mais afetado pelas chuvas e com elevação favorável a inundações. Verificou-se que pontos de alta vulnerabilidade também ocorreram em Bezerros (0,71%) e Caruaru (0,13%) (Gráfico 3).



**Figura 11:** Indicador de Vulnerabilidade Ambiental.  
*Fonte:* Autora (2024).

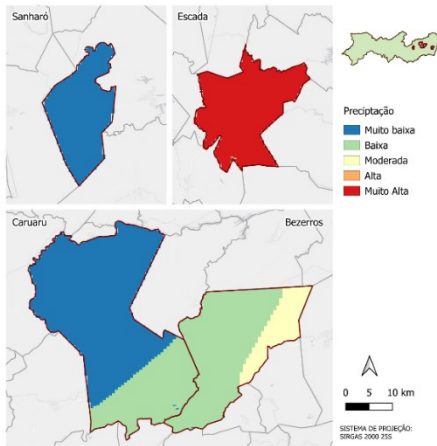


**Gráfico 3:** Percentuais do Indicador de Vulnerabilidade Ambiental.  
*Fonte:* Autora (2024).

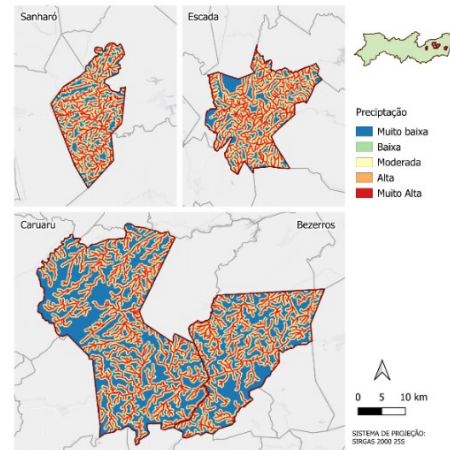
Com relação à exposição, os municípios estão em diferentes regiões do estado e isso representa alta variação dos índices de chuvas ao longo do ano (Lacerda et al., 2015). O município de Escada tem os índices de precipitação (Figura 12) mais elevado entre os quatro por fazer parte da zona da mata, com clima quente e úmido, e alta pluviometria. E apesar da alta densidade de corpos hídricos (Figura 13) que é um fator de exposição, Sanharó, Caruaru e Bezerros estão na região do Agreste Pernambucano, região de clima quente e seco com poucas chuvas ao longo do ano.

Quanto à dimensão sensibilidade, todos os municípios apresentam áreas de moderada e alta vulnerabilidade. A declividade (Figura 14) é um fator que pode dificultar o escoamento em relevos mais planos (Pathan et al., 2022), assim como a elevação (Figura 15) em caso de áreas baixas. Dessa forma, o município de Sanharó tem menor vulnerabilidade por estar localizado no Planalto da Borborema, região com altitudes variando de 650 a 1000 metros. Caruaru e Bezerros têm áreas de baixa e média vulnerabilidade, e Escada apresenta a maior exposição ambiental devido à sua localização em área predominantemente de planície (CPRM, 2005).

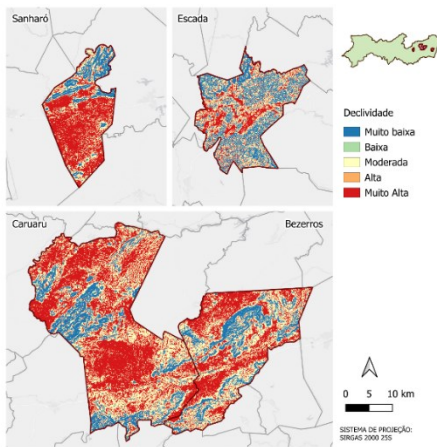
Para a capacidade de adaptação, os municípios tiveram índices variados quanto a tipos de solos (Figura 16). Porém o município de Escada tem predominância de latossolo, que é um solo poroso e de boa drenagem, podendo absorver a água de forma mais rápida (Ouma; Tateishi, 2014) e, portanto, muito alta capacidade de adaptação. Para uso e cobertura do solo (Figura 17) houve maior ocorrência de áreas de moderada capacidade de adaptação, principalmente devido aos municípios terem a maior parte do seu território de áreas antropizadas.



