

Vulnerabilidade socioambiental em áreas costeiras: um estudo de caso no município de Macau-RN, Brasil

Socio-environmental vulnerability in coastal areas: a case study in the municipality of Macau-RN, Brazil

Yuri Marques Macedo¹; Davi Felipe de Assis Borges²; Arthur Oliveira Marinho³; Paulo Victor do Nascimento Araújo⁴

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), *Campus Macau*, Macau/RN, Brasil. Email: yuri.macedo@ifrn.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-1628>

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), *Campus Macau*, Macau/RN, Brasil. Email: davi.a@escolar.ifrn.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6516-5591>

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), *Campus Macau*, Macau/RN, Brasil. Email: arthur.marinho@escolar.ifrn.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5577-8290>

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), *Campus Macau*, Macau/RN, Brasil. Email: paulo.araujo@ifrn.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0625-0946>

Resumo: A análise da vulnerabilidade socioambiental em Macau-RN, Brasil, reflete os desafios da interação entre fatores sociais e condições físico-naturais em áreas costeiras. Este estudo objetivou avaliar a vulnerabilidade socioambiental no município, com enfoque em seu centro urbano e distritos de Barreiras e Diogo Lopes. Utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e análise fatorial, foi elaborado um Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), que considerou variáveis socioeconômicas e de infraestrutura urbana. Em complemento, foi gerado o Índice de Vulnerabilidade Físico-Natural (IVFN), com base em altimetria, declividade e proximidade de canais de drenagem. Os resultados demonstram que os bairros mais vulneráveis, como Navegantes, Valadão e Porto São Pedro, apresentam maior exposição a inundações e movimentos de massa, evidenciando uma distribuição desigual dos riscos. A sede municipal, localizada no delta do Rio Piranhas-Açu, está diretamente sujeita a eventos climáticos extremos, agravados por sua geografia e infraestrutura precária. A metodologia proposta integra dimensões sociais e ambientais em um Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSa), fornecendo subsídios para políticas públicas e gestão de riscos em escala local. Conclui-se que intervenções direcionadas são essenciais para mitigar as vulnerabilidades e promover resiliência no contexto costeiro de Macau.

Palavras-chave: Desastre Natural; Geotecnologias; Gestão de Riscos.

Abstract: The analysis of socio-environmental vulnerability in Macau-RN, Brazil, highlights the challenges arising from the interaction between social factors and physical-natural conditions in coastal areas. This study aimed to assess the socio-environmental vulnerability in the municipality, focusing on its urban center and the districts of Barreiras and Diogo Lopes. Using Geographic Information Systems (GIS) and factor analysis, a Social Vulnerability Index (SVI) was developed, incorporating socioeconomic and urban infrastructure variables. Additionally, a Physical-Natural Vulnerability Index (PNVI) was created, based on elevation, slope, and proximity to drainage channels. The results indicate that the most vulnerable neighborhoods, such as Navegantes, Valadão, and Porto São Pedro, face greater exposure to floods and landslides, revealing an unequal risk distribution. The municipal center, located in the Piranhas-Açu River delta, is directly exposed to extreme climatic events, exacerbated by its geography and precarious infrastructure. The proposed methodology integrates social and environmental dimensions into a Socio-Environmental Vulnerability Index (SAVI), providing a basis for public policies and risk management at the local scale. It is concluded that targeted interventions are essential to mitigate vulnerabilities and promote resilience in Macau's coastal context.

Keywords: Natural Disaster; Geotechnologies; Risk Management.

Recebido: 19/11/2024; Aceito: 09/04/2025; Publicado: 28/04/2025.

1. Introdução

O estudo dos riscos de desastres — denominado em Portugal como ciências cindínicas — teve seus primeiros trabalhos de destaque por volta da década de 1920, com as contribuições de Gilbert F. White, Ian Burton e Robert W. Kates, geógrafos vinculados à tradicional Escola de Chicago (EUA), que desenvolveram estudos e conceitos em torno dos *Natural Hazards* (MARANDOLA JR. e HOGAN, 2004). Inicialmente, as análises centravam-se na compreensão e controle dos fenômenos naturais associados aos desastres. Posteriormente, o foco deslocou-se para o risco e a mitigação de seus impactos negativos.

Os desastres socioambientais são, conforme Pelling (2014), consequência da “soma de falhas no desenvolvimento de uma sociedade”. Ainda assim, seguem sendo comumente tratados como “desastres naturais”, especialmente por mídias que priorizam a agilidade da informação em detrimento de sua qualidade. Este artigo adota uma perspectiva crítica a essa naturalização, reforçando a centralidade da sociedade nos processos que geram os desastres: “fenômenos naturais como inundações, secas e ondas de calor tornam-se desastres como resultado da vulnerabilidade social, ou seja, uma propensão das pessoas, sociedades e ecossistemas a serem prejudicados” (RAJU, BOYD e OTTO, 2022).

A persistência do termo *natural hazard* pode contribuir para a perpetuação da ideia de que os desastres são meros produtos da dinâmica natural, desconsiderando suas origens sociais. Como afirma Quarantelli (1998), “o desastre é um evento pontual, mas o risco e sua gestão são uma condição processual, portanto, estariam ligados à responsabilização humana”. Nesse mesmo sentido, Saavedra e Marchezini (2020) argumentam que os desastres são o resultado de um processo de produção social do risco. O risco — e sua gestão — é, portanto, uma dimensão analisável, passível de controle por meio de ações de mitigação.

As metodologias de análise e avaliação de risco de desastres utilizadas nesta pesquisa têm em comum a construção de sistemas de indicadores com variáveis categorizadas e ponderadas, resultando em um índice-síntese. Em escala global, destaca-se o *World Risk Index* (WELLE e BIRKMANN, 2015); no contexto nacional, o DRIB (*Disaster Risk Indicators in Brazil*) proposto por Almeida, Welle e Birkmann (2016). Em nível estadual ou municipal, são relevantes os trabalhos de Medeiros (2014; 2018), Macedo (2015), Oliveira (2018), Aguiar et al. (2018), Macedo et al. (2020; 2021) e Araújo (2020) e Araújo et al. (2021).

Segundo levantamento recente do Governo Federal, 1.942 municípios brasileiros (34,9% do total) estão “mais suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, enxurradas e inundações” (BRASIL, 2023), onde vivem aproximadamente 73% da população nacional. No estado do Rio Grande do Norte, foram identificados 31 municípios com tal suscetibilidade, entre eles Macau — área foco desta pesquisa.

