

ORGANIZADORES

Lutiane Queiroz de Almeida
Silvia Midori Saito



Indicadores de riscos de desastres no Brasil

INDICADORES DE RISCOS DE DESASTRES NO BRASIL

Reitor

José Daniel Diniz Melo

Vice-Reitor

Henio Ferreira de Miranda

Diretoria Administrativa da EDUFERN

Maria das Graças Soares Rodrigues (Diretora)

Helton Rubiano de Macedo (Diretor Adjunto)

Renata Karolyne Gomes Coutinho (Secretária)

Conselho Editorial

Maria das Graças Soares Rodrigues (Presidente)

Judithe da Costa Leite Albuquerque (Secretária)

Adriana Rosa Carvalho

Alexandro Teixeira Gomes

Elaine Cristina Gavioli

Euzébia Maria de Pontes Targino Muniz

Everton Rodrigues Barbosa

Fabrcio Germano Alves

Francisco Wildson Confessor

Gleydson Pinheiro Albano

Gustavo Zampier dos Santos Lima

John Fontenele Araújo

Josenildo Soares Bezerra

Ligia Rejane Siqueira Garcia

Lucélio Dantas de Aquino

Marcelo de Sousa da Silva

Márcia Maria de Cruz Castro

Márcio Dias Pereira

Martin Pablo Cammarota

Nereida Soares Martins

Roberval Edson Pinheiro de Lima

Samuel Anderson de Oliveira Lima

Tatyana Mabel Nobre Barbosa

Secretária de Educação a Distância

Maria Carmem Freire Diógenes Rêgo

Secretária Adjunta de Educação a Distância

Ione Rodrigues Diniz Moraes

Coordenadora de Produção de Materiais Didáticos

Maria Carmem Freire Diógenes Rêgo

Coordenação Editorial

Mauricio Oliveira Jr.

Gestão do Fluxo de Revisão

Edineide Marques

Gestão do Fluxo de Editoração

Mauricio Oliveira Jr.

Conselho Técnico-Científico – SEDIS

Maria Carmem Freire Diógenes Rêgo – SEDIS (Presidente)

Aline de Pinho Dias – SEDIS

André Moraes Gurgel – CCSA

Antônio de Pádua dos Santos – CS

Célia Maria de Araújo – SEDIS

Eugênia Maria Dantas – CCHLA

Ione Rodrigues Diniz Moraes – SEDIS

Isabel Dillmann Nunes – IMD

Ivan Max Freire de Lacerda – EAJ

Jefferson Fernandes Alves – SEDIS

José Querginaldo Bezerra – CCET

Lilian Giotto Zarus – CB

Marcos Aurélio Felipe – SEDIS

Maria Cristina Leandro de Paiva – CE

Maria da Penha Casado Alves – SEDIS

Nedja Suely Fernandes – CCET

Ricardo Alexsandro de Medeiros Valentim – SEDIS

Sulemi Fabiano Campos – CCHLA

Wicliffe de Andrade Costa – CCHLA

Revisão Linguístico-textual

Cefla de Medeiros Gonçalves

Jakeline Simões Gomes

Juan dos Santos Silva

Revisão de ABNT

Fernando Rodrigues da Rocha Junior

Revisão Tipográfica

Andreza Souza Santos

Diagramação

Maria Clara Lopes Gslvão

Capa

Dickson de Oliveira Tavares

Lutiane Queiroz de Almeida
Silvia Midori Saito
Organizadores

INDICADORES DE RISCOS DE DESASTRES NO BRASIL

Prefácio
Francisco Mendonça





Fundada em 1962, a Editora da UFRN continua até hoje dedicada à sua principal missão: produzir impacto social, cultural e científico por meio de livros. Assim, busca contribuir, permanentemente, para uma sociedade mais digna, igualitária e inclusiva.

Publicação digital financiada com recursos do Fundo de Pós-graduação (PPG-UFRN). A seleção da obra foi realizada pela Comissão de Pós-graduação, com decisão homologada pelo Conselho Editorial da EDUFRN, conforme Edital n° 01/2023-PPG/EDUFRN/SEDIS, para a linha editorial Técnico-científica, de acordo com o disposto no processo 23077.149759/2023-04.

Catálogo da publicação na fonte
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Secretaria de Educação a Distância

Indicadores de riscos de desastres no Brasil [recurso eletrônico] /
organizado por Lutiane Queiroz de Almeida e Silvia Midori Saito. – 1.
ed. – Natal: EDUFRN, 2025.
1500KB; 1 PDF; il.,col.

ISBN 978-65-5569-571-7

1. Desastre – Indicadores de risco. 2. Desastre – Brasil. 3. Gestão de
Risco. I. Almeida, Lutiane Queiroz de. II. Saito, Silvia Midori.

CDU 504
I39

Elaborada por Edineide da Silva Marques CRB-15/488

Todos os direitos desta edição reservados à EDUFRN – Editora da UFRN
Av. Senador Salgado Filho, 3000 | Campus Universitário
Lagoa Nova | 59.078-970 | Natal/RN | Brasil
e-mail: contato@editora.ufrn.br | www.editora.ufrn.br
Telefone: 84 3342 2221

APRESENTAÇÃO

O Brasil apresenta um vasto território, marcado por sua imensa diversidade geográfica. Os desastres sempre representaram e ainda representam um desafio constante para a sociedade. Mais recentemente, de 2019 a 2024, o país testemunhou eventos climáticos extremos que deixaram marcas profundas em suas paisagens e comunidades, como no Rio de Janeiro, Pernambuco, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Inundações, secas, deslizamentos de terra e outros fenômenos, nas regiões Nordeste e Sul do país e na Amazônia, demonstraram a necessidade urgente de entendermos e mitigarmos os riscos e impactos associados a esses eventos. A covid-19 foi, muito provavelmente, o maior de todos os desafios no início de século XXI, tendo em vista o esforço coletivo para lidar com a pandemia e, infelizmente, um número de perdas humanas e econômicas sem precedentes até então.

Face a tal contexto, este livro, cujo eixo norteador e título são “Indicadores de Risco de Desastres no Brasil”, surge como uma valiosa contribuição para o entendimento e a gestão dessas ameaças. Esta obra não apenas explora os indicadores de risco de desastres, mas também aprofunda, em diferentes seções temáticas, cada uma abordando um aspecto crucial dessa problemática. Cada capítulo oferece uma perspectiva única, enriquecendo nossa compreensão dos desafios e oportunidades que enfrentamos no Brasil.

No capítulo inicial, a construção de indicadores de risco de desastres é discutida em detalhe, fornecendo uma base sólida para o restante do livro. A partir daí os leitores são levados a uma jornada pelos indicadores de risco de desastres no Brasil, com um foco especial na produção de bancos de dados de desastres na Seção 1. A análise de desastres deflagrados por movimentos de massa lança luz sobre as peculiaridades geográficas do país e a importância de indicadores de risco específicos para cada região/bioma/ecossistemas, na Seção 2.

A Seção 3, dedicada a indicadores de risco de inundações e secas, destaca a complexidade das ameaças enfrentadas em áreas urbanas e rurais, com um enfoque especial na Amazônia e no semiárido brasileiro. A análise não se limita apenas aos riscos físicos, mas também examina como esses eventos afetam

o setor saúde, enfatizando a necessidade de uma resposta coordenada e eficaz.

A modelagem e monitoramento de risco de desastres são abordados em detalhes na Seção 4, com um olhar crítico sobre as barragens no Brasil e a pandemia da covid-19 como um desastre global. Os capítulos desta seção nos lembram da importância de aprender com as lições do passado e de estar preparados para enfrentar desafios imprevistos. O fenômeno de “terras caídas” na Amazônia é abordado nesta seção, cujo tema é muito oportuno no momento que, em outubro de 2023, a região passa por uma das mais severas secas já registradas, e o fenômeno de “terras caídas” é deflagrado quando os rios amazônicos secam demasiadamente, fragilizando suas margens. Nesse contexto, um deslizamento do tipo “terras caídas” em Beruri, interior do estado do Amazonas, fez uma vila inteira desaparecer¹.

A Seção 5 explora indicadores de capacidade de resposta a desastres, destacando a importância da preparação comunitária, da assistência humanitária e da responsabilidade do poder público. A jurisprudência do Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul oferece um olhar jurídico sobre a responsabilidade em caso de inundações.

1 <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2023/10/02/mortos-apos-queda-de-barranco-fazer-vila-sumir-do-mapa-no-amazonas.ghtml>

Finalmente, a Seção 6 examina indicadores de resiliência a desastres, mostrando como as cidades, as comunidades e as organizações governamentais podem se preparar e se adaptar para enfrentar adversidades com o aprimoramento da resiliência.

Este livro não é apenas uma compilação de conhecimento acadêmico; é um guia valioso para profissionais, pesquisadores, gestores de riscos e tomadores de decisão que desejam compreender e abordar os desafios dos desastres no Brasil. Os capítulos apresentados aqui oferecem uma visão abrangente das diversas dimensões desse problema complexo e uma referência sólida para o desenvolvimento de estratégias eficazes de redução de riscos de desastres.

Nesse cenário de mudanças climáticas globais e desafios cada vez mais complexos, “Indicadores de Risco de Desastres no Brasil” é uma obra oportuna e relevante que nos inspira a enfrentar esses desafios com conhecimento, resiliência e determinação.

Desejamos a todos os leitores uma jornada enriquecedora por meio deste livro e a esperança de que as lições aprendidas e os conhecimentos compartilhados aqui contribuam para um Brasil mais seguro e preparado para os desafios do futuro.

Lutiane Queiroz de Almeida e Silvia Midori Saito

Natal/São José dos Campos, outubro de 2024

PREFÁCIO

[...] as respostas baseadas no panorama nacional e nos instrumentos políticos e jurídicos oferecidos pelas nossas instituições já não são capazes de enfrentar os desafios lançados hoje pela sociedade de risco global

Ulrich Beck (2017, p. 184) (1).

Anos atrás, em um momento em que já somava algumas experiências de estudos e orientações de pesquisas relativas aos riscos, deparei-me com questões que colocavam em cheque nossas premissas para a abordagem do tema. Até então, nosso enfoque acerca dos incontáveis problemas da sociedade ao vivenciar situações de risco era atinente aos fenômenos concretos eles mesmos, ou seja, a busca estava situada especialmente na compreensão da formação de situações de risco como fatos decorrentes das mudanças ambientais globais

associadas ao processo de globalização da humanidade no estágio do capitalismo avançado. Nessa fase do desenrolar da Modernidade, entendíamos, e particularmente matizados pela proposta de Ulrich Beck (1986), que o hiperavanço da indústria, da tecnologia e da informatização da sociedade formavam um conjunto de elementos fundamentais para se compreender a gênese do que ele compreendia como sendo a formação da Sociedade de Risco.

Estava dada, naquela condição, o amálgama necessário na nossa compreensão acerca da aceleração e intensificação dos eventos extremos como produtos derivados da complexidade da relação sociedade-natureza na fase pós-Segunda Guerra Mundial. Obviamente que, até por uma longa tradição histórica, o enfoque dos problemas derivados dos fenômenos extremos, tanto tendo sua gênese na Natureza quanto na Sociedade (até quando vamos enfocá-los separadamente??), estava marcado por uma perspectiva remediativa. Impunha-se, ao nosso ver, virar a chave dessa perspectiva e, para além da necessária remediação associada ao pós-desastre, desenvolver perspectivas para se atuar no sentido da prognose e da prevenção dos mesmos (pré-desastre) como forma, inclusive, de reduzir os impactos por eles causados.

Seriam mesmos os riscos oriundos apenas da complexização das relações sociais, econômicas e políticas da

pós-modernidade? Seriam resultados apenas da desatenção reinante do modo de vida moderno para com as bases ecológicas da vida e para com a segurança da vida humana no planeta? Parecia-nos necessário, ainda, por mais complexo que fosse, avançar na compreensão da gênese e dinâmica do fenômeno e nas narrativas que o acompanham; era preciso, entre outros motivos, avançar no sentido de destacar e evidenciar os atores sociais responsáveis pelos problemas no centro do discurso, afinal, o modo de vida e o sistema econômico não são atores sociais, por exemplo! Naquele contexto, o intenso debate travado com meu então orientando de mestrado Caetano Fischer Ranzi (2014) provocou-me a olhar o risco como uma construção social e histórica, não apenas da Modernidade, mas, sim, como uma condição resultante do que ele muito sabiamente nominou como condição limítrofe (o limite do exagero), e que sempre esteve presente na sociedade humana desde sua constituição. Embora seu estudo tenha se voltado ao período marcado pela Civilização Helênica, a que deu origem à Sociedade Ocidental, ele pôde muito bem pontuar como o risco esteve presente ao longo da história, ainda que não tenha sido reconhecido como tal na maior parte do tempo decorrido.

Não iremos aqui exumar a história, não é esse o objetivo deste texto. Importa situar a preocupação crescente de

indivíduos, movimentos sociais, estruturas políticas etc. com o crescente registro de impactos cada vez mais intensos e generalizados dos desastres no mundo hipermoderno, o contemporâneo. Esse fato decorre, entre outras razões, da acelerada degradação ecológica e ambiental do planeta após os anos cinquenta do século passado, momento no qual a fase imperialista do capitalismo se faz fatalmente explícita e devastadora na escala mundial e que, nas últimas décadas, tem recebido a alcunha de globalização dos processos políticos, econômicos e culturais da sociedade.

Interessante observar que é nessa mesma temporalidade que passaram a ser registradas e propaladas, de forma intensa na grande mídia, as mudanças ambientais globais, tanto a biodiversidade quanto os climas do planeta revelaram mudanças substanciais em sua composição e dinâmica, atestando a formação de uma nova fase na história natural do planeta, denominada Antropoceno. Natureza (híbrida)/Antropoceno e Sociedade/Globalização se imbricam de tal maneira nessa fase que é muito difícil separar um do outro, especialmente quando se trata de problemas complexos como aqueles associados aos riscos e desastres socioambientais presentes, cenarizados como de forte intensificação em um futuro próximo. Conceber os riscos e os desastres como sendo híbridos (Mendonça, 2021) constitui uma perspectiva clara para a maior parte dos

fenômenos que encerram essa abordagem e essa terminologia, afinal, o risco é mesmo uma construção social.

Aos riscos de desastres se impõem análises que lhes agregam importância e detalhamento, aspectos que contribuem fundamentalmente tanto para sua compreensão quanto para a gestão que lhes é associada. No campo dessas análises, destaca-se, como de especial importância, a abordagem da vulnerabilidade socioambiental dos grupos humanos como caminho para se evidenciar a desigual repercussão dos impactos dos desastres sobre eles; ela serve, em última instância, para se fazer compreender que os grupos humanos são diferentemente suscetíveis aos desastres e que devem, por isso mesmo, ser tratados diferentemente no processo. De um ponto vista político, é a abordagem da vulnerabilidade que permite compreender o processo de produção da segregação socioespacial de populações e, por conseguinte, entender como os assentamentos humanos marcados pela pobreza são os mais vitimados pelos desastres de toda ordem. Em um cenário de intensificação das mudanças ambientais/climáticas globais, sobre a qual não resta dúvida científica, é de se antever a gravidade dos impactos dos fenômenos extremos sobre os mais pobres em todo o planeta; é preciso enfatizar que as mudanças climáticas não afetarão a humanidade como um

todo e de maneira igual, elas irão vitimizar fortemente os pobres, especialmente aqueles do Sul Global.

Um outro elemento fundamental dessa abordagem é a resiliência, processo que denota a compreensão da capacidade de retorno de indivíduos, populações e lugares às condições pré-existentes aos desastres. Junto à vulnerabilidade e aos riscos, ela forma o tripé básico para a análise dos desastres e seus impactos na sociedade atual. Ela remete à ação remediadora e recuperadora de situações pós-desastre, mas deve, todavia, ser analisada com muita cautela e responsabilidade, posto que, em determinadas situações, torna-se inaplicável; veja-se o caso de uma favela, por exemplo. Em uma tal situação, o desencadeador do risco e do desastre não pode ser considerado o fenômeno natural extremo (uma chuva intensa, uma tempestade, um maremoto etc.), mas, sim, a própria ocupação com baixíssima qualidade de vida e com ausência de segurança dos habitantes; a resiliência, ali, não pode ser o retorno da localidade à condição anterior ao fenômeno natural extremo... a própria favela seria o fato deflagrador do desastre!

Toda essa reflexão remete a uma constatação: estudos e ações visando à compreensão e à gestão dos riscos e desastres necessitam de clareza conceitual, métodos seguros para desenvolvimento e, entre os elementos do processo, vários tipos

de indicadores para que se logre sucesso nas empreitadas de enfrentamento dos problemas associados. É nessa perspectiva que situamos a presente obra coletiva como trazendo uma fundamental contribuição à gestão dos riscos de desastres no Brasil; ela servirá, sem sombra de dúvidas, para contribuir com processos análogos em outras localidades mundo afora a partir dos estudos de caso nela contidos, mas, mais ainda, do ponto de vista conceitual, metodológico e de indicadores, terá amplitude ilimitada em campos diversos do conhecimento e da engenhosidade social. O leitor encontrará, nos vinte capítulos que a compõe, elementos suficientes para a compreensão necessária acerca das concepções, métodos, técnicas e indicadores que envolvem a problemática em tela.

E volto ao Beck (2017), à guisa de conclusão deste prefácio; no fragmento que utilizamos como abertura do texto, nossa pretensão é aquela de evidenciar que um dos elementos fundadores do Estado Nação Moderno foi o esquarteramento e a apropriação/exploração da natureza da superfície do planeta; ao fazê-lo, recortando o ecúmeno globalizado em nações soberanas e isoladas, em atendimento aos preceitos do sistema econômico-político da Modernidade, colocou em xeque a própria continuidade da vida humana na Terra. Uma vez comprometida, de maneira profunda, as bases ecológicas da existência humana estão a manifestar seus extertores de

maneira cada vez mais gritante, sendo que a intensificação dos riscos e desastres constituem tão apenas mais uma das evidências do colapso que nos autoinfringimos; buscar a reparação de ações tão ameaçadoras constitui um imperativo de nossos dias!

Francisco Mendonça.

Curitiba / Inverno de 2024.

REFERÊNCIAS

BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: como as alterações climáticas estão a transformar o mundo. Lisboa: Edições 70, 2017.

BECK, Ulrich. **Risk Society**: towards a new modernity. Londres: SAGE, 1986.

RANZI, Caetano Fischer. **A medida do exagero e o apocalipse cristão**: uma breve digressão sobre a gênese do risco na sociedade ocidental. Curitiba: Editora da UFPR, 2014.

MENDONÇA, Francisco (org.). **Riscos híbridos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

AGRADECIMENTOS

Caros pareceristas,

É com imensa gratidão que nos dirigimos a vocês para expressar nossa profunda apreciação pela dedicação e pelo valioso tempo que dedicaram à avaliação dos capítulos do livro "Indicadores de Riscos de Desastres no Brasil".

Sabemos que a tarefa de revisar e analisar extensos materiais acadêmicos é um compromisso exigente, que requer não apenas expertise, mas também uma apreciação atenta e crítica das ideias apresentadas. Foi com grande satisfação que recebemos seus pareceres, que revelaram um alto nível de conhecimento e cuidado com o nosso trabalho.

Suas contribuições desempenharam um papel crucial na melhoria da qualidade e no refinamento dos capítulos, e estamos confiantes de que, graças aos seus *insights*, nosso livro

se tornará uma referência valiosa no campo dos estudos sobre riscos de desastres no Brasil. Suas sugestões e comentários foram inestimáveis para aprimorar a clareza, a relevância e a solidez das pesquisas apresentadas.

Agradecemos sinceramente pelo esforço que cada um de vocês dedicou a essa avaliação e pelo comprometimento com a excelência acadêmica. Seu trabalho não apenas fortalece nosso livro, mas também contribui para o avanço do conhecimento em nossa área de estudo.

Esperamos que esta coletânea se torne um recurso valioso para acadêmicos, pesquisadores e profissionais que se dedicam ao entendimento e à gestão dos riscos de desastres no Brasil.

Mais uma vez, agradecemos pelo compromisso e expertise.

Atenciosamente,

Lutiane Queiroz de Almeida e Silvia Midori Saito

Lista de pareceristas

Ana Paula Martins do Amaral Cunha

Anderson Mululo Sato

Carlos Machado de Freitas

Daniel Metodiev

Eduardo Gomes Pinheiro

Francisca Leiliane Sousa de Oliveira

Hamilcar José Almeida Filgueira

João Athaydes Silva Junior

Lindberg Nascimento Junior

Luciana de Resende Londe

Marcos Barreto de Mendonça

Miguel da Guia Albuquerque

Milena Marília Nogueira de Andrade

Rosangela Garrido Machado Botelho

Sammya Vanessa Vieira Chaves

Tais de Moura Ariza Alpino

Vitor Vieira Vasconcelos

Wanda Maria Risso Günther

Sumário

CAPÍTULO 1 - Construindo indicadores de risco de desastres no Brasil.....	45

Lutiane Queiroz de Almeida

Silvia Midori Saito

SEÇÃO 1 - INDICADORES E BANCOS DE DADOS DE DESASTRES

CAPÍTULO 2 - Desastres na Região Nordeste do Brasil: decretos publicados entre 2016 e 2022	78

Maria da Conceição Dias do Nascimento

Sammya Vanessa Vieira Chaves

CAPÍTULO 3 - Reconstituição histórica da ocorrência de desastres hidrológicos no município de Fortaleza, Ceará: uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.....	116

Luís Felipe Xavier Valdivino

Francisca Leiliane Sousa de Oliveira

SEÇÃO 2 - INDICADORES DE RISCO DE MOVIMENTOS DE MASSA

CAPÍTULO 4 - Indicadores de risco em escala de detalhe e propostas de medidas de redução de risco de desastre: caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020).....154

Caroline Barros de Sales

Lutiane Queiroz de Almeida

CAPÍTULO 5 - Mapeamento de risco associado a movimentos de massa considerando indicador de vulnerabilidade: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ.....189

Dennis Rodrigues da Silva

Marcos Barreto de Mendonça

CAPÍTULO 6 - Indicadores de risco de desastres: correlação entre os índices pluviométricos e a ocorrência de deslizamentos no município de Juiz de Fora - MG.....228

Amanda Rodrigues da Silva Oliveira

Joviano Elias de Souza Assis

Camila Rosa Galvão da Costa

Luís Fernando Martins

Gabriel Felipe Iranço Martins da Silva

Aline Gasparoni dos Santos

Wilson Rodrigues Lourinho Netto

Márcio Aparecido Meireles

Diego de Souza Costa

Vanessa Eurico de Oliveira

SEÇÃO 3 - INDICADORES DE RISCO DE INUNDAÇÕES E SECAS

CAPÍTULO 7 - Indicadores de exposição da área urbana à
inundação em cidades amazônicas: estudo de caso Alenquer,
Pará.....263

Taís Carolina de Oliveira Alcântara

Milena Marília Nogueira de Andrade

CAPÍTULO 8 - Inundações graduais na Amazônia Legal: a
construção de um índice de criticidade para os municípios
frente à resposta do setor saúde.....298

Flavio Souza Brasil Nunes

Isadora Vida de Mefano e Silva

Carlos Machado de Freitas

CAPÍTULO 9 - Seca no semiárido do Brasil: a construção de um índice de criticidade para os municípios frente à resposta do setor saúde.....	335

Flavio Souza Brasil Nunes

Tais de Moura Ariza Alpino

Carlos Machado de Freitas

CAPÍTULO 10 - Construção de indicadores de vulnerabilidade ao desastre à seca no semiárido brasileiro: avaliação da exposição a partir do município de Caicó/RN.....	376

Anderson Geová Maia de Brito

Jhonathan Lima de Souza

CAPÍTULO 11 - Hydrological models and associated indicators for the analysis of risk and vulnerability to climate change.....	416

Vitor Vieira Vasconcelos

SEÇÃO 4 - MODELAGEM E MONITORAMENTO DE RISCO DE DESASTRE

CAPÍTULO 12 - Construindo indicadores para o monitoramento de riscos envolvendo barragens no Brasil: conhecendo o território e incorporando as lições aprendidas para subsidiar políticas públicas.....	457

Mariano Andrade da Silva

Fernanda Carvalho de Menezes

Carlos Machado de Freitas

Zélia Maria Profeta da Luz

CAPÍTULO 13 - A pandemia por covid-19 como um desastre global e seu monitoramento por meio do observatório da covid-19 Fiocruz: informação para ação.....	503

Carlos Machado de Freitas

Christovam Barcellos

Daniel Antunes Maciel Villela

Margareth Crisóstomo Portela

Lenice Costa Reis

Raphael Mendonça Guimarães

Diego Ricardo Xavier

Raphael de Freitas Saldanha

Isadora Vida Mefano

CAPÍTULO 14 - Remote sensing analysis of riverbank erosion (fallen lands – “terras caídas”) in the Amazon.....	539

Beatrice Mika Saito

Vitor Vieira Vasconcelos

Íris Celeste Nascimento Bandeira

Sheila Gatinho Teixeira

Dianne Danielle Farias Fonseca

SEÇÃO 5 - INDICADORES DE CAPACIDADE DE RESPOSTA AOS DESASTRES

CAPÍTULO 15 - Construção metodológica do índice de autossalvamento para comunidades à jusante de barragens de mineração.....	567

José Cláudio Junqueira

Francisco Bizzotto Gomes

Natália Maria de Oliveira

CAPÍTULO 16 - Os desastres e a carta humanitária: variáveis para o desenvolvimento de indicadores e o aperfeiçoamento das ações de socorro e assistência.....	603

George Luiz Pereira Santos

Lucas Barbosa e Souza

CAPÍTULO 17 - Indicadores de responsabilidade do poder público por inundação: uma análise a partir da jurisprudência do Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul.....	643

Fernanda Dalla Libera Damacena

SEÇÃO 6 - INDICADORES DE RESILIÊNCIA AOS DESASTRES

CAPÍTULO 18 - Índice de resiliência comunitária a desastres: aplicação em duas tipologias urbanas brasileiras.....	680

Wanda Maria Rizzo Günther

Mariana Gutierrez Arteiro da Paz

Júlia Alvez Menezes

Diego Bogado Tomasiello

Gustavo Felipe Balué Arcoverde

Maria Eugênia Gimenez Boscov

CAPÍTULO 19 - Um sistema de indicadores para avaliação dos aspectos institucionais da resiliência de cidades.....	717

Cynthia Carneiro de Albuquerque Suassuna

CAPÍTULO 20 - Construção de um sistema de indicadores de resiliência para organizações governamentais de gerenciamento de riscos e desastres no Brasil.....	756

Viviana Maura dos Santos

Ricardo José Matos de Carvalho

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

Carla Almeida Vivacqua

Sobre os autores

Organizadores

Lutiane Queiroz de Almeida

Professor Associado do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – DGE/UFRN, coordenador do grupo de pesquisa GEORISCO-UFRN, coordenador do Núcleo de Pesquisa sobre Desastres – NUPED-UFRN, e professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – PPGGe/UFRN.

E-mail: lutiane.almeida@ufrn.br

Silvia Midori Saito

Pesquisadora do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Doutora (2011) em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina. Docente dos Programas de Pós-Graduação em Desastres Naturais, da Universidade Federal de Santa Catarina e da Universidade Estadual Paulista/Cemaden. Email: silvia.saito@cemaden.gov.br

Demais autores

Maria da Conceição Dias do Nascimento

Mestre em Análise e Planejamento Espacial pelo Instituto Federal do Piauí.

Email: nascimentomcdgab@gmail.com.

Sammya Vanessa Vieira Chaves

Professora Doutora do Instituto Federal do Piauí - IFPI, Campus Angical.

Email: sammyachaves@ifpi.edu.br.

Luís Felipe Xavier Valdivino

Mestre em Geografia pela Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA.

E-mail: felipe.mageouva@gmail.com

Francisca Leiliane Sousa de Oliveira

Doutora em Geografia e Especialista em
Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental e
Recursos Hídricos pela Universidade Estadual do Ceará –
UECE.

E-mail: leila.geografia@gmail.com

Caroline Barros de Sales

Doutoranda em Planejamento e Gestão do Território pela
Universidade Federal do ABC - UFABC.

E-mail: barroscaroline95.1@gmail.com

Dennis Rodrigues da Silva

Professor da rede estadual de educação do estado do Rio de
Janeiro e analista censitário no IBGE.

E-mail: dennis.silva@ppe.ufrj.br

Marcos Barreto de Mendonça

Professor Associado da Escola Politécnica da UFRJ, Professor
Visitante da Universidade de Salerno (Itália) em 2022.

E-mail: mbm@poli.ufrj.br

Amanda Rodrigues da Silva Oliveira

Engenheira Civil - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil - Prefeitura de Juiz de Fora - Técnica em Edificações.
Email: amandadefesaciviljf@gmail.com

Joviano Elias de Souza Assis

Engenheiro Civil - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil
- Prefeitura de Juiz de Fora - Assessor.

Camila Rosa Galvão da Costa

Engenheira Civil - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil
- Prefeitura de Juiz de Fora - Gerente do Departamento de Prevenção e Atividades Intersetoriais.

Luís Fernando Martins

Engenheiro Civil - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil
- Prefeitura de Juiz de Fora -Subsecretário.

Aline Gasparoni dos Santos

Engenheira Civil - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil
- Prefeitura de Juiz de Fora - Supervisora de Voluntariado e Educação Preventiva.

Wilson Rodrigues Lourinho Netto

Engenheiro Civil - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil -
Prefeitura de Juiz de Fora - Supervisor de Técnicas de Defesa
Civil.

Márcio Aparecido Meireles

Técnico de Estradas - Subsecretaria de Proteção e Defesa
Civil - Prefeitura de Juiz de Fora.

Fábio Fonseca Oliveira

Engenheiro Civil - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil
- Prefeitura de Juiz de Fora -Gerente do Departamento de
Operações Técnicas.

Vanessa Eurico de Oliveira

Estagiária de Geografia - Subsecretaria de Proteção e Defesa
Civil - Prefeitura de Juiz de Fora.

Gabriel Felipe Iranço Martins da Silva

Estagiário de Engenharia Civil - Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil - Prefeitura de Juiz de Fora.

Taís Carolina de Oliveira Alcântara

Engenheira Ambiental e de Energias Renováveis formada pela Universidade Federal Rural da Amazônia, Mestre em Gestão de Risco e Desastres na Amazônia Universidade Federal do Pará.
Email: taisalcantara2@hotmail.com

Milena Marília Nogueira de Andrade

Docente da Universidade Federal Rural da Amazônia e da Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres na Amazônia na Universidade Federal do Pará.
Email: milena.andrade@ufpa.edu.br

Flavio Souza Brasil Nunes

Geógrafo (UFRJ), mestre em Desenvolvimento Sustentável (UFRRJ), doutorando em Geografia (PPGG/UFRJ) e pesquisador colaborador do CEPEDDES (Fiocruz).
E-mail: flaviosbn@gmail.com

Isadora Vida de Mefano e Silva

Geógrafa (UFF), mestre em saúde pública (ENSP/ Fiocruz), doutoranda em Geografia (PPGG/UFRJ) e pesquisadora colaboradora do CEPEDDES (Fiocruz).

E-mail: isadoramefano@gmail.com

Carlos Machado de Freitas

Historiador (UFF), doutor em saúde pública (Fiocruz) e pós-doutor pelo Programa de Ciências Ambientais (USP). Pesquisador da ENSP (Fiocruz) e Coordenador do CEPEDDES (Fiocruz).

E-mail: carlos.freitas@ensp.fiocruz.br

Tais de Moura Ariza Alpino

Nutricionista (UFRJ), doutora em saúde pública (ENSP/ Fiocruz), pesquisadora colaboradora do CEPEDDES (Fiocruz).

Email: arizatais@gmail.com.

Anderson Geová Maia de Brito

Bacharel, licenciado e mestre em geografia com ênfase em Geodinâmica Ambiental, Risco e Ordenamento Territorial pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Faz parte do grupo de pesquisa em Dinâmicas Ambientais, Riscos e Ordenamento do Território (GEORISCO) da UFRN e atua como professor, consultor socioambiental e pesquisador. Email: anderson.maia.geo@gmail.com

Jhonathan Lima de Souza

Geógrafo e Mestre pela UFRN, Doutorando pela Unicamp. Atua como pesquisador e consultor parlamentar. Integra o Georisco, NUPED e o Lecbh Estuda riscos tecnológicos, segurança de barragens, vulnerabilidade à seca e epidemiologia. E-mail: j234501@dac.unicamp.br

Vitor Vieira Vasconcelos

Doutor em Ciências Naturais, Mestre em Geografia,
Especialista em Solos e Meio Ambiente, Bacharel em
Ciências Ambientais, Bacharel em Filosofia, Licenciatura
em Geografia, Técnico em Informática Industrial, Técnico
em Meio Ambiente, Professor Adjunto na Universidade
Federal do ABC.

Email: vitor.v.v@gmail.com

Mariano Andrade da Silva

Doutor em Saúde Pública (Fiocruz)

Email: mariano.silva@fiocruz.br

Fernanda Carvalho de Menezes

Mestre em Ciências da Saúde (Fiocruz)

Email: fernanda.menezes@fiocruz.br

Zélia Maria Profeta da Luz

Doutora em Parasitologia (UFMG)

Email: zelia.profeta@fiocruz.br

Christovam Barcellos

Doutor em Geociências (UFF), Pesquisador da ENSP (Fiocruz).

Email: christovam.barcellos@icict.fiocruz.br

Daniel Antunes Maciel Villela

Doutor em Engenharia Elétrica (Columbia University).

Email: daniel.villela@fiocruz.br

Margareth Crisóstomo Portela

Doutora em Health Policy and Administration (University of North Carolina at Chapel Hill)

Email: mportela@ensp.fiocruz.br

Lenice Costa Reis

Doutora Saúde Pública (Fiocruz)

Email: lenicereis@ensp.fiocruz.br

Raphael Mendonça Guimarães

Doutorado em Saúde Pública (UFRJ) e em Demografia (UNICAMP)

Email: raphael.guimaraes@fiocruz.br

Diego Ricardo Xavier

Doutor Saúde Pública (Fiocruz)

Email: diego.ricardo@icict.fiocruz.br

Raphael de Freitas Saldanha

Doutor em Informação e Comunicação em Saúde (Fiocruz)

Email: raphael.saldanha@icict.fiocruz.br

Isadora Vida Mefano

Doutoranda em Geografia (UFRJ)

Email: isadoramefano@gmail.com

Beatrice Mika Saito

Bacharel em Ciência e Tecnologia, Bacharelada em Engenharia Ambiental e Urbana, Universidade Federal do ABC.

Email: beatricesaito@gmail.com

Íris Celeste Nascimento Bandeira

Doutoranda em Clima Meio Ambiente, Mestre em Geologia e Geoquímica, Especialista em Engenharia Geotécnica, Graduação em Geologia, Pesquisadora da CPRM.

Email: iriscnbandeira@gmail.com

Sheila Gatinho Teixeira

Doutorado, Mestrado e Graduação em Geologia. Pesquisadora da CPRM.

Email: sheila.teixeira@cprm.gov.br

Dianne Danielle Farias Fonseca

Mestre em Gestão de Desastres Naturais, Graduação em Geologia. Pesquisadora da CPRM.

Email: diannefarias@gmail.com

José Cláudio Junqueira

Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, Filiação Escola Superior | Dom Helder Câmara (Belo Horizonte, MG).
E-mail: jcjunqueira@yahoo.com

Francisco Bizzotto Gomes

Bacharel em Geografia Universidade Federal de Minas Gerais, Pós- Graduação: Desastres Naturais – Universidade Federal de Santa Catarina (2023).

E-mail: chicobizzotto@gmail.com

Natália Maria de Oliveira

George Luiz Pereira Santos

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente (PPGCIAMB), Universidade Federal do Tocantins (UFT), Coronel da Reserva do Corpo de Bombeiros (AC) e Ex-Coordenador Municipal de Defesa Civil de Rio Branco (AC)

Lucas Barbosa e Souza

Professor Titular do Curso de Geografia (UFT/Porto Nacional), do Programa de Pós-Graduação em Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Fernanda Dalla Libera Damacena

Advogada, consultora e pesquisadora. Especialista em Direito do Estado. Mestre e Doutora em Direito Público, com ênfase no estudo do direito dos desastres, meio ambiente e a conexão dessas matérias com as mudanças climáticas. Pós-doutorado em Sustentabilidade e Direito Socioambiental.

Wanda Maria Risso Günther

Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública e Centro de Sínteses Cidades Globais do Instituto de Estudos Avançados, da Universidade de São Paulo

Mariana Gutierrez Arteiro da Paz

Centro de Sínteses Cidades Globais do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Júlia Alvez Menezes

Divisão de Impactos Adaptação e Vulnerabilidade (DIIAV), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Diego Bogado Tomasiello

Laboratório de Geoprocessamento da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Gustavo Felipe Balué Arcoverde

Divisão de Impactos Adaptação e Vulnerabilidade (DIIAV),
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Maria Eugênia Gimenez Boscov

Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica -
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Cynthia Carneiro de Albuquerque Suassuna

Universidade Católica de Pernambuco.
Email: Cynthia.suassuna@unicap.br

Viviana Maura dos Santos

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção,
Grupo de Extensão e Pesquisa em Ergonomia-GREPE e Núcleo
Interdisciplinar de Pesquisas sobre Desastres--NUPED da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PEP/UFRN).
Email: vivianamaura@gmail.com

Ricardo José Matos de Carvalho

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PEP/UFRN).
Email: rijmatos@gmail.com

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de
Engenharia Nuclear, UFRJ.
Email: paulov@ien.gov.br

Carla Almeida Vivacqua

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PEP/UFRN).
Email: carla.vivacqua@ufrn.br

1

CONSTRUINDO INDICADORES DE RISCO DE DESASTRES NO BRASIL

Lutiane Queiroz de Almeida

Silvia Midori Saito

INTRODUÇÃO

Os desastres deflagrados por processos naturais são eventos frequentes e crescentes no Brasil, causando prejuízos econômicos, sociais e ambientais significativos. Entre 2008 e 2016, foram registrados 20.613 reconhecimentos de situação de emergência e estado de calamidade pública no Brasil, de acordo com o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID (Brasil, 2023). Segundo estudo da Confederação Nacional de Municípios, o país contabilizou perdas financeiras causadas por desastres deflagrados por

processos naturais na ordem de 347 milhões de reais no período de 2013 a 2022 (CNM, 2022).

Mesmo não tendo sido causado por ameaças naturais, um dos eventos mais marcantes dos últimos anos foi a tragédia de Brumadinho, em Minas Gerais, em janeiro de 2019, quando uma barragem de rejeitos da mineradora Vale se rompeu, causando mais de 250 mortes e impactando gravemente o meio ambiente local e as comunidades. Em 2022, eventos extremos de precipitação evidenciaram as vulnerabilidades sociais, institucionais e legais no país, a exemplo dos desastres em Petrópolis (RJ), Espírito Santo, Santa Catarina, Pernambuco e Alagoas. Mais recentemente, em fevereiro de 2023, em São Sebastião (SP), ficou claro que o Brasil precisa avançar muito em termos de tomada de decisão no que diz respeito à gestão de risco de desastres.

Além disso, o país tem enfrentado secas prolongadas, especialmente na região Nordeste, que têm afetado a produção agrícola e o abastecimento de água para a população. As queimadas na região amazônica e no Pantanal também têm sido uma grande preocupação, causando danos à biodiversidade e à saúde das pessoas que vivem nas áreas afetadas. Esses eventos destacam a importância de políticas públicas de prevenção e preparação para enfrentar os desafios impostos

pelos desastres, especialmente em um contexto de mudanças climáticas globais.

Nesse sentido, é fundamental que haja uma gestão efetiva do risco de desastres, a qual depende, em grande parte, da produção e análise de indicadores de risco. Tais indicadores permitem avaliar a vulnerabilidade das comunidades, dos ecossistemas e das infraestruturas, além de subsidiar a tomada de decisão para ações preventivas e mitigatórias. Neste capítulo, serão abordados os principais aspectos relacionados à produção de indicadores de risco de desastres no Brasil, incluindo metodologias, banco de dados disponíveis, exemplos de indicadores e índices já elaborados, desafios e potencialidades na produção de indicadores no país.

CONSTRUINDO INDICADORES DE RISCO DE DESASTRES

Indicadores são medidas quantitativas que refletem uma situação ou tendência em relação a um determinado aspecto. Eles são importantes, principalmente, porque fornecem uma visão geral de uma situação ou tendência, o que pode ajudar a identificar problemas ou oportunidades. Eles podem ainda ser utilizados para tomar decisões, já que fornecem dados objetivos e precisos sobre o desempenho em áreas específicas (Shimizu; Clark, 2019).

Ao medir o desempenho de forma quantitativa, os indicadores tornam possível identificar pontos fortes e fracos e tomar medidas para melhorar a eficiência, além do que permitem acompanhar a evolução de uma situação ou tendência ao longo do tempo, facilitando o monitoramento e avaliação do desempenho (Niemeijer, 2002).

A construção de indicadores refere-se ao processo de projetar e criar métricas mensuráveis que podem ser usadas para avaliar e acompanhar o progresso em direção a uma meta ou objetivo específico. Esse processo envolve identificar as principais áreas de foco, determinar quais dados precisam ser coletados e criar um sistema para medir e relatar os dados. Os indicadores construídos devem ser específicos, mensuráveis, acionáveis, relevantes e com prazo definido, a fim de fornecer informações claras e confiáveis sobre o progresso e os resultados do projeto ou programa (Wass *et al.*, 2014).

Os indicadores podem ser usados em uma variedade de configurações, do mercado financeiro a políticas públicas em saúde, para acompanhar o progresso e tomar decisões baseadas em dados. Há indicadores que podem ser construídos durante esses processos e incluir métricas financeiras, de desempenho ou de monitoramento. Alguns exemplos comuns de indicadores incluem medidas de desempenho

financeiro, satisfação do cliente e resultados de saúde pública (Mandinach, 2012).

De modo específico, a elaboração de indicadores no contexto da redução do risco de desastres busca o desenvolvimento e a implementação de indicadores mensuráveis que possam ser usados para avaliar a eficácia dos esforços de redução do risco de desastres (RRD). Esses indicadores são usados para avaliar o desempenho dos programas, políticas e estratégias de gestão de riscos de desastres e para identificar áreas que necessitam de maior atenção (Carreño; Cardona; Barbat, 2007).

RRD é uma abordagem sistemática para identificar, avaliar e reduzir os riscos de desastres deflagrados por processos naturais e/ou induzidos pelo homem. Ela visa reduzir a vulnerabilidade e a exposição a perigos e aumentar a capacidade das comunidades e sociedades para lidar com os impactos dos desastres. A RRD inclui uma série de temas, como avaliações de vulnerabilidades e risco, além de planejamento do uso da terra, sistemas de alerta precoce e campanhas de educação e conscientização pública. O objetivo é reduzir a probabilidade e o impacto dos desastres e promover o desenvolvimento sustentável (Twigg, 2015).

Para atingir esses objetivos, é fundamental que hajam indicadores de riscos de desastres disponíveis, principalmente a respeito dos seguintes tópicos:

- Frequência e intensidade do perigo: isso inclui a probabilidade e a gravidade dos perigos naturais, como terremotos, furacões, inundações e secas;
- Vulnerabilidade: refere-se à suscetibilidade de uma comunidade ou população aos efeitos de um desastre. Fatores como pobreza, falta de acesso a recursos e infraestrutura precária podem aumentar a vulnerabilidade;
- Exposição: refere-se ao número e características de pessoas, edifícios e outros ativos que estão em risco em um desastre;
- Capacidade de enfrentamento: refere-se à capacidade de uma comunidade ou sociedade de se preparar, resistir e se recuperar de um desastre. Fatores como planos de resposta a emergências, redes sociais e acesso a recursos podem afetar a capacidade de enfrentamento;
- Capacidade de adaptação: refere-se à capacidade de uma comunidade ou sociedade de se ajustar às mudanças nas condições e reduzir os riscos de desastres futuros. Isso inclui medidas como planejamento do uso da terra, redução de riscos e redução de riscos de desastres;

- Risco: trata-se da combinação do perigo, da vulnerabilidade, da exposição e das capacidades de resposta e adaptação para avaliar o risco geral de ocorrência de um desastre e o impacto potencial em uma comunidade ou população (Almeida; Welle; Birkmann, 2016).

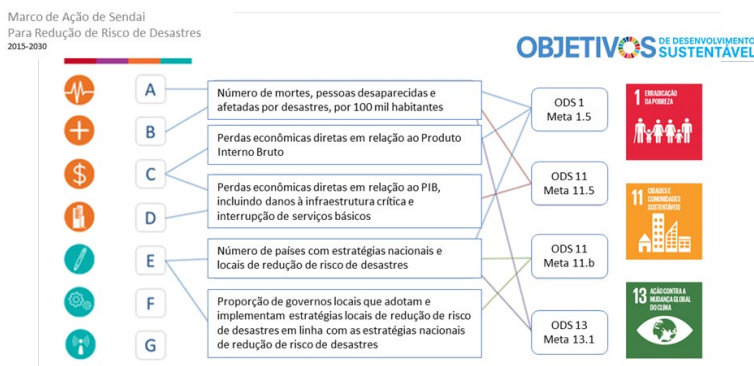
No geral, esses indicadores fornecem um meio de medir o progresso na implementação do Marco de Ação de Sendai (MAS) e ajudam a identificar áreas onde são necessárias mais ações para reduzir o risco de desastres e aumentar a resiliência. Por exemplo, para o acompanhamento do progresso dos países em alcançar as sete metas estabelecidas pelo MAS, foram definidos 38 indicadores, recomendados por um grupo de especialistas.

Uma plataforma online² está disponível para acessar os dados referentes aos países participantes em cada uma das metas. A consulta aos dados relativos ao Brasil, realizada em agosto de 2023, mostrou que há associação somente a duas metas, referentes à mortalidade e perdas econômicas. Por exemplo, em relação ao número de vítimas e pessoas desaparecidas devido aos desastres, comparando-se os períodos de 2005 a 2014 e 2011 a 2020, houve uma redução e 16,83%,

2 <https://sendaimonitor.undrr.org/>

Diferentemente do Marco de Ação de Hyogo, o MAS tem melhor relação com outras agendas globais, a exemplo do Acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas e da Agenda 2030 (Figura 1). Nota-se que as metas estão associadas a indicadores, que possibilitam o monitoramento ao longo do tempo. Nesse sentido, torna-se imprescindível que os países colem, organizem e mantenham bancos de dados associados a tais indicadores.

Figura 1 - relação entre metas do Marco de Ação de Sendai e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: adaptado de UNDRR (2021).

Ao consultar a plataforma Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em especial, sobre o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), constata-se que, entre os 14 indicadores, 5 não dispõem de

dados produzidos no Brasil, como por exemplo, a proporção de população que tem acesso adequado a transporte público, por sexo, idade e pessoas com deficiência. A indisponibilidade desses indicadores pode impactar a condução de políticas públicas no país, de modo a assegurar melhorias à população.

CONSTRUINDO INDICADORES DE RRD NO BRASIL

A construção de indicadores de Redução de Risco de Desastres (RRD) no Brasil deve envolver várias etapas, que considerem uma abordagem abrangente sobre os perigos e riscos específicos do país, incluindo a participação de várias partes interessadas para uma implementação eficaz em termos de gestão de risco (Asadzadeh et al., 2017; Almeida; Welle; Birkmann, 2016; Almeida et al., 2020).

O desafio de produzir indicadores no Brasil se depara com a imensa diversidade territorial, demográfica, cultural, política e ambiental do país. Para isso, é fundamental que se identifiquem os perigos naturais com maior frequência e magnitude, tais como inundações, secas, deslizamentos de terra e tempestades severas. Aliado a esse aspecto, é necessário que se desenvolva um conjunto de indicadores que possam medir o nível de vulnerabilidade do país a esses perigos, como o número de pessoas que vivem em áreas suscetíveis, a

disponibilidade de sistemas de alerta precoce e a capacidade das equipes de resposta a emergências (Zabaniotou et al., 2020).

Para que os indicadores anteriormente mencionados sejam produzidos, é fundamental o estabelecimento de uma linha de base por meio da coleta e análise de dados, como a realização de pesquisas e coleta de dados históricos sobre desastres deflagrados por processos naturais. Conforme Beccari (2016) e Debortoli et al. (2017), as principais etapas para produzir indicadores de risco de desastres no Brasil devem seguir algumas orientações básicas:

Identificação dos riscos

O primeiro passo consiste em identificar os tipos de riscos existentes na região de interesse. É importante conhecer as características geográficas, climáticas, demográficas e socioeconômicas da área para identificar os tipos de riscos que podem afetar a população. Essa identificação pode ser realizada por meio de dados estatísticos, relatórios de desastres anteriores, imagens de satélite e outras fontes de informação.

Seleção dos indicadores

Uma vez que os riscos foram identificados, é necessário selecionar os indicadores que serão utilizados para medir o nível de risco em cada área. Existem diversos indicadores

que podem ser empregados para medir o risco de desastres, como a taxa de mortalidade, o número de pessoas afetadas, o número de casas destruídas, a área afetada, entre outros. A escolha dos indicadores dependerá das características dos riscos identificados e dos objetivos da análise.

Coleta de dados

Após a seleção dos indicadores, é necessário coletar os dados necessários para calcular os valores dos indicadores em cada área. Esses dados podem ser obtidos por meio de fontes governamentais, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), entre outras fontes. Também é possível utilizar dados de satélite e outras tecnologias de sensoriamento remoto para complementar as informações coletadas.

Análise dos dados

Com os dados coletados, é possível realizar a análise dos indicadores e identificar as áreas com maior risco de desastres. É importante utilizar técnicas estatísticas e geoespaciais para analisar os dados e identificar padrões e tendências que possam indicar um aumento no risco de desastres em determinadas áreas.

Comunicação dos resultados

Por fim, os resultados da análise devem ser comunicados às autoridades locais, à população e aos demais envolvidos na gestão de riscos de desastres. É importante apresentar os resultados de forma clara e acessível, utilizando mapas, gráficos e outros recursos visuais para facilitar a compreensão dos resultados e as decisões tomadas.

Metodologias para a produção de indicadores de risco de desastres no Brasil

A produção de indicadores de risco de desastres no Brasil envolve a utilização de metodologias que permitem a coleta e análise de informações relevantes para a avaliação do risco (Almeida; Welle; Birkmann, 2016; Almeida *et al.*, 2020; Kappes *et al.*, 2014). Algumas das principais metodologias utilizadas no país incluem:

- **Análise de vulnerabilidade:** essa metodologia visa avaliar a vulnerabilidade dos ecossistemas, das comunidades e das infraestruturas frente aos riscos de desastres. A análise é baseada em informações sobre as características geográficas, demográficas, socioeconômicas, culturais e ambientais da região de interesse, bem como nas ameaças e nos impactos potenciais dos desastres. Os resultados da análise permitem identificar os

principais fatores de risco e orientar ações de prevenção e mitigação.

- Mapeamento de riscos: essa metodologia consiste na representação cartográfica dos riscos de desastres em uma determinada região, utilizando-se informações sobre as ameaças, vulnerabilidades e capacidades locais. O mapeamento pode ser feito em diferentes escalas e permite a identificação de áreas prioritárias para investimentos em prevenção e mitigação.
- Índices de risco: essa metodologia envolve a construção de índices que agregam diferentes variáveis relacionadas aos riscos de desastres em uma determinada região. Os índices permitem a comparação entre diferentes áreas e a identificação de tendências ao longo do tempo. Alguns exemplos de índices utilizados no Brasil incluem o Índice de Vulnerabilidade Social (Costa; Marguti, 2015) e o Índice de Risco de Desastres do Brasil (Almeida; Welle; Birkmann, 2016; Almeida *et al.*, 2020).

Banco de dados disponíveis para a produção de indicadores de risco de desastres no Brasil

A produção de indicadores de risco de desastres no Brasil requer a utilização de informações relevantes, atualizadas e confiáveis. Nesse sentido, é fundamental contar com banco de dados que possam subsidiar a produção desses indicadores. Algumas das principais fontes de dados utilizadas no país incluem:

- SEDEC: a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil é responsável pela coordenação e gestão das ações de preparação, resposta e recuperação em situações de desastres no Brasil. A SEDEC possui um banco de dados com informações sobre desastres ocorridos no país, além de dados sobre decretos de situação de emergência e estado de calamidade pública, capacidades locais e outras informações relevantes para a gestão do risco;
- IBGE: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é responsável pela produção e disseminação de informações estatísticas sobre o país. O IBGE possui diversos bancos de dados que podem ser utilizados na produção de indicadores de risco, como o Censo Demográfico, a Pesquisa Nacional por Amostra de

Domicílios (PNAD), a Conta Satélite de Meio Ambiente e a População em Áreas de Risco no Brasil;

- INPE: o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é responsável pelo monitoramento de alguns tipos de desastres no Brasil, como as queimadas. O INPE possui bancos de dados com informações sobre o clima, a vegetação, a topografia e outros aspectos relevantes para a avaliação do risco;
- ANA: a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. A ANA possui um banco de dados com informações sobre a disponibilidade de água, as bacias hidrográficas e outras informações relevantes para a avaliação do risco de desastres relacionados à água;
- CEMADEN: o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) tem como missão realizar o monitoramento e envio de alertas relacionados a processos geo-hidrológicos. O CEMADEN possui uma rede observacional para monitoramento de precipitação, nível de rios, umidade do solo, entre outras variáveis, cujos dados são disponibilizados em seu site;

- CPRM-SGB: o Serviço Geológico do Brasil (CPRM-SGB) é responsável pela produção de diversos tipos de mapeamento para os municípios brasileiros, tais como setorização de risco, cartas de perigo, geotécnicas e de suscetibilidade;
- INMET: o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) provê dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação, entre outras variáveis) por meio de plataforma de coleta de dados operadas de forma manual e automática.

Indicadores e índices existentes no Brasil

No Brasil, já foram elaborados diversos indicadores e índices relacionados à vulnerabilidade, risco de desastres e gestão de risco de desastres. Alguns dos mais relevantes incluem:

- Índice de Vulnerabilidade Social (IVS-IPEA): o IVS é um índice que mede a vulnerabilidade social das comunidades brasileiras, relacionados à ausência ou a insuficiência de alguns ativos em áreas do território brasileiro. O IVS leva em consideração variáveis como a renda, a escolaridade, a ocupação e a presença de grupos vulneráveis (como idosos e crianças). O índice é

utilizado para orientar a alocação de recursos em ações de prevenção e mitigação, ainda que existam algumas limitações ao seu uso (Saito *et al.*, 2020);

- Índice DRIB: o Índice DRIB é um índice que mede o risco de desastres em diferentes regiões do Brasil. O índice leva em consideração variáveis como a ameaça (como a ocorrência de eventos climáticos extremos), a vulnerabilidade (como a presença de áreas de risco) e as capacidades locais (como a existência de planos de contingência entre outras variáveis) (Almeida *et al.*, 2020);
- Índice SoVI: o SoVI avalia as características que influenciam a vulnerabilidade social às ameaças e possibilita a comparação entre unidades geográficas, como municípios e estados. O índice associa variáveis socioeconômicas, demográficas bem como aquelas associadas a serviços e infraestrutura (Hummell *et al.*, 2016);
- Índice IGR: o IGR avalia o desempenho da gestão de risco, considerando o progresso nas dimensões de conhecimento de risco, redução de risco, gerenciamento de desastres, governança e proteção financeira (Cardona *et al.*, 2017);

- Índice de Efetividade da Gestão Municipal (IEGM): o IEGM é um indicador de processo, que avalia o grau de aderência da gestão municipal em sete áreas: educação, saúde, gestão fiscal, planejamento, meio ambiente, defesa civil e governança em tecnologia da informação. Esse índice apoia a administração municipal a melhorar serviços públicos (Instituto Rui Barbosa, 2022);
- Índice Operacional de Vulnerabilidade (InOV): esse índice foi produzido como forma de subsidiar as ações de monitoramento e alerta do Cemaden. O InOV tem como foco municípios com risco de movimento de massa e considerou como variáveis: número de pessoas em área de risco, idade, renda per capita e esgotamento sanitário inadequado (Assis Dias *et al.*, 2018).

DESAFIOS E POTENCIALIDADES NA CONSTRUÇÃO DE INDICADORES DE RISCO DE DESASTRES NO BRASIL

Apesar dos avanços na produção de indicadores de risco de desastres no Brasil, ainda existem diversos desafios a serem superados. Alguns dos principais desafios incluem:

1. Disponibilidade e qualidade dos dados: coletar e analisar dados sobre desastres deflagrados por processos naturais no Brasil pode ser difícil devido à falta de dados consistentes e confiáveis;
2. Variabilidade espacial: o Brasil é um país de dimensões continentais e enorme diversidade, com níveis variados de vulnerabilidade a riscos naturais em diferentes regiões;
3. Fatores socioeconômicos, políticos e culturais: O impacto dos desastres nas comunidades pode variar dependendo de fatores como pobreza, densidade populacional, falta de vontade política para enfrentar os riscos de desastres e atitudes culturais em relação à preparação para desastres;
4. Recursos limitados: a produção de indicadores de um país demanda comprometimento, como uma medida de Estado. A limitação de recursos para investir na gestão de riscos de desastres pode reduzir a capacidade de produzir indicadores de risco precisos e abrangentes;

5. Mudanças climáticas: espera-se que as mudanças do clima aumentem a frequência e a gravidade dos desastres no Brasil, tornando mais difícil prever e se preparar para riscos futuros;
6. Instabilidade política e corrupção: a instabilidade política pode tornar difícil para as agências governamentais tomar medidas para se prepararem e responderem a desastres, e a corrupção dificulta a tomada de decisão sobre alocação de recursos, a realização de programas de RRD, entre outros;
7. Coordenação e colaboração: há necessidade de melhorar a coordenação e colaboração entre os diferentes níveis de governo, bem como entre organizações governamentais e não governamentais, para coletar e compartilhar dados sobre riscos de desastres de forma eficaz;
8. Capacidade limitada: há capacidade reduzida entre os governos e comunidades locais para avaliar e gerenciar os riscos de desastres, o que pode dificultar a implementação efetiva de medidas

de redução de riscos, principalmente na escala municipal;

9. Falta de integração de dados: muitas vezes, as informações disponíveis em diferentes bancos de dados não estão integradas, o que dificulta a produção de indicadores mais precisos e completos (embora haja iniciativas importantes nesse sentido, como o portal INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais³);

10. Falta de padronização de metodologias: a produção de indicadores de risco de desastres no Brasil ainda carece de uma padronização de metodologias e critérios, o que pode levar a diferenças significativas nos resultados obtidos por diferentes pesquisadores e instituições;

11. Dificuldades no acesso a dados: alguns dados relevantes para a produção de indicadores de risco de desastres no Brasil ainda não estão disponíveis publicamente ou são de difícil acesso, o que pode limitar a produção de indicadores mais precisos e completos;

3 inde.gov.br

12. Limitações técnicas: a produção de indicadores de risco de desastres no Brasil ainda enfrenta limitações técnicas, como a falta de capacidade técnica de alguns órgãos e instituições envolvidos na produção de indicadores e a falta de recursos para investimentos em tecnologia e inovação, notadamente nos municípios com menos de 50.000 habitantes;

13. Tempestividade e atualização: o risco de desastres é dinâmico e exige que dados, por exemplo sobre população em área de risco, sejam produzidos em intervalos inferiores àqueles do censo demográfico.

Apesar dos desafios, existem diversas potencialidades na produção de indicadores de risco de desastres no Brasil, das quais se destacam:

- A ampla disponibilidade de dados e informações relevantes: mesmo diante de limitações, o Brasil possui uma variedade de dados e informações relevantes para a produção de indicadores de risco de desastres, o que pode contribuir para a elaboração de indicadores mais precisos e completos;

- O envolvimento de diferentes atores: a produção de indicadores de risco de desastres no Brasil envolve diferentes instituições governamentais, pesquisadores, organizações da sociedade civil e comunidades locais, o que pode contribuir para uma produção mais participativa e colaborativa de indicadores.

USO DE INDICADORES PARA DEFINIÇÃO DE MUNICÍPIOS CRÍTICOS PARA AÇÃO DO GOVERNO FEDERAL

O Plano Plurianual (PPA) 2012-2015 do governo federal reuniu, de forma inédita, um programa contendo diversas ações associadas com a mitigação e resposta a desastres no Brasil. O Programa Gestão de Risco e Resposta a Desastres (programa 2040) agregou a Secretaria Nacional de Defesa Civil, Ministério das Cidades, Serviço Geológico do Brasil, Agência Nacional de Águas, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, dando início a uma melhor articulação interinstitucional no nível federal. Outro avanço foi a definição do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres, cujos eixos eram constituídos de mapeamento, monitoramento e alertas, prevenção e resposta.

Para a seleção de municípios críticos afetados por deslizamentos, inundações e enxurradas, foram considerados a recorrência dos principais desastres, o número de pessoas desalojadas ou desabrigadas, além do número de óbitos no período de 1991 a 2010. Tais dados foram provenientes do CEPED-UFSC, que organizou registros de situação de emergência (SE) e estado de calamidade pública (ECP). De modo complementar, ainda foram utilizados o banco de dados de mortes por deslizamentos do IPT (1988-2012) e os dados de domicílios expostos à inundação nas regiões metropolitanas e capitais, coletados pela Pesquisa do Orçamento Familiar do IBGE. A partir da análise de tais dados, obteve-se o número de 821 municípios críticos a desastres⁴, que representavam 94% das mortes e 88% das pessoas afetadas por deslizamentos, inundações e enxurradas no país (Bertone; Marinho, 2013).

A partir da definição desses municípios, foi desencadeada uma série de ações do governo federal. O Serviço Geológico do Brasil iniciou o processo emergencial de setorização de risco alto e muito alto em tais municípios. Esses produtos possibilitaram o monitoramento contínuo feito pelo Cemaden e posteriormente a escolha para a instalação de equipamentos da rede observacional do Centro. Em suma, ações em âmbito

4 A lista completa pode ser acessada em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/emendasparlamentares/PUBL_relatorios_004_821_municipios_prioritarios.pdf

federal foram orientadas a partir de critérios expostos, limitados pela disponibilidade de dados à época.

Posteriormente, no PPA 2020-2023, o monitoramento do Programa 2218 (Gestão de Risco e Desastres) foi realizado utilizando o Índice de Capacidade Municipais (Quadro 1), com foco na capacidade de atuação dos municípios na gestão de riscos e de desastres. A Pesquisa MUNIC/IBGE foi a fonte da maior parte dos dados, mas ainda foram utilizados dados do S2iD, da CPRM e da SEDEC. O ICM estava vinculado ao objetivo estratégico do PPA “Reduzir os riscos de desastres, com efetivação da integração de políticas públicas e fortalecimento das capacidades dos atores do SINPDEC”.

Quadro 1 - Variáveis consideradas para cálculo do Índice de Capacidade Municipal

Variáveis		Peso	Fonte
1	Unidade de Corpo de Bombeiro	0,5	Munic/IBGE
2	Coordenação Municipal de Defesa Civil (Comdec)	1,0	Munic/IBGE
3	Núcleo de Defesa Civil (Nudec)	0,5	Munic/IBGE
4	Município participante do Programa Cidades Resilientes (programa da Oficina das Nações Unidas para a Redução de riscos e Desastres)	1,0	MCR
5	Município com pelo menos um usuário cadastrado no S2iD (sistema necessário para a solicitação de reconhecimento federal de situação de emergência ou estado de calamidade pública, entre outras solicitações e informações)	1,0	S2iD/Sedec
6	Município com pelo menos uma pessoa capacitada pela Sedec	1,0	Sedec
7	Município Mapeado - Projeto Risco Geológico CPRM	1,0	C P R M / MME
8	Município com Plano Municipal de Redução de Riscos	0,5	Munic/IBGE
9	Município que possui Carta geotécnica de aptidão à urbanização	0,5	Munic/IBGE
10	Município com Plano de Contingência e/ou Preservação - seca	2,0	Munic/IBGE
	Município com Plano de Contingência - enchentes ou inundações graduais, ou enxurradas ou inundações bruscas		
	Município com Plano de Contingência - escorregamentos ou deslizamento de encostas		

Variáveis		Peso	Fonte
11	Município que possui Sistema de alerta antecipado - enchentes ou inundações graduais, ou enxurradas ou inundações bruscas	0,5	Munic/IBGE
12	Município que possui Sistema de alerta antecipado - escorregamentos ou deslizamento de encostas	0,5	Munic/IBGE
Total		10,0	-

Fonte: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiZTQ1Y2ZhYmMtYjE5Yi00OWIiLTk3MGMtMjNlYmNiZjk2MG MwIiwidCI6IjY2MTFlY2UxLTM0MTQtNGMzNS1hM2YwLTdkMTAwNDI5MG NkNiJ9>

Em relação aos indicadores utilizados para monitoramento dos programas associados à temática de gestão de risco de desastres dos PPA's, destacam-se algumas observações. Considerar o número de decretos de SE ou ECP representam desastres cujos impactos são vultosos. Assim, desastres de baixo impacto, mas de alta recorrência (e que muitas vezes não levam o município a solicitar apoio federal) não são detectados.

Para monitorar a eficiência anual dos programas, a coleta de dados precisa ser da mesma periodicidade. A Pesquisa MUNIC retrata aspectos da GRD municipal em seus suplementos especiais, cujos intervalos de coleta são superiores a um ano. Até a presente data, por exemplo, foram publicados em 2020 e 2017. As variáveis do ICM que podem ter sua atualização mais frequente são aquelas relacionadas aos mapeamentos,

capacitações do S2iD e participação da campanha Cidades Resilientes. Logo, o resultado pode não evidenciar o alcance das metas previstas no Programa.

CONCLUSÕES

Construir indicadores de risco de desastres no Brasil é uma tarefa desafiadora que requer abordagens abrangentes, multiautores, multitemáticas e multiescalares. Com muita frequência, pesquisadores e formuladores de políticas públicas de gestão de risco de desastres enfrentam algumas barreiras que precisam ser superadas. A falta de produção de dados ou escolha de índices sintéticos pouco aderentes ao processo a ser avaliado são exemplos de tais desafios.

Ainda existe a lacuna de avaliações integradas das causas de fundo dos desastres, dos riscos e vulnerabilidades locais que envolvam a diversidade natural, social, econômica e cultural do território, dificultando o desenvolvimento de uma compreensão abrangente dos riscos e das vulnerabilidades enfrentados por diferentes regiões.

Um desafio que também persiste é a maneira como os dados são organizados e arquivados pelas instituições no Brasil. Embora se tenha avanços, os dados sobre ameaças naturais, exposição e vulnerabilidade são frequentemente

dispostos, de modo que dificultam a integração e a produção de índices sintéticos.

Apesar desses desafios, tem havido esforços para desenvolver indicadores de risco de desastres no Brasil. O Índice DRIB é um exemplo de estudo que propôs o uso de quatro indicadores para descrever a exposição das pessoas a deslizamentos de terra, inundações, secas e aumento do nível do mar (Almeida *et al.*, 2020). Esses esforços podem ajudar no processo de tomada de decisão em resposta aos desafios colocados à redução do risco de desastres no nível local.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.; ARAÚJO, A.; WELLE, T.; BIRKMANN, J. DRIB Index, 2020: validating and enhancing disaster risk indicators in Brazil. **Int. J. Disaster Risk Reduc.**, [s. l.], v. 42, n. 101346, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221242091931074X>. Acesso em: 5 set. 2024.

ALMEIDA, L.; WELLE, T.; BIRKMANN, J. Disaster risk indicators in Brazil: a proposal based on the world risk index. **Int. J. Disaster Risk Reduc.**, [s. l.], v. 17, p. 251-272, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420916300644?via%3Dihub>. Acesso em: 5 set. 2024.

ASADZADEH, A.; KÖTTER, T.; SALEHI, P.; BIRKMANN, J. Operationalizing a concept: the systematic review of composite indicator building for measuring community disaster resilience. **Int. J. Disaster Risk Reduct.**, [s. l.], v. 25, p. 147-162, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420917302364>. Acesso em: 5 set. 2024.

BECCARI, B. A. Comparative Analysis of Disaster Risk, Vulnerability and Resilience Composite Indicators. **PLoS Curr.**, [s. l.], v. 14, p. 8, mar. 2016. DOI: 10.1371/currents.dis.453df025e34b682e9737f95070f9b970.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Banco de dados e registros de desastres**: sistema integrado de informações sobre desastres - S2ID. 2023. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br>. Acesso em: 6 mar. 2023.

CARREÑO, M. L.; CARDONA, O. D.; BARBAT, A. H. A disaster risk management performance index. **Nat Hazards**, [s. l.], v. 41, p. 1-20,

2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-006-9008-y>. Acesso em: 5 set. 2024.

COSTA, M. A; MARGUTI, B. O. (ed.). **Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros**. Brasília, DF: IPEA, 2015. 77 p. Disponível em: http://ivs.ipea.gov.br/images/publicacoes/Ivs/publicacao_atlas_ivs.pdf. Acesso em: 5 set. 2024.

DANOS E PREJUÍZOS causados por desastres no Brasil entre 2013 A 2022. Estudos Técnicos/Defesa Civil CNM. abril de 2022. Disponível em: https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Danos%20e%20Preju%C3%ADzos%20causados%20por%20desastres_2013%20a%202022_atualizado%20em%20abril.pdf. Acesso em: 6 mar. 2023.

DEBORTOLI, N. S.; CAMARINHA, P. I. M.; MARENGO, J. A.; RODRIGUES, R. R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Nat Hazards**, [s. l.], v. 86, p. 557–582, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-016-2705-2>. Acesso em: 5 set. 2024.

KAPPES, M. S.; KEILER, M.; VON ELVERFELDT, K.; GLADE, T. Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review. **Nat Hazards**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 1.925-1.958, 2012. Disponível em: <https://muchanut.haifa.ac.il/index.php/he/component/k2/item/289-kappes-keiler-von-elverfeldt-glade-2012-challenges-of-analyzing-multi-hazard-risk-a-review>. Acesso em: 5 set. 2024.

MANDINACH, E. B. A Perfect Time for Data Use: Using Data-Driven Decision Making to Inform Practice. **Educational Psychologist**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 71-85, 2012. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00461520.2012.667064>. Acesso em: 5 set. 2024.

NIEMEIJER, D. Developing indicators for environmental policy: data-driven and theory-driven approaches examined by example. *Environ. Sci. Pol.*, [s. l.], v. 5, p. 91-103, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901102000266>. Acesso em: 5 set. 2024.

SHIMIZU, M.; CLARK, A. L. **Nexus of Resilience and Public Policy in a Modern Risk Society**. Singapore: Springer, 2019.

TWIGG, J. **Disaster Risk Reduction**. London: Overseas Development Institute, 2015.

WAAS, T.; HUGÉ, J.; BLOCK, T.; WRIGHT, T.; BENITEZ-CAPISTROS, F.; VERBRUGGEN, A. Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. *Sustainability*, [s. l.], v. 6, n. 9, p. 5.512-5.534, 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/6/9/5512>. Acesso em: 5 set. 2024.

ZABANIOTOU, A.; SYRGIANNIS, C.; GASPERIN, D.; DE HOYOS GUEVERA, A. J.; FAZENDA, I.; HUISINGH, D. From Multidisciplinarity to Transdisciplinarity and from Local to Global Foci: Integrative Approaches to Systemic Resilience Based upon the Value of Life in the Context of Environmental and Gender Vulnerabilities with a Special Focus upon the Brazilian Amazon Biome. *Sustainability*, [s. l.], v. 12, n. 20, p. 8.407, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/20/8407>. Acesso em: 5 set. 2024.

SEÇÃO 1 - INDICADORES E BANCOS DE DADOS E DESASTRES



2

DESASTRES NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL: decretos publicados entre 2016 e 2022

Maria da Conceição Dias do Nascimento.