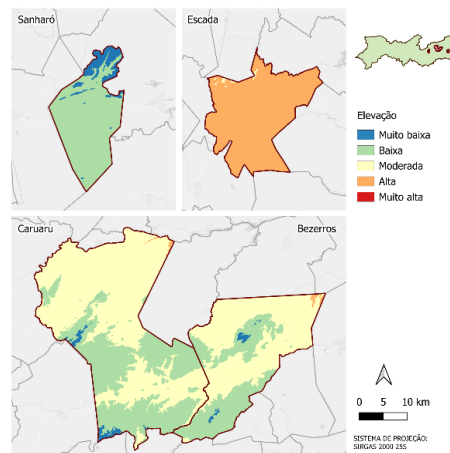
**Figura 12:** Variável de exposição ambiental: precipitação. **Fonte:** Autora (2024).



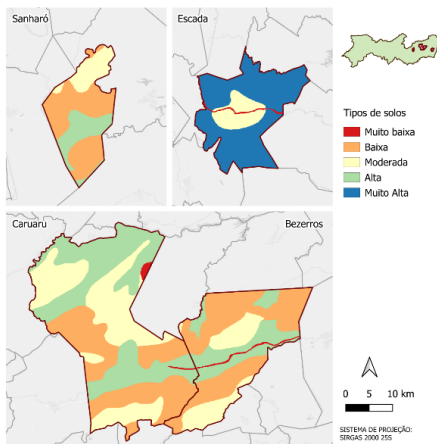
**Figura 13:** Variável de exposição ambiental: distância de recursos hídricos. **Fonte:** Autora (2024).



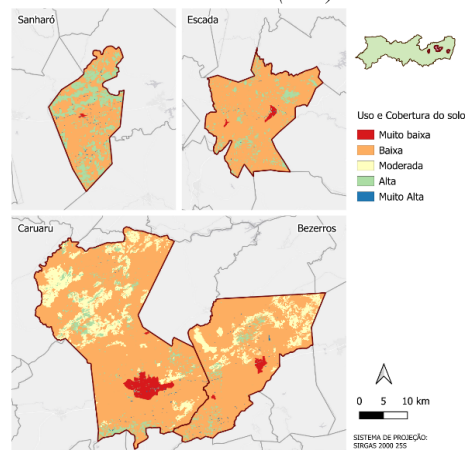
**Figura 14:** Variável sensibilidade ambiental: elevação. **Fonte:** Autora (2024).