Macau, com 27.369 habitantes (IBGE, 2022), possui clima semiárido e média pluviométrica anual de 537,6 mm, sendo o município litorâneo mais seco do Brasil e o maior produtor nacional de sal marinho (DINIZ e PEREIRA, 2015). Localizado no litoral setentrional potiguar, seu território é caracterizado pela presença do delta do rio Piranhas-Açu. A sede municipal está situada em uma ilha circundada por canais do estuário e por estruturas de produção de sal (reservatórios, decantadores e evaporadores), formando uma área densamente urbanizada. Essa configuração físico-natural, aliada à baixa altimetria das áreas urbanizadas — predominantemente abaixo de 5 metros — intensifica a exposição do município a inundações provocadas tanto por cheias do rio quanto pela elevação do nível do mar (ARAÚJO et al., 2021).

Apesar de sua localização em região semiárida, o município já registrou episódios relevantes de desastres hídricos. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC-CEPED, 2013), Macau enfrentou enxurradas em 2004 e inundações fluviais em 2006, 2008 e 2009, com 359 pessoas desabrigadas nos dois últimos anos. As chuvas intensas, que totalizaram 565 mm, resultaram no sangramento da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, localizada a montante, elevando o nível do rio Piranhas-Açu.

Estudos anteriores já identificaram os riscos de inundação no município. Silva (2019) analisou a vulnerabilidade e a percepção do risco, enquanto Araújo et al. (2021) realizou o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações por maré, considerando cenários de mudanças climáticas, a partir de dados de maré astronômica e meteorológica, integrados a um Modelo Digital de Elevação (MDE) com base em LiDAR. Embora estatisticamente robusta, essa análise tratou a vulnerabilidade com base apenas no uso e ocupação do solo.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo principal analisar a vulnerabilidade socioambiental do município de Macau/RN, tomando como áreas de estudo o centro urbano e os distritos de Barreiras e Diogo Lopes — os mais urbanizados do município — a fim de compreender as inter-relações entre vulnerabilidade social e exposição a perigos naturais como inundações e deslizamentos.

2. Metodologia

O conceito de risco adotado neste artigo é definido como uma função entre a vulnerabilidade social e os perigos naturais de uma localidade: $R = f(P, V)$, em que R representa o risco, P o perigo e V a vulnerabilidade. Assim, os conceitos de risco, perigo e vulnerabilidade constituem o ponto de partida da concepção teórico-metodológica deste trabalho. Torna-se, portanto, fundamental compreender tanto a dinâmica dos elementos ambientais — naturais e antrópicos — que compõem um território, quanto os condicionantes sociais que expõem determinados grupos populacionais a situações de risco. Dessa forma, o risco pode ser entendido sob uma perspectiva socioambiental, sendo considerado sinônimo de vulnerabilidade socioambiental (ALVES, 2006; MENDONÇA e LEITÃO, 2008; ESTEVES, 2011; FREITAS *et al.*, 2012; ZANELLA *et al.*, 2013; MACEDO *et al.*, 2015; MACEDO, 2018; GIRÃO, RABELO e ZANELLA, 2018; ARAÚJO, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2021).

O risco é uma construção social, diretamente relacionado à percepção da população frente a perigos potenciais capazes de causar danos físicos e perdas materiais significativas. Em muitos casos, a população pode não reconhecer que está em situação de risco. No contexto desta pesquisa, dentre os tipos de riscos ambientais, destaca-se o que Veyret (2007, p. 24) classifica como “riscos naturais agravados pelo homem”, definidos como o “resultado de um perigo natural cujo impacto é ampliado pelas atividades humanas e pela ocupação do território: erosão, desertificação, incêndios, poluição, inundações etc.”.

O perigo, por sua vez, é compreendido como o agente capaz de provocar danos materiais e/ou imateriais. Neste estudo, adota-se a definição de Smith (2001), para quem o perigo é “uma inelutável parte da vida e uma ameaça potencial para as pessoas e seus bens, enquanto o risco é a probabilidade da ocorrência de um perigo e de gerar perdas” (SMITH, 2001, p. 392).

Já a vulnerabilidade corresponde à medida da capacidade de indivíduos ou grupos de se prepararem, lidarem, resistirem e se recuperarem diante de um perigo. Sob essa ótica, é compreendida como a condição de susceptibilidade a eventos potencialmente causadores de danos materiais e físicos à população. De acordo com Blaikie *et al.* (1994), essa condição envolve as características sociais e econômicas que influenciam a capacidade de antecipar, enfrentar e recuperar-se dos impactos de perigos naturais, sendo determinada por uma combinação de fatores que afetam o grau em que vidas humanas e meios de subsistência estão expostos a riscos decorrentes de eventos específicos da natureza ou da sociedade.

A relação entre risco e vulnerabilidade, no escopo desta pesquisa, segue a concepção de Almeida, Welle e Birkmann (2016), segundo a qual o risco é composto por duas dimensões: uma natural e outra social. A dimensão natural refere-se à exposição aos perigos que desencadeiam desastres, enquanto a dimensão social está relacionada à vulnerabilidade, que por sua vez se desdobra em três componentes principais: susceptibilidade, capacidade de lidar e capacidade de adaptação.

Nessa perspectiva, a avaliação do risco realizada neste estudo foi operacionalizada por meio da construção de dois índices específicos — um representando a vulnerabilidade social e outro, os aspectos físico-naturais da área — que foram integrados em um terceiro índice síntese. Essa abordagem metodológica está em conformidade com o conceito de risco utilizado: uma função que articula os perigos naturais (esfera física) e a vulnerabilidade (esfera social).

2.1 Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

O primeiro índice elaborado nesta pesquisa é o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), estruturado a partir de variáveis socioeconômicas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), na escala dos setores censitários. Foram considerados apenas os setores correspondentes às áreas de estudo. A análise foi conduzida em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software ArcGIS 10.1, que também foi empregado em toda a produção cartográfica e análise espacial desta pesquisa.

Para a construção do IVS do município de Macau, adotou-se como referência a metodologia proposta por Almeida (2010), a qual tem como base o Índice Paulista de Vulnerabilidade Social, desenvolvido pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Fundação SEADE, 2008), do Estado de São Paulo. O índice é composto por 21 variáveis, organizadas em cinco indicadores temáticos de vulnerabilidade: (i) Responsáveis pelo domicílio por gênero e idade / Crianças; (ii) Renda; (iii) Características gerais dos domicílios; (iv) Analfabetismo; e (v) Características do entorno.

A seleção dessas variáveis, assim como os aspectos de vulnerabilidade que representam, está alinhada aos referenciais teóricos e metodológicos comumente utilizados em estudos de avaliação de riscos de desastres, conforme discutido por Almeida, Welle e Birkmann (2016), Medeiros (2014; 2018), IPCC (2007; 2012), Rosendo (2014), Rosendo *et al.* (2017), Oliveira (2018), Veyret (2007), Olímpio e Zanella (2017), Cutter (1996) e Cutter *et al.* (2006), entre outros. O Quadro 1 apresenta o agrupamento das variáveis nos respectivos indicadores de vulnerabilidade.