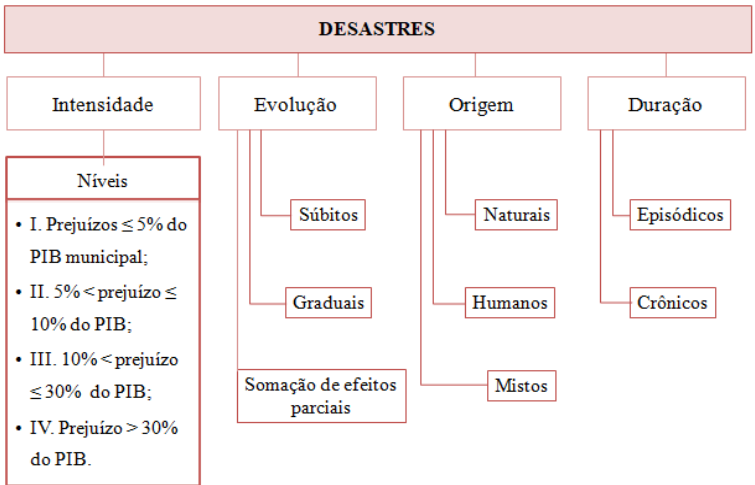
Sammya Vanessa Vieira Chaves

INTRODUÇÃO

Os desastres podem ser definidos como o resultado de eventos adversos, de origem natural ou antrópica, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos e/ou ambientais, além de consequentes perdas econômicas (Castro, 1998). Na literatura, o termo “desastre” manteve, por algum tempo, o significado de “evento sinistro” que, segundo Mattos (2001), denota os significados de fatalidade, desgraça e calamidade, amplamente utilizados para caracterizar todos os tipos de infortúnios, súbito, inesperado ou extraordinário. De Castro

(1999) classifica os desastres quanto à intensidade, evolução, origem e duração, conforme evidenciado na Figura 1.

Figura 1 - Classificação dos desastres descrita com base em Castro (1999)



Fonte: autoria própria (2022).

De Castro (1999) classifica a intensidade dos desastres em quatro níveis. Os níveis I e II correspondem a desastres facilmente superados pelos municípios sem recursos externos. O nível III requer recursos locais, federais e estaduais para restaurar o status funcional, levando à declaração de estado de emergência. O nível IV é quando os municípios não

conseguem superar o desastre mesmo estando bem preparados, levando à declaração de estado de calamidade pública.

No que diz respeito à origem, o autor afirma que os ditos desastres deflagrados por processos naturais são causados por condições naturais extremas, independente das ações humanas; os desastres humanos são causados pela ação ou omissão humana, como acidentes de trânsito e poluição de rios por produtos químicos; e os chamados desastres mistos são associados a ações ou omissões humanas, que contribuem para intensificar, complicar ou agravar os desastres deflagrados por processos naturais (De Castro, 1999).

A saber, entende-se por desastres a correspondência a fenômenos naturais determinados pela relação homem e natureza, que acarretam prejuízos diversos (Terada, 2006). Cardoso e Pinto (2017) destacam a magnitude e consequências dos desastres como os elementos mais importantes, posto que refletem os danos ou prejuízos que esses desastres trazem às populações atingidas, principalmente às que estão mais vulneráveis a tais fenômenos.

Registros de episódios de desastres deflagrados por processos naturais fazem parte da história da humanidade e pertencem às dimensões trágicas que perduraram durante a civilização humana (Gomes, 2012). Eventos naturais, como o extravasamento das águas de um rio e a inundação de sua

planície fluvial, associados à ocupação de um espaço (lugar) por uma população vulnerável, cenário comum a um aglomerado urbano, por exemplo, podem resultar em desastres, muitas vezes de grandes proporções (Novais, 2018).

Acerca da frequência dos desastres, Carvalho (2018) afirma que, nas últimas décadas, o aumento foi significativo em todo o mundo, culminando em milhares de vítimas afetadas, desabrigadas e desalojadas. Para o Centro de Pesquisa de Epidemiologia em Desastres (CRED), até 2019, foram registrados 7.348 eventos catastróficos, causando perdas de 1,23 milhão devido, mais de quatro bilhões de pessoas afetadas e aproximadamente 2,97 trilhões de perdas econômicas (CRED, 2020). O Banco Mundial (2020) afirma que essas perdas totalizaram 333,36 bilhões nos 25 anos cobertos pelos dados, período entre 1995 e 2019. Só no Brasil houve, nos últimos 20 anos, gasto superior a 182,8 bilhões de dólares com desastres (Banco Mundial, 2017).

Nesse contexto de recorrências de desastres e considerando as evidências das mudanças climáticas e como elas afetam diferentes sistemas físicos, biológicos e sociais, foi criado, no Brasil, em 2011, o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Esse centro monitora 1038 municípios nas cinco regiões do Brasil, detecta

e emite alerta sobre a possibilidade de ocorrência de desastres, eventos extremos ou situações de risco no território brasileiro (Cemaden, 2022).

Aliado ao CEMADEN e atuante na compilação de dados acerca de desastres no Brasil, há também o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), plataforma do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, produzido e desenvolvido no projeto Planejamento Nacional para Gestão de Riscos (PNGR), em cooperação técnica do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED/UFSC) e o Ministério da Integração Nacional, por meio da Secretaria Nacional de Defesa Civil. A utilização desse sistema tornou-se obrigatório por meio da Portaria GM/MI n.º 524, de 6 de setembro de 2012 (S2iD/MDR, 2022). Os registros desastres são disponibilizados na plataforma por reconhecimento de decretos de SE ou de ECP, que ocorre pelo Poder Executivo federal, mediante requerimento do Poder Executivo do Estado, do Distrito Federal ou do Município afetado pelo desastre (Brasil, 2012b).

Diante disso, objetivou-se, com a referida pesquisa, quantificar e identificar os desastres ocorridos entre os anos de 2016 e 2022, por meio de decretos de reconhecimentos de SE e ECP nos estados da Federação que integram a região Nordeste do Brasil (NEB), utilizando o banco de dados do

Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. Justifica-se a escolha dessa região por ser a que abriga uma maior recorrência de desastres como secas e estiagens, gerando perdas, entre 1995 e 2019, de aproximadamente 140,6 bilhões (42,2%) relativos a danos materiais e prejuízos causados por desastres (Brasil, 2021).

Nas categorias de desastres encontrados, destacaram-se os de origem natural, principalmente, climatológico (61%) e biológico (36%). Os municípios mais afetados se concentram na Bahia, Paraíba e Pernambuco. Ademais, percebeu-se que cerca de 303 milhões de pessoas foram afetadas nesse período, implicando danos materiais e prejuízos públicos e privados, somando mais de 318 bilhões de reais.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo: recortes o espaço e no tempo

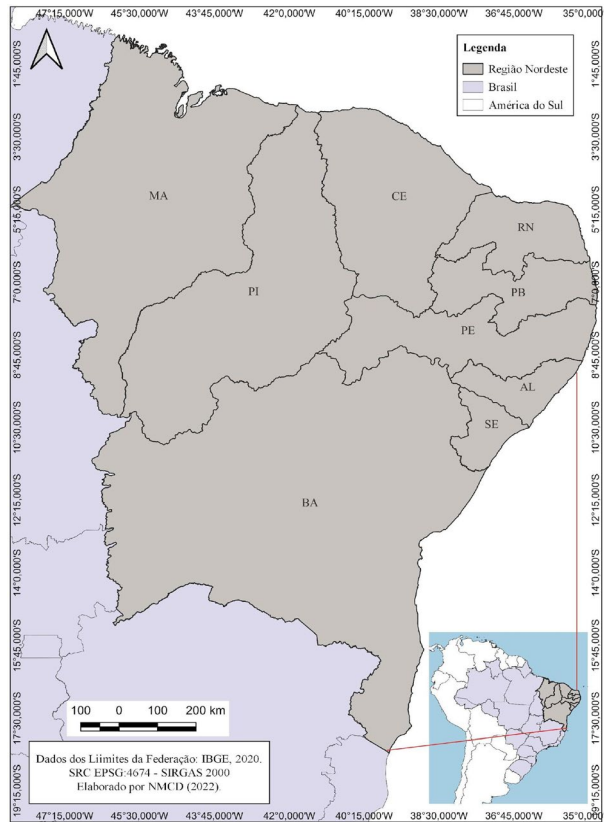
A área espacial deste estudo é o NEB, que ocupa uma extensão territorial de 1.561.177 km²; é o maior complexo regional do país, com 33,33% dos estados da federação, tendo nove estados. Apresenta 18,2% da área total do país, sendo a segunda mais populosa com mais de 57 milhões de habitantes. A taxa de crescimento da população foi de 7,48% entre 2010 e

2020, a densidade populacional é 36,96 h/ k² e seu crescimento demográfico é 1,3% ao ano (IBGE, 2020)

Em termos de economia, o NEB tem o terceiro maior PIB do país, em 2017 era de US\$ 953,21 bilhões (Banco Mundial, 2020). A região tem um crescente reconhecimento de desastres deflagrados por processos naturais e vulnerabilidades, possivelmente relacionado à sua localização nos trópicos, onde as chuvas variáveis desempenham um papel importante. O clima seco e semiárido domina grande parte do Nordeste (Pereira, 2016; Moura *et al.*, 2016), o que se reflete nos altos índices de desastres climatológicos registrados, como secas e estiagens.

O mapa da Figura 2 corresponde à localização da região NEB, situada na área tropical do Hemisfério Sul (latitude a 1° a 18° Latitude Sul). Essa região é composta pelos seguintes estados: Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA).

Figura 2 - Mapa de Localização da área de estudo



Fonte: elaborado por Nascimento, MCD em 2022.

O recorte temporal da pesquisa foi o período de 01 janeiro de 2016 a 30 de junho de 2022. O desenvolvimento da pesquisa ocorreu entre os meses de junho a agosto de 2022.

2.2. Tipo de estudo

Este trabalho é um estudo descritivo, cujos fatos são observados, analisados, classificados e interpretados sem a intervenção do pesquisador. É básico, pois visa criar conhecimento útil para o avanço da ciência, mas sem previsão de aplicação prática. A investigação leva ao conhecimento da realidade com economia de tempo, e os dados obtidos são agrupados em tabelas para possibilitar uma análise mais rica. A abordagem da pesquisa é quantitativa, em que opiniões e informações são convertidas em números para serem classificados e analisados. A ênfase é colocada na objetividade durante a coleta e análise de dados (Fantinato, 2015).

2.3. Instrumentos de coleta, técnicas de análises e procedimentos e etapas da pesquisa

Os instrumentos deste trabalho foram a análise documental, cujo procedimento trata conteúdos já existentes, esteja o material para análise disponível em livros, artigos, fotos, documentos ou relatórios, e o uso software para sistematizar dados, espacializando-os.

A pesquisa sucedeu-se da seguinte maneira:

- 1) Levantamento bibliográfico sobre desastres e conceitos a eles relacionados. Esse processo ocorreu a partir do que

está em voga na literatura sobre o assunto, utilizando as bases de dados: *Web of Science* e *Google Scholar*;

- 2) Obtenção de dados das séries históricas de reconhecimento de desastres no banco de dados (S2iD). Selecionaram-se os dados referentes aos anos 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022 (entre 01 de janeiro e 30 junho deste ano). Em seguida, filtraram-se as ocorrências de desastres na região Nordeste para análise.

Neste trabalho, levantamentos exploratórios foram realizados a partir da série anual de reconhecimentos de desastres feitos por meio de declarações de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública. O Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) foi escolhido para a busca dos dados da pesquisa devido à facilidade de manipulação. O advento do sistema permitiu que os envolvidos na gestão de riscos de desastres acessassem as fontes de informação e trouxe uma grande mudança cultural (Banco Mundial, 2017).

- 3) Análise e sistematização das informações obtidas dos eventos de desastres que afetaram o Brasil e o Nordeste nos últimos sete anos. Essa fase também contou com o desenvolvimento de mapas temáticos de reconhecimento de desastres por SE e ECP no Brasil, na plataforma S2iD.

As análises dos desastres foram realizadas da seguinte forma: inicialmente, foram consideradas as categorias de desastres deflagrados por processos naturais e tecnológicos; os grupos geológicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos, biológicos, desastres relacionados a substâncias radioativas, desastres relacionados a produtos perigosos, desastres relacionados a incêndios urbanos, desastres relacionados a obras civis, e desastres relacionados ao transporte de passageiros e cargas não perigosas. Essa etapa ocorreu conforme a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres - COBRADE (Brasil, 2012).

Nessa etapa, reportou-se, também, à aplicação de técnica de geoprocessamento, utilizando o *Software Quantum GIS* para espacialização das informações; planilhas eletrônicas, no *Microsoft Office Excel 2010*; e dados da malha territorial, obtidos na base de dados do IBGE para padronizar o recorte geográfico, a partir do limite nacional e regional.

Por fim, houve a apresentação dos resultados da pesquisa com uso do *Microsoft Office Word 2010* para redação do trabalho.

3. RECONHECIMENTO DE DESASTRES NO BRASIL E NO NORDESTE

3.1. Desastres no Brasil e no Nordeste

Há décadas, pesquisadores alertam que os desastres no Brasil se tornariam mais frequentes. Os alertas se devem às tragédias climáticas que acontecem no país. Estudos evidenciam que tais desastres ocorrerão diante do aquecimento global causado pela poluição e pelo desmatamento, situação já destacada na década de 1990 por relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, IPCC (G1, 2022).

O número de desastres no Brasil vem aumentando desde 2000 (Nobre; Marengo, 2017; Moura *et al.*, 2016). Carvalho (2018) constatou, entre 1986 e 2016, uma tendência crescente na frequência e intensidade de desastres. No presente estudo, entre 2016 e 2022, foram reconhecidas 31.197 ocorrências de desastres no Brasil por meio de decretos de situação de emergência ou estado de calamidade pública, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Quantitativo de decretos por estado, ao ano, entre 2016 e 2022

Estado	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Acre	9	6	1	4	28	22	2	72
Alagoas	81	79	77	83	147	80	67	614
Amazonas	11	45	15	45	65	60	25	266
Amapá	0	6	3	1	64	20	2	96
Bahia	160	475	431	736	966	808	123	3699
Ceará	230	243	130	134	402	275	38	1452
Distrito Federal	0	1	0	0	1	1	0	3
Espírito Santo	40	18	10	13	189	93	19	382
Goiás	2	6	6	2	251	257	20	544
Maranhão	21	3	12	19	454	439	264	1212
Minas Gerais	224	362	217	210	2200	2127	523	5863
Mato Grosso Sul	19	7	29	9	94	16	35	209
Mato Grosso	16	39	28	26	306	172	13	600

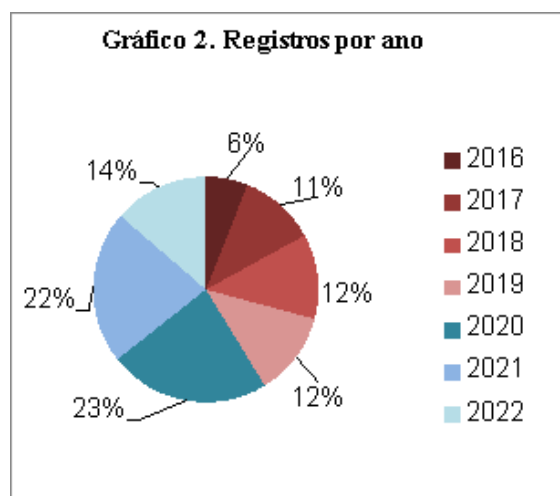
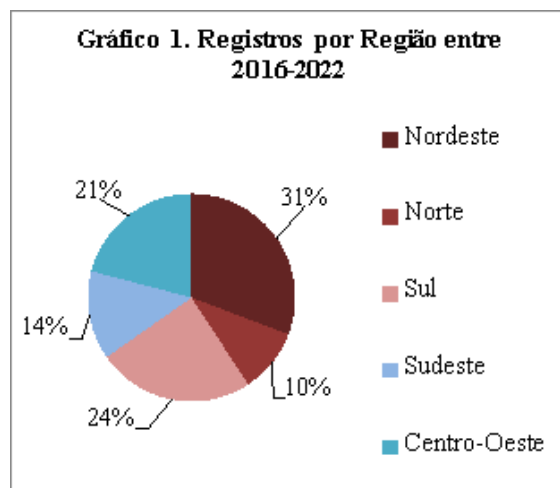
Estado	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Pará	1	36	41	42	57	43	53	273
Paraíba	367	393	373	354	890	794	249	3420
Pernambuco	250	276	243	248	493	1012	161	2683
Piauí	211	136	128	75	531	297	51	1429
Paraná	57	35	15	16	116	122	157	518
Rio de Janeiro	8	18	36	10	115	107	44	338
Rio Grande do Norte	153	306	316	282	404	520	73	2054
Rondônia	0	0	1	2	64	53	7	127
Roraima	13	4	1	1	4	13	0	36
Rio Grande do Sul	108	261	81	59	728	556	432	2225
Santa Catarina	26	74	37	37	854	428	161	1617
Sergipe	31	36	36	39	171	179	11	503

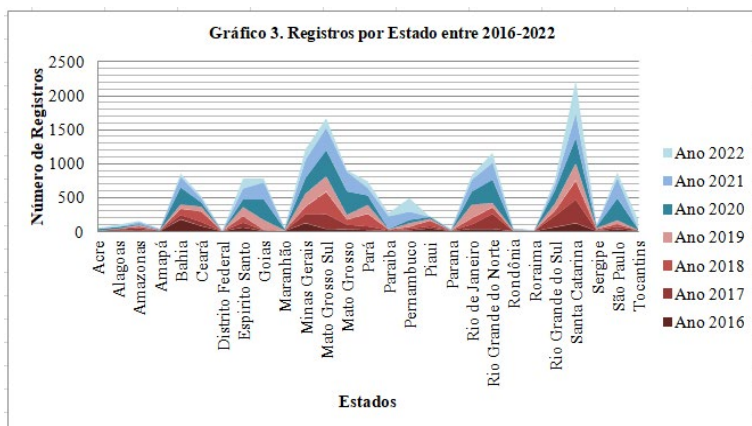
Estado	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
São Paulo	28	25	12	23	200	41	24	353
Tocantins	2	8	10	0	548	14	27	609
Total	2068	2898	2289	2470	10342	8549	2581	31197

Fonte: S2iD/MDR, 2022. Autoria própria (2022).

Os anos de 2020 e 2021 tiveram a maior representatividade no registro de decretos reconhecidos, com 33% e 27% do total, respectivamente. Os gráficos da Figura 3 mostram o registro dos reconhecimentos de desastres por região e estados entre 2016 e 2022. O NEB teve o maior índice de registros com 17.066 decretos, seguido pela região Sudeste com 6.936.

Figura 3 - Reconhecimentos de desastres no Brasil por ano/região e por UF's





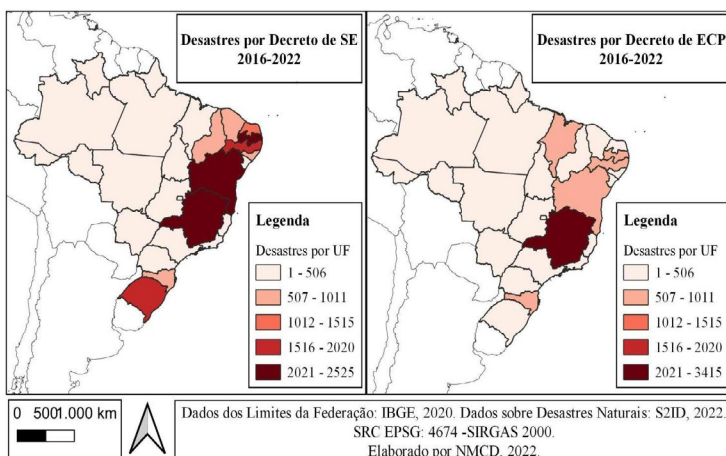
Fonte: S2iD/MDR, 2022. Autoria própria (2022).

Os estados mais afetados foram Bahia, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Minas Gerais. Ao rastrear os desastres por região e pelos estados mais afetados, aponta-se o NEB como o de maior recorrência. Outros estudos, como de Nobre e Marengo (2017); Marques (2017) e Moura et al. (2016), também constataram a representatividade significativa de desastres no NEB. Alguns autores sugerem que isso pode ser devido à localização da região e às suas características fito-fisiográficas ou ao seu alto risco e vulnerabilidade a desastres com base em indicadores ambientais e econômicos (Pereira, 2016; Moura et al., 2016; Almeida; Welle; Birkmann, 2016).

3.2. Desastres Naturais por Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública no Brasil e no Nordeste

No presente estudo, de 31.197 reconhecimentos de desastres no Brasil, 17.967 (58%) ocorreram por decretos SE e 13.230 (42%) por decretos ECP. O Nordeste responde por 36% e 19% dos decretos SE e ECP, respectivamente. Os estados com maior número de SE são MG, BA, PB, PE e RN. Já os com mais ECP são MG, BA, PB, PE, RN, RS e SC. Fora do NE, Minas Gerais é o estado com maior número de reconhecimentos de desastres, tanto por SE quanto por ECP, conforme mapa da Figura 4.

Figura 4 - Distribuição de desastres por SE ECP nos UF's do Brasil



Fonte: S2iD/MDR, 2022. Elaborado por Nascimento, MCD em 2022.

Em 2020, foram 7.381 registros de ECP para todo o Brasil, apenas o Nordeste teve mais de 50% do total naquele ano. Em síntese, os resultados de SE e ECP entre 2016 e 2022 representam 54% e 45% do total de reconhecimentos de desastres. Em outros estudos, nessa mesma abordagem, Moura *et al.*, (2016) relataram em seus resultados que 57,5% dos desastres reconhecidos eram de SE, entre 2003 e 2015, enquanto os outros 46,9% se referiam a ECP. Já Marques (2017) mostrou o montante de 95% de reconhecimentos por decretos de SE e 5% de ECP no recorte temporal de 2003 a 2016.

No período de 2016 a 2018, não houve registros de estado de calamidade pública para os nove estados do NEB, todos os registros presentes no S2iD são de situação de emergência. Em 2020, houve um aumento significativo de decretos de ECP, e os de SE permaneceram sem aumentos ou diminuições significativas nos últimos sete anos. Esse aumento de ECP, a partir de 2020, poderia estar relacionado com a pandemia da covid-19. A covid-19 é uma doença causada pelo novo *coronavírus*, o SARS-CoV-2, que teve uma taxa de mortalidade de 35,57% no Brasil, ao todo o número de óbitos acumulado foi de 643,853 em 2020, desse total, quase 134 mil no Nordeste (Brasil, 2023).

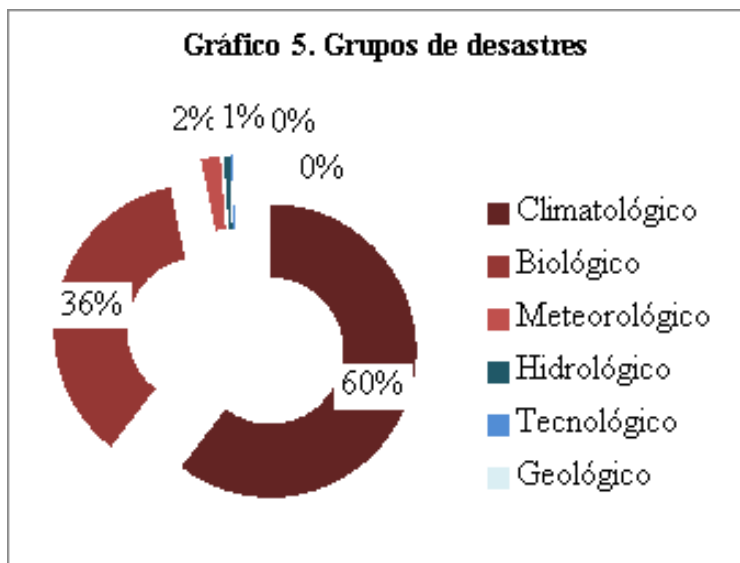
Para Olímpio (2013), em relação aos decretos de desastres, é oportuno mencionar que nem todos os eventos são

sempre devidamente registrados por meio de decretos SE e ECP. Presumivelmente, isso pode ocorrer por questões orçamentárias e até mesmo político-partidárias ou ainda por outros fatores, como a dificuldade de interpretação dos tipos de desastres por parte dos responsáveis pela emissão dos documentos.

3.4 Tipologias de desastres na Região Nordeste

Conforme o CEPED (2013), o Nordeste se destaca como a região brasileira com maior número de eventos de desastres deflagrados por processos naturais, no período de 2007 e 2011, obtendo 15.210 registros no total, seguida pelas regiões Sul e Sudeste com 13.255 e 8.168 respectivamente. Na Figura 5 a seguir, destacam-se os desastres associados a processos naturais, como aqueles de maior ocorrência na referida região, com 90% dos desastres ocorridos dentro recorte deste estudo. O grupo climatológico é o mais representativo, com 61%, seguido do biológico (36%) e meteorológico (2%).

Figura 5 - Grupos de desastres na região Nordeste entre 2016 e 2022



Fonte: S2iD/MDR, 2022. Autoria própria (2022).

Moura *et al.* (2016) também apontaram a prevalência de desastres relacionados a ameaças naturais na região Nordeste do Brasil (NEB), corroborando a presente pesquisa. Os autores encontraram 25.943 registros de desastres no país entre 2003 e 2015, sendo 57% deles somente no Nordeste. Isso reafirma que essa é a região mais representativa, com uma tendência crescente de registros ao longo dos anos.

Apesar da predominância de desastres de origem natural, na organização dos dados observaram-se dois grupos da

categoria de desastres tecnológicos, totalizando 44 registros, todos por decreto SE entre 2018 e 2020. Um dos tipos está relacionado ao vazamento de derivados de petróleo, o qual é o derramamento de produtos químicos em ambiente lacustre, fluvial e marinho, sendo 23 em 2019, e 21 só na Bahia. Esse tipo de desastre leva a problemas ecológicos muito graves, com danos, principalmente, ao ecossistema marinho afetado.

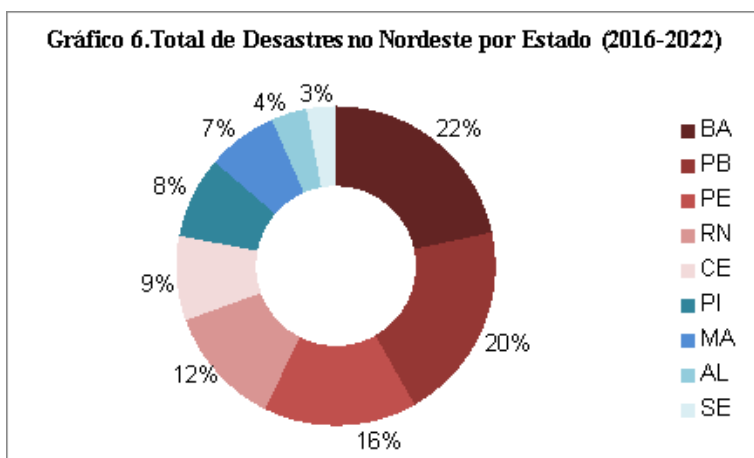
No entanto os riscos também se aplicam aos seres humanos, pois o petróleo é um material altamente tóxico que pode causar problemas à saúde humana, inclusive. Nesse sentido, o Conselho Federal de Química (CFQ) afirma que os hidrocarbonetos poliaromáticos, presentes no petróleo e seus derivados, fazem parte de um complexo de compostos orgânicos voláteis, que nesse estado estão entre os compostos mais tóxicos do petróleo e podem causar sérios problemas de saúde, como câncer (Wwf Brasil, 2020).

O outro desastre tecnológico diz respeito ao rompimento/colapso de barragens, que em 2018 teve seis reconhecimentos no S2iD e todos no estado do Piauí. Em 2019 sucedeu mais seis, um na Bahia, um no Ceará e quatro no Rio Grande do Norte. Essa questão do rompimento/colapso de barragens levanta um tema muito relevante destacado pela Agência Senado em 2018, que é o fato de mais de 80% de todas as barragens

do país, várias das quais construídas há 90 ou 100 anos, não estarem classificadas em termos de categoria de risco.

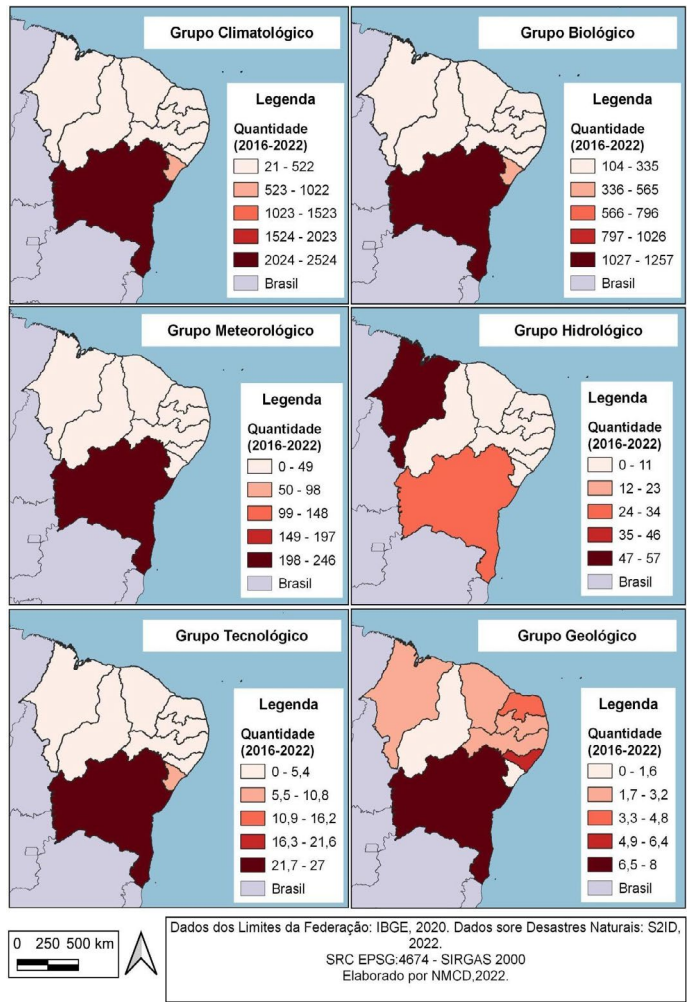
Além disso, segundo a Agência Senado (2018), pouco mais da metade das 23.000 barragens existentes no Brasil possuem algum tipo de autorização para sua construção, 723 dessas representam alto risco de acidente, e apenas 3% do total cadastrado foi devidamente vistoriado pelos órgãos fiscalizadores em 2017. Os comportamentos dos grupos de desastres nos estados do NEB entre 2016-2022 estão distribuídos nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 - Porcentagem de Desastres no NE por estado entre 2016 e 2022



Fonte: S2iD/MDR, 2022. Autoria própria (2022).

Figura 7 - Distribuição de Desastres no Nordeste por estado entre 2016 e 2022



Fonte: S2iD/MDR, 2022. Elaborado por Nascimento, MCD em 2022.

Analisando as Figuras 6 e 7, o estado da Bahia se destaca com mais representativo em, praticamente, todos os grupos de desastres deflagrados por processos naturais. Essa representatividade do estado da Bahia também foi observada por Marques (2017), que, na análise dos desastres em áreas urbanas, constatou que, no período observado, houve um número significativo de registros na Bahia e em Pernambuco. O mesmo estudo mostra que os desastres mais registrados nas áreas urbanas da Bahia foram as enchentes, seguidas das enxurradas.

No que diz respeito às categorias e tipos de desastres reconhecidos para o Nordeste no período de 2016 a 2022, eles estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Categorias e tipologias de desastres de ocorrência no Nordeste entre 2016 e 2022

Grupo	Código	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Tremor de terra	1.1.1.1.0	0	0	0	0	2	0	0
Deslizamentos	1.1.3.2.1	0	0	0	3	0	0	1
Subsidências e colapsos	1.1.3.4.0	0	0	1	2	2	0	1
Erosão costeira/ marinha	1.1.4.1.0	0	3	4	2	0	1	0
Erosão continental - boçorocas	1.1.4.3.3	6	35	23	19	15	1	8

Grupo	Código	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Inundações	1.2.1.0.0	3	5	10	13	17	8	18
Enxurradas	1.2.2.0.0	6	35	23	19	15	1	8
Alagamentos	1.2.3.0.0	4	1	5	7	4	5	10
Tempestade local/ convectiva granizo	1.3.2.1.3	0	0	1	0	0	1	0
Tempestade local/ convectiva - chu- vas intensas	1.3.2.1.4	3	2	5	18	38	151	146
Tempestade local/ convectiva vendaval	1.3.2.1.5	1	0	0	1	0	0	0
Estiagem	1.4.1.1.0	937	1251	1151	1401	727	1495	577
Seca	1.4.1.2.0	550	646	539	466	277	178	54
Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Perma- nente Nacionais	1.4.1.3.1	0	0	0	0	1	0	0
Incêndios em áreas não protegidas, com refle- xos na qualidade do ar	1.4.1.3.2	0	0	0	0	0	1	0
Doenças infec- ciosas virais	1.5.1.1.0	0	0	0	0	3373	2561	218
Doenças infeccio- sas parasíticas	1.5.1.3.0	0	0	0	0	0	2	0
Outras infestações	1.5.2.3.0	0	1	0	0	0	0	0
Derramamento de produtos químicos em ambiente lacustre, fluvial e marinho	2.2.2.2.0	0	0	0	31	0	0	0

Grupo	Código	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Rompimento/colapso de barragens	2.4.2.0.0	0	0	6	6	1	0	0

Fonte: S2iD/MDR, 2021. Autoria própria (2022).

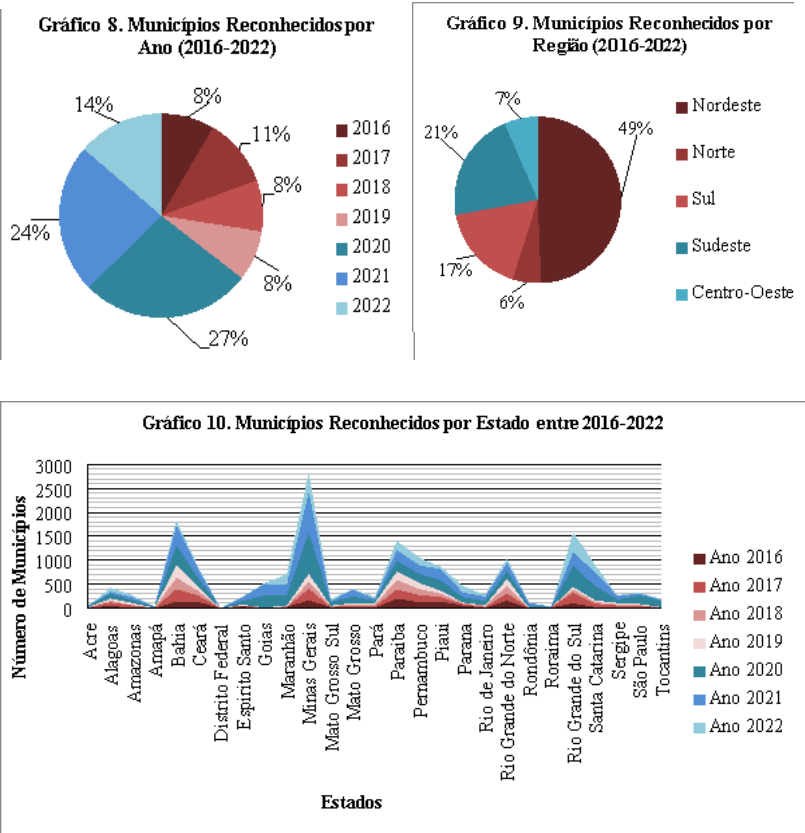
Os desastres mais frequentes são os causados pela estiagem, seguidos pelas doenças infecciosas virais, situação que reflete o período da pandemia da covid-19. Um diagnóstico realizado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional revela que, entre 2013 e 2020, a maior parte dos registros corresponde à estiagem (49,8%), a doenças infecciosas virais (26,1%) e à seca (21,4%) (Brasil, 2021).

3.5. Municípios mais atingidos e danos informados ao S2iD em decorrência de eventos de desastres no Nordeste

Segundo o Banco Mundial (2020), as faixas litorâneas e de fronteiras do Brasil, como outros países da América do Sul, são áreas que têm sido mais afetadas, inclusive em termos de danos e prejuízos, quando se trata de desastres associados a ameaças naturais. Essa afirmação corrobora o que ilustra os gráficos da Figura 8, abaixo; nela é possível ver os anos com maior porcentagem de municípios reconhecidos, a região que

mais apresenta municípios com reconhecimentos e os estados que mais se destacam com municípios afetados.

Figura 8. Reconhecimento de decretos nos municípios/ano/região e estado



Fonte: S2iD/MDR, 2021. Autoria própria (2022).

Os desastres causam danos às pessoas, às propriedades e ao meio ambiente. Eventos extremos como secas e chuvas intensas são agravados pelas mudanças climáticas e intervenção humana. Os efeitos de um desastre podem interromper serviços essenciais e causar prejuízos econômicos e financeiros, além de morte, lesões, doenças e outros efeitos adversos ao bem-estar (Castro, 1998; Terara, 2008; Cardoso; Pinto, 2017).

No sistema S2iD, os danos materiais são classificados em: habitação, saúde pública, educação, instalações de utilidade pública, prestadores de serviços e infraestrutura danificada ou destruída. Conforme os relatórios de danos informados ao S2iD, em decorrência de eventos de desastres, no período de 2016 a 2022, elaborou-se a Tabela 3 que traz a quantidade de pessoas afetadas, danos materiais, prejuízos aos setores públicos e privados, que juntos somam 318.903.796.870.

Tabela 3: Danos informados ao S2iD entre 2016 e 2022

Ano	Pessoas afetadas	Danos materiais	Setor público	Setor privado	Total de prejuízos
2016	25.969.700	858.634	5.756.554.144	29.301.915.255	35.059.328.033
2017	57.532.895	381.632	7.091.844.380	27.680.812.995	34.773.039.007
2018	48.498.053	653.851	4.485.006.154	30.405.125.545	34.890.785.550
2019	39.644.171	975.660	7.677.519.156	19.204.585.603	26.883.080.419
2020	83.073.219	354.705	4.795.769.274	49.481.860.366	54.277.984.345
2021	41.273.561	303.513	8.094.184.636	52.242.309.755	60.336.797.904
2022	7.918.922	169.452	4.838.190.322	67.540.511.317	72.378.871.091
Total por tipo de danos	303.910.521	3.697.447	42.739.068.066	275.857.120.836	318.599.886.349

Fonte: S2iD/MDR, 2021. Autoria própria (2022).

De acordo com a Confederação Nacional de Municípios (CNM) (2022), houve mais de 318 milhões de perdas entre 2016 e 2022. É importante ressaltar que, considerando o elevado número de afetados, ultrapassando 303 milhões, um fator que contribui para essa alta estimativa é o fato de um mesmo município poder declarar situação de emergência ou estado de calamidade pública mais de uma vez ao longo do ano.

Entre 1º de janeiro e 30 de junho de 2022, os prejuízos causados por desastres já ultrapassaram 72 bilhões, tornando esse ano o primeiro em prejuízos, pois os primeiros seis

meses de 2022 já superaram os prejuízos de anos anteriores, com perdas acima de 60 bilhões em 2021 e superiores a 54 bilhões em 2020.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados da pesquisa, conclui-se que, por meio dos registros de reconhecimento por decretos de Situação de Emergência (SE) e de Estado de Calamidade Pública (ECP), foi possível identificar, quantificar os desastres nos Estados da Federação que fazem parte da região Nordeste do Brasil.

Os principais desastres registrados no Brasil, entre 2016 e 2022, incluem estiagens, secas, doenças infecciosas virais, especialmente em 2020 e 2021. No Nordeste, os desastres estão relacionados à estiagem, seca e doenças infecciosas virais. As estiagens e secas são esperadas devido às condições climáticas da região, embora as mudanças climáticas globais possam estar interferindo nesses ciclos. Já as doenças causadas por infecções virais ocorreram de forma atípica e atingiram níveis alarmantes em 2020 e 2021 devido à pandemia da covid-19.

Além da categoria natural foram identificados desastres tecnológicos do tipo: derramamento de produtos químicos em ambiente lacustre, fluvial e marinho, e rompimento/colapso de barragens, ambos os tipos ascendem à atenção para

catástrofes ambientais com consequências graves a todos os seres vivos e, em especial, ao ecossistema marinho.

Os dados levantados mostram que os desastres trazem prejuízos de diversas ordens e impactam mais as regiões mais vulneráveis socioambientalmente. Isso inclui áreas com meio ambiente natural vulnerável e estruturas humanas precarizadas, como construções em encostas, morros e leitos de rios. Sistemas de monitoramento e estruturação de bancos de dados, como o CEMADEN e o S2iD são importantes para fornecer informações necessárias e relevantes para a construção do conhecimento e compreensão das vulnerabilidades que afetam nosso território. Isso permite desenvolver planos para melhorar o planejamento urbano, construir cidades mais sustentáveis e resilientes e mitigar as consequências dos desastres.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA SENADO. **CDR aprova recomendações para evitar novos rompimentos de barragens**. 2018. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2018/12/12/cdr-aprova-recomendacoes-para-evitar-novos-rompimentos-de-barragens>. Acesso em: 14 set. 2022.

ALMEIDA, Lutiane Queiroz; WELLE, Torsten; BIRKMANN, Jörn. 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. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420916300644>. Acesso em: 9 set. 2024.

BANCO MUNDIAL. **Global Facility for Disaster Reduction and Recovery**. 2. ed. Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Florianópolis: FAPEU, 2020.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da População**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 9 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. 2012b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em: 9 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Série Histórica**. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>. Acesso em: 9 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Instrução Normativa nº 01, de 24 de agosto de 2012**. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. 2012a. Disponível em: https://www.defesacivil.se.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/instru%C3%A7%C3%A3o_normativa_n%C2%BA_01_de_24_de_agosto_de_2012-2.pdf. Acesso em: 9 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Diagnóstico de capacidades e necessidades municipais em proteção e defesa civil** [livro eletrônico]: região nordeste. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021.

BRASIL. **Painel coronavírus Brasil**. 2023. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CARDOSO, Daniel, PINTO, Adilson Luiz. Fluxo de informação em desastres naturais: os quatro desafios para as ações de resposta. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 98-115, jul./dez. 2017. Disponível em: http://bases.eci.ufmg.br/cgi-bin/wxis/?IsisScript=/xampp/htdocs/bases/bibeci_search.xis&search_action=mostrat&search_from=0000016021. Acesso em: 9 set. 2024.

CARVALHO, Isabel Cristina Domingues Hipólito. **Análise de recorrências de eventos de desastres naturais com base no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) e séries históricas de precipitação no Brasil**: uma contribuição metodológica. 2018. 237 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. Brasília, DF: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra. **Manual de planejamento em defesa civil**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, [1999?].

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Explicando a crise**: assistência social. Brasília, DF: CNM, 2024. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/biblioteca/exibe/15317>. Acesso em: 20 set. 2022

CRED CRUNCH. Issue no. 61, December 2020 - Human cost of disasters (2000-2019). **PreventionWeb**. 2022. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/publication/cred-crunch-issue-no-61-december-2020-human-cost-disasters-2000-2019>. Acesso em: 16 set. 2022.

CRUZ, Antonio. Como evitar que os desastres naturais causem terremotos na economia brasileira. **Banco Mundial**. 2017. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/feature/2017/01/17/reporte-perdidas-economicas-causadas-desastres-naturales-brasil-latinoamerica>. Acesso em: 14 set. 2022.

FANTINATO, Marcelo. **Métodos de pesquisa**. São Paulo: USP, 2015.

GOMES, Carla Amado. Prevenção do risco de catástrofe natural: como resistir ao irresistível. In: GOMES, Carla Amado; SARAIVA, Rute (coord.). **Actas do colóquio catástrofes naturais**: uma realidade multidimensional. Lisboa: Instituto de Ciências Jurídico-Políticas, 2012. p. xx

HISTÓRICO da criação do Cemaden. **CEMADEN**, 2017. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/historico-da-criacao-do-cemaden/>. Acesso em: 9 ago. 2022.

JORNAL Nacional. Há décadas, pesquisadores alertam que desastres naturais seriam mais frequentes no Brasil. **G1**. 4 jun. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2022/06/04/ha-decadas-pesquisadores-alertam-que-desastres-naturais-seriam-mais-frequentes-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 9 set. 2024.

MARQUES, Guilherme Barroca. **Desastres hidrometeorológicos e geológicos nos principais espaços urbanos da sub-região leste do nordeste brasileiro**. 2017. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017. Disponível em: <http://www.ccen.ufpb.br/ccblg/contents/documentos/bacharelado/trabalhos-de-conclusao-de-curso-2016.2/guilherme-barroca-marques.pdf>. Acesso em: 9 set. 2024.

MATTOS, Geraldo. **Dicionário júnior da língua portuguesa**. 2. ed. São Paulo: FTD. 2001.

MOURA, Marcelo Oliveira *et al.* Desastres hidrometeorológicos na região nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de estado de calamidade pública. **Caderno de Geografia**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 259-271, 2016. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.2318-2962.2016v-26n2p259/10533>. Acesso em: 9 set. 2024.

NOBRE, Carlos Afonso; MARENGO, José A. **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. São José dos Campos: INCT, 2017.

NOVAIS, Marcos Paulo Souza. Análise do desastre hidrometeorológico ocorrido em dezembro de 2018 na cidade de Jacobina–BA. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [s. l.], v. 24, p. 27, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/40721>. Acesso em: 9 set. 2024.

OLÍMPIO, João Luís Sampaio. **Desastres naturais associados à dinâmica climática no Estado do Ceará: subsídios à gestão dos riscos de secas e de inundação**. 2013. 227 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **O que é a COVID-19?** Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19>. Acesso em: 20 ago. 2022.

PEREIRA, Michael Douglas Barbosa. Eventos pluviométricos extremos na cidade de João Pessoa: análise dos eventos dos dias 16 e 17 de abril de 2016. **Revista de Geociências do Nordeste**, [s. l.], v. 2, p. 575-584, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10501>. Acesso em: 9 set. 2024.

SANTOS, Douglas. Vazamento de petróleo completa um ano sem solução. **WWF**. 30 ago. 2020. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?76948/Vazamento-de-petroleo-completa-um-ano-sem-solucao>. Acesso em: out. 2022.

TERADA, Tsutomu. Introdução: Desastres naturais voltam quando os esquecemos. In: KOBİYAMA, Masato *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. p. xx

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

3

RECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ:

uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.

Luís Felipe Xavier Valdivino

Francisca Leiliane Sousa de Oliveira

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, mais de centenas de desastres foram registrados, causando 11.755 mortes, afetando 95 milhões de pessoas e resultando em perdas econômicas de US\$ 103 bilhões em todo o mundo (EM-DAT, 2020). Perdas e danos econômicos estão aumentando globalmente, e a crescente exposição foi identificada como o principal fator desse aumento. Informações sobre eventos de desastres são fundamentais

para formular políticas e ações eficazes que reduzam os riscos futuros.

A Estrutura de Sendai para Redução do Risco de Desastres deu um impulso significativo para bancos de dados globais como um meio de monitorar perdas e danos causados por desastres, além de incorporar metodologias participativas envolvendo cientistas, poder público e comunidades locais, pondo à frente ações voltadas para a compreensão do risco de desastres em todas as suas dimensões, ou seja, aquelas associadas à vulnerabilidade, capacidade de resposta, exposição de pessoas e bens, características dos perigos e do meio ambiente.

O uso de bancos de dados de desastres tornou-se uma tendência na pesquisa de desastres, pois oferece uma oportunidade única para análise de dados integrados e visualização geoespacial. Os bancos de dados de desastres são uma ferramenta primária para a análise das características e tendências de desastres em escalas global e nacional, apoiando a Redução do Risco de Desastres (RRD) e a adaptação às mudanças climáticas.

Os bancos de dados históricos são aqueles em que se registram ocorrências do passado, sendo necessária a definição do período dos dados para que se possa fazer a avaliação retrospectiva de riscos e desastres, assim como a identificação

de tendências e padrões de distribuição multianual das ocorrências e dos impactos (Muñoz *et al.*, 2017). Desse modo, a construção de um banco de dados de desastres consiste em um conjunto de registros sistemáticos de dados sobre perdas e danos deflagrados por eventos de origem natural, socionatural ou tecnológica (Muñoz *et al.*, 2017). A autora ressalta ainda que:

Para criar um banco de dados é necessário determinar tanto a hierarquia territorial como a resolução espacial e, da mesma forma, incluir na plataforma a cartografia vetorial de referência. As camadas de informação que oferecem maior detalhe (ou maior resolução) estão subordinadas às de menor detalhe (menor resolução) (Muñoz *et al.*, 2017, p. 320).

Ainda que não seja possível conter a ocorrência de fenômenos intempéries, é admissível a redução dos efeitos danosos causados por eles sobre a população com medidas de diminuição da vulnerabilidade dos indivíduos expostos ao perigo (Medeiros, 2014). Assim, para o enfrentamento dos perigos naturais, é imprescindível investigar e reconhecer seus padrões espaciais e temporais.

Para tanto, construir um banco de dados – BD com os registros de ocorrências de desastres sistematizados por frequência, tipologia e incidência espacial, por meio de Sistema de

Informação Geográfica - SIG, incluindo a elaboração de mapas de frequência das ocorrências por tipologia, espacialização das ocorrências por bairro e a quantificação do número de ocorrências por ano, pode contribuir para elencar os potenciais danos causados, além de apresentar um primeiro banco de dados de desastres do município de Fortaleza.

De acordo com a pesquisa, a frequência dos desastres em Fortaleza é anual e eles são mais comuns durante o período chuvoso, que ocorre entre os meses de fevereiro e maio. Os alagamentos e inundações estão entre as principais ocorrências registradas e afetam principalmente áreas às margens dos rios Cocó e Maranguapinhos; na porção leste da cidade, as áreas mais recorrentes estão nos bairros Barroso e Jangurussu; e na porção oeste, o bairro mais atingido é o Quintino Cunha.

Logo, o objetivo principal deste artigo é sistematizar a ocorrência histórica de eventos como inundações, alagamentos e deslizamentos de terra que deflagram desastres no município de Fortaleza, com a elaboração de um banco de dados geográficos das ocorrências, a partir dos registros da Defesa Civil Municipal, no período de 2008-2018, bem como analisar a distribuição espacial e temporal das ocorrências e suas tipologias e os bairros com maiores registros de ocorrências nos últimos dez anos.

Oliveira (2018) expressa que a construção de bancos de dados em escala local/municipal apresenta um caminho para organizar dados que já existem, agrupá-los em plataformas (banco de dados) que possibilitem compreender não só a dinâmica espacial das ocorrências, mas principalmente os padrões de recorrência e os bairros com maiores riscos de desastres.

Essa fonte de dados trará informações e dados espaciais pertinentes, auxiliando, assim, a Defesa Civil Municipal no melhor planejamento das ações de monitoramento, preparação e avaliação das ocorrências. A espacialização das 5.428 ocorrências evidenciou quais os bairros de Fortaleza são atingidos por alagamentos e/ou inundações urbanas. A partir dessa análise, é possível identificar as áreas mais vulneráveis a desastres, como as regiões com maior incidência de alagamentos e inundações. Bairros como Barroso, Jangurussu, Quintino Cunha, Genibaú, Passaré, Parque Dois Irmãos, Canindezinho, Vila Velha, Barra do Ceará e Vicente Pinzon estão entre os dez bairros mais críticos em relação ao número de ocorrências, possuindo juntos um total de 1.512 registros.

ÁREA DE ESTUDO E BREVE HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO

Historicamente, observando o nascimento de civilizações e cidades, verifica-se que a presença da água era um forte condicionante para o surgimento de aglomerados humanos. Onde há água, há cidades (Rezende; Araújo, 2017). Em vista disso, rios, córregos, riachos e lagoas sempre garantiram o atendimento aos diversos usos e demandas da sociedade, assim como desempenharam relevante papel para a produção social e simbólica do modo de vida das populações. Em contrapartida, a história da cidade de Fortaleza é marcada pela artificialização e aterro constante de seus principais rios e riachos, como o riacho Pajeú, o rio Ceará, Cocó e Maranguapinho, transformados em galerias e ocupados indevidamente, perdendo a mata ciliar e reduzindo a capacidade de escoamento das águas.

Durante as décadas de 1950 e 1960, a cidade passou por um intenso processo de modernização e urbanização, com a construção de avenidas, viadutos, pontes e edifícios de grande porte. Nessa época, a cidade também recebeu um grande contingente de migrantes do interior do Ceará e de outros estados do Nordeste, o que contribuiu para o crescimento populacional e a expansão urbana.

O processo de crescimento acelerado experimentado por Fortaleza entre 1970 e 2000, sem que a infraestrutura urbana fosse ampliada de tal forma a suportar o adensamento da cidade, prejudicou especialmente as áreas mais populosas (Prefeitura de Fortaleza, 2016). Esse processo vem impactando negativamente as condições de saneamento da cidade e, com o processo de planejamento urbano pouco integrado ao planejamento das intervenções de drenagem, permite-se que extensas áreas de solo, antes permeáveis, sejam cobertas por capa asfáltica e concreto.

A cidade de Fortaleza já enfrentou diversas inundações e alagamentos ao longo de sua história, há décadas, é um problema histórico. Na figura 2, podemos visualizar que a cidade já enfrentava a problemática das inundações e seus impactos sobre a população não são uma problemática recente, havendo raros registros fotográficos que retratam essa realidade.

Figura 2 – População resgatando veículo de inundação ocorrida no ano de 1978 em Fortaleza.

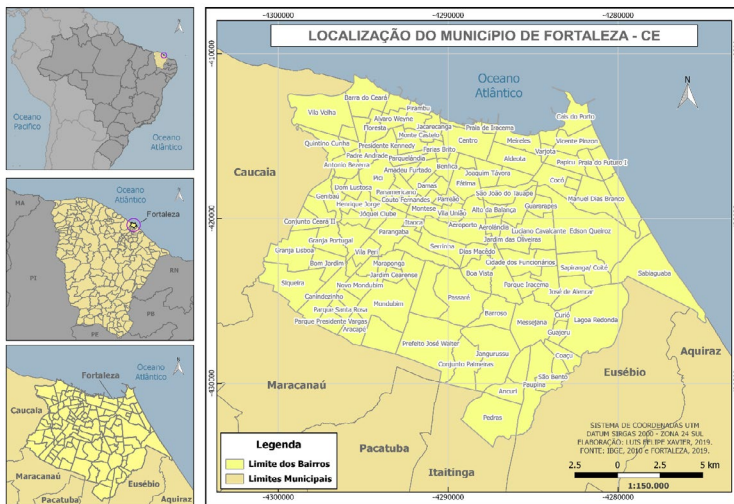


Fonte: acervo do jornal “O Povo”

A área de estudo compreende os bairros pertencentes ao município de Fortaleza. Conforme a figura 1, o município está localizado na porção norte do estado do Ceará, apresenta extensão territorial de aproximadamente 313,14 km² e possui 121 bairros (IPECE, 2017). Além disso, o município possui um território tabuliforme, predominantemente plano, onde o escoamento das águas superficiais tende a ser um problema (Prefeitura de Fortaleza, 2016).

ECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ:
uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.

Figura 1 – Localização do Município de Fortaleza – Ceará.



Fonte: Autoria própria (2022).

Em relação às características hidrográficas, a cidade apresenta três bacias importantes, cujas nascentes de seus rios principais encontram-se localizadas no próprio município ou na região metropolitana de Fortaleza, são eles: bacias do rio Cocó, Maranguapinho e bacia vertente marítima, esta última formada principalmente pelos riachos Jacarecanga, Pajeú e Maceió-Papicu, que drenam áreas totalmente urbanizadas. Além disso, Fortaleza apresenta diversas lagoas, muitas delas com ocupações em suas margens.

No município, as principais ameaças estão relacionadas às condições hidro-climáticas, sobretudo, aos alagamentos, inundações e eventuais deslizamentos de terra, que, anualmente, deflagram desastres, comprometendo a qualidade de vida da população de diversos bairros da capital, fatos evidenciados a cada período chuvoso.

Quanto aos alagamentos, é possível observar que existem falhas no saneamento ambiental, principalmente com a ausência de gestão da água da chuva, ou seja, com a drenagem urbana. Conforme Almeida e Oliveira (2010), a ocupação urbana de Fortaleza tem maior predominância em terrenos de topografia plana, característicos das planícies litorâneas e dos tabuleiros costeiros.

Além disso, a cidade apresenta uma enorme diferenciação entre seus bairros; de acordo com Rosa e Costa (2009), há espaços onde coexistem populações de alta vulnerabilidade social e áreas de planícies sujeitas a inundações periódicas, campos de dunas passíveis de deslizamentos e soterramentos, caracterizando alta vulnerabilidade socioambiental dessas populações.

METODOLOGIA

A base de dados com o registro das ocorrências foi coletada com a defesa civil municipal de Fortaleza, que possui

**ECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ:**
uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.

uma série de registros disponível em planilha eletrônica de atendimentos realizados pelo órgão. Entre os dados, há variados tipos de ocorrências, tais como: limpeza de rios e canais, incêndios, desabamentos, alagamentos, inundações, deslizamentos, entre outros.

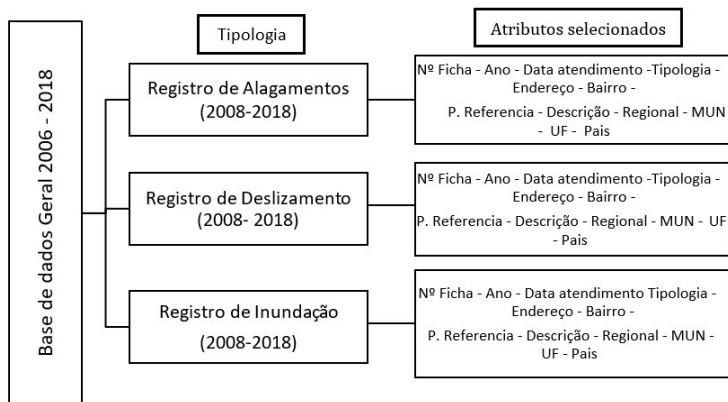
Figura 3 - Base de dados da Defesa Civil Municipal de Fortaleza.

	A	C	D	E	F	G	H	I
	Nº da Ficha	DATA DE ATENDIMENTO	TIPO DE Ocorrência	ENDEREÇO	PONTO DE REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA	PROFISSIONAL	BAIRRO
301	7467	13/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CASTROVERA	FOR TRÁS DO COLÉGIO PARANHATÁ	CASA TOTALMENTE INUNDADE ENCAMINHADA PARA SERV. E		PLANALTO ARTON RENA
302	8772	25/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA BARTOLOMEU DE GUERÃO	SULATA DO MOZAR	CASA INUNDADE POR LAMA DO CAMPO DE PARA DEFEIA		PAIPI
303	8778	25/03/2018	INUNDAÇÃO	TRAVESSA PASSOCAPIBO	ASSIMILADA DE DEUS	CASA CONTENDO CRIANÇAS INUNDADE COM A ESTRUTURA		GENIÁO
304	8786	13/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA DA FÁBICA CORREIA SENADOR FERNANDES TAVORA	INDICANTIL DO POVO	CASA DE TAPAL ALAGADA NA FERRA DO CANAL RELATADO		GRANJA PORTUGAL
408	7473	13/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA LULA MARAIA	RODOPOLIS VILA JOSÉ ABELIO	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
409	8546	13/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA LULA MARAIA	INDICANTIL DO POVO	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
410	8550	13/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
411	8557	13/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
412	8561	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
430	7547	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
431	8564	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
432	8568	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
433	8572	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
434	8576	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
435	8580	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
436	8584	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
437	8588	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
438	8592	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
439	8596	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
440	8600	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
441	8604	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
442	8608	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
443	8612	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
444	8616	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
445	8620	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
446	8624	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
447	8628	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
448	8632	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
449	8636	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
450	8640	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
451	8644	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
452	8648	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
453	8652	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
454	8656	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
455	8660	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
456	8664	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
457	8668	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
458	8672	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
459	8676	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
460	8680	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
461	8684	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
462	8688	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
463	8692	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
464	8696	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
465	8700	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
466	8704	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
467	8708	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
468	8712	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
469	8716	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
470	8720	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
471	8724	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
472	8728	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
473	8732	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
474	8736	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
475	8740	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
476	8744	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
477	8748	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
478	8752	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
479	8756	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
480	8760	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
481	8764	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
482	8768	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
483	8772	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL
484	8776	28/03/2018	INUNDAÇÃO	RUA CÍCERO ALVES DE SOUSA	ABC CONSTRUÇÕES ACESSO DA RUA	CASA TOTALMENTE INUNDADE INDEDE VÁRIOS INOVAR		GRANJA PORTUGAL

Fonte: Defesa Civil Municipal, 2019. Extraído pelo autor.

Cada registro possui várias colunas com informações, como o número da ficha de atendimento, endereço da ocorrência, data e hora, bairro ou comunidade, breve descrição da ocorrência, entre outras. Para efeito desta pesquisa, foram selecionados apenas as ocorrências referentes a alagamentos, inundações e deslizamentos registrados entre o período de 2008 e 2018, que foi o período disponibilizado pela defesa civil municipal, padronizando as colunas de interesse e separando por tipologia, conforme segue o modelo esquemático na figura abaixo:

Figura 4 - Informações selecionadas para compor a base de dados sobre desastres em fortaleza.



Fonte: Autoria própria (2022).

Posterior ao processo de seleção e padronização da tabela, foi realizada uma filtragem no Excel para que se pudesse quantificar e sistematiza o número de ocorrências por ano, e, posteriormente, seguir para as análise e confecção de gráficos e tabelas

Na sistematização da base de dados, a caracterização e tipificação dos dados relacionados aos danos e consequências da ocorrência são mal representadas, sendo os danos causados o conjunto de informações menos padronizado e consistente, havendo uma carência de detalhamento. Foram consultados também os dados do estudo realizado pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), que produziu o

conhecimento geológico-geotécnico dos bairros com alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações em Fortaleza.

A elaboração do banco de dados, a espacialização das ocorrências na presente pesquisa e os dados da setorização apresentados pela (CPRM, 2014) são fontes principais para futuras pesquisas mais detalhadas nessas áreas. Ainda que o enfrentamento dos eventos e ameaças requeira o reconhecimento de seus padrões espaciais e temporais, bem como uma base de dados bem estruturada, há uma série de problemas relacionados às estatísticas sobre esses eventos, justamente devido à falta de detalhamento quanto aos danos. Nesta pesquisa, foram elencados alguns dos problemas relacionados ao processo de registro das informações sobre as ocorrências, tais como:

Quadro 1 – Principais erros e limitações encontradas e seus ajustes

Principais erros e limitações encontradas	Principais ajustes e correções
Ausência de informações no campo de endereço ou bairro.	Verificação ano após ano.
Deficiência nos registros das ocorrências quanto à padronização.	Preenchimento dos dados ausentes de endereço (por meio do <i>open street maps</i>), bairro, ano, entre outros.
Lacunas no preenchimento.	Validação dos dados.

Fonte: Autoria própria (2022).

No intuito de minimizar esses eventuais erros, ou mesmo superar limitações, foram verificados, ano após ano, as informações com ausência de dados como: bairros, endereço, ano, entre outros, corrigindo eventuais lacunas e erros encontrados por meio de consultas na base de dados geral.

ESPACIALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS

A preparação do banco de dados permitiu realizar a reconstituição espacial do número de ocorrências, por meio de um amplo levantamento e tratamento das informações contidas na base de dados. Foram elaborados mapas e gráficos dos eventos por tipologia e ano, de modo a estabelecer os padrões de ocorrência/recorrência e a caracterização do cenário local de danos. Como os registros pela defesa civil municipal não possuem coordenadas geográficas, provavelmente por uma limitação de recursos, foi preciso realizar uma rigorosa checagem da coluna de bairros e endereços, para que se pudesse validar a informação correta correspondente ao bairro onde a ocorrência foi registrada.

Para a adequada compreensão da metodologia e dos resultados obtidos, é importante expressar que o termo “ocorrência” é entendido como o local geograficamente identificável, que foi afetado por um fenômeno em que são reportados danos e/ou perdas resultantes de processos como

alagamentos e inundações. Além disso, foi utilizada a base cartográfica de bairros do site “Fortaleza em mapas” (<https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/>), da Prefeitura de Fortaleza, para a espacialização das ocorrências, inserido na tabela de atributos a quantidade de ocorrências, por tipologia, nos bairros correspondentes à ocorrência.

Geocodificação de endereços das ocorrências: um percurso metodológico

Visando realizar uma análise de forma pontual sobre a concentração espacial das ocorrências e sugerir uma metodologia, foi aplicada a técnica de geocodificação de endereços para o ano de 2018, gerando pontos (coordenadas) a partir do endereço das ocorrências. Devido ao grande volume de dados, eventuais erros encontrados no preenchimento das tabelas e a densidade de informações a serem verificadas, principalmente quanto ao endereço das ocorrências, optou-se por trabalhar apenas o ano de 2018 com a aplicação dessa técnica para obter um panorama mais recente dessas ocorrências.

Para a realização desse procedimento, a planilha foi editada e padronizada conforme a figura 5. Devido às ocorrências não possuírem coordenadas geográficas, a criação dos pontos foi realizada por meio do plug-in “mmqgis”, recurso adicional do software livre QGIS.²

Para realizar essa espacialização, o *plugin* exige uma padronização específica da tabela, conforme demonstrado no quadro 02, devendo conter o endereço, município, estado e país correspondentes à localização da ocorrência.

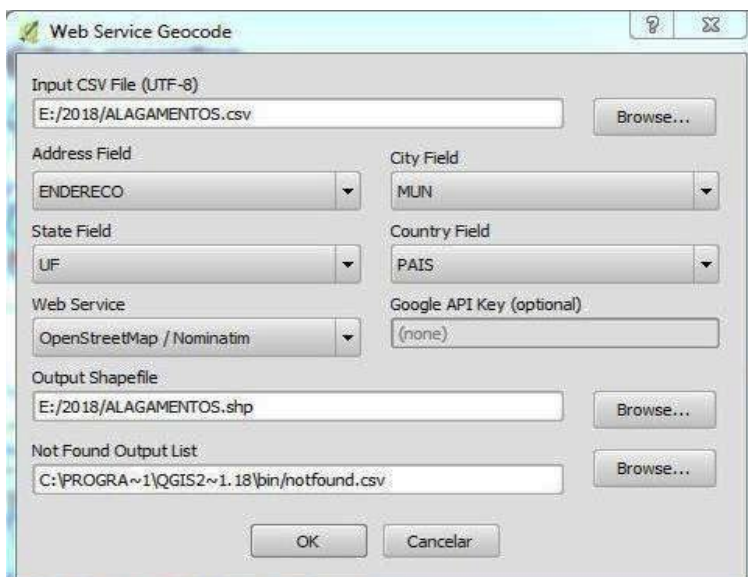
Figura 5 – Modelo da padronização da tabela de atributos para exportar os dados no QGIS.

Nº FICHA	ANO	DATA	TIPOLOGIA	ENDEREÇO	BAIRRO	MUN	UF	PAÍS
001	2018	10/05/2018	ALAGAMENTO	RUA JOSÉ LINHARES, Nº DA RESIDÊNCIA	PREFEITO JOSÉ WALTER	FORTALEZA	CEARÁ	BRASIL
002	2018	15/5/2018	INUNDAÇÃO	RUA CRUZ ABREU, Nº DA RESIDÊNCIA	SÃO JOÃO DO TAUAPE	FORTALEZA	CEARÁ	BRASIL
003	2018	08/07/2018	DESLIZAMENTO	RUA MANUEL ANTÔNIO DE ALMEIDA, Nº DA RESIDÊNCIA	BARROS O	FORTALEZA	CEARÁ	BRASIL

Fonte: Autoria própria (2022).

A tabela deve estar organizada em uma única planilha e deve ser exportada para a extensão (.csv) – valores separados por vírgula com codificação UTF-8, codificação exigida pelo *plugin*. Os campos devem ser preenchidos com as informações da tabela padronizada.

Figura 6 - Janela do Web Service Geocode do Software QGIS



Fonte: Autoria própria (2023).

Alguns mecanismos de segurança foram adotados para confirmar a espacialização dos endereços no QGIS, sendo realizada uma verificação manual com base nos endereços do *open street maps* que contém uma base de endereços, sendo a base na qual o plugin “mmqgis” adota como referência.

A partir disso, o banco de dados foi validado e apresentou menos limitações geocartograficas, ou seja, o registro de ocorrência de desastre da defesa civil municipal que foi

“transformado” em um ponto específico (com coordenada geográfica) por meio do seu endereço.

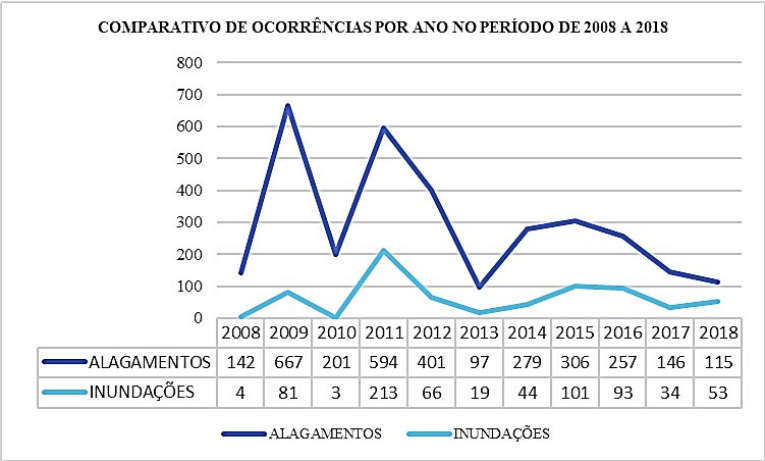
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar o banco de dados com os registros oficiais de ocorrências que afetaram o município de Fortaleza ao longo dos dez anos, verifica-se que a proporção entre os tipos de ocorrências (taxas por tipos de ocorrência) revela maior participação na tipologia de alagamento, com cerca de 81% do total, seguida das inundações, com 18% do total de registros.

Quanto à distribuição temporal das ocorrências por tipologia, apesar de serem dados de ocorrências que, em alguns casos, não estão em sincronia com as terminologias adequadas dos fenômenos, várias tendências podem ser observadas. A tendência mais importante é um aumento significativo na quantidade de ocorrências de desastres no período de 2008 a 2012. A Figura 7 mostra esse aumento, apresentando um número expressivo de alagamentos.

ECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ:
uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.

Figura 7 - Comparativo de ocorrências por ano de 2008 a 2018.



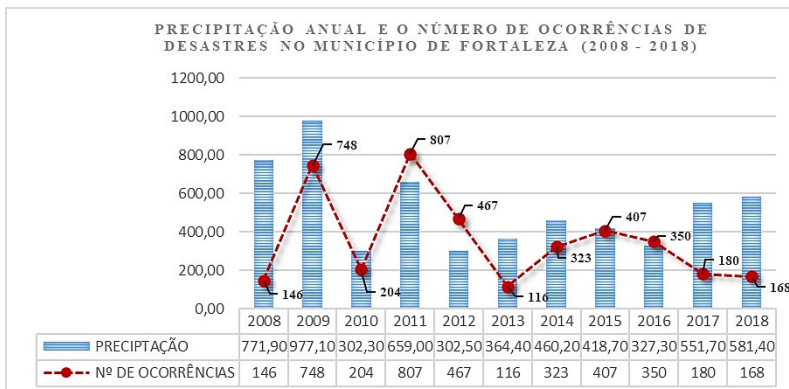
Fonte: Autoria própria (2023).

Já as inundações apresentam maiores ocorrências no ano de 2011, seguidas por uma queda constante em 2012 e 2013, e em 2014 e 2015 apresentam um significativo crescimento no número de registros. Muito além da ocorrência dos fenômenos registrados, o cenário de infraestrutura e a gestão da defesa civil municipal também refletem o número de registros, pois a apresentação e organização dos dados dependem de uma metodologia definida previamente pelos agentes.

Quando comparamos os dados gerais de ocorrências registradas com as médias de precipitações anuais, constatamos que, de modo geral, essa correlação é marcada por uma

considerável irregularidade interanual, conforme apresenta a figura 8 a seguir:

Figura 8 – Cruzamento dos registros de ocorrências totais e as médias de precipitação anual.