**Figura 15:** Variável sensibilidade ambiental: declividade. **Fonte:** Autora (2024).

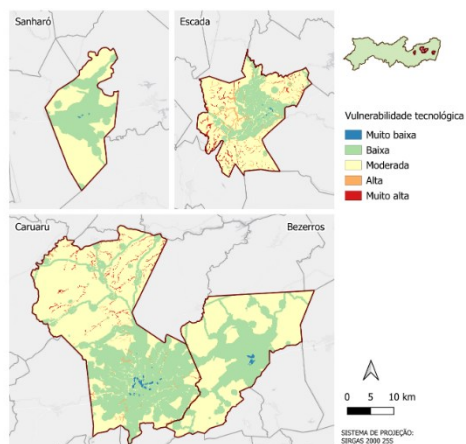


**Figura 16:** Variável capacidade de adaptação ambiental: tipos de solos. **Fonte:** Autora (2024).

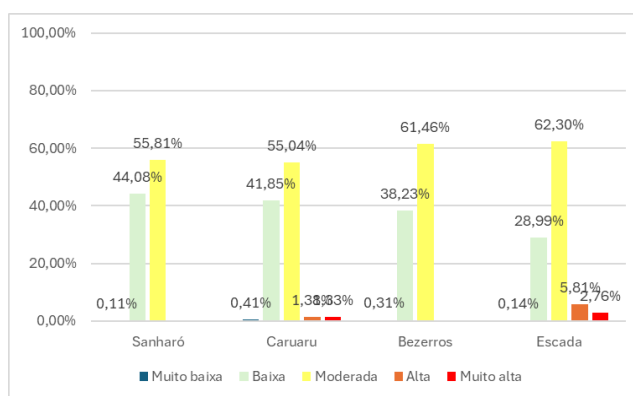


**Figura 17:** Variável capacidade de adaptação ambiental: uso e cobertura do solo. **Fonte:** Autora (2024).

Quanto à vulnerabilidade tecnológica (Figura 18), Caruaru apresentou 1,38% de áreas de alta vulnerabilidade e 1,33% de muito alta. Escada teve um percentual maior de áreas de alta e muito alta vulnerabilidade, 5,81% e 2,76%, respectivamente. Essas áreas se encontram principalmente nos limites do município, mais afastados de seus centros urbanos. Os outros municípios e demais áreas tiveram vulnerabilidade baixa e moderada. As áreas de muito baixa vulnerabilidade quanto aos fatores tecnológicos ocorreram nos quatro municípios, contudo, em áreas pequenas e localizadas em seus centros urbanos: 0,11% em Sanharó; 0,41% em Caruaru; 0,31% em Bezerros e 0,14% em Escada (Gráfico 4).



**Figura 18:** Indicador de Vulnerabilidade Tecnológica.  
*Fonte:* Autora (2024).

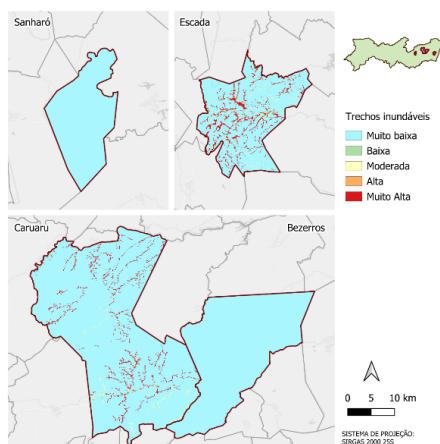


**Gráfico 4:** Percentuais do Indicador de Vulnerabilidade Tecnológica.  
*Fonte:* Autora (2024).

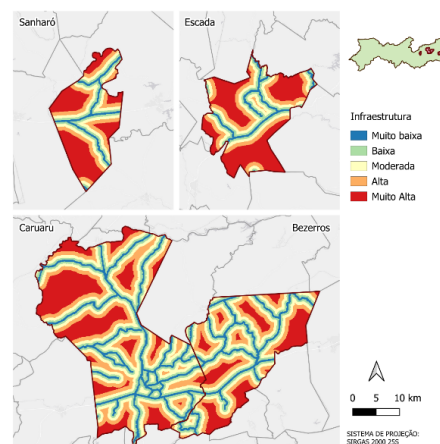
Para exposição (Figura 19), os municípios de Bezerros e Sanharó apresentaram apenas áreas de muito baixa vulnerabilidade, isso se deve ao fato de não existirem trechos considerados como área de risco de inundação no mapa da ANA. Contudo, Bezerros teve eventos de inundações em 2018 e Sanharó nos anos de 2020 e 2021. Para Andrade e Szlafsztein (2018), a ausência de áreas consideradas de risco ou experiências prévias com desastres podem influenciar na percepção do risco pela comunidade, e no conhecimento sobre ações de prevenção e resposta no caso de um acontecimento.

Em relação à dimensão sensibilidade (Figura 20), a rede de rodovias e estradas de uma região torna-se um fator de grande importância para análise de vulnerabilidade a inundações, uma vez que serve tanto como meio de evacuação da área de risco, como meio de acesso por serviços de resgate e socorro (Pathan et al., 2022). As áreas dos municípios estudados apresentaram muito baixa ou baixa sensibilidade devido à existência de uma malha viária densa no estado, porém regiões mais afastadas do centro têm muito alta vulnerabilidade com relação a este fator.