Tabela 1 – Indicadores de avaliação da vulnerabilidade social.

Indicadores	Variáveis
Características Gerais dos domicílios	V1-Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água ou poço nascente na propriedade
	V2-Domicílios com banheiro sem esgotamento sanitário adequado
	V3-Domicílios particulares permanentes sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitário
	V4-Domicílios sem coleta de lixo
	V5-Domicílios sem energia elétrica ou com ligações clandestinas
	V6-Domicílios com 6 à 10 moradores
	V7-Domicílios particulares permanentes sem morador do sexo masculino
	V8-Mulher responsável por domicílio com 5 moradores ou mais
	V9-Domicílios particulares permanentes do tipo casa em outra condição
Responsáveis pelo domicílio por gênero e idade/ Crianças	V10- Pessoas responsáveis, do sexo feminino
	V11-Pessoas responsáveis de 10 à 19 anos de idade
	V12-Crianças de 0 a 9 anos de idade
	V13- Total de Domicílios Particulares improvisados
Renda	V14- Domicílio com rendimento nominal mensal per capita de 0 à 2 salários mínimos
	V15- Responsáveis com rendimento nominal mensal de 0 à 2 salários mínimos do sexo feminino
Características do entorno	V16- Domicílios sem iluminação pública
	V17-Domicílios em logradouros sem pavimentação
	V18-Domicílios em logradouros sem bueiros/boca-de-lobo
	V19- Domicílios em logradouros com esgoto a céu aberto
	V20- Domicílios em logradouros com acúmulo de lixo
Analfabetos	V21- Número total de analfabetos por setor censitário

Fonte: Macedo et al (2012). Adaptado de ALMEIDA (2010).

Para a análise estatística dos dados, foi aplicada a análise fatorial das variáveis, utilizando-se o software R (R CORE TEAM, 2021). Trata-se de uma técnica estatística multivariada que, com base na estrutura de dependência existente entre as variáveis (matriz de correlações ou de covariâncias), permite a redução da dimensionalidade do conjunto de dados, agrupando variáveis correlacionadas em fatores que explicam uma parcela significativa da variabilidade total observada.

O universo amostral da pesquisa corresponde aos setores censitários das áreas urbanizadas do município de Macau, no estado do Rio Grande do Norte (RN), Brasil. Considerando que a área de estudo se localiza no litoral setentrional potiguar — região caracterizada por elevados níveis de vulnerabilidade socioeconômica — os resultados obtidos para o índice de vulnerabilidade social tendem a apresentar valores potencialmente mais elevados quando comparados a outras regiões do estado.

Nesta pesquisa, os resultados da análise fatorial foram obtidos com base na matriz de correlação entre as variáveis, adotando-se o seguinte modelo em notação matricial:

$$X - \mu = L F + \varepsilon$$

$$(p \times 1) \quad (p \times m) \quad (m \times 1) \quad (p \times 1)$$

Onde:

X - Vetor de respostas aos itens;

μ - Vetor de média dos itens;

L - Matriz de pesos das variáveis X_i no fator F_j (cargas fatoriais);

F - Vetor de variáveis aleatórias não observáveis chamadas fatores comuns;

ε - Vetor de variáveis aleatórias não observáveis chamadas fatores específicos

p - Número de itens

m - Número de fatores, $m \leq p$, em que p=número total de variáveis.

Ao final deste procedimento, foi gerado um score (pontuação) para cada variável, resultando na extração de quatro fatores que explicaram 69,4% da variabilidade total dos dados. O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) foi calculado como a média desses scores. Em seguida, utilizando o software ArcGIS 10.1, o IVS foi classificado em cinco categorias de vulnerabilidade, para fins de espacialização e análise cartográfica: Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa.

O método de classificação adotado foi o equal interval, que consiste em definir intervalos iguais entre as classes com base na distribuição dos valores do índice, permitindo uma visualização equilibrada da variação espacial da vulnerabilidade social no município de Macau.

2.2 Índice de Vulnerabilidade Físico-Natural (IVFN)

O segundo momento da avaliação do risco de desastres no município de Macau consistiu na elaboração do Índice de Vulnerabilidade Físico-Natural (IVFN), estruturado com base em variáveis relacionadas às características físico-naturais da área de estudo. Tais características são essenciais para a avaliação de dois tipos principais de risco: inundação e movimento de massa (deslizamento). Considerando-se a escala de análise e a disponibilidade de dados, o IVFN foi composto por três variáveis: altimetria, declividade e proximidade de rios e canais de drenagem. A declividade está associada à susceptibilidade a movimentos de massa, enquanto a altimetria e a proximidade dos cursos d'água estão diretamente relacionadas à ocorrência de inundações.

As variáveis de altimetria e declividade foram obtidas a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), gerado por meio de tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) de alta resolução. Essa tecnologia de sensoriamento remoto, embarcada em plataforma aérea, permite a detecção da superfície terrestre com base na reflectância de pulsos de laser. Os dados obtidos foram calibrados, reamostrados e classificados em ambiente SIG, conforme a metodologia proposta por Araújo *et al.* (2018).

Ainda nesse ambiente digital, foi incorporada a variável referente à proximidade dos canais de drenagem e do rio Piranhas-Açu, áreas naturalmente mais expostas a eventos de inundação. Os canais foram mapeados com base em levantamento realizado na pesquisa de doutorado de Araújo (2020), e disponibilizados em formato vetorial compatível com o software (*shp*), possibilitando a geração de buffers — zonas de influência calculadas a partir da distância em relação aos corpos hídricos.

Concluída a etapa de obtenção dos dados, cada variável foi categorizada e classificada em cinco classes de risco (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto), utilizando os mesmos critérios adotados na construção do IVS, de forma a padronizar a análise. O Quadro 2 apresenta o agrupamento e a classificação das três variáveis utilizadas na geração do IVFN.

Tabela 2 – Categorização das variáveis e classificação em níveis de vulnerabilidade físico-natural.

Classes de Vulnerabilidade	Altimetria (m)	Declividade (°)	Proximidade dos Canais (m)
Muito alta	0 – 2,572	45 - 76,90	40
Alta	2,572 – 6,038	30 – 45	80
Média	6,038 – 11,442	20 – 30	120
Baixa	11,442 – 17,49	10 – 20	160
Muito Baixa	17,49 – 25,194	0 – 10	200

Fonte: Autores (2025).