Fonte: FUNCEME; Defesa Civil. Autoria própria (2022).

Além disso, na análise dos padrões espaço-temporais do banco de dados sobre desastres em Fortaleza, há uma expressiva correlação entre inúmeros casos de desastres documentados pela Defesa Civil Municipal e a ocorrência de precipitação pluviométrica, com destaque para os anos de 2009 e 2011, considerados um dos anos mais chuvosos, registrando um total de 977,10 mm e 659,00 mm, respectivamente. Geralmente, a chuva é considerada um agente deflagrador de desastres em Fortaleza, em paralelo com outros fatores

como impermeabilização do solo e a ausência de rede de drenagem adequada.

Em contrapartida, o ano de 2008 foi considerado o segundo mais chuvoso e teve um dos mais baixos registros no número de ocorrências; certamente, as precipitações foram melhores distribuídas, de modo que ocorreram apenas dois episódios concentrados. No entanto, nos anos caracterizados por precipitação bem abaixo da média histórica de 804,9mm (2014, 2015 e 2016), ocorreu uma ascensão significativa no número de ocorrências.

ESPACIALIZAÇÃO ANUAL DAS OCORRÊNCIAS DE ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES EM FORTALEZA.

A série histórica adotada (2008 a 2018) permitiu realizar a reconstituição histórico-espacial das ocorrências, por meio de mapas e quadros capazes de mostrar a incidência espacial e temporal dos registros no município de Fortaleza.

Entre os bairros mais afetados pelos alagamentos e inundações, o quadro 1 a seguir apresenta um *ranking* com a quantidade de registros por tipologia e o total, além de elencar os 10 bairros mais atingidos pelos fenômenos citados.

ECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ:
uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.

Tabela 1: Ranking dos dez bairros com maiores registros de ocorrências.

Ranking Dos Dez Bairros Mais Afetados	Alagamentos	Inundações	Total
1. Barroso	194	53	247
2. Jangurussu	165	52	217
3. Quintino Cunha	132	51	183
4. Genibaú	154	34	188
5. Passaré	123	27	150
6. Parque Dois Irmãos	118	6	124
7. Canindezinho	105	16	121
8. Vila Velha	88	17	105
9. Barra Do Ceará	87	6	93
10. Vicente Pinzon	64	20	84

Fonte: Defesa Civil. Autoria própria (2023).

Entre os 121 bairros, 115 foram atingidos por algum tipo de fenômeno no decorrer da escala temporal adotada. Apenas 6 não apresentaram nenhum tipo de ocorrência, sendo eles: Novo Mondubim, Manuel Dias Branco, Olavo

Oliveira, Coaçu, Dendê e Conjunto Ceará II, provavelmente por existirem algumas imprecisões na localização do registro da ocorrência ou pelo fato de a população não acionar o órgão de defesa civil, pois em bairros como Coaçu, Novo Mondubim e Conjunto Ceará II, por exemplo, é noticiada a ocorrência de alagamentos e inundações.

Quando analisado os bairros com maiores frequências de registros, nota-se que há uma tendência espacial entre eles, formando, assim, áreas com maior concentração de ocorrências de desastres, principalmente nos bairros que se localizam às margens dos rios Maranguapinho e Cocó, como os bairros Barroso, Jangurussu, Passaré e Parque Dois Irmãos, localizados na região sul de Fortaleza, e entre os bairros Quintino Cunha, Genibaú, Vila Velha e Barra do Ceará.

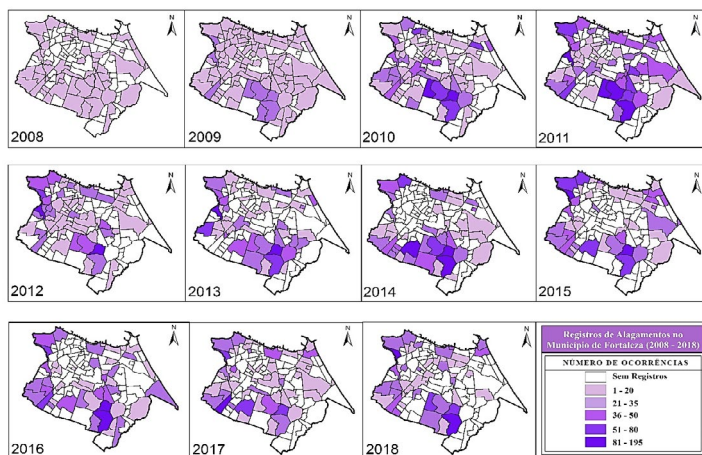
Historicamente, os bairros mais atingidos contabilizam anualmente significativas ocorrências de desastres, sejam por estarem às margens dos rios Cocó e Maranguapinho, seja por estarem em regiões mais baixas do bairro. Além disso, na maioria desses bairros, não há saneamento básico nem drenagem.

Entre as principais causas descritas no banco de dados sobre desastres em Fortaleza, foi possível extrair uma síntese das principais causas dos desastres, entre elas estão: bueiro entupido, maré alta, obstrução e transbordamento do canal e

transbordamento dos rios Cocó e Maranguapinho, atingindo os moradores localizados às margens dos rios.

As principais perdas e danos relatados estão relacionados principalmente a perdas de bens materiais, como o comprometimento da estrutura física dos imóveis e a presença de rachaduras, queda de muros e risco de desabamento. Além disso, há registros de perda de documentos e, em alguns casos, de vidas humanas. Essas informações podem ser visualizadas nos mapas a seguir, conforme a figura 9.

Figura 9 – Espacialização anual das ocorrências de alagamentos em fortaleza entre 2008 a 2018.



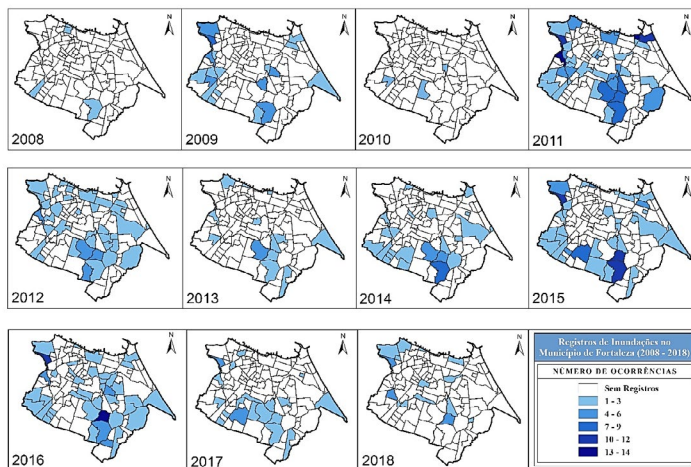
Fonte: Autoria própria (2022).

Os alagamentos apresentaram maior abrangência territorial e possuem os maiores números de registros no banco de dados de ocorrências, além das características geoambientais da cidade, tais como: padrão de precipitação de clima semiárido, terrenos areno-argilosos, relevos planos em interflúvios tabulares. Esse fator também está relacionado à obstrução das redes de drenagem como “bocas de lobo” e bueiros devido ao acúmulo de lixo, resíduos e sedimentos.

As inundações apresentam padrões espaciais similares, conforme a figura 10, justamente por estarem próximos das margens de corpos hídricos, como o rio Maranguapinho, Ceará e Cocó, que ocasionam inundações constantes nos bairros: Canindezinho, Genibaú, Vila Velha e Quitino Cunha, Barroso e Jangurussu.

Apesar da maioria dos registros estarem relacionados a alagamentos, as inundações também são muito presentes no município. Tal fato se dá porque muitas pessoas construíram suas casas em ambientes de planície fluvial e/ou flúvio marinha, justamente por serem locais públicos, de fácil acesso e sem custo.

Figura 10 – Espacialização anual das ocorrências de inundações em fortaleza entre 2008 a 2018.



Fonte: Autoria própria (2022).

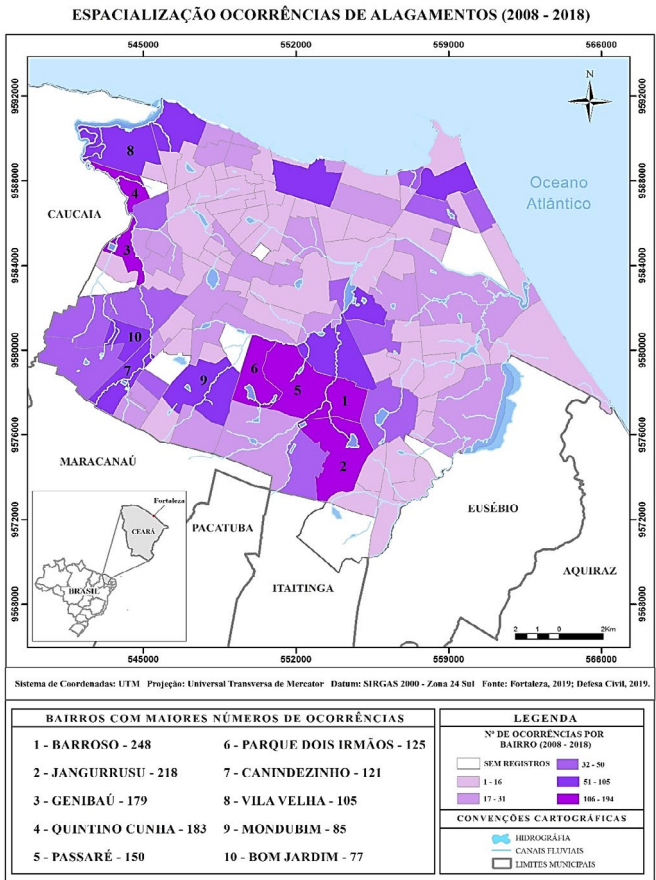
Entre o período analisado da série histórica, os anos de 2009 e 2011 se destacam em termos de registros, somando um total de 314 registros. Além disso, são anos que apresentaram consideráveis precipitações anuais, que combinadas com outros fatores, como infraestrutura precária, acúmulo de lixo, impermeabilização do solo, entre outros, contribuem para um maior número de inundações

A seguir são apresentados os mapas (Figuras 11 e 12) com a distribuição espaço-temporal de todo o período analisado

ECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ:
uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.

(2008 a 2018), podendo, assim, demonstrar a concentração dos
desastres por tipologia (alagamento e inundação) por bairro.

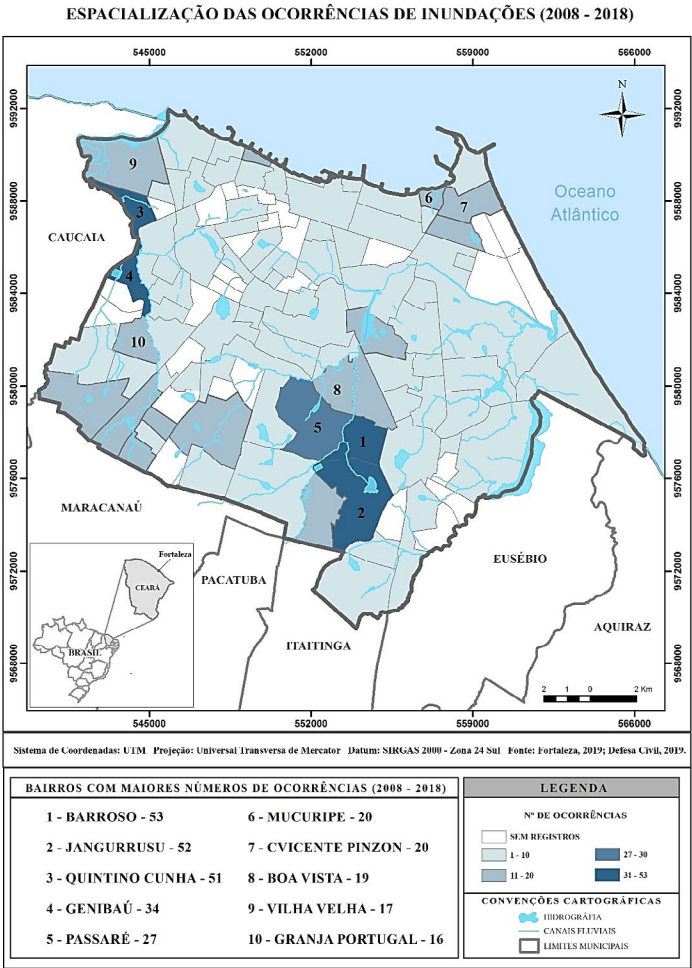
Figura 11 – Mapa com registros totais de
Alagamentos em Fortaleza 2008 – 2018.



Fonte: Autoria própria (2022).

ECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ:
uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.

Figura 12 – Mapa com registros totais de
inundações em Fortaleza 2008 – 2018



Fonte: Autoria própria (2022).

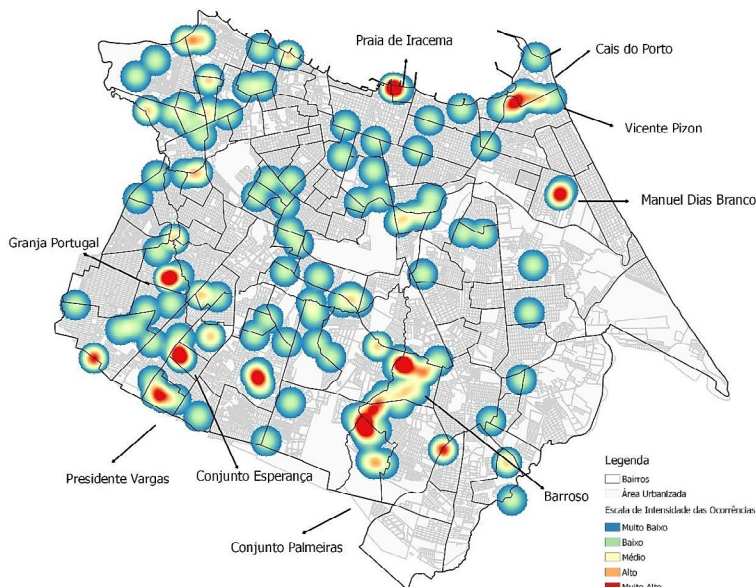
Os bairros Barroso e Jangurussu são os mais afetados pelos dois tipos de ocorrências (alagamento e inundação), demonstrando serem áreas que carecem de uma maior atenção nas ações de mitigação destes fenômenos, como ações de prevenção por meio da defesa civil municipal, além de melhorias estruturais e não estruturais.

Espacialização das ocorrências no ano de 2018

Com o intuito de analisar a intensidade dos processos na área de estudo e obter um panorama atualizado das ocorrências referentes ao ano de 2018, foi elaborado um mapa de densidade de Kernel, que pode ser replicado para os demais anos referentes a esse banco de dados.

No ano de 2018, foram realizados 168 registros de ocorrências, entre eles 115 alagamentos e 53 inundações. A figura 13 apresenta a concentração dessas ocorrências no município de Fortaleza, com destaque para os bairros com maiores concentrações.

Figura 13 – Estimativa de Kernel dos pontos de ocorrências de alagamentos e inundações no ano de 2018.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os bairros Jangurussu e Barroso, localizados na periferia de Fortaleza, são os bairros que sofrem com inundações recorrentes em épocas de chuva intensa. Isso ocorre porque a região fica situada em uma área de várzea, próxima ao Rio Cocó e ao Riacho Jangurussu. Os alagamentos e inundações nessa área costumam afetar principalmente as ruas e casas localizadas próximas ao Riacho Jangurussu e ao Rio Cocó, que muitas vezes transborda e inunda as casas e estabelecimentos comerciais da região.

Além disso, a falta de infraestrutura adequada na região, como sistemas de drenagem eficientes e a ocupação irregular de áreas de preservação ambiental, também contribuem para aumentar o risco de inundações e alagamentos no bairro.

Localizados na região oeste da cidade, os bairros Barra do Ceará e Vila Velha, apresentam uma área de baixa altitude e próximo ao Rio Ceará, o qual é bastante afetado por inundações e alagamentos em épocas de chuva.

Outro destaque é para o bairro Vicente Pinzon, localizado na zona leste de Fortaleza, que é uma região que também sofre com inundações em épocas de chuvas intensas. Isso ocorre porque o bairro fica próximo à foz do Rio Ceará e está situado em uma área de manguezal, o que torna a região mais vulnerável a inundações e alagamentos.

Por meio da interpolação de dados pelo método de estimadores Kerne, podemos observar que, de modo geral, há uma dispersão de eventos ao longo do território, que variam de baixa a média concentração em boa parte. Em contrapartida, é válido ressaltar que a concentração dessas ocorrências está frequentemente nos bairros frisados acima.

CONSIDERAÇÕES

A distribuição espacial do banco de dados das ocorrências permitiu realizar uma análise de forma mais perceptível da heterogeneidade das condições de risco e sua distribuição espaço-temporal no território de Fortaleza, permitindo a análise quantitativa das ocorrências e identificando os anos e bairros mais críticos caracterizados por maiores registros de ocorrências.

Além disso, com uma análise mais integrada com o plano diretor da cidade, percebe-se que o uso de sistema de informação geográfica – SIG, principalmente por meio da análise espacial, é um instrumento que pode contribuir significativamente para a tomada de decisão no planejamento urbano e no ordenamento territorial da cidade, incorporando em suas ações medidas de redução de risco de desastre – RRD.

É importante ressaltar ainda que os números de registros de ocorrências aqui demonstrados podem evidenciar também questões político-institucionais relacionadas à gestão pública municipal, pois, na grande maioria dos casos, as defesas civis apresentam fragilidades institucionais e ausência de recursos, além de constantes reestruturações em seu quadro institucional.

As análises apresentadas nesta pesquisa buscam contribuir com a execução da ação prioritária 1 do Marco de Sendai 4 - “Compreender o risco de desastres” e produzir uma contribuição tangível à gestão do risco de desastre em fortaleza, com o uso do espaço e de informações *in situ*, incluindo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Banco de Dados – BD sistematizado e atualizado.

A espacialização das 5.428 ocorrências evidenciou quais os bairros de Fortaleza são atingidos por alagamentos e/ou inundações urbanas. A partir dessa análise, é possível identificar as áreas e os bairros mais vulneráveis a desastres, como as regiões com maior incidência de alagamentos e inundações. As áreas localizadas às margens do rio Maranguapinho e Cocó apresentam maior predominância de ocorrências, sobretudo nas áreas densamente urbanizadas.

Bairros como Barroso, Jangurussu, Quintino Cunha, Genibaú, Passaré, Parque Dois Irmãos, Canindezinho, Vila Velha, Barra do Ceará e Vicente Pinzon estão entre os dez bairros mais críticos em relação ao número de ocorrências, possuindo juntos um total de 1.512 registros, o que representa aproximadamente 27,86% das ocorrências.

Esses são apenas alguns exemplos de bairros em Fortaleza que sofrem com inundações e alagamentos com maior frequência, mas é importante ressaltar que outros bairros também

podem ser afetados, dependendo da intensidade e da duração das chuvas. É fundamental que o poder público continue investindo em medidas de prevenção e gestão de riscos de desastres, como a construção de sistemas de drenagem e contenção de inundações e alagamentos, para minimizar os impactos dos fenômenos em toda a cidade.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lutiane Queiroz de; OLIVEIRA, Francisca Leiliane Sousa de. **Riscos Naturais nas Cidades – caso de estudo dos sítios urbanos de Fortaleza e Pacoti, Ceará, Brasil.** In: VI SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., 2010. Anais eletrônicos...Coimbra, PT. Disponível em: <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema4/lutiane>. Acesso em: 10 set. 2022

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Setorização de Riscos Geológicos.** [S.l.]: CPRM, 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos---Ceara-4874.html> . Acesso em: 18 maio 2022.

EM-DAT **Emergency Database.** OFDA/CRED – The Office of US Foreign Disaster Assistance/ Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/Database>. Acesso em 20 out. 2020.

IBGE. **Fortaleza:** SIDRA, 2020. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/fortaleza.html>. Acesso em: 21 out. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Perfil Básico Municipal.** Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Fortaleza_2017.pdf. Acesso em: 18. set de 2022.

MEDEIROS, M. Dantas de. **Vulnerabilidade socioambiental no município de Natal, RN**. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/19943>. Acesso em: 15 de dez de 2022.

MUÑOZ, V. A.; MARCHEZINI, V.; SANTOS, L. B. L.; JIMENEZ, N.; VELASQUEZ, A. **DesInventar**: ferramenta conceitual e plataforma computacional para sistematização de dados e suporte à pesquisa de risco e desastres. In: Víctor Marchezini, Ben Wisner, Luciana R. Londe, Silvia M. Saito. (Org.). Redução de vulnerabilidade a desastres: do conhecimento à ação. 1ed. São Carlos: RiMa Editora, 2017, v. 1, p. 311-334.

OLIVEIRA, F, L, SOUSA DE. **INDICADORES DE VULNERABILIDADE E RISCO LOCAL: O CASO DO MUNICÍPIO DE PACOTI, CE**. 2018. 227 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, 2018. Disponível em: <http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=82180>. Acesso em: 29 de junho de 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. Instituto de Planejamento de Fortaleza – Inplanfor, 2016. **Plano Fortaleza 2040**: qualidade do meio ambiente e dos recursos naturais. Fortaleza, 2016.

REZENDE, G. B. de Mello; ARAÚJO, S. M. S. . O planejamento dos aspectos da água no ambiente urbano. In: Sergio Murilo Santos de Araújo. (Org.). **Rio e homens: cursos transformados na relação sociedade-natureza**. 1 ed. Paulo Afonso: SABEH, 2016, v., p. 33-53.

ECONSTITUIÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ:
uma análise sistemática no período de 2008 – 2018.

ROSA, S; COSTA, M.C.L. Vulnerabilidade Social de Fortaleza.

In: DANTAS, E. W.C; COSTA, M. C. L. (Orgs.). **Vulnerabilidade Socioambiental**: na Região Metropolitana de Fortaleza. Fortaleza: edições UFC, 2009.

UNISDR. **Marco de Sendai para redução de riscos de desastres 2015-2030**. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2015.

SEÇÃO 2 - INDICADORES DE RISCO DE MOVIMENTOS DE MASSA



4

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:

caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

Caroline Barros de Sales

Lutiane Queiroz de Almeida

INTRODUÇÃO

Nos estudos de riscos de desastres, diferentes escalas de análise podem ser consideradas a depender do nível de detalhes que se quer trabalhar e das necessidades apresentadas pelos problemas. A importância da escala municipal se destaca entre inúmeros autores, como Birkmann (2006) e Tavares (2013), que a destacam como base institucional para a implementação

de medidas e práticas para a avaliação e gestão dos riscos de desastres.

Segundo Tavares (2013) a escala municipal é a mais adequada para estabelecer medidas de prevenção e mitigação dos riscos de desastres, tendo em vista que possibilita a integração de diferentes tipos de conhecimentos com práticas e experiências e por permitir a articulação entre a gestão dos riscos de desastres e os instrumentos de gestão do território que já existem. Mesmo concordando com os autores mencionados anteriormente, Oliveira (2018) defende a necessidade de apresentar resultados em escala local ao se tratar de riscos e vulnerabilidades, compreendendo que as pesquisas em escala local são viáveis e possibilitam propor medidas mais diretas e concretas, além de ser passível de validação. Segundo a autora, a análise de indicadores e mapeamentos em escala local podem subsidiar melhor as políticas públicas. Porém, esse trabalho se dá de forma complexa e, por isso, deve considerar o processo de formação histórica, a problemática social, econômica e ambiental do território (Oliveira, 2018).

No Brasil, em escala local, ou seja, em escala de detalhe, são escassos os bancos de dados oficiais que façam uma correlação entre elementos de exposição e elementos de vulnerabilidade social da população aos riscos de desastres; o que existem são estudos, principalmente de instituições de pesquisa, grupos

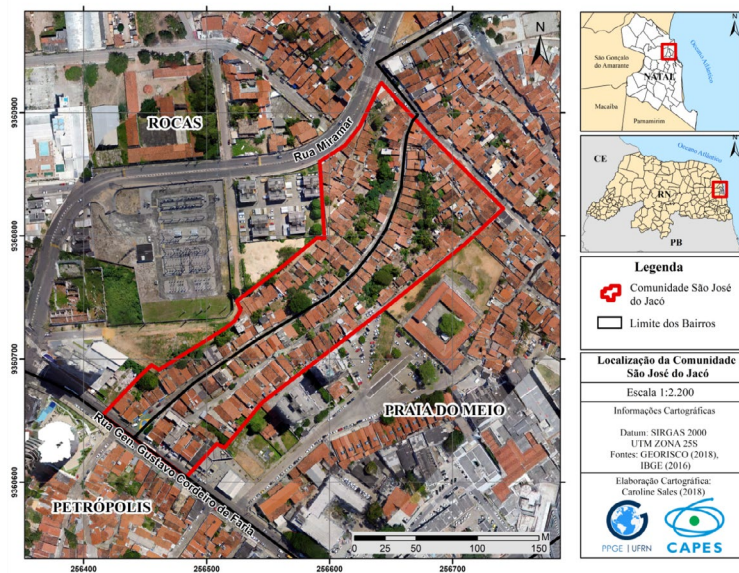
acadêmicos e de pós-graduações ou coordenados por prefeituras, que buscam investigar realidades locais, recorrendo a dados sociais, econômicos e ambientais primários (Sales; Almeida, 2020).

Pensando nisso, o presente capítulo tem como objetivo apresentar uma Proposta de Medidas de Redução de Risco de Desastre (RRD) a partir do uso de indicadores de risco em escala de detalhe, voltada à comunidade São José do Jacó, município de Natal, capital do Rio Grande do Norte/RN.

A comunidade está situada, desde o final da década de 1970, entre os bairros das Rocas e da Praia do Meio, ambos da região administrativa leste do município de Natal/RN (Figura 1). É considerada um assentamento informal, classificado como aglomerado subnormal (Lélis, 2018), que até novembro de 2019 contava com a estimativa de 257 domicílios, dos quais aproximadamente 59 encontravam-se interditados desocupados (segundo a contagem e o mapeamento realizados durante a pesquisa entre os anos de 2018 e 2020).

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE
REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:
caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

Figura 1 - Localização da Área de Estudo.



Fonte: Sales (2020).

A comunidade é considerada o segundo local da cidade com mais registros de ocorrências de movimentos de massa (rastejo e deslizamento), principalmente entre os meses de março e julho, influenciadas por intensas precipitações (SEMDES, 2019), o que faz dela ser objeto de estudo para pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento e de diversos grupos de pesquisa, além de pauta para notícias da mídia local (Sales; Almeida, 2020). Destacam-se ocorrências registradas nos anos de 2014 e 2016: em 2014 o deslizamento

de uma encosta e o desabamento de um muro de contenção e de casas situadas no topo da encosta, após o acumulado de 333 mm de chuva durante dois dias, vindo a causar danos materiais e estruturais à comunidade e físicos à encosta; em 2016, quando o muro de contenção estava com a sua construção em fase de conclusão, uma nova ruptura foi registrada (Sales; Almeida, 2020).

Diante da problemática do risco de movimentos de massa (rastejo e deslizamento) existente na área em estudo, ressalta-se a necessidade e importância da realização de estudos, diagnósticos e análises em escala de detalhe, que respaldem e efetivamente planejem medidas locais de RRD.

METODOLOGIA

A metodologia concentrou-se na relevância da análise em escala de detalhe, sustentando-se na caracterização espacial e no domínio do uso de indicadores, para se chegar ao índice de exposição (InEX), índice de vulnerabilidade social (InV) e índice de risco (InRISCO), e às propostas de medidas de redução de risco de desastre (RRD). Os procedimentos metodológicos estão apresentados neste capítulo de maneira sintetizada, visto que a versão detalhada consta no livro eletrônico “Mapeamento de risco de movimentos de massa

em escala de detalhe: conceitos, metodologia e aplicabilidade”, de autoria de Sales e Almeida (2020).

Cabe destacar que a metodologia tomou como base referencial o *DRIB Index 2020* (Almeida *et al.*, 2020) e a tese desenvolvida por Oliveira (2018), ambas baseadas no *World Risk Index* desenvolvido por Birkmann *et al.* (2011). O *World Risk Index* consiste em um cálculo que gera um relatório baseado em indicadores, cujo foco principal é a análise do risco de desastres através da exposição da população a perigos naturais, bem como a análise da vulnerabilidade social, que envolve fatores de suscetibilidade da população e sua capacidade de lidar (enfrentamento) e capacidade de adaptar-se aos desastres (Birkmann *et al.*, 2011; Oliveira, 2018).

Considera-se exposição a quantidade de pessoas expostas a um determinado risco dividido pela população total do país ou comunidade analisada (Birkmann *et al.*, 2011; Oliveira, 2018). Já a vulnerabilidade é resultante das interações entre as condições ambientais e a sociedade: é um efeito combinado da exposição ao risco, da fragilidade dos diferentes componentes do território e da sociedade, além da capacidade ou falta de resiliência (Vinchon *et al.*, 2011). A suscetibilidade, termo utilizado por Birkmann *et al.* (2011) e Oliveira (2018), como sinônimo de sensibilidade ou fragilidade, caracteriza a predisposição e probabilidade de um sistema ou população exposta

sofrer danos quando um perigo é deflagrado, e se revela nas dimensões física, social, ambiental, cultural e institucional (Birkmann, 2013). A capacidade de lidar (enfrentamento) é definida pelo autor como a capacidade de uma sociedade, grupo, organização ou sistema impactado de usar seus próprios recursos para enfrentar e gerenciar emergências, desastres ou condições adversas, enquanto a capacidade adaptativa é definida como uma estratégia de longo prazo associada a um risco de perigo específico.

Ao considerar particularidades do objeto de estudo e dos objetivos traçados, foram realizadas adaptações metodológicas, porém seguindo com os mesmos conceitos e categorias de análise. Tais adaptações foram necessárias por se buscar a sistematização de uma metodologia para os estudos de risco de movimentos de massa que seja integradora e que se apoie na escala de detalhe. Por isso, já se adianta aqui que as adaptações se deram em relação ao recorte espacial, seleção de indicadores e suas variáveis, definição de padrões estatísticos, elaboração de ferramentas (fichas de campo e formulário), elaboração de produtos cartográficos e direcionamentos finais.

O caminho metodológico foi sistematizado em três etapas que se integram: I) caracterização prévia da área de risco; II) utilização de indicadores de exposição, vulnerabilidade

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE
REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:
caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

social e risco e III) índices de risco e elaboração de produtos (Figura 2).

Figura 2 - Sistematização da Metodologia e suas etapas.



Fonte: Sales e Almeida (2020).

Dentre as atividades realizadas, destacam-se: procedimentos de geoprocessamento, que possibilitaram a elaboração do

mapa de risco e do bloco-diagrama⁵, este último referente à espacialização das necessidades de medidas mitigadoras e preventivas e suas respectivas propostas de RRD; e atividades de campo (no total foram realizadas 8), que possibilitaram a setorização da área de estudo, identificação da situação dos indicadores de risco e dos aspectos mais críticos que necessitam de atenção e priorização por parte da gestão pública e dos moradores da comunidade, a partir da avaliação de fichas de campo, da aplicação de formulários e da formulação dos índices.

Tratando-se da setorização, ela foi efetuada tomando como referência aquela realizada por França (2018) na mesma área de estudo e a partir dela realizou-se uma subsetorização, em coerência com a escala de análise em detalhe pretendida na presente pesquisa, ou seja, cada setor foi dividido em subsetores. Para definição dos subsetores partiu-se das características físicas do terreno, dos elementos espaciais relacionados com a situação de risco (previamente identificados durante a atividade de campo para reconhecimento da área) e do padrão de distribuição dos domicílios no terreno, de forma a se buscar agrupar as características homogêneas.

5 O bloco-diagrama é um recurso didático frequentemente utilizado na representação do relevo em terceira dimensão por profissionais como geomorfólogos e geólogos, de maneira a facilitar a visualização e observação de determinada superfície (Vieira, 2005).

Sobre os procedimentos de geoprocessamento, considerando a ausência de imagens de satélite de qualidade da área de estudo (sobretudo devido a necessidade de escala de detalhe), o uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT), popularmente conhecido como drone, foi indispensável para a metodologia, seguindo as etapas de pré-levantamento, levantamento (captura das ortofotos da área de estudo), entrada das ortofotos no software Agisoft PhotoScan, tratamento/parametrização e geração de produtos. Além do software citado, trabalhou-se também no QGIS 3.0 e ArcGIS Versão 10.6 (versão de avaliação de 60 dias) para a elaboração de mapas e do bloco-diagrama.

Destacam-se também na metodologia a seleção e uso de 47 indicadores de risco de movimentos de massa para a área de estudo, agrupados em categorias e subcategorias para

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE
REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:
caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

melhor caracterização e análise do objeto, sendo 12 indicadores referentes à componente exposição e 35 à componente vulnerabilidade social (Figura 3).

Figura 3 - Síntese dos indicadores de risco de movimentos de massa para estudos em escala de detalhe.

EXPOSIÇÃO A MOVIMENTO DE MASSA		VULNERABILIDADE SOCIAL	
TOPOGRÁFICOS	SUSCETIBILIDADE	CAPACIDADE DE LIDAR	CAPACIDADE ADAPTATIVA
1. Dedicidade (em graus) 2. Altura da encosta (m) 3. Corte e/ou aterros	INFRAESTRUTURA PÚBLICA 1. Rede de esgotamento sanitário 2. Rede de águas pluviais 3. Abastecimento de água 4. Lançamento de detritos (lixo/entulhos) 5. Domicílio público 6. Acessibilidade da rua	MEDIDAS ESTRUTURAIS 17. Ação participativa nas propostas estruturais da gestão 18. Realização de obras na rua 19. Reforma na casa 20. Visita de técnicos especializados	27. Existência de adultos (não idosos) 28. Existência de idosos 29. Existência de crianças 30. Existência de morador com limitação física 31. Acesso a serviços de saúde nas proximidades 32. Projeto social/ambiental na comunidade 33. Confiança na Defesa Civil
PEDOLÓGICOS	HABITAÇÃO		LEGENDA  Componente do Risco  Componente do Risco  Categorias  Subcategorias
ESTRUTURAIS	7. Material de construção primário 8. Quantidade de pisos 9. Existência e Tipo de forro 10. Rachaduras e afundamentos/soerguimentos 11. Prejuízos causados durante chuvas *34. Proximidade à domicílio(s) interditado(s) pela Defesa Civil *35. Proximidade à domicílio(s) que já sofreu desabamento;		
SANEAMENTO AMBIENTAL	CAPACIDADE ECONÔMICA	REDES SOCIAIS	
9. Rede de esgotamento sanitário 10. Rede de águas pluviais 11. Abastecimento de água 12. Lançamento de detritos (lixo/entulhos)	12. Renda total 13. Existência de Veículos motorizados 14. Aparelhos de celular (com capacidade para *pp) 15. Acesso à internet 16. Condição do domicílio	21. Recursos próprios 22. Ajuda de Vizinhos 23. A quem recorrer 24. Líder comunitário 25. Reunião na comunidade 26. Participação nas audiências	

Fonte: Sales (2020) adaptado de Oliveira (2018).

Para a operacionalização dos indicadores de exposição e vulnerabilidade social, ou seja, para a aquisição dos dados, foram elaboradas fichas para observação em campo e formulários cujas questões estiveram vinculadas ao quadro síntese dos indicadores, de forma que fosse possível avaliar

a condição de criticidade de cada indicador⁶. Como a pesquisa defende estudos em escala de detalhe, a aplicação dos formulários ocorreu por domicílio ocupado, cujo morador aceitasse colaborar com o estudo.

Para trabalhar com indicadores, foram atribuídos valores às variáveis de cada indicador de exposição a movimento de massa, com base na valoração realizada por Guerra et al. (2009), que atribui números entre 1 e 5, seguindo uma escala de criticidade: quanto mais próximo de 1 representa que a exposição é menos crítica, quanto mais próximo de 5 a exposição é considerada mais crítica. Já para atribuir valores às variáveis de cada indicador de vulnerabilidade social, correspondentes às questões apresentadas nos formulários, optou-se por normalizá-los em níveis adimensionais entre 0 e

6 Cada indicador de vulnerabilidade social foi representado por uma questão no formulário e cada indicador de exposição foi representado por uma questão na ficha de observação, ambos aplicados durante as atividades de campo; tais questões apresentaram alternativas de respostas referentes à diversas características observáveis em campo (5 alternativas no caso dos indicadores de exposição, de 3 até 9 alternativas no caso dos indicadores de vulnerabilidade social) e essas alternativas imprimiram a escala de criticidade dos indicadores. Por exemplo, o indicador de exposição “altura da encosta”: na ficha de campo esse indicador possui 5 alternativas de resposta, ou seja, 5 níveis de criticidade, do menos crítico ao mais crítico quando se trata de risco de movimentos de massa. São eles: nível 1 (0-2 m), nível 2 (2-3 m), nível 3 (3-4 m), nível 4 (4-5 m) e nível 5 (>5 m). Os indicadores, suas variáveis e seus níveis foram definidos com base em Birkmann (2011), Oliveira (2018) e Guerra et al. (2009).

1. O valor quanto mais próximo de 0 representa vulnerabilidade social ou risco menor, consequentemente, quanto mais próximo de 1 representa vulnerabilidade social ou risco em situações mais críticas (Oliveira, 2018) (Quadro 1).

Quadro 1 - Síntese da valoração utilizada.

SÍNTESE DA VALORAÇÃO											
EXPOSIÇÃO A MOVIMENTO DE MASSA			VULNERABILIDADE SOCIAL								
Níveis (para cada variável do indicador)			Níveis (para cada variável do indicador)								
N1	1	 CRITICIDADE	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
N2	2		0,1	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0
N3	3		 CRITICIDADE								
N4	4										
N5	5										
Pesos dos Indicadores e sua Relevância na Análise de Risco de Movimento de Massa											
A	1	Alta Relevância									
B	0,6	Média Relevância									
C	0,3	Baixa Relevância									

Fonte: Sales (2020).

Além das variáveis, outros elementos que estão inclusos no processo de valoração são os indicadores, como pode ser visto no Quadro 1. Os pesos dos indicadores estão relacionados com a sua relevância na análise de risco de movimento de massa, podendo ser: Alta, Média ou Baixa; tendo em vista que, ao não se considerar todos com o mesmo peso na análise pretendida, firma-se a ideia de escala de detalhe, dando-se atenção para as especificidades da área de cada estudo.

Partindo para os cálculos dos índices, o índice de exposição a movimentos de massa (InEX) é formulado através dos indicadores de exposição já apresentados e é um resultado referente a cada setor da área de estudo, para que mais tarde seja relacionado com o índice de vulnerabilidade social (InV), resultando no índice de risco (InRISCO). Na equação proposta por Oliveira (2018), o InEX é definido através de uma fórmula que multiplica a população do subsetor pelo valor de exposição (segundo os indicadores de exposição) desse mesmo subsetor, e divide o resultado pela população total do setor que o contempla. Como a presente pesquisa focou nos domicílios, a fórmula foi adaptada: ao invés de considerar os dados de população, considerou-se a quantidade de domicílios do setor (Qd) e a quantidade média de domicílios existentes na comunidade (Qm) (Quadro 2).

Quadro 2 - Etapas para calcular o InEX.

InEX (setor)	
$\text{InEX (setor)} = (\text{Qd} * \text{EXi}) / \text{Qm}$	Onde: InEX (setor)- Índice de Exposição a Movimento de Massa do setor; Qd- Quantidade de domicílios do setor; EXi- Exposição segundo os indicadores do setor; Qm- Quantidade média de domicílios da área total;
EXi	
$\text{EXi} = \sum w / I$	Onde: $\sum w$- Soma das exposições de todos os indicadores; $w = \text{NVi} * \text{Pi}$ (onde NVi é o nível da variável do indicador e Pi é o peso do indicador); I – Total de indicadores de exposição;

Fonte: Sales e Almeida (2020).

Sobre o InV, o processo de cálculos teve início no índice agregado por variáveis que corresponde à etapa 1 e foi sucedido por mais outras três etapas, adaptadas a partir de Oliveira (2018). Exemplos que representam a categoria Suscetibilidade serão utilizados para demonstrar as etapas de cálculo e organização do banco de dados (Quadro 3).

Quadro 3 – Etapas para calcular o InV.

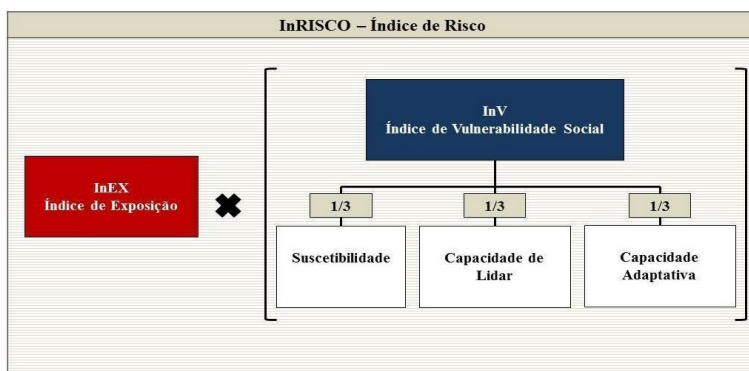
ETAPA 1 - CÁLCULO POR INDICADOR: ÍNDICE AGREGADO POR VARIÁVEIS	
Ex: Indicador 1- Destino do esgoto $I1 \text{ (setor)} = \sum x / m$	Onde: I1 (setor)- Índice para o indicador 1; $\sum x$- Soma dos valores das variáveis do indicador 1 dos domicílios do setor; m - Total de domicílios do setor;
ETAPA 2 – CÁLCULO POR SUBCATEGORIA: ÍNDICE AGREGADO POR INDICADOR	
Ex: Subcategoria – Infraestrutura Pública $IS \text{ (setor)} = [(I1 * PI1) + (I2 * PI2) + (I3 * PI3) + (I4 * PI4) + (I5 * PI5)] / I$	Onde: IS (setor)- Índice para a subcategoria; I1; I2; I3; I4 e I5- Índice dos indicadores da subcategoria; PI1; PI2; PI3; PI4 e PI5- Peso dos indicadores; I – Total de indicadores da subcategoria;
ETAPA 3 – CÁLCULO POR CATEGORIA: ÍNDICE AGREGADO POR SUBCATEGORIA	
Ex: Categoria – Suscetibilidade $IC \text{ (setor)} = \sum y / n$	Onde: IC (setor)- Índice para a categoria; $\sum y$ - Soma de todos os IS do setor. Ex: IS (infraestrutura) + IS (habitação) + IS (capacidade econômica); n- Total de subcategorias da categoria em questão;
ETAPA 4 – CÁLCULO INV: ÍNDICE AGREGADO POR CATEGORIA.	
$InV \text{ (setor)} = (IC \text{ suscetibilidade} + IC \text{ capacidade de lidar} + IC \text{ capacidade adaptativa}) / 3$	

Fonte: Sales e Almeida (2020).

As etapas apresentadas anteriormente foram aplicadas para todos os setores da área de estudo, considerando variáveis, indicadores, subcategorias e categorias, seguindo o mesmo princípio e ordem.

Considerando que o risco está em função da relação entre exposição e vulnerabilidade social, seu índice foi obtido através da composição modular estruturada pelo *World Risk Index* (UNUEHS, 2014) que atribui pesos iguais para as categorias suscetibilidade, capacidade de lidar e capacidade adaptativa (Figura 4).

Figura 4 – Índice de Risco (InRISCO) aplicado aos subsetores e setores da área de estudo.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2018), a partir de *World Risk Report* (UNUEHS, 2014).

Tratando-se da representação dos resultados, para a elaboração final dos indicadores, índices e da espacialização em mapa temático, os índices foram classificados em grupos

homogêneos, posteriormente, estipulando 4 classes (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto)⁷.

Através do mapa de risco de movimentos de massa e de uma análise detalhada dos indicadores e elementos reconhecidos em campo (sobretudo encosta não vegetada ou parcialmente vegetada; estruturas interditadas, como escadas, muros, vias de acesso; muro de arrimo em perigo ou aparentemente seguro; árvores e postes inclinados; pontos onde já ocorreram deslizamentos e/ ou desabamento de domicílios; identificação de domicílios situados no topo, base ou vertente de encostas), e seguindo a abordagem de qualificação de segurança discutida por Moretti *et al.* (2019) e trabalhada por Lélis (2018) na mesma área de estudo, foi possível refletir e planejar a proposta de medidas de redução de risco de desastres (RRD) para o caso da comunidade do Jacó, representado na forma de bloco-diagrama.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o recorte temporal entre os anos de 2018 e 2020, com a estimativa de 535 moradores, habitando aproximadamente 198 domicílios, e com 59 domicílios interditados

7 Para classificar em grupos homogêneos e estipular as quatro classes utilizou-se o método estatístico Quantil, seguindo o método recomendado pelo World Risk Index, através do software ArcGIS Versão 10.6 – Avaliação de 60 dias.

desocupados, a comunidade São José do Jacó não se caracteriza por apresentar predominância de nível alto de risco de movimentos de massa (Figura 5). É possível notar que 63% dos domicílios se enquadram nos níveis Muito Baixo e Baixo de risco de movimentos de massa; somados com a porcentagem dos domicílios onde a categoria do risco não se aplica, cerca de 78% estão abaixo do nível alto (Figura 6). Os níveis Médio e Alto somam 22% dos domicílios totais e são neles que a gestão de riscos de desastres deve voltar o seu foco, de forma emergencial.

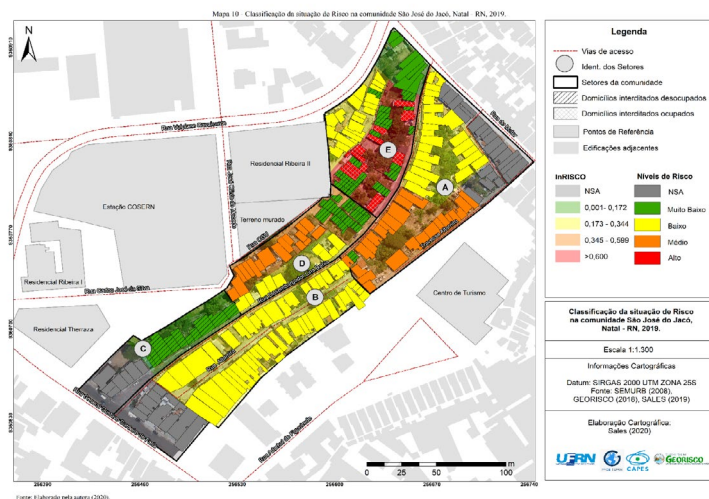
De forma mais específica, os domicílios com nível Alto de risco estão situados no setor E, os com nível Médio estão situados nos setores A e D. Nesses três setores foram identificados e registrados críticos aspectos de indicadores, como indícios da ocorrência de movimentos de massa, evidências de problemas estruturais e inadequada situação dos domicílios interditados desocupados. Os setores B e C são os que apresentam níveis mais baixos, em detrimento dos seus perfis.

Os domicílios interditados desocupados apresentam nível de risco Muito Baixo, pelo fato de pessoas não os habitarem mais, ou seja, por elas estarem fora da zona de risco de uma área onde a exposição a movimentos de massa é elevada, devido aos indicadores topográficos, pedológicos, estruturais e/ou de saneamento ambiental refletirem a fragilidade do

terreno. Isso não significa afirmar que a única solução seria a desocupação da área, visto que se defende aqui a ideia de se partir da identificação dos indicadores críticos para então traçar medidas a serem tomadas, adotando-se o princípio da prevenção, mitigação e preparação pertencentes à gestão de riscos de desastres.

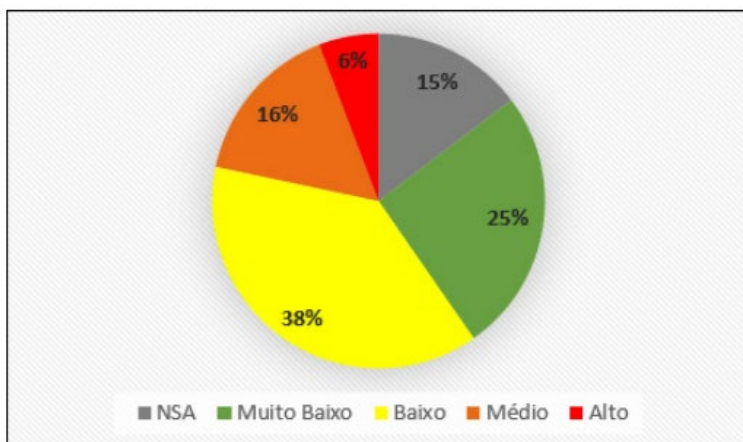
Já os domicílios interditados ocupados apresentam os maiores índices e, conseqüentemente, o nível mais elevado de risco, principalmente por existirem pessoas expostas e, ao mesmo tempo, vulneráveis socialmente, habitando domicílios também expostos.

Figura 5 - Mapa da Classificação da situação de Risco de Movimentos de Massa na comunidade São José do Jacó.



Fonte: Sales (2020).

Figura 6 – Gráfico sobre níveis de risco dos domicílios que compõem a comunidade São José do Jacó, Natal/RN – 2019.



Fonte: Sales (2020).

Os domicílios com nível médio de risco também possuem diversos indicadores críticos, os quais são responsáveis por aumentar a suscetibilidade, e diminuir as capacidades de lidar e de adaptação, consequentemente condicionando a vulnerabilidade Social. Sendo assim, os domicílios que apresentam nível Médio de risco necessitam de atenção tanto quanto os de nível Alto, visto que são domicílios com potencialidade e tendência para ter seus níveis elevados, caso medidas não sejam tomadas.

É importante salientar que, mesmo não pertencendo aos níveis críticos, os domicílios com níveis de risco Baixo e Muito

Baixo não estão livres de problemas e indicadores críticos. Estes estão presentes em todos os setores da comunidade, bem como os indicadores considerados positivos, não menos importantes de serem elencados, visto que também são relevantes para se pensar propostas de medidas. Por exemplo, a predominância de famílias que possuem aparelho de celular com capacidade para baixar aplicativos – app (71% dos entrevistados) e a predominância de famílias que possuem acesso à internet (62% dos entrevistados) podem ser considerados indicadores positivos e importantes para facilitar a comunicação, o recebimento de alertas, e a mobilização social, principalmente nas etapas de prevenção, preparação e resposta na gestão de riscos e desastres.

Ao observar os indicadores críticos, tanto em campo, como também por meio dos resultados obtidos através dos índices, pode-se inferir que a situação de risco na comunidade está condicionada e ainda mais agravada por questões de deficiências de infraestrutura e precarização. Em relação às deficiências estruturais, destaca-se a carência no sistema de drenagem pluvial como um dos indicadores mais críticos inseridos na situação de risco da área de estudo, necessitando de soluções a curto, médio e longo prazo.

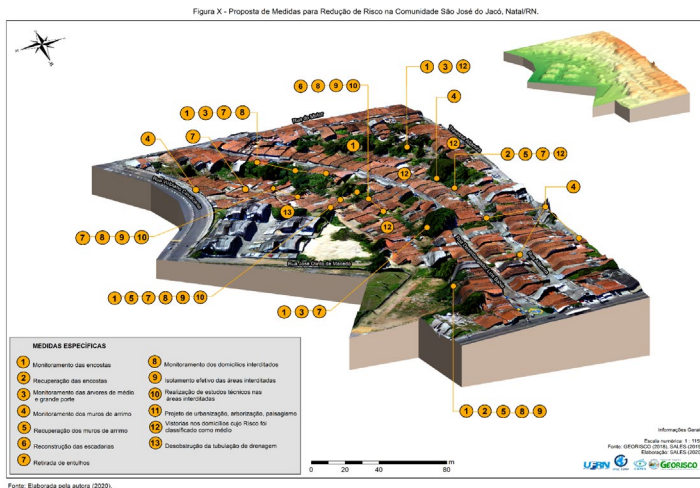
Já sobre a precarização, trata-se não apenas dela ligada aos aspectos estéticos da autoconstrução e da proximidade de

domicílios ocupados a domicílios interditados, mas também no que se refere às capacidades de lidar e de adaptação frente ao risco. Isso pelo fato, por exemplo, da ausência de recursos próprios por parte dos moradores (reserva financeira) para lidar com os problemas e por muitos moradores não saberem a quem recorrer em caso de eventos adversos. Porém, ressalta-se que a condição de precarização não deveria ser utilizada como argumento para a expropriação e sim para ações de intervenção nos espaços habitados, considerando as suas particularidades e daquelas que os habitam.

Diante desses resultados, apresenta-se o produto principal do presente capítulo: proposta de medidas de redução de risco de movimentos de massa para o caso da comunidade São José do Jacó (Figura 7).

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE
REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:
caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

Figura 7 - Proposta de Medidas de Redução de Risco de Movimentos de Massa para o caso da comunidade São José do Jacó, Natal/RN.



Fonte: Sales (2020).

Estão indicadas medidas de ordem específica que, em sua maioria, são consideradas estruturais, ou seja, funcionam como ações técnicas, sendo necessário haver o contato direto de profissionais com o meio em exposição; é o caso de medidas como monitoramento e recuperação de encostas, revegetação e muros de contenção, reconstrução de escadarias, retirada de entulhos, desobstrução da tubulação de drenagem. Ao todo, são 13 medidas:

- Monitoramento das encostas;
- Recuperação das encostas;

- Monitoramento das árvores de médio e grande porte;
- Monitoramento dos muros de contenção;
- Recuperação dos muros de contenção;
- Reconstrução das escadarias de acesso;
- Retirada de entulhos;
- Monitoramento de domicílios interditados;
- Isolamento efetivo das áreas interditadas;
- Realização de estudos técnicos nas áreas interditadas;
- Projeto de urbanização, arborização e paisagismo;
- Vistoria nos domicílios cujo risco foi classificado como médio;
- Desobstrução de tubulação de drenagem.

O quadro final detalha as medidas propostas, apontando os objetivos e/ou resultados esperados através de tal execução, podendo vir a funcionar como ferramenta de gestão voltada especialmente para a comunidade (Quadro 4). Salienta-se que as medidas propostas visam a participação e a colaboração tanto dos gestores públicos, como também dos moradores da comunidade, sendo a integração o principal pilar.

Ressalta-se que medidas não estruturais também são importantes de serem planejadas e executadas, como:

preparação e capacitação da comunidade, bem como dos profissionais que compõem a Defesa Civil Municipal e demais órgãos e secretarias municipais, além dos gestores públicos de uma maneira geral; ações de comunicação de riscos e desastres envolvendo todos os atores da gestão de risco e desastre; elaboração de materiais educativos e efetivação de práticas participativas de maneira contínua.

Quadro 4 - Proposta detalhada de Medidas Específicas de Redução de Risco de Movimentos de Massa.

Ident.	Medidas Propostas	Caracterização	Objetivos / Resultados Esperados
1	Monitoramento das encostas	Realizar vistorias nas encostas periodicamente, com mais frequência entre os meses de março e julho, para observar a estabilidade do solo, a condição das vertentes e se há indícios de movimentos de massa.	Perceber, o quanto antes, indícios de movimentos de massa para então ser possível recuperar a encosta; diminuir os níveis de exposição.
2	Recuperação das encostas	Realizar limpeza (retirada de entulhos), retirar árvores que estejam inclinadas ou com troncos/galhos em vias de desabamento, realizar retadulamento do talude se necessário e realizar obras de contenção (técnicas como alvenaria armada, tela argamassada, utilizadas pela Defesa Civil de Recife – PE).	Recuperar encostas que expõem domicílios e suas famílias ao risco de movimentos de massa e desabamento.

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE
REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:
caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

Ident.	Medidas Propostas	Caracterização	Objetivos / Resultados Esperados
3	Monitoramento das árvores de médio e grande porte	Realizar vistorias para observar a situação das árvores presentes na área, caso estejam inclinadas ou com troncos/galhos em vias de desabamento devem ser retiradas, visto que estarão aumentando a exposição física dos domicílios e dos seus moradores ao risco de movimentos de massa e desabamento.	Perceber se as árvores oferecem riscos aos domicílios e seus moradores; diminuir os níveis de Exposição.
4	Monitoramento dos muros de arrimo	Realizar vistorias nos domicílios que apresentam muros de arrimo nos seus terrenos, de forma periódica, com mais frequência entre os meses de março e julho, para observar a condição estrutural, se há indícios de movimentos de massa, de vazamentos e de risco de desabamento.	Perceber se a estrutura apresenta situação estável ou instável e se há, conseqüentemente, necessidade de reparos, recuperação; diminuir os níveis de Exposição.
5	Recuperação dos muros de arrimo	Retirar entulhos e realizar obras de contenção (técnicas como alvenaria armada, tela argamassada, lonas plásticas, utilizadas pela Defesa Civil de Recife – PE).	Recuperar os muros de arrimo que expõem domicílios e suas famílias ao risco de movimentos de massa e desabamento.
6	Reconstrução das escadarias	Após a realização de estudos técnicos que afirmem a possibilidade de reconstrução na área, realizar a reconstrução das duas escadarias, incorporando-se sistema de drenagem de água pluvial e de abastecimento de água, já que ela se encontra com vazamentos.	Reconstruir as estruturas afim de diminuir os níveis de Exposição e melhorar a acessibilidade.

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE
REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:
caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

Ident.	Medidas Propostas	Caracterização	Objetivos / Resultados Esperados
7	Retirada de entulhos	Retirar periodicamente os entulhos que são despejados na vertente das encostas, nos terrenos dos domicílios; retirar os entulhos dos domicílios que estão interditados e desocupados, bem como de construções que sofreram desabamento.	Diminuir os níveis de exposição, já que entulhos fazem pressão no solo, e podem atingir domicílios e vítimas durante precipitações; evitar a exposição ao risco de contrair doenças, visto que pode haver proliferação de vetores.
8	Monitoramento dos domicílios interditados	Realizar vistorias nos domicílios interditados para observar a situação do risco identificado e se voltaram a serem ocupados; realizar vistorias para detectar focos de vetores de doenças.	Manter a segurança dos moradores que foram realocados e dos moradores vizinhos.
9	Isolamento efetivo das áreas interditadas	Realizar medidas de proteção (vistorias, cercamento, patrulhamento) para que os domicílios não sejam reocupados sem permissão e sem segurança, e para que as áreas que oferecem perigo (ex: escadarias) não sejam transitadas.	Manter a segurança dos moradores que foram realocados e dos moradores vizinhos; garantir que os domicílios interditados sejam guardados e protegidos pelo Poder Municipal.

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE
REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:
caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

Ident.	Medidas Propostas	Caracterização	Objetivos / Resultados Esperados
10	Realização de estudos técnicos nas áreas interditadas	Realizar/contratar estudos técnicos das mais diversas áreas do conhecimento (Geologia, Geografia, Arquitetura, e principalmente Engenharia Civil) para verificar a viabilidade de manutenção, reforma, dos domicílios e demais equipamentos interditados.	Verificar a viabilidade de recuperação das encostas, muros de arrimo, bem como da manutenção e reforma dos domicílios e demais equipamentos interditados.
11	Projeto de urbanização, arborização, paisagismo	Caso os estudos técnicos, é preciso verificar e afirmar a impossibilidade de medidas de recuperação e manutenção, e, consequentemente, afirmar a inviabilidade dos domicílios voltarem a serem ocupados. Logo, é necessário que haja a elaboração e efetivação de um projeto de urbanização, oferecendo um novo sentido e uso da área, preferencialmente e prioritariamente para ser desfrutada pelos moradores da comunidade.	Impedir a reocupação não permitida, a construção de novas habitações irregulares no local, e o abandono do lugar.

INDICADORES DE RISCO EM ESCALA DE DETALHE E PROPOSTAS DE MEDIDAS DE
REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRE:
caso da comunidade do Jacó, Natal/RN (2020)

Ident.	Medidas Propostas	Caracterização	Objetivos / Resultados Esperados
12	Vistorias nos domicílios cujo Risco foi classificado como médio	Realizar vistorias periodicamente, com mais frequência entre os meses de março e julho, nos domicílios que se enquadraram no nível médio de risco, de forma a observar a situação dos indicadores críticos indicados nesta pesquisa.	Evitar que o nível de risco evolua de médio para alto; acompanhar a situação de exposição e de vulnerabilidade social.
13	Desobstrução da tubulação de drenagem	Realizar periodicamente a desobstrução da única tubulação de drenagem existente na área “baixa” da comunidade (correspondente aos setores D e E), para onde convergem grande parte das águas pluviais da comunidade.	Evitar a ocorrência de alagamento.

Fonte: Sales e Almeida (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo concentrou-se na relevância da análise em escala de detalhe, ao sustentar a caracterização espacial e o domínio do uso de indicadores, para se chegar aos índices e às propostas de medidas de gestão. A adaptação metodológica é um aspecto a ser ressaltado e a ser considerado pelos estudos de riscos, visto que diferentes objetos de estudos requerem distintos procedimentos, indicadores, pesos para os cálculos, padrões estatísticos e, conseqüentemente, irão demandar diferentes sistematizações, representações e espacializações, resultando também em distintos produtos.

Destacam-se dois aspectos da pesquisa que podem ser considerados avanços metodológicos, por contribuírem enquanto ferramentas para a gestão pública, mais precisamente para a Gestão de Riscos de Desastres – GRD, são eles: a adaptação do uso dos índices (InEX, InV e InRISCO) ao considerar a situação de interdição e ocupação dos domicílios, sendo coerente com o objeto de estudo, podendo ser aprimorada e adaptada para outros objetos; e a organização dos resultados a nível de sub-setores, o que possibilitou ter a atenção voltada para as características de cada um (o que é mais complexo de se dar conta quando se propõe a discutir a área em sua

totalidade, podendo deixar de contemplar alguns detalhes que seriam relevantes às análises).

Um dos pontos pelos quais a pesquisa se destaca positivamente é que a sua proposta amplia os horizontes das abordagens de risco para o campo da gestão territorial e das políticas públicas, tomando como cerne o pilar da Gestão de Riscos de Desastres, não restringindo a metodologia proposta à caracterização e classificação de uma área de risco.

Apesar de ter contemplado diversos indicadores físicos e sociais, é importante destacar ainda que outros indicadores (tão relevantes quanto) não foram contemplados por não estarem no domínio da ciência geográfica, e sim de outros campos como o da Arquitetura e Engenharia Civil. Isso aponta para a necessidade de outros pesquisadores continuarem adaptando e agregando a metodologia proposta, construindo mais contributos aos estudos de riscos de desastres.

Por fim, acredita-se estar contribuindo com os estudos de riscos e com a importância em se adaptar procedimentos metodológicos. Reafirma-se que a sistematização de uma metodologia de mapeamento que integra aspectos físicos de exposição e sociais de vulnerabilidade ao risco, e que elabora produtos modelos para que as tomadas de decisões possibilitem a redução do risco de movimentos de massa, constituem contributos necessários à gestão pública.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. Q. *et al.* DRIB Index 2020: validating and enhancing disaster risk indicators in Brazil. **International Journal Of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 42, p. 1-23, jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221242091931074X>.

Acesso em: 13 out. 2020.

BIRKMANN, J. **Measuring vulnerability to natural hazards:** towards disaster resilient societies. Paris: UNU, 2006.

BIRKMANN, J. **Measuring vulnerability to natural hazards:** towards disaster resilient societies. 2. ed. Paris: UNU, 2013.

BIRKMANN, J. T.; WELLE D.; KRAUSE; J.; WOLFERTZ, D.C.; SUAREZ, J.; SETIADI. WorldRiskIndex: Concept and Results. *In*: ALLIANCE DEVELOPMENT WORKS (ed.). **WorldRiskReport 2011**. Berlin: [s.n.], 2011. p. 13-42.

FRANÇA, V. V. D. **Análise da exposição a movimento de massa com uso de ARP – Aeronave Remotamente Pilotada na comunidade São José do Jacó, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil**. 2018. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/34668>. Acesso em: 10 set. 2024.

GUERRA, A. J. T. *et al.* Criação de um sistema de previsão e alerta de riscos a deslizamentos e enchentes, visando minimizar os impactos sócio-ambientais no bairro Quitandinha, bacia do Rio Piabanha, afluente do Paraíba do Sul, município de Petrópolis, RJ. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SERVIÇOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE, 2., 2009, Taubaté, SP. **Anais [...]**. Taubaté, SP: IPABHI, 2009. p. 785-824.

INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND HUMAN SECURITY.

The world risk report 2014. Bonn: UNUEHS, 2014.

LÉLIS, R. L. S. **Bom dia, Jacó:** plano urbanístico de ideias para e com a Comunidade do Jacó, no bairro das Rocas, em Natal/RN. 2018. 395 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/36775>. Acesso em: 10 set. 2024.

MORETTI, R. S.; CANIL, K.; CARVALHO, C. S. **A abordagem de qualificação de segurança como contraponto ao enquadramento de riscos.** 2019. Disponível em: <https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/-utilizacao-do-risco-como-argumento-para-remocoesgeneralizadas/>. Acesso em: 4 mar. 2020.

OLIVEIRA, F. L. S. **Indicadores de Vulnerabilidade e Risco Local:** o caso do município de Pacoti, CE. 2018. 227 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=82180>. Acesso em: 10 set. 2024.

SALES, C. B. **Risco de movimentos de massa na Comunidade São José do Jacó, Município de Natal - RN / Brasil:** da ocupação espacial à gestão de riscos de desastres. 2020. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/29957>. Acesso em: 10 set. 2024.

SALES, C. B.; ALMEIDA, L. Q. **Mapeamento de risco de movimentos de massa em escala de detalhe:** conceitos, metodologia e aplicabilidade. Mossoró: EDUERN, 2020.

SEMDES. Secretaria Municipal de Segurança Pública e Defesa Social de Natal. **Plano de Contingência:** para enfrentamento de riscos e desastres, Natal/RN - 2019/2020. Natal, 2019, 145p.

TAVARES, A. Gestão do Risco: a importância da escala local. *In:* FERNANDES, J.; CUNHA, L.; CHAMUSCA, P. (org.). **1st International Meeting Geography & Politics, Policies and Planning.** Porto: FLUP/CEGOT, 2013. p. 628-642.

VIEIRA, E. F. C. **O bloco-diagrama na representação do relevo no 1 ano do ensino médio:** uma análise a partir dos recursos cartográficos presentes em livros didáticos de geografia. 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-8TPFWU>. Acesso em: 5 maio 2023.

VINCHON, C. *et al.* **Assessing vulnerability to natural hazards in Europe, MOVE: from principles to practice** a manual on concept, methodology and tools. Bonn: Report of the move, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334549018_Assessing_Vulnerability_to_Natural_Hazards_in_Europe_From_Principles_to_Practice_A_Manual_on_Concept_Methodology_and_Tools_MOVE_Project. Acesso em: out. 2020.

5

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

Dennis Rodrigues da Silva

Marcos Barreto de Mendonça

INTRODUÇÃO

O movimento de massa é uma das mais frequentes ameaças às quais os desastres socioambientais no Brasil estão relacionados, sendo mais presente nas costas litorâneas do país e nas regiões interioranas, principalmente, da região sudeste (CEPED/UFSC, 2013; Lacerda, 2004). Segundo os

dados organizados por Brasil (2022) de 1991 até 2021 foram registrados oficialmente 615 óbitos, 2.116 feridos, 114.514 desabrigados e 253 desaparecidos, valores elevados, mesmo sabendo que são subestimados em relação a realidade).

Segundo UNDRR (2022), risco é definido como a perda potencial de vidas, ferimentos ou bens destruídos ou danificados que poderiam ocorrer a um sistema, sociedade ou comunidade em um período específico, determinado probabilisticamente em função do perigo, exposição e vulnerabilidade. O perigo é um processo, fenômeno ou atividade humana que pode causar perda de vidas, lesões ou outros impactos à saúde, danos à propriedade, perturbações sociais e econômicas ou degradação ambiental, sendo caracterizado por sua localização, intensidade ou magnitude, frequência e probabilidade. A exposição é a situação de pessoas, infraestrutura, moradia, produção, capacidades e outros ativos humanos tangíveis localizados em áreas propensas a eventos adversos, podendo ser medida pelo número de pessoas, casas ou outros ativos humanos. A vulnerabilidade, por sua vez, é definida como as características e circunstâncias de diferentes aspectos de uma pessoa ou comunidade que a tornam suscetível aos efeitos prejudiciais de um perigo, independentemente do nível de exposição. Conforme observado em diferentes pesquisas, a vulnerabilidade pode ser categorizada em diferentes

dimensões: física, econômica, social, política, tecnológica, ideológica, cultural, educacional, ecológica, institucional, psicológica, demográfica e histórica (Wilches-Chaux, 1993; Diaz-Sarachaga; Jato-Espino, 2020).

Os desastres associados a movimentos de massa no Brasil revelam uma forma de organização social que é propícia à desigualdade e disputas de terra, resultando na ocupação rápida e desorganizada de áreas propensas a eventos adversos por populações mais pobres (Da-Silva-Rosa *et al.*, 2015). Esses tipos de desastres são ainda mais graves, pois além de ocuparem áreas altamente suscetíveis à movimentação de massa, quase toda a população exposta é também socioeconomicamente mais vulnerável, devido à sua situação socioeconômica e aos padrões de construção de baixa qualidade de suas casas (Turner *et al.*, 1990; Smyth; Royle, 2000; Alcântara-Ayala *et al.*, 2015). Muitos autores (Fekete, 2012; Birkmann, 2006) atestam que as desigualdades socioespaciais e precariedades da população (acesso à saneamento, à baixa escolaridade, à baixa renda) contribuem para determinar os graus de risco, constituindo-se em condicionantes da vulnerabilidade frente às ameaças. Algumas pesquisas no Brasil também mostram que existe essa relação entre desigualdades sociais e a magnitude dos desastres socioambientais, mostrando que as condições vulneráveis da população agravam ou, até mesmo,

criam o desastre (Almeida, 2011, Anazawa, 2012; Gamba; Ribeiro, 2012).

Portanto, para gerenciar os riscos associados a movimentos de massa é preciso ter consciência de que eles resultam de uma combinação de processos físicos - movimentos de massa, neste caso - e processos sociais que expõem e vulnerabilizam certos setores da sociedade aos efeitos desses processos.

A abordagem do problema limitada a avaliação dos processos físicos explica os esforços mal direcionados para aumentar a resiliência, concentrando-se somente na redução do perigo e na remediação das áreas afetadas, desconsiderando as múltiplas dimensões da vulnerabilidade da comunidade que estão na raiz da geração do risco. No Brasil, o aumento da frequência, magnitude e da extensão territorial afetada pelos desastres associados a movimentos de massa, a despeito da concentração de investimentos em obras de engenharia, indica que para a redução de riscos de desastres faz-se necessário não apenas as ações estruturais, mas também ações não-estruturais para a redução de vulnerabilidades. Essa visão é corroborada e institucionalizada pelo Marco de Sendai (ONU, 2015), que no seu preâmbulo diz que para evitar novos riscos de desastres é necessário combater as consequências das desigualdades e pobreza, urbanização rápida e não planejada e gestão inadequada das terras. Com efeito, alguns autores

(Adger, 2006, Almeida *et al.*, 2016; Fekete, 2012), ressaltam que o conhecimento da vulnerabilidade é necessário para um melhor entendimento dos riscos e, conseqüentemente, para a melhoria da formulação de políticas públicas de gestão de riscos. A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2012) também destaca o mapeamento como um dos instrumentos para melhor gestão de riscos a desastres.

O presente artigo visa contribuir com a gestão de riscos a desastres ao propor um método de combinação de dados de perigo, exposição e vulnerabilidade - essas duas a partir de dados censitários - para a elaboração de mapeamento de risco associado a movimentos de massa, tendo como estudo de caso a área central do município de Angra dos Reis, estado do Rio de Janeiro.

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS DE MASSA NO BRASIL

Existe uma diferença clara entre os mapas de perigo e de risco. Segundo o clássico trabalho de Fell *et al.* (2008), o *landslide hazard map* (em tradução livre mapa de ameaça a deslizamentos) apresenta, a partir de uma análise qualitativa ou quantitativa, a distribuição espacial das probabilidades da ocorrência de deslizamentos em uma área de estudo, podendo estar separados por tipos e por volumes envolvidos.