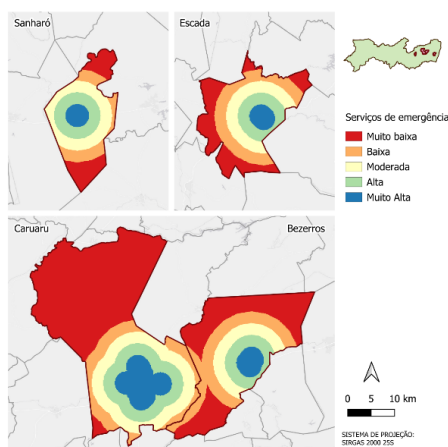
Quanto à capacidade de adaptação, os índices são melhores próximos aos centros urbanos, devido à localização dos serviços de emergência (Figura 21), como unidades de saúde e melhor capacidade de abrigo (Figura 22) pela concentração de escolas. Com isso, as regiões mais afastadas do centro têm menor capacidade de adaptação, pois sua população tem maior dificuldade de acesso a serviços que são importantes na prevenção e enfrentamento de catástrofes.



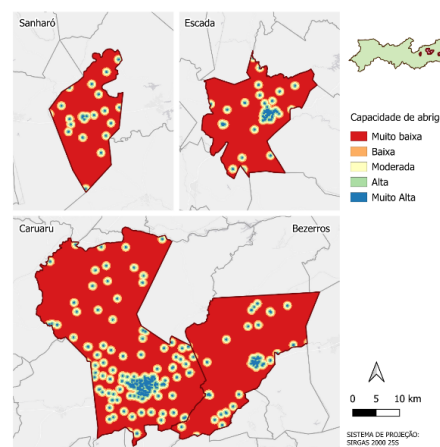
**Figura 19:** Variável exposição tecnológica: Trechos inundáveis. **Fonte:** Autora (2024).



**Figura 20:** Variável de sensibilidade tecnológica: infraestrutura. **Fonte:** Autora (2024).



**Figura 21:** Variável capacidade de adaptação tecnológica: Serviços de emergência. **Fonte:** Autora (2024).



**Figura 22:** Variável capacidade de adaptação tecnológica: capacidade de abrigo. **Fonte:** Autora (2024).

#### 4.2 Índices de vulnerabilidade à inundações

Os resultados do IVSA e do IVSAT tiveram padrões espaciais semelhantes. Contudo, com a inclusão dos fatores tecnológicos, percebe-se a diminuição de áreas de índices de baixa e moderada vulnerabilidade. Já na classe de alta vulnerabilidade, essas áreas aumentaram. A pequena variação de um índice para outro também ocorreu no trabalho de Barros, Mendes e Castro (2015), que avaliou a vulnerabilidade socioambiental à inundações para área urbana de Londrina/PR considerando aspectos de infraestrutura.

No mesmo estudo, percebeu-se que os valores mais altos de vulnerabilidade estão nas áreas mais afastadas das concentrações urbanas e, quando considerado variáveis de infraestrutura, ocorreu o aumento da vulnerabilidade nessas áreas (Barros; Mendes; Castro, 2015). Semelhante ao caso avaliado em Londrina, o incremento da vulnerabilidade com a inclusão dos fatores tecnológicos também ocorreu nos municípios do estudo. Em Caruaru, as áreas de alta vulnerabilidade

aumentaram de 8% para 12,4%; em Bezerros, de 5% para 9,6%. Em Escada, o índice foi ampliado de 13,4% para 25,7% (Tabela 1 e Tabela 2).

Sanharó não teve ocorrências de áreas de alta e muito alta vulnerabilidade no IVSA, porém, para o IVSAT, aproximadamente 6% do município tem alta vulnerabilidade a inundações. A classe de muito alta vulnerabilidade não apareceu no índice socioambiental, já o índice considerando os fatores tecnológicos indicou cerca de 1% de áreas com muito alta vulnerabilidade em Caruaru.