O método de classificação das variáveis variou de acordo com a distribuição dos dados ou com parâmetros legais estabelecidos. Para a variável altimetria, foi adotado o método *natural breaks*, por apresentar melhor desempenho na segmentação dos dados conforme os padrões naturais de distribuição dos valores. Este método agrupa os intervalos das classes com base na frequência e nos pontos de inflexão da série de dados, sendo, portanto, mais adequado para evidenciar padrões de variação topográfica.

A variável declividade foi classificada manualmente, em conformidade com critérios legais. Encostas com declividade superior a 45° são consideradas áreas de preservação permanente, conforme definido no Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Já a variável proximidade dos canais de drenagem e do rio também foi classificada manualmente, com base em critérios de equidistância de 40 metros, definidos a partir das características e da escala das áreas de estudo.

Com base nessas classificações, foi gerada uma superfície raster representando as três variáveis, cujos valores de pixels variaram de 1 a 5, correspondendo, respectivamente, às classes de muito baixa a muito alta vulnerabilidade.

Ao final da categorização, em ambiente SIG, a superfície raster foi convertida para o formato vetorial (.shp). As três camadas vetoriais foram então sobrepostas em um único arquivo, no qual os valores de vulnerabilidade foram somados utilizando a ferramenta *Field Calculator*. O resultado final foi classificado em cinco classes, com intervalos definidos de 3 unidades (3, 6, 9, 12 e 15), por meio do método *defined interval*.

2.3 Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSa)

Após a geração dos produtos cartográficos do IVS e do IVFN, ambos classificados em cinco níveis de vulnerabilidade, foi realizada a sobreposição das duas superfícies em ambiente SIG para a construção do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSa). Para essa etapa, os dois raster foram somados por meio da ferramenta *Raster Calculator*, resultando em um raster síntese que integra as dimensões social e físico-natural da vulnerabilidade.

O produto final foi posteriormente classificado em cinco categorias — muito alta, alta, média, baixa e muito baixa vulnerabilidade — utilizando o método *natural breaks*, em conformidade com os procedimentos adotados nos índices anteriores.

3. Resultados e discussão

Em trabalhos anteriores, Araújo *et al.* (2021) e Silva (2019) já haviam identificado áreas críticas quanto à exposição e à vulnerabilidade a inundações, respectivamente. A pesquisa apresentada neste artigo, por sua vez, amplia essa abordagem ao incorporar, além da sede municipal, os distritos urbanizados de Diogo Lopes e Barreiras, e adota uma perspectiva integrada de análise socioambiental do risco. Nesse sentido, o IVSa, desenvolvido neste estudo, representa uma síntese entre os indicadores socioeconômicos gerados a partir do IVS e as principais características físico-naturais associadas aos processos de inundação e movimento de massa.

Este último aspecto (movimento de massa) representa uma contribuição inédita da presente pesquisa para o município, uma vez que não havia registros ou estudos anteriores sobre esse tipo de risco, geralmente menos associado a áreas planas como a de Macau, mas que ainda assim pode ocorrer em pontos específicos, especialmente em encostas urbanizadas.

Dessa forma, visando à melhor organização e compreensão dos resultados, a apresentação será estruturada em três etapas: inicialmente, os resultados do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS); em seguida, os do Índice de Vulnerabilidade Físico-Natural (IVFN); e, por fim, os do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSa).

3.1 Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

A partir da análise fatorial, foram identificados quatro fatores principais, que juntos explicam 69,4% da variabilidade dos dados do IVS. São eles: F1 – Renda e Gênero; F2 – Saneamento e Educação; F3 – Saneamento Básico; e F4 – Saneamento, Idade (jovens) e Gênero. Esses fatores representam os componentes mais relevantes da vulnerabilidade social em Macau e, portanto, demandam maior atenção no planejamento de ações de mitigação e estratégias de Redução do Risco de Desastres (RRD) no município.

Entre os 28 setores censitários que compõem o espaço amostral da pesquisa, apenas um setor foi classificado com muito alta vulnerabilidade social, correspondente ao bairro dos Navegantes, localizado na sede urbana (4%) (Figura 1). Nenhum setor foi classificado com vulnerabilidade alta. Cinco setores (18%) apresentaram vulnerabilidade média, todos situados na sede municipal, abrangendo partes dos bairros Valadão, Porto São Pedro e Centro. Outros quinze setores (53%) foram classificados com baixa vulnerabilidade social, distribuídos entre a sede urbana e os distritos de Diogo Lopes e Barreiras. Por fim, sete setores (25%) apresentaram muito baixa vulnerabilidade, sendo um localizado no centro urbano e os demais nos distritos citados. A Figura 2 apresenta a distribuição espacial do IVS nas áreas de estudo.

Esses resultados refletem, em grande medida, a qualidade da infraestrutura urbana nas áreas analisadas à época do Censo Demográfico de 2010, que serviu como base de referência para esta pesquisa.



Figura 1 – Vista aérea do Bairro dos Navegantes, Macau - RN.

Fonte: Autores (2025).