Ainda segundo esses autores, o *landslide risk map* apresenta os resultados da associação do mapa de perigo com os danos potenciais nas respectivas áreas. A vulnerabilidade, nesse caso, é geralmente avaliada empiricamente para o potencial de perdas de vida e propriedade, podendo ter um índice que varia de 0 a 1, sendo que os autores reconhecem ainda não dispor de métodos mais avançados disponíveis.

Os mapeamentos de risco no Brasil são relativamente recentes, ganhando impulso a partir da década 1990 (Cerri *et al.*, 1995). Até pouco tempo era comum encontrar, no Brasil, mapeamentos de suscetibilidade ou de perigo sendo equivocadamente chamados de mapeamentos de riscos, por não contemplar as componentes de exposição e, menos ainda, de vulnerabilidade. Quanto ao componente vulnerabilidade, quando mencionado, referia-se somente ao padrão construtivo das moradias (Brasil, 2007).

Recentemente vem sendo desenvolvido para determinados municípios brasileiros um levantamento de vulnerabilidades de comunidades para fins de elaboração de mapas de risco associado a um movimento de massa (MDR, 2019). As metodologias adotadas para os levantamentos de vulnerabilidade variam muito de município para município pelo fato de terem sido realizados por diferentes autores. Os levantamentos da vulnerabilidade foram feitos a partir do preenchimento

de formulários junto às comunidades ou a partir de dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ou combinando as duas formas. É importante destacar que o uso dos levantamentos baseados em dados do censo demográficos apresenta uma limitação, pois a unidade de divulgação de dados no Brasil é o setor censitário (IBGE, 2010), uma feição espacial que não coincide necessariamente com as zonas que constituem os mapas de suscetibilidade ou perigo, dificultando a combinação das três componentes de risco (perigo, exposição e vulnerabilidade).

O aproveitamento de dados censitários para apuração da vulnerabilidade, como escolaridade, idade, renda, é extremamente profícua, pois, além dessas variáveis revelarem dimensões de vulnerabilidade das comunidades expostas (Lavell, 2002; Cutter, 2003; Almeida, 2011), as quais fazem parte de uma base de dados confiável e já existente e. A periodicidade do levantamento dos dados censitários permite ainda uma análise temporal da vulnerabilidade.

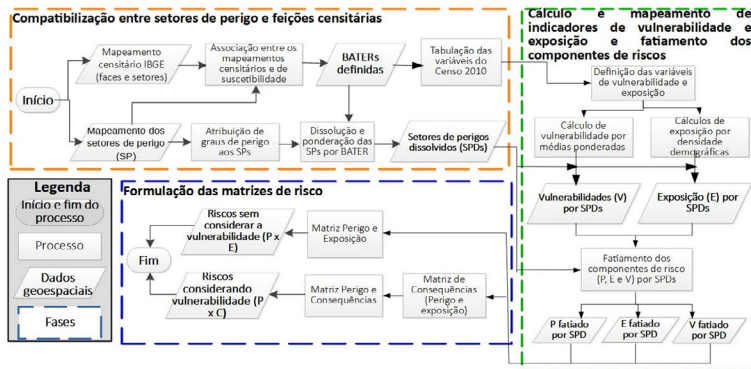
A partir do censo 2010 uma nova unidade de coleta de dados censitários foi criada pelo IBGE, possibilitando um maior detalhamento das variáveis estatísticas coletadas, a face de quadra, correspondendo ao conjunto de domicílios e estabelecimentos existentes em cada lado de um quarteirão (IBGE, 2014a). Alguns trabalhos já foram realizados contando

com essa inovação nos dados censitários (IBGE, 2023; Assis *et al.*, 2018; Mendonça; Silva, 2020).

MÉTODO DE COMBINAÇÃO ENTRE PERIGO, EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE PARA A ESTIMATIVA DO RISCO

O método para a construção dos mapas de risco associados a movimentos de massa se estruturou em três grandes fases detalhadas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma dos métodos, materiais e dados produzidos.



Fonte: Autoria própria.

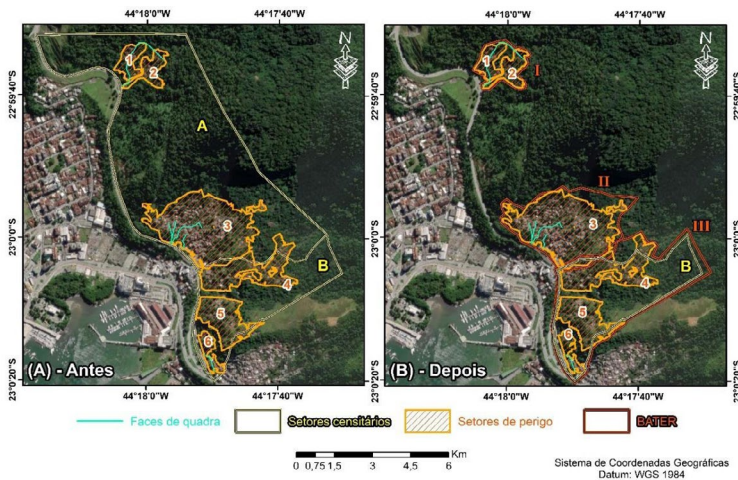
Compatibilização entre setores de perigo e feições censitárias – Criação de BATERS.

Para a associação entre setores de perigo e feições censitárias foram obtidos dados do mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa previamente elaborado (Netto *et al.*, 2014) e do mapeamento censitário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) para a área de estudo. O mapa de perigo foi elaborado considerando as relações entre a hidrogeomorfologia, aspectos geológicos-geotécnicos, vegetação e uso do solo que permitiram avaliar os potenciais processos de movimento de massa e o seu respectivo grau de probabilidade (baixo, médio, alto ou muito alto). Entendendo que não há risco sem exposição, ou seja, sem comunidades e infraestruturas, foi feita uma edição no mapa de perigo limitando-se apenas à área habitada (196,53 hectares).

Não há correspondência espacial direta entre dados os dados censitários e os setores de perigo, conforme o exemplo ilustrado na Figura. 2-A, onde constam o setor censitário A, envolvendo os setores de perigo (SPs) 1, 2 e 3, e o setor censitário B, contendo os SPs 4, 5 e 6. Se a associação dos dados fosse feita utilizando apenas os setores censitários, poder-se-ia incorrer em um erro ao uniformizar características sociodemográficas dos setores, sendo mais conveniente o uso das faces de quadra. Foi utilizada a metodologia descrita por

IBGE (2014b) e Assis *et al.* (2018), através da qual é criada uma base territorial para associar as geometrias: a Base Territorial Estatística de Risco (BATER). A Figura 2-B apresenta essa compatibilização.

Figura 2 - Exemplo de criação de BATER na área de estudo:
A- feições censitárias e setores de perigo; B- polígonos
de BATER para o caso apresentado na figura A.



Fonte: Autoria própria.

Os SPs 1 e 2 foram agrupados em um único polígono da BATER para terem as estatísticas das faces de quadra que fazem parte desses dois SPs. Já o SP 3 está em um outro polígono da BATER que vai assumir as estatísticas das faces de quadras contidas nele. Assim, evita-se uma generalização

dos dados para situações sociodemográficas diferentes (Martin; Pavlovskaya, 2010). As faces de quadra, por serem desagregações dos dados do setor censitário que as contém, possibilitam uma melhor compatibilização entre os mapas de perigo e dados censitários. Com a criação das BATERs, criou-se uma tabela de correspondência entre cada BATER e as feições censitárias que a constitui, permitindo a tabulação das variáveis do Censo 2010.

Composição dos indicadores das componentes de risco

Perigo

Como uma BATER pode conter mais de um SP, os SPs são ponderados no polígono da BATER, formando o que se denominou de setor de perigo ponderado (SPP), tornando-se as novas unidades espaciais do mapeamento das componentes de risco. Para cada SPP são geradas as estatísticas utilizadas para os cálculos das componentes de exposição e vulnerabilidade. A ponderação dos n SPs que formam cada SPP se dá por média espacial móvel dos graus de perigo dos SPs (Eq 1), aplicada no ambiente SIG ArcGIS 10.2. O valor numérico do grau de perigo de um SP é baseado no mapa de perigo antes da diluição, sendo atribuído os valores de 0,25, 0,50, 0,75 e 1,0 para os graus baixo, médio, alto e muito alto, respectivamente.

$$\text{Grau de perigo do SPP} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Área do SPi}}{\text{Soma das áreas de SPi na BATER}} * \text{Grau de}$$

(Eq 1)

Onde

n: quantidade de setores de perigo que constitui um SPP.

Exposição

A exposição foi caracterizada pela densidade demográfica, conforme Eq. 2.

$$\text{Densidade Demográfica por SPP} = \frac{\text{Total de moradores por SPP}}{\text{Área do SPP}}$$

(Eq 2)

Vulnerabilidade

A vulnerabilidade foi definida em três dimensões denominadas de física, econômica e social, seguindo as tipologias apresentadas por Wilches-Chaux (1993). Dos dados do universo do censo 2010 foram escolhidas 47 variáveis, que foram agrupadas nos seguintes temas, aqui tratados como grupo de variáveis: eletricidade, água, esgotamento sanitário, coleta de lixo, analfabetismo, razão de dependência, tipo de moradia, propriedade da moradia e renda. Dentro de cada

grupo, as variáveis receberam notas, variando de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 maior a sua contribuição para vulnerabilidade. A estipulação das notas de cada variável baseou-se em julgamentos dos autores do presente trabalho a partir de discussões apresentadas por Cutter (2003), Bollin e Hidajat (2006) e Almeida (2011) acerca da influência de diferentes variáveis no aumento da vulnerabilidade das populações expostas. A Tabela 1 do anexo mostra os grupos de variáveis utilizadas, as dimensões nas quais esses grupos estão enquadrados e as respectivas justificativas para sua consideração.

Com exceção dos grupos de analfabetismo e razão de dependência, as variáveis são expressas em quantidade de domicílios ou moradores. Foram usadas três equações para se chegar ao valor de vulnerabilidade de um SPP. Primeiramente é calculado o valor de vulnerabilidade referente a cada grupo de variáveis, em seguida, o valor de vulnerabilidade para cada dimensão por média aritmética dos grupos a compõem, e, por fim, o valor da vulnerabilidade do SPP por média aritmética das três dimensões, conforme as equações 3, 4 e 5.

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS
DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE
VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

$$Vulnerabilidade\ do\ Grupo\ de\ Variáveis = \frac{\sum_{i=1}^j \text{Valor da variável do Censo 2010 no SPP} \cdot \text{nota}}{\text{Soma dos domicílios ou dos moradores existentes na SP}}$$

(Eq. 3)

$$Vulnerabilidade\ da\ Dimensão = \frac{\sum_{i=1}^m \text{Valor da vulnerabilidade do grupo de variáveis}}{\sum_{i=1}^n \text{grupos de variáveis}}$$

(Eq 4)

$$Vulnerabilidade = \frac{\sum_{i=1}^p \text{Valor da vulnerabilidade da dimensão}}{\text{número de dimensões}}$$

(Eq 5)

Onde

j: quantidade de variáveis

m: quantidade de grupos de variáveis

p: quantidade de dimensões

Construção das matrizes dos componentes de risco

Seguindo um dos métodos de análise de risco proposto pela ISO 31.000 (ISO, 2009) e usado por alguns autores (Cascini, 2014), foram construídas duas matrizes para se chegar ao indicador final de risco. A primeira cruza os dados de exposição e vulnerabilidade, criando valores de consequência e

a segunda cruza os valores de consequência com os valores de perigo. A construção das matrizes é feita em duas fases: fatiamento dos valores dos componentes de riscos e aplicação das matrizes riscos que combinam os componentes.

O fatiamento das componentes de risco é necessário para transformar seus valores quantitativos em classes qualitativas que possam ser usadas nas matrizes de risco. O componente perigo foi fatiado por intervalos, conforme proposto por Netto *et al.* (2014) no mapa de perigo no qual se baseou o presente trabalho (Tabela 2 do anexo). O componente exposição foi fatiado pelo método *natural breaks*, pois percebeu-se no histograma de distribuição deste componente três grupos nos quais estão concentradas a distribuição da população na área de estudo, e em seguida normalizado em uma escala de 0 a 1 (Tabela 3 do anexo). O componente vulnerabilidade foi feito por intervalos determinados pelos autores, conforme observado em outros trabalhos, como Bollin e Hidajat (2006) – Tabela 4 do anexo. As matrizes de consequência e de risco estão apresentadas nos quadros 1 e 2 do anexo. Foi elaborada também uma matriz que combina somente esses dois componentes (quadro 3 do anexo) para fins de comparação com o método proposto no presente trabalho. A classificação resultante de cada cruzamento entre os componentes de risco nas matrizes foi feita de forma heurística.

ÁREA DE ESTUDO

A área estudada no presente trabalho é a região central do município de Angra dos Reis, localizada na região sul do estado do Rio de Janeiro (Figura 3). A área é caracterizada por ser situada entre as poucas planícies da cidade e as escarpas a montante. A área foi contemplada com um mapeamento de perigo a movimentos de massa, sendo delimitada pela cota de 10 metros à jusante e a linha de cumeada à montante (Netto et al., 2014), tendo sido finalizado em 2012. A extensão da área é de 646,2 ha, com a porção povoada de 196,53 ha, com população de 29.899 pessoas (IBGE, 2010). O município tem aspectos físicos naturais e antropogênicos que contribuem para a suscetibilidade das encostas a movimentos de massa. O clima é o tropical úmido, registrando médias pluviométricas anuais de 1.886 mm, sendo o período de verão (dezembro a março) o de maior pluviosidade e de maior frequência de chuvas.

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS
DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE
VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

Figura 3 - Delimitação e localização da área de estudo



Fonte: Autoria própria.

O município é marcado por um histórico de rápido crescimento populacional, pelo desenvolvimento desigual, e escassez de áreas planas apropriadas a ocupação, resultando numa expansão para áreas de encostas suscetíveis a movimentos de massa, principalmente pela parcela da população socioeconomicamente mais vulnerável. O IBGE (2018) mostrou que

existem 66 mil moradores em áreas de risco, trabalhadas no estudo, em toda extensão do município.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapas de perigo, exposição, vulnerabilidade

A Figura 1 do anexo mostra a espacialização dos componentes perigo (Figura 1-A do anexo), exposição (Figura 1-B do anexo) e vulnerabilidade (Figura 1-C do anexo), e a Tabela 1 mostra os dados estatísticos dos SPPs relacionados em relação a cada componente de risco. Quanto ao componente perigo, é observado uma maior quantidade de SPPs com níveis alto (56 SPPs) e muito alto (12 SPPs), totalizando 68 SPPs nos quais estão 20.861 habitantes (72,2% da população total da área de estudo). É percebido um padrão espacial, em que áreas mais densas e mais à montante da área de estudo, evidenciando uma maior severidade dessas áreas, que se estendem por 147,22 hectares (74,9% da área de estudo) para ações em RRD, seja em mitigação, seja em resposta.

Interpretando os resultados de exposição com imagens aéreas disponíveis pelo software ArcGIS 10.2, fotografias dos locais da área de estudos visualizadas no Google Street View e observações realizadas diretamente em campo, verifica-se

que as áreas com maior grau de exposição são aquelas com padrão construtivo das casas e entorno inferior.

Para vulnerabilidade verifica-se, através de análise de fotografias e observações de campo, que os SPPs com maior vulnerabilidade (grau médio), em que mora 79% da população, apresentam o pior padrão construtivo, cujas formas das construções são mais irregulares, com laje aparente, sem telhas, apontando movimentos de autoconstrução e/ou urbanização espontânea. Não há grau nível alto para vulnerabilidade, pois as variáveis de dimensão física (eletricidade, esgotamento sanitário, água e lixo), apresentaram baixos valores de vulnerabilidade, o que atenuou os valores de vulnerabilidade.

Tabela 1: Resumos estatísticos dos componentes de riscos

Mapa/ Componente	Nível	No SPP	Área (ha)	% Área	População	% População
Perigo	Baixo	6	3,2	1,6	571	2
	Médio	37	46,11	23,5	7.467	25,8
	Alto	56	124,55	63,4	17.301	59,9
	Muito alto	12	22,67	11,5	3.560	12,3
	Total	111	196,53	100	28.889	100

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS
DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE
VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

Mapa/ Componente	Nível	No SPP	Área (ha)	% Área	População	% População
Exposição	Baixo	45	94,46	48,1	7.102	24,6
	Médio	44	73,82	37,6	13.999	48,4
	Alto	22	28,24	14,4	7.798	27
	Total	111	196,53	100	28.899	100
Vulnera- bilidade	Baixo	45	56,93	29	6.169	21
	Médio	66	139,6	71	22.730	79
	Alto	0	0	0	0	0
	Total	111	196,53	100	28.899	100

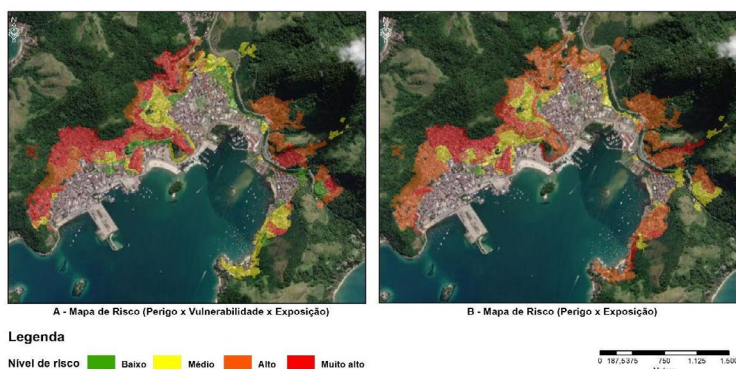
Fonte: Autoria própria.

Mapas de risco

Na Figura 4 são apresentados dois mapas de risco: um considerando como componentes perigo, exposição e vulnerabilidade (figura 4-A) e outro considerando somente perigo e exposição (figura 4-B), juntos com a tabela 2, que mostra as estatísticas relacionados aos dois mapas. Nota-se que a consideração da vulnerabilidade no mapa de riscos (figura 4-A) destaca mais as diferenças entre os SPPs no seguinte padrão espacial: SPPs à montante e mais adensados, que

tinham vulnerabilidade média, aumentam os seus níveis de risco, ocorrendo o contrário com as áreas à jusante, essas menos adensadas e separação de lotes em relação aos demais SPPs, que acabam tendo os seus níveis de riscos atenuados.

Figura 4 - Mapas de risco: Mapa de risco considerando perigo, exposição e vulnerabilidade (Figura 4-A), mapa que considera perigo e exposição (Figura 4-B).



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 2 observa-se que a quantidade dos SPPs nos níveis alto e muito alto no mapa da figura 4-B são maiores (74 SPPs) em relação ao mapa que considera o componente vulnerabilidade (Figura 4-A - 61 SPPs). Já os números de SPPs com níveis baixo e médio acabam sendo maiores no mapa da Figura 4-A (50 SPPs) em relação ao mapa da Figura 4-B (37 SPPs). Nota-se que a inclusão de vulnerabilidade dobrou

o número de moradores em SPPs com nível de risco muito alto: de 7.086 moradores (figura 4-B) para 14.412 moradores (figura 4-A).

Tabela 2: Resumo estatístico dos mapas da Figura 5

Risco (Perigo x Exposição x Vulnerabilidade)	Nível de risco	No SDP	Area (ha)	% Area	População	% População
	Baixo	22	22,44	11%	2.827	9,8%
	Médio	28	43,5	22%	4.142	14,3%
	Alto	30	63,29	32%	7.518	26,0%
	Muito alto	31	67,28	34%	14.412	49,9%
	Total	111	196,53	100	28.899	100
Risco (Perigo x Exposição)	Nível de risco	No SDP	Area (ha)	% Area	População	% População
	Baixo	5	2,99	1,5%	430	1,5%
	Médio	32	39,09	19,9%	5.546	19,2%
	Alto	51	119,05	60,6%	15.837	54,8%
	Muito alto	23	35,39	18%	7.086	24,5%
	Total	111	196,53	100	28.899	100

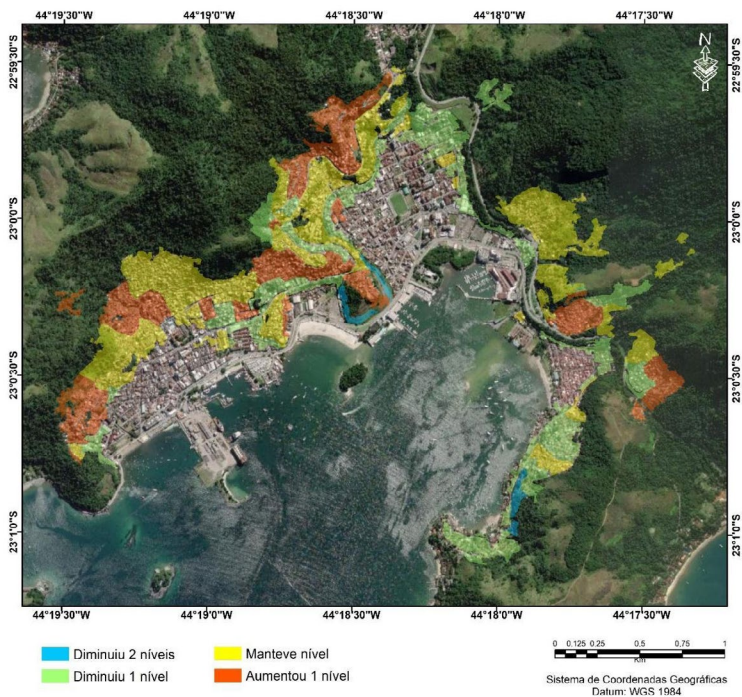
Fonte: Autoria própria.

A partir da comparação desses dois mapas, foi elaborado o mapa que representa o efeito da consideração do componente de vulnerabilidade na alteração do grau de risco de cada SPP em relação ao mapa que só considera as componentes de perigo e exposição (Figura 5). Observa-se que a maioria dos SPPs que tiveram seus graus de risco reduzidos em uma ou duas classes são aqueles que estão mais à jusante, logo os que têm melhor padrão construtivo das casas. A porção mais à montante, que já tinham grau de risco alto ou muito alto, mantiveram o grau de risco com a inclusão da vulnerabilidade ou aumentaram o grau de risco.

A Figura 5 mostra a distribuição dos SPPs nos quais houve alteração dos níveis, a figura 6 apresenta a quantidade de alterações dos graus de risco dos SPPs ao considerar a componente de vulnerabilidade. Observa-se que houve mais alterações (67 SPPs) nos graus do que sua manutenção (44 SPPs), ressaltando a influência da vulnerabilidade. Os 67 SPPs correspondem a 60% da quantidade de setores de risco, 43% da população e 58% do território da área de estudo. Verifica-se, ainda, que a consideração da vulnerabilidade fez aumentar em cerca de 6 mil o número de habitantes da área de estudo que estão em grau de risco alto e muito alto em relação ao método que não a considera, equivalendo a um aumento de 21%.

Essas constatações corroboram com o que é observado e ressaltado por determinados pesquisadores sobre a necessidade de se levar em consideração a vulnerabilidade na estimativa dos riscos (Almeida, 2011; Wisner *et al.*, 2004; Glade, 2003; Birkmann, 2006, Gamba; Ribeiro, 2012).

Figura 5 – Mapa de alterações de grau de risco associado a movimentos de massa devido a consideração da componente de vulnerabilidade na estimativa do risco.



Fonte: Autoria própria.

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS
DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE
VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

Figura 6 - Quantidades de setores com alteração do grau de risco devido a inclusão da componente de vulnerabilidade.

		Níveis de risco com vulnerabilidade (P x E x V)											
		Baixo			Médio			Alto			Muito alto		
		Qtde SPP	Área (Ha)	População	Qtde SPP	Área (Ha)	População	Qtde SPP	Área (Ha)	População	Qtde SPP	Área (Ha)	População
Níveis de risco sem vulnerabilidade (H x E)	Baixo	3	1,99	224	2	1	206	0	0	0	0	0	0
	Médio	19	20,45	2.603	5	8,84	966	8	9,80	1.977	0	0	0
	Alto	0	0	0	18	29,81	2.798	16	46,65	4.841	17	42,59	8.198
	Muito alto	0	0	0	3	3,85	172	6	6,85	700	14	24,70	6.214
	Total	22	22,44	2.827	28	43,51	4.142	30	63,30	7.518	31	67,28	14.412
Total por quantidades de níveis alterados		Diminuiu 2 níveis			Diminuiu 1 nível			Manteve nível			Aumentou 1 nível		
		Qtde SPP	Área (Ha)	População	Qtde SPP	Área (Ha)	População	Qtde SPP	Área (Ha)	População	Qtde SPP	Área (Ha)	População
		3	3,85	172	43	57,11	6.101	38	82,17	12.245	27	53,38	10.381
		Quantidade de SPP alteradas = 73 (66%)											
		Área de SPP alterada = 114,35 Ha (58%)											
		População de SPP alterada = 16.654 (58%)											

Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A consideração do conceito de vulnerabilidade na gestão de riscos é ainda um grande desafio. Se ainda não existe um consenso para a estimativa do perigo, essa dificuldade é muito maior no caso da vulnerabilidade, seja pela dificuldade de se trabalhar com esse conceito, seja pela disponibilidade de métodos e dados para operacionalizar a aplicação do conceito. A sociedade precisa avançar urgentemente com estudos nessa linha, posto que os processos de vulnerabilização da população têm sido responsáveis por uma distribuição desigual dos impactos dos desastres para um mesmo grau de perigo, evidenciando o quanto que a consideração da componente de vulnerabilidade possibilita uma gestão de riscos mais eficiente.

O presente trabalho procurou contribuir com a proposta de um método de estimativa do risco considerando a vulnerabilidade da população exposta utilizando dados censitários, que apresentam a vantagem de serem dados existentes e comumente obtidos em trabalhos de censo. Entretanto, existe uma limitação neste trabalho por ainda não apresentar alguns dados importantes que devem ser contabilizados na estimativa da vulnerabilidade como, por exemplo, a existência e qualidade de instituição atuante no território, abrigos emergenciais, sistemas de monitoramento e alerta, ações específicas de educação para redução de riscos no local analisado. Deve-se destacar também que, devido à pandemia da covid 19 e por problemas de condução do levantamento censitário, não foi possível considerar dados mais recentes e a atualização dos resultados.

Observou-se que a consideração da vulnerabilidade na estimativa do risco, mesmo não tendo uma grande variação espacial na área de estudo, provocou uma mudança significativa na distribuição espacial do grau de risco comparada aos resultados do método que só considera as componentes de perigo e exposição, promovendo alterações em 60% dos graus dos setores de risco, nos quais vivem 21% da população. Deve-se destacar também que a possibilidade de se conhecer as vulnerabilidades das comunidades expostas auxiliam a

compreender melhor o risco e planejar ações de gestão com uma visão mais holística sobre o tema, portanto, mais eficiente.

Em função do que foi observado, percebe-se um potencial muito grande de uma íntima interação entre o órgão de levantamento censitário e o de gestão de risco para uma efetiva redução de desastres associados a deslizamentos, não só pela disponibilização de dados mais detalhados espacialmente, mas também pela inclusão pelo Censo do levantamento de dados adicionais que expressem de forma mais completa as diversas dimensões de vulnerabilidade da população exposta às ameaças dos deslizamentos.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378006000422?via%3Dihub>. Acesso em: 10 set. 2024.

ALCÂNTARA-AYALA, I. *et al.* Disaster risks research and assessment to promote risk reduction and management. In: ISMAIL-ZADEH, A.; CUTTER, S (ed.). **Disaster Risks Research and Assessment to Promote Risk Reduction and Management**. Paris: [s.n.], 2015. Disponível em: http://www.icsu.org/science-for-policy/disaster-risk/documents/DRRsynthesisPaper_2015.pdf. Acesso em: 10 out. 2017.

ALMEIDA, L. Q. Por Uma Ciência dos riscos e vulnerabilidades na geografia. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 23, p. 83-99, nov. 2011. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/559>. Acesso em: 10 set. 2024.

ALMEIDA, L. Q. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos**: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho. Região metropolitana de Fortaleza, Ceará. 2010. 278 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2010.

ALMEIDA, L. Q.; 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. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420916300644?via%3Dihub>. Acesso em: 10 set. 2024.

ANAZAWA, T. M. **Vulnerabilidade e território no litoral norte de São Paulo**: indicadores, perfis de ativos e trajetórias. 2012. 190 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/INPE_c27c3bf1a-730a8896d9e09d95d55ba0e. Acesso em: 10 set. 2024.

ASSIS DIAS, M. C. *et al.* Estimation of Exposed Population to Landslides and Floods Risk Areas in Brazil, on Intra-urban Scale. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 31, p. 449-459, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420918300359?via%3Dihub>. Acesso em: 10 set. 2024.

BIRKMANN, J. Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: conceptual frameworks and definitions. *In*: BIRKMANN, J. (org.). **Measuring Vulnerability to Natural Hazards**: Towards Disaster Resilient Societies. Tóquio; Nova York; Paris: UNU-Press. 2006. Cap. 1. p. 9-54.

BOLLIN, C.; HIDAJAT, R. Community-based disaster risk index: pilot implementation in Indonesia. *In*: BIRKMANN, J. (org.). **Measuring Vulnerability to Natural Hazards**: Towards Disaster Resilient Societies. Tóquio; Nova York; Paris: UNU-Press, 2006. Cap. 14. p. 271-289.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012.** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso em: 4 mar. 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios.** Brasília, DF: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Projeto Mapeamento.** Disponível em: <https://www.mdr.gov.br/protecao-e-defesa-civil/projeto-mapeamento>. 2019. Acesso em: 15 maio 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil.** Brasília, DF: MDR, 2022.

CASCINI, L. Landslide risk management: from theory to practice. In: LACERDA, W. A. *et al.* **Extreme rainfall induced landslides – an international perspective.** São Paulo: Oficina de Textos. 2014. p. 207-238.

CEPED/UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres/Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**. 2. ed. Florianópolis: Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres Universidade de Santa Catarina, 2013. 121p.

CERRI, L. E. S.; SILVA, V. C. R.; AUGUSTO FILHO, O. Considerações sobre a representação cartográfica de riscos geológicos. **Rev. IG**, São Paulo, v. 16, n. 1, 1995. Disponível em: <https://revis-taig.emnuvens.com.br/rig/article/view/612>. Acesso em: 20 jan. 2017.

CHETRY, M. Crescimento demográfico e espacial de uma cidade média: Angra dos Reis. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, Rio de Janeiro, n. 14/15, p. 23–34, 2020. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/cdf/article/view/47674>. Acesso em: 10 set. 2024.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social Vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quaterly**, [s. l.], v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1540-6237.8402002>. Acesso em: 10 set. 2024.

DA-SILVA-ROSA, T. *et al.* Environmental Education as a Strategy for Reduction of Socio-Environmental Risks. **Revista Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 209-228, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/KQWGSxZPbn8qSfwb9r6NzsR/?lang=pt#>. Acesso em: 10 set. 2024.

DIAZ-SARACHAGA, J. M.; JATO-ESPINO, D. Analysis of vulnerability assessment frameworks and methodologies in urban áreas. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 100, p. 437-457, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-019-03805-y>. Acesso em: 10 set. 2024.

FEKETE, A. Spatial disaster vulnerability and risk assessments: challenges in their quality and acceptance. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 61, p. 1.161-1.178, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-011-9973-7>. Acesso em: 10 set. 2024.

FELL, R. *et al.* Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, [s. l.], v. 102, n. 3-4, p. 99-111, dez. 2008. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/publication/70032780>. Acesso em: 10 set. 2024.

GAMBA, C; RIBEIRO, W. C. Indicador e avaliação da vulnerabilidade socioambiental no município de São Paulo. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 31, p. 19-31, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base territorial**: manual da base territorial 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2014a. 157p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 1 ago. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População em áreas de risco no Brasil – 2010**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/21538-populacao-em-areas-de-risco-no-brasil.html>. Acesso em: 15 maio 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Vulnerabilidade a ameaças naturais na região serrana do Rio de Janeiro no contexto do sistema e monitoramento e alerta**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014b, 50p. (não publicado)

ISO – International Standard Organization. **ISO 31000:2009(E) - Risk management: principles and guidelines**. Genebra: ISO, 2009.

LACERDA, W. A. The behavior of colluvial slopes in a tropical environment. *In*: LACERDA, W. A. **Landslides - Advances in Evaluation and Stabilization**. Leiden, Holanda: Balkema, 2004. v. 2. p. 1.315-1.342.

LAVELL, A. **Desastres y desarrollo**: hacia un entendimiento de las formas de construcción social de un desastre - el caso de mitch en centroamérica. 2002. Disponível em: https://www.desenredando.org/public/articulos/2000/dyd/DyD2000_mar-1-2002.pdf. Acesso em: 23 jun. 2019.

MARTIN, K. S. T.; PAVLOVSKAYA, M. Secondary Data. *In*: GOMEZ, B.; JONES, J. P. **Research Methods in Geography**. London: Willey-Blackwell, 2010. p. 173-193.

MENDONÇA, M. B.; SILVA, D. R. Integration of census data based vulnerability in landslide risk map – The case of Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 50, p. 1-15, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420920313868?via%3Dihub>. Acesso em: 11 set. 2024.

NETTO, A. L. C. *et al.* Landslide susceptibility and risk zoning at Angra dos Reis, Rio de Janeiro State, Southeast Brazil: a quali-quantitative approach at 1:5000 scale. *In*: LACERDA, W. A. *et al.* **Extreme rainfall induced landslides – an international perspective**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. p. 262-296.

ONU. Organizações das Nações Unidas. **Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030**. Genebra: UNISDR, 2015.

SMYTH, C. G.; ROYLE, S. A. Urban landslide hazards: incidence and causative factors in Niterói, Rio de Janeiro State, Brazil.

Applied Geography, [s. l.], v. 20, p. 95-118, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622800000047?via%3Dihub>. Acesso em: 5 abr. 2020.

TURNER, R. K.; KELLY, P. M.; KAY, R. C. **Cities at Risk**. London: BNA International, 1990.

UNDRR. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Terminology. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology>. Acesso em: 21 dez. 2022.

WILCHES-CHAUX, G. La vulnerabilidade global. In: MASKREY, A. (comp.). **Los desastres non son naturales**. Cidade do Panamá: La Red, 1993. p 11-45.

WISNER, B. *et al.* **At Risk – Natural hazards, people's vulnerability and disasters**. 2. ed. London: Routledge, 2004.

ANEXOS

Tabela 1 do anexo: Dimensões de vulnerabilidade, grupos de variáveis e suas respectivas justificativas (adaptado de Almeida, 2010)

Dimensão de Vulnerabilidade	Grupo de Variáveis	Justificativa para a considerações das variáveis
Física	Tipo de abastecimento de eletricidade	Perda de sistemas de esgotos, pontes, água, comunicações, e infraestrutura de transporte, compõem o potencial de perdas por um desastre. A perda de infraestrutura pode estabelecer um peso financeiro intransponível sobre pequenas comunidades em que há carência de recursos financeiros para a reconstrução. Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2000) e Platt (1995). A ausência e precariedade dessas infraestruturas também podem potencializar os desastres –por exemplo, as condições de acesso a água potável às populações podem piorar nas situações de desastre e pós-desastre (Glade, 2003; Fekete, 2012) <i>Menos infraestrutura indica maior vulnerabilidade</i>
	Tipo de abastecimento de água	
	Tipo de esgotamento sanitário	
	Tipo de coleta de lixo	

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS
DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE
VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

Dimensão de Vulnerabilidade	Grupo de Variáveis	Justificativa para a considerações das variáveis
Social	Analfabetismo dos moradores	Pouca educação limita a habilidade de acessar e compreender informações sobre os RRD e avisos de advertência ou alarmes. (Heinz Center for Science, Economics, and the Environment, 2000). <i>Maior alfabetização indica menor vulnerabilidade.</i>
	Razão de dependência em relação a idade	Idades extremas dificultam ações de evacuação de áreas em situações de iminência de ocorrência de eventos perigosos. Os idosos têm a mobilidade comprometida e pais perdem tempo e dinheiro quando creches são afetadas. (Cutter, Mitchell e Scott, 2000, O'Brien e Mileti, 1992, Hewitt, 1997, e Ngo, 2001). <i>Idades dependentes (i<14 e i>60) contribuem para uma maior vulnerabilidade.</i>
	Tipo de moradia (casa, apartamento ou vila)	Para dispersão e evacuação de pessoas, a concentração de moradias é importante. <i>Maior coesão social indica menor vulnerabilidade</i>
Econômica	Tipo de propriedade da moradia (casa própria, alugada etc)	Normalmente, as pessoas alugam imóveis porque são residentes temporários ou não têm recursos financeiros para adquirir imóvel próprio e, frequentemente, carecem de acesso à informação sobre ajuda financeira durante a recuperação. Em casos mais extremos, os inquilinos possuem menores opções de abrigo em caso de seu domicílio ser atingido. (Heinz Center for Science, Economics, and the Environment, 2000 e Morrow, 1999). <i>Moradores de casas alugadas são mais vulneráveis.</i>
	Renda dos moradores	A maior riqueza financeira permite o indivíduo absorver e se recuperar melhor das perdas devido aos seus bens, seguro e redes de segurança sociais. (Cutter, Mitchell, e Scott, 2000, Burton, Kates, and White, 1993, Blaikie et al., 1994, Peacock, Morrow, e Gladwin, 1997 and 2000, Hewitt, 1997, Puente, 1999 e Platt, 1999). <i>Quanto maior a renda menor a vulnerabilidade.</i>

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS
DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE
VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

Tabela 2 do anexo: Graduação de Perigo

Nível	Valor
Baixo	0 – 0,25
Médio	0,251 – 0,5
Alto	0,51 – 0,75
Muito alto	0,751 a 1

Tabela 3 do anexo: Graduação de Exposição

Nível	Valor (hab/ha)	Valor normalizado
Baixo	0–138,3	0 – 0,4
Médio	138,31–238,4	0,41 – 0,7
Alto	238,41 – 485,6	0,71 – 1.

Tabela 4 do anexo: Graduação de Vulnerabilidade

Nível	Valor
Baixo	0 - 0,4
Médio	0,41 - 0,7
Alto	0,71 - 1

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS
DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE
VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

Quadro 1: Matriz de consequências (vulnerabilidade X exposição)

Matriz V x E		Vulnerabilidade		
		Baixo	Médio	Alto
Exposição	Baixo	Baixo	Médio	Médio
	Médio	Baixo	Alto	Muito alto
	Alto	Médio	Alto	Muito alto

Quadro 2: Matriz de Riscos (Perigo x Consequências)

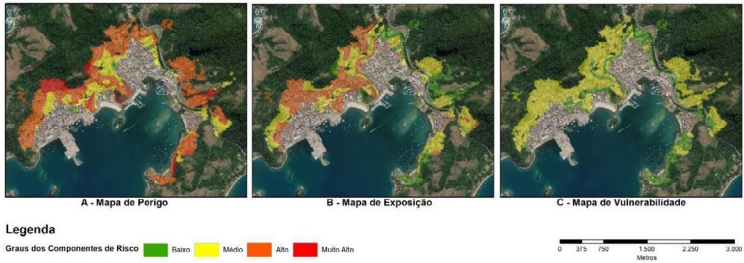
Matriz Risco (P x V x E)		Perigo			
		Baixo	Médio	Alto	muito alto
Matriz V x E	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Médio
	Médio	Baixo	Médio	Alto	Alto
	Alto	Médio	Alto	Muito alto	Muito alto
	Muito alto	Médio	Alto	Muito alto	Muito alto

MAPEAMENTO DE RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS
DE MASSA CONSIDERANDO INDICADOR DE
VULNERABILIDADE: estudo de Caso de Angra dos Reis, RJ

Quadro 3: Matriz de Riscos (Perigo x Exposição)

Matriz Risco (P x E)		Perigo (causas)			
		Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Exposição	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	Médio	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	Alto	Médio	Alto	Muito alto	Muito alto

Figura 1 do anexo: componentes de risco.



6

INDICADORES DE RISCO DE DESASTRES: Correlação entre os índices pluviométricos e a ocorrência de deslizamentos no município de Juiz de Fora - MG

Amanda Rodrigues da Silva Oliveira

Joviano Elias de Souza Assis

Camila Rosa Galvão da Costa

Luís Fernando Martins

Gabriel Felipe Iranço Martins da Silva

Aline Gasparoni dos Santos

Wilson Rodrigues Lourinho Netto

Márcio Aparecido Meireles

Diego de Souza Costa

Vanessa Eurico de Oliveira

INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e o aumento da ocupação humana em áreas de risco nas últimas décadas têm agravado os impactos sociais e econômicos dos desastres ocorridos nas zonas urbanas. Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a população tende a ser mais afetada por estes desastres, uma vez que os fatores históricos de ocupação das cidades fazem com que existam mais cidadãos em condições de vulnerabilidade, habitando as áreas de risco (Lucchese, 2022).

As áreas de risco, portanto, são críticas devido à presença de encostas ocupadas sem planejamento, com construções executadas de maneira precária, com a realização de cortes e aterros sem observância aos padrões normativos e às leis de uso e ocupação de solo, tornando-as áreas com potencial risco de ocorrência de desastres, como os deslizamentos de solo (Santos *et al.*, 2019).

Sendo assim, as intervenções antrópicas, sobretudo nas encostas e fundos de vale, afetam as formas do relevo e seus processos naturais operantes, podendo gerar desequilíbrio natural e catástrofes a depender da localização da área e do material constituinte. O clima, o padrão de distribuição das chuvas, a declividade e os tipos de solo são algumas das condições que, aliadas aos padrões de ocupação e ao planejamento

territorial, interferem na ocorrência dos desastres (IBGE, 2013).

Com isto, as áreas que foram gradativamente ocupadas de forma desordenada agravaram os problemas ambientais e também intensificaram as situações de riscos geradas por ameaças ou processos naturais, que são incrementadas por eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas. De acordo com o Atlas de Mortalidade e Perdas Econômicas do Tempo, Clima e Extremidades de Água de 1970 a 2019, o clima, os riscos climáticos e hídricos foram responsáveis por 2,06 milhões de mortes e US\$3,6 trilhões em perdas econômicas em todo o mundo (OMM, 2021).

Diante disto, há uma preocupação dos municípios a reduzir as perdas sociais e econômicas decorrentes desses desastres e, neste sentido, a Organização das Nações Unidas (ONU), por meio do Marco de Sendai e da Agenda 2030, estabeleceu documentos que preveem metas para o alcance de cidades mais resilientes, ou seja, cidades capazes de se estabelecerem rapidamente diante a ocorrência de desastres, de maneira organizada e eficiente, reduzindo as perdas (UNDRR, 2015). Além disso, visando a redução dos desastres, o Marco de Sendai destaca a necessidade da utilização de indicadores, cujo objetivo é mensurar a eficácia das ações de redução das catástrofes. Através desses medidores, é possível melhorar a

gestão dos riscos e auxiliar tanto na execução do plano de contingência, como nos alertas emitidos para a população.

Como os fatores pluviométricos são os principais desencadeadores dos movimentos de massa, torna-se relevante o estudo dos índices de precipitação capazes de ocasionar deslizamentos, criando-se, assim, indicadores de ocorrência desses eventos adversos. Autores como Tatizana *et al.* (1987), Molina (2015) e Parizzi *et al.* (2010) discutiram amplamente esse tema, no entanto, é importante realizar uma análise regional, considerando as diferenças de padrões de uso e ocupação do solo, das feições do relevo, da drenagem, das características da precipitação, entre outros, para cada município (Santos, 2018).

Diante da importância dos estudos dessa natureza, que servem como referência para as Defesas Cíveis municipais, tanto para as ações de resposta quanto para as ações de prevenção, este estudo tem por objetivo gerar uma correlação entre os valores de precipitação capazes de desencadear deslizamentos de solo na cidade de Juiz de Fora, em Minas Gerais, de modo a agir preventivamente aos desastres, preparando a população para lidar com as adversidades e, sobretudo, reduzindo os danos causados por essas catástrofes, contribuindo para o desenvolvimento de uma cidade resiliente.

REVISÃO TEÓRICA

Movimentos de massa

Os movimentos de massa podem ser compreendidos como o deslocamento de um certo volume de solo e, quando relacionado às encostas, são movimentos para baixo e para fora que ocorrem em taludes formados por rochas, solos, aterros ou uma composição desses materiais. Esses movimentos de massa são também resultados das ações de agentes externos como a gravidade e a pluviosidade (Andrade, 2021).

Como as massas de solo sob superfícies inclinadas tendem a se mover devido à ação da gravidade, um talude é considerado estável quando a resistência ao cisalhamento do solo está equilibrada com as tensões cisalhantes que causam o deslocamento do solo. Esse estado de equilíbrio pode ser modificado por ações externas ou internas e tais fatores podem ser divididos entre os que aumentam a sollicitação sobre o maciço (sollicitações dinâmicas e aumento de sobrecarga) e os que diminuem a resistência de cisalhamento do solo (elevação do lençol freático, diminuição do efeito de sucção por infiltração, aumento da poropressão, etc.) (Andrade, 2021).

Segundo Pinto (2012), algumas das condições que favorecem a ocorrência dos movimentos de massa são: a estrutura

geológica; a topografia (declividade); o regime das chuvas (especialmente episódios pluviais intensos); a perda de vegetação; as atividades antrópicas; o intemperismo; e a presença de níveis e faixas impermeáveis que atuam como planos de deslizamentos.

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) define movimentos de massa em 4 (quatro) tipos, sendo eles: quedas, tombamentos e rolamentos; deslizamentos; corridas de massa; subsidências e colapsos (Quadro 1).

Quadro 1 - Definição dos Movimentos de Massa

Movimento de Massa	Definição
Quedas, tombamentos e rolamentos	As quedas de blocos ocorrem quando materiais rochosos se desprendem de encostas muito íngremes, em um movimento rápido de queda livre; os tombamentos são movimentos rotacionais de blocos de solo ou rocha em torno de um ponto ou abaixo do centro de gravidade da massa desprendida; e os rolamentos são movimentos que ocorrem ao longo das encostas devido à perda de apoio de blocos de rocha.
Deslizamentos	Os deslizamentos são movimentos rápidos de solo ou rocha que se deslocam para baixo e para fora do talude, apresentando superfície de ruptura bem definida.
Corridas de massa	As corridas de massa ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, rocha/solo/detrito, misturados com a água, têm comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.

Movimento de Massa	Definição
Subsidiências e colapsos	As subsidiências e colapsos são afundamentos rápidos ou graduais do terreno devido ao colapso de cavidades, redução da porosidade do solo ou deformação de material argiloso.

Fonte: adaptado de Classificação e Codificação Brasileira de Desastres.

Considerando os tipos de movimentos de massa conhecidos, os deslizamentos são os mais frequentes no Brasil e ocorrem principalmente nas regiões de relevo acidentado, podendo ser divididos em 3 (três) tipos a depender de sua geometria e características dos materiais instabilizados: planar, circular e em cunha, sendo este último o menos comum (Tominaga, 2009).

O deslizamento planar é o mais recorrente no Brasil e geralmente se desenvolve durante ou logo após intensas precipitações. Caracteriza-se pela curta duração e rápido deslocamento dos materiais, através dos planos de fraqueza, pontos associados às heterogeneidades geológicas, geotécnicas e hidrológicas do maciço. Esse tipo de movimento ocorre em solos rasos, com superfícies de deslizamento de até 3 (três) ou 4 (quatro) metros (CPRM, 2018).

Já o deslizamento circular é mais lento que o planar e ocorre de maneira contínua ou intermitente, segundo uma ou mais superfícies de ruptura curvas, com concavidade voltada para cima. Geralmente ocorre em encostas com espessos pacotes homogêneos de solo, rochas sedimentares ou maciços rochosos fraturados. Esses movimentos ocorrem em solos espessos com superfície escorregante mais profunda. Cria degraus de abatimento e têm forma circular, forma de colher (CPRM, 2018).

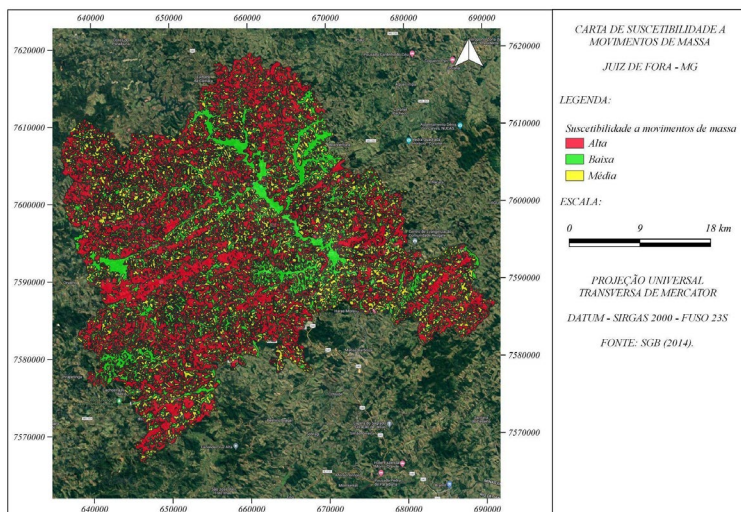
Indicadores de deslizamentos

Diante dos inúmeros registros de ocorrências de desastres em todo mundo, inclusive em Juiz de Fora, o uso de instrumentos capazes de auxiliar na identificação prévia desses acontecimentos representa um grande passo para a diminuição das perdas sociais e econômicas. Portanto, a utilização de indicadores para a redução dos riscos de desastres possibilita o aprimoramento dos sistemas de alerta e monitoramento, preparando as cidades e comunidades antes da ocorrência desses eventos adversos (Ferentz; Pinheiro; Garcias, 2019).

Os deslizamentos ocorridos no passado são importantes indicadores para as previsões de eventos futuros desse tipo. Além do histórico de ocorrências, outros documentos são fundamentais para a criação dos indicadores de deslizamentos

e entre eles está o mapa de suscetibilidade (Figura 1) dos municípios. Esses mapas indicam a propensão de uma determinada região à ocorrência de deslizamentos por meio da análise das declividades do relevo, topografia, geologia, clima, vegetação e fatores antropogênicos (Lucchese, 2022).

Figura 1 - Carta de suscetibilidade a movimentos de massa de Juiz de Fora/MG

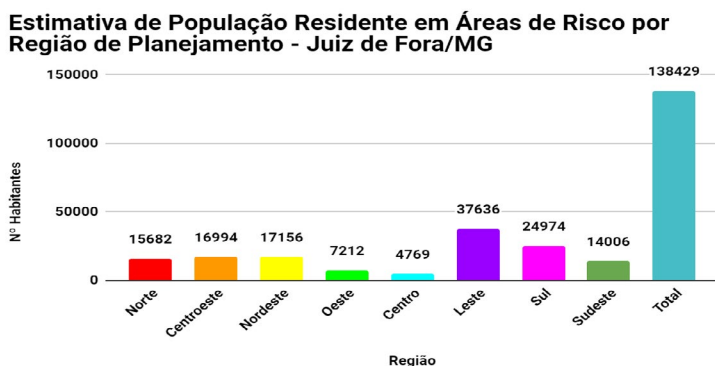


Fonte: Serviço Geológico do Brasil, 2014.

Além desses documentos, outro ponto a ser levado em consideração são os mapas de risco do município em que se pretende realizar o estudo, uma vez que estes podem auxiliar e nortear as ações, criando indicadores voltados para essas áreas

de maior ocorrência de movimentos de massa. Os mapas de risco geológico levam em conta fatores como vulnerabilidade da população, probabilidade de ocorrência e danos materiais (Lucchese, 2022). Outro ponto importante é considerar a quantidade de pessoas expostas ao perigo, buscando-se reduzir as perdas de vidas. No município de Juiz de Fora atualmente existem aproximadamente 138 mil pessoas residentes em áreas de risco conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Estimativa de pessoas residentes em áreas de risco, por região de planejamento no município de Juiz de Fora-MG.



Fonte: SSPDC, 2022.

Sendo assim, as áreas de risco nos centros urbanos mais suscetíveis aos fenômenos hidrometeorológicos indicam potencial de ameaças afetarem uma população vulnerável. Portanto, os esforços da sociedade em reduzir a vulnerabilidade

e melhorar o enfrentamento aos desastres devem conter o estudo dos indicadores de desastres, capazes de melhorar consideravelmente a capacidade de reação dos cidadãos e a celeridade de resposta das Defesas Civas municipais.

Índices pluviométricos

As precipitações são um dos fatores associados à instabilidade de taludes, pois provocam alterações na densidade do solo, diminuindo sua coesão, aumentando seu peso e, consequentemente, reduzindo sua resistência ao cisalhamento (Soares; Marton, 2006).

Diante do objetivo do presente estudo, torna-se necessária a compreensão a respeito das variáveis importantes para a hidrologia, como a chuva distribuída ao longo do tempo e do ambiente, que é a chuva acumulada ou antecedente, uma vez que esta informação pode ser usada como norteadora dos órgãos públicos e também pela própria comunidade inseridas em áreas de risco (Tachini; Severo; Silva, 2021).

Para a obtenção dos limiares são analisados os volumes de chuva acumulados, que podem ser definidos como a soma dos valores medidos de precipitação em um determinado intervalo de tempo para uma dada área (APAC, 2022). No caso deste estudo, foram avaliados os volumes pluviométricos acumulados em 24 horas e em 96 horas:

Em cidades com clima tropical úmido, as chuvas podem ser divididas em convectivas, frontais e orográficas. De maneira geral, as chuvas convectivas são mais intensas, rápidas e localizadas, enquanto as chuvas frontais são contínuas, de longa duração e abrangem áreas maiores, favorecendo a saturação do solo, sendo, portanto, potencialmente mais significativas para a deflagração de movimentos de massa. Além disso, relacionado ao sistema atmosférico predominante na região Sudeste, as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) alteram o regime pluviométrico, e em conjunto com a topografia do local, podem contribuir com a ocorrência dos deslizamentos (Bustamante, 2010).

Após estabelecidos os índices pluviométricos críticos capazes de deflagrar deslizamentos, torna-se possível, através do monitoramento da pluviometria em tempo real, a previsão da iminência de ocorrência desses processos de instabilização sempre que esses limiares forem atingidos (D'orsi, 2011), contribuindo imensamente com os alertas emitidos para a população. Destaca-se que o limiar operacional ligado aos alertas pode ser um valor menor do que o real, uma vez que precisa ser emitido com antecedência, de modo a garantir o tempo de comunicação entre a Defesa Civil e as comunidades em risco.

Correlação entre os volumes pluviométricos e a ocorrência de deslizamentos

Segundo Molina et al. (2015), precipitações de grande intensidade, quando combinadas com regiões suscetíveis a movimentos de massa, podem contribuir com a ocorrência de desastres. Sendo assim, a principal aplicação do estudo das correlações entre as chuvas e os deslizamentos é a antecipação à deflagração desses movimentos de massa, através do monitoramento dos índices pluviométricos de determinada área, tornando possível a emissão de alertas à população inserida em áreas de risco (Tachini; Severo; Silva, 2021).

A relação entre a climatologia da precipitação e as ocorrências de deslizamentos são estudadas há muito tempo. Tatizana et al. (1987) realizou estudos relacionando os índices pluviométricos aos deslizamentos na região da Serra do Mar, na cidade de Cubatão - SP, e constatou que a chuva acumulada de quatro dias (96 horas) era determinante para o processo de deslizamento, devido à saturação do solo.

Outro estudo realizado sobre as precipitações e os deslizamentos foi desenvolvido por Facto et al. (2012), na cidade de São Bernardo do Campo - SP. Os autores observaram que os meses de máxima precipitação são acompanhados pelos maiores registros de deslizamentos. Além disso, os

autores constataram que nos meses de dezembro e janeiro ocorria um aumento nos registros de deslizamentos que não era acompanhado pelo aumento do volume das chuvas, concluindo que a saturação do solo devido às chuvas dos meses anteriores era responsável pela redução da resistência do solo e o consequente aumento do número de ocorrências (Molina et al., 2015).

Parizzi et al. (2010), em seu estudo sobre a correlação da pluviosidade com os movimentos de massa na cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, evidenciou que as precipitações acumuladas por três dias acima de 100 mm são desencadeadoras de deslizamentos, além de que os dias com mais de seis ocorrências estão associados com alta pluviosidade em poucas horas.

Por último, Martins (2022), em sua pesquisa sobre limiares críticos para os movimentos de massa no município de Juiz de Fora, constatou que os valores acumulados de chuvas superiores a 140 mm em 96 horas são responsáveis pela maior parte dos deslizamentos que ocorrem na cidade e que o maior número de ocorrências de deslizamentos em um único dia ocorre com acumulados de chuvas superiores a 100 mm em 96 horas. Já com relação às chuvas diárias, o maior número de deslizamentos de solos acontece com chuvas diárias inferiores a 55 mm.

A partir do exposto, este trabalho possui embasamento nos diversos estudos citados para a obtenção dos índices pluviométricos capazes de deflagrar deslizamentos de terra, no recorte espacial do município de Juiz de Fora - MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

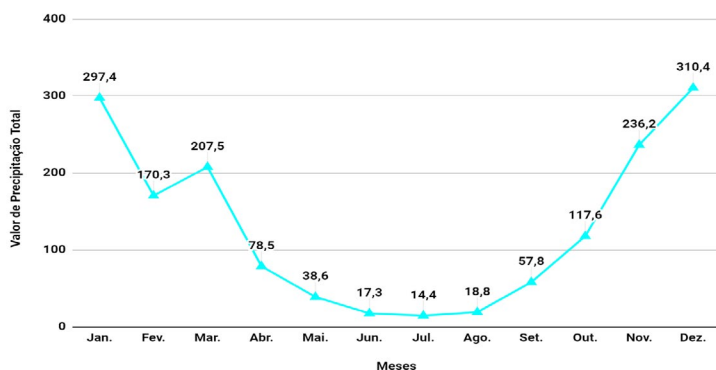
O município de Juiz de Fora está localizado no estado de Minas Gerais, na região da Zona da Mata, possuindo uma área territorial de aproximadamente 1.436km² e uma população de 577.532 habitantes (IBGE, 2021). Além disso, compõe a Unidade Serrana da Zona da Mata, pertencente à Região Mantiqueira Setentrional, possuindo um relevo acidentado, com altitudes próximas a 1.000m nos pontos mais elevados, entre 670 a 750 m no fundo do vale do Rio Paraibuna e níveis médios em torno de 800 m (Prefeitura de Juiz de Fora, 2000). Cerca de 2% do território de Juiz de Fora são planos, 15% são serras e os 83% restantes são mares de morro (CESAMA, 2019.).

A cidade está contida na bacia do Médio Paraibuna, pertencente à bacia do rio Paraíba do Sul, e seu perímetro urbano é drenado por 156 sub-bacias de diversas dimensões. Os principais rios que banham o município são o Paraibuna, seus

afluentes Rio Cágado e Rio do Peixe, e os rios Monte Verde e Grão-Mogol, afluentes do rio do Peixe (CESAMA, 2019).

Com relação ao clima, Juiz de Fora possui duas estações bem definidas, sendo elas: de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas; e de maio a setembro, com temperaturas mais baixas e menor frequência de chuvas (Figura 3). Esse clima pode ser definido como Tropical de Altitude, por corresponder a um tipo tropical influenciado pelos fatores altimétricos, em vista do relevo local apresenta altitudes médias entre 700 e 900 m, que contribuem para a amenização das suas temperaturas.

Figura 3 - Precipitação Histórica Média (mm) em Juiz de Fora entre os anos de 1991 a 2020



Fonte: INMET, 2022.

Já com relação ao relevo, suas litologias se caracterizam por apresentarem coberturas de solos espessos e exposições rochosas, principalmente ao sul do Município. A presença de vales profundos associados a encostas com elevadas declividades e um relevo constituído predominantemente por morros, sujeitos a chuvas com índices anuais elevados, constituem os principais fatores que imprimem à região uma dinâmica superficial bastante intensa, que pode causar o desequilíbrio das vertentes, visualizado pelos elevados índices de movimentos de massa, além de processos erosivos, tanto laminares como de escoamento concentrado (CESAMA, 2019.).

Portanto, devido às características morfológicas, climáticas e geológicas do município, aliadas à ausência de planejamento do uso e ocupação do solo, a cidade é a terceira do estado de Minas Gerais com a maior parcela da população exposta a áreas de risco, aproximadamente 25% da população, sendo cerca de 90 mil pessoas residindo em áreas de risco alto (R3) ou muito alto (R4) (IBGE, 2018; SSPDC, 2022).

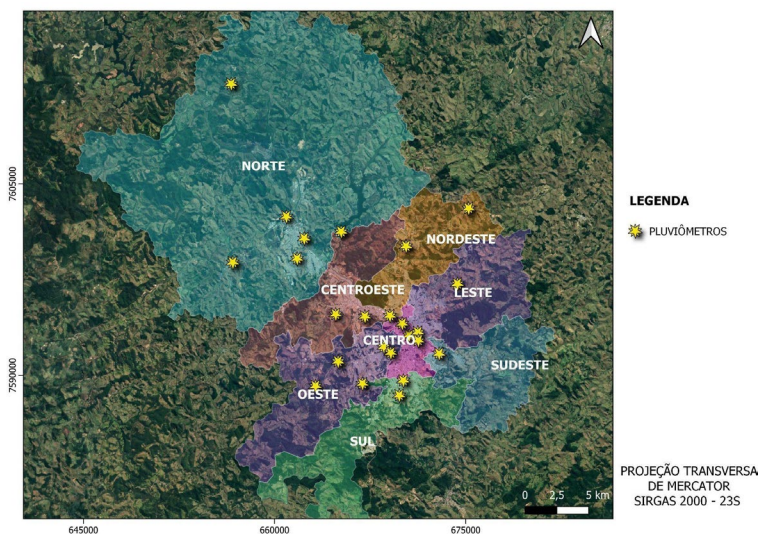
Obtenção e Tratamento dos Dados

Para este estudo, utilizou-se os registros de deslizamentos de solo do município de Juiz de Fora, cedidos pela Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil de Juiz de Fora, ocorridos entre

os períodos de outubro de 2019 a março de 2020, outubro de 2020 a março de 2021, outubro de 2021 a março de 2022.

Também foram utilizados dados históricos de precipitação para o mesmo período, disponibilizados pelo CEMADEN, para as chuvas acumuladas de 24 horas e 96 horas, registrados pelos 24 pluviômetros automáticos distribuídos ao longo do município (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição dos pluviômetros por região na cidade de Juiz de Fora - MG



Fonte: Autoria própria através de dados disponibilizados pelo Cemaden, 2022.

Para o tratamento dos dados, utilizou-se o valor máximo registrado dentre os 24 (vinte e quatro) pluviômetros, tanto para os valores acumulados de 24 horas e de 96 horas. Posteriormente, com base nos níveis de alerta contidos no Plano de Contingência de Desastres Geológicos e Hidrológicos (Figura 5) do município de Juiz de Fora, os valores de precipitação abaixo de 20 mm em 24 h e abaixo de 55 mm em 96 h (que configuram o estágio de vigilância) foram desconsiderados para os dias em que ocorreram deslizamentos, desde que não tenha ocorrido chuvas acima de 20 mm em pelo menos um desses quatro dias.

Figura 5 - Probabilidade de ocorrência de deslizamentos

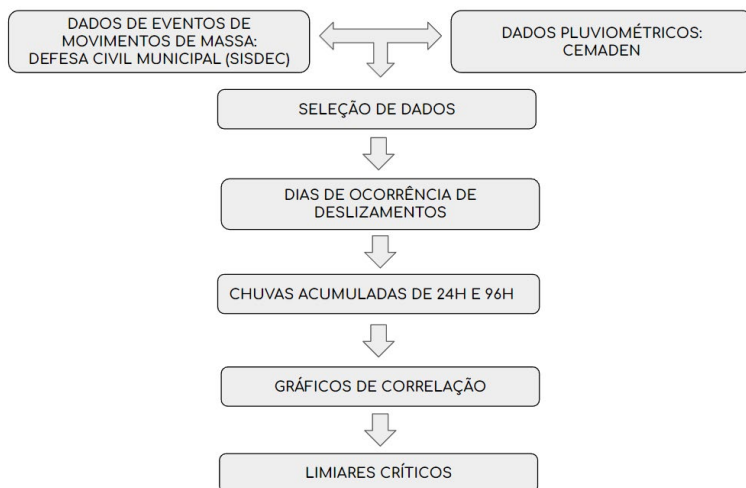
Intensidade/Acumuladas pluviométricas	Probabilidade de Ocorrência de Escorregamento			
	Vigilância	Atenção	Alerta	Alerta Máximo
mm/h	$i < 10$	$10 < i < 15$	$15 < i < 25$	$i > 25$
mm/24 h	$i < 20$	$20 < i < 35$	$35 < i < 55$	$i > 55$
mm/48 h	$i < 35$	$35 < i < 55$	$55 < i < 80$	$i > 80$
mm/96 h	$i < 55$	$55 < i < 75$	$75 < i < 100$	$i > 100$

Fonte: Plano de Contingência de Desastres Geológicos e Hidrológicos de Juiz de Fora, 2022.

A partir do levantamento e do tratamento dos dados (Figura 6), foi possível obter os resultados, ou seja, os limiares

de precipitação capazes de gerar a ocorrência dos deslizamentos para a cidade de Juiz de Fora.

Figura 6 - Metodologia utilizada para o estudo dos limiares críticos para a ocorrência de deslizamentos em Juiz de Fora-MG



Fonte: Autoria própria (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

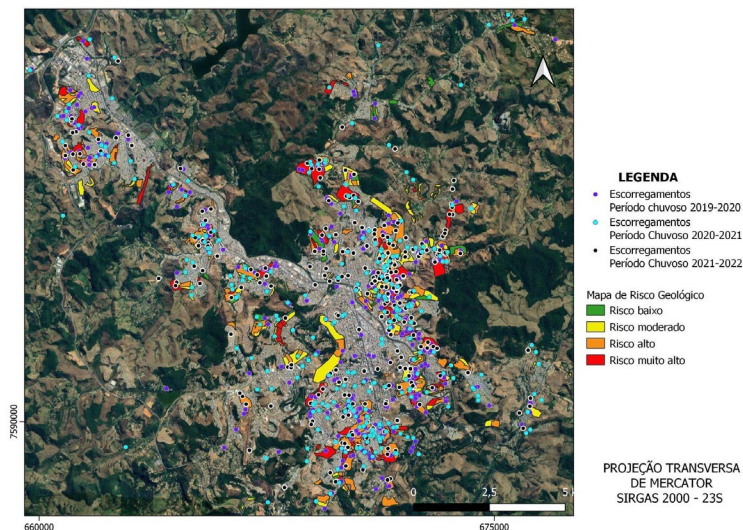
Primeiramente, é importante ressaltar que alguns fatores não foram considerados neste estudo, como as características de solo e a topografia, visto que que esses aspectos estão englobados na classificação das áreas de risco do município. Já com relação aos dados coletados pelos pluviômetros, deve-se

considerar possíveis falhas nos equipamentos, que podem gerar valores discrepantes ou períodos sem informações, tornando necessária uma análise de consistência dos dados antes de serem utilizados.

A partir do levantamento de dados realizado no Sistema de Informações da Defesa Civil (SISDEC) de Juiz de Fora, no total, foram contabilizadas 1249 ocorrências relacionadas a deslizamentos de solo nos períodos de outubro de 2019 a março de 2020, outubro de 2020 a março de 2021 e outubro de 2021 a março de 2022. Para a análise da pluviometria nos dias em que ocorreram deslizamentos, eventos classificados como “muito pequenos” foram excluídos, tendo em vista que não geraram danos significativos. Sendo assim, ao todo foram considerados 932 eventos de deslizamentos ocorridos durante o período estudado (Figura 7).

Desse total de ocorrências, 30% dos deslizamentos ocorreram na Região Leste, o que pode estar relacionado com o incremento da urbanização sofrida na região nos últimos anos, bem como às declividades das encostas, o tipo de solo e as características das chuvas que atingiram a região no período estudado.

Figura 7 - Mapa de risco e deslizamentos registrados nos períodos chuvosos de 2019 a 2022 em Juiz de Fora-MG

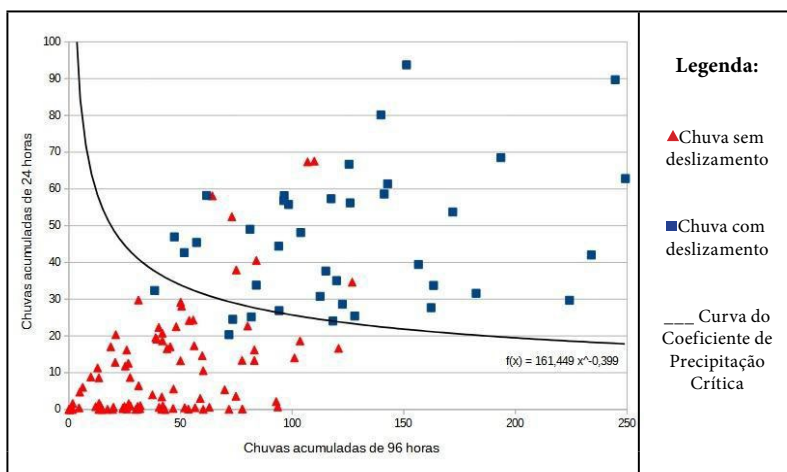


Fonte: SSPDC, 2023.

A partir disso, tendo como embasamento os registros disponibilizados pelo SISDEC e os dados pluviométricos fornecidos pelo CEMADEN, realizou-se uma correlação dos dados de modo a obter os limiares críticos de precipitação para o desencadeamento dos deslizamentos. Dessa forma, foram feitas análises entre os dias em que ocorreram e que não ocorreram deslizamentos e os seus respectivos volumes pluviométricos para cada período chuvoso e também para os três simultaneamente, obtendo-se os Gráficos 1, 2, 3 e 4 a seguir.

Os gráficos apresentam a correlação obtida entre as chuvas acumuladas (mm/24h x mm/96h) e a ocorrência de deslizamentos. Nas correlações, as curvas definem o limite inferior do campo no qual há uma zona de baixa probabilidade (zona segura) e de alta probabilidade de ocorrência desses eventos, explicitando os limiares críticos para a cidade de Juiz de Fora.

Gráfico 1 - Correlação de deslizamentos de solo com os acumulados de chuvas de 24 h e 96 h para o período chuvoso de 2019 a 2020

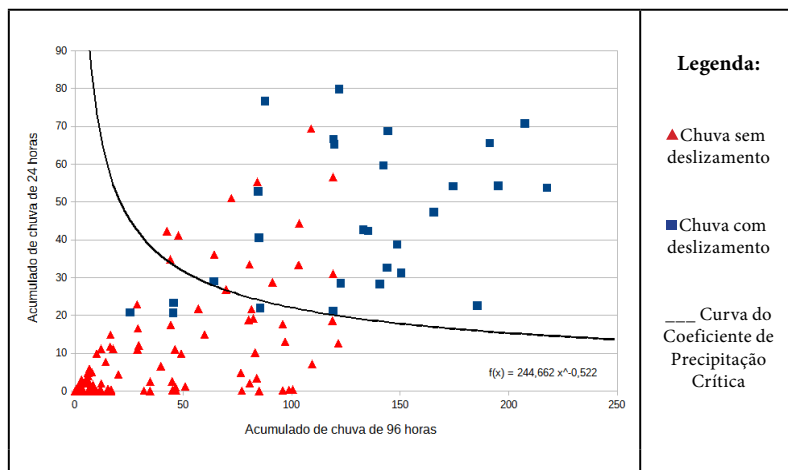


Fonte: Autoria própria (2023).

No gráfico 1 é possível observar as duas zonas de ocorrência ou de não ocorrência de deslizamentos e também os volumes de chuvas diárias de 25 a 60mm e as chuvas acumuladas

de quatro dias de aproximadamente 100 a 150mm, que são chuvas potencializadoras da deflagração de deslizamentos.