*Tabela 1 – Relação de áreas por classe de vulnerabilidade (IVSA).*

Relação de áreas por classe de vulnerabilidade (IVSA)								
Classe de vulnerabilidade	Sanharó		Caruaru		Bezerros		Escada	
	Área (Km <sup>2</sup> )	Perc. (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Perc. (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Perc. (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Perc. (%)
Muito baixa	-	-	-	-	-	-	-	-
Baixa	38,27	14,42	135,54	14,81	21,96	4,51	306,63	90,96
Moderada	247,91	93,42	757,31	82,76	459,07	94,26	30,47	9,04
Alta	-	-	22,21	2,43	6,01	1,23	-	-
Muito alta	-	-	-	-	-	-	-	-

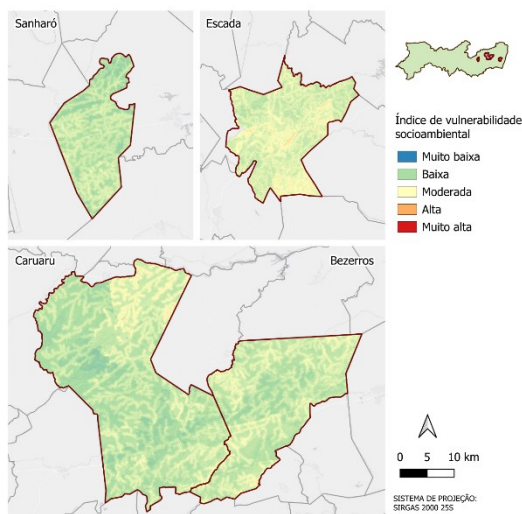
*Fonte: Autora (2024).*

*Tabela 2 – Relação de áreas por classe de vulnerabilidade (IVSAT).*

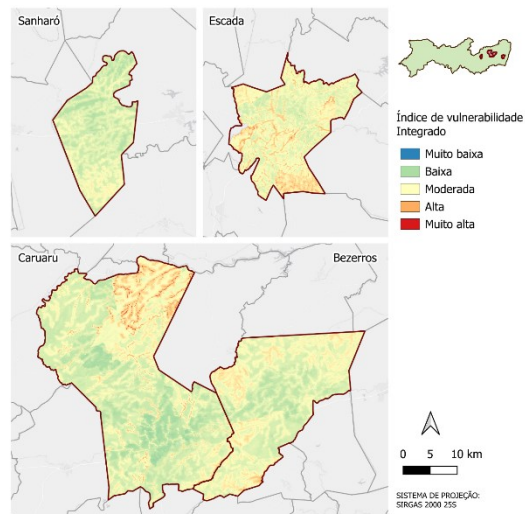
Relação de áreas por classe de vulnerabilidade (IVSAT)								
Classe de vulnerabilidade	Sanharó		Caruaru		Bezerros		Escada	
	Área (Km <sup>2</sup> )	Perc. (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Perc. (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Perc. (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Perc. (%)
Muito baixa	-	-	-	-	-	-	-	-
Baixa	0,02	0,01	13,42	1,47	203,05	60,23	0,02	0,01
Moderada	366,92	75,34	697,55	76,23	132,52	39,31	249,88	94,14
Alta	120,08	24,66	196,74	21,50	1,53	0,46	15,54	5,86
Muito alta	0,01	0,00	7,35	0,80	-	-	-	-

*Fonte: Autora (2024).*

Para o IVSA (Figura 23), as áreas de vulnerabilidade estão mescladas em todo território, dificultando a identificação de concentração de áreas de maior vulnerabilidade. No IVSAT (Figura 24), com o surgimento de índices de valores mais altos, é possível identificar as regiões mais vulneráveis em Caruaru, Bezerros e Escada. Os valores mais altos se encontram principalmente nos municípios de Escada e Caruaru, isso revela que as variáveis tecnológicas, tiveram grande relevância, pois as áreas com aumento de vulnerabilidade são principalmente as que apresentavam a pior situação nas variáveis de trechos inundáveis e nas distâncias de estradas, hospitais e escolas.