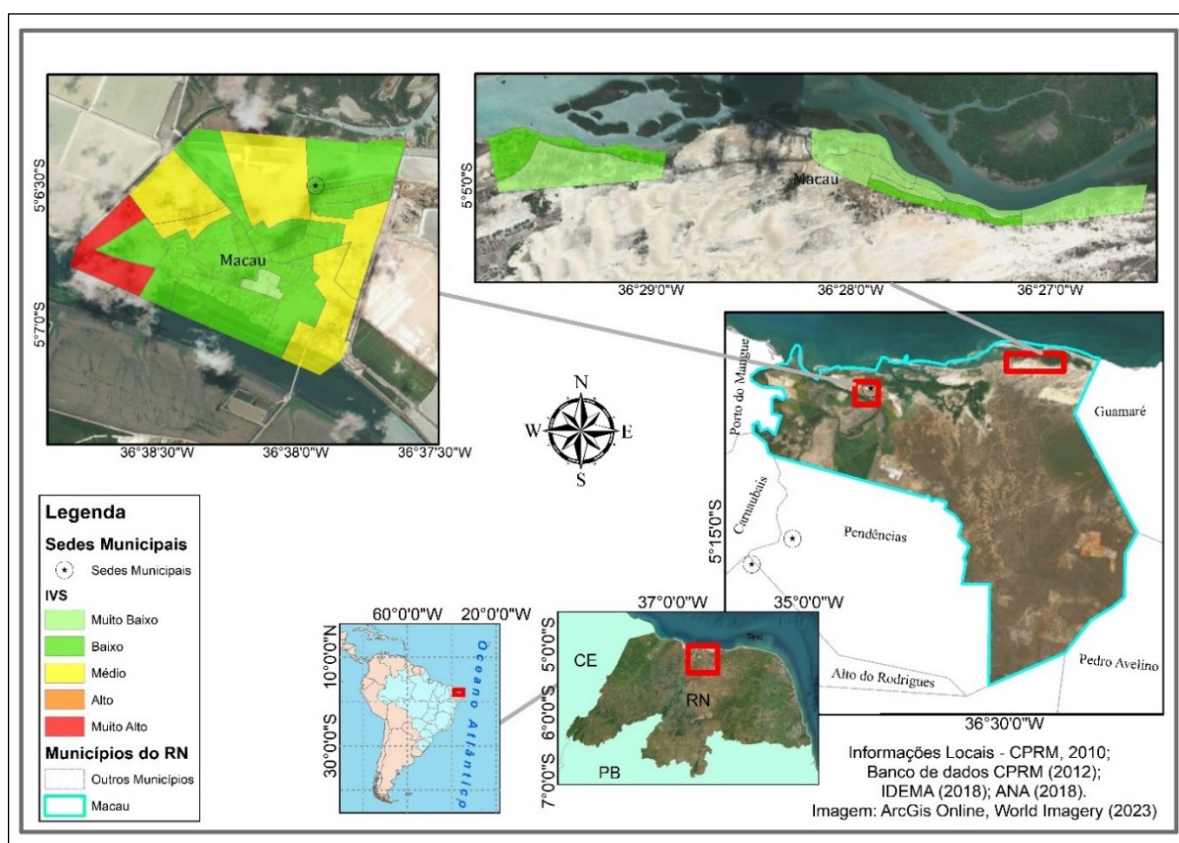


Figura 2 – Espacialização do Índice de Vulnerabilidade Social de Macau - RN.

Fonte: Autores (2025).

Nesse contexto, os distritos de Diogo Lopes e Barreiras demonstraram menor vulnerabilidade em comparação à sede municipal, principalmente em função das variáveis V18 – Domicílios em logradouros sem bueiros/boca-de-lobo, V19 – Domicílios em logradouros com esgoto a céu aberto e V20 – Domicílios em logradouros com acúmulo de lixo, visto que, naquele período, parte significativa da sede ainda carecia desses equipamentos básicos de saneamento.

Adicionalmente, diversos setores censitários das áreas de estudo apresentaram alta e muito alta vulnerabilidade social para variáveis como: V6 – Domicílios com 6 a 10 moradores; V8 – Mulher responsável por domicílio com 5 moradores ou mais; V10 – Pessoas responsáveis, do sexo feminino; e V12 – Crianças de 0 a 9 anos de idade. Essas variáveis representam condições socioeconômicas que ampliam a susceptibilidade da população a danos decorrentes de eventos adversos. Além disso, evidenciam limitações na capacidade de resposta e recuperação diante de potenciais desastres.

3.2 Índice de Vulnerabilidade Físico-Natural (IVFN)

A análise espacial dos resultados obtidos por meio do Índice de Vulnerabilidade Físico-Natural (IVFN) evidencia a forte influência da proximidade dos canais de drenagem e dos rios nas áreas de estudo em Macau — incluindo a sede municipal, Barreiras e Diogo Lopes —, o que contribuiu para a classificação de diversas regiões como de alta e muito alta vulnerabilidade físico-natural. Adicionalmente, em Barreiras e Diogo Lopes foram identificadas áreas com alta e muito alta vulnerabilidade situadas em encostas íngremes, marcadas por elevada densidade de ocupação residencial. Essas características reforçam a exposição dessas localidades aos perigos associados a movimentos de massa e inundações (Figura 3). A Figura 4 apresenta a distribuição espacial do IVFN nas áreas analisadas nesta pesquisa.



Figura 3 – Setores com econstas íngremes em Macau-RN: A) e B) recortes em Barreiras; C) e D) Recortes em Diogo Lopes.

Fonte: Autores (2025).