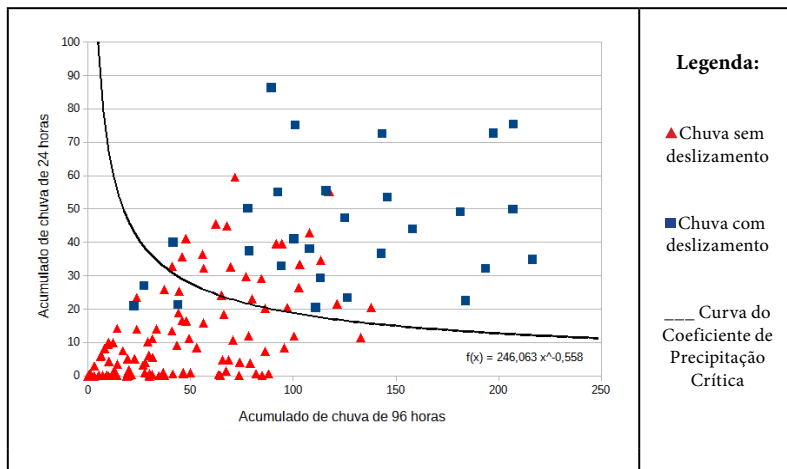
Gráfico 2 - Correlação de deslizamentos de solo com os acumulados de chuvas de 24 h e 96 h para o período chuvoso de 2020 a 2021



Fonte: Autoria própria (2023).

O gráfico 2 também apresenta duas zonas bem definidas de ocorrência ou não de deslizamentos e os volumes de chuvas críticos giram em torno de 25 a 70mm em 24 h ou aproximadamente 100 a 150mm em 96 h, sendo estas chuvas potencializadoras da deflagração de deslizamentos.

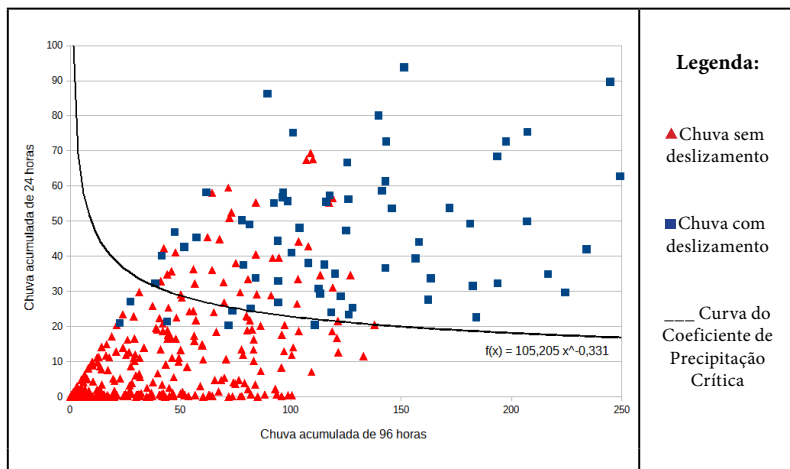
Gráfico 3 - Correlação de deslizamentos de solo com os acumulados de chuvas de 24 h e 96 h para o período chuvoso de 2021 a 2022



Fonte: Autoria própria (2023).

No gráfico 3 tem-se a definição de duas zonas, no entanto, não é possível identificar um intervalo de chuvas de 24 e 96 horas capazes de aumentar a ocorrência dos deslizamentos.

Gráfico 4 - Correlação de deslizamentos de solo com os acumulados de chuvas de 24 h e 96 h para os períodos chuvosos de 2019 a 2022



Fonte: Autoria própria (2022).

Por último, no gráfico 4 tem-se o maior recorte temporal e, portanto, há uma maior precisão no limiar crítico. Sendo assim, os volumes críticos de chuva para a cidade de Juiz de Fora estão entre 20 e 60mm em 24 horas ou 80 a 150mm em 96 horas. Os valores estão condizentes com o Plano de Contingência do município, que define os limites de 15 a 25mm em 24 horas ou 75 a 100mm em 96 horas no estado de Alerta.

As equações referentes às curvas nos gráficos foram geradas através do *software Microsoft Excel*, onde “f(x)” é a chuva acumulada em 24 horas (mm/24h) e “x” a chuva acumulada

em 96 horas (mm/96h). Essas equações permitem calcular o volume de chuva que pode ocasionar movimentos de massa, a partir do valor de chuva acumulada dos dias antecedentes, ou seja, fornecem o Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC), cujos valores são a base para tomada de decisões das Defesas Cíveis.

O formato da curva obtida é similar aos resultados de diversos outros estudos realizados sobre a correlação de chuvas e deslizamentos, demonstrando que o valor da intensidade pluviométrica decresce, de maneira não linear, com o aumento da chuva acumulada de 04 (quatro) dias. Esse comportamento é esperado, uma vez que chuvas acumuladas de 04 (quatro) dias tendem a aumentar a saturação dos solos e gerar a perda de resistência deles, contribuindo, assim, para que ocorram processos de instabilização em taludes.

Com isto, é possível concluir que se um talude já apresenta indícios de instabilidade devido à saturação causada por chuvas acumuladas em 96 horas, para que ocorra o processo de deslizamento, pequenos volumes pluviométricos são suficientes para deflagrar esses movimentos de massa. No entanto, se determinado talude se encontra pouco saturado, o valor da intensidade pluviométrica em 24 horas necessária para deflagrar o processo de instabilização deverá ser alto.

No entanto, destaca-se que, quando se trata de uma encosta antropizada e pré-saturada de umidade antrópica, ou seja, em que há vazamento em tubulações, lançamentos de águas e esgoto nos taludes, lançamento das águas pluviais provenientes das calhas diretamente sobre a encosta, entre outros aspectos, não é necessária uma chuva tão intensa para deflagrar o processo de rompimento.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados demonstra que a maioria dos deslizamentos ocorrem devido aos intensos volumes de chuvas diárias ou ao acumulado de chuvas em 04 (quatro) dias. A partir da correlação entre a pluviometria e os deslizamentos de solo registrados no município de Juiz de Fora, em Minas Gerais, foi possível obter o limiar crítico de precipitação para a deflagração desses movimentos de massa, sendo: chuvas entre 20 mm a 60 mm em um período de 24 horas e/ou chuvas entre 80 mm a 180 mm em um período de 96 horas. Em geral, constatou-se que quanto maior o volume acumulado de chuva, menor o volume diário de chuva necessário para desencadear movimentos de massa.

Além disso, foi possível obter uma curva que define duas zonas de ocorrência de desastres. De maneira geral, os valores pluviométricos localizados abaixo desta curva, definem chuvas

com baixa probabilidade de deflagração de ocorrências de desastres, enquanto os índices pluviométricos localizados na porção superior desta mesma curva, definem as chuvas potenciais para a deflagração de movimentos de massa.

Diante do exposto, nota-se a importância dos estudos que correlacionam os índices pluviométricos com a ocorrência dos deslizamentos, bem como o acompanhamento diário das chuvas através do monitoramento em tempo real disponibilizado pelo Cemaden, capazes de gerar os limites críticos, indicadores de desastres. Esses indicadores, quando incorporados nas ações de gestão de risco de desastres do município, podem subsidiar a emissão dos alertas enviados à população, reduzindo assim as perdas humanas e materiais provenientes dos deslizamentos de solo.

Por fim, ressalta-se que estudos de correlação entre chuvas e deslizamentos, quando analisados isoladamente, não são suficientes para a emissão dos alertas à população. Os limiares críticos obtidos através dessa correlação não são valores fixos e dependem dos fatores antropogênicos e das características geológicas e geotécnicas de cada região, sendo estes pontos determinantes para a ocorrência de deslizamentos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **APAC**. Sobre meteorologia. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/sobre-meteorologia/113-sobre-meteorologia/502-acumulado-de-precipitacao#:~:text=Acumulado%20de%20Chuvas%2F%20Precipita%C3%A7%C3%A3o,um%20estado%20ou%20um%20pa%C3%ADs>. Acesso em: 2 nov. 2022.
- ANDRADE, M. L. **Retroanálise de escorregamento de talude em solo residual de gnaiss – Estudo de caso km 133+ 500 sul da rodovia RJ-116**. 2021. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmn-nnibpcajpcgclclefindmkaj/http://www.labbas.eng.uerj.br/pgeciv/nova/files/dissertacoes/211.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2022.
- BUSTAMANTE, T. G. C. **Impactos da chuva na ocorrência de deslizamento de terra e inundações no Estado de São Paulo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/08.20.17.56/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Download de dados. **Estações Pluviométricas**. Brasília (DF): Estações de Juiz de Fora, 2022.
- CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES - COBRADE. 2024. Disponível em: <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/formularios/COBRADE.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2022.

COMPANHIA BRASILEIRA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL). **Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2018. 218 p. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/Volume1-ManualTecnicoParaMapeamentodePerigoRiscoMovimentos_CPRM.pdf. Acesso em: 12 nov. 2022.

D'ORSI, R. N. **Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da Serra dos Órgãos da rodovia federal BR-116 RJ (Rio-Teresópolis)**. 2011. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/RicardoNeivaDorsi.pdf. Acesso em: 25 out. 2022.

FERENTZ, L. M. S.; PINHEIRO, E. G.; GARCIAS, C. M. Gestão de riscos e indicadores de preparação: estudo de caso no município de Palmeira/PR. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, [s. l.], v. 9, p. 243-262, 2019. Disponível em: <http://www.periodicos.unc.br/index.php/drd/article/view/1916>. Acesso em: 12 set. 2024.

HIDROGRAFIA em Juiz de Fora. **CESAMA**. 2019. Disponível em: <https://www.cesama.com.br/pesquisa-escolar/hidrografia-em-juiz-de-fora>. Acesso em: 10 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **População em áreas de risco no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101589.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa de informações básicas municipais perfil dos municípios brasileiros 2013**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2014. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv86302.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas da População**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 15 nov. 2022.

LUCCHESI, L. V. **Modelagem de suscetibilidade e de limiares de precipitação para deslizamentos de terra utilizando métodos de aprendizagem de máquina**. 2022. 240 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/249991/001152008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 nov. 2022.

MARTINS, L. F. **Análise dos Limiares Críticos de Precipitação na Gestão de Riscos de Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Juiz de Fora- MG**. 2022. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Especialização em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2022.

MOLINA, E. A. N.; CARDOSO, A. O.; NOGUEIRA, F. R. Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo-SP. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 46-54, 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547641009.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2022.

PARIZZI, M. G. *et al.* Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. **Revista Geografias**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 49-68, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13296>. Acesso em: 20 out. 2022.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, estado do Paraná. **Geingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)**, Maringá, v. 4, n. 1, p. 3-27, 2012. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geolinga/article/view/49152>. Acesso em: 15 nov. 2022.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. **Plano de Contingência de Desastres Geológicos e Hidrológicos**. 2022. Juiz de Fora: Prefeitura Municipal de Juiz de Fora, 2022.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano - PDDU**. 2000. Disponível em: https://www.pjf.mg.gov.br/desenvolvimentodoterritorio/plano_diretor/plano_anterior.php. Acesso em: 10 dez. 2022.

SANTOS, D. L. **Limiar de precipitação que pode gerar deslizamentos nos complexos de risco de Maceió**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

SANTOS, D. L.; FRAGOSO, J. R. C. R.; SOUZA, V. C. B. Limiar de precipitação com potencial de gerar deslizamentos nos complexos de risco em uma zona urbana. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [s. l.], v. 16, n. 2.019, 2019. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/335>. Acesso em: 1 nov. 2022.

SOARES, E. P.; MARTON, E. Relação entre precipitação e deslizamentos de encostas na região de Angra dos Reis. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: SBMET, 2006. Disponível em: https://cbmet.com/index_php.html. Acesso em: 4 out. 2022.

TACHINI, M.; SEVERO, D. L.; SILVA, H. S. Análise das correlações entre as chuvas acumuladas e os deslizamentos em Blumenau-SC. **Geosul**, Florianópolis, v. 36, n. 79, p. 457-472, maio/ago. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/59162/47203>. Acesso em: 12 set. 2024.

TATIZANA, C. *et al.* Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar, Município de Cubatão. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., 1987, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: ABGE, 1987. v. 2. p. 225-236.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R (org.). **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2017/05/Conhecer_para_Prevenir_3ed_2016.pdf. Acesso em: 25 out. 2022.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Publications. Annual Report 2015. **UNDRR**, 2015. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/unisdr-annual-report-2015>. Acesso em: 6 maio 2025.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019)**. Geneva: WMO, 2021. Disponível em: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21930#Y2uZRXbMKUk. Acesso em: 9 nov. 2022.

SEÇÃO 3 - INDICADORES DE RISCO DE INUNDAÇÕES E SECAS



7

INDICADORES DE EXPOSIÇÃO DA ÁREA URBANA À INUNDAÇÃO EM CIDADES AMAZÔNICAS: estudo de caso Alenquer, Pará.

Taís Carolina de Oliveira Alcântara

Milena Marília Nogueira de Andrade

INTRODUÇÃO

A ocorrência de desastres constitui um tema cada vez mais presente no meio da comunidade técnica e científica, das autoridades governamentais e da sociedade civil. Desastres de origem hidrológica, como inundações, representam a maior parte dos registros no mundo, sendo responsáveis por muitas vítimas e prejuízos econômicos (Mitchell; Lovell; Scott, 2014). Estima-se que quase um bilhão de pessoas vivam em áreas suscetíveis às inundações, e esse número deverá duplicar até

2050 devido ao aumento dos eventos extremos de precipitação associados ao crescimento populacional (Matheswaran *et al.*, 2018). As inundações já causaram a perda de 6,8 milhões de vidas humanas no século 20 em todo o mundo. Esse fenômeno afetou 2,3 bilhões de pessoas entre os anos de 1995 e 2015 (Guha-Sapir; Hoyois, 2015).

Na Amazônia ao menos 68 rios diferentes com uma extensão de 4.756 km são considerados com altos impactos e frequências de inundações aumentando a exposição de pessoas e infraestruturas (Andrade *et al.*, 2017a). A exposição dessas populações e locais tende a aumentar no contexto da mudança das máximas cotas fluviométricas históricas registradas na bacia do rio Amazonas (Espinoza *et al.*, 2022).

A exposição é uma das variáveis utilizadas para calcular o risco de desastre (UNDRR, 2015). O risco de desastre é entendido como o produto entre a exposição, a ameaça e a vulnerabilidade (UNDRR, 2017). Nesta equação a relação entre as variáveis é diretamente proporcional para a produção do desastre.

Em termos de mapeamento, no contexto amazônico, a ameaça e a vulnerabilidade são as variáveis mais estudadas (IPCC, 2014; Menezes *et al.*, 2018). A metodologia usual inclui o uso de indicadores para desastres deflagrados por processos naturais e tecnológicos com cartografia utilizando Sistemas

de Informações Geográficas (Andrade *et al.*, 2010; Andrade; Szlafsztein, 2018; Franco *et al.*, 2018; Parente; Szlafsztein, 2022). Por vezes os trabalhos utilizam métodos qualitativos principalmente quando se direcionam para vulnerabilidade (Pimentel *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2020). Porém os trabalhos que foquem no mapeamento da exposição ainda são incipientes, embora existam avanços na compreensão da exposição dos municípios às ameaças tecnológicas (Parente; Szlafsztein, 2022).

A exposição indica a posição geográfica das infraestruturas urbanas, pessoas ou comunidades em relação a uma determinada ameaça (De León, 2002). Para a UNISDR (2011) a exposição é usada como uma referência à localização de pessoas ou bens econômicos em áreas propensas a riscos. Neste trabalho a exposição é definida de acordo com a UNDRR (2017) como a situação das pessoas, infraestrutura, habitação ou outros ativos humanos tangíveis localizados em áreas propensas a riscos.

Estudos anteriores na Amazônia realizam em escala municipal o mapeamento da exposição através de indicadores, dentro do arcabouço teórico da vulnerabilidade, para a zona costeira (Andrade *et al.*, 2017b) e para o estado do Amazonas (Menezes *et al.*, 2018). Para uma compreensão da variável em si, trabalho recente em outro contexto geográfico, utiliza

variáveis como uso do solo, população exposta e infraestrutura crítica para compor os indicadores de exposição em escala municipal (Ziegelaar; Kuleshov, 2022). No entanto, o desafio de trabalhar em escala de detalhe para análise da exposição permanece.

Em termos legais, a dimensão da exposição não é claramente mencionada. Na Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) há apenas uma menção em seu artigo 24 para uma modificação na Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que dispõe sobre as diretrizes da política urbana, para reconhecer a exposição da população a riscos de desastres para fins de ordenamento do uso do solo (Brasil, 2012). A mesma lacuna está no Programa de Redução de Riscos do Ministério das Cidades (Brasil, 2007) que sugere a utilização de metodologias que auxiliem no mapeamento das áreas de risco de enchentes e inundações fundamentada através de levantamentos aerofotogramétricos, imagens de satélite, mapas e guias de campo sem considerar claramente a análise da exposição.

Para melhorar a qualidade dos mapeamentos em geral, de acordo com Refice, D’Addabbo e Capolongo (2018), o Sensoriamento Remoto é uma poderosa ferramenta que oferece algumas vantagens em sua utilização, como a capacidade

de fornecer informações sobre áreas amplas a baixos custos, a confiabilidade do cronograma de aquisição de dados e o acesso a locais de difícil condições ambientais ou perigosas. Sausen e Lacruz (2015) destacam a utilização dos dados de observação da Terra para auxiliar no monitorar a dinâmica das águas e seus períodos de inundação, mapeamento de áreas potencialmente afetadas e apoio às ações de prevenção. Demonstrando, portanto, eficiência e operacionalidade nas mais diversas fases da gestão de desastre de inundação com esse tipo de informação (Priya; Divya, 2019).

Dentre os sensores remotos utilizados no mapeamento da dinâmica de inundações e sazonalidade de determinadas áreas, sensores do tipo *Synthetic Aperture Radar* (SAR) merecem destaque, pois sofrem pouca influência da cobertura de nuvens. As imagens SAR têm sido muito utilizadas em estudos de áreas alagadas e mapeamentos de uso do solo em diferentes regiões e áreas de estudos (Zhou *et al.*, 2020; Tiwari *et al.*, 2017; Vekaria *et al.*, 2023; Notti *et al.*, 2022).

De acordo com Pedrosa e Correa (2019) a obtenção de informações em zonas úmidas amazônicas, devido ao elevado ciclo sazonal somado ao processo de corpos d'água transitórios demanda um monitoramento contínuo. A alta cobertura de nuvens na região Amazônica é um dos principais desafios para obtenção de informações através de sensores

ópticos (Souza; Rodrigues, 2020). Por isso, tem se tornado cada vez mais importante o uso de imagens de radar ou de multisensores para análise de inundação na Amazônia (Andrade; Brabo, 2022).

Em tempos atuais de grande disponibilidade de informações satelitais, a plataforma Google Earth Engine (GEE) ganhou destaque devido à grande disponibilidade de dados e elevada capacidade de armazenamento e processamento. Além disso, no GEE é possível trabalhar em nuvem, o que permite combinar um catálogo de *petabytes* de múltiplas imagens de satélite para detecção de mudanças na superfície da Terra (Halder; Bandyopadhyay, 2021; Gorelick *et al.*, 2017). Dada esta diversidade de dados gratuitos, é possível realizar análises sobre desastres de inundação na Amazônia a partir da extensão da área inundada com uso de sensores ativos.

No ano de 2017, o município de Alenquer, localizado no baixo Amazonas Paraense, foi acometido por eventos de inundações, decretando situação emergencial devido aos danos ocasionados pelo evento. Nesse sentido, o presente trabalho tem por finalidade utilizar esse estudo de caso para mapear extensões inundáveis e propor indicadores de exposição em escala local.

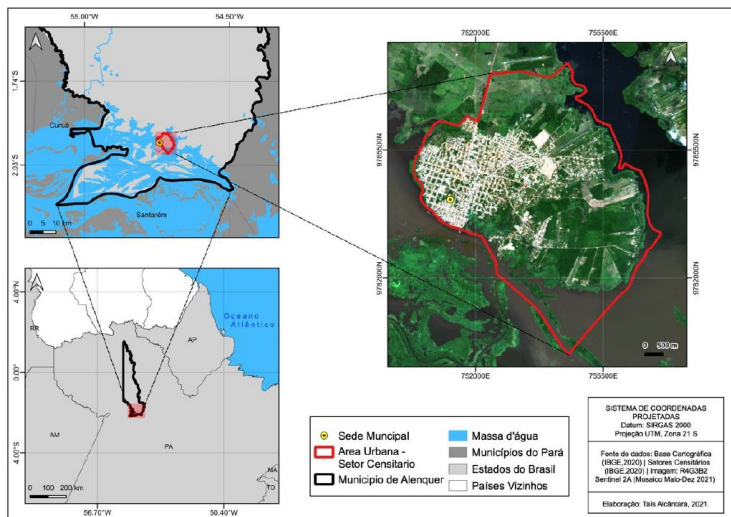
MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo corresponde à área urbana do município de Alenquer, localizado na mesorregião do Baixo Amazonas Paraense (Figura 1). Essa mesorregião teve sua ocupação a partir da segunda metade do século XVII com a fundação de cidades nas margens do rio Amazonas com antigos núcleos coloniais de povoados que se estabeleceram e se desenvolveram a partir da navegação fluvial, da agricultura de várzea nas planícies fluviais e da ocupação de barrancas mais elevadas em terraços e tabuleiros, por onde foram implantados os sítios urbanos (João *et al.*, 2013).

INDICADORES DE EXPOSIÇÃO DA ÁREA URBANA À INUNDAÇÃO EM CIDADES AMAZÔNICAS: estudo de caso Alenquer, Pará.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2023).

O município de Alenquer compreende uma população de 57.390 pessoas, ocupa uma área de 23.645,452 km² e está inserida na Microrregião de Santarém (IBGE, 2021). De acordo com dados do último censo realizado no ano de 2010 pelo IBGE, 52,68% da população residia em ambiente urbano. O município pertence a sub-bacia do rio Tapajós e a sede urbana está localizada defronte a uma região lacustre do Aritapera e do rio Curuá formados na influência do canal do rio Amazonas (Szlafsztein; Silva Júnior, 2014). Historicamente o município registra danos na área ocupada na planície de

inundação da cidade já que, em especial no ano de 2017, partes da área urbana e rural do município foram afetadas por conta da precipitação e cotas fluviais acima da média, que levaram ao decreto de Estado de Calamidade Pública (Figura 2).

Com relação às características físicas da área de estudo, os Baixos Platôs e as Planícies Fluviolacustres são os principais domínios geomorfológicos da área urbana, onde a maior concentração urbana está localizada nos Baixos Platôs (João; Teixeira; Fonseca, 2013). Os Baixos Platôs possuem cotas entre 200 e 250 m e baixa declividade entre 0 e 5 graus, enquanto as Planícies Fluviolacustres são áreas planas com processos de acumulação fluvial e lacustre, sujeitas a inundações periódicas (IBGE, 2009).

Figura 2 - Recorte de decreto de calamidade pública em Alenquer no ano de 2017.



Fonte: Diário Oficial do Estado do Pará (<https://www.ioepa.com.br/pages/2017/2017.05.15.DOE.pdf>).

Metodologia

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica em diversas bases de dados digitais em busca das informações históricas e oficiais referentes às inundações na sede urbana do município de Alenquer. Foram consultados o Diário Oficial da União para identificação de registros de decretos de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública. Além disso, registros fotográficos oficiais também foram obtidos por meio de consulta em bases jornalísticas digitais.

Para análise do comportamento hidrológico no município de Alenquer foram utilizados dados pluviométricos e fluviométricos adquiridos no banco de informações da Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da plataforma HydroWeb. Foi selecionada a estação pluviométrica (código 1540003) e fluviométrica (código 17090000) mais próxima da sede do município, onde ambas operam pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Os dados foram analisados no software Excel com uso da estatística descritiva de média, utilizada para análise geral de ambas as estações observando a série histórica mensal (1985-2017), valores médios e máximos mensais para o ano de 2017.

Para a análise da extensão da inundação foram utilizadas as imagens Sentinel-1 do tipo GRD, nível 1, modo de aquisição

Interferometric Wide Wath (IW), com 10m de resolução espacial selecionadas na plataforma GEE. As datas utilizadas foram para o pré-evento (01/01/2017) e na data mais próxima da inundação – pós-evento (26/03/2017). A seleção de imagens foi baseada nos dados de cotas fluviométricas para o ano de 2017. A polarização utilizada foi a VV para realizar as análises, pois estudos anteriores demonstraram que essa polarização apresenta resultados adequados para mapeamento de inundação (Psomiadis, 2016; Agnihotri *et al.*, 2019). Esses produtos apresentam imagens georreferenciadas que utilizam parâmetros de órbita e altitude do satélite e pré-processadas por meio do Sentinel-1 Toolbox (ESA, 2023). As seguintes etapas foram realizadas: remoção de ruído térmico; redução do ruído de borda; suavização do efeito speckle; calibração radiométrica; correção do terreno utilizando SRTM 30 ou ASTER DEM e conversão do coeficiente de retroespalhamento (σ°) em decibéis (dB).

Para a análise da área inundada foi adaptada a metodologia desenvolvida por UN-SPIDER, disponibilizada em seu *site*⁸. Após o pré-processamento foi construído um script no GEE para analisar a extensão de inundação na área de estudo pelo o método de detecção de mudanças em conjunto com limiares para obtenção da máscara de extensão potencial

8 www.un-spider.org

de inundação. A detecção de mudanças realiza uma comparação entre a cena de inundação e a cena no período seco (Giustarini *et al.*, 2012; Schlaffer *et al.*, 2015). A técnica de limiar, mais conhecida como “*Threshold*” é muito difundida pela comunidade acadêmica-científica e considerada simples a depender dos aspectos apresentados na imagem analisada (Ozemi; Bauer, 2002; Oliver; Quegan, 2004; Costa; Telmer, 2006; White *et al.*, 2015). Assim, foi definido, por meio do método de tentativa e erro um limiar no valor de 1.40 dB, atribuindo 1 (água) aos valores superiores a 1.40dB e 0 (não água) aos valores inferiores a 1.40dB, gerando uma camada binária. O limiar fornece ao usuário a possibilidade de variar o rigor da classificação. Quanto menor o limiar, mais rigorosa será a classificação (Meneses; Almeida, 2012).

Para eliminar os falsos positivos da camada de extensão obtida foi utilizado ainda o conjunto de dados JRC Global Surface Water, para mascarar todas as áreas cobertas por água por mais de 10 meses por ano. O conjunto de dados tem uma resolução de 30 m e foi atualizado pela última vez em 2020. Adicionalmente, foi avaliada a conectividade dos pixels de inundação a fim de eliminar aqueles conectados a oito ou menos vizinhos, reduzindo o ruído do produto de extensão de inundação gerado, buscando refinar a camada obtida.

A exposição foi analisada em escala local através de dois indicadores espaciais-vetoriais: os lotes edificados e as vias expostas. A aquisição dessa informação foi baseada em dados vetoriais do *OpenStreetMap* (OSM). O OSM é um projeto de mapeamento colaborativo desenvolvido em 2004, com o intuito de fornecer um banco de dados de informações geográficas disponíveis gratuitamente, gerando um mapa livre e editável do mundo e com licença de conteúdo aberto (Goldblatt; Jones; Mannix, 2020). Esses dados permitem que governos e comunidades locais desenvolvam planos de emergência e aprimoramento nas avaliações de risco, sendo ainda utilizados frequentemente em aplicações de gerenciamento de riscos e desastres (Schelhorn *et al.*, 2014; Poiani *et al.*, 2016; Latif *et al.*, 2011; Palen *et al.*, 2015; Eckle *et al.*, 2017). Assim, por meio desses dados foram estimados o quantitativo de lotes e vias impactadas pela inundação.

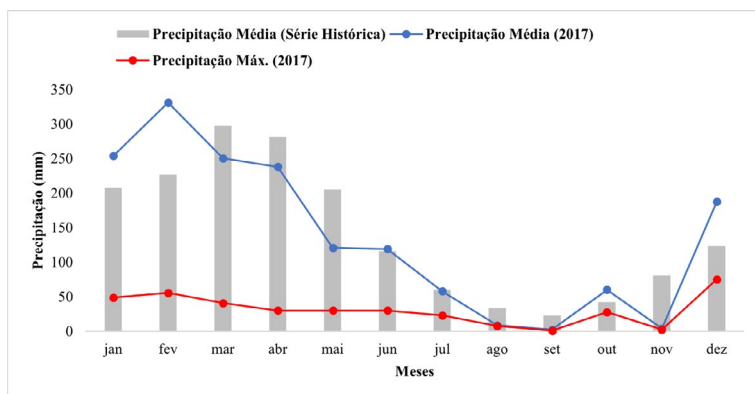
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do comportamento hidrológico

A partir dos dados de precipitação (Figura 3), foi possível inferir que os maiores totais se concentram nos primeiros seis meses do ano, baseada na média da série histórica de 26 anos (1991-2017), em que os meses de março e abril apresentam

as maiores médias (acima de 250 mm). A maior precipitação média para o ano do evento (2017) ocorreu em fevereiro (acima de 300 mm), enquanto o valor máximo de precipitação ocorreu em dezembro (acima de 200 mm), sendo possível identificar um aumento da pluviosidade na região de acordo a série histórica.

Figura 3 - Precipitação Média (série histórica e 2017) e máxima (2017) mensal para o município de Alenquer.

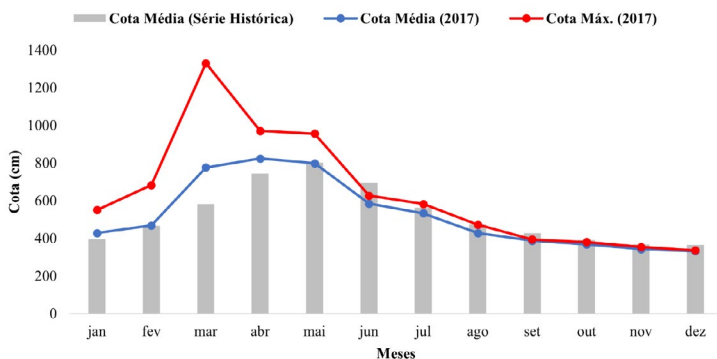


Fonte: Autoria própria (2023).

Com relação às cotas médias da série histórica de 32 anos (1985-2017), os maiores valores também foram observados no primeiro semestre. Abril e maio são os meses que apresentam as maiores médias, acima de 700 cm. Com relação ao ano de 2017, a maior cota média ocorreu no mês de abril e a cota

máxima do município foi observada no mês de março no valor de 1330 cm (Figura 4).

Figura 4 - Cota Média (série histórica e 2017) e máxima (2017) mensal para o município de Alenquer.



Fonte: Autoria própria (2023).

Os dados de pluviometria e fluviometria corroboram com as informações a respeito de inundações anteriormente sofridas na cidade de Alenquer. Mediante investigações através de mídias digitais (Figuras 5), nos últimos anos, foi possível verificar as consequências ocasionadas pela inundação no município. Vias interrompidas, imóveis parcialmente inundados, equipamentos urbanos parcialmente afetados e dificuldade de acesso por via terrestre são notados nas imagens do ano de 2017.

Figura 5 - Registros de inundação na sede urbana de Alenquer.

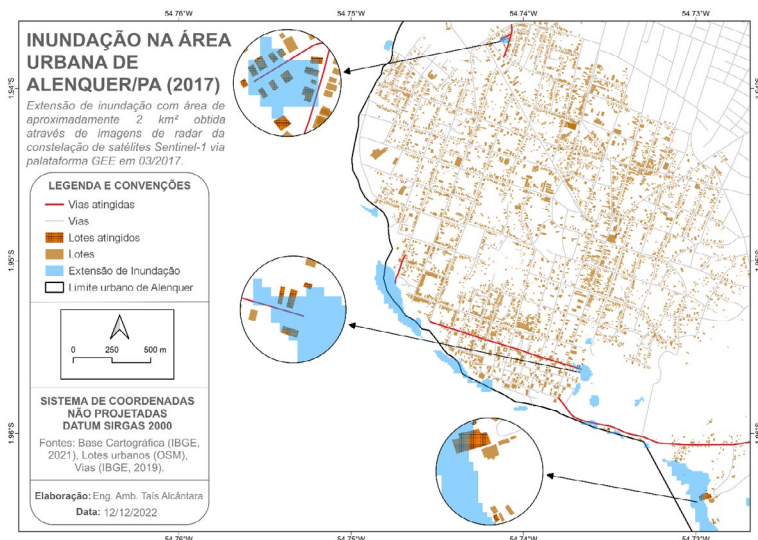


Fonte: G1 Santarém 2017a, G1 Santarém 2015b.

Mapeamento da exposição

Os indicadores de exposição de lotes edificados e vias expostas foram contabilizados em 23 e 07, respectivamente, que foram diretamente contabilizados na área exposta à inundação (Figura 6), contemplando principalmente as porções geográficas localizadas a oeste, sul e sudeste da sede do município perfazendo uma área de 2 km². No mapa destacam-se em vermelho, no sentido sul-norte a Rua da Fazendinha, Rua Visconde do Rio Branco, Travessa Tiago Peres, e Travessa Eugênio Marques como as áreas afetadas. A extensão da inundação está inserida no contexto das planícies fluviolacustres com característica plana e de baixa declividade.

Figura 6 - Identificação de lotes e vias expostos a inundação.

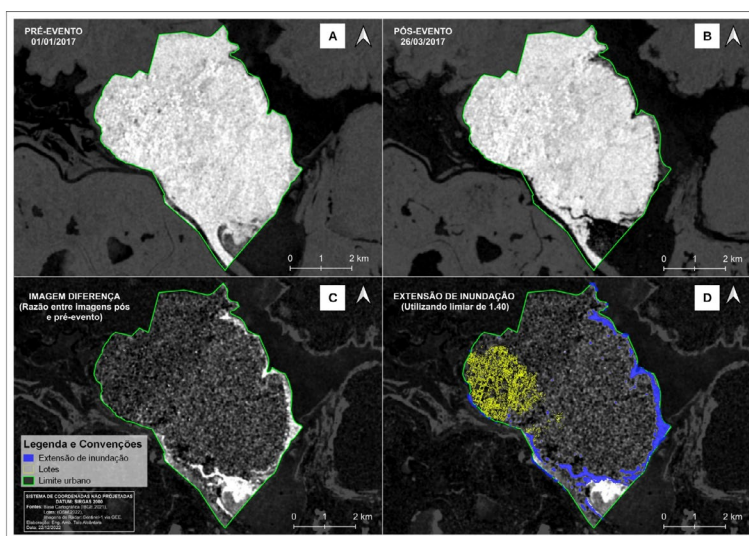


Fonte: Autoria própria (2023).

A interpretação das imagens SAR pré (Figura 7A) e pós-vento (Figura 7B) indicam que as áreas em tons mais escuros apresentam baixos valores de retroespalhamento, e de forma geral correspondem a regiões de água, enquanto as áreas mais claras possuem altos valores de retroespalhamento e correspondem a regiões de não água. Na interpretação da imagem, a diferença (Figura 7C) foi baseada na técnica de detecção de mudanças, que permite identificar o nível de alteração do pixel, em que pixels mais claros (valores altos) indicam alta mudança, e os pixels mais escuros (valores mais

baixos) inferem pouca mudança. Os valores superiores a 1.40dB resultaram na máscara de inundação com extensão de 2 km² na área urbana (Figura 7D), visualizadas na cor azul, ocupando principalmente as áreas marginais da sede municipal de Alenquer.

Figura 7 - Etapas de processo de obtenção da extensão inundável.



Fonte: Autoria própria (2023).

DISCUSSÃO

Os dados de pluviometria e fluviometria foram importantes para caracterizar o comportamento hidrológico da região,

o que permitiu a identificação dos períodos chuvosos e de inundação máxima. Fatores como baixos valores altimétricos atrelado a densa rede de drenagem tendem a influenciar processos de inundação nos períodos de alta pluviosidade fazendo com que os grandes fluxos de água presente nos canais potencializem os eventos de inundação na região de Alenquer. Processos similares em cidades localizadas em áreas de extensa rede hidrográfica com áreas urbanas inseridas em contextos geomorfológicos de planícies de inundação foram observados na cidade de Tarauacá no estado do Acre (Andrade; Brabo, 2022).

A extensão de inundação gerada abrange principalmente as áreas na borda da sede municipal, onde é identificada densa urbanização. Esses dados corroboram com estudos anteriormente realizados em Alenquer (Silva Junior, 2010; Silva Junior; Szlafsztein, 2010; Silva Junior; Szlafsztein, 2012). Os autores identificaram uma área com alto risco de inundação, localizada nas bordas oeste e sudeste da sede do município, com aproximadamente 0,7 km², correspondente a 9,35% da área total da cidade, convergindo ainda com o relatório setorização de risco em Alenquer do Serviço Geológico do Brasil que identificou que locais como a orla da cidade estão situadas em baixas altitudes e apresentaram condições para inundação (Fonseca; Miyagawa, 2020). Apesar da convergência

dos dados, as pesquisas anteriores na área de estudo não trabalharam com indicadores de exposição, e sim com mapeamento de risco e setorização de risco. Este estudo se propôs a avançar em termos de mapeamento de detalhe apontando quais informações seriam interessantes para se utilizar como indicadores de exposição. Dada a impossibilidade de ter sido realizado um trabalho de campo, informações gratuitas de edificações e vias (avenidas, ruas ou travessas), geradas com imagens de alta resolução como no caso do OSM podem ser utilizadas para este fim.

Para o evento tratado neste estudo de caso, o Decreto Nº 290, de 08 de maio de 2017 (Alenquer, 2017), emitido referente a situação de emergência em Alenquer identificou que em 28 de março, fortes chuvas na região ocasionaram no aumento do rio Surubiú, elevando sua cota 59 cm acima da cota de alerta (6,80 m) e, conseqüentemente, ocasionando inundação. Sete bairros na área urbana envolvendo dentre eles, setores residenciais, comerciais e agrícolas foram impactados pela inundação e 6km de ruas próximas ao município.

Quanto à extensão da inundação, estudos de Vekaria *et al.* (2023) utilizaram método de detecção de mudanças com imagens SAR Sentinel-1 para mapear inundações em áreas extensas na Índia. Demonstraram avanços tecnológicos sobre a abordagem tradicional de mapeamento de inundações

com ênfase na avaliação rápida de inundações, realizando uma análise mais ampla incluindo variação de precipitação, impacto em terras agrícolas e população. Os autores ressaltaram também a possibilidade, por meio de longas séries temporais, da elaboração de mapas de probabilidades de inundação baseados em previsão de chuvas e medições de vazão do rio provenientes de modelos hidrológicos e concluiu que técnicas de detecção de mudanças se mostraram satisfatórias para mapeamento de inundação em tempo quase real.

Embora os resultados encontrados neste estudo estejam em consonância com trabalhos anteriormente realizados, é importante observar que pesquisas posteriores podem vir a trazer resultados ligeiramente diferentes devido às limitações relacionadas ao sensor orbital. A definição do limiar utilizado implica em diferentes resultados de extensão de inundação. De acordo com Garrafiel (2018), isto ocorre devido ruídos ou sombras, confundidas com áreas de inundação, devido à aparência granular do objeto e a escala que se quer obter as informações.

Pedrosa e Correa (2019) utilizaram satélite Sentinel-1 para identificação de áreas de inundação na região Amazônica e, em suas descobertas, indicaram que a utilização de um sensor com banda P seria mais adequado para trabalhar com área inundáveis, pois assim seria obtida maior precisão e melhor

acurácia em relação a banda C do satélite Sentinel-1. Seguindo uma abordagem semelhante, Notti *et al.* (2018) apontaram algumas desvantagens no uso de SAR para mapeamento de inundações, verificando possibilidade de existência de falsos positivos em relação às alterações de superfície da Terra não originárias de eventos de inundação, além de dificuldades de detecção de inundações em áreas urbanas ou densamente vegetadas.

Magalhães *et al.* (2022) analisaram a dinâmica de inundação por meio de séries temporais com Sentinel-1 para a Amazônia Central correlacionando com dados de estações meteorológicas, observando resultados satisfatórios para polarizações do tipo VH e VV. Verificaram ainda relação satisfatória entre as áreas úmidas VH e VV em relação à altura da régua fluviométrica, o que corrobora com os resultados da polarização VV utilizada neste trabalho.

CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a evidenciar possibilidade de uso de indicadores em escala de detalhe para analisar a exposição à inundação em áreas urbanas. Como indicadores foram utilizadas as edificações delimitadas por lotes, bem como as vias impactadas. Apesar da imprecisão em ter da tipologia da edificação (por exemplo, se pública, residencial ou comercial)

a delimitação de quantos lotes e vias estão na área de extensão da inundação podem ser utilizadas para ações de preparação e resposta à inundação no município de Alenquer. Portanto, os dados provenientes de mapeamento colaborativo podem ser utilizados em escala de detalhe para auxiliar nas fases da gestão de risco de maneira remota, embora o trabalho de campo seja aconselhável para maior acurácia das informações.

Foi possível observar que para o método proposto a utilização de limiar com 1.40 dB originou uma extensão de inundação que abrange áreas semelhantes às observadas em trabalhos anteriormente realizados na área de estudo. O cruzamento de dados de extensão com vias e lotes urbanos permitiu identificar 23 lotes urbanos e 07 vias atingidas.

Ainda que os dados sentinel-1 SAR disponíveis gratuitamente na plataforma de computação em nuvem GEE apresentem limitações, eles possuem potencial para avaliação e eventos de inundação, em especial, em municípios que sofrem com eventos sazonais de inundação, como Alenquer. As facilidades de processamento de imagens, para análise de inundação, fornecidas pela plataforma GEE demonstram mais praticidade comparada a métodos tradicionais, permitindo obter extensão de inundação rápida para qualquer ambiente sem qualquer necessidade de software de alta computação e *download* dos dados.

Novos estudos precisam ser realizados utilizando diferentes sensores orbitais para melhorar a acurácia dos resultados. Devido à dificuldade de obtenção de cenas óticas em períodos chuvosos as imagens Sentinel-1 se mostraram satisfatórias. Sugere-se complementação de informações com uso de dados de aerolevantamento apoiados com ARP (Aeronave remotamente pilotada), validação de trabalho de campo em consonância com as passagens do sensor SAR possibilitando maior robustez à análise, bem como o detalhamento da infraestrutura impactada. Os resultados obtidos nesse estudo podem ser replicados em realizadas similares e servem de apoio para a gestão de risco local.

REFERÊNCIAS

AGNIHOTRI, A. K. et al. Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and its impact on Ramganga River in Ganga basin. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 191, n. 12, p. 1-16, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31745827/>. Acesso em: 12 set. 2024.

ALENQUER (PA). Decreto Nº 290, de 08 de maio de 2017. Declara Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública, nas áreas do município afetadas por Inundação, COBRADE 12.100 conforme IN/MI 02/2016. **Diário Oficial do Estado do Pará**: ano CXXVII, nº 33373, [2017]. Disponível em: https://www.ioepa.com.br/pages/2017/05/15/2017.05.15.DOE_57.pdf. Acesso em: 6 jan. 2023.

ALENQUER DECRETA situação de emergência após rio ultrapassar cota de alerta. **G1** 15 maio 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/alenquer-decreta-situacao-de-emergencia-apos-rio-ultrapassar-cota-de-alerta.ghhtml>. Acesso em: 3 jan. 2023.

ANDRADE, M. M. N.; ANDRADE, Á. S.; BEZERRA, P. E. S. Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais no estado do Pará (Brasil). **Revista Delos**, [s. l.], n. 30, out. 2017. Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/delos/30/desastres-naturais-para.html>. Acesso em: 12 set. 2024.

ANDRADE, M. M. N.; BRABO, L. S. Técnicas com multi-sensores para mapeamento de inundação: um estudo de caso na cidade de Tarauacá (Acre, bacia Amazônica, Brasil). **Revista Geonorte**, [s. l.], v. 13, n. 42, 2022. Disponível em: <http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/10517>. Acesso em: 12 set. 2024.

ANDRADE, M. M. N. et al. A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 91, n. 10, p. 1.972-1.980, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20627540/>. Acesso em: 12 set. 2024.

ANDRADE, M. M. N. et al. Flood risk mapping in the Amazon. **Flood risk management**, [s. l.], v. 41, 2017a. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/55628>. Acesso em: 12 set. 2024.

BARICHIVICH, J. et al. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. **Science Advances**, v. 4, n. 9, p. eaat8785, 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; [...] e dá outras providências. Brasília. Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 6 jan. 2023.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília, DF: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007.

CHEIA do Rio Surubiú inunda ruas e já afeta 600 famílias em Alenquer PA. **G1** 11 maio 2015. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2015/05/cheia-do-rio-surubiu-inunda-ruas-e-ja-afeta-600-familias-em-alenquer-pa.html>. Acesso em: 3 jan. 2023.

COSTA, M. P. F.; TELMER, K. H. Utilizing SAR imagery and aquatic vegetation to map fresh and brackish lakes in the Brazilian Pantanal wetland. **Remote sensing of Environment**, [s. l.], v. 105, n. 3, p. 204-213, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425706002422>. Acesso em: 17 set. 2024.

DE LEÓN, J. **La Naturaleza de los Riesgos, un Enfoque Conceptual**. Guatemala: Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales, 2002, 53 p. Disponível em: <http://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0113/doc0113.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

ECKLE, M. et al. Towards using Volunteered Geographic Information to monitor post-disaster recovery in tourist destinations. **IMT**. 2017. Disponível em: <https://www.imt.fr/en/events/event/isram-2017-international-conference-on-information-systems-for-crisis-response-and-management-albi-a-mines-albi-2/>. Acesso em: 7 jan. 2023.

ESPINOZA, J.-C. et al. The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods. **Weather and Climate Extremes**, [s. l.], v. 35, p. 100406, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094721000931>. Acesso em: 17 set. 2024.

EUROPEAN AGENCY SPACE - ESA. **Sentinel Online**: Sentinel-1 SAR Technical Guide. 2023. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar>. Acesso em: 7 jan. 2023.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel Online**. Sentinel-1 SAR Technical Guide. 2023. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar>. Acesso em: 6 jan. 2023.

FONSECA, D. D. F.; MIYAGAWA, L. J. P. P. Setorização de áreas em alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações: Alenquer, Pará. **CPRM**. 2020. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17773.2>. Acesso em: 23 dez. 2022.

FRANCO, V. S.; SOUZA, E. B.; LIMA, A. M. M. Floods and social vulnerability: study on the Xingu river in Altamira/PA. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 21, p. e01573, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10831>. Acesso em: 18 set. 2024.

GARRAFIEL, G. F. **Mapeamento de inundações urbanas a partir de imagens de radar de abertura sintética do programa Sentinel**. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão de curso) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/179936>. Acesso em: 3 jan. 2023.

GIUSTARINI, L. et al. A change detection approach to flood mapping in urban areas using TerraSAR-X. **IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [s. l.], v. 51, n. 4, p. 2.417-2.430, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/258792913_A_Change_Detection_Approach_to_Flood_Mapping_in_Urban_Areas_Using_TerraSAR-X. Acesso em: 18 set. 2024.

GOLDBLATT, R.; JONES, N.; MANNIX, J. Assessing OpenStreetMap completeness for management of natural disaster by means of remote sensing: A case study of three small island states (Haiti, Dominica and St. Lucia). **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 118, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/1/118>. Acesso em: 18 set. 2024.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, [s. l.], v. 202, p. 18-27, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>. Acesso em: 18 set. 2024.

GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P. Estimating populations affected by disasters: A review of methodological issues and research gaps. **Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)**. 2015. p. 1-15. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/publication/estimating-populations-affected-disasters-review-methodological-issues-and-research>. Acesso em: 18 set. 2024.

HALDER, B.; BANDYOPADHYAY, J. Vegetation scenario of Indian part of Ganga Delta: A change analysis using Sentinel-1 time series data on Google earth engine platform. **Safety in Extreme Environments**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 167-180, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354194801_Vegetation_scenario_of_Indian_part_of_Ganga_Delta_a_change_analysis_using_Sentinel-1_time_series_data_on_Google_earth_engine_platform. Acesso em: 18 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades e Estados**. [2023]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/alenquer.html>. Acesso em: 7 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p. (Manuais técnicos em geociências).

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030. **UN-ISDR**. 2015. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/43291_63575sendaiframeworkportunofficialf%5B1%5D.pdf. Acesso em: 5 jan. 2023.

IPCC. Annex II: Glossary. In: AGARD, J. et al. (ed.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability Part B: regional aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 1.757-1.776.

JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. (Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade).

LATIF, S. et al. OpenStreetMap for the disaster management in Bangladesh. In: IEEE CONFERENCE ON OPEN SYSTEMS., 2011. Langkawi. **Anais [...]**. Langkawi: IEEE, 2011. p. 429-433. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6079240>. Acesso em: 19 set. 2024.

MAGALHÃES, I. A. L. et al. Análise da série temporal sentinel 1 de inundações na amazônia central. **Mercator**, Fortaleza, v. 21, p. 1- 20, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/dcSKHGHk-JV3Twswr77ZbgLg/#>. Acesso em: 18 set. 2024.

MATHESWARAN, K. et al. Flood risk assessment in South Asia to prioritize flood index insurance applications in Bihar, India. **Geomatics, Natural Hazards And Risk**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 26-48, dez. 2018. Disponível em: [https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2018.1500495?scroll=top&needAccess=-true&role=tab](https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2018.1500495?scroll=top&needAccess=true&role=tab). Acesso em: 7 jan. 2023.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: UnB-CNPq, 2012.

MITCHELL, T.; LOVELL, E.; SCOTT, L. **Setting, measuring and monitoring targets for reducing disaster risk**: Recommendations for Post-2015 International Policy Frameworks. London: UK Overseas Development Institute, 2014. p. 12-28.

NOTTI, D. et al. Potential and limitations of open satellite data for flood mapping. **Remote sensing**, [s. l.], v. 10, n. 11, p. 1.673, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/11/1673>. Acesso em: 18 set. 2024.

OLIVER, C.; QUEGAN, S. **Understanding synthetic aperture radar images**. New York: SciTech Publishing, 2004.

OZEMI, S. L.; BAUER, M. E. Satellite Remote Sensing of **Wetlands**. **Wetlands Ecology and Management**, [s. l.], v. 10, p. 381-402, 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020908432489>. Acesso em: 18 set. 2024.

PALEN, L. et al. Success & scale in a data-producing organization: The socio-technical evolution of OpenStreetMap in response to humanitarian events. In: AUTOR. **Proceedings of the 33rd annual ACM conference on human factors in computing systems**. 2015. p. 4.113-4.122.

PARENTE, Y. Y.; SZLAFSZTEIN, C. F. Analysis of the level of municipal exposure to technological hazards in the Amazon region of Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 70, p. 102782, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420922000012>. Acesso em: 18 set. 2024.

- PEDROSA, D. L. R.; CORREA, A. .C. S. S. Uso das imagens sar na identificação e aplicação de áreas de inundação na região amazônica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais [...]**. Santos: INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/uso-das-imagens-sar-na-identificacao-e-aplicacao-de-areas-de-inundacao-na-regiao-amazonica?lang=pt-br>. Acesso em: 7 jan. 2023.
- PIMENTEL, M. A. S. et al. Sustentabilidade dos meios de vida e vulnerabilidade socioambiental: estudos compartilhados entre brasil e cuba. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n. 81, p. 249-264, 2021. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/55616>. Acesso em: 18 set. 2024.
- POIANI, T. H. et al. Potential of collaborative mapping for disaster relief: A case study of OpenStreetMap in the Nepal earthquake 2015. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES (HICSS) 49., Piscataway. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 2016. p. 188-197. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002775517>. Acesso em: 19 set. 2024.
- PRIYA, M. G.; DIVYA, N. Measurement to Management: Study of Remote Sensing Techniques for Flood Disaster Management. **J. Remote Sens. GIS**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 6-9, 2019. Disponível em: <https://techjournals.stmjournals.in/index.php/JoRSG/article/view/308>. Acesso em: 18 set. 2024.
- PSOMIADIS, E. Flash flood area mapping utilising SENTINEL-1 radar data. In: AUTOR. **Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VII**. SPIE, 2016. p. 382-392.

REFICE, A.; D'ADDABBO, A.; CAPOLONGO, D. Methods, techniques and sensors for precision flood monitoring through remote sensing. In: REFICE, A.; D'ADDABBO, A.; CAPOLONGO, D. **Flood monitoring through remote sensing**. Springer, 2018. p. 1-25.

SANTOS, I. R.; SILVA, C. V.; ANDRADE, M. M. N. Avaliação da vulnerabilidade social e percepção de risco à erosão costeira na Ilha do Mosqueiro? PA. **Contribuciones a las ciencias sociales**, [s. l.], v. 13, n. 8, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/194>. Acesso em: 18 sep. 2024.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.). **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SCHELHORN, S.-J. et al. Identifying elements at risk from OpenStreetMap: The case of flooding. In: INTERNATIONAL ISCRAM CONFERENCE, 11., 2014, Pennsylvania. **Anais [...]**. Pennsylvania: University Park, 2014. Disponível em: http://idl.iscram.org/files/schelhorn/2014/920_Schelhorn_etal2014.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

SCHLAFFER, S. et al. Flood detection from multi-temporal SAR data using harmonic analysis and change detection. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s. l.], v. 38, p. 15-24, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243414002645>. Acesso em: 18 set. 2024.

SILVA JUNIOR, O. M.; SZLAFSZTEIN, C. Risk analysis as a criterion of land management: a study of the master plan of the municipality of Alenquer (PA). In: SIMPÓSIO DA SOCIEDADE DE ESPECIALISTAS LATINO-AMERICANOS EM SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2012, Caiena. **Anais [...]**. Caiena: [s. n.], 2012.

SILVA JUNIOR, O. M. **Análise de risco a inundação na cidade de Alenquer - Estado do Pará**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/4996>. Acesso em: 18 set. 2024.

SILVA JUNIOR, O. M.; SZLAFSZTEIN, C. F. Análise de risco como critério a gestão do território: um estudo do plano diretor do município de Alenquer (PA). **Olam: Ciência & Tecnologia**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 1-29, 2010. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/olam/article/view/4275>. Acesso em: 18 set. 2024.

SOUZA, S. V.; RODRIGUES, S. W. P. Dados multi-sensores para reconhecimento e mapeamento de ambientes sedimentares na planície do rio Amazonas. **Geociências**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 425-436, 2020. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/13500/11697>. Acesso em: 18 set. 2024.

SZLAFSZTEIN, C. F.; DA SILVA JUNIOR, O. M. A importância dos conceitos de ameaça, vulnerabilidade e risco em planos diretores municipais: estudo de caso no município de Alenquer (Pará). **Revista GeoAmazônia**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 55-71, 2013. Disponível em: https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/12347/pdf_5. Acesso em: 18 set. 2024.

TIWARI, V. et al. Flood inundation mapping-Kerala 2018; Harnessing the power of SAR, automatic threshold detection method and Google Earth Engine. **PLoS One**, [s. l.], v. 15, n. 8, p. e0237324, 2020. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0237324>. Acesso em: 19 set. 2024.

VEKARIA, D. et al. A change detection approach to flood inundation mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR images, the Brahmaputra River, Assam (India): 2015–2020. **Journal of Earth System Science**, [s. l.], v. 132, n. 1, p. 3, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366624147_A_change_detection_approach_to_flood_inundation_mapping_using_multi-temporal_Sentinel-1_SAR_images_the_Brahmaputra_River_Assam_India_2015-2020. Acesso em: 19 set. 2024.

WHITE, L. et al. A collection of SAR methodologies for monitoring wetlands. **Remote sensing**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 7.615-7.645, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/6/7615>. Acesso em: 19 set. 2024.

ZHOU, T. et al. Mapping winter wheat with multi-temporal SAR and optical images in an urban agricultural region. **Sensors**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 1.210, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/6/1210>. Acesso em: 19 set. 2024.

ZIEGELAAR, M.; KULESHOV, Y. Flood Exposure Assessment and Mapping: A Case Study for Australia's Hawkesbury-Nepean Catchment. **Hydrology**, [s. l.], v. 9, n. 193, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/11/193>. Acesso em: 19 set. 2024.

8

INUNDAÇÕES GRADUAIS NA AMAZÔNIA LEGAL: a construção de um índice de criticidade para os municípios frente à resposta do setor saúde

Flavio Souza Brasil Nunes

Isadora Vida de Mefano e Silva

Carlos Machado de Freitas

INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira apresenta uma dinâmica hidrológica e fluvial muito característica. Em sua região central, os grandes rios passam por períodos de enchentes e vazantes ao longo do ano, marcados por meses com subidas diárias do nível da água, seguidos pelos meses de vazante. Considerando o rio Solimões-Amazonas e toda a sua área de influência, os processos de enchente normalmente vão até os meses de

junho e julho, quando se iniciam as vazantes, finalizadas entre outubro e dezembro. Nesta dinâmica, as águas e terras na Amazônia se constituem como agentes modeladores, recriando as paisagens a cada movimento do rio em todo seu trajeto. São terras caídas, várzeas inundadas e outros processos, desencadeando mudanças no modo de vida dos povos da região.

Esses processos de enchentes e vazantes dos rios estão relacionados com os regimes de chuva em toda a sua bacia de contribuição, considerando um período que depende, entre outras características, da magnitude da bacia. Existe também importante influência exercida pelos grandes cursos d'água em seus afluentes. As variações no nível do rio Solimões, por exemplo, dependem das chuvas que ocorreram em toda a sua área de drenagem, que abrange desde a sua cabeceira, na região dos Andes peruanos, considerando uma defasagem de tempo da ordem de mais de um mês, tempo que a água pode levar para escoar dessa região até sua foz. Por consequência, esse grande volume de águas que chega ao “Encontro das Águas” (confluência entre os rios Negro e Solimões, na formação do Amazonas) é capaz de afetar o nível do rio Negro não só em Manaus, mas também vários quilômetros rio acima.

Observa-se, entretanto, que nos últimos dez anos foram registradas sete cheias extremas na Região Amazônica – quatro

das cinco maiores enchentes desde que se iniciaram as medições no Porto de Manaus, em 1903, ocorreram a partir de 2009. Verifica-se também, nos últimos anos, o aumento da amplitude entre o nível de águas durante as duas fases. Ou seja, as cheias atingem níveis cada vez mais elevados, e as secas cada são vez mais intensas. Hoje, a Amazônia passa de inundações extremas a estiagens severas de maneira abrupta.

Entre outros inúmeros impactos, as estiagens severas resultam na escassez de água, intensificando a ocorrência de doenças relacionadas à qualidade da água, e no isolamento das populações durante longos períodos, interferindo no acesso aos estabelecimentos de saúde e outras diversas necessidades, uma vez que os habitantes da região se locomovem basicamente pelas águas dos rios (Marengo; Souza Junior, 2018).

Já as inundações provocam impactos sociais, econômicos e ambientais que interferem nas condições de vida das comunidades e geram efeitos diversos sobre a saúde, incluindo aqueles que atingem as pessoas, os profissionais de saúde e a infraestrutura dos serviços de saúde. Podem reduzir ou até inviabilizar a capacidade de atendimento dos serviços de saúde, num momento em que a população pode ampliar a busca pelo atendimento. A dimensão desses efeitos está diretamente relacionada com as características dos eventos

e com a situação de vulnerabilidades e de resiliência da área atingida (Noji, 2000; Ahern *et al.*, 2005; Freitas *et al.*, 2014).

Nas inundações graduais, o risco à saúde se amplia, porque as pessoas geralmente permanecem nas áreas inundadas, em contato constante com a água, que pode estar contaminada devido às condições inadequadas de saneamento, aumentando o período de exposição e, por consequência, o risco sanitário. Dentre os problemas de saúde mais recorrentes, está o aumento da incidência de doenças de transmissão hídrica e alimentar, doenças transmitidas por vetores, acidentes com animais peçonhentos, choques elétricos e transtornos psicossociais (OPAS, 2000; Noji, 2000; Freitas *et al.*, 2014).

De acordo com as réguas do Porto de Manaus, o ano de 2010 registrou a marca de maior vazante histórica (13,63 metros), e o ano de 2021 registrou a marca da maior cheia histórica (30,02m). Apesar de haver uma série de variáveis responsáveis pelo regime hidrológico na região, principalmente associados aos fenômenos de aquecimento e resfriamento das águas do Oceano Pacífico (El Niño e La Niña), essa maior amplitude entre os níveis de enchente e vazante (cheias e secas cada vez mais extremas) e o menor intervalo de tempo entre a ocorrência de eventos extremos (aumento em sua frequência), segundo muitos pesquisadores, podem estar

associados às transformações globais decorrentes de uma mudança do clima já em curso.

Segundo o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2021), diversos estudos evidenciam tendências de mudanças na intensidade e frequência de alguns eventos extremos climáticos associados ao aquecimento global observado a partir de 1950. Entre os fatores relacionados a esses eventos estão as atividades antrópicas e o consequente desequilíbrio dos sistemas climáticos (IPCC, 2021).

QUANDO O FENÔMENO NATURAL SE TORNA UM DESASTRE

Os rios da Amazônia fazem parte e são definitivos para a dinâmica das comunidades que, tradicionalmente, concentraram-se às margens dos cursos d'água, devido à abundância de recursos naturais e ao fato de o rio ser a principal via de transporte para essas pessoas. Na região amazônica, quase todas as cidades são ribeirinhas, ocupando as planícies de inundação, e as sedes dos municípios estão situadas às margens dos rios. Com o processo de ocupação das margens de rios e a não priorização de ações de ordenamento territorial, os eventos associados à variação do nível do rio (cheias e vazantes) passaram a provocar impactos ambientais, econômicos, sociais

e à saúde, causando prejuízos às pessoas, ao patrimônio público, ao ambiente e aos bens coletivos e individuais, além de ampliar a demanda pelos serviços públicos, chegando a superar sua capacidade de atendimento, convertendo-se em uma emergência em saúde pública e, conseqüentemente, em um desastre (Silva, 2019).

De acordo com o United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), um desastre constitui qualquer evento ou situação que resulte em uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade em qualquer escala. Para que ocorra, é necessário que envolva sempre eventos ou processos iniciais tratados como perigos ou ameaças, que por sua vez interagem com as condições de exposição, vulnerabilidades e capacidades de respostas e de redução de riscos. Essas condições compõem um cenário de risco e, combinadas, resultam em perdas e impactos humanos (doenças e óbitos), materiais, econômicos e ambientais (UNDRR, 2020).

Portanto, os desastres podem ser compreendidos como a concretização de uma condição latente de risco, podendo esta ser sintetizada através da expressão: “Risco de desastre = Ameaça x Exposição x Vulnerabilidade / Capacidade de enfrentamento e resposta”. Ou seja, da relação direta entre a ameaça, exposição e vulnerabilidade, cujo resultado é

ponderado pela capacidade de enfrentamento e resposta (UNDRR, 2014).

Nesta equação, a ameaça se relaciona com as características dos eventos, situações ou processos físicos, os quais podem ser gerados pela dinâmica da natureza (meteorológicos, hidrológicos, climatológicos, biológicos, geofísicos/geológicos e extraterrestres) e/ou da sociedade (degradação ambiental ou ameaças tecnológicas, como os acidentes químicos e radionucleares, e colapso de obras civis). As ameaças podem ser individuais, combinadas ou sequenciais em suas origens e efeitos. Cada tipo de ameaça tem características que são específicas por sua localização, magnitude, intensidade, frequência e probabilidade (EIRD, 2005; Narváez; Lavell; Ortega, 2009).

Na saúde ambiental, a exposição é um conceito-chave, pois é o que permite estabelecer as possíveis inter-relações entre a população ou determinados grupos populacionais (crianças, idosos, mulheres etc.) e as situações ambientais alteradas por eventos físicos ou condições latentes de degradação ambiental. A exposição ocorre em contextos espaciais (país, estado, município, bairro, setor censitário, assentamento rural, distrito sanitário etc.) e temporais (dias, semanas, meses, anos) específicos (Freitas *et al.*, 2014).

A exposição não ocorre do mesmo modo em todos os lugares e para toda a população, sendo diferenciada pelas condições de vulnerabilidade. Essas condições de vulnerabilidade resultam tanto das condições socioeconômicas e de vida de determinados grupos populacionais em territórios específicos, como também da suscetibilidade de certas comunidades ou sociedades a sofrerem desastres. Ao mesmo tempo, essas mesmas condições de vulnerabilidade, que contribuem para aumentar os riscos de desastres e suas consequências, diminuem as capacidades de redução dos seus riscos nas comunidades e nas instituições (Saúde, Defesa Civil, Meio Ambiente, entre outras). A redução das condições de vulnerabilidade e o fortalecimento das capacidades de prevenção e respostas para reduzir os riscos dos desastres são fundamentais para aumentar a resiliência das comunidades e sociedades.

No contexto das inundações graduais, a ameaça se constitui pela elevação do nível das águas dos rios. Entretanto, como já mencionado, a conversão deste tipo de evento natural em uma ameaça para a população não está associada apenas ao fenômeno em si, mas sim a um cenário de risco específico, no qual exista uma população exposta em situação de vulnerabilidade e com insuficiente capacidade de resposta (por exemplo, falta de políticas públicas específicas e direcionadas) diante desses eventos.

Desastres decorrentes de inundações provocam impactos diretos e indiretos sobre a vida das pessoas, que podem perdurar ao longo do tempo. As dimensões dos danos estão relacionadas às condições de vulnerabilidade, intensidade e duração das exposições, capacidades de prevenção e de resposta e resiliência das comunidades e setor saúde nas localidades atingidas. Quanto mais vulnerável e menos resiliente a comunidade, maior será o impacto. A depender das vulnerabilidades sociais, da exposição e da capacidade de resposta de cada localidade, as consequências ambientais, econômicas e sociais serão distintas.

Como os desastres estão ligados às condições de risco da localidade, faz-se necessário conhecer esses riscos e suas especificidades para priorizar políticas públicas com vistas para uma gestão de risco de desastres. É necessário que se adotem medidas inter e intrasetoriais, multidisciplinares, contínuas e permanentes, em especial no âmbito da vigilância e da atenção à saúde no SUS, para que os serviços de saúde tenham capacidade necessária para desenvolver ações de redução do risco, de resposta aos eventos e de recuperação dos seus efeitos (OPAS, 2000; Freitas *et al.*, 2014; Brasil, 2017).

As secretarias de saúde e outras instituições envolvidas na preparação e resposta aos desastres devem investir em ações de gestão do risco, principalmente nas ações antecipadas e

direcionadas à preparação, para atuar de forma oportuna e observar, nesse processo, as características e necessidades locais e regionais. Quanto mais organizado o processo de preparação e resposta às inundações graduais, maiores serão as condições de superar os problemas e recuperar sua capacidade de atuação e menores serão os impactos sobre a saúde da população e sobre os serviços de saúde

Desta forma, é primordial que haja uma avaliação e reconhecimento da ameaça, das populações expostas, das condições de vulnerabilidade e das capacidades de resposta locais, para que as políticas públicas possam ser direcionadas de acordo com as necessidades e demandas dos diferentes grupos populacionais afetados nesses tipos de desastres. Neste sentido, no presente capítulo apresentamos uma proposta de construção de um Índice de Criticidade que possa servir como subsídio para o planejamento intra e intersectorial, partindo do setor saúde, voltado para a gestão do risco de desastres associados a inundações graduais na Amazônia Legal.

MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha do recorte territorial da Amazônia Legal (AML) (Figura 1) como área de estudos, que abrange todo o bioma Amazônico, abarca o objetivo de subsidiar políticas públicas para a região, tendo em vista que este recorte é resultado

de um conceito político que corresponde à área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM⁹.

O território da AML envolve 772 municípios¹⁰, abrange quase 60% do território brasileiro (5.015.067,86 km²) e, segundo o Censo IBGE de 2010, concentrava cerca de 13% da população do país (24.375.726 habitantes).

Figura 1 - Figura de localização do território da Amazonia Legal



Fonte: IBGE (2010).

9 Delimitada em consonância ao Art. 2o da Lei Complementar n. 124, de 03.01.2007.

10 Os estudos apresentados nesse capítulo utilizaram o recorte de 771 municípios, tendo em vista que os dados do Censo IBGE de 2010 não contabilizou o desmembramento do município de Santarém efetivado em 2014.

A construção do Índice de Criticidade para Inundações Graduais dos Municípios da AML frente à Resposta do Setor Saúde (ICM-IG) seguiu uma linha metodológica voltada para a análise integrada de variáveis que compõem o espaço geográfico e que, combinadas, formam um cenário de risco. O objetivo é o desenvolvimento de modelos de análises sobre aspectos das ameaças, das vulnerabilidades sociais e da capacidade de resposta do setor saúde, para a definição de níveis de criticidade para inundações graduais na escala municipal. Essa metodologia está baseada em uma análise multicritério, realizada com o apoio de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), especificamente o software ArcGis 10.4.

Os materiais e métodos utilizados foram norteados, também, pela possibilidade de replicá-los em outros estudos similares. Deste modo, foram utilizados dados secundários, disponibilizados por instituições oficiais e de reconhecida capacidade técnica.

Inicialmente, foram realizados esforços de levantamento de fontes de informação de agências governamentais, para identificar indicadores que ilustrassem cada uma das dimensões da equação do risco de desastres associados a eventos de inundações graduais no território da AML, assim como, a capacidade de resposta do Sistema Único de Saúde (SUS).

Os dados e informações selecionados foram adquiridos nos sítios da internet da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e no portal de Informação e Gestão da Atenção Básica (e-Gestor/MS) do Ministério da Saúde. Estes, posteriormente, foram organizados, editados e sistematizados para comporem uma Base de Dados Geoespaciais (BDG), de forma a permitir exercícios de geoprocessamento e análises espaciais em ambiente SIG com vistas à construção de modelos de análises que vieram a subsidiar a elaboração do ICM-IG.

Com a BDG estruturada, as informações e dados foram trabalhados em ambiente SIG para comporem indicadores e/ou índices de ameaça, exposição, vulnerabilidade e capacidade de respostas do setor saúde, além de apoiar na classificação dos municípios da AML segundo o perfil demográfico, com o objetivo de serem adequadamente aplicados ao modelo conceitual elaborado para o ICM-IG.

O modelo conceitual do índice de criticidade frente às inundações graduais para os municípios da AML foi baseado na equação de riscos de desastres, diferindo apenas na ponderação da ameaça pela capacidade de resposta do setor saúde, sendo assim expressa:

$$\text{ICM-IG} = \text{FQ\_IN} \times (\text{\%POP\_EXP} \times \text{IVS}) \\ \text{\%POP\_COB\_AB}$$

Onde:

FQ_IN = Indicador de Frequência de Inundação Municipal (Fontes: Censo IBGE, 2010, ANA, 2014).

\%POP_EXP = Indicador do percentual da população exposta (Fontes: Censo IBGE, 2010, ANA, 2014).

IVS = Índice de Vulnerabilidade Social (Fonte: Ipea, 2015).

\%POP_COB_AB = Indicador da população coberta pela Atenção Básica (Fonte: e-Gestor/MS).

Tendo em vista que cada um desses parâmetros (indicadores e índices) apresentam uma variação interna e diferentes potenciais para criticidade, foi necessário estabelecer pesos para cada uma das possíveis variações (classes) de cada parâmetro. Nesse sentido, foi utilizada uma metodologia analítica-integrativa apoiada em SIG, cujo processo de integração e ponderação de classes foi realizado utilizando o método Analytic Hierarchy Process (AHP), criado na década de 1970 (Saaty, 1980) e largamente utilizado para apoiar a tomada de decisão em problemas com múltiplos critérios (Costa, 2002).

Ao realizar as comparações, as decisões foram tomadas utilizando dados concretos e avaliações subjetivas sobre a

importância das categorias referentes a determinado nível hierárquico, atribuindo valores às categorias em comparação a outra categoria. Dessa forma, este método permitiu incorporar julgamentos qualitativos e não apenas as informações quantitativas, convertendo tais julgamentos em valores numéricos que possibilitaram comparações.

As categorias auferem valores de importância 1 a 9 em comparação com outra categoria, conforme tabela abaixo.

Tabela 1: Escala de comparação

Valores	Graus de Preferência
1	Mesma importância
3	Importância moderadamente maior
5	Importância fortemente maior
7	Importância muito fortemente maior
9	Importância extremamente maior
2, 4, 6, 8	Valores para utilização quando não há consenso sobre os valores acima

Fonte: Saaty e Vargas (1991).