**Figura 23:** Índice de vulnerabilidade socioambiental.  
**Fonte:** Autora (2024).

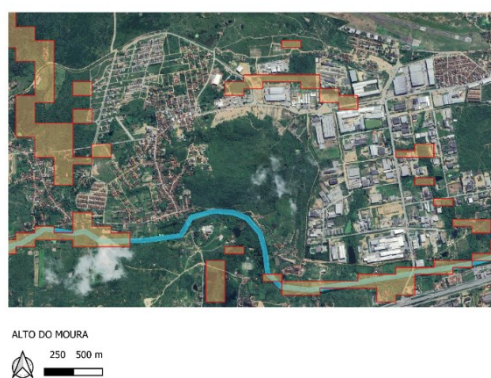


**Figura 24:** Índice de vulnerabilidade socioambiental integrado.  
**Fonte:** Autora (2024).

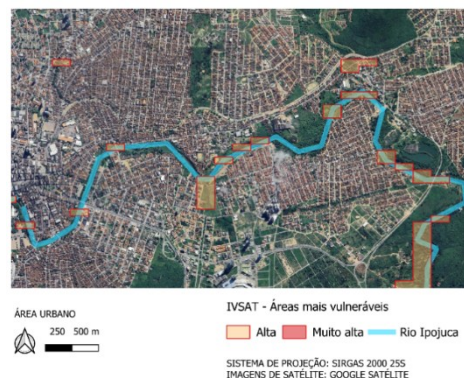
As áreas de índices de alta e muito alta vulnerabilidade foram analisadas com imagens de satélites (Google earth), o que possibilitou uma visão detalhada da situação atual dessas regiões. A análise revelou que, para os quatro municípios, as áreas classificadas como mais vulneráveis estão predominantes localizadas em zonas rurais e pouco povoadas, que são áreas carentes de infraestrutura.

A análise das imagens também permitiu identificar áreas de alta vulnerabilidade em meio urbano, ou com densidade de moradia maior, em Caruaru e Escada. Apesar destas áreas aparecerem em menor número e menores porções do território, sua identificação é de grande importância, pois representam áreas pontuais, onde intervenções no sentido de diminuir sua vulnerabilidade, podem ser muito eficientes.

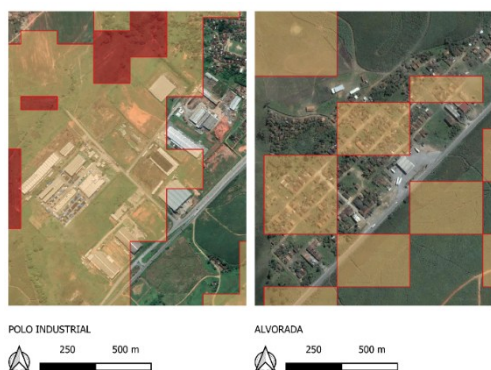
Para Caruaru, as áreas críticas distribuídas na área urbana estão no Alto do Moura e em bairros próximos como Rendeiras, Salgado, Indianópolis, Cedro, Riachão e Dep. José Antônio Liberato (Figura 25 e 26). Em Escada, as áreas críticas estão no polo industrial, bairro de Alvorada e centro no entorno do Rio Ipojuca (Figura 27 e 28). São áreas densamente edificadas e abrigam importantes construções como indústrias, centros educacionais e equipamentos culturais.



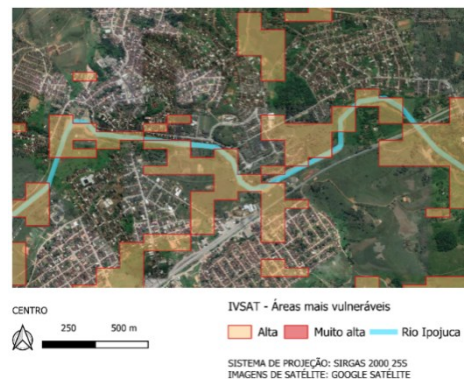
**Figura 25:** Áreas mais vulneráveis em Caruaru: Alto do Moura.  
**Fonte:** Autora (2024).



**Figura 26:** Áreas mais vulneráveis em Caruaru: Centro.  
**Fonte:** Autora (2024).



**Figura 27:** Áreas mais vulneráveis em Escada. *Fonte:* Autora (2024).



**Figura 28:** Áreas mais vulneráveis em Escada. *Fonte:* Autora (2024).

## 5. Considerações finais

Os desastres relacionados a inundações podem ser reduzidos pela capacidade de identificar, medir e avaliar as diferentes vulnerabilidades. E, ainda que alguns trabalhos apontem uma incipiência de estruturas adequadas para avaliação da vulnerabilidade considerando fatores tecnológicos, existem diversos trabalhos que podem ser usados para estruturação e análise da eficiência dos modelos.