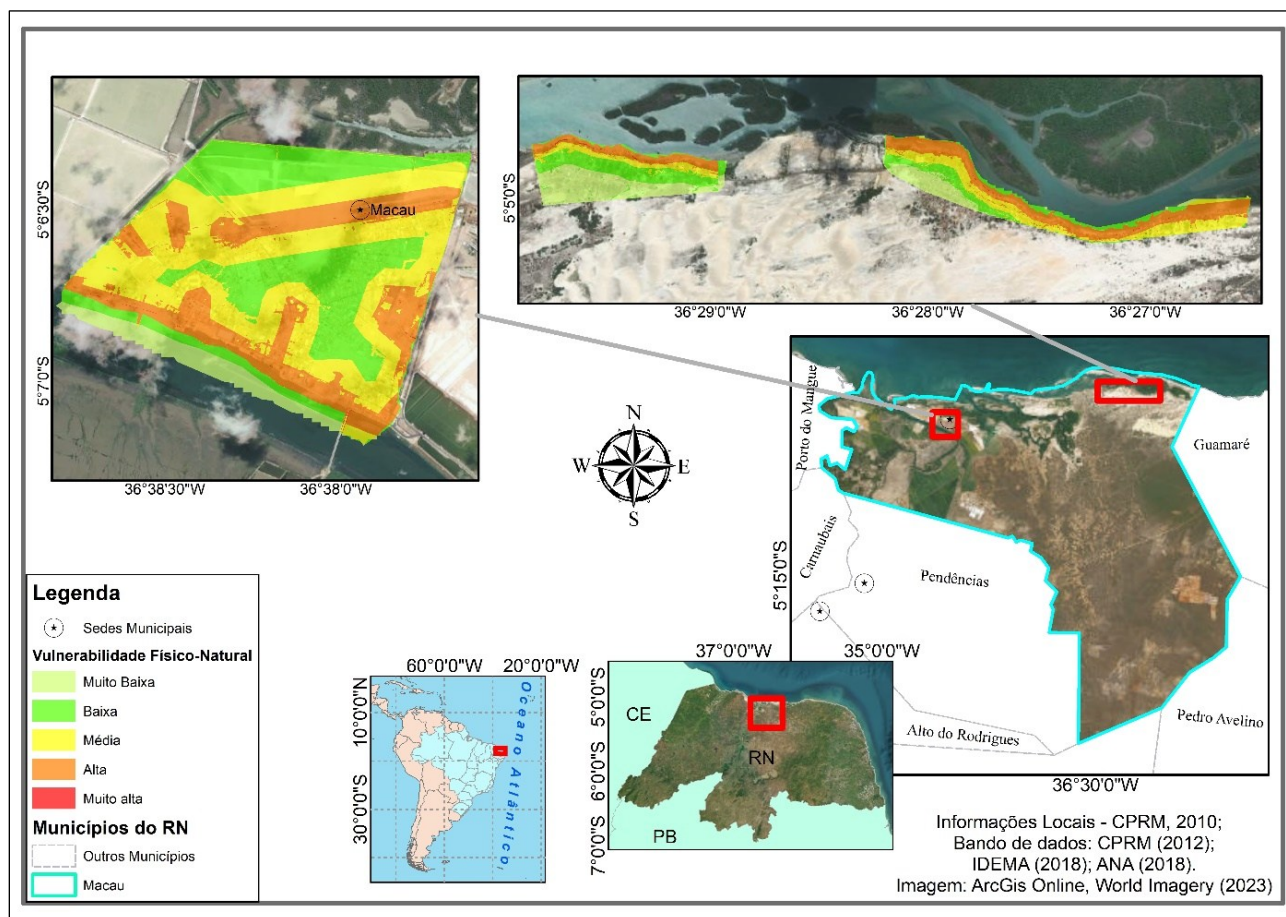


Figura 4 – Espacialização do Índice de Vulnerabilidade Físico-natural de Macau - RN.

Fonte: Autores (2025).

A sede municipal de Macau está localizada no delta do rio Piranhas-Açu e cercada por canais de drenagem e tanques utilizados na produção de sal marinho. Trata-se do setor mais urbanizado do município, estando diretamente exposto a eventos de inundação, elevação do nível médio do mar e oscilações estocásticas de maré. Além disso, a sede é intercotada por canais de drenagem urbana, responsáveis pelo escoamento pluvial em direção ao rio e às salinas. As áreas no entorno desses canais foram classificadas com alta vulnerabilidade físico-natural no IVFN, devido à sua maior exposição a alagamentos. Essas regiões representam os principais caminhos de retorno fluvial em casos de enchentes, conforme também analisado por Araújo *et al.* (2021).

3.1 Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSa)

O resultado do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSa) para o município de Macau aponta diretrizes importantes para o planejamento de políticas públicas e ações de mitigação de desastres, ao identificar áreas prioritárias segundo os níveis de vulnerabilidade socioambiental, com ênfase nos perigos de inundação e movimento de massa. A pesquisa evidenciou, nos distritos estudados, áreas de risco associadas à movimentação de massa, bem como, na sede municipal, zonas suscetíveis a enchentes e inundações. A Figura 5 apresenta os resultados da avaliação do IVSa aplicados às áreas de estudo.

Os bairros Navegantes (classificado como de muito alta vulnerabilidade), Valadão e Porto São Pedro (ambos com alta vulnerabilidade) foram os locais da sede municipal com os maiores níveis de vulnerabilidade socioambiental, sendo, portanto, prioritários para ações mitigadoras. Esses resultados refletem, sobretudo, a combinação de três dimensões do risco: exposição (proximidade aos canais de drenagem e ao rio), susceptibilidade e capacidade de lidar, esta última

associada a condições socioeconômicas adversas. Esses bairros já haviam sido identificados como áreas críticas em estudos anteriores (ARAÚJO *et al.*, 2021; SILVA, 2019), o que reforça a confiabilidade e a consistência dos resultados obtidos nesta pesquisa.

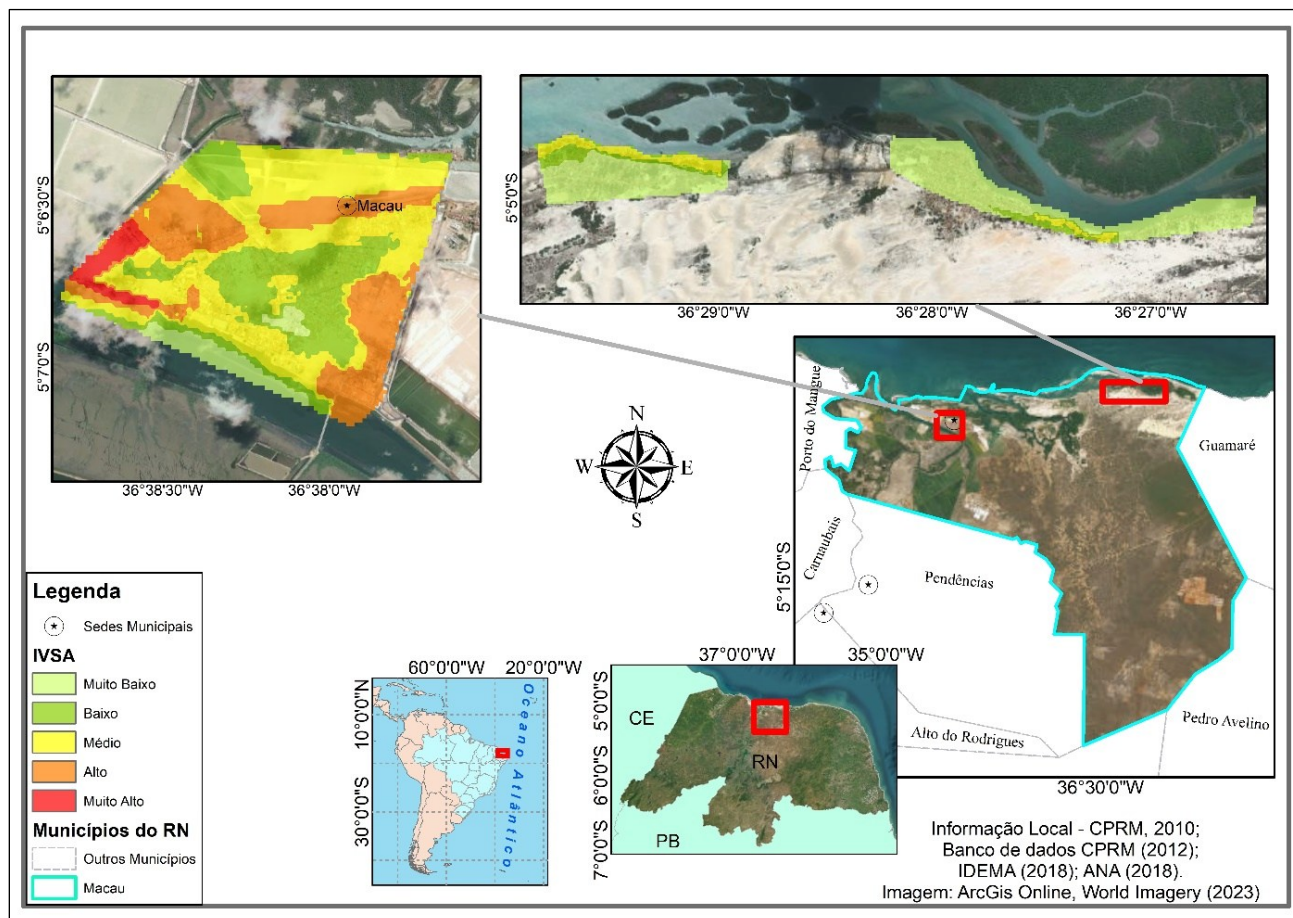


Figura 5 – Espacialização do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental de Macau - RN.