Nesse sentido, cada parâmetro teve suas próprias classes avaliadas através de comparação pareada (peso das classes) e, posteriormente, foram, da mesma forma, avaliados segundo sua criticidade aos eventos de inundações graduais na

perspectiva do setor saúde em relação ao demais parâmetros (peso dos mapas).

Portanto, o peso final de cada parâmetro do ICM-IG compreende os pesos de suas classes multiplicadas pelo peso atribuído a seu próprio parâmetro. A exemplo: Parâmetro Ameaça = (Pesos de cada classe Ameaça x Peso do mapa Ameaça).

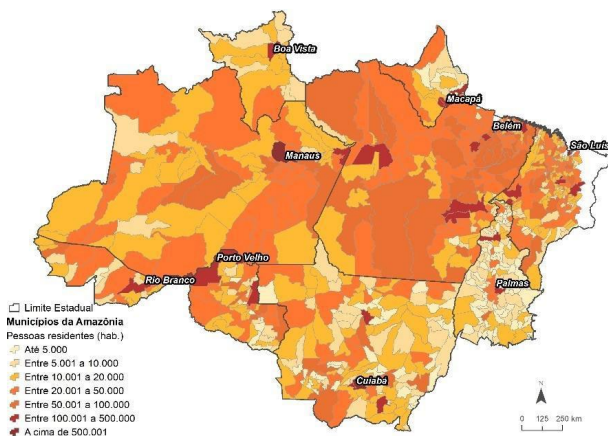
A divisão das classes de todos os mapas (ameaça, exposição, vulnerabilidade e capacidade de resposta) produzidos nesse estudo foi realizada a partir do método de agrupamento de dados de “Quebra Natural” (Natural Breaks), desenvolvido por Jenks (1977) e projetado para determinar a melhor organização dos valores em diferentes classes, de forma a reduzir a variação nas classes e maximizar a variação entre as classes.

Com a perspectiva de apoiar as análises e subsidiar a formulação de políticas públicas e a própria resposta do setor saúde, os produtos gerados pelo estudo (tabelas e geodados) incorporaram informações sobre o perfil demográfico dos municípios da AML. Dessa forma, os municípios foram classificados segundo seus portes populacionais, seguindo as mesmas classes utilizadas pelo IBGE para o Perfil dos

Municípios Brasileiros¹¹. Esse processo foi realizado através da agregação dos Setores Censitários do Censo Demográfico de 2010 (IBGE), contendo o número de pessoas residentes em cada um desses setores, para os recortes dos municípios inseridos da AML.

A primeira figura (Figura 2) ilustra as diferentes faixas de porte populacional, já a segunda (Figura 3) é resultado da agregação das diferentes faixas em classes de porte populacional municipal.

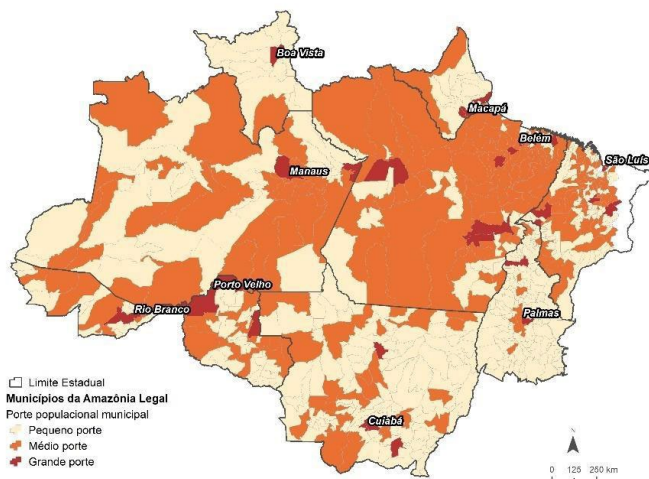
Figura 2 - Mapa das faixas de porte populacional municipal e Figura das classes de porte populacional



Fonte: Censo (IBGE, 2010).

11 O porte populacional classifica os municípios entre pequeno porte (com menos de 25 mil habitantes), médio porte (municípios com 25 a 100 mil hab.) e grande porte (municípios com mais de 100 mil hab.).

Figura 3 - Mapa das classes de porte populacional



Fonte: Censo (IBGE, 2010).

Como citado anteriormente, a escolha dos indicadores e índices que vieram a compor o ICM-IG buscou identificar aspectos voltados para as análises da ameaça, exposição, vulnerabilidades e capacidade de resposta do setor saúde. A seguir serão apresentadas detalhadamente as informações de cada elemento do ICM IG.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O indicador que veio a compor o parâmetro da ameaça foi elaborado com base no geodado em formato vetorial (linha)

referente aos trechos de rios¹² inseridos na AML, classificados segundo a recorrência de inundações graduais (alta, média e baixa)¹³, disponibilizados pela ANA (2014).

Tendo em vista que esse geodado foi elaborado para escala cartográfica de 1:1 milhão e apresentou mais de um trecho de rio e de classes de frequência para um mesmo município, a classe de frequência dessa ameaça foi definida sob o critério da classe (dos conjuntos de trechos de rios) que apresentou o maior percentual da população municipal nela inserida. Esse percentual foi elaborado a partir do cruzamento dos setores censitários do Censo IBGE de 2010 (com os dados da população residente), com os trechos de rios classificados segundo a frequência de inundação (ANA, 2014)¹⁴. A partir daí, foi possível identificar o número de pessoas residentes por trecho de rio segundo classes de frequência de inundação,

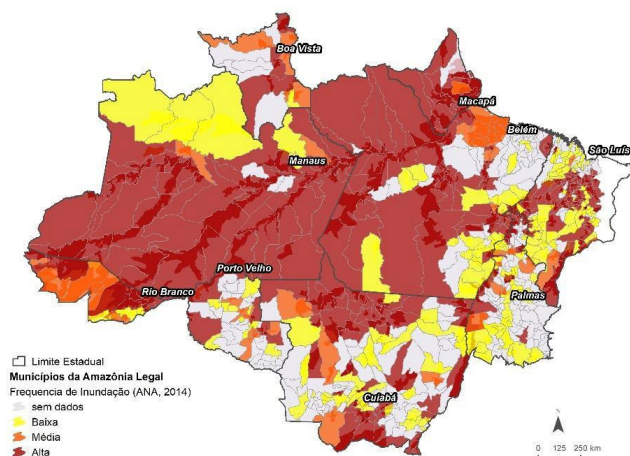
12 Os trechos de rios foram definidos como “segmento entre uma foz e sua confluência, ou segmento entre confluências, ou segmento entre uma confluência e sua nascente” (ANA, 2014. p. 5).

13 Para classificar a recorrência (frequência) de inundações graduais, o referido Atlas estabeleceu os seguintes critérios: foram estabelecidos: Classe Alta (Eventos de inundações graduais observados em um período inferior a cinco anos), Classe Média (Eventos de inundações graduais observados no intervalo de cinco a dez anos) e Classe Baixa (Há mais de dez anos não são observados eventos de inundação) (ANA, 2014).

14 Para reduzir o erro da escala cartográfica 1: 1 milhão, os trechos de rios disponibilizados no Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (ANA, 2014) foram vetorialmente convertidos de linhas para polígonos através da geração do *Buffer* de 200 metros sobre os trechos de rios.

cujos valores foram ponderados pelo número total de habitantes em cada município, gerando assim, o percentual de pessoas residentes por classe de frequência de inundação¹⁵. Esse valor foi integrado no recorte municipal para que fosse gerado o mapa de frequência de inundações graduais para os municípios da AML (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de frequência de inundações graduais nos municípios da AML



Fontes: Censo (IBGE, 2010; ANA, 2014).

15 Os setores que não apresentaram frequência de inundação, tanto por não serem intersectados por trechos de rios classificados pela ANA (2014), quanto por não possuírem mais de uma pessoa residente, receberam a classe “sem dados” no mapa.

Dessa forma, esse parâmetro refletiu a frequência da ameaça com base no inventário de ocorrências de inundações graduais no período de 10 anos. Os valores atribuídos às três classes (Figura 3) seguiu o critério de priorização da maior frequência para menor (“Alta” = 0,538; “Média” = 0,270; “Baixa” = 0,157 e “Sem dados” = 0,035).

A possibilidade de se estabelecer um indicador relativo à frequência de inundações nos trechos de rios, graças ao banco de dados de eventos ocorridos, aumenta a capacidade de resposta do Setor Saúde, à medida que favorece uma ação prospectiva e preventiva de preparação para futuros momentos de emergência. Por exemplo, um trecho de rio com alta frequência de inundação, a depender do contexto em que os outros fatores de risco se apresentam (exposição e vulnerabilidade), pode vir a apresentar uma elevada demanda por atendimentos em saúde em momentos de cheias do rio, devendo o Setor Saúde estar preparado, com adequada alocação de recursos de resposta, tanto em termos estruturais, quanto em termos de equipes e materiais voltados para o atendimento dos possíveis impactos à saúde.

Por outro lado, é fundamental que a alocação destes recursos seja planejada considerando as áreas inundáveis, também, por isso, o indicador se torna relevante. Essa informação pode ser destinada a reduzir a vulnerabilidade do

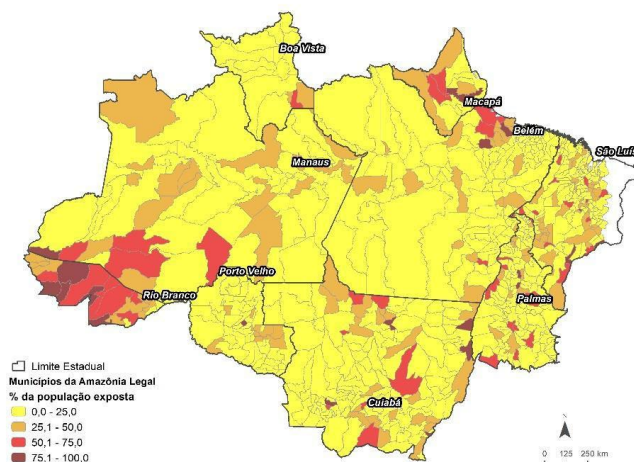
próprio Setor Saúde durante esses eventos, evitando que seus estabelecimentos sejam atingidos pelas águas do rio. Entretanto, é importante ressaltar que a qualidade dos dados disponíveis pode se tornar uma limitação para a aplicação do ICM. A ausência de dados em pequena escala torna inviável a previsão das áreas inundáveis e a aplicação deste indicador, por exemplo, para o planejamento da alocação dos recursos físicos do Setor Saúde.

O **parâmetro da exposição** foi elaborado com base nos valores da população municipal por classe de frequência de inundação produzido para o mapa de ameaça. As pessoas residentes inseridas em setores censitários que apresentaram alguma das três classes de frequência de inundação compuseram o valor total de pessoas expostas por município, que, por sua vez, foram ponderadas pela população total do respectivo município, gerando o percentual da população exposta às inundações em cada município da AML.

Esses resultados percentuais foram classificados em quatro classes de acordo com o valor percentual (Figura 5). Cabe ressaltar que os municípios que não apresentaram setores censitários intersectados por trechos de rios mapeados pela ANA (2014), ou que não possuíam pessoas residentes nos setores intersectados por trechos mapeados, foram inseridos na classe de 0 a 25%. Os pesos dados às classes do parâmetro

de exposição seguiram o critério de priorização: quanto maior o percentual de residentes municipais expostos, maior o peso atribuído à classe.

Figura 5 - Mapa do percentual da população exposta às inundações graduais nos municípios da AML



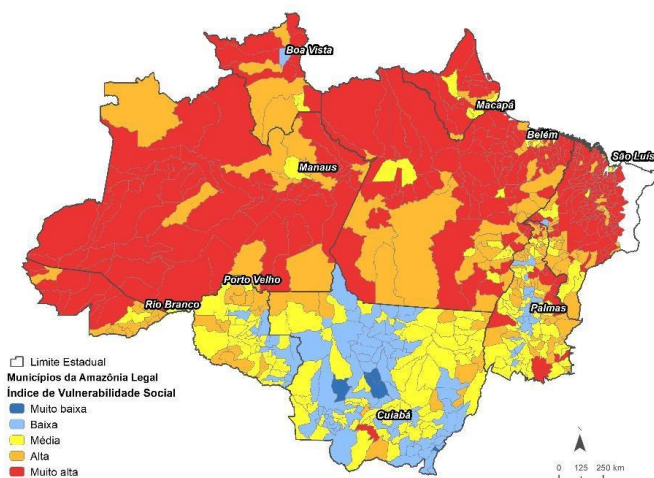
Fonte: Censo (IBGE, 2010; ANA, 2014).

Para o **parâmetro de vulnerabilidade** foram utilizados os dados tabulares do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), do Atlas da Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros (IPEA, 2015)¹⁶. Esses dados tabulares, originais em formato Excel, foram associados ao geodado vetorial (polígono) dos

16 Para maiores informações sobre as dimensões que compõem esse Índice, acessar: <http://ivs.ipea.gov.br/index.php/pt/>

municípios da AML que, posteriormente, foram agregados segundo as cinco classes de intervalo definidas no Atlas do IPEA (Figura 6), cuja definição dos pesos de cada classe seguiu o critério de atribuição do maior peso para a classe de maior vulnerabilidade (“Muito alta” = 0,466; “Alta” = 0,301; “Média” = 0,146; “Baixa” = 0,056 e “Muito baixa” = 0,030).

Figura 6 - Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social Municipal - IVS



Fonte: IPEA (2015).

Da mesma forma que o indicador referente à ameaça é importante para aprimorar a capacidade de preparação para a resposta do Setor Saúde, também, e principalmente, são importantes os indicadores de exposição e de vulnerabilidade.

Isto porque, em termos de ameaça, num contexto de mudanças climáticas, cada vez maiores são as incertezas. E, apesar de um bom inventário de eventos ocorridos favorecer a preparação em termos de conhecimento sobre o evento, as alterações no clima têm tornado os eventos cada vez mais extremos e cada vez menos previsíveis.

Sendo assim, a maneira através da qual o Setor Saúde pode ter as bases mais concretas para apoiar suas tomadas de decisão, e seus planejamentos em termos de capacidade de resposta às demandas e necessidades das populações diante dos possíveis impactos à saúde, decorrentes das inundações graduais, é a partir de um conhecimento robusto sobre o território. Ou seja, onde estão essas pessoas? Quantas são essas pessoas? O Setor Saúde deve ter este levantamento sempre atualizado, e a utilização do proposto índice de criticidade pode auxiliar na sistematização destas informações.

Além disso, é fundamental uma compreensão das condições sob as quais estas pessoas se encontram naquele determinado local, pois, como já mencionamos, as condições de vulnerabilidade alteram a exposição das populações aos possíveis impactos à saúde. O índice proposto pelos autores neste capítulo utiliza o IVS do IPEA. Entretanto, quanto mais detalhados os dados, mais acurada se tornará a aplicação do ICM. Desta forma, o ideal seria que o próprio município

desenvolvesse uma base dados com informações sobre o território. Ou seja, com informações relevantes sobre quais condições as pessoas expostas ocupam esses locais, quais são as condições de moradia, de locomoção (exige contato direto com as águas contaminadas?), de saneamento básico, de consumo de água, entre outras. Os Agentes Comunitários de Saúde possuem informações valiosas sobre o território e podem auxiliar neste sentido.

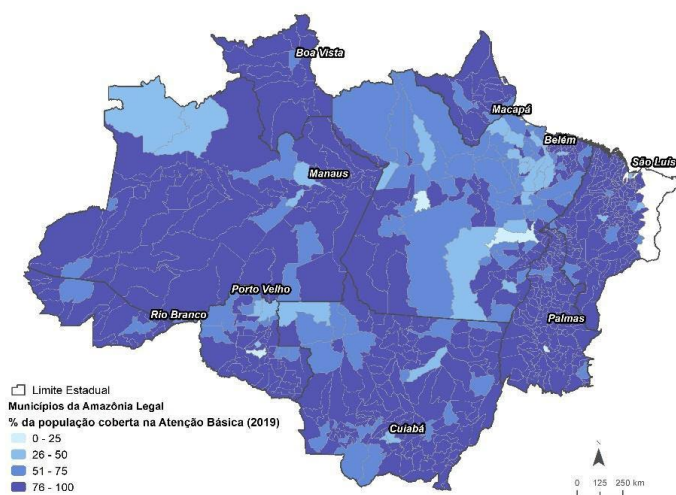
Por fim, o parâmetro da capacidade de resposta do setor saúde foi elaborado com base nos dados da estimativa do percentual da população municipal coberta pelas equipes de Atenção Básica (AB) para o mês de julho de 2019 (e-Gestor/MS)¹⁷. Este indicador é utilizado para o monitoramento do acesso aos serviços de Atenção Básica, com vistas ao fortalecimento do planejamento do Sistema Único de Saúde (SUS) e à implementação do Contrato Organizativo da Ação Pública da Saúde (Coap). Cabe ressaltar que esse indicador consta no Caderno de Diretrizes, Objetivos, Metas e Indicadores para os anos de 2017-2021.

Os dados tabulares adquiridos (e-gestor/MS), originais em formato Excel, foram associados ao geodado vetorial (polígono) dos municípios da AML e agregados segundo

17 Para maior aprofundamento sobre esse indicador, acessar: https://www.proadess.icict.fiocruz.br/index.php?pag=fic_mu&cod=A55&tab=1

cinco classes (Figura 7), cujos pesos atribuídos refletiram a importância da capacidade de resposta, seguindo a classe de maior percentual da população municipal coberta para a menor ($75 \text{ a } 100 = 0,565$; $50 \text{ a } 75 = 0,284$; $25 \text{ a } 50 = 0,110$ e $0 \text{ a } 25 = 0,041$).

Figura 7 - Mapa da cobertura da Atenção Básica dos municípios da AML

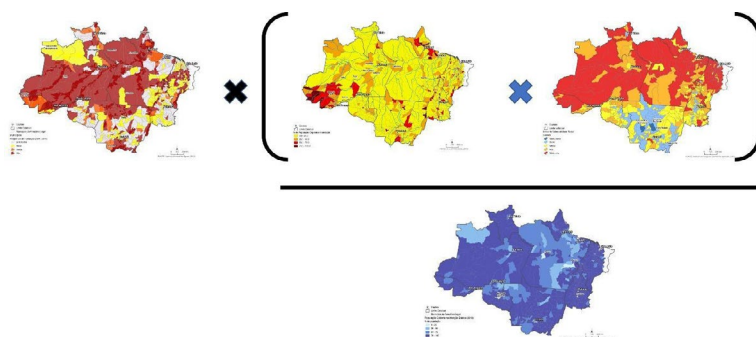


Fonte: e-Gestor/MS (Ano).

Para estabelecer os níveis de criticidade para os municípios da AML, foram realizados cálculos matemáticos, em ambiente SIG, a partir do cruzamento dos parâmetros apresentados anteriormente, cujos pesos atribuídos para cada uma de suas classes foram multiplicados pelo peso atribuído para o

referente parâmetro, de forma a aplicar, por fim, a equação do modelo conceitual do ICM-IG, também ilustrada pela figura 8 abaixo.

Figura 8 - Figura de composição do Índice de Criticidade Municipal a eventos de Inundações Graduais.



Fonte: Autoria própria.

O cálculo do Índice de Criticidade para Inundações Graduais dos Municípios da Amazônia Legal frente à Resposta do Setor Saúde teve como base a priorização dos parâmetros observados na tabela 2:

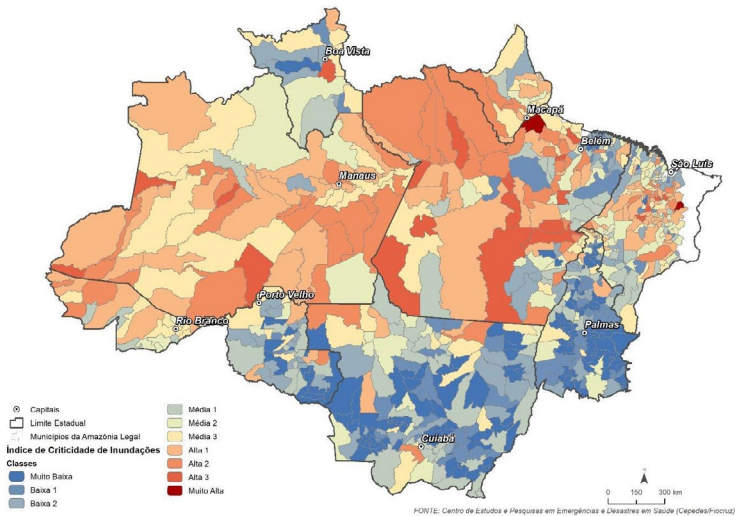
Tabela 2: Pesos dos parâmetros do Índice de Criticidade para Inundações Graduais dos Municípios da Amazônia Legal frente à Resposta do Setor Saúde

Parâmetros do ICM-IG	Pesos de priorização dos parâmetros (pesos dos mapas)
Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social	0,457
Mapa do percentual da população exposta	0,268
Mapa de cobertura da Atenção Básica	0,214
Mapa de frequência de inundações graduais	0,060

Fonte: ICM-IG.

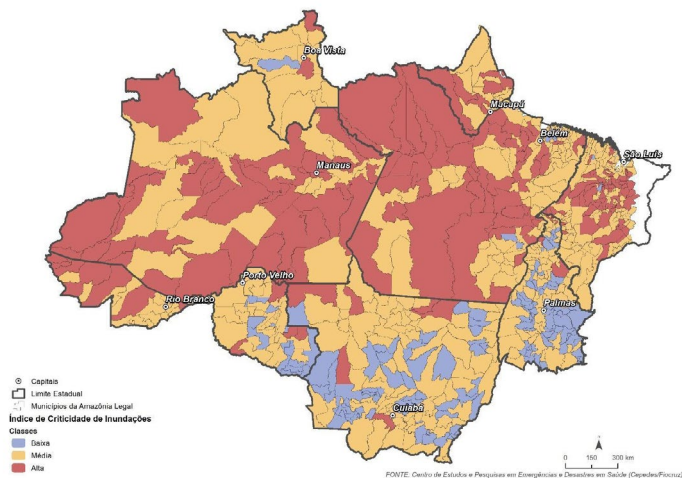
Como resultado, foram obtidos, para cada um dos municípios da AML, valores que foram classificados segundo o método de “quebras naturais” Jenks (1977) em 10 classes (Figura 9). Essas, posteriormente, foram agregadas em três classes de criticidade, que vieram a compor o mapa final do ICM-IG (Figura 10).

Figura 9 - Mapa do Índice de Criticidade Municipal a eventos de Inundações Graduais com 10 classes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Mapa Final do Índice de Criticidade Municipal a eventos de Inundações Graduais



Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para uma análise adequada da metodologia proposta para a identificação de níveis de criticidade municipais a eventos de inundações graduais, em que devem ser priorizadas ações de preparação e resposta do setor saúde, é fundamental situar os leitores quanto à representatividade dos resultados em termos dos parâmetros utilizados, possibilitando que avaliem o índice proposto nesse estudo quanto à sua validade

científica e utilidade e aplicabilidade prática na formulação de políticas públicas.

Os resultados do ICM-IG têm forte influência da classificação do Índice de Vulnerabilidade Social do IPEA (2011), pois esse é o parâmetro de maior peso no índice – o que demonstra a importância dessa variável, especialmente para a perspectiva da Redução de Riscos de Desastres (RRD).

A metodologia desenvolvida pode ser adaptada por instituições interessadas, também no sentido de detalhar e enriquecer a análise, permitindo uma maior confiabilidade dos dados, sobretudo por conta das diferentes temporalidades dos dados e escalas cartográficas utilizadas. Recomenda-se, portanto, conferir a disponibilidade de informações em melhor escala e data de produção dos dados para a área da AML e, assim, refazer a análise utilizando os critérios sugeridos nesse estudo.

O ICM-IG têm por base os limites municipais, no entanto, ao se implementar ações intramunicipais é recomendável abordar a distribuição e qualidade das estruturas e força de trabalho ligadas ao setor saúde, que podem, ainda, ser cruzadas com os dados disponíveis para o recorte de setores censitários (como realizado em parte desse estudo), ampliando o impacto e eficiência na formulação de ações de preparação e resposta do SUS.

É recomendado o refinamento desse Índice com a inclusão de dados, quando existentes, sobre a governança territorial do setor saúde (em especial no âmbito da vigilância e da atenção à saúde) e sobre as dimensões associadas ao parâmetro de vulnerabilidade, como os relacionados ao perfil sociodemográfico e de saúde, de forma a melhor articular as capacidades de preparação e resposta desse setor para a redução da exposição e vulnerabilidades dos grupos populacionais municipais.

A metodologia de análise e priorização proposta neste artigo constitui uma ferramenta estratégica para o planejamento de ações voltadas à RRD, e que tenham o propósito de contribuir na construção de estratégias do setor saúde frente à ameaça das inundações graduais nos municípios da AML. Sua adaptação e utilização por gestores públicos e tomadores de decisão têm o potencial de dar maior assertividade e eficiência no processo de alocação de recursos na escala regional e municipal, contribuindo, portanto, para a formulação e implementação de políticas públicas.

Por se tratar de uma metodologia replicável, a partir de poucas adaptações, baseada em dados públicos que são periodicamente atualizados (em grande parte), é possível fazer atualizações desse Índice. De qualquer modo, como observam Freitas e Giatti (2009), os dados disponíveis devem

ser compreendidos como algo análogo a uma fotografia de uma região que é o resultado da junção de diferentes partes de outras fotos da mesma região tiradas em momentos distintos e com distintos padrões de qualidade, como validade, confiabilidade, cobertura, sensibilidade e especificidade, o que é uma limitação. Porém, o trabalho com indicadores e índices exige o constante desenvolvimento de propostas e modelos que possam subsidiar discussões em diferentes escalas, desde que bases de dados mais detalhadas estejam disponíveis para as escalas territoriais que forem definidas. Isso ocorre para diversos estados da federação ou mesmo os recortes territoriais de saúde e as malhas territoriais do Censo Demográfico.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas de vulnerabilidade a inundações**. Brasília, DF: ANA, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Guia de preparação e resposta à emergência em saúde pública por inundação**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em http://bvsmis.saude.gov.br/bvsmis/publicacoes/guia_preparacao_respostas_emergencia_saude_publica_inundacao.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica**: análise multicritério no auxílio à decisão. Niterói: H.G.C., 2002.

COSTA, M. A.; MARGUTI, B. O. **Atlas da vulnerabilidade social nas regiões metropolitanas Brasileiras**. Brasília, DF: Ipea, 2015.

FREITAS, C. M.; GIATTI, L. Indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde na Amazônia Legal, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 6, p. 1.251-1.266, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/i/2009.v25n6/>. Acesso em: 19 set. 2024.

FREITAS, C. M.; MIRANDA, E. S.; OSORIO-DE-CASTRO, C. G. S. A redução dos riscos de desastres naturais como desafio para a saúde coletiva. **Ciência e Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 19, p. 3.628-3.628, 2014. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/37983>. Acesso em: 19 set. 2024.

FREITAS, C. M. *et al.* Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 19, n. 9, p. 3.645-3.656, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/qXzXxxhczq66WnKnZfbtdMk/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 19 set. 2024.

IPCC. Summary for Policymakers. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: In Press, 2021.

JENKS, G. F. **Optimal data classification for choropleth maps**. 2. ed. Kansas: University Kansas, 1977.

MARENGO, J. A.; SOUZA JR, C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. São Paulo: Alana, 2018. Disponível em: https://www.oamanhae hoje.com.br/assets/pdf/Relatorio_Mudancas_Climaticas-Amazonia.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

NARVÁEZ, L.; LAVELL, A. N.; ORTEGA, G. P. **La gestión del riesgo de desastres: un enfoque baseado en procesos**. Lima: Secretaria General de La Comunidad Andina, 2009.

NOJI, E. K. (ed.). **Impacto de los Desastres en la Salud Pública**. Bogotá: Organización Panamericana de la Salud, 2000.

OPAS. Organización Panamericana de la Salud. **Los desastres naturales y la protección de la salud**. Washington: Organización Panamericana de la Salud, 2000. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/748>.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction, Projection and Forecasting**. Boston: Kluwer Academic, 1991.

SILVA, E. L. E. **Transversalidade das políticas públicas na gestão de risco de inundações**. 2019, 180 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/39244/1/2019_ElianeLimaSilva.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

UNDRR. Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. **UNDRR**, 2005. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/hyogo-framework-action-2005-2015-building-resilience-nations-and-communities-disasters>. Acesso em: 6 maio 2025.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Disaster. **UNDRR**. 2020. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology/disaster>. Acesso em: 19 set. 2024.

9

SECA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL: a construção de um índice de criticidade para os municípios frente à resposta do setor saúde

Flavio Souza Brasil Nunes

Tais de Moura Ariza Alpino

Carlos Machado de Freitas

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vêm causando cada vez mais danos à saúde humana e intensificando problemas ambientais, sociais e econômicos preexistentes. A temperatura global está 1,2°C acima dos níveis pré-industriais, e há claras evidências de que ações humanas, principalmente a poluição atmosférica causada pelas emissões de gases de efeito estufa, desmatamento e uso de matrizes energéticas não renováveis, têm provocado mudanças significativas no clima. Dessa forma, as mudanças

climáticas podem levar cerca de 100 milhões de pessoas à pobreza e a situações de vulnerabilidades nos próximos dez anos (Aquino *et al.*, 2019).

Um dos impactos imediatos observados no complexo sistema das mudanças climáticas é o aumento na frequência e magnitude de eventos extremos, como ondas de calor, chuvas intensas e secas em algumas regiões. Logo, os desastres podem ser considerados como a materialização das mudanças climáticas (Sena; Corvalán, 2022).

Entretanto, para que um desastre ocorra, é necessário que envolva eventos ou processos iniciais considerados perigos ou ameaças, que, por sua vez, interagem com as condições de exposição, vulnerabilidades e capacidades de resposta e redução de riscos. Essas condições compõem um cenário de risco que, quando combinadas, resultam em perdas e impactos humanos (doenças e óbitos), bem como materiais, econômicos e ambientais (Narvaéz *et al.*, 2009; UNDRR, 2020; Freitas *et al.*, 2021). Destaca-se que, quando um desastre ocorre, não apenas atualiza um cenário de risco latente e já existente, mas também produz simultaneamente novos cenários de risco (Freitas *et al.*, 2021).

Os desastres podem ser compreendidos como a concretização de uma condição latente de risco, que pode ser sintetizada pela expressão: “Risco de desastre = Ameaça x

Exposição x Vulnerabilidade / Capacidade de enfrentamento e resposta”. Ou seja, a relação direta entre ameaça, exposição e vulnerabilidade, cujo resultado é ponderado pela capacidade de enfrentamento (UNDRR, 2014). Essa capacidade envolve um conjunto de fatores e condições físicas e sociais que, combinados, se constituem em fatores de riscos de desastres (OPAS, 2015; Freitas *et al.*, 2021).

As ameaças/perigos envolvem os eventos ou processos detonadores, que podem ser gerados tanto pela dinâmica da natureza (meteorológicos, hidrológicos, climatológicos, biológicos, geofísicos/geológicos e extraterrestres) quanto pela sociedade (degradação ambiental, mudanças climáticas ou ameaças tecnológicas como os acidentes químicos e radionucleares). Esses eventos podem ocorrer de forma individual, combinada ou sequencial, em suas origens e efeitos. Cada tipo de ameaça possui qualidades específicas em termos de localização, magnitude, intensidade, frequência e probabilidade (Narvaéz *et al.*, 2009; Freitas *et al.*, 2021).

A exposição é outro conceito-chave, pois diferentes indivíduos e populações podem ser atingidos por eventos ou processos ambientais, transmissão e infecção por agentes biológicos, ou contaminação por agentes químicos ou radio-nucleares. A exposição não é estática, ela ocorre em contextos espaciais (país, estado, município, bairro, setor censitário,

assentamento rural, distrito sanitário, etc.) e em períodos temporais definidos (dias, semanas, meses, anos) (Rocha; Londe, 2021). Da mesma forma, ecossistemas, sistemas e meios de subsistências agrícola podem ser expostos e afetados por diferentes tipos de desastres e seus impactos (UNDRR, 2021).

É importante ressaltar que os desastres não ocorrem da mesma forma para todas as populações e territórios, eles variam de acordo com as condições de vulnerabilidade, que podem intensificar seus impactos nas condições de vida e saúde das populações (OPAS, 2015). Freitas *et al.* (2021) consideram que essas condições de vulnerabilidade resultam da combinação entre os processos sociais e mudanças ambientais, o que pode ser denominado vulnerabilidade socioambiental.

Nesse sentido, as condições de vulnerabilidade correspondem a expressões particulares de processos sociais, políticos e econômicos, como falta de trabalho, renda, educação, saneamento e água, além condições biológicas (idosos, mulheres, gestantes, crianças) e ambientais mais amplas (mudanças ambientais e climáticas resultantes da degradação ambiental – uso e tipo de solo, poluição de ar, solo e água, desmatamento), que podem gerar desigualdades e iniquidades nas condições de vida (Freitas *et al.*, 2021).

Essas expressões e condições funcionam com forças motrizes, influenciando e potencializando os impactos dos

desastres nas condições de vida e saúde dos indivíduos e populações. Para exemplificar, quanto maior a intensidade e frequência dos eventos extremos, mais famílias e indivíduos em condições de vida precárias sofrerão com impactos severos, como fome, diversos problemas de saúde e intensificação de um ciclo vicioso de pobreza (Rocha; Londe, 2021).

Ao mesmo tempo, essas mesmas condições de vulnerabilidades, que contribuem para aumentar os riscos de desastres e suas consequências, reduzem a capacidade das comunidades e instituições de mitigarem esses riscos (Saúde, Defesa Civil, Meio Ambiente, entre outras (Freitas *et al.*, 2021).

O último elemento fundamental para a compreensão do risco de desastres é a capacidade de resposta e de redução desses riscos. Ela está intrinsecamente ligada às condições de vulnerabilidade, que, por sua vez, relacionam-se com processos políticos e sociais que limitam os recursos institucionais, financeiros e políticos, além de afetarem as habilidades e a infraestrutura necessárias para diminuir os níveis de riscos (Freitas *et al.*, 2021).

Em síntese, para que um desastre ocorra, é preciso que haja a combinação de uma ameaça (natural e/ou tecnológica), diferentes níveis de exposição, condições de vulnerabilidade e insuficiente capacidade de resposta. Essas são as medidas

necessárias para reduzir as potenciais consequências negativas do risco, conforme afirmam Rocha e Londe (2021).

Os desastres podem causar diversos impactos, desde perdas econômicas e ambientais até danos materiais e humanos, incluindo efeitos na saúde, no bem-estar e até mesmo mortes. Dependendo da magnitude dos impactos, muitas vezes esses eventos podem resultar em emergências em saúde pública, exigindo um maior esforço e capacidade de preparação e resposta (OPAS, 2015).

No Brasil, entre os desastres deflagrados por processos naturais, a seca é historicamente considerada o principal (Brasil, 2022), com episódios registrados desde o período colonial. Seus efeitos são severos, como a Grande Seca de 1877 a 1879, cujas estimativas de mortes variam de 100 a 500 mil, além de resultar em doenças e migrações populacionais (Buriti; Barbosa, 2018; Machado Neto, 2022).

A seca é definida como um evento climático extremo, caracterizado por precipitação abaixo da média normal por um período que pode variar de meses a anos, acompanhada de elevada evaporação e competição por recursos naturais, o que provoca um desequilíbrio hídrico e impactos no meio ambiente e na saúde humana. Diferentemente de outros eventos extremos, visíveis e destrutivos, como deslizamentos e inundações, a seca avança de forma lenta e silenciosa ao

longo do tempo, com impactos que, apesar de intensos, não são visíveis a curto prazo (Sena *et al.*, 2014; UNDRR, 2021; Machado Neto, 2022).

Apesar de ser comumente definida como um evento climatológico, a seca também pode ser agravada por atividades humanas, como o crescimento populacional acelerado, o uso desordenado do solo, as desigualdades no acesso à terra e à água para a agricultura, bem como pela má distribuição de renda. Além disso, estruturas precárias de armazenamento e distribuição de água para consumo humano, desmatamento e outras formas de degradação ambiental do solo e dos recursos hídricos contribuem para agravar os efeitos da seca (Sena, 2017; Freitas *et al.*, 2021).

As secas provocam múltiplos impactos intensos em diversas dimensões, como as ambientais, econômicas (redução de empregos e renda) e sociais (sofrimento humano, doenças). Elas afetam a disponibilidade e a qualidade da água para consumo humano, comprometem a segurança alimentar e nutricional, a qualidade do ar e do solo, além de alterarem o ciclo de vetores, hospedeiros e reservatórios. Esses fatores geram impactos econômicos e sociais significativos, além de comprometerem os serviços de saúde. Por sua vez, esses efeitos impactam diretamente a saúde das populações (UNDRR, 2019; Buriti; Barbosa, 2018; Freitas *et al.*, 2021; Sena; Alpino, 2022).

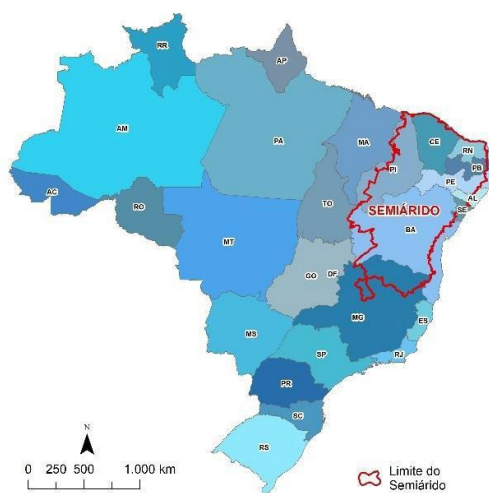
O Atlas Digital de Desastres no Brasil fornece um panorama da ocorrência de estiagem e seca no país entre os anos de 1991 e 2021, revelando sua distribuição espacial no território brasileiro. Dos 56.830 registros de todos os tipos de eventos naturais, 28.007 referem-se à seca e estiagem, correspondendo a 49% do total. Do total de aproximadamente 221 milhões de pessoas atingidas por desastres nesses 30 anos, 123 milhões (56%) foram afetadas pela seca. Comparada às outras regiões que registraram seca no período, a região Nordeste apresentou a maior parte dos eventos, com 18.382 (66%), além de ter o maior número de pessoas afetadas, correspondendo a mais de 105 milhões de habitantes (79%) (Brasil, 2022).

Fatores climáticos, ambientais e características do solo e da vegetação, como chuvas escassas e irregulares, alta taxa de evaporação, baixa umidade do ar e solos rasos, são características do clima semiárido e do bioma da caatinga no Brasil. Além dessas particularidades, as mudanças climáticas e certas atividades humanas, como a exploração dos recursos naturais e as atividades econômicas, têm provocado a perda da vegetação e a redução da disponibilidade de água (Magalhães, 2016; Marengo *et al.*, 2017).

A região do Semiárido Brasileiro (SAB) abrange quase toda a região Nordeste, além de parte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, ambos localizados na região Sudeste

do país. Atualmente, o recorte oficial do semiárido inclui 1.427 municípios (Brasil, 2021). Vale destacar que os estudos apresentados neste capítulo utilizaram o recorte espacial do SAB vigente à época de sua elaboração, que abrangia 1.262 municípios (Brasil, 2017) e cobria cerca de 13% do território brasileiro (1.127.960 km²) (Figura 1).

Figura 1 - Figura de localização da região do Semiárido Brasileiro



Fonte: Brasil (2017).

O SAB apresenta os piores indicadores sociais e econômicos em comparação com o restante do país, especialmente em relação à pobreza, analfabetismo, acesso à água, mortalidade infantil, esperança de vida e Índice de Desenvolvimento

Humano Municipal (IDH-M). Esses fatores atuam como forças motrizes e pressões que potencializam os impactos da seca sobre as populações afetadas (Sena *et al.*, 2014). De acordo com as estimativas populacionais do IBGE para 2019, o SAB contava com 27.607.440 habitantes.

Considerando o conceito de risco de desastre, o SAB possui características climatológicas, de solo e vegetação que historicamente atuam como gatilhos (ameaças) para a ocorrência da seca, um evento climático extremo. Tal situação expõe um grande número de habitantes a um acesso inadequado à água para consumo humano, tanto em quantidade suficiente quanto em qualidade compatível com os padrões de potabilidade, além da falta de cobertura de esgotamento sanitário. Isso resulta em formas inadequadas de armazenamento de água e no aumento do risco de doenças transmitidas por vetores e zoonoses (como Dengue, Zika, Chikungunya, Doenças de Chagas), além de doenças relacionadas ao saneamento inadequado (como diarreia e gastroenterite) (Freitas *et al.*, 2021).

Destaca-se ainda que as condições históricas e persistentes de vulnerabilidades sociais, econômicas, políticas, ambientais e de desigualdade no SAB, como pobreza, falta de renda e trabalho, produção de alimentos para subsistência e venda, analfabetismo, falta de acesso à água potável em quantidade e qualidade, à terra, a serviços e cuidados de saúde, tornam

a seca nessa região um desastre de origem natural, porém produzido e intensificado socialmente (Sena, 2017; Freitas *et al.*, 2021; Machado Neto, 2022).

Sena e Alpino (2022) ressaltam que essas condições desfavoráveis, somadas aos impactos das mudanças climáticas, estimulam e potencializam os riscos associados a secas mais intensas, bem como seus efeitos sobre indivíduos e comunidades. Como consequência, as desigualdades e a pobreza já existentes na região são ampliadas.

Dessa forma, é fundamental que políticas públicas sejam formuladas e implementadas no SAB com base nas susceptibilidades ambientais/ameaças, nas populações expostas, nas vulnerabilidades sociais e na capacidade de resposta do setor saúde (além de outros setores essenciais). Essas características integram os municípios do SAB e refletem diferentes elementos que determinam a criticidade da região frente aos eventos de seca.

Nesse sentido, o objetivo deste capítulo é apresentar a construção de um Índice de Criticidade para Secas no Semiárido, com foco no setor de saúde, para a escala municipal. Esse índice permitirá indicar a criticidade de cada município, subsidiando a formulação de políticas públicas e ações, especialmente no setor de saúde, que sejam direcionadas de acordo

com as necessidades e demandas dos diferentes territórios e grupos populacionais afetados pela seca.

MATERIAIS E MÉTODOS

A construção do Índice de Criticidade para Secas dos Municípios do Semiárido frente à Resposta do Setor Saúde (ICM-Secas) seguiu uma metodologia voltada para a análise integrada de variáveis que compõem o espaço geográfico e que, combinadas, formam um cenário de risco. O objetivo é desenvolver modelos de análise sobre aspectos relacionados às ameaças, vulnerabilidades sociais e à capacidade de resposta do setor saúde, para a definição de níveis de criticidade em face das secas na escala municipal. Esta metodologia baseia-se em uma análise multicritério, realizada com o auxílio de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando especificamente o software ArcGis 10.4.

Os materiais e métodos utilizados foram selecionados também com o intuito de possibilitar sua replicação em estudos semelhantes. Para tanto, foram empregados dados secundários disponibilizados por instituições oficiais e reconhecidas por sua capacidade técnica.

Inicialmente, houve um esforço para levantar fontes de informação de agências governamentais, a fim de realizar análises preliminares que permitissem identificar indicadores

representativos de cada uma das dimensões da equação de risco de desastres associados a eventos de secas e estiagem no território do SAB, assim como a capacidade de resposta do Sistema Único de Saúde (SUS).

Os dados e informações selecionados como variáveis para compor os indicadores de cada parâmetro do ICM-Secas (Tabela 1) foram obtidos nos sites da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Sistema de Avaliação da Desertificação (Sad SAdes)¹⁸ do Instituto Nacional do Semiárido (INSA/MCTI) e no portal de Informação e Gestão da Atenção Básica (e-Gestor/MS) do Ministério da Saúde. Posteriormente, esses dados foram organizados, editados e sistematizados para compor uma Base de Dados Geoespaciais (BDG), permitindo a realização de exercícios de geoprocessamento e análises espaciais em ambiente SIG, com o objetivo de construir modelos de análise que subsidiaram a elaboração do ICM-Secas.

18 Tendo em vista, que até o momento da escrita deste capítulo o portal do SAdes (<https://sades.insa.gov.br/>) encontrava-se desativado, a citação das informações adquiridas nesse portal não se encontra nas referências bibliográficas. Entretanto, esse sistema foi resultado de esforços iniciados na concepção da Tese intitulada “Sistema de avaliação e comparação espacial do processo de desertificação no Seridó Potiguar e Paraibano, Semiárido Brasileiro” (Lima, 2017), sendo possível o acesso desta para maior aprofundamento das informações e dados adquiridos no referido portal.

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para comporem indicadores dos parâmetros do Índice de Criticidade.

Parâmetros	Indicadores	Fontes
Ameaça	A contabilização dos registros de eventos de secas (estiagem e seca) por município entre os anos de 2003 e 2015.	Agência Nacional de Águas (ANA), 2016.
Exposição	Percentual de domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água.	Portal do SADES/Insa.
	Informação sobre a ocorrência ou não no município de desertificação no ano da última seca intensa.	Perfil dos Municípios Brasileiros (IBGE, 2017)
	Informação sobre a ocorrência ou não no município de concentração de poluentes na água que exigiram na ampliação na captação e no tratamento da água no ano da última seca intensa.	Perfil dos Municípios Brasileiros (IBGE, 2017)
Vulnerabilidade social	Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) do Atlas da Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros.	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2015.
Capacidade de resposta do setor saúde	Estimativa do percentual da população municipal coberta pelas equipes de Atenção Básica (AB) para o mês de julho de 2019.	Sistema de informação e gestão da Atenção Básica (e-Gestor/MS).

Fonte: Autoria própria.

Com a BDG estruturada, as informações e dados foram trabalhados em ambiente SIG para compor indicadores e/ou índices de ameaça, exposição, vulnerabilidade e capacidade de resposta do setor saúde, além de apoiar a classificação dos municípios do SAB segundo o perfil demográfico. O objetivo é garantir que esses indicadores sejam adequadamente aplicados ao modelo conceitual elaborado para o ICM-Secas.

O modelo conceitual do Índice de Criticidade foi baseado na equação de riscos de desastres¹⁹, diferindo apenas na ponderação da ameaça em relação à capacidade de redução de riscos (enfrentamento). Para o índice em questão, a capacidade de resposta do setor saúde não age sobre a ameaça, sendo assim expressa:

$$\text{ICM-Secas} = \text{R\_SEC} \times \frac{(\text{EXP\_SEC} \times \text{IVS})}{\text{POP\_COB\_AB}}$$

Onde:

R_SEC = Indicador de registros de secas municipais.

EXP_SEC = Indicador de exposição municipal a eventos de secas.

19 O risco é a relação potencial da ameaça, da exposição de pessoas a essa ameaça e das condições de vulnerabilidade das populações e bens expostos. E que podem ser ponderados, a depender das capacidades institucional e individual em enfrentar e/ou agir para redução do risco (UNDRR, 2014).

IVS = Índice de Vulnerabilidade Social.

POP_COB_AB = Indicador da população coberta pela Atenção Básica.

Considerando que cada um desses parâmetros (indicadores e índices) apresenta variações internas e diferentes potenciais para criticidade, foi necessário estabelecer pesos para cada uma das possíveis variações (classes) de cada parâmetro. Nesse sentido, foi utilizada uma metodologia analítico-integrativo apoiada em SIG, na qual o processo de integração e ponderação de classes foi realizado utilizando o método Analytic Hierarchy Process (AHP), criado na década de 1970 (Saaty, 1980) e amplamente utilizado para apoiar a tomada de decisão em problemas com múltiplos critérios (Costa, 2002).

Ao realizar as comparações, as decisões foram tomadas com base em dados concretos e avaliações subjetivas sobre a importância das categorias referentes a um determinado nível hierárquico, atribuindo valores às categorias em comparação com outras. Dessa forma, esse método permitiu incorporar julgamentos qualitativos e não apenas informações quantitativas, convertendo esses julgamentos em valores numéricos que possibilitaram comparações.

As categorias são atribuídas valores de importância que variam de 1 a 9 em comparação com outras categorias, conforme a tabela abaixo.

Tabela 1: Escala de comparação

Valores	Graus de Preferência
1	Mesma importância
3	Importância moderadamente maior
5	Importância fortemente maior
7	Importância muito fortemente maior
9	Importância extremamente maior
2, 4, 6, 8	Valores para utilização quando não há consenso sobre os valores acima

Fonte: Saaty e Vargas (1991).

Nesse sentido, cada parâmetro teve suas próprias classes avaliadas por meio de comparação pareada (peso das classes) e, posteriormente, foram, da mesma forma, avaliados quanto à sua criticidade aos eventos de seca na perspectiva do setor saúde em relação ao demais parâmetros (peso dos mapas). Portanto, o peso final de cada parâmetro do ICM-secas compreende os pesos de suas classes multiplicadas pelo peso atribuído a seu próprio parâmetro. Por exemplo: Parâmetro Ameaça = (Pesos de cada classe Ameaça x Peso do mapa Ameaça).

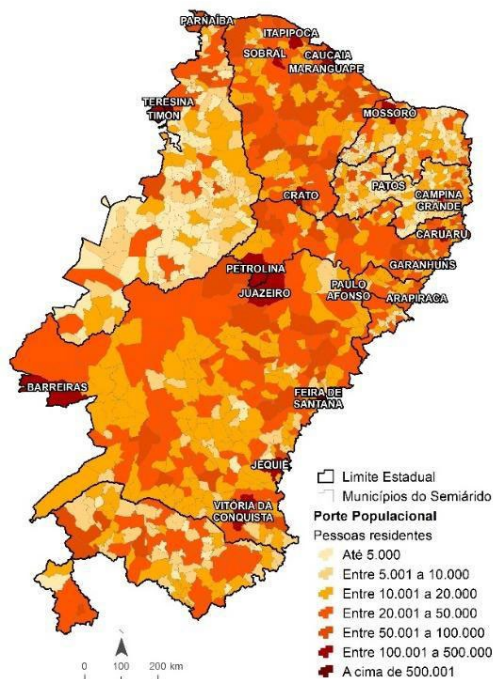
A divisão das classes de todos os mapas (ameaça, exposição, vulnerabilidade e capacidade de resposta) produzidos nesse estudo foi realizada a partir do método de agrupamento de dados de “Quebra Natural” (Natural Breaks), desenvolvido por Jenks (1977) e projetado para determinar a melhor organização dos valores em diferentes classes, de forma a reduzir a variação dentro das classes e maximizar a variação entre elas. Cabe ressaltar que o parâmetro de exposição do ICM-Secas também utilizou essa metodologia, agregando três indicadores para sua conclusão.

Com a perspectiva de apoiar as análises e subsidiar a formulação de políticas públicas e a própria resposta do setor saúde, os produtos gerados pelo estudo (tabelas e geodados) incorporaram informações sobre o perfil demográfico dos municípios do SAB. Dessa forma, os municípios foram classificados segundo seus portes populacionais, seguindo as mesmas classes utilizadas pelo IBGE para o Perfil dos Municípios Brasileiros²⁰. Esse processo foi realizado por meio da agregação dos Setores Censitários do Censo Demográfico de 2010 (IBGE), que continha o número de pessoas residentes em cada um desses setores, para os recortes dos municípios inseridos no SAB.

20 O porte populacional classifica os municípios entre pequeno porte (com menos de 25 mil habitantes), médio porte (municípios com 25 a 100 mil hab.) e grande porte (municípios com mais de 100 mil hab.).

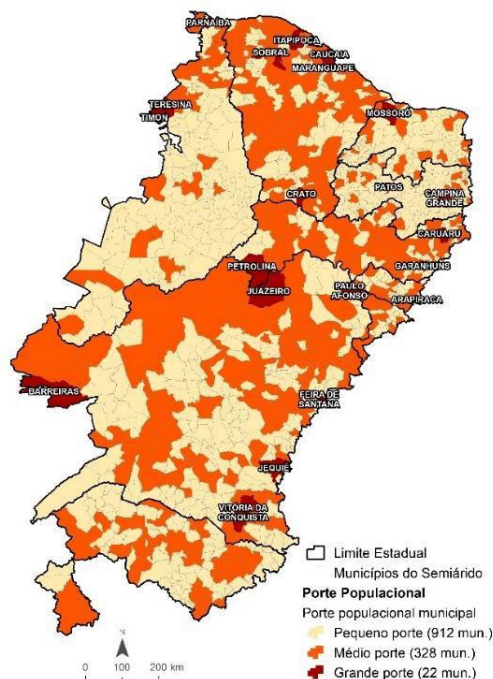
A primeira figura (Figura 2) ilustra as diferentes faixas de porte populacional, enquanto a segunda (Figura 3) é resulta da agregação dessas faixas em classes de porte populacional municipal.

Figura 2 - Faixas de porte populacional



Fonte: Censo (IBGE, 2010).

Figura 3 - Classes de porte populacional



Fonte: Censo (IBGE, 2010).

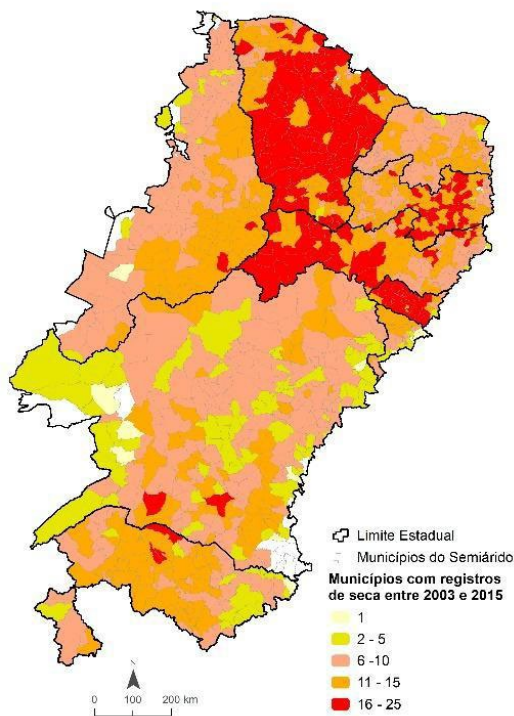
Como citado anteriormente, a escolha dos indicadores e índices que compõem o ICM-IG buscou identificar aspectos voltados para a análise da ameaça, exposição, vulnerabilidades e capacidade de resposta do setor saúde. A seguir, serão apresentadas detalhadamente as informações de cada elemento do ICM-Secas.

RESULTADOS

O indicador que compõe o **parâmetro da ameaça** foi elaborado com base nos registros de ocorrências de secas (estiagem e secas) disponibilizados pela ANA (2016) para o período de 2003 e 2015. De acordo com essa Agência, a produção dessas informações resulta da contabilização dos eventos de secas (estiagens e secas) por município, utilizando como fonte primária os decretos de declaração de situação de emergência e estado de calamidade pública expedidos pelos municípios, os quais são divulgados no site da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC)²¹. Esse parâmetro refletiu a frequência da ameaça com base no inventário de ocorrências de secas no período de 12 anos. Os valores de ocorrências de secas foram agregados em cinco classes (Figura 4), priorizadas seguindo o critério da maior frequência para menor: (“16 a 25” = 0,472; “11 a 15” = 0,308; “6 a 10” = 0,116; “2 a 5” = 0,074; e “0 a 1” = 0,030).

21 Fonte: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/addba96d-42ce-4142-814e-3dcd4ef302d6>

Figura 4 - Mapa de registros de ocorrências de secas por municípios entre os anos de 2003 e 2015

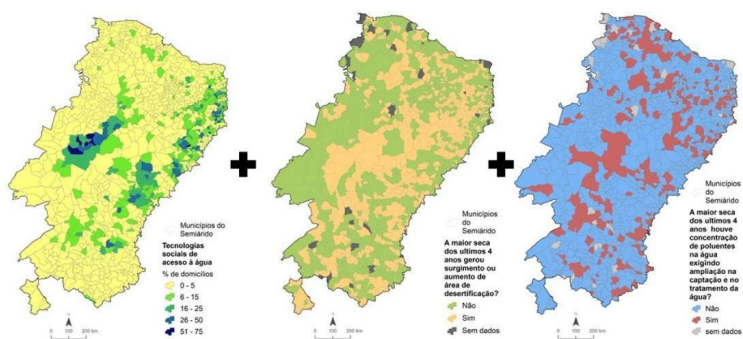


Fonte: ANA (2016).

O parâmetro Exposição foi elaborado a partir da relação entre os dados de domicílios rurais atendidos por tecnologias sociais de acesso à água (SADes/Insa), a informação sobre a

ocorrência ou não de desertificação²² no município durante o ano da última seca intensa, e a informação sobre a presença ou ausência de concentração de poluentes na água, que exigiram a ampliação da captação e do tratamento de água no mesmo ano. Ambas as informações foram obtidas na publicação sobre o Perfil dos Municípios Brasileiros (IBGE, 2017).

Figura 5 - Figura da composição do índice de exposição dos municípios à eventos de seca



Fontes: SAdes/Insa (2019) e IBGE (2017).

Dessa forma, esse parâmetro refletiu os graus de exposição a eventos de secas, considerando as deficiências no abastecimento e tratamento de água, bem como a escassez de recursos naturais vitais, como água, vegetação e solo, resultantes do processo de desertificação (Figura 5). A desertificação é um

22 Refere-se aos municípios que apresentaram surgimento ou aumento de área de desertificação.

processo de degradação ambiental causado pelo manejo inadequado dos recursos naturais, que compromete os sistemas produtivos e os serviços ambientais em áreas suscetíveis, como as regiões semiáridas. Assim, os municípios que apresentaram surgimento ou aumento da área de desertificação (ocorrência de desertificação) têm suas populações mais expostas aos impactos de eventos de seca, como agravos à saúde, perda ou redução da produção agrícola e perdas financeiras.

Cabe ressaltar que o primeiro mapa da Figura 5 representa as classes do indicador de percentual de domicílios rurais atendidos com tecnologias sociais de acesso à água, elaborado no âmbito do SAdes/Insa²³. Embora esse indicador também possa ser abordado na perspectiva da capacidade de resposta/enfrentamento, optou-se por atribuir pesos inversamente proporcionais às classes de maior percentual de domicílios atendidos, considerando-o indicador de exposição a eventos de seca. Isso se deve ao fato de que a baixa presença de tecnologias sociais de acesso à água (como cisternas para consumo e produção, barragens subterrâneas, barreiros trincheira e

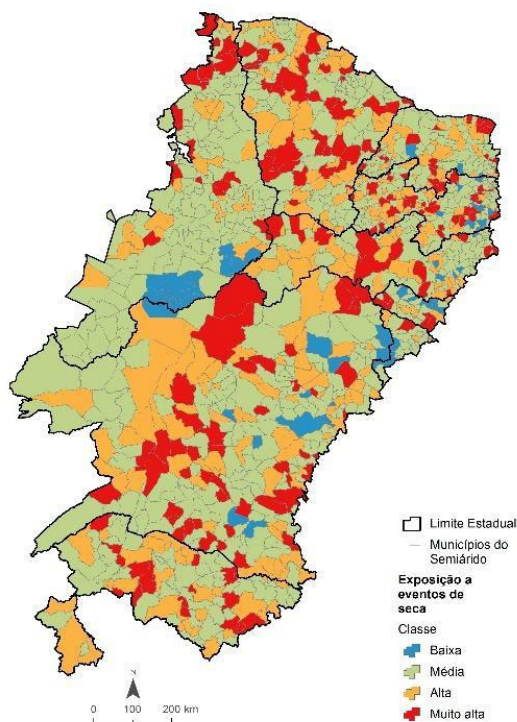
23 Segundo o portal do SAdes/ Insa, as fontes desse indicador foram: Sistema Cisternas, disponível em: <http://aplicacoes.mds.gov.br/cistesc>, cujo acesso ocorreu em 21/05/2016, e IBGE, Censo Demográfico 2010, SIDRA, Tabela 1395.

tanques de pedra) amplifica os impactos sobre os residentes desses domicílios.

Os pesos atribuídos às classes dos demais mapas que compuseram o índice de exposição seguiram o critério de priorização, conferindo maior peso às respostas positivas sobre a ocorrência de desertificação no município durante a última seca intensa, bem como à presença ou ausência de concentração de poluentes na água, que demandaram a ampliação da captação e do tratamento da água nesse mesmo período.

Como resultado, obteve-se o mapa de exposição a eventos de seca por municípios do SAB (Figura 6), que incluiu quatro classes priorizadas segundo o critério da maior para menor exposição. Os pesos atribuídos a cada classe foram os seguintes: “muito alta” = 0,423; “alta” = 0,252; “média” = 0,084 e “baixa” = 0,041).

Figura 6 - Mapa de exposição municipal à evento de secas.



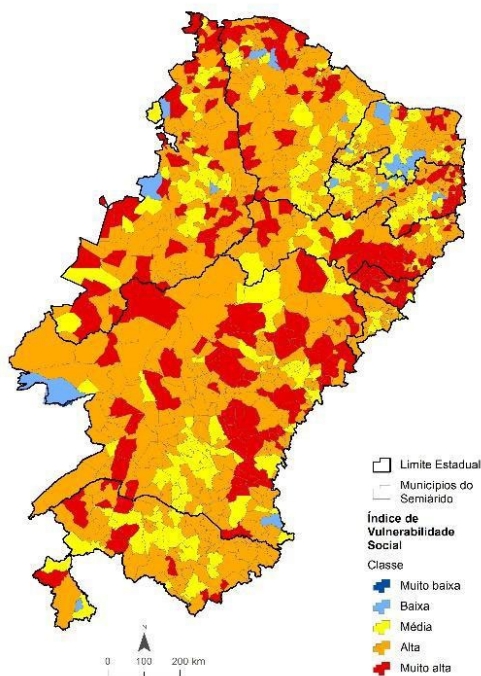
Fonte: Autoria própria.

Para o **parâmetro de vulnerabilidade**, foram utilizados os dados tabulares do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) do Atlas da Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros (Ipea, 2015)²⁴. Esses dados, originalmente em formato Excel,

24 Para maiores informações sobre as dimensões que compõem esse Índice, acessar: <http://ivs.ipea.gov.br/index.php/pt/>

foram associados ao geodado vetorial (polígono) dos municípios do Semiárido, que foram posteriormente agregados segundo as cinco classes de intervalo definidas no Atlas do Ipea (Figura 7). A definição dos pesos de cada uma das classes seguiu o critério de atribuição, conferindo o maior peso à classe de maior vulnerabilidade: “Muito alta” = 0,417; “Alta” = 0,245; “Média” = 0,101 e “Baixa” = 0,037).

Figura 7 - Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social Municipal - IVS



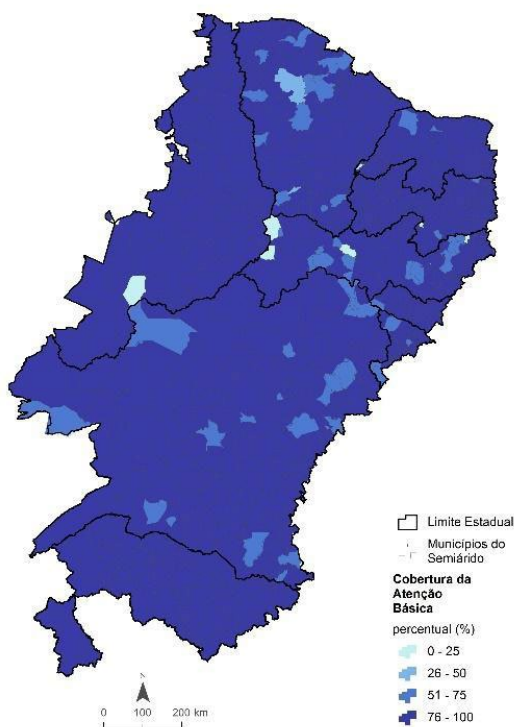
Fonte: IPEA (2015).

Por fim, o parâmetro da capacidade de resposta do setor saúde foi elaborado com base nos dados da estimativa do percentual da população municipal coberta pelas equipes de Atenção Básica (AB) para o mês de julho de 2019 (e-Gestor/MS)²⁵. Este indicador é utilizado para monitorar o acesso aos serviços de Atenção Básica, visando fortalecer o planejamento do Sistema Único de Saúde (SUS) e implementar o Contrato Organizativo da Ação Pública da Saúde (Coap). É importante ressaltar que este indicador consta no Caderno de Diretrizes, Objetivos, Metas e Indicadores para os anos de 2017-2021.

Os dados tabulares adquiridos (e-Gestor/MS), originalmente em formato Excel, foram associados ao geodado vetorial (polígono) dos municípios do SAB e agregados segundo cinco classes (Figura 8). Os pesos atribuídos refletiram a importância da capacidade de resposta do setor saúde, seguindo a classe de maior percentual da população municipal coberta para a menor (“75 a 100” = 0,565; “50 a 75” = 0,284; “25 a 50” = 0,110 e “0 a 25” = 0,041).

25 Para maior aprofundamento sobre esse indicador, acessar: https://www.proadess.iciet.fiocruz.br/index.php?pag=fic_mu&cod=A55&tab=1

Figura 8 - Mapa Cobertura da Atenção Básica dos municípios do Semiárido

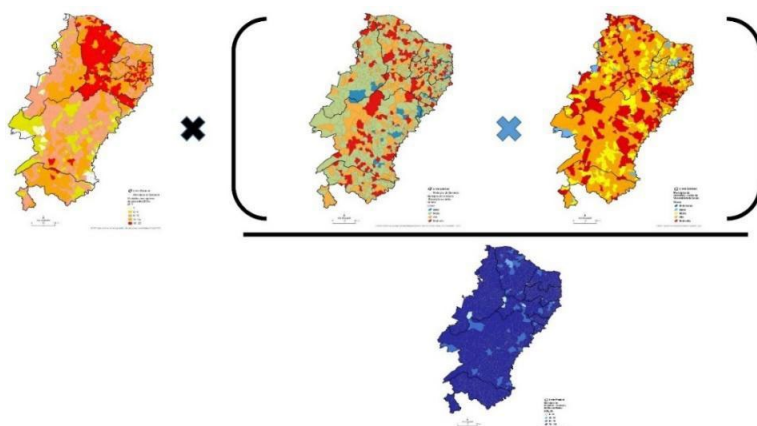


Fonte: e-Gestor/MS.

Para estabelecer os níveis de criticidade para os municípios do SAB, foram realizados cálculos matemáticos em ambiente de SIG. Esses cálculos foram efetuados a partir do cruzamento dos parâmetros apresentados anteriormente, cujos pesos

atribuídos a cada uma de suas classes foram multiplicados pelo peso referente ao parâmetro correspondente. Por fim, aplicou-se a equação do modelo conceitual do ICM-Secas, conforme ilustrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Figura de composição do Índice de Exposição Municipal a eventos de seca



Fonte: Autoria própria.

O cálculo do Índice de Criticidade para Secas dos Municípios do Semiárido Brasileiro em relação à Resposta do Setor Saúde fundamentou-se na priorização dos parâmetros observados na Tabela 3.

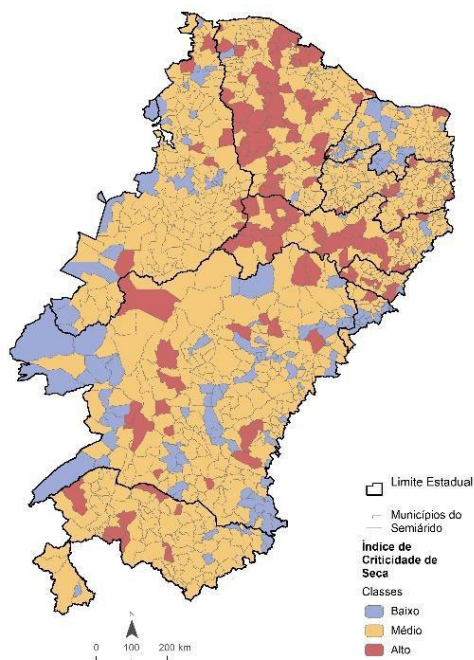
Tabela 3: Pesos dos parâmetros do Índice de Criticidade para Secas dos Municípios do Semiárido Brasileiro frente a Resposta do Setor Saúde (ICM-Secas).

Parâmetros do ICM-Secas	Pesos de priorização dos parâmetros (pesos dos mapas)
Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social	0,457
Mapa de registros de ocorrências de secas	0,268
Mapa de cobertura da Atenção Básica	0,214
Mapa de exposição municipal à evento de secas	0,060

Fonte: Autoria própria.

Como resultado, foram obtidos valores para cada um dos municípios do SAB, os quais foram classificados segundo o método de “quebras naturais” Jenks (1977) em dez classes. Essas classes foram posteriormente agregadas em três categorias de criticidade, que compõem o mapa final do ICM-Secas (Figura 10).

Figura 10 - Mapa final do Índice de Criticidade para Secas.



Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para uma análise adequada da metodologia proposta para a identificação de níveis de criticidade municipais em relação a eventos de seca, onde ações de preparação e resposta do setor saúde devem ser priorizadas, é fundamental situar os leitores quanto à representatividade dos resultados em termos dos

parâmetros utilizados. Isso possibilita que avaliem a validade científica, utilidade e aplicabilidade prática no índice proposto neste estudo na formulação de políticas públicas.

Os resultados do ICM-Secas são fortemente influenciados pela classificação do Índice de Vulnerabilidade Social do IPEA (2011), pois este é o parâmetro de maior peso no índice, evidenciando a importância dessa variável, sobretudo na perspectiva da Redução de Riscos de Desastres (RRD). Publicações anteriores, como de Sena *et al.* (2017), reforçam a importância dos indicadores de vulnerabilidades sociais como fatores primordiais para a redução de riscos associados às secas.

A metodologia desenvolvida pode ser adaptada por instituições interessadas, visando detalhar e enriquecer a análise, permitindo uma maior confiabilidade dos dados, principalmente em função das diferentes temporalidades e escalas cartográficas utilizadas. Recomenda-se, portanto, verificar a disponibilidade de informações em melhor escala e com data de produção mais recente para a área do SAB e, assim, refazer a análise utilizando os critérios sugeridos neste estudo.

Embora o ICM-Secas tenha como base os limites municipais, ao implementar ações intramunicipais, é recomendável abordar a distribuição e qualidade das estruturas e da força de trabalho ligadas ao setor saúde. Esses dados podem ser

cruzadas com informações disponíveis para o recorte de setores censitários, como realizado em parte deste estudo, ampliando o impacto e a eficiência na formulação de ações de preparação e resposta do SUS.

Sugere-se o refinamento desse Índice com a inclusão de dados sobre a governança territorial do setor saúde (especialmente no âmbito da vigilância e da atenção à saúde) e sobre as dimensões associadas ao parâmetro de vulnerabilidade, como aquelas relacionadas ao perfil sociodemográfico e de saúde, visando uma melhor articulação das capacidades de preparação e resposta desse setor para a redução da exposição e vulnerabilidades dos grupos populacionais municipais.

A metodologia de análise e priorização proposta neste artigo constitui uma ferramenta estratégica para o planejamento de ações voltadas à RRD, com o propósito de contribuir para a construção de estratégias do setor saúde frente à ameaça de secas e estiagens nos municípios do SAB. Sua adaptação e utilização por gestores públicos e tomadores de decisão têm o potencial de proporcionar maior assertividade e eficiência no processo de alocação de recursos na escala regional e municipal, contribuindo, portanto, para a formulação e implementação de políticas públicas.

Por se tratar de uma metodologia replicável, a partir de poucas adaptações e baseada em dados públicos que são

periodicamente atualizados, permite atualizações desse Índice. De qualquer forma, como observam Freitas e Giatti (2009), os dados disponíveis devem ser compreendidos como uma fotografia de uma região, resultante da junção de diferentes partes de outras fotos tiradas em momentos distintos e com padrões variados de qualidade, como validade, confiabilidade, cobertura, sensibilidade e especificidade, o que representa uma limitação. Contudo, o trabalho com indicadores e índices exige o constante desenvolvimento de propostas e modelos que possam subsidiar discussões em diferentes escalas, desde que bases de dados mais detalhadas estejam disponíveis para as escalas territoriais definidas. Isso é aplicável a diversos estados da federação ou mesmo aos recortes territoriais de saúde e malhas territoriais do Censo Demográfico.