Por meio da revisão de literatura foi possível a identificação de variáveis sociais, ambientais e tecnológicas para analisar a vulnerabilidade socioambiental a inundações e a relação entre a presença de infraestruturas com a vulnerabilidade. A inclusão dos fatores tecnológicos permite uma análise abrangente que pode não só identificar áreas que precisam de maiores ou mais urgentes intervenções, como também quais medidas de mitigação da vulnerabilidade podem ser replicadas.

A comparação entre o IVSA e o IVSAT demonstrou que os fatores tecnológicos têm impacto mensurável no aumento ou redução da vulnerabilidade. Esse comportamento sugere que a priorização de medidas envolvendo fatores tecnológicos sejam estruturais ou não estruturais, o que pode mitigar a vulnerabilidade e aumentar a resiliência de comunidades. As ações podem ser realizadas por meio de campanhas de educação e conscientização, mapeamento de risco, monitoramento de rios e chuvas e sistemas de alerta, considerando as infraestruturas de drenagem, transporte, saneamento e habitação, com a finalidade de preparar a população para o enfrentamento de desastres.

Posto isto, o resultado destaca a importância de uma abordagem multifatorial na avaliação da vulnerabilidade às inundações, evidenciando que a consideração de fatores tecnológicos é vital para uma avaliação mais precisa. Além disso, os índices de vulnerabilidade podem ser integrados às políticas públicas de planejamento urbano, gestão de riscos e infraestrutura, visando a mitigação eficaz dos impactos das inundações e o fortalecimento da resiliência das comunidades.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e à Fundação de Pesquisa do Estado da Paraíba (Fapesq).

---

## Referências

ADELEYE, B. *et al.* Poor development control as flood vulnerability factor in Suleja, Nigeria. *Town and Regional Planning*, v. 74, p. 23-35. 12 jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas de Vulnerabilidade a inundações. Brasília: ANA, 2014.

AKTAR, A. *et al.* Flood Vulnerability Assessment by Flood Vulnerability Index (FVI) Method: A study on Sirajganj Sadar Upazila. *International Journal of Disaster Risk Management*, v. 3, n. 1, p. 1-13. 2021.

ANDRADE, M. M. N. de., SZLAFSZTEIN, C. F. Vulnerability assessment including tangible and intangible componentes in the index composition: An Amazon case study of flooding and flash flooding. *Science of the Total Environment*, v. 630, p. 903-912, 2018.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas. Bacias Hidrográficas – Rio Ipojuca. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-ipojuca/165-baciashidrograficas-rio-ipojuca/196-bacia-do-rio-ipojuca>.

BARROS, M. V. F, C. MENDES, P. H. M. de CASTRO. Vulnerabilidade socioambiental à inundação na área urbana de Londrina – PR. *Confins, Revista Franco-Brasileira de Geografia*. N. 24. 2015.

BRASIL. MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional. Portal de Dados Abertos do MDR. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) - Dados Informados. Disponível em: [https://dadosabertos.mdr.gov.br/dataset/s2id\\_sedec](https://dadosabertos.mdr.gov.br/dataset/s2id_sedec). Acesso em: 09 de set. de 2024.

CHANG, H. *et al.* Assessment of urban vulnerability using the socio-ecological-technological systems framework in six US cities. *Sustainable Cities and Society*, n. 68. fev. 2021a.

CHANG, H. *et al.* Understanding Urban Flood Resilience in the Anthropocene: A Social-Ecological-Technological Systems (SETS) Learning Framework. *Annals of the American Association of Geographers*. P. 837-857. 2021b

CHO, S. Y; CHANG, H. Recent research approaches to urban flood vulnerability, 2006 – 2016. *Natural Hazard*, SS(1), p. 633-649. 13 abr. 2017.

CONDEPE/FIDEM. Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco n°. 1. Recife, 2005.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Diagnóstico do município de Bezerros, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico do município de Caruaru, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico do município de Escada, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico do município de Sanharó, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

FERRAZ, G. de F. Simulação hidrológica e hidrodinâmica do impacto de enchentes na bacia do rio Sirinhaém e avaliação de sistema de controle proposto. 2019. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

FRAGOSO, M. de L. de C., SILVA, T. A. A. da. Desastre, risco e vulnerabilidade urbana: Uma análise a partir das enchentes e inundações no município de Escada/PE. *Revista Cadernos de Ciências Sociais*, Recife. Vol. 1, n. 14, p. 36 – 53, jan./jun. 2019.