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

Nesse contexto, diversas ações de mitigação podem ser adotadas, especialmente nas áreas mais vulneráveis, incluindo melhorias na infraestrutura urbana, saneamento básico, políticas de empoderamento feminino, bem como assistência social voltada ao público infantojuvenil. Ressalta-se que, desde a data de referência dos dados utilizados (Censo Demográfico de 2010), foram identificadas melhorias em alguns componentes de infraestrutura, notadamente no saneamento básico. Assim, com a divulgação dos dados do Censo 2020 (realizado em 2022), será possível comparar os avanços e reavaliar os níveis de vulnerabilidade com base em informações mais atualizadas.

Entre as estratégias de enfrentamento, destacam-se as ações voltadas às famílias chefiadas por mulheres, como a ampliação da rede de CMEIs (Centros Municipais de Educação Infantil), que permite que mães em situação de vulnerabilidade busquem oportunidades de formação técnica e inserção no mercado de trabalho. Essas medidas contribuem diretamente para a redução da vulnerabilidade ao fortalecer a capacidade de adaptação e de enfrentamento frente a situações de risco.

Além das intervenções estruturais e sociais, é fundamental investir em educação para a Redução do Risco de Desastres (RRD). A conscientização deve ocorrer de forma transversal e contínua, desde as escolas até sindicatos, organizações não governamentais (ONGs) e instituições públicas, promovendo o conhecimento sobre os riscos, a exposição e as condições de vulnerabilidade associadas à ocupação humana. A formação de uma cultura de prevenção fortalece o empoderamento social e torna a população mais preparada para enfrentar situações adversas.

Nesse sentido, ações como simulados de evacuação, sistemas de alerta, sinalização de áreas de risco e a definição de pontos de encontro seguros são exemplos de medidas coordenadas voltadas à construção de cidades resilientes, em consonância com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015–2030, no âmbito da Estratégia Internacional para a Redução de Desastres das Nações Unidas (UNDRR, 2015), em parceria com a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), por meio da iniciativa Construindo Cidades Resilientes 2030.

4. Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi propor uma metodologia plausível e simplificada para análise da vulnerabilidade socioambiental em escala municipal, de modo que possa ser aplicada não apenas em contextos acadêmicos, mas também por organizações da sociedade civil e por entidades governamentais. A abordagem proposta consistiu na integração entre o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e o Índice de Vulnerabilidade Físico-Natural (IVFN), resultando no Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSa). Este índice demonstrou-se uma metodologia robusta e eficaz para subsidiar políticas públicas, ações institucionais e iniciativas coletivas voltadas à Redução do Risco de Desastres (RRD).

A avaliação do risco de desastres, sua divulgação e a proposição de medidas mitigadoras estão em consonância com os princípios da RRD estabelecidos pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Destaca-se ainda a articulação com projetos apoiados pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), como o Projeto de Aprimoramento da Gestão de Riscos e Desastres no Brasil. A metodologia proposta também dialoga com a urgência dos estudos sobre mudanças climáticas, uma vez que eventos como inundações e deslizamentos reforçam os alertas constantes nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), os quais indicam a crescente frequência e intensidade dos eventos extremos.

A pesquisa está diretamente relacionada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente ao ODS 6 – assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todas e todos – e ao ODS 11 – tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. Este último estabelece como meta a implementação de políticas e planos integrados de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, promovendo a resiliência urbana de acordo com os princípios do Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015–2030. No contexto brasileiro, essa meta está prevista até o ano de 2030, com o compromisso de “aumentar significativamente o número de cidades que possuem políticas e planos desenvolvidos e implementados para mitigação, adaptação e resiliência a mudanças climáticas e gestão integrada de riscos de desastres” (BRASIL, 2019).

Embora os dados do Censo Demográfico de 2010, realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sejam os mais recentes disponíveis em nível de setor censitário, eles ainda representam a melhor fonte para análises locais detalhadas. O Censo Demográfico 2022, embora já realizado, ainda não teve todos os seus dados divulgados nesse nível de detalhamento. Portanto, até o momento, os dados de 2010 permanecem como a referência mais precisa para estudos que exigem informações em escala censitária.

Com base no trabalho de campo e na produção do mapa de vulnerabilidade socioambiental do município de Macaú-RN, foi possível constatar que a metodologia proposta representou de maneira satisfatória a realidade local, sem apresentar distorções significativas. Ressalta-se, contudo, a importância de que a construção teórico-metodológica, a seleção de variáveis e a tabulação dos dados sejam continuamente discutidas e aprimoradas para a obtenção de resultados ainda mais refinados em pesquisas futuras.

Agradecimentos

Os autores expressam agradecimentos especiais à Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação (PROPI) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) pela inserção desta pesquisa no quadro institucional de projetos de pesquisa, por meio do Edital nº 04/2023 – PROPI/RE/IFRN. Agradecem, ainda, aos revisores da Revista de Geociências do Nordeste (REGNE) pelas contribuições valiosas e comentários pertinentes que colaboraram significativamente para o aprimoramento deste trabalho.

Referências

AGUIAR, L. S. et al: Low Cost Geotechnology Applied to Flood Risk Assessment in Coastal Urban Areas in Climate Change Scenarios. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 42, p. 267-290, 2019. Disponível em:

<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/30423>. https://doi.org/10.11137/2019_1_267_290 Acesso em: 25 nov. 2024.