Por fim, cabe destacar que iniciativas de produção de dados e informações sobre o SAB, assim como a disponibilização ao público em geral, como o Observatório das Secas e o portal SAdes/Insa, são instrumentos importantes para o planejamento, em diferentes escalas, de enfrentamento aos eventos de seca no SAB. A interrupção do acesso a informações e dados gerados por esses programas impacta diretamente o reconhecimento e a compreensão das diferentes variáveis associadas ao tema das secas nessa região, bem como os parâmetros de exposição e vulnerabilidade social. Assim,

ressalta-se a importância da contínua produção e do livre acesso a informações e dados que abordem o tema da seca no SAB como uma das estratégias centrais para a preparação e respostas a esses eventos que, historicamente, condicionam a qualidade socioambiental dessa região brasileira.

REFERÊNCIAS

ALPINO, T. M. A. **Seca, condições de vida e saúde no Nordeste brasileiro**: o caso do município de Itapetim, Pernambuco. 2015. 218 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015.

ALPINO, T. M. A. **Segurança Alimentar e Nutricional (SAN), seca e reprodução social**: a realidade do semiárido brasileiro. 2020. 175 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2020.

AQUINO, A. L. A.; DOS SANTOS, C. T.; CENCI, D. R. Mudanças climáticas e a saúde no brasil: o Acordo de Paris. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL EM SAÚDE, 6., 2019. **Anais** [...]. [S.l.: s.n.], 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022.

BURITI, C. O.; BARBOSA, H. A. **Um século de secas**: por que as políticas hídricas não transformaram o Semiárido brasileiro? 1. ed. São Paulo: Chiado Books, 2018.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica**: análise multicritério no auxílio à decisão. Niterói: H.G.C., 2002.

BRASIL. Resolução CONDEL/SUDENE nº 150, de 13 de dezembro de 2021. Aprova a Proposição n. 151/2021, que trata do Relatório Técnico que apresenta os resultados da revisão da delimitação do Semiárido 2021, inclusive os critérios técnicos e científicos, a relação de municípios habilitados, e da regra de transição para municípios excluídos. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-conselho-deliberativo/resolucao-condel-sudene-no-150-de-13-de-dezembro-de-2021>. Acesso em: 20 set. 2024.

BRASIL. Resolução nº 107/2017. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro procedimentos para revisão de sua abrangência. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/resolucao1072017-pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.

BRASIL. Resolução nº 115/2017. Aprova a Proposição nº 113/2017, que acrescenta municípios a relação aprovada pela Resolução CONDEL nº 107, de 27 de julho de 2017. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/07resolucao1152017nv.pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.

FREITAS, C. M. et al. Guia - Preparação para resposta à emergência em saúde pública por seca e estiagem. Rio de Janeiro: ENSP; Fiocruz, 2021.

FREITAS, C. M.; GIATTI, L. Indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde na Amazônia Legal, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 6, p. 1.251-1.266, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/SjxgGG9mSzFwFSLTpbXJynG/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 20 set. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Perfil dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IPEA. **Atlas da vulnerabilidade social nas regiões metropolitanas brasileiras**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipea, 2015.

JENKS, G. F. **Optimal data classification for choropleth maps**. 2. ed. Kansas: University Kansas, 1977.

LIMA, R. C. C. **Sistema de avaliação e comparação espacial do processo de desertificação no Seridó potiguar e paraibano, semiárido brasileiro**. 2017. 150 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

MACHADO NETO, E. P. **Vulnerabilidade e risco de seca em escala local: um estudo de caso no município de Milhã/CE**. 2022. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46829>. Acesso em: 20 set. 2024.

MAGALHÃES, A. R. Vida e seca no Brasil. In: DE NYS, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (org.). **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Banco Mundial, 2016. p. xx

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil – past, present and future. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 129, p. 1.189-1.200, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 20 set. 2024.

NARVÁEZ, L.; LAVELL, A.; ORTEGA, G. P. **La gestión del riesgo de desastres**: um enfoque basado em procesos. San Isidro: Secretaría General de La Comunidad Andina, 2009.

OPAS/MS. Organização Panamericana da Saúde. Ministério da Saúde. **Desastres Naturais e Saúde no Brasil**. Brasília, DF: OPAS; Ministério da Saúde, 2015. (Série Desenvolvimento Sustentável e Saúde, 2)

ROCHA, V.; LONDE, L. R. **Desastres**: velhos e novos desafios para a saúde coletiva. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2021.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction, Projection and Forecasting**. Boston: Kluwer Academic, 1991.

SENA, A. R. M. **Seca, vulnerabilidade socioambiental e saúde**: impactos no semiárido brasileiro. 2017. 266 f. Tese (Doutorado em Informação Científica e Tecnológica em Saúde) – Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2017.

SENA, A.; ALPINO, T. M. A. **Seca Silenciosa, Saúde Invisível**: um desastre naturalizado no Semiárido do Brasil. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2022.

SENA, A. *et al.* Managing the health impacts of drought in Brazil. **International Journal Environ, Research and Public Health**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. 10.737-10.751, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4211003/>. Acesso em: 20 set. 2024.

SENA, A.; CORVALÁN, C. A inter-relação entre mudanças do clima, desastres e saúde coletiva. *In*: BARCELLOS, C.; CORVALÁN, C.; SILVA, E. L. **Mudanças Climáticas, Desastres e Saúde**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2022. p. xx

UNDRR. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Terminology**. Genebra: Special Report on Drought, 2020.

UNDRR. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Global Assessment Report on Disaster Reduction (GAR)**. Genebra: Special Report on Drought, 2019.

UNDRR. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Global Assessment Report on Disaster Reduction (GAR)**. Genebra: Special Report on Drought, 2021.

UNDRR. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Como Construir Cidades Mais Resilientes: um Guia Para Gestores Públicos Locais**. Genebra: Special Report on Drought, 2014.

10

CONSTRUÇÃO DE INDICADORES DE VULNERABILIDADE AO DESASTRE À SECA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: avaliação da exposição a partir do município de Caicó/RN.

Anderson Geová Maia de Brito

Jhonathan Lima de Souza

INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Norte (RN), localizado na região Nordeste do Brasil, possui 90,6% do seu território inserido nas delimitações do semiárido brasileiro (Brasil, 2017), abrangendo 147 dos 167 municípios do estado. Essa realidade impõe desafios significativos, especialmente no que diz respeito à gestão hídrica, que ocupa um papel central nas políticas

públicas e gera conflitos socioespaciais, socioeconômicos e político-institucionais.

Uma das áreas mais impactadas por esses desafios é a região do Seridó, que se destaca por sua história e cultura singulares dentro do RN. Criada a partir da regionalização do Brasil em microrregiões pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1970, o Seridó está localizado no centro-sul do estado, na divisa com a Paraíba, e compreende vinte e três municípios distribuídos por uma área de aproximadamente 9 374 063 km², totalmente inserida nas delimitações do semiárido (Brasil, 2017).

Nesta região, a escassez hídrica, combinada com a vulnerabilidade socioeconômica da população e a ausência de políticas públicas eficazes durante períodos prolongados de seca, tem gerado graves consequências. Entre elas, destacam-se a migração populacional, o declínio da agropecuária e a ocorrência de desastres econômicos (como a perda de safras e a mortandade de animais), sociais (desemprego e fome) ou ambientais (desertificação e desmatamento).

Nesse contexto de desastre à seca no Seridó, insere-se o município de Caicó (Figura 1). Com uma população aproximada de 61.160 habitantes, segundo o Censo 2022 do IBGE, e uma área total de 1.228,574 km², Caicó é o principal polo da região, oferecendo uma significativa quantidade de serviços,

indústrias e atividades agropecuárias. No entanto, a cidade enfrenta, de forma recorrente, os impactos da seca, sejam eles de curto ou longo prazo.

Figura 1 - Mapa de localização do município de Caicó e da região do Seridó Potiguar.



Fonte: autoria própria.

Com base nessa discussão, quais mecanismos podemos adotar para, se não evitar, ao menos abrandar os efeitos da seca, uma vez que, em plena contemporaneidade, ela continua a atingir proporções desastrosas, causando inúmeros prejuízos de ordem econômica, social e ambiental no semiárido, especialmente no Nordeste brasileiro?

Embora essa questão possa ser parcialmente explicada pela famigerada e secular Indústria da Seca, é preciso identificar as deficiências de infraestrutura, do sistema de gerenciamento hídrico, bem como as fragilidades socioeconômicas dos municípios do semiárido, em consonância com suas características físico-ambientais e as múltiplas interações desses aspectos.

Em face disso, a gestão do uso e da distribuição de água, à luz da gestão de riscos, torna-se um desafio no cenário de déficit hídrico. A situação se agrava ainda mais quando não existem parâmetros locais que permitam conhecer o diagnóstico e os anseios da região, visto que as diretrizes são estabelecidas por entes estaduais ou federais, muitas vezes sem conhecimento da realidade local. Uma forma de suprir essa lacuna é a formulação de indicadores, que possuem a capacidade de mostrar, de forma quantitativa, a realidade e de auxiliar nas decisões a serem tomadas.

Nesta pesquisa, com o objetivo de contribuir para a elucidação da problemática levantada e fornecer bases para a discussão dos indicadores que compõem a vulnerabilidade, o indicador de Exposição à seca foi trabalhado e tratado de maneira a oferecer, de forma consistente, as características do estresse ambiental e climático, considerando sua magnitude, frequência, duração e abrangência espacial sobre a região do Seridó Potiguar, especificamente no município de Caicó.

Com base nisso, o indicador de Exposição foi desenvolvido a partir das metodologias de Rosendo (2014) e Brito (2021), que propuseram sua análise sob três aspectos: (I) as características do evento; (II) a exposição da população; e (III) a exposição das atividades, totalizando seis variáveis.

A SECA

A seca é um fenômeno comum e histórico do semiárido brasileiro. Por décadas, afligiu e ainda aflige centenas de comunidades rurais localizadas na região Nordeste, nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, por meio da redução da disponibilidade hídrica, ocasionada pela irregularidade ou ausência de precipitações pluviométricas em determinado espaço-tempo, e potencializada pela má gestão dos recursos hídricos e pela devastação ambiental da caatinga.

A seca pode ser entendida inicialmente como a “forma crônica do fenômeno estiagem” (Silva *et al.*, 2013, p. 285), estando relacionada a “múltiplos fatores condicionados pela geodinâmica terrestre global em seus aspectos climáticos e meteorológicos” (Brasil, 2003). Esse processo exige uma investigação complexa, desde a determinação de sua origem até a quantificação dos seus impactos, além das ações emergenciais que precisam ser tomadas.

Durante o período de seca, ocorre uma ruptura no metabolismo hidrológico, resultando na redução intensa das precipitações pluviométricas e dos níveis de umidade, além do aumento das perdas líquidas causadas pela evapotranspiração (Figura 2), insolação e regime de ventos secos. Contudo, para ser caracterizada como um desastre, a seca deve atuar por um longo período “sobre um sistema ecológico, econômico, social e cultural vulnerável à redução das precipitações pluviométricas” (Brasil, 2003, p. 59).

Figura 2 - Exemplo de seca hidrológica no Açude Itans em Caicó. Imagens de fevereiro de 2012, julho de 2013 e fevereiro de 2017.



Fonte: Autoria própria a partir de Imagens do Landsat 8 via google Earth.

Considerando que a seca afeta aspectos ambientais, políticos e socioeconômicos, diversas disciplinas desenvolveram concepções que resultaram na ausência de uma definição precisa e consensual do conceito “seca”. De acordo com Wilhite (1996, tradução nossa), “a falta de uma definição precisa e objetiva em situações específicas tem sido um obstáculo

para entender a seca, o que tem conduzido à indecisão e/ou inatividade dos gestores, formuladores de políticas e outros”.

Outro fenômeno associado à seca é a desertificação, caracterizada como o estágio mais avançado de déficit hídrico e aridez a que uma área geralmente árida ou semiárida pode estar submetida, ou até mesmo em situação permanente. Para compreendê-la, “não se pode deixar de considerar as características naturais, bem como a dinâmica de ocupação de cada território, visto que esses pré-requisitos são condicionantes da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental de cada área” (Melo; Lima; Pereira, 2008, p. 171).

Sob esses condicionantes, Melo, Lima e Pereira (2008), com base em Cunha e Guerra (2000), destacam que os aspectos naturais, por si só, não aceleram o processo da desertificação, é necessário que haja a associação com o manejo inadequado do solo para que esse processo seja amplificado. Entre os condicionantes presentes no semiárido, podem ser citados como exemplos as fortes chuvas concentradas em um curto espaço de tempo sobre encostas íngremes e desprovidas de vegetação, descontinuidades litológicas, geomorfológicas e pedológicas, elevados teores de silte e areia fina, baixos teores de matéria orgânica, entre outros.

O MUNICÍPIO DE CAICÓ/RN

O território que compreende o atual Seridó era, antes da colonização do Brasil, denominado país dos Tapuias, uma designação holandesa dada ao sertão da capitania do Rio Grande em referência aos povos indígenas de mesmo nome que habitavam essa região. Esses povos pertenciam a um grupo cultural indígena maior, denominado Tarairiu (Macedo; Araújo; Santos, 2011).

Com o avanço da pecuária, a fragmentação e o assassinato em massa dos indígenas, o território antes indígena passou a ser colonial, marcado pela implementação de fazendas e currais, o que, gradativamente, adensou a população e consolidou a estrutura colonial portuguesa, alicerçada principalmente no catolicismo, na escravidão e nos fazendeiros. Nesse processo de ocidentalização do interior, foi criada, em 1788, a Vila Nova do Príncipe, atual município de Caicó, marco e ápice da ocupação portuguesa do semiárido do RN.

Distante cerca de 280 km da capital potiguar, Caicó está localizado na microrregião Seridó e é frequentemente considerado a “capital” da região, não apenas por ser o maior em município em população, com 61.160 habitantes, e em área, com 1.228,574 km², mas também por concentrar cerca de 41% do Produto Interno Bruto (PIB) do Seridó.

Tabela 1: Agrupamento de dados socioeconômicos referentes ao município de Caicó.

MUNICÍPIO	POPU- LAÇÃO	ÍNDICE DE GINI	PIB (x 1000) R\$	PIB PER CAPITA R\$
Caicó	61.160	0,562	1.145.089,49	16.784,75

Fonte: IBGE (2022); IBGE (2020) e DATASUS (2020).

Palco de inúmeras secas, Caicó recebeu investimentos do Governo Federal na área de açudagem para o até então “combate” à seca, por meio da Inspetoria Federal de Combate às Secas (Silva, 2012). Com a mão de obra das frentes de emergência, foi construído o principal manancial hídrico do município, o açude Itans (Figura 3). A construção da barragem, do tipo mista (enrocamento e aterro), tomou forma a partir das matérias-primas encontradas na região, ou seja, solos aluvionares e rochas graníticas (Souza; Souza; Marandola Jr, 2022).

Figura 3 - (A e B) Açude Itans em Caicó/RN.



Fonte: Arquivo dos autores.

Nesse contexto, a barragem foi originalmente construída para usos múltiplos, mas, com o aumento populacional e a consequente demanda por água, sua destinação passou a ser prioritária para o abastecimento humano (Souza; Souza; Marandola Jr., 2022). Entretanto, devido aos anos de seca entre 2012 e 2017, o volume do manancial diminuiu drasticamente, chegando ao volume morto, o que comprometeu não apenas o abastecimento da cidade, mas também atividades como a agricultura e a pesca (Souza *et al.*, 2016).

Diante disso, é relevante mencionar que, sob influência dos fatores atmosféricos do Sistema ENOS (El Nino Oscilação Sul) e da ZCIT (Zona de Convergência Inter Tropical), Caicó apresenta um clima quente e seco (Bsh'w), de acordo com a classificação de Koppen. A média anual de precipitação é de

765,5 mm, concentrada entre os meses de fevereiro e abril, enquanto o município enfrenta sete meses de clima semiárido e seco (Diniz; Pereira, 2015).

Nesse cenário, Caicó, assim como outros municípios do semiárido, dispõe de tecnologias e mecanismos para mitigar os efeitos adversos da seca e conviver com ela, como carros-pipa, adutoras, açudes e, mais recentemente, as cisternas, que nas últimas décadas se mostraram ecologicamente viáveis e economicamente acessíveis.

METODOLOGIA

Dada a complexidade e multidimensionalidade da seca, além dos inúmeros fatores que implicam em sua minimização ou maximização, pesquisas como as de Rosendo (2014) e Brito (2021) propõem a integração de variáveis físico-ambientais e socioeconômicas para a obtenção e discussão da vulnerabilidade no semiárido brasileiro, a partir de três sub-índices: I) Exposição; II) Sensibilidade; e III) Capacidade Adaptativa. Esses sub-índices têm como finalidade fornecer informações e dados relativos às variabilidades do clima, ao efeito biofísico da variabilidade climática em um dado contexto ambiental e socioeconômico, e à capacidade adaptativa e de reordenamento dos sistemas humanos frente à probabilidade de desastre.

No presente estudo, focamos no indicador de Exposição, que, enquanto componente da vulnerabilidade, pode ser definido como a natureza e a intensidade de um estresse ambiental, neste caso climático, sobre um território ou sistema humano. As características desse estresse incluem sua magnitude, frequência, duração e escala geográfica.

De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2012) das Nações Unidas, a Exposição refere-se ao inventário de elementos em uma área na qual eventos de origem natural ou não podem ocorrer. Dessa forma, é possível estar exposto, mas não vulnerável, pois um determinado sistema humano pode ter meios suficientes para reduzir os impactos adversos. Entretanto, para ser vulnerável a um evento, é necessário também estar exposto.

Nesse sentido, a Exposição, embora necessária, não é suficiente para determinar o risco ou a vulnerabilidade à seca ou a qualquer outro fenômeno, uma vez que um grupo populacional pode dispor de uma série de condições para mitigar perdas potenciais, o que pode ser analisado por meio dos indicadores de Sensibilidade e Capacidade Adaptativa.

Assim, conforme exposto e com base nas pesquisas fundamentais, abordou-se aqui apenas a Exposição à seca, relacionando sua viabilidade de análise ao semiárido brasileiro, por meio da discussão e aplicação de seu escopo

teórico-metodológico para a composição de um quadro de identificação da vulnerabilidade. A partir disso, foi montada a Tabela 2:

Tabela 2: Quadro de variáveis para quantificação da Exposição à Seca.

INDICADOR	ASPECTO	Nº	VARIÁVEIS	FONTE	PERÍODO DE REFERÊNCIA
Exposição	Características do Evento	1	Índice de Anomalia de Chuva (RAI);	EMPARN	1977-2017
		2	Índice de Aridez;	IBGE	2010
	Exposição da população	3	Força de trabalho que depende da agropecuária (%);	IBGE	2010
		4	População Rural (%);	IBGE	2010
	Exposição da Atividade	5	Estabelecimentos agropecuários que utilizam da agricultura irrigada (%);	IBGE	2017
		6	Dependência Industrial de matéria-prima Agropecuária (%)	CAGED	2017
		7	Exposição das Lavouras (%)	IBGE	2017
		8	Exposição dos Rebanhos (%)	IBGE	2017

Fonte: Brito (2021).

A presente tabela foi estruturada com base na literatura e nas características específicas da área de estudo. Optou-se, portanto, por contemplar a Exposição em três aspectos distintos, porém correlacionados, sendo eles: (I) As características do evento; (II) A exposição da população; e (III) A exposição das atividades.

Essas alterações e proposições metodológicas sobre a Exposição foram elaboradas a partir da necessidade de detalhar as variáveis adotadas e compreender a correlação entre os diferentes aspectos da realidade da área afetada. Isso permitiu uma análise detalhada, tanto conjunta quanto individual, dos aspectos climáticas, sociais e econômicos, que poderiam amplificar ou não os efeitos adversos da seca.

CARACTERÍSTICAS DO EVENTO

As características do evento estão relacionadas aos elementos do fenômeno estudado, que, neste caso, é a seca. Para compreendê-la, é necessária a identificação da variabilidade pluviométrica, da frequência e duração da seca em um determinado período. Para isso, são utilizadas duas variáveis: (I) o Índice de Anomalia de Chuva (RAI); e (II) o Índice de Aridez (IA).

Na composição dessas variáveis para o município selecionado para análise, optou-se pela utilização da série histórica do

período entre 1984 e 2018. Os dados obtidos, em sua maioria, foram retirados da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), coordenada pela Agência Nacional de Águas (ANA), em consonância com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM). As informações da RHN reúnem dados de diversas fontes, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), entre outras instituições. No Rio Grande do Norte, a plataforma contém dados do Instituto de Gestão das Águas (IGARN) e da Empresa de Pesquisa Agropecuária (EMPARN).

Devido às lacunas existentes na série histórica de precipitação e evapotranspiração, necessárias para a composição do RAI e do IA, buscou-se preencher esses “buracos” com dados disponibilizados pela SUDENE, pelo DNOCS ou por pesquisas e trabalhos já realizados na área de estudo pelo Centro de Ensino Superior do Seridó (CERES) da UFRN.

Índice de Anomalia de Chuva (*Rainfall Anomaly Index – RAI*)

O Índice de Anomalia de Chuva (IAC) incorpora um procedimento de classificação para ordenar magnitudes das anomalias de precipitação, tanto positivas quanto negativas, dentro de uma série histórica de precipitações. As anomalias

referem-se aos índices pluviométricos anuais que estão abaixo ou acima da média da série histórica. Assim, caso o ano de referência (neste estudo, 2017) apresente precipitações abaixo da média, será considerada um anomalia negativa, e, portanto, utilizar-se-á a equação 2. Caso contrário, aplicar-se-á a equação 1.

Para anomalias positivas:

$$IAC = 3 \left[\frac{N - N'}{M' - N'} \right] \# (1)$$

Para anomalias negativas:

$$IAC = - 3 \left[\frac{N - N'}{M' - N'} \right] \# (2)$$

Onde:

N = precipitação anual total do ano de referência;

N' = precipitação média anual da série histórica;

M' = médias das dez maiores precipitações anuais da série histórica;

X' = média das dez menores precipitações anuais da série histórica.

Índice de Aridez

Aridez é uma característica climática que se relaciona à insuficiência de precipitação adequada para manter a vegetação. Para esta pesquisa, utilizou-se o Índice de Aridez (AI) desenvolvido por Thornthwaite (1948), que estabelece uma relação entre a umidade disponível proveniente da precipitação e a capacidade de compensar a demanda potencial de água. Em outras palavras, trata-se de uma avaliação do déficit ou superávit hídrico, baseada na relação entre a precipitação e a Evapotranspiração Potencial. Quanto mais próximo de 1, menos árido e mais úmido o ambiente, quanto mais próximo de 0, mais seco. Dessa forma, o cálculo do AI é realizado da seguinte forma:

$$IA = \frac{Pr}{ETP} - 100 \# (3)$$

Onde:

IA = Índice de Aridez.

Pr = precipitação pluvial média anual (mm/ano);

ETP = evapotranspiração potencial média anual (mm/ano);

EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO

A Exposição da população, quando aplicada à análise da seca, é um aspecto crucial para compreender em que medida a população está vulnerável, considerando seu nível de dependência do campo e da atividade agropecuária, que, em casos de seca severa, são os setores mais impactados. No município analisado, a agropecuária compreende e influencia uma parcela significativa do PIB. Dessa forma, foram consideradas as seguintes variáveis: (I) força de trabalho que depende da agropecuária; e (II) população rural.

Força de trabalho que depende da agropecuária (%);

A força de trabalho que depende da agropecuária foi calculada a partir dos dados disponibilizados pelo IBGE em seu site para o ano de 2010. O cálculo foi elaborado da seguinte forma:

$$PFTDA = FTDA \times \frac{100}{PEA} \#(4)$$

Onde:

PFTDA = porcentagem da força de trabalho que depende da agropecuária na área territorial;

FTDA = força de trabalho que depende da agropecuária na área territorial;

PEA = População Economicamente Ativa na área territorial.

População Rural (%)

Pelas características do campo no semiárido brasileiro, a população rural é a primeira a sentir e sofrer os efeitos adversos da seca, devido à falta de infraestrutura relacionada ao abastecimento hídrico e à dependência direta da produção e colheita agrícola. Em casos de seca severa, isso pode resultar em fome e falta de renda. Assim, quanto maior for a população rural de uma cidade e quanto menos ela estiver amparada pelo Estado, mais sensível e exposta aos efeitos da seca essa população se tornará.

A porcentagem da população rural do município foi calculada a partir de dados do IBGE referentes ao Censo Demográfico de 2010, utilizando a seguinte equação:

$$PPR = \frac{População\ Rural \times 100}{População\ Total} \#(5)$$

Onde:

PPR = porcentagem da população residente em zona rural da área territorial;

População Rural = população residente em meio rural da área territorial;

População Total = população total da área territorial.

EXPOSIÇÃO DAS ATIVIDADES

Este aspecto da exposição foi elaborado considerando a realidade da maioria dos municípios da região do Seridó, os quais dependem significativamente da agropecuária e de atividades relacionadas, como a produção industrial de tecidos, queijo, leite e massas. Nesse sentido, foram consideradas as seguintes variáveis: (I) Dependência Industrial de matéria-prima Agropecuária (%); (II) Exposição das Lavouras (%); e (III) Exposição dos Rebanhos (%).

Estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada (%);

A porcentagem de estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada no município foi calculada a partir dos dados disponibilizados pelo IBGE, referentes ao Censo Agropecuário do ano de 2017, disponíveis no IBGE @Cidades e no SIDRA, nas tabelas de números 6764, 6765, 6857, 6858 e 6859. Para a obtenção da variável em questão, o cálculo foi elaborado da seguinte forma:

$$PEAI = \frac{EAI \times 100}{TE} \#(6)$$

Onde:

PEAI = porcentagem de estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada na área territorial;

EAI = número de estabelecimentos agropecuários que utilizam agricultura irrigada na área territorial;

TE = número de estabelecimentos agropecuários da área territorial.

Dependência Industrial de produtos Agropecuários (%)

Essa variável considera a porcentagem de setores da indústria da área estudada que têm maior proeminência na produção de gêneros têxteis e alimentícios. Esses setores são os mais dependentes de matéria-prima proveniente da agropecuária e, conseqüentemente, estão mais suscetíveis a compromissos na fabricação devido à baixa oferta hídrica e ao fornecimento insuficiente de matéria-prima agropecuária durante longos períodos de seca.

Os dados foram obtidos a partir da Secretaria do Trabalho do Ministério da Economia, por meio da plataforma do

Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), na seção “perfil por município”.

$$PDIPA = \frac{NEIT \times 100}{NEMPA} \#(7)$$

Onde:

PDIPA = porcentagem da quantidade de indústrias que dependem diretamente da agropecuária na área territorial;

NEIT = número de estabelecimentos da indústria da transformação na área territorial.

NEMPA = número de estabelecimentos da indústria da transformação que dependem diretamente da agropecuária (couro, papel, alimentícia...) na área territorial;

Exposição das Culturas Agropecuárias (%)

A variável em questão considerou a produção nos municípios em análise de culturas de longa e curta duração pelos estabelecimentos agropecuários, levando em conta a demanda hídrica respectiva. Para seu desenvolvimento, foi necessário utilizar médias ponderadas na composição da equação, dada a complexidade que envolve a diferenciação no tamanho da produção dos insumos e da necessidade específica de água para cada cultura agrícola. Assim, atribuíram-se dois pesos

distintos: i) quantidade de toneladas produzidas e ii) demanda específica de água na produção agrícola.

A quantidade de toneladas produzidas pelos municípios foi obtida a partir dos dados disponibilizados pelo IBGE, referentes à Produção Agrícola Municipal de 2017, tanto para Lavouras Permanentes quanto Temporárias. Vale destacar que a metodologia prevê tanto a quantidade colhida quanto a quantidade produzida. No entanto, nas últimas pesquisas, o IBGE passou a considerar apenas áreas (ha) plantadas e colhidas, bem como a quantidade (t) produzida. Para os dados desta pesquisa, a área colhida e produzida correspondeu à área plantada.

Nesse sentido, e com base nos procedimentos metodológicos adotados, o peso normalizado relacionado à quantidade de toneladas produzidas para cada cultura (temporária e permanente) foi obtido a partir do seguinte cálculo:

$$PQN = \frac{(QntProdCult - QntProdMin)}{QntProdMax - QntProdMin} \#(8)$$

Onde:

PQN = peso normalizado da quantidade agrícola produzida de cada cultura;

$QntProdCult$ = quantidade produzida de cada cultura no município em estudo (em tonelada);

$QntProdMin$ = menor quantidade produzida no município em estudo (em toneladas);

$QntProdMax$ = maior quantidade produzida no município em estudo (em toneladas).

Diferentemente do cálculo anterior, a composição do peso relacionado à demanda específica de água na produção agrícola levou em consideração a demanda de água (em m³/t) necessária para as culturas agrícolas no Brasil e na área estudada. Essas informações foram disponibilizadas e discutidas a partir da perspectiva da pegada hídrica, conforme os estudos de Mekonnen e Hoekstra (2011).

Com base nisso, o cálculo utilizado para obter o peso normalizado da demanda específica de água na produção das culturas é expresso da seguinte forma:

$$PDA = \frac{(Dem AgCult - Dem AgMin)}{Dem AgMax - Dem AgMin} \#(9)$$

Onde:

PDA = peso normalizado da demanda específica de água na produção da cultura;

$DemAgCult$ = demanda específica de água na produção de cada cultura;

$DemAgMin$ = menor demanda específica de água das culturas nas áreas territoriais;

$DemAgMax$ = maior demanda específica de água das culturas nas áreas territoriais.

Ao se obter os pesos normalizados da quantidade de toneladas produzida e da demanda específica de água na produção agrícola, o cálculo da média ponderada de exposição das culturas agropecuárias pode ser expresso pela seguinte equação:

$$ECA = \frac{[(Cult(a) \times Peso Qnt(a)) + (Cult(a) \times Peso Dmd(a) \dots)]}{(\Sigma Peso Qnt + \Sigma Peso Exp)} \#(10)$$

Onde:

ECA = exposição total das culturas agrícola desenvolvidas no município, normalizado.

$Cult(a)$ = quantitativo produzido de cada cultura no município normalizado;

$Peso Qnt$ = peso da quantidade produzida normalizado;

$Peso Dmd$ = peso da demanda específica de água das culturas normalizado;

$\Sigma Peso Qnt$ = somatório de todos os pesos das quantidades produzidas;

$\Sigma \text{Peso Exp}$ = somatório de todos os pesos das demandas específicas de água das culturas

Exposição dos Rebanhos (%)

Além das culturas agrícolas, é necessário considerar a pecuária para obter composições quantitativas específicas dos aspectos agropecuários. Nesse sentido, a variável em questão levou em consideração a quantidade de cabeças nos municípios analisados, bem como a demanda específica de água para cada tipo de rebanho. Esses dados forneceram dois diferentes pesos, utilizados para a composição do índice final de Exposição do Rebanho.

O primeiro peso corresponde à normalização da quantidade de cabeças por rebanho, expresso da seguinte forma:

$$PQCN = \frac{(CABEÇAS - CABEÇASMin)}{CABEÇASMax - CABEÇASMin} \#(11)$$

Onde:

$PQCN$ = peso da quantidade de cabeças normalizado;

$CABEÇAS$ = quantidade de cabeças de cada rebanho no município em estudo (cabeças);

$CABEÇASMin$ = menor quantidade de cabeças no município em estudo;

$CABEÇAS_{Max}$ = maior quantidade de cabeças no município em estudo.

O segundo peso está relacionado à demanda específica de água de cada rebanho. Para isso, foram utilizados os coeficientes técnicos de consumo hídrico por espécie, em litros por dia (L/dia), fornecidos pela ANA (2019). Dessa forma, a equação possui a seguinte composição:

$$PDA = \frac{(DEMANDA - DEMANDA_{min})}{DEMANDA_{Max} - DEMANDA_{min}} \#(12)$$

Onde:

PDA = peso da demanda específica de água para os animais normalizado;

$DEMANDA$ = demanda específica de água para os animais (conforme ANA (2019) em L/dia;

$DEMANDA_{min}$ = menor específica água para os animais (conforme ANA (2019)) no município em estudo em L/dia;

$DEMANDA_{max}$ = maior demanda específica de água para os animais (conforme ANA (2019)) no município em estudo em L/dia.

Ao se obter os pesos normalizados da quantidade de cabeças e da demanda hídrica, deve-se aplicar o peso do tipo de agropecuária, isto é, considerar o local em que esses

animais se encontram. A metodologia adotada já estabelece esses pesos: 3 para propriedades familiares, 2 para locais não informados e 1 para locais não familiares.

Feito isso, o cálculo da média ponderada de exposição do rebanho (em espectro geral) para o município analisado foi realizado da seguinte forma:

$$ER = \frac{[(Reb(a) \times Peso_{Qnt}(a)) + (Reb(a) \times Peso_{Tp\ agric}(a)) + (Reb(a) \times Peso_{Exp}(a) \dots]}{(\sum Peso_{Qnt} + \sum Peso_{agric} + \sum Peso_{Exp})} \#(13)$$

ER = exposição total dos animais no município, normalizado;

$Reb(a)$ = quantitativo do rebanho do município, normalizado;

$Peso_{Qnt}$ = peso da quantidade de cabeças normalizado;

$Peso_{agric}$ = peso do tipo de agricultura normalizado;

$Peso_{Exp}$ = Peso da demanda específica de água dos animais normalizado

$\sum Pesos_{Qnt}$ = somatório de todos os pesos referentes à quantidade de animais;

$\sum Pesos_{Tp\ Cult}$ = somatório de todos os pesos referente ao tipo de agricultura;

$\Sigma \text{ Pesos } Exp$ = somatório de todos os pesos referente às demandas específicas de água.

NORMALIZAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DE VARIÁVEIS

Para a composição dos índices, os dados quantitativos precisam estar em uma escala de 0 a 1. Ou seja, variáveis monetárias, volumétricas e aquelas que não estejam em porcentagem deverão ser normalizadas. Para isso, utilizou-se a equação 14, apresentada a seguir:

$$X_{norm} = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \#(14)$$

Onde:

X_{norm} = valor normalizado correspondente ao original;

X = valor a ser normalizado;

X_{min} = valor mínimo dentre os demais;

X_{max} = valor máximo dentre os demais;

Após a composição das variáveis, em um total de 8, para o município de Caicó, foi realizada uma média aritmética simples. O resultado obtido por meio da equação estava em uma escala de 0 a 1, sendo este o valor do indicador de Exposição.

A média utilizada para a composição do indicador é expressa pela seguinte equação:

$$\text{Média Aritmética Simples} = \frac{1 + 2 + 3 + 4 \dots}{8} \#(15)$$

Como forma de especializar os resultados obtidos, os valores de Exposição foram representados gráfica e cartograficamente por meio de um degradê na cor vermelha. A intensidade da cor está relacionada ao grau mais alto ou mais baixo de Exposição, conforme apresentado na Tabela 3:

Tabela 3: Classificação RGB para o Índice de Exposição à seca.

VALOR DO GRAU		COMPOSIÇÃO
Baixo	0 - 0,35	R: 255 – G: 79 – B: 79
Médio	0,35-0,65	R: 255 – G: 0 – B: 0
Alto	0,65 - 1	R: 192 – G: 0 – B: 0

Fonte: Aatoria própria.

Vale salientar que os mapas foram elaborados a partir de dados vetoriais da Agência Nacional de Águas (ANA) relativos ao semiárido brasileiro, bem como do IBGE; dados matriciais também da ANA, IBGE e do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte

(IDEMA), complementados por imagens Landsat 8 obtidas via Google Earth.

Além disso, é importante destacar que todo o processamento das informações mencionadas e dos dados cartográficos foi realizado por meio do programa Excel e da utilização de programas de geoprocessamento, como Quantum Gis (QGis) 2.14 – Essen e o Google Earth.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da quantificação das variáveis (dispostas na Tabela 4) e da análise dos resultados, verificou-se que o município de Caicó encontra-se em uma faixa de média exposição à seca (Figura 4). Essa condição se justifica, em especial, pela população majoritariamente urbana, bem como pela força de trabalho alocada em setores terciários da economia, fatores

que atenuam os efeitos das variáveis relacionadas à população rural e à força de trabalho agropecuária.

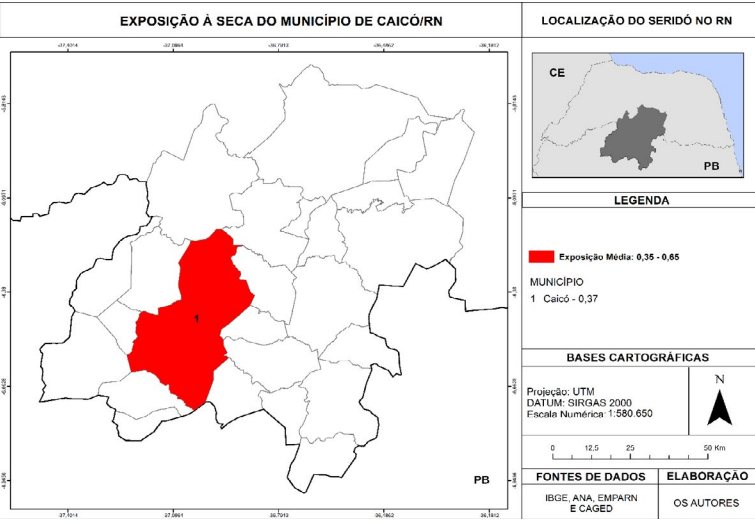
Tabela 4: médias de Exposição à seca no município de Caicó/RN.

SUBÍNDICE	Nº	VARIÁVEL	CAICÓ
EXPOSIÇÃO	1	Índice de Anomalia de Chuva (RAI);	0,37132
	2	Índice de Aridez;	0,75572
	3	Força de trabalho que depende da agropecuária (%);	0,07200
	4	População Rural (%);	0,08370
	5	Estabelecimentos agropecuários que utilizam da agricultura irrigada (%);	0,15513
	6	Dependência Industrial de matéria-prima Agropecuária (%);	0,69314
	7	Exposição das Lavouras (%);	0,47095
	8	Exposição dos Rebanhos (%).	0,35639
MÉDIAS DE EXPOSIÇÃO			0,37

Fonte: Autoria própria.

No que diz respeito à variável 6 (Dependência Industrial de Matéria-Prima Agropecuária (%)), chamam a atenção os altos valores obtidos no município, o que reflete diretamente na elevada necessidade das fábricas e indústrias por matéria-prima do campo (couro, algodão e leite) para a produção de têxteis (redes e roupas) e alimentos (laticínios e panificação).

Figura 4 - Mapa representativo do índice de Exposição à seca em Caicó/RN.



Fonte: Autoria própria.

Outro ponto interessante é que as variáveis 3 e 4 puxam os valores de exposição para baixo, o que se explica pelo fato de Caicó ser um município urbanizado com alta empregabilidade. Segundo dados do IBGE (2010), 92% da população de Caicó reside no perímetro urbano e cerca de 52% do PIB é oriundo do setor terciário.

Além da questão industrial e socioeconômica, outras duas variáveis que merecem atenção são o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e o Índice de Aridez (IA), com valores de 0,37

e 0,75, respectivamente. Esses índices conferem ao município uma considerável irregularidade pluviométrica e alta propensão à desertificação, exigindo das esferas pública e privada um manejo adequado do solo e a preservação da vegetação de caatinga.

Em relação à exposição de lavouras e rebanhos, verifica-se que as lavouras apresentaram uma exposição maior do que os animais, o que pode ser explicado pela alta demanda hídrica de algumas culturas, como coco-da-baía e feijão, além da relação entre a quantidade que se planta e a quantidade que se colhe. Em contrapartida, a exposição dos rebanhos está mais relacionada ao local onde são criados e à quantidade vendida, por exemplo.

Com base nesses resultados, é perceptível que Caicó, embora possua uma boa estrutura socioeconômica, precisa promover a educação ambiental e a gestão adequada do uso consciente e racional da água, uma vez que o município não dispõe de fontes de abastecimento alternativas ao Itans (com exceção das adutoras). O uso consciente da água, incluindo seu reaproveitamento e a preservação da vegetação de caatinga, deve ser prioridade na gestão pública municipal. Além disso, dado que o município depende bastante de atividades agropecuárias, o investimento em Mineração, Energias Renováveis, Geoturismo e Turismo em geral (histórico e

religioso) diversificaria a economia e as formas de arrecadação pública.

Destarte, foram formuladas, a partir dos levantamentos e resultados obtidos, propostas de gestão e políticas públicas de curto, médio e longo prazo (Quadro 1) que podem ser adotadas pelo município de Caicó, de modo a promover as mudanças necessários e reforçar as ações que visem à redução das condições que ampliem a Exposição.

Quadro 1: Quadro de proposições ao município de Caicó/RN.

Município	Fragilidades	Principais Medidas	Efeitos
Caicó	Dependência do setor agro-pecuário.	Diversificar a matriz econômica com a inserção de setores como Mineração, Geoturismo e Energia Renovável.	Médio e longo prazo.
	R i s c o de Desertificação	Investir em educação ambiental como mecanismo de combate ao desmatamento, além de promover a recuperação de áreas já degradadas.	Médio e longo prazo.
	Exposição de Lavouras	Fornecer maquinário que otimize a colheita dos produtores rurais, além de promover o plantio e a comercialização de culturas típicas de caatinga.	Médio e longo prazo.
	Exposição de Rebanhos	Investir em tecnologias de dessedentação animal e que reduzam a dependência da pecuária extensiva.	Médio e longo prazo.

Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender qualquer cenário socioeconômico associado à configuração físico-ambiental, com especial destaque ao clima, é uma tarefa complexa, mas necessária para que se tenham avanços científicos nos estudos de vulnerabilidade. Partindo desse princípio, a metodologia desta pesquisa, que naturalmente possui suas limitações, buscou realizar essa tarefa ao analisar a composição do indicador de Exposição. Esse enfoque forneceu, dentro do rigor científico, resultados e discussões que permitiram a formulação de medidas para a redução das condições de exposição à seca no município de Caicó, tanto pela gestão pública quanto pela sociedade civil.

Dito isso, os resultados obtidos evidenciam que a constituição de indicadores relacionados à vulnerabilidade à seca não se restringe apenas à Exposição, mas abrange outros indicadores essenciais, como Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, os quais têm a função de fornecer dados sobre infraestrutura e meios de vida.

Assim, a problemática da seca deve ser encarada como um desastre silencioso, de longa duração e abrangência geográfica significativa, resultando em danos de grandes proporções, sejam eles sociais, ambientais ou econômicos. Portanto, lidar com esse complexo contexto dependerá das condições de

convivência e adaptação da sociedade civil e, sobretudo, da atuação dos agentes públicos em criar mecanismos para mitigar os efeitos de qualquer evento extremo.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. 1. ed. Brasília: ANA, 2019.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2005.

BRASIL. **Resolução nº 107, de 27 de julho de 2017**. Estabelece Critérios Técnicos e Científicos Para Delimitação do Semiárido Brasileiro e Procedimentos Para Revisão de Sua Abrangência. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/resolucao1072017-pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Manual de Desastres: Desastres Naturais**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2003. Disponível em: http://www.livrosgratis.com.br/download_livro_41340/manual_de_desastres_desastres_naturais. Acesso em: 12 ago. 2019.

BRITO, A. G. M. **Vulnerabilidade socioambiental à seca: uma perspectiva do Seridó Potiguar**. 2021. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

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**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 488-506, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/38839>. Acesso em: 20 set. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://https://ibge.gov.br/>. Acesso em: 16 fev. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Prévia Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <http://https://ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 jan. 2023.

JESUS, E. S.; MATTOS, A. Análise espaço temporal da evapotranspiração sobre a microrregião do Seridó no Estado do Rio Grande do Norte. **Holos**, [s. l.], v. 6, p. 22-32, 2013. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1713>. Acesso em: 21 dez. 2022.

MACEDO, H. A. M.; ARAÚJO, M. A. A.; SANTOS, R. S. (org.). **Seridó Potiguar: tempos, espaços, movimentos**. João Pessoa: Ideia, 2011.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology And Earth System Sciences**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 1.577-1.600, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>. Acesso em: 20 set. 2024.

MELO, J. A. B.; LIMA, E. R. V.; PEREIRA, R. A. Abordagem Teórico-Conceitual sobre Riscos e Perigos e sua manifestação no Semiárido Brasileiro através da Desertificação. **Revista Okara: Geografia em debate**, João Pessoa, v. 2, n. 2, p. 164-176, 2008.

ROSENDO, E. E. Q.. **Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade à seca na região semiárida brasileira**. 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Estudo e elaboração do projeto executivo para Recuperação/manutenção da barragem Passagem das Traíras – contrato no 009/2018-SEMARH**. Natal, RN: Governo do Estado, 2019.

SILVA, V. M. A. *et al.* O desastre seca no nordeste brasileiro. **Polêmica**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 284-293, 2013. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/polemica/article/view/6431>. Acesso em: 20 set. 2024.

SOUZA, J. L. *et al.* Q. Águas sobre rodas: o uso de carros-pipas como medida de resposta à seca no Seridó Potiguar, Brasil. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1., 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Eventos Científicos e Editora, 2016.

SOUZA, J. L. *et al.* A cartografia da água: a logística da operação carro-pipa no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *In*: TEIXEIRA, R. L. P. (org.). **Problemas socioambientais emergentes: contribuições teóricas E práticas**. 1. ed. São Paulo: Gradus, 2021. p. xx

SOUZA, L.J.; SOUZA, A.C.D.; MARANDOLA Jr., E. J. A rodovia do medo: o trânsito de cargas nocivas sobre a parede da barragem Itans,

Caicó/RN – Brasil. **Territorium**, [s. l.], v. 11, n. 29, p. 67-81, 2022.

Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/10088/8885>. Acesso em: 20 set. 2024.

WILHITE, D. A. A methodology for drought preparedness. **Natural Hazards**, [s.l.], p. 229-252, may 1996.

11

HYDROLOGICAL MODELS AND ASSOCIATED INDICATORS FOR THE ANALYSIS OF RISK AND VULNERABILITY TO CLIMATE CHANGE

Vitor Vieira Vasconcelos

INTRODUCTION

The main aspects of interest regarding the risk and vulnerability to climate change in relation to water resources would be the possibility of prolonged droughts and the intensification of extreme precipitation events that could lead to floods or mass movements. In an urban case study in the city of Goiânia (Waycarbon, 2013), Brazil, the focus was on the risk of damage to people and their properties. In the aforementioned case study, sensitivity indicators were used (water shortages; areas

of influence of water bodies and points of flooding; expansion over water catchment basins; permanent preservation areas on the banks of water courses; drainage), past exposure (flooding records; water shortage records), and adaptability (urban interventions in critical drainage basins).

In another case study focused on mining (Waycarbon, 2014), the main focus was the interruption of the production process due to water shortages and flow lines (roads and railways) interrupted by climatic events. In this chapter, the possibilities of information coming from hydrological models that can contribute to the reliability of indicators related to these aspects are being evaluated.

METHODOLOGY

Models indicated (not exclusively) in the following hydrological model inventories were studied: Hydrologic Modeling Inventory (<http://hydrologicmodels.tamu.edu/models.htm>), and Model Repository of CSDMS - Community Surface Dynamics Modeling System (http://csdms.colorado.edu/wiki/Hydrological_Models). Finally, 28 hydrological models were evaluated: SWAT - Soil and Water Assessment Tool; APEX - Agricultural Policy Environmental Extender; HEC-HMS - Hydrologic Modeling System; HEC-RAS - Hydrologic Engineering Centers River Analysis System;

GSSHA - Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis; GSFLOW (PRMS + MODFLOW) - Couple Groundwater and Surface Water Flow Model; PRMS - Precipitation-Runoff Modeling System; MODFLOW - Modular Groundwater Flow Model; LISFLOOD-FP - Distributed Water Balance and Flood Simulation Model; DHSVM - Distributed Hydrology Soil Vegetation Model; WASMOD - Lumped Water And Snow Balance Modeling system; IFAS - Integrated Flood Analysis System; RRI - Rainfall-Runoff-Inundation; IWFM - Integrated Water Flow Model; WATFLOOD / WATROUTE - Hydrological Model Routing & Flow Forecasting System; GBHM - Geomorphology-Based Hydrological Model; WBNM - Watershed Bounded Network Model; KINEROS2 - Kinematic Runoff and Erosion, IHACRES - Identification of unit Hydrographs and Component flows from Rainfall Evaporation and Streamflow data, TOPModel, SWIM - Soil and Water Integrated Model; HYPE - Hydrological Predictions for the Environment; WETSPA - Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere; RegHCM - Regional Hydroclimate Model; WATCH - Water and Global Change; VIC - Variable Infiltration Capacity; MGB-IPH - Modelo de Grandes Bacias [Large Basins Model]; SWMM – Storm Water Management Model.

The models were compared in relation to the application context, methodology, spatial scale, time scale, input data, output data, calibration, and last model update. We also analyzed the number of citations about each model in the Google search system and in the Google Scholar search system. The number of citations helps to assess the popularity of the models and also serves as an indication of the breadth of their application in case studies around the world. However, it should be noted that certain recent models, even those which are well accepted, may still not have many citations (such as IFAS); while older models, with simpler and older algorithms (such as TOPmodel, IHACRES and Kineros) have a high number of citations as they have been used since the 1990s.

The main indicators expected from a water model to analyze risk and vulnerability to climate change would be the availability and quality of surface and groundwater, and water demand. Among the characteristics desired for the model, the following stand out:

- Flexibility to different environmental and socio-economic contexts;
- Ability to generate scenarios;
- Generation of spatial information;

- Generation of temporal information against past data and climate change simulations;
- To be based on open access code.

In this context, the main objective of a hydrological model would be to estimate the vulnerability of the hydrological system in terms of discharge and total flow; aiming to quantify surface runoff, evapotranspiration, aquifer recharge mechanisms, and preferential flow direction, among others. Water demand data (disaggregated by economic/industrial sectors) could be compared with water availability data, according to climate scenarios. The correct calibration of a hydrological model requires a detailed database on meteorology, soil properties, geology, morphological and hydrological attributes, land use, forest cover, and information on activities that create pressure on water resources. Furthermore, the ability to use the model at multiple scales of approach, from municipal to regional (state or national) is a desirable feature.

RESULTS AND DISCUSSION

Model comparison

The most widely cited and studied models are SWAT and the HEC suite (HEC-HMS and HEC-RAS), the first being

more focused on integrated environmental studies and the second most used in water resource engineering studies. With regard to groundwater, the MODFlow model (which can also be integrated with GSFlow) is the most used in the world.

All models analyzed perform the hydrograph simulation against the input data, with the exception of the HEC-RAS, which receives the hydrograph simulation data (from any other model) to perform the simulation of the flooded areas. The LISFLOOD, RRI, WATFLOOD and SWMM programs allow for the simulation of the hydrograph and the mapping of flooded areas in an integrated way.

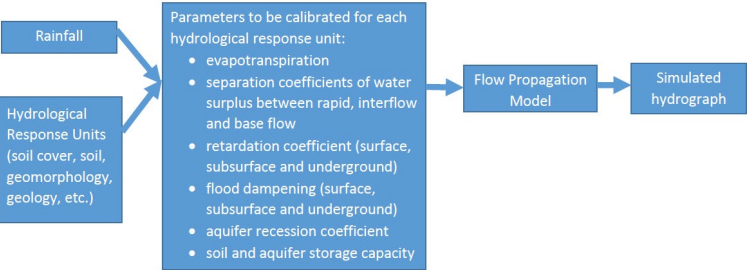
Starting from a general assessment, the analyzed models move between a conceptual framework of rain-flow modeling (Figure 1) and a physical modeling of water flow processes (Figure 2). The conceptual models seek to adjust the precipitation data to the hydrograph format, calibrating certain variables referring to water transfer between conceptual reservoirs (surface, soil, and aquifer), as well as referring to flow velocity. The WASMOD, IHACRES, TOPMODEL and WBNM models are examples of basic conceptual models. For the purposes of this comparison, only conceptual hydrological models with some component of spatialization at the output or input of the model were analyzed, since one of the main

objectives of risk and vulnerability to climate change analysis involves the regionalization of vulnerability indices.

At the other extreme, in the physical simulation framework (Figure 2), the GSFLOW (PRMS + MODFLOW coupled), GSSHA and IWFEM models present a more detailed modeling of the physical processes of water flow, involving both the modeling of surface and underground processes.

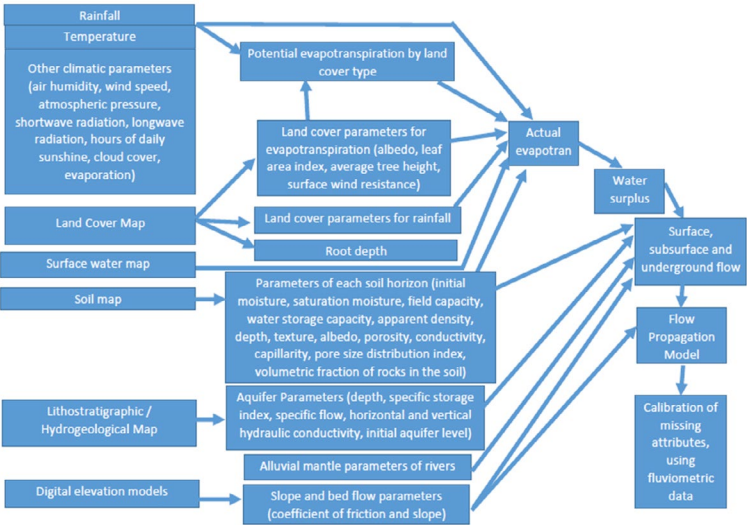
Most of the analyzed models simulate the physical processes involving evapotranspiration, separation of flow components (surface, subsurface and underground) and soil water flow, but use conceptual calibration to adjust groundwater flows. Among these cases are the SWAT, APEX, LISFLOOD, DHSVM, IFAS, WATFLOOD, GBHM, SWIM, HYPE, WETSPA, RegHCM and VIC models. The SWMM model uses conceptual calibration for both soil and aquifer flow, while the MGB-IPH model physically models only evapotranspiration and infers the other parameters by conceptual calibration against the hydrograph.

Figure 1 – Conceptual simulation of hydrograph (rain -flow models)



Fonte: prepared by the authors.

Figure 2 – Physical simulation of hydrological processes



Fonte: prepared by the authors.

There are some differences in design between the models. Some were developed for small basins (such as Kineros2), while others for large basins (such as VIC, HYPE, MGB-IPH), or to be applied on a global scale (WATCH project models). Some models for large basins have a minimum spatial resolution (i.e., minimum pixel size). There are models with distinct temporal resolution (for precipitation and flow): sub-hourly (GSSHA, RRI), hourly (GBHM, GSSHA), daily (APEX, SWIM, HYPE, GS-FLOW, MODFLOW, SWAT, MGB-IPH), monthly (WATCH); while others have greater flexibility (HEC, PRMS, DHSVM, IFAS, WATFLOOD, IHACRES, WETSPA, SWMM).

Some models have a direct interface with GIS, for input and/or output, generating distributed models (such as SWAT, HEC, DHSVM, LISFLOOD, IFAS, SWIM, MGB-IPH and TOPModel), while others only give the general result for the hydrographic basin after entering the average parameters (such as IHACRES). Regarding the input parameters used, there are simpler models and more complex ones; some of the parameters can be spatially distributed, or just a general average for the analyzed watershed. When there are no locally estimated parameters, there are several estimation formulas available, as well as the possibility of searching for parameter values in modeling studies carried out in similar areas. When

available, an important source of information is the measured soil parameters for the elaboration of land use maps for a given region²⁶. For models more focused on event simulation, such as Kineros, WBNM, HEC-RAS and RRI, evapotranspiration and groundwater input are usually not inferred by modeling but can be entered indirectly.

Some models have a calibration system if hydrological data are available, providing estimates for some of the parameters that were not entered. For the other models (if there is availability of fluviometric stations in the basin), the parameters can be estimated with the help of the PEST program, which proposes performing the non-linear calibration of any of the models. The PEST program is widely used in environmental models and has a module focused on hydrological models. Another option, used by statisticians, is to use programmed codes (in C++, R or Matlab) from the Extended Kalman Filter or the Shuffled Complex Evolution algorithm, which also perform non-linear calibration of models. Specifically for the calibration of parameters used in flood simulation (channel geometry, flow, water level in the bed and Manning's roughness coefficient), the AYDRA program performs the

26 An initial source for this data in Brazil is the Embrapa's Brazilian Soil Information System (<http://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>), accessed on April 30, 2023.

calibration, sensitivity analysis, and uncertainty analysis in a conceptually similar way to PEST.

There are some fears that, in many cases, the automatic calibration of physical parameters may generate data that fit well with the given fluvimetry and rainfall series, but do not correspond to the real parameters of the simulated processes (a phenomenon called overfitting) (Efstratiadis; Koutsoyiannis, 2010). One of the problems of overfitting is that reliability is lost, whether for understanding the processes internal to the basin, or for future predictions, or for regionalizing the result to other nearby basins (Sivalapan, 2005). The risk of overfitting is higher for models with a greater number of parameters to be calibrated. In addition, several processes were modeled by equations or reference tables developed for temperate climate basins, which increases the risk of overfitting when models are calibrated for tropical climate basins (Andrade *et al.*, 2006; Ponce; Hawkins, 1996).

Some models have the possibility to include water demand data (such as SWAT, MODFLOW, IWFEM, HYPE, WATCH, SWMM), while others only simulate the hypothetical natural flow (IFAS, WASMOD, WBNM, IHACRES, TOPModel, for example). There are models that extend beyond water quantity, simulating aspects of water quality and sediment transport, such as SWAT, APEX, HEC, Kineros2, SWIM and SWMM.

Regarding groundwater, some models require a three-dimensional modeling of aquifers (such as MODFlow, GSFlow and IWMF). It should be noted that in developing countries, such as Brazil, there are very few aquifers of which there is sufficient knowledge for accurate three-dimensional modeling. In addition, three-dimensional aquifer models generally assume porous aquifers, and are ineffective in fractured or karst aquifer contexts. Other models (SWAT, SWIM, WETSPA, MGB-IPH) have a simplified interpretation of underground flows, and the underground contribution is inferred through calibration, by separating the base flow in the hydrograph and its recession coefficient. IFAS, on the other hand, only uses the information from the geological mapping to adapt the hydrograph prediction parameters.

Some of the hydrological models are event-oriented (such as Kineros2), i.e., they simulate the flow based on a precipitation event in a short-term horizon, given certain initial conditions. Most other models can be run to simulate long-term processes. However, in these long-term simulations, small errors in the modeling can propagate over time, significantly increasing the prediction uncertainties. In particular, the water storage modules (in the soil, in aquifers, or in lakes) can change over the simulated time, reaching values very different from those naturally found. Thus, when running the

models, it is important to evaluate temporal graphs and maps of these reservoirs, to analyze the consistency of the models.

Some models have focused on climate change assessment, such as RegHCM, but several other models have also been used in the scientific literature, especially models focused on a global scale and those for large basins (such as MGB-IPH, VIC and the WATCH project models). Indicators of interest, in relation to climate change, would be the variation in the total flow, the frequency of floods, changes in the minimum flow (reflecting droughts) and long-term maximum. The base flow separation can also indicate the consequences of climate change on groundwater.

APPLIED CONTEXT

Evaluating a hypothesis from different application contexts (development project, municipality, state, country), there will be sources of information at different scales, or even lack of information. Regional metropolises usually have environmental and/or civil defense teams with data that may be relevant for local assessment, as in the mentioned study case in Goiânia (Waycarbon, 2013), but there are smaller municipalities that will not have this information. In addition, in developing countries, soil and geology maps, although generally available on a state scale (from 1:100,000 to 1:1,000,000), tend to

encompass several municipalities under the same mapping class, without detailing local differences.

Regarding fluviometric and climatological stations, there is a greater concentration of these in the most populous regions. In Brazil, for example, there are more stations in the South and Southeast regions and on the northeast coast. However, there is a lack of stations in the most distant regions, reducing the reliability of the models in these regions. Furthermore, in small basins, fluviometric data will rarely be available. Such contexts will lead to the need to perform the regionalization of these data, generating prediction uncertainties. In some models (WATFLOOD, IFAS, MGB-IPH) it is possible to use data from radar images calibrated with those of fluviometric stations, which helps in better spatialization of precipitation phenomena.

In the case of the municipal or development project application scale, small basins will be analyzed, as well as, possibly, relevant larger rivers that cross the site, especially regarding floods. In the case of larger rivers, the simulation can be carried out for the entire basin, or from the last available fluviometric station (basin section). Specifically related to flooding, urban constructions, such as containment dikes, works of rectification and deepening of channels, directly influence the impact of the flood. In such cases,

documentation on these interventions can be incorporated into models more oriented towards hydraulic engineering, such as HEC-RAS, RRI, WBNM and Kineros.

Regarding the environmental contexts of application, most models were developed for humid climates and effluent rivers (i.e., those which receive water from aquifers). In karst areas, or in areas with a semi-arid climate with porous aquifers²⁷ where rivers are commonly influential (contribute to aquifers) for a long part of their course, these assumptions do not apply, and these models become less recommended.

Regarding the size of the basins, most models present satisfactory results for small basins, with undulating to mountainous relief. However, as the size of the basins increases, the underground and subsurface water contribution becomes increasingly significant and complex, generating results that are difficult to model. Furthermore, in larger basins with floodplains (such as the Amazon Basin), there are difficulties in obtaining reliable elevation models (because of the tree canopy), and any failures can lead to very different results in directing surface runoff and in predicting areas which may flood (Paz *et al.*, 2009).

27 The GSSHA and VIC models, however, were designed to model both wet and arid climate basins.

In addition to the simulation with current climate data, the possibility of application to estimated data for climate change also requires some care. Typically, models are calibrated for supposedly stable hydrological data (model stationarity assumption). As climate change is inserted outside the calibrated limits of the model, the results tend to become less reliable. In addition, care must be taken when using climate data from global models in regional or local hydrological application models, as well as when using data from regional climate models in local hydrological applications. There is recent literature on bias correction techniques (bias, also translated as “systematic errors”) to prepare these data for application on smaller scales (downscaling) (Teutschbein, 2013; Hagemann *et al.*, 2013; Eisner *et al.*, 2012; Muerth *et al.*, 2013).

With regard to water use demands, in a global or regional context it is possible to use references of land use type and socioeconomic data to estimate the demand, when there is no use data for each project. In addition, government water management institutions have their databases comparing the granted flow and the remaining flow that can be granted in rivers and underground aquifers. However, it must be understood that the water use permits do not always express well the effective use of water, since there are several non-formalized

uses, while there are also users who request a right to use the water but do not fully exert it. For applications on a local scale, the possibility of channeling and distributing water becomes increasingly relevant, changing the notion between place of use and place of capture. The same can be said for cases of water transfer between basins.

In an analogous way, references of land use type and socio-economic data can also be applied to estimate the emission of organic effluents and pollutants that affect water quality. However, in local contexts, emission by specific projects begins to have greater relevance, and monitoring the emission of their liquid effluents becomes quite complex. Furthermore, the self-purification capacity in water courses, soil and aquifers is also relevant to understand the changes in water quality during its flow.

SELECTION OF MODELS WITH THE MOST POTENTIAL FOR DEVELOPING COUNTRIES

The selection of models took into account their ability to adapt to different spatial scales, and different scenarios of data availability existing in developing countries, using Brazil as an example. The models were divided in two stages. First, the simulation models of river flow were analyzed based on

precipitation and environmental attributes. Secondly, models with possibilities for modeling the flood areas were analyzed.

Flow Simulation Model

One of the models indicated for flow simulation, in the context of climate change risk and vulnerability assessment, is the MGB-IPH (Model for Large Basins of the Hydraulic Research Institute). This model has the advantage of requiring few physical parameters. The model was built for watershed contexts with few fluviometric stations and limited environmental data, which is the common situation in developing countries such as Brazil. The model physically simulates evapotranspiration using climatic parameters and a vegetation cover map. The other available environmental attributes are used to delimit hydrological response units, but the model does not need to estimate the physical parameters of soil, aquifer and riverbeds: the flow simulation parameters are calibrated directly based on the hydrograph. An advantage of this model is that it has already been validated for several Brazilian basins²⁸. However, the results cannot be regionalized for water courses in sub-basins of the larger basins that are being modeled.

28 In addition, the input data are adapted to the formats provided by Brazilian institutes, such as ANA (National Agency of Waters), INPE (National Institute of Spatial Research) and INMET (National Institute of Meteorology).

Another model indicated for flow simulation is the IFAS (Integrated Flood Analysis System), which was developed by the International Center for Water Hazard and Risk Management (ICHARM), maintained by UNESCO and the Public Works Research Institute (PWRI) of the Japanese Government. The model was developed for application in Southeast Asian countries, which are also in a tropical climate and with little availability of climatological, fluvimetric and environmental data. The model can run immediately for a region, accessing global databases, but the result can be refined with data from climatological stations, more detailed GIS databases and through calibration with available fluvimetric stations. The hydrological model was first validated in small basins in Japan, and later in large basins in Southeast Asia, showing flexibility regarding spatial scales.

MGB-IPH and IFAS can be used both for the simulation of isolated precipitation/flooding events, and for long-term simulations in order to assess minimum, average and maximum flows with their frequency of recurrence. Both models accept precipitation data from both weather stations and radar data, which facilitates application in areas with few weather stations. Both models have real evapotranspiration as an intermediate output, which is a useful attribute for calculating composite indices of exposure to drought and aridity.

The main difference between the two models is that while the MGB-IPH does not detail the processes referring to the physical parameters of soil and aquifer, the IFAS simulates these processes based on reference values based on the type of vegetation cover, slope, soil and geology, which can be recalibrated later. Furthermore, while the MGB-IPH calculates evapotranspiration using the Penman-Monteith method and uses interpolated data from climatological stations and vegetation cover, the IFAS calculates evapotranspiration using the NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) global remote sensing models and the WORDCLIM climatological database (1km resolution).

Flood simulation model

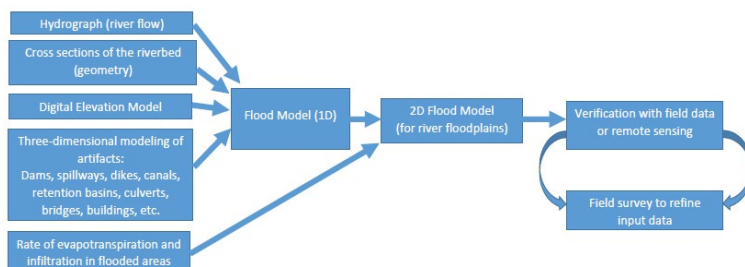
Modeling strategy

Flooding simulation models can use flow data from fluvimetric stations or flow simulation models. In addition to the flow, as a minimum, they need riverbed geometry data (cross sections), a digital elevation model, three-dimensional infrastructure modeling (dams, spillways, dikes, channels, culverts, etc.) and friction coefficient calibration (Manning) within riverbed and out of riverbed. However, there is a lack of data with the appropriate level of detail in developing countries, such as Brazil. Thus, flood simulation results become

less reliable in urban areas (due to the complexity of human interventions) and in floodplains (due to small errors in the runoff model which can generate large modeling errors). In this context, it is possible to think of two strategies for analyzing flooding within the assessment of risk and vulnerability to climate change:

A - Include in the application project plan the need to collect detailed information for modeling, as well as the validation and improvement stage of the model after the first simulation. For the validation stage, it can be checked whether the simulated flooding areas correspond to civil defense data, from remote sensing or by interviewing local residents. When inconsistencies are found, the improvement stage consists of going to the field to look for modeling errors and correcting them. This strategy is outlined in Flowchart 3.

Figure 3 – Hydraulic flood simulation

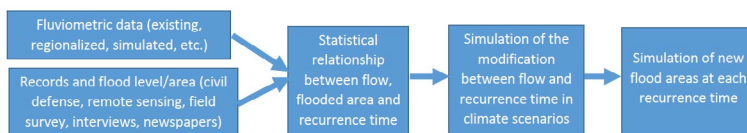


Fonte: prepared by the authors.

B - Instead of performing flood modeling, attempt to build an empirical statistical relationship between the flow data, delimitation of the flooded area and recurrence time. The delimitation of the flooded area can use data from civil defense records, field interviews, remote sensing, and geomorphology (from the digital elevation model) among others. Then, by simulating future climate change scenarios, the previous empirical statistical relationships can be used to understand how the recurrence time and level of floods will change. This strategy is outlined in Flowchart 4.

Furthermore, if Strategy A is used, the method described in Strategy B can be incorporated at the time of the validation step, making the methodology even more complete.

Figure 4 – Simplified method for flood simulation



Fonte: prepared by the authors.

Model selection

The most used model for simulation of flooding is the HEC-RAS. However, most of the HEC-RAS case studies

involve simulation that is currently restricted to 1D modeling, i.e., of the water level rise in the riverbed. Such a model is well accepted for modeling flooding in areas of undulating or mountainous relief.

However, in basins with floodplain geomorphology, models with flood simulation that perform 1D modeling on the bed and 2D on the floodplain are more suitable, as they must simulate the dispersion of water on the ground after the water overflows from the natural dikes of the rivers, since much of the water will not return to the rivers and will continue to infiltrate or evaporate slowly into the floodplain. HEC-RAS also includes the possibility of 2D modeling.

HEC-RAS presents the possibility of receiving hydrograph data from an external model, in order to simulate flooding only from a desired stretch of the basin. The geometry of river cross-sections can be entered into both models. It is possible to simulate scenarios with reservoirs, flood retention areas, and other engineering artifacts (such as bridges, culverts, and spillways).

COMPLEMENTARY OR ALTERNATIVE INFORMATION TO THE MODELS

In addition to the hydrological models evaluated, based on the physical or conceptual simulation of the hydrological flow

in hydrographic basins, another way of estimating the desired indices would be through direct statistical methods (called empirical models), such as regression techniques that relate relevant hydrological and climatic parameters. A frequently used example is the relationship between rainfall, fluvimetric flow (or another flow index, such as maximum flow or minimum flow) and the basin area (or another hydromorphometric index) (Naguettini; Pinto, 2007; Tucci, 2017). Another common method is to relate the fluvimetric flow (not flooded) in a certain season and the height of flooding in another area of the basin, taking into account a certain time lapse. With the presence of an adequate historical series, it is possible to construct a recurrence curve (1 year, 10 years, 50 years, etc.), predicting floods and extreme rains. Soil maps, geology and climatic attributes can help to define homogeneous areas for the selection of stations, for regionalization strategies with data from more than one fluvimetric station. Analogous strategies can also be used to regionalize well flow and other groundwater attributes. However, for the analysis of small basins, the low availability of fluvimetric, climatological and well stations does not allow spatial differentiation of the characteristics that influence vulnerability to water resources.

Some information, such as which areas have water supply difficulties, as well as which areas are under intervention to

improve drainage, are quite useful to characterize vulnerability to climate change; although it is difficult to perform such analyses based only on the information usually provided by classical hydrological models. In the case of municipal studies, this information can be added to the results of the hydrological model.

It is common for some municipalities to already have mapping of areas that were subject to flooding. This information is generally more reliable than that of hydrological models, as it is obtained from field measurements, while the complexity of urban public infrastructure makes it difficult to model using hydrological models. Another way to identify the areas of flooding is using remote sensing images from the most representative flood season (Syvitski, 2012)²⁹, although this method is more suitable for long rather than flash floods, as the latter can escape the temporal resolution of the satellite.

There are several studies that seek to qualitatively estimate vulnerability regarding aspects of quantity and quality of water resources, which, although they do not generate hydrological

29 NASA also maps the occurrence of floods around the world by the Modis satellite, with records since 1998 (<https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/modis-nrt-global-flood-product>, accessed May 4th 2023). The National Water Agency (ANA) in Brazil, and some Brazilian states have recently published their flood vulnerability atlases, which can serve as an important source of data.

simulations, raise and integrate relevant indicators. One example was the study of vulnerability to climate change in the Metropolitan Region of São Paulo (Nobre; Young, 2010), which used a division into classes of vulnerability to floods and landslides, combining the elevation in relation to the drainage network (HAND model) (Rennó *et al.*, 2008), and slope. This was to assess vulnerability to flooding, while also using a combination of slope, rainfall and land use type to assess geotechnical risk. Elevation relative to drainage can be calculated by the HAND model, which is based on the direction of surface runoff, but can also be calculated by interpolating the height levels of the drainage network, subtracted from the terrain elevation, as done so by the open-source software SAGA-GIS.