FREIRE, N. C. F; BONFIM, C. V. do; NATENZON, C. E. Vulnerabilidade socioambiental, inundações e repercussões na Saúde em regiões periféricas: o caso de Alagoas, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, n. 9, p. 3755-3762. 2014.

GRABOWSKI, Z. J. *et al.* Infrastructures as Socio-Eco-Technical Systems: Five considerations for interdisciplinary dialogue. *J. Infrastruct. Syst.*, v. 23, n. 4. 2017.

GUIMARÃES, R. M. *et al.* Construção e validação de um índice de vulnerabilidade socioambiental para a vigilância e gestão de desastres naturais no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, n. 10, p. 4157-4165. 2014.

HAMIDI, A. R. *et al.* Flood vulnerability assessment using MOVE framework: a case study of the northern part of district Peshawar, Pakistan. *Natural Hazards*, v. 101, n. 2, p. 385-408. 14 fev. 2020.

HAMSTEAD, Z. A.; SAUER, J. Mapping Vulnerability to Weather Extremes: Heat and Flood Assessment Approaches. In: HAMSTEAD, Z. A. *et al.*, eds., *Resilient Urban Futures*. Springer. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

\_\_\_\_\_. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Danos Sociais e Econômicos decorrentes de desastres naturais em consequência de fenômenos meteorológicos no Brasil: 2010 – 2019. 2021.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. World Health Organization (WHO), 2007.

\_\_\_\_\_. *Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. World Health Organization (WHO), 2022.

KIM, Y. *et al.* Socio, Ecological, and Technological Strategies for Climate Adaptation. In: HAMSTEAD, Z. A. *et al.*, eds., *Resilient Urban Futures*. Springer. 2021.

LACERDA, F. F. *et al.* Alterações climáticas globais; Uma realidade em Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma*. V. 11/12, p. 121 – 154. 2014/2015.

MARKOLF *et al.* Interdependent infrastructure as linked social, ecological, and technological systems (SETSS) to address lock-in and enhance resilience. *Earth's Future*, v. 6, n. 12, p. 1638–1659. 10 dez. 2018.

OUMA, Y; TATEISHI, R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment. *Water*, v. 6, n. 6, p. 1515–1545. 2014.

PATHAN, A. I. *et al.* AHP and TOPSIS based flood risk assessment – a case of the Navsari City, Gujarat, India. *Environ. Monit. Assess.* v. 194, p. 509. 2022.

PERNAMBUCO. Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo. Recife, 2022.

\_\_\_\_\_. Plano Hidroambiental da bacia hidrográfica do Rio Ipojuca – Tomo V. Projetos Técnicos. Recife, 2010.

SALAMI, R. O; VON MEDING, J. K; GIGGINS, H. Urban settlements' vulnerability to flood risks in African cities: a conceptual framework. *Jàmá – Journal of Disaster Risk Stud*, v. 9, n. 1, p. 1–9. 27 fev. 2017.

SAUER, J. *et al.* Relating social, ecological, and technological vulnerability to future flood exposure at two spatial scales in four U.S. cities. *Sustainable Cities and Society*. v. 99. 2023.

SILVA, B. de M. Modelagem hidrológica e hidrodinâmica para avaliação de inundações na zona urbana de Caruaru, PE. 2019. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SILVA, J. P. da. Comunicação na gestão de projetos: o caso da construção da Adutora do agreste na cidade de Sanharó - PE. Monografia (Trabalho de conclusão do curso de administração). 87 f. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2014.

TASANTAB, J. C. Beyond the plan: How land use control practices influence flood risk in Sekondi-Takoradi. *Jàmá – Journal of Disaster Risk Studies*. v. 11, n. 1. 2019.

---

TURNER, *et al.* A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proc Natl Acad Sci USA 100:8074–8079, 2003.