- ALMEIDA, L. Q. D. *Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, Região metropolitana de Fortaleza, Ceará* (Tese de doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2010.
- ALMEIDA, L. Q. de; WELLE, T.; BIRKMANN, J. Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, [s.l.], v. 17. p. 251-272. 2016.
- ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. *Rev Brasileira de Estudos Populacionais*. 23(1). 43-59. 2006.
- ARAÚJO, P. V. do N. et al. Acurácia vertical e calibração de modelos digitais de elevação (MDEs) para a Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu, Rio Grande do Norte, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*. UFRJ. 2018.
- ARAÚJO, P. V. do N. et al. Tidal flood area mapping in the face of climate change scenarios: case study in a tropical estuary in the Brazilian semi-arid region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 21, n. 11, 2021. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/21/3353/2021/nhess-21-3353-2021.html>
- ARAÚJO, P. V. do N. *Geotecnologias de alta precisão no mapeamento de georisco a inundações frente às mudanças climáticas*. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- BLAIKIE, P. et al.: *At Risk: Natural Hazards, people's vulnerability, and disasters*. 1 ed. Routledge. 1994.
- BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível <https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html>. 2019. Acesso em 20 jun. 2023.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento. Secretaria Adjunta VI - Recursos Hídricos. Nota Técnica nº 01/2023. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/copy_of_NotaTecnica12023SADJVISAMCCPR_SEI_00042.000497_2023_74.pdf. Acesso em: 16 fev. 2024.
- CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, v. 20, n. 4. p. 529-539. 1996.
- CUTTER, S.L., C.T. Emrich, J.T. Mitchell, B.J. Boruff, M. Gall, M.C. Schmidtlein, C.G. Burton, and G. Melton, The long road home: Race, class, and recovery from Hurricane Katrina. *Environment*, 48(2), 8-20. 2006.
- DINIZ, M. T. M; PEREIRA, V. H. C. Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: Sistemas Atmosféricos Atuantes e Mapeamento de Tipos de Clima. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 35, n. 3. p. 488-506. 2015.
- ESTEVES, C. J. O. Risco e vulnerabilidade socioambiental: Aspectos conceituais. *Caderno Ipardes*. Estudos e pesquisas. 62-79. 2011.
- FREITAS, C. M.; CARVALHO, M. L.; XIMENES, E. F.; ARRAES, E. F.; GOMES, J. O. Vulnerabilidade socioambiental, redução do risco de desastres e construção da resiliência – lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. *Cien Saúde Colet*, 17(6):1577-1586. 2012.
- GIRÃO, Í. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. *Revista de Geociências do Nordeste*, [S. l.], v. 4, p. 71–83, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0ID13273. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/13273>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010 - Natal. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

-
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Censo demográfico. Rio de Janeiro. 2022. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/>
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. *Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Cambridge University Press, 976pp, from <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/>
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*, A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change. 1th ed. 2012. Cambridge University Press, from http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-All_FINAL.pdf
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. In Lee, H.; Romero, J. (eds). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. 2023.
- MACEDO, Y. M.; TROLEIS, A. L.; ALMEIDA, L. Q. Risco de Desabastecimento Hídrico na Região Seridó, Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.14, n.06, 3711-3735. 2021. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/250779/40214>.
- MACEDO, Y. M.; TROLEIS, A. L.; FRANÇA, V. V. D. Risco De Desabastecimento Hídrico Na Região Oeste do Rio Grande Do Norte, Brasil. *Geosaberes*, Fortaleza, v. 11, p. 532-550. 2020. <https://doi.org/10.26895/geosaberes.v11i0.1074>.
- MACEDO, Y. M. et al. Vulnerabilidade Socioambiental em escala de detalhe: O caso de Mãe Luiza, Natal, RN, Brasil. *Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais*, v. 6, n. 2, p. 145-157. Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/419>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- MACEDO, Y. M.; PEDROSA, L. P. D.; ALMEIDA, L. Q. de. Vulnerabilidade Social De Natal, Rn, Brasil: Operacionalização E Mensuração Do Fenômeno No Município. *Revista Geonorte*, [S. l.], v. 3, n. 4, p. 1020–1030, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1894>. Acesso em: 5 jul. 2024.
- MACEDO, Y.M. Contribuições do Geoprocessamento para estudos de risco e vulnerabilidade socioambiental em Natal/RN, Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste* 4, 44-62. 2018 <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/15243/10041>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- MARANDOLA J. E.; HOGAN, D. J. As dimensões da Vulnerabilidade. *São Paulo em Perspectiva*, v. 20, n. 1. p. 33-43. 2004
- MEDEIROS, M. D.: *Eventos hidroclimáticos extremos e vulnerabilidade socioambiental a inundações no Baixo-Açu - RN*. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Ceará. 2018. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/35674>.
- MEDEIROS, M. D.: *Vulnerabilidade Social e Exposição A Riscos Naturais No Município De Natal, RN*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2014. <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/19943>.
- MENDONÇA, F. A.; LEITÃO SA. M. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. *GeoTextos*; 4(1 e 2):145-163. 2008.
- OLIMPIO, J. L.; ZANELLA, M. E. Riscos Naturais: Conceitos, Componentes e Relações Entre Natureza e Sociedade. *Ra'e Ga*, v. 40, 2017.

-
- OLIVEIRA, F. L. S. de. *Indicadores De Vulnerabilidade e Risco Local: O Caso Do Município de Pacoti, CE*. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual do Ceará. 2018. <https://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=82180>.
- PELLING, M. Transformation: A Renewed Window on Development Responsibility for Risk Management. *Journal of Extreme Events* Vol. 01, n. 01. 2014. <https://doi.org/10.1142/S2345737614020035>.
- QUARANTELLI, E.L. *What is a Disaster? Perspectives on the Question*. Routledge, London. 1998.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2024. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAJU, E.; BOYD, E.; OTTO, F. Stop blaming the climate for disasters Commun. *Earth Environ*. 2022. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00332-2>.
- ROSENDO, E.E.Q. *Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade à seca na região semiárida brasileira*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2014. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5536>
- ROSENDO, E.E.Q., FILGUEIRA, H.J.A., SILVA, T.C., SOUZA, B.I. & Junior, M.H.S. *Determination and application of drought vulnerability indexes in the semi-arid region of Brazil*, GAIA Scientia, 11(2): 45-56. 2017. <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/31778>
- SAAVEDRA, J.; MARCHEZINI, V. Procesos de recuperación posdesastre en contextos biopolíticos neoliberales: los casos de Chile 2010 y Brasil 2011. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, [S. l.], n. 66, p. 131–148. 2020. DOI: 10.17141/iconos.66.2020.3987. Disponível em: <https://iconos.flacsoandes.edu.ec/index.php/iconos/article/view/3987>. Acesso em: 4 jul. 2024.
- SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Índice Paulista de Vulnerabilidade Social. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.seade.gov.br/produtos/ipus/pdf/oipvs/pdf>.
- SILVA, E. E. S. da. *Indicadores de vulnerabilidade e percepção do risco de alagamentos: estudo de caso no município de Macau/RN - Brasil*. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- SMITH, K. *Environmental Hazards: assessing risk and reducing disaster*. 3th ed. Routledge. London. 2001.
- UFSC-CEPED - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012*. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED-UFSC, 2013.
- UNDRR. *Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030*. Japão: Nações Unidas. 2015.
- VEYRET, Y. *Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. 2007. 1 ed. Editora Contexto.
- WELLE, T. BIRKMANN, J.: The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale. *Journal of Extreme Events [online]*. Vol. 02, No. 01. 2015. <https://doi.org/10.1142/S2345737615500037>
- 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* 2013; 25(2): 317-331.