There are several geomorphometric indices that can be used to map vulnerability regarding water resources, in addition to slope and elevation in relation to the drainage network. The elevation in relation to the springs is an index analogous and complementary to the elevation in relation to the drainage network (Rennó *et al.*, 2003). The Wetness Index obtained in the TOPmodel expresses the relationship between the drainage area and the slope and has been frequently used as an attribute for mapping the relationship between recharge and discharge of aquifers (Seibert, 1999).

In addition to slope, other indices such as terrain roughness, vectorial roughness, ramp length, convexity index, circularity index (or compactness factor), curvature, curvature modulus and accumulated drainage slope influence the generation of surface runoff and its effect on soil erosion, as well as the self-purification capacity of surface water quality.

Another indicator that has been used for composite indicators referring to the impact on water resources is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), obtained by remote sensing. The use of NDVI is defended from the perspective that denser and more humid vegetation would be able to contribute to delaying surface runoff, silting of rivers and water pollution. Variation trends in land use over time could contribute to increasing river vulnerability by clearing vegetation and replacing it with other covers with lower NDVI.

Other sources of information on vulnerability related to water resources are official information on the occurrence of natural disasters, such as droughts, floods (sudden and gradual), mass movements, and windstorms and their human and material damage. The most systematic data refer to the Civil

Defense databases³⁰, which also incorporate the declarations (decrees) of public calamity enacted by municipalities. The mapping of water resource conflict areas in hydrographic basin master plans, or at the state or national level, as well as independent studies, are also relevant sources.

With regard to groundwater quality, there are several semi-qualitative methods that generate classes regarding vulnerability to groundwater contamination. The most widely used methods are DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), POSH (Foster *et al.*, 2003), SEEPAGE (Moore, 1988), RAVE (Deluca; Johnson, 1990) and RZWQM (Ma *et al.*, 2000), although there are other methods for specific environmental contexts such as karst areas (EPIK) (Doerfliger *et al.*, 1999). The main attributes obtained by these methods are soil type, soil parameters (texture, depth, permeability, pH, organic matter content, drainability), type of aquifer (free, semi-confined or confined), type of rock (porous, fractured, karst), aquifer conductivity, aquifer depth, slope, geomorphological feature, amount of infiltrated water, type of land use, distance from wells, distance

30 The main sources of information on natural disasters are the Integrated Disaster Information System (<https://s2id.mi.gov.br/>, accessed on April 30, 2023) and the recognition of public calamity records, both kept by the Ministry of National Integration. Other reference sources are the Brazilian Atlas of Natural Disasters (<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>, accessed on April 30, 2023) and the Brazilian Yearbooks of Natural Disasters, also published by the Ministry of National Integration.

from springs, distance from water bodies and distance from point sources of pollution. These methods, in general, do not try to predict the specific results of water quality, but allow the elaboration of vulnerability maps based on the mapped attributes.

In relation to the capacity to adapt to climate change, a simple indicator is the capacity of water stored in reservoirs, in relation to the total water demand, or in relation to the flow of rivers. Another index is the interannual coefficient of variation of annual runoff, which expresses the capacity of reservoirs to maintain regularized flow in the rivers (Campos *et al.*, 1997).

There are several drought assessment indices, commonly used in the United States to guide public policies on agriculture and water supply (Fernandes *et al.*, 2009). The focus of these indices is to calculate, for a given moment, how far the availability of water in the soils (or the water deficit) is from what would be considered normal for the region in that same period of the year. Using hydrological models fed with meteorological data on climate change trends, it would be possible to estimate how soil moisture would vary at each location and affect these drought indicators throughout the year, generating impact maps.

In this context, there are several water risk or vulnerability indices, including spatialization experiences. For maintenance of agriculture and ecosystems, it is common to calculate indices called hydric, aridity or humidity indices, indicating the risk of the soil not being able to supply the water demanded by the plant substrate (Heim; Richard, 2002). These indices use the seasonal contrast between actual evapotranspiration and potential evapotranspiration, comparing water deficit and water surplus (Lima *et al.*, 2012). Such indices can even be individualized for each type of ground cover. A simplified alternative to the composite index is to use precipitation instead of actual evapotranspiration. In general, if there is an upward trend in an index associated with the risk of water deficit in a region, due to future climate change, that area would present a risk and, consequently, a greater vulnerability (Dai, 2011; Mishra; Singh, 2010).

In the Atlas of Priority Works for the Brazilian Semiarid Region (ANA, 2005; Murtha *et al.*, 2004), the National Water Agency (ANA) of Brazil used the aridity index, together with the total precipitation, the presence of exploitable aquifers and the density of perennial rivers to estimate a water risk index for the semi-arid region. Other indices of interest for the characterization of vulnerability are the water reserve of the soil (water retention capacity in the root zone), the risk of

frost (based on climatic analysis), risk of salinization (by the identification of Haplic and Natric Planosols³¹) in semi-arid climates, especially in the context of dams and irrigation. Other studies use indices derived from remote sensing to assess vulnerability to desertification (Duanyang *et al.*, 2009; Costantini *et al.*, 2005) and soil salinization (Allbed; Kumar, 2013; Dasgupta *et al.*, 2013; Bouaziz *et al.*, 2011).

In comparison with the use of *stricto sensu* hydrological models, the use of composite indicators presents greater flexibility in the incorporation of information. However, the greatest difficulty lies in assigning the weighting of each of the indicators in the final composite index. Some studies only give equal weight (e.g., from 0 to 10) to each of the partial indicators. Others use more complex statistical models, such as cluster analysis or principal components. Others still use hierarchical models of consultation with specialists, managers or the affected population, so that these stakeholders could indicate the most important weights.

The hydrological models can be used to provide criteria for the weighting of the other indicators of the composite

31 Haplic Planosols are referred to as Solonetz in WRB/FAO taxonomy, and as Alfisols (Natrustalfs and Natrudalfs) in USDA soil taxonomy. Natric planosols are referred to as Planosols in WRB/FAO taxonomy and as Ultisols (Albaquults and Plintaquults) or Alfisols (Albaqualfs and Plintaqualfs) in USDA soil taxonomy.

indices. An example is to use the statistical methods of sensitivity analysis, available in the calibration mechanisms of hydrological models, to assess how much certain attributes, such as precipitation, temperature, vegetation cover and soil management would influence the response data, such as surface runoff, and evapotranspiration. This sensitivity analysis can be carried out, with the necessary caution, in the context of climate change trends.

RELATIONSHIP WITH OTHER RISKS AND VULNERABILITIES TO CLIMATE CHANGE

One of the main connections between the water and geodemographic systems in the assessment of risk and vulnerability to climate change refers to the estimation of water use demands, so that water availability can be compared with the need for its use, regarding distinct quality criteria. Regarding the connection between water modeling and the assessment of land use changes, occupation trends directly influence the balance between infiltration and surface runoff, evapotranspiration and also the vulnerability to contamination of surface and groundwater.

The Agricultural Census data referring to areas of culture, pasture and native vegetation are an intersection between the geodemographic assessment and that of land use changes,

in relation to the characteristics of land occupation. The simulation of land use changes, in models such as Dinamica Ego, if run on hydrological models together with the climate change prediction data series, can allow an integrated assessment of impacts on water resources. In addition, results from hydrological models such as soil moisture or soil water deficit can be used to help estimate vulnerability to fires in rural areas and native vegetation.

CONCLUSIONS

The chapter demonstrated several focuses of the application of hydrological models in the assessment of risk and vulnerability to climate change. Among the hydrological models, the MGB and IFAS were selected as having the greatest potential in developing countries, especially Brazil. In the case of flood simulation, HEC-RAS was the most suitable for contexts where there is detailed data (such as bathymetric data and engineering artifacts). However, in the absence of such data, the use of more simplified indicators, such as flood quotas and the HAND model, are potential options. It was demonstrated how the results of these models can be combined with other indicators of water resources, environment, and socioeconomics, in order to assess risks and vulnerabilities to climate change.

REFERENCES

ALLER, L. *et al.* **Drastic**: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Dublin; Ohio: National Water Well Association, 1987.

ALLBED, A.; KUMAR, L. Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review. **Advances in Remote Sensing**, [s. l.], v. 2, n. 4. 2013, Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=41262>. Acesso em: 23 set. 2024.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas de Obras Prioritárias para o Semi-Árido Brasileiro**. 2005.

ANDRADE, H. *et al.* **Geoprocessamento Aplicado a Solos e Meio Ambiente**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.

BOUAZIZ, M.; MATSCHULLAT, J.; GLOAGUEN, R. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil. **Comptes Rendus Geoscience**, [s. l.], v. 343, n. 11, p. 795-803, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071311001945>. Acesso em: 23 set. 2024.

CAMPOS, J. N. B.; VIEIRA NETO, J. F.; MARTINS, E. S. Vulnerabilidade de sistemas hídricos: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 21-44, 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/59501>. Acesso em: 23 set. 2024.

COSTANTINI, E. A. *et al.* **Mapping the State and Risk of Desertification in Italy by means of Remote Sensing, Soil GIS and the EPIC Model. Methodology Validation on the Island of Sardinia, Italy.** Firenze: Experimental Institute for Soil Study and Conservation, 2005.

DAI, A. Drought under global warming: a review. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 45-65, 2011. Disponível em: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wcc.81>. Acesso em: 23 set. 2024.

DASGUPTA, A. *et al.* Identifying desertification risk areas using fuzzy membership and geospatial technique—A case study, Kota District, Rajasthan. **Journal of Earth System Science**, [s. l.], v. 122, n. 4, p. 1107-1124, 2013. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2013JESS..122.1107D/abstract>. Acesso em: 23 set. 2024.

DELUCA, T.; JOHNSON, P. **Rave: Relative Aquifer Vulnerability Evaluation. An On-Farm Scoring System to Evaluate Aquifer Vulnerability to Pesticide Contamination.** Helena: Montana Department of Agriculture – Environmental Management Division. MDA Technical Bulletin 90-01, 1990.

DOERFLIGER, N.; JEANNIN, P. Y.; ZWAHLEN, F. Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). **Environmental Geology**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 165-176, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002540050446>. Acesso em: 23 set. 2024.

DUANYANG, X. *et al.* Quantitative assessment of desertification using Landsat data on a regional scale-a case study in the Ordos Plateau, China. **Sensors**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 1738-1753, 2009. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/9/3/1738>. Acesso em: 23 set. 2024.

EISNER, S.; VOSS, F.; KYNAST, E. Statistical bias correction of global climate projections – consequences for large scale modeling of flood flows. **Adv. Geosci.**, [s. l.], v. 31, 75-82, 2012. Disponível em: <https://adgeo.copernicus.org/articles/31/75/2012/adgeo-31-75-2012.html>. Acesso em: 23 set. 2024.

BRAZILIAN SOIL Information System. **Embrapa**. Disponível em: <http://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

EFSTRATIADIS, A.; D. KOUTSOYIANNIS. One decade of multiobjective calibration approaches in hydrological modelling: a review. **Hydrological Sciences Journal**, [s. l.], v. 55, n. 1, p. 58-78, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626660903526292>. Acesso em: 23 set. 2024.

FERNANDES, D. S. F. *et al.* **Índices para a Quantificação da Seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2009.

FOSTER, S. *et al.* **Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de Agua, autoridades municipales y agencias ambientales**. Washington, D. C.: Banco Mundial, 2003.

HAGEMANN, S. *et al.* Impact of a Statistical Bias Correction on the Projected Hydrological Changes Obtained from Three GCMs and Two Hydrology Models. **Journal of Hydrometeorology**, [s. l.], v. 12, p. 556-578, 2011. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/12/4/2011jhm1336_1.xml. Acesso em: 23 set. 2024.

HEIM, J.R., RICHARD, R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [s. l.], v. 83, n. 8, p. 1.149-1.165, 2002.

Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/83/8/1520-0477-83_8_1149.xml?tab_body=pdf. Acesso em: 23 set. 2024.

LIMA, L. S. *et al.* Balanço hídrico climatológico espacializado para o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., Gramado. **Anais** [...]. Gramado. 2012.

MA, L. *et al.* Integrating System Modeling with Field Research in Agriculture: Applications of the Root Zone Water Quality Model (RZWQM). **Advances in Agronomy**, [s. l.], v. 71, p. 233-292, 2000. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/3495/100.%20advan-agronomy2000.pdf>. Acesso em: 23 set. 2024.

MASOUDI, M.; PATWARDHAN, A. M.; GORE, S. D. A new methodology for producing of risk maps of soil salinity, Case study: Payab Basin, Iran. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 9-13, 2006. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view/17312>. Acesso em: 23 set. 2024.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169410004257>. Acesso em: 23 set. 2024.

MOORE, J. S. **Seepage**: A system for early evaluation of the pollution potential of agricultural ground water environments. Chester, PA: U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1988.

MUERTH, M. J. *et al.* On the need for bias correction in regional climate scenarios to assess climate change impacts on river runoff. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 1.189-1.204, 2013. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/17/1189/2013/hess-17-1189-2013.html>. Acesso em: 23 set. 2024.

MURTHA, N. A. *et al.* Aplicação de indicadores hídricos georeferenciados para delimitação de áreas de elevado risco hídrico no semi-árido brasileiro. In: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: [s. n], 2004.

NAGUETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F. **Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas**: Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: PUC, 2010. Disponível em: https://www5.pucsp.br/ecopolitica/downloads/3_A_2010_Vulnerabilidades.pdf. Acesso em: 30 abr. 2023.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de rios com grandes planícies de inundação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais** [...]. Campo Grande, 2009.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff curve number: has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 11-19, 1996. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291084-0699%281996%291%3A1%2811%29>. Acesso em: 23 set. 2024.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Uso do Índice Topográfico como Estimador da Profundidade do Lençol Freático. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: INPE, 2003. Disponível em: <http://bibdigital.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/bibdigital@80/2006/04.07.15.50.13/doc/mirrorget.cgi?languagebutton=pt-BR&metadatarpository=ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.22.40.21&index=0&serveraddress=marte.sid.inpe.br+800&choice=fullBibINPE&lastupdate=2018:06.06.02.41.52+dpi.inpe.br/banon/2003/12.10.19.30+administrator+%7BD+2003%7D&-continue=yes>. Acesso em: 23 set. 2024.

RENNÓ, C. D. *et al.* HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], n. 112, v. 9, p. 3.469-3.481, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570800120X>. Acesso em: 23 set. 2024.

SEIBERT, J. On TOPMODEL's ability to simulate groundwater Dynamics. *In*: DICKKRÜGER, B.; KIRKBY, M. J.; SCHRÖDER, U. (ed.). **Regionalization in Hydrology**. IAHS, 1999. p. 211-220.

SIVALAPAN, M. Pattern, Process and Function: elements of a unified theory of hydrology at the catchment scale. *In*: ANDERSON, M. G. (ed.). **Encyclopedia of Hydrological Sciences**. Ed. John Wiley & Sons, 2005. p. 193-219.

SYVITSKI, J. P. M. Floods, floodplains, delta plains - A satellite imaging approach. **Sedimentary Geology**, [s. l.], v. 267-268, p. 1-14, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0037073812001510>. Acesso em: 23 set. 2024.

TEUTSCHBEIN, C. **Hydrological Modeling for Climate Change Impact Assessment: Transferring Large-Scale Information from Global Climate Models to the Catchment Scale**. Stockholm, Sweden: Stockholm University, 2013.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2017.

WAYCARBON. **MOVE (Model For Vulnerability Evaluation) para análise de vulnerabilidade e risco da cidade de Goiânia**. Nº 01/2012. RG- T1990 E RG T-2018/WAYCARBON. Relatório final. 2013. 108p.

WAYCARBON. **Análise de Vulnerabilidade [Mina de Corumbá / Porto Sudeste / Serra Azul]**. Relatório Final. 2014.

ZHOUA, D.; LINB, Z.; LIU, L. Developing a Composite Risk Index for Secondary Soil Salinization Based on the PSR Sustainability Framework. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL MODELLING AND SOFTWARE, 6., 2012, Leipzig. **Anais** [...]. Leipzig, Germany: International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). 8p.

SEÇÃO 4 - MODELAGEM E MONITORAMENTO DE RISCO DE DESASTRE



12

CONSTRUINDO INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DE RISCOS ENVOLVENDO BARRAGENS

NO BRASIL: conhecendo o território
e incorporando as lições aprendidas para
subsidiar políticas públicas.

Mariano Andrade da Silva

Fernanda Carvalho de Menezes

Carlos Machado de Freitas

Zélia Maria Profeta da Luz

1. INTRODUÇÃO

Barragens são definidas como “qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para

fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas” (BRASIL, 2020). Seus usos são diversos e geram grandes benefícios para a sociedade, incluindo a regulação do fluxo hídrico, irrigação, geração de energia hidrelétrica, abastecimento de água, controle de inundações, recreação e até mesmo a contenção de rejeitos provenientes do beneficiamento de minérios.

Uma característica dessas estruturas é sua relação ambígua entre desenvolvimento econômico, riscos ambientais e saúde para as áreas circunvizinhas. Ao longo dos anos, o histórico de rompimentos de barragens tem sido marcado por desastres, frequentemente de grande magnitude (Silva; Silva, 2020).

Para se compreender essa tipologia de desastre tecnológico envolvendo barragens e seus significados para a sociedade, devemos considerar três potenciais consequências: (i) grave interrupção do funcionamento normal da sociedade, incluindo perdas, danos e prejuízos; (ii) efeitos sobre o meio ambiente e as condições de vida, trabalho e saúde em uma escala espacial ampliada, desde o curto até o longo prazo, envolvendo sobreposição de situações de exposição, riscos e efeitos; e (iii) sobrecarga das capacidades institucionais de saúde, meio ambiente e proteção e defesa civil.

A referência legal utilizada para o presente estudo foi a Lei nº 12.334/2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), posteriormente alterada pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. A PNSB é aplicada a todas as barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, bem como à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. A política se aplica a estruturas com altura igual ou superior a 15 metros, que tenham sido classificadas na categoria de Dano Potencial Associado (DPA) médio ou alto, e na Categoria de Risco (CRI) alto, seguindo o critério do órgão fiscalizador (Brasil, 2010; Brasil, 2020).

A PNSB exige a aplicação de mecanismos de segurança em todas as fases de vida dos barramentos, incluindo a elaboração e implantação do Plano de Ação de Emergência (PAE) e o acesso à informação sobre o empreendimento como um direito da população. O empreendedor é o responsável pela segurança da barragem e pela reparação dos danos decorrentes de seu rompimento, vazamento ou mau funcionamento, independentemente da existência de culpa, até a completa descaracterização da estrutura (Brasil, 2020).

A política apresenta dez instrumentos, incluindo, entre outros, a classificação em CRI e DPA, o Plano de Segurança obrigatório para barragens CRI alto e DP médio/alto, e

barragens de mineração, a inclusão no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), boas práticas em segurança de barragens, e o monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência. Há exigências específicas para as barragens minerárias, incluindo a proibição do método a montante e a obrigatoriedade de elaboração do PAE (Brasil, 2020).

No âmbito da Saúde Pública, os instrumentos centrais de planejamento para definição e implementação de iniciativas são os Planos de Saúde, as Programações Anuais e os Relatórios de Gestão. O Plano Nacional de Saúde, o Plano Estadual de Saúde e o Plano Municipal de Saúde têm como objetivo guiar a gestão do Sistema Único de Saúde (SUS) em cada esfera de governo para o período de quatro anos.

Adicionalmente, as barragens são avaliadas como uma ameaça potencial à sociedade, levando em conta sua localização, bem como sua classificação de Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA). A ausência de informações integradas e públicas sobre comunidades potencialmente expostas e afetadas é um obstáculo significativo para destinar recursos e reduzir os riscos dos possíveis impactos dos desastres (Silva; Silva, 2020).

Para a adoção de medidas preventivas, de mitigação, recuperação e avaliação dos impactos à saúde, o conceito de exposição é fundamental para entender as possíveis inter-relações entre a população e os grupos populacionais presentes em um determinado território, os riscos aos quais estão expostos e os potenciais efeitos sobre a saúde ao longo do tempo.

Desastres em barragens resultam em um conjunto de impactos com potencial de danos e efeitos imediatos, secundários e terciários, que representam riscos de desencadear reações em cadeia, promover fatores de riscos de ocorrência heterogênea e complexa, com significativos impactos para o meio ambiente, a economia e a saúde física e mental das pessoas afetadas (Freitas *et al.*, 2022).

Para enfrentar essas questões e promover uma gestão eficaz de riscos e direitos humanos, o Observatório de Desastres da Mineração da Fiocruz MG está trabalhando para analisar e sistematizar informações relacionadas à saúde em áreas expostas aos riscos e afetadas pela mineração, além de fornecer suporte para políticas públicas destinadas a reduzir os riscos de desastres.

Este capítulo tem como objetivo identificar os riscos de barragens no território nacional, apresentando indicadores de ameaças, exposição e preparação/resposta. Considera-se o cadastramento e a localização das barragens, além de buscar

identificar as populações potencialmente expostas. O intuito é promover o fortalecimento da gestão integrada de risco, fomentando a incorporação do tema nos planos municipais e estaduais de saúde e nas pactuações nas Comissões Intergestores, para aprimorar a capacidade de resposta do setor saúde nas comunidades do entorno desses empreendimentos. Além disso, visa à implementação efetiva de mecanismos de preparação, resposta, recuperação, reabilitação, reconstrução, aprendizado e adaptação, conforme enfatizado pelo Marco de Sendai para Redução de Risco de Desastres 2015-2030 (UNDRR, 2015).

2. MÉTODO

Um desastre se constitui pela combinação da ameaça (natural e/ou tecnológica), da exposição, das condições de vulnerabilidade e das insuficientes capacidades institucionais de prevenção, mitigação, resposta e recuperação, o que pode incluir a implementação de medidas preventivas, a construção de infraestrutura mais resiliente e o fortalecimento das capacidades da comunidade (Freitas, 2018). Neste capítulo, consideramos, para a construção dos indicadores, os conceitos de ameaça, exposição e preparação/resposta como centrais.

O estudo foi desenvolvido a partir de dados secundários provenientes do SNISB, acessados em 06/12/2022 (ANA,

2022), da Agência Nacional de Mineração (ANM) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), acessados em 05/12/2022 (ANM, 2022; ANEEL, 2022). A distribuição espacial e a caracterização das barragens foram realizadas utilizando informações cadastrais do SNISB, inicialmente consideradas todas as barragens e, posteriormente, analisando somente aquelas com classificação de Categoria de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA) alto (ANA, 2022).

Para a avaliação da exposição, com foco nos potenciais impactos sobre as populações expostas a estes empreendimentos e áreas atingidas, foram utilizadas as coordenadas geográficas dos barramentos, simulando potenciais áreas de abrangência desses empreendimentos em buffers estruturados com raios aproximados de 10km, 5km, 4km, 3km, 2km, 1km.

Para os cálculos métricos, utilizando o padrão IBGE SIRGAS 2000 e o sistema de coordenadas geográficas, foi realizada a conversão de 1 grau = 111.000m, desta maneira, 1.000m (1km) equivalem a aproximadamente 0,009009009 grau. Como limite máximo, foi estruturado um buffer de 0,09009009 grau na camada de pontos das barragens, correspondente a aproximadamente 10km, valor referente à Zona

de Autossalvamento – ZAS³², que é definida na Portaria ANM nº 70.389, de 17 de maio de 2017 (ANM, 2017). Como limite mínimo, foi utilizado o buffer de 1km, o menor raio referente às diretrizes nacionais do Ministério da Saúde para áreas com populações potencialmente expostas a solo contaminado (Brasil, 2008). Os valores inseridos no QGIS, além dos limites máximos e mínimos citados, para a construção dos buffers foram: 0,045045045 grau para 5 km, 0,036036036 grau para 4 km; 0,027027027 grau para 3 km e 0,018018018 grau para 2 km.

Nos municípios, quando utilizadas as camadas em SIRGAS 2000 locais, estas normalmente já se apresentam no sistema métrico, não necessitando que sejam realizadas conversões de grau para metro. A conversão de grau para metro somente é necessária para territórios que englobam mais de um fuso com as camadas oficiais do IBGE disponíveis no sistema de coordenadas geográficas. Reforçamos que existem distorções desses raios, quanto mais distantes da linha do equador. Contudo, a ideia deste estudo foi estruturar uma simulação

32 Zona de Autossalvamento - ZAS: região do vale à jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10km.” (ANM, 2017).

para fomentar a discussão nos territórios com barragens e seu entorno, tendo como referência os padrões e critérios oficialmente adotados no Brasil.

Salientamos que os raios apresentados neste estudo não se destinam a definir possíveis áreas de inundação em caso de rompimento das barragens. Os raios visam identificar populações existentes no entorno desses empreendimentos que podem estar sofrendo exposição a metais, seja via poeira, água ou solo, além de problemas de saúde mental e outros problemas de saúde, mesmo sem a ocorrência de rompimento, fomentando a articulação intersetorial.

Para o georreferenciamento dos dados, foram utilizadas as bases geográficas de setores censitários do IBGE. Os setores censitários que interseccionam os buffers de 1, 2, 3, 4, 5 e 10 km foram avaliados quanto ao número de moradores, domicílios e tipo de setor (se urbano ou rural), considerando os dados do Censo 2010, acessados via complemento do QGIS “Censo IBGE” (QGIS, 2022). Foi utilizada a versão 3.22 Biatowieza do QGIS.

Como estratégia de estruturação de indicadores de preparação e resposta, foram utilizados dados secundários dos planos de saúde municipais e estaduais disponíveis na Sala de Apoio à Gestão Estratégica do Governo Federal (SAGE) e do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES)

referência 2022/10, exportados dos respectivos sites em 05/12/2022 (SAGE, 2022; CNES, 2022). Esses planos de saúde explicitam os compromissos do governo para o setor saúde e refletem, a partir da análise situacional, as necessidades de saúde da população e as peculiaridades próprias de cada esfera. O plano de saúde deve ser composto por três partes: I - análise situacional, II - definição das diretrizes, objetivos, metas e indicadores; e III - o processo de monitoramento e avaliação (Brasil, 2017).

Desta forma, buscou-se identificar, nos territórios que possuem barragens de mineração classificadas como CRI e DPA alto cadastradas na ANM, a existência de planos estaduais e municipais de saúde aprovados, contendo análise situacional que contemple menção a risco/impacto de barragens, resultados de vigilância de metais, saúde do trabalhador em área de barragem, articulação da gestão e ações intra e intersetoriais voltados a barragens. Esses aspectos foram elencados para avaliar a incorporação das lições aprendidas com os desastres ocorridos no Brasil e no mundo, em que existe exposição de comunidades aos poluentes ambientais.

Nesse contexto, o desastre em Brumadinho foi o maior acidente de trabalho do país, tornando necessário avaliar se as articulações intra e intersetoriais estão sendo vislumbradas, uma vez que o setor saúde não é o único com atuação sobre

essas ameaças. Para análise dos dados, foram utilizados os softwares Microsoft Excel® e, para o geoprocessamento dos dados, foi utilizado o software livre QGIS 3.22 Biatowieza (QGIS, 2022).

3. RESULTADOS

3.1 Sistema Nacional de Gestão de Risco de Desastres em Barragens

No Brasil, a fiscalização de barragens é realizada por um total de 33 órgãos fiscalizadores, sendo 29 em âmbito estadual e 4 em âmbito federal, de acordo com informações do SNISB da ANA (2022). A responsabilidade pela fiscalização da segurança das barragens é estabelecida pela Lei nº 12.334/2010, que atribui essas função aos órgãos fiscalizadores federais, como a ANA, a ANEEL, a ANM e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), conforme o tipo de barragem em questão (BRASIL, 2010). Em contrapartida, cabe à entidade que outorga o direito de uso dos barramentos a responsabilidade de garantir que o empreendedor cumpra as obrigações legais e regulatórias relacionadas à segurança da barragem (ANA, 2022b).

Esses atores têm a responsabilidade, respeitando as competências de cada um, de realizar a coleta, o tratamento, o

armazenamento e a recuperação de informações em todo território nacional, abrangendo desde barragens em planejamento e construção até aquelas em operação ou desativadas. O cadastramento das barragens no SNISB é descentralizado, com a coordenação geral do sistema cabendo à ANA. Destaca-se, porém, o baixo efetivo de profissionais fiscalizadores no cenário nacional. Considerando o efetivo exclusivo para atuação em segurança de barragens (SB), temos 197 barragens para cada fiscal atuar e 91 barragens por fiscal sem exclusividade de atuação. No estado do Rio Grande do Sul, essas proporção chega a 826 barragens para cada fiscal (ANA, 2022c). Esse cenário pode ser considerado um indicador das vulnerabilidades institucionais relacionadas ao controle e à prevenção dos riscos de barragens.

Na tabela 1, apresentamos as barragens cadastradas no cenário nacional, organizadas por órgão fiscalizador e pelo número total de fiscais, bem como pelo número de fiscais exclusivos para atuar em segurança de barragens.

Tabela 1: Barragens cadastradas na ANA por
 órgão fiscalizador, Brasil 2022

Órgão Fiscalizador	Número de Barragens	Fiscal para SB	Fiscal Total
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA	1.134	4	8
Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL	1.303	0	21
Agência Nacional de Mineração - ANM	912	38	45
Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN	1	1	5
AC - Instituto de Meio Ambiente do Acre - IMAC	298	0	5
AL - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - SEMARH	113	1	5
AM - Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas - IPAAM	32	0	1
AP - Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amapá - SEMA	10	0	3
BA - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA	494	4	5
CE - Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará - SRH	355	3	3
DF - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF - ADASA	112	0	4
ES - Agência Estadual de Recursos Hídricos - AGERH	421	3	9
GO - Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD	964	8	20
MA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMA	85	0	2

CONSTRUINDO INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DE RISCOS
 ENVOVENDO BARRAGENS NO BRASIL: conhecendo o território e
 incorporando as lições aprendidas para subsidiar políticas públicas.

Órgão Fiscalizador	Número de Barragens	Fiscal para SB	Fiscal Total
MG - Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM	22	-	-
MG - Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM	339	5	5
MS - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul - IMASUL	1.702	1	5
MT - Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SEMA	281	7	8
PA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS	353	2	17
PB - Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba – AESA	538	6	8
PE - Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC	428	4	5
PI – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMAR	54	3	6
PR - Instituto das Águas do Paraná - AGUASPARANÁ	1.073	3	4
RJ - Instituto Estadual do Ambiente - INEA	21	1	3
RN - Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte - IGARN	671	3	5
RO - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental - SEDAM	118	0	2
RR - Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima - FEMARH	62	3	4
RS - Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura - SEMA	9.918	0	12
SC - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável - SDE	59	0	3

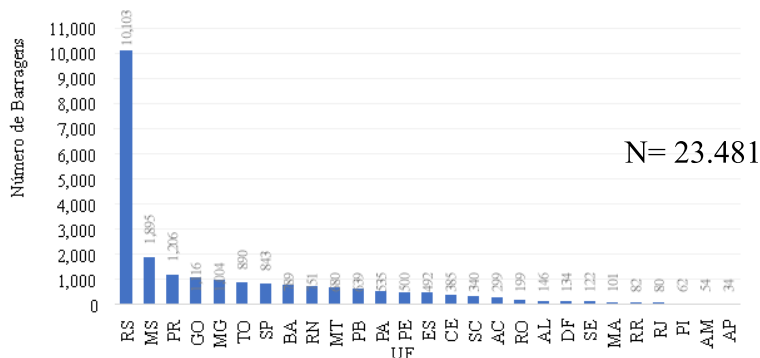
Órgão Fiscalizador	Número de Barragens	Fiscal para SB	Fiscal Total
SE - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade - SEDURBS	103	0	3
SP - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB	2	0	8
SP - Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE	603	7	8
TO - Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS	837	2	3
Não informado	63	-	-
Total	23.481	119	257

Fonte: ANA, 2022 <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/consultar-barragem> (planilha de dados). Atualizado em 06/12/2022; ANA, 2022c. Nota: SB – Segurança de Barragem

3.2 Cenário de risco nacional como ameaças: distribuição das barragens no Brasil e suas características de classificação de risco e dano potencial e uso principal

O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) possui 23.481 barragens cadastradas, distribuídas nas 27 unidades da federação. O estado do Rio Grande do Sul apresenta o maior número de barragens, totalizando 10.103 (43%), enquanto o Amapá possui o menor número, com apenas 34 (0,1%) (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Barragens cadastradas na ANA por unidade federativa (UF), Brasil 2022.



Fonte: ANA, 2022 <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/consultar-barragem> (planilha de dados). Atualizado em 06/12/2022

Na Tabela 2, apresentamos os principais usos de cada um dos barramentos cadastrados no Brasil. Destacam-se as barragens voltadas para a irrigação, com 8.996 (38,3%), e para a dessedentação animal, com 4.923 (21%).

Tabela 2: Barragens cadastradas na ANA por uso principal, Brasil 2022.

Uso Principal	Número de Barragens	%
Irrigação	8.996	38,3
Dessedentação Animal	4.923	21,0
Regularização de vazão	2.589	11,0
Abastecimento humano	1.852	7,9
Aquicultura	1.455	6,2
Hidroelétrica	1.303	5,5
Contenção de rejeitos de mineração	919	3,9
Industrial	542	2,3
Recreação	481	2,0
Paisagismo	223	0,9
Proteção do meio ambiente	64	0,3
Combate às secas	47	0,2
Contenção de resíduos industriais	46	0,2
Defesa contra inundações	33	0,1
Contenção de Sedimentos	6	0,0
Navegação	2	0,0
Total	23.481	100

Fonte: ANA, 2022 <https://www.snisd.gov.br/portal-snisd/consultar-barragem> (planilha de dados). Atualizado em 06/12/2022

Dentre as 23.481 barragens cadastradas no SNISB, 5.547 (23,6%) foram submetidas à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), 4.605 (19,6%) não são reguladas e 13.329 (56,8%) estão categorizadas como “não classificadas”.

Os critérios estipulados pela PNSB submetem à lei as barragens que apresentem pelo menos uma das seguintes características (Brasil, 2010; Brasil, 2020):

“I – altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros.” Considerando a altura do terreno 50,7% das barragens possuem esta informação, e a altura da fundação 40,9%.

“II – capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos)”. A informação da capacidade está presente em 87,5% das barragens cadastradas.

“III – reservatório que contenha resíduos perigosos, conforme normas técnicas aplicáveis”. A Classe do Resíduo foi informada para 5,6% das barragens cadastradas.

“IV – categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º desta Lei.

V – categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no art. 7º.”

Em relação a CRI e DPA, 1.232 (5,2%) barragens foram classificadas simultaneamente com dano potencial e categoria de risco alto. Não possuem classificação para DPA 13.693 (58,3%) barragens e para CRI 14.816 barragens (63,1%) (Tabela 3).

Se considerarmos a altura do terreno, a capacidade, a classe do resíduo, o dano potencial e a categoria de risco como prioritários para avaliação em relação à sua submissão à PNSB, apenas 1.066 (4,5%) barragens do total possuem a completude das informações para a tomada de decisão. A incompletude dos dados demonstra a vulnerabilidade institucional do sistema em identificar o risco.

Do total de barragens (23.481), 1.588 (6,8%) possuem Plano de Segurança de Barragem (PSB) – sendo 1.303 (45,5%) de hidrelétricas e 919 (26,3%) de contenção de rejeitos de mineração –, 685 (2,9%) possuem revisão periódica e 1.285 (5,5%) possuem Plano de Ação de Emergência (PAE).

Se considerarmos as barragens submetidas à PNSB (5.547), 1.517 (27,3%) possuem PSB – sendo 788 (44,0%) de hidrelétricas e 452 (27,2%) de contenção de rejeitos de mineração

–, 661 (11,9%) possuem revisão periódica e 1.243 (22,4%) possuem PAE.

Tabela 3: Número de barragens segundo categoria de risco e dano potencial associado às barragens cadastradas na ANA, Brasil 2022.

Dano potencial							
Categoria de risco	Classificação	Alto	Médio	Baixo	Não Classificado	Total	%
	Alto	1.232	256	903	161	2.552	10,9
	Médio	673	372	1.239	10	2.294	9,8
	Baixo	946	228	692	1	1.867	8,0
	Não Classificado	853	234	272	13.457	14.816	63,1
	Não se aplica	32	2	1.854	64	1.952	8,3
	Total	3.736	1.092	4.960	13.693	23.481	100
	%	15,9	4,7	21,1	58,3	100,0	

Fonte: ANA, 2022 <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/consultar-barragem> (planilha de dados). Atualizado em 06/12/2022.

Todas as 27 unidades federadas (UF) do Brasil possuem barragens cadastradas, sendo que 471 (8,46%) dos municípios têm mais de 10 barragens. Do total de municípios brasileiros, 3.086 (55%) possuem pelo menos uma barragem. A quantidade de barragens por município varia de uma a 347 (Ver Figura 1). O município de Uruguaiana, no Rio Grande do Sul, possui o maior número de barragens registradas, totalizando 347,

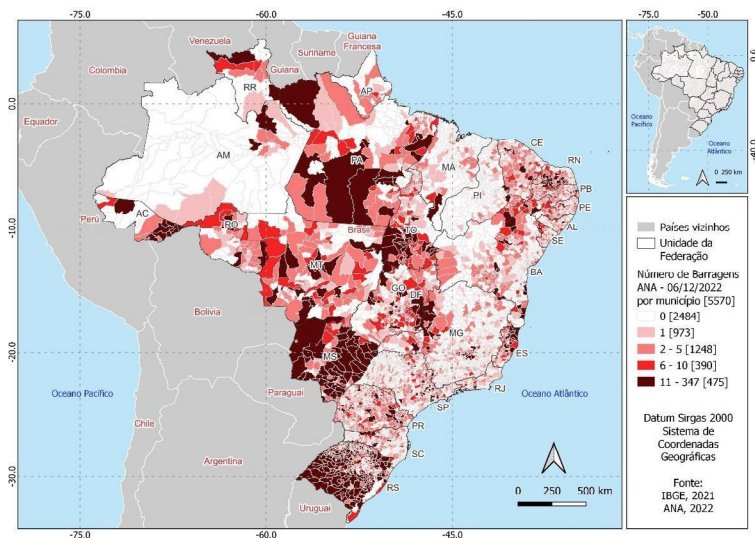
das quais 309 são destinadas à irrigação, 37 à dessedentação animal e uma à aquicultura.

Quando consideradas somente as barragens classificadas nas categorias de risco e dano potencial alto (totalizando 1.232 barragens), nosso objeto de análise, existem 561 (10,1%) municípios com barragens nessa situação, considerando as coordenadas geográficas, e 563 (10,1%) quando se considera o nome do município registrado. Neste contexto, o número de barragens por município varia de uma a 27 (ver Figura 2).

O município de Caicó, no Rio Grande do Norte, possui 27 barragens classificadas com alto risco e alto e dano potencial. Embora os estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul apresentem o maior número total de barragens, são os estados da região Nordeste que possuem o maior número de barragens com riscos elevados, o que potencializa as vulnerabilidades sociais já existentes.

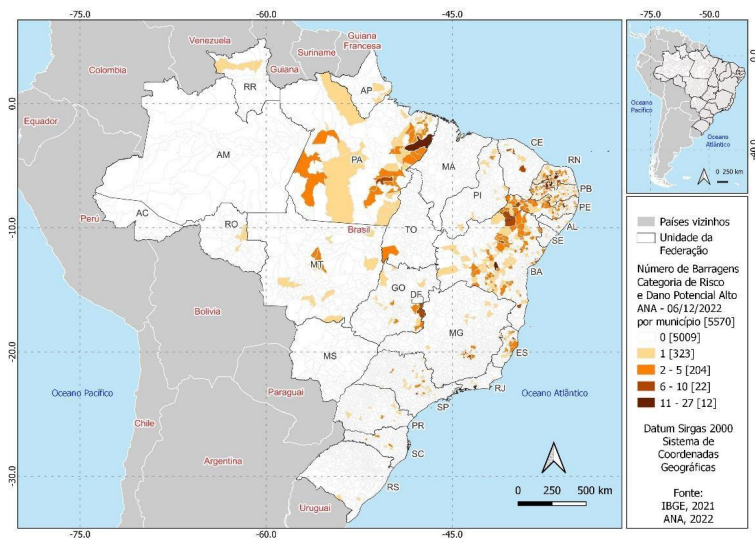
CONSTRUINDO INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DE RISCOS
ENVOLVENDO BARRAGENS NO BRASIL: conhecendo o território e
incorporando as lições aprendidas para subsidiar políticas públicas.

Figura 1 - Número de barragens cadastradas
na ANA por município, Brasil, 2022.



Fonte: IBGE, 2021; ANA, 2022 <https://www.snisd.gov.br/portal-snisd/consultar-barragem> (planilha de dados). Atualizado em 06/12/2022 – Nota: Dentre as 23.481 barragens, 591 (2,5%) barragens as coordenadas não foram coincidentes com o município de cadastro. Para a correta gestão de risco este aspecto deve ser observado pelo órgão regulador para que seja possível representar a localização real das barragens.

Figura 2 - Número de barragens cadastradas na ANA com categoria de risco e dano potencial alto por município, Brasil, 2022.



Fonte: IBGE, 2021; ANA, 2022 <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/consultar-barragem> (planilha de dados). Atualizado em 06/12/2022 Nota: Fernando de Noronha é considerado como sendo um município pelo regulador

Quanto ao método construtivo e ao nível de segurança das barragens, a planilha de dados da ANA não contempla essas informações. Em contrapartida, a planilha de dados da ANM, que possui 925 barragens cadastradas, indica que 66 (7,1%) delas foram construídas utilizando o método de alteamento à montante ou são de método desconhecido. Este é o mesmo tipo de construção das barragens de Fundão e

Córrego do Feijão, que se romperam, respectivamente, em 2015 e 2019 no Brasil.

Das barragens cadastradas, 510 (55,1%) foram construídas em Etapa Única, 197 (21,3%) por Alteamento a jusante, 105 (11,4%) por Alteamento por linha de centro, e 47 (5,1%) têm método rotulado como Indefinido. Dentre as barragens com “Alteamento à montante ou desconhecido”, 17 estão classificadas com categoria de risco e dano potencial alto (ANM, 2022).

Em relação à classificação do nível de emergência das estruturas cadastradas na ANM, atualmente, 3 (0,3%) barragens de mineração estão classificadas na categoria 3, que indica risco iminente de ruptura. Além disso, 44 (4,8%) estão na categoria 1 de nível de emergência, 20 (2,2%) barragens estão em “Nível de Alerta”, e 850 estão classificadas sem emergência, sendo que, desses, 461 não possuem classificação quanto ao dano potencial associado (Tabela 4).

Tabela 4: Barragens de mineração cadastradas na ANM
 segundo nível de emergência e dano potencial, Brasil, 2022

Dano Potencial						
Nível de Emergência	Alto	Médio	Baixo	Não classificado	Total	%
Nível de Emergência 1	27	17	-	-	44	4,8
Nível de Emergência 2	7	1	-	-	8	0,9
Nível de Emergência 3	3	-	-	-	3	0,3
Nível de Alerta	20	-	-	-	20	2,2
Sem emergência	206	143	40	461	850	91,9
Total	263	161	40	461	925	100,0
%	28,4	17,4	4,3	49,8	100,0	

Fonte: ANM, 2022 – <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem>. Atualizado em 05/12/2022

Ao comparar os dados cadastrados na ANA e na ANEEL, observa-se que a ANA possui 1.303 barragens cujo uso principal é classificado como “hidrelétrica”. Em contrapartida, a ANEEL registra 8.044 barragens, das quais 6.513 são classificadas como barragens e 1.531 como diques. Quanto ao nível de emergência, 23 (0,3%) estão com especificação “Alerta”, 322 (4,0%) como “Atenção” e 7.699 (95,7%) estão

classificadas na situação “Normal”. Essa inconsistência entre os sistemas representa um aspecto a ser considerado como uma vulnerabilidade, dificultando a identificação do real risco no território.

3.3 Buffers Cenário de Risco: população exposta ao risco potencial de desastre e efeitos

Estabelecendo a exposição ao risco como um aspecto central no debate sobre barragens e seus potenciais impactos à saúde da população, buscou-se identificar, nos setores censitários, o quantitativo populacional e de domicílios, o tipo de setor (urbano ou rural) e os serviços de saúde expostos, direta ou indiretamente, ao potencial de impacto no território de influência ao redor das barragens. A Figura 3 apresenta a distribuição espacial dos buffers. A área ampliada do mapa, na região de Brumadinho, ilustra a distribuição e sobreposição desses buffers nos territórios, ressaltando a importância da articulação entre municípios na região que sofreu o maior desastre relacionado à saúde do trabalhador no país. A barragem da Vale S.A., que se rompeu, possuía classificação de CRI baixo e DPA alto. Neste território e em seu entorno, ainda existem barragens com classificação de CRI e DPA altos.

Na Tabela 05, apresentamos os resultados das análises de buffer. A simulação de 1 km abrangeu 3.340 setores censitários, totalizando 1.988.401 (1%) moradores (representando 1% da população brasileira) e 568.685 domicílios (também 1%). A simulação de maior alcance, de 10km, contemplou 46.957 setores, sendo 9.532 (20,3%) setores censitários rurais e 37.425 (79,7%) setores censitários urbanos, correspondendo a 16,2% da população e 16,0% dos domicílios do Brasil, distribuídos em 1.260 municípios (Tabela 5).

Tabela 5: Simulação de número de domicílios e moradores considerando os setores censitários (SC) do Censo de 2010 que interseccionam os buffers de 1km, 2km, 3km, 4km, 5km e 10km das barragens cadastradas na ANA com categoria de risco e dano potencial alto, Brasil, 2022.

Simulação Buffer	Número de SC interseccionam o Buffer	Setor Rural	Setor Urbano	Número de municípios*	Domicílio **	Domicílio %	Morador ***	Morador %
1km	3.340	1.802	1.538	659	568.685	1,0	1.988.401	1,0
2km	6.711	2.500	4.211	728	1.241.779	2,2	4.252.927	2,2
3km	10.973	3.294	7.679	797	2.100.545	3,7	7.121.238	3,8
4km	15.528	4.064	11.464	864	3.023.486	5,3	10.207.041	5,4
5km	20.350	4.927	15.423	938	4.001.423	7,0	13.500.052	7,1
10km	46.957	9.532	37.425	1.260	9.146.253	16,0	30.794.854	16,2
Total Brasil	335.527	77.076	258.451	5.565	57.319.607	100	189.773.996	100

Fonte: dados extraídos das planilhas do Censo do universo via complemento do QGIS Censo IBGE (QGIS, 2022); ANA, 2022 <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/consultar-barragem> (planilha de dados). Atualizado em 06/12/2022. Notas: *Número de municípios (dos setores censitários que interseccionam o buffer); **Domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes (Censo Tabela Básico V001); ***Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes (Censo Tabela Básico V002).

3.4 Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES)

Para garantir a segurança da população, dos profissionais e da infraestrutura de saúde, é fundamental que haja uma gestão de risco contínua e eficiente em nível local. Ao cruzar os buffers com as coordenadas geográficas dos estabelecimentos de saúde, foi possível identificar possíveis vulnerabilidades institucionais no setor. No total, foram encontrados 474.339 estabelecimentos de saúde cadastrados no Brasil, dos quais 14,13% (67.043) não possuíam coordenadas geográficas, 0,04% (198) estavam localizados fora do território brasileiro e 1,9% (8.798) estavam situados em municípios diferentes do município gestor (CNES, 2022).

Considerando todas as coordenadas da tabela oficial do CNES e os buffers aproximados de 1km, 2km, 3km, 4km, 5km e 10km das barragens classificadas como de alto risco e com potencial de dano elevado, foram identificados os seguintes números de estabelecimentos de saúde que intersectam os buffers: 1.639 no buffer de 1km, 7.303 no de 2km, 12.934 no de 3km, 19.986 no de 4km, 26.993 no de 5km e 48.821 no de 10km (Tabela 6). Essa análise pode contribuir para orientar políticas públicas e investimentos no setor de saúde, visando minimizar os riscos para a população e os profissionais da área.

Tabela 6: Número de estabelecimentos de saúde, por tipo de estabelecimento, que interseccionam os buffers de 1km, 2km, 3km, 4km, 5km, e 10km das barragens cadastradas na ANA com categoria de risco e dano potencial alto, Brasil, 2022.

Número de Estabelecimentos de Saúde CNES 202210								%
Tipo de Estabelecimento	Buffer 1km	Buffer 2km	Buffer 3km	Buffer 4km	Buffer 5km	Buffer 10km	Brasil	Buffer 10km
Outros	12	37	75	129	160	245	1.355	18,1
Unidade Básica de Saúde	354	999	1.759	2.461	3.169	6.429	47.468	13,5
Central de Gestão em Saúde	49	145	233	293	382	744	6.660	11,2
Central de Regulação	14	48	90	110	137	256	2.047	12,5
Central de Abastecimento	12	29	45	69	100	187	1.075	17,4
Central de Transplante		2	2	2	3	6	53	11,3
Hospital	43	174	267	401	525	979	6.910	14,2
Centro de Assistência Obstétrica e Neonatal Normal		3	6	8	12	20	139	14,4
Pronto Atendimento	26	125	209	287	393	860	5.629	15,3
Farmácia	48	170	320	460	591	1.193	11.796	10,1
Unidade de Atenção Hematológica e/ou Hemoterápica	3	17	23	43	56	104	749	13,9
Núcleo de Telessaúde	2	4	7	8	11	20	134	14,9

CONSTRUINDO INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DE RISCOS
ENVOLVENDO BARRAGENS NO BRASIL: conhecendo o território e
incorporando as lições aprendidas para subsidiar políticas públicas.

Número de Estabelecimentos de Saúde CNES 202210								%
Unidade de Atenção Domiciliar	5	39	55	79	103	170	1.181	14,4
Polo de Prevenção de Doenças e Agravos e Promoção da Saúde	45	149	254	317	426	761	4.894	15,5
Casas de Apoio a Saúde	3	10	15	21	29	66	792	8,3
Unidade de Reabilitação	45	174	326	471	654	1.081	11.877	9,1
Ambulatório	611	3.971	7.335	12.142	16.726	29.453	280.652	10,5
Unidade de Atenção Psicossocial	32	112	178	234	307	612	4.043	15,1
Unidade de Apoio Diagnóstico	254	871	1.360	1.919	2.426	4.243	31.938	13,3
Unidade de Terapias Especiais	13	41	60	91	150	302	2.515	12,0
Laboratório de Prótese Dentaria	25	52	89	125	189	298	2.158	13,8
Unidade de Vigilância de Zoonoses	22	46	73	90	116	213	1.762	12,1
Laboratório de Saúde Pública	7	31	44	59	84	163	1.224	13,3
Centro de Referência em Saúde do Trabalhador		8	17	22	31	56	394	14,2
Serviço de Verificação de Óbito	1	3	4	6	7	14	71	19,7
Centro de Imunização	6	28	60	94	126	207	1.547	13,4
Sem Informação	7	15	28	45	80	139	45.276	0,3

Número de Estabelecimentos de Saúde CNES 202210								%
Total	1.639	7.303	12.934	19.986	26.993	48.821	474.339	10,3

Fonte: CNES, 2022 – <https://cnes.datasus.gov.br/pages/downloads/arquivosBaseDados.jsp>. Atualizado em 05/12/2022 arquivo de referência 202210 Nota: reforçamos que 14,13% não possuíam a coordenada geográfica e que existem coordenadas que não foram coincidentes com o município gestor especificado na tabela do CNES

É imprescindível que os gestores estejam atentos e reconheçam que tais ameaças são eventos passíveis de ocorrência, os quais demandam um planejamento cuidadoso do uso dos recursos por meio de ações de preparação. Essa abordagem reduz as possibilidades de desassistência a um conjunto de usuários que dependem quase exclusivamente desse sistema para obter cuidados essenciais (Freitas et al., 2020).

O setor de saúde ainda enfrenta o desafio da efetiva implementação de políticas e ações voltadas à redução de risco de desastre em barragens. Para isso, são necessárias melhorias nas ações de preparação e resposta, bem como a ampliação da capacidade institucional para oferecer serviços estratégicos que atendam às demandas de saúde das populações afetadas. Há uma clara urgência de revisão das políticas do setor, uma vez que aproximadamente 10% dos estabelecimentos de saúde estão localizados em áreas de potencial risco e, provavelmente,

na área de influência das barragens. Essa vulnerabilidade fragiliza a capacidade de resposta do setor de saúde, comprometendo, inclusive, a integridade física e psicológica dos profissionais que nele atuam.

3.5 Planos de Saúde

Foi avaliada a situação dos Planos Estaduais de Saúde das 27 UF do Brasil, constatando-se que 22 delas (81,5%) possuem planos de saúde aprovados, enquanto 5 (18,5%) não têm planos aprovados para o quadriênio 2020-2023. No total de 5.569 municípios brasileiros, 66,1% têm seus planos de saúde “Aprovados”, 5,5% estão “Em Análise no Conselho de Saúde (CS)”, 11,4% estão “Em Elaboração”, e 16,0% ainda constam como “Não iniciado” para o quadriênio 2022-2025.

Quando consideramos os planos dos municípios que possuem barragens cadastradas na ANA com CRI e DPA alto, observamos que 345 municípios (61,4%) possuem planos aprovados, enquanto 217 municípios (38,6%) ainda não têm seus planos completamente aprovados (SAGE, 2022; ANA, 2022).

Na Tabela 7, apresentamos a situação dos planos de saúde dos estados e municípios que possuem barragens de mineração concomitantemente classificadas como CRI e DPA alto na ANM. Apenas duas UF, das quatro que possuem

barragens desse universo, têm o plano de saúde considerado “Aprovado”, e entre os 13 municípios desse grupo, quatro foram classificados como “Aprovado”.

Tabela 7: Situação dos Planos de Saúde Estaduais e Municipais que possuem barragens cadastradas na ANM com categoria de risco e dano potencial alto, Brasil 2022.

UF/Muni- cípios	Número de Bar- ragens DPA e CRI Alto	Situação - site da Sage	Possui Análise Situacional	Análise Retrata Risco/ impacto Barragem	Resul- tados Vigilân- cia de metais	Saúde do traba- lhador e barra- gem	Gestão da Saúde voltada para barra- gem
MG	26	Aprovado	Sim	Não	Não	Não	Não
Barão de Cocais	2	Não Iniciado					
Bruma- dinho	2	Aprovado	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Itabira	1	Aprovado	Sim	Não	Não	Não	Não
Itabirito	1	Retor- nado Ajustes					
Itatiaiuçu	1	Aprovado	Sim	Não	Não	Não	Não
Mariana	2	Não Iniciado					
Nova Lima	7	Não Iniciado					
Ouro Preto	7	Em Aná- lise CS					
Rio Acima	3	Em Ela- boração					
MT	2	Aprovado	Não	Não	Não	Não	Não

CONSTRUINDO INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DE RISCOS
ENVOLVENDO BARRAGENS NO BRASIL: conhecendo o território e
incorporando as lições aprendidas para subsidiar políticas públicas.

UF/Muni- cípios	Número de Bar- ragens DPA e CRI Alto	Situação - site da Sage	Possui Análise Situacional	Análise Retrata Risco/ impacto Barragem	Resul- tados Vigilân- cia de metais	Saúde do traba- lhador e barra- gem	Gestão da Saúde voltada para barra- gem
Poconé	1	Aprovado	Sim	Não	Não	Não	Não
Pontes e Lacerda	1	Não Iniciado					
PA	1	Em Aná- lise CS					
Ipixuna do Pará	1	Em Ela- boração					
RO	4	Em Aná- lise CS					
Ariquemes	4	Em Aná- lise CS					
Total	33						

Fonte: SAGE, 2022 - <https://portalsage.saude.gov.br/painelInstrumentoPlanejamento> Atualizado em 05/12/2022. ANM, 2022 - <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem> - Atualizado em 05/12/2022. Nota: Em Análise CS (Em Análise no Conselho de Saúde). Na gestão da saúde foram avaliadas também ações intra e intersetorial voltados a barragem e saúde (Meio Ambiente, Defesa Civil, etc). O estado de MG cita a criação da “Rede de Gerenciamento de Risco e Proteção à Saúde Humana” e “Rede de Vigilância às Emergências em Saúde Pública “ no entanto, não é claro em trazer o tema, uma vez que não foi abordado na análise situacional.

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A análise espacial das estruturas e condições de risco de barragens é uma ferramenta relevante para avaliar e preparar possíveis riscos e danos às estruturas sociais, além de determinar eventos de saúde. A distribuição espacial e a caracterização das barragens fornecem informações úteis que subsidiam políticas e ações governamentais voltadas à redução do risco de desastres, fortalecendo a participação das comunidades expostas em decisões que afetam diretamente suas vidas e reduzindo a vulnerabilidade resultante do desconhecimento das ameaças.

Um ponto crucial é que empresas e outras organizações envolvidas na operação dessas estruturas frequentemente priorizam decisões que envolvem riscos, focalizando interesses econômicos em detrimento da proteção ambiental, sanitária e social (Milanez *et al.*, 2019; Freitas *et al.*, 2022). Esse processo produtivo de riscos e desastres resulta, muitas vezes, de estruturas organizacionais que valorizam a maximização de lucros, representando um desafio significativo para a gestão de sistemas de alto risco, como barragens de mineração e outras estruturas de armazenamento. A complexidade inerente a esses sistemas, aliada às pressões econômicas enfrentadas pelas empresas, pode levar a estruturas organizacionais rígidas e hierárquicas, dificultando a comunicação e a colaboração entre

diferentes departamentos, agências reguladoras e fiscalizadores (Le Coze, 2017). Como resultado, falhas podem ocorrer, gerando consequências catastróficas, como demonstrado pelos desastres da Samarco em 2015 e da Vale em 2019 (Freitas; Silva, 2019; Silva; Silva, 2020).

A pressão por decisões em sistemas de alto risco, como as barragens, pode resultar em falhas organizacionais (Freitas; Silva, 2019). É importante considerar que esses desastres afetam grupos sociais mais vulneráveis e marginalizados de maneira desproporcional (Freitas; Gomez, 1996). Assim, municípios com barragens precisam incluir esses fatores em suas políticas e decisões, garantindo que medidas de proteção sejam implementadas e que essas comunidades sejam incluídas nos processos de tomada de decisão. Isso requer a inclusão de diferentes vozes e perspectivas no desenvolvimento e implementação dessas estruturas, tornando-as mais sensíveis às necessidades e expectativas da sociedade como um todo (Freitas; Silva, 2019).

É fundamental promover a disseminação pública de dados de qualidade, permitindo a formulação de políticas de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação adequadas, partindo de planos de ação multissetoriais e multiriscos. Essa transparência e participação da sociedade são cruciais para

definir responsabilidades e restaurar a normalidade para as populações afetadas (Freitas *et al.*, 2019).

Além disso, como tentamos demonstrar em nossos achados, é necessário fortalecer os órgãos públicos responsáveis pela gestão dos riscos de desastres, assegurando que haja um número suficiente de fiscais e recursos financeiros adequados para uma fiscalização eficaz.

Os resultados da simulação dos buffers têm como objetivo alertar os gestores dos três níveis do Sistema Único de Saúde (SUS) sobre a necessidade de identificar os territórios com barragens e populações expostas. Desastres e seus riscos exigem esforços imediatos de resposta e, dependendo da localização e da falta de preparação específica, podem afetar a saúde devido à possível falta de assistência, interrupção do acesso a equipamentos públicos de saúde e ausência de planejamento para lidar com problemas complexos, revelando vulnerabilidades institucionais no sistema de saúde e na proteção social. Isso destaca a necessidade de aprimorar a capacidade de resposta do sistema em situações de emergência (Silva, 2019; Freitas *et al.*, 2022).

Se considerarmos apenas as barragens mais perigosas, classificadas concomitantemente como CRI e DPA (1.232), essas estruturas expõem cerca de 30 milhões de brasileiros e 48.821 estabelecimentos de saúde situados a até 10km de

distância. Na prática, isso significa que um em cada sete brasileiros e 10% dos estabelecimentos de saúde estão associados a territórios com barragens consideradas perigosas. Embora esses números sejam aproximados e resultem de simulações utilizando dados do Censo de 2010, já bastante defasados, eles revelam a importância de ampliar a discussão entre gestores e a necessidade de elaborar políticas públicas de redução de riscos de desastres para esses territórios. Isso deve envolver o setor de saúde e outros setores, como defesa civil, corpo de bombeiros, assistência social e órgãos reguladores, para que seja possível organizar um sistema de governança regionalizada para os impactos das barragens, especialmente as de mineração.

O desastre é um processo que só será percebido se bem monitorado, permitindo agir de forma preventiva e não apenas reativa (Bankoff, 2004). A ausência de planos de saúde considerados aprovados para 18,5% dos estados e 33,9% dos municípios do Brasil, afetados pela pandemia de covid-19, deve alertar os Conselhos de Secretarias Municipais de Saúde (COSEMS), o Conselho Nacional de Secretarias Municipais de Saúde (CONASEMS) e o Conselho Nacional de Secretários de Saúde (CONASS) sobre a necessidade de melhorias nessa abordagem nos planos de saúde em todos os níveis de governo.

As Comissões Locais de Saúde, espaços democráticos de discussão sobre as necessidades de cada Centro de Saúde, com representação de usuários, trabalhadores e gestores do SUS, têm um papel fundamental ao cobrar dos gestores locais posicionamentos sobre a situação de risco instalada nos territórios e as medidas de prevenção, resposta e recuperação, levando suas demandas aos Conselhos Municipais de Saúde.

Os planos de saúde demonstram baixa ou nenhuma incorporação do diagnóstico de risco, de estratégias preventivas e planejamento para respostas rápidas e de longo prazo. As barragens geram consequências que não se limitam aos municípios onde estão localizadas, apresentando o potencial de gerar riscos sistêmicos e alterar abruptamente o padrão de saúde esperado nos territórios afetados (Freitas *et al.*, 2022).

A falta de planos estaduais e municipais de saúde, conforme previsto em lei, nos leva a refletir sobre a necessidade de aprimorar os estudos de análise da situação de saúde nos territórios de forma multidisciplinar. Em toda a estrutura do Marco de Sendai, a saúde é destacada com metas específicas voltadas à redução das perdas por desastres (UNDRR, 2015). O SUS tem a responsabilidade de prevenir e preparar ações de resposta que envolvam, mas não se limitem, à adequação de sistemas locais preventivos e ao planejamento para o rápido reestabelecimento de serviços estratégicos.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional das Águas. Consulte. **SNISB**. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/consultar-barragem>. Acesso em: 6 dez. 2022.

ANA. Agência Nacional das Águas. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. **Entenda quem é o fiscalizador por cada tipo de barragem**. 2022b. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/quem-fiscaliza>. Acesso em: 22 dez. 2022.

ANA. **Relatório de segurança de barragens 2021**. Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. Brasília, DF, p. 69. 2022c.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Fiscalização de Segurança de Barragens**. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/fsb-fiscalizacao-de-seguranca-de-barragens>. Acesso em: 5 dez. 2022.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017>. Acesso em: 5 dez. 2022.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração**. 2022. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem>. Acesso em: 5 dez. 2022.

BANKOFF, G. Time is of the essence: disasters, vulnerability and history. **International Journal of Mass Emergencies and Disasters**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 23-24, nov. 2004. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/028072700402200303>. Acesso em: 23 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 40 da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: 4 dez. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14066.htm. Acesso em: 4 dez. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Diretrizes para a priorização de áreas com populações potencialmente expostas a solo contaminado**. 2008. Disponível em: https://www.saude.sp.gov.br/resources/cve-centro-de-vigilancia-epidemiologica/areas-de-vigilancia/doencas-ocasionadas-pelo-meio-ambiente/doc/2009diretrizes_priori_popul_expo_area_contam.pdf. Acesso em: 2 dez. 2022.

BRASIL. **Portaria de Consolidação nº 1, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre os direitos e deveres dos usuários da saúde, a organização e o funcionamento do Sistema Único de Saúde. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_1_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 5 dez. 2022.

CADASTRO Nacional de Estabelecimentos de Saúde. Downloads base de dados. CNES, 2022. Disponível em: <https://cnes.datasus.gov.br/pages/downloads/arquivosBaseDados.jsp>. Acesso em: 5 dez. 2022.

FREITAS, C. M. D. *et al.* Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 5, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/5p9ZRBrGkfrmtPBtSL-cs9j/>. Acesso em: 24 set. 2024.

FREITAS, C. M. D. *et al.* Desastres em barragens de mineração como riscos sistêmicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 25, 2022. Supl. 2. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-549720220004.supl.2.1>. Acesso em: 23 set. 2024.

FREITAS, C. M. D. **Guia - Preparação para resposta à emergência em saúde pública por inundações graduais**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2018.

FREITAS, C. M. D.; GOMEZ, C. Análise de riscos tecnológicos na perspectiva das ciências sociais. **Hist. cienc. saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3, p. 485-504, 1996. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/t9YRgDSmJwQs7rgNPWkXXPB/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 set. 2024.

FREITAS, C. M. D.; SILVA, M. A. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. **Rev. Bras. Medicina do Trabalho**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 21-29, 2019. Disponível em: <https://www.rbmt.org.br/details/416/en-US/acidentes-de-trabalho-que-se-tornam-desastres--os-casos-dos-rompimentos-em-barragens-de-mineracao-no-brasil>. Acesso em: 24 set. 2024.

FREITAS, C. M. *et al.* Desastres naturais e seus custos nos estabelecimentos de saúde no Brasil no período de 2000 a 2015. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 36, n. 7, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/H6jYR8CFdwjJktM9bvgr9wK#>. Acesso em: 24 set. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas territoriais 2021**. [2023]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 5 dez. 2022.

LE COZE, J. C. Globalization and high-risk systems. **Policy and Practice in Health and Safety**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 57-81, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14773996.2017.1316090>. Acesso em: 24 set. 2024.

MILANEZ, B.; MAGNO, L.; PINTO, R. G. Da política fraca à política privada: o papel do setor mineral nas mudanças da política ambiental em Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 5, p. e00051219, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311x00051219>. Acesso em: 24 set. 2024.

QGIS Development Team. QGIS Version 3.22.13. Geographic Information System. **Open Source Geospatial Foundation Project**. 2022. Disponível em: <http://www.qgis.org>. Acesso em: 5 dez. 2022.

SALA de Apoio a Gestão Estratégica. Governo Federal. Painel da Situação dos Instrumentos de Planejamento. **SAGE**, [2018]. Disponível em: <https://portalsage.saude.gov.br/painelInstrumentoPlanejamento>. Acesso em: 5 dez. 2022.

SENDAI Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. **UNDRR**, 2015. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 2 dez. 2022.

SILVA, E. L.; SILVA, M. A. Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 44, n. especial, p. 242, jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042020E217>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/GxCcNJsWLzNqmN9HbsFgqG/?lang=pt>. Acesso em: 24 set. 2024.

SILVA, I. V. M. **Vulnerabilidade institucional do setor saúde a desastres no Município de Nova Friburgo**. 2019. Dissertação (Mestrado – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019).

13

A PANDEMIA POR COVID-19 COMO UM DESASTRE GLOBAL E SEU MONITORAMENTO POR MEIO DO OBSERVATÓRIO DA COVID-19 FIOCRUZ: INFORMAÇÃO PARA AÇÃO

Carlos Machado de Freitas

Christovam Barcellos

Daniel Antunes Maciel Villela

Margareth Crisóstomo Portela

Lenice Costa Reis

Raphael Mendonça Guimarães

Diego Ricardo Xavier

Raphael de Freitas Saldanha

Isadora Vida Mefano

INTRODUÇÃO

No dia 30 de janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que o surto do novo coronavírus (2019-nCoV) constituía uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) (WHO, 2020a) e, em 3 de fevereiro, o Ministério da Saúde declarou Emergência em Saúde Pública de importância Nacional (ESPIN) em decorrência da Infecção Humana pelo novo Coronavírus (2019-nCoV) (MS, 2020). Em 11 de março do mesmo ano, considerando a rápida disseminação do vírus (Sars-Cov2) e da doença (covid-19) no nível global, a OMS declarou que estávamos diante de uma pandemia (WHO, 2020b).

Neste capítulo, compreendemos a pandemia por covid-19 como um desastre global. Desastre, de acordo com o Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNDRR, 2020a) constitui qualquer evento ou situação, incluindo os relacionados aos riscos biológicos e pandemias, que resulta em uma grave perturbação do funcionamento de uma sociedade em qualquer escala. Envolve as condições de exposição da população e de vulnerabilidade, bem como as capacidades de respostas e de redução de riscos, que combinadas resultam em perdas e impactos humanos (doenças e óbitos), materiais, econômicos e ambientais (UNDRR, 2020b). A pandemia por covid-19 combina ambas as características,

devendo ser tratada como um desastre global (Freitas e col., 2020; Maskrey e col., 2020).

Em abril de 2022, o Ministério da Saúde declarou o encerramento da ESPIN em decorrência da infecção humana pelo novo coronavírus (2019-nCoV) (MS, 2022). Até essa data, o Brasil se encontrava como um dos epicentros da pandemia no mundo, totalizando 662.802 óbitos e um número de óbitos por milhão de habitantes quatro vezes maior do que a média global. Durante esse período, o Brasil tornou-se o segundo país com maior número de óbitos pela covid-19 no mundo, totalizando 11% do total no mundo, ainda que respondesse por apenas 2,7% da população global.

O objetivo deste capítulo é apresentar a experiência do Observatório Covid-19 na Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) no monitoramento da pandemia por meio de um conjunto de indicadores, tendo como missão a produção de informação para ação no nível nacional. Nosso foco se concentra nos Boletins do Observatório Covid-19 que constituíram uma forma regular de produção de informação para ação, envolvendo uma estratégia ativa de comunicação dos indicadores em saúde sobre a pandemia em um contexto político adverso ao enfrentamento da pandemia com base na ciência.

O OBSERVATÓRIO COVID-19 NA FIOCRUZ

O Observatório como uma plataforma de reunião de dados e informações diversas foi uma inovação institucional que resultou de uma decisão da Presidência da Fiocruz em 22 de março de 2020, após reunião com pesquisadores e gestores que já vinham trabalhando com temas relacionados às emergências em saúde pública e desastres. No dia 1º de abril, o site entrou no ar (<https://portal.fiocruz.br/observatorio-covid-19>), sendo organizado em quatro eixos 1) Cenários Epidemiológicos; 2) Medidas de Controle e Organização dos Serviços e Sistemas de Saúde; 3) Qualidade do Cuidado, Segurança do Paciente e Saúde do Trabalhador; 4) Impactos Sociais da pandemia. Seu objetivo geral foi o de desenvolver e disponibilizar análises integradas, tecnologias, propostas e soluções para enfrentamento da pandemia. Foram publicados boletins, notas técnicas, relatórios, cartilhas, guias e livros (5 Instant Books publicados no Scielo em acesso aberto: <https://books.scielo.org/informacaoparaacaonacovid19/>), além Webinários sobre diversos temas envolvendo a pandemia.

Os Boletins do Observatório como forma sistemática de monitoramento e produção de análises e informação para ação sobre a pandemia passaram a ser publicados a partir

das Semanas Epidemiológicas (SE)³³ 31 e 32 (26 de julho a 8 de agosto de 2020). Constituíram uma da resposta da Fiocruz ao apagão de dados do Ministério da Saúde no início de junho de 2020, quando deixaram de ser publicados os dados acumulados de casos e óbitos por covid-19 diante das tendências de aumento de casos e óbitos na primeira onda.

Como foi observado na Nota Técnica da Associação Brasileira de Saúde Coletiva “Apagão de Dados no enfrentamento à pandemia de covid-19”, “ao alterar as informações sobre a covid-19, sem observar critérios técnicos rígidos e pactuados entre as três esferas de governo e os especialistas da área, o governo federal deliberadamente deixa sem informações gestores, pesquisadores, imprensa e a sociedade civil” (Abrasco, 2020). Nesse mesmo contexto e como resposta ao apagão de dados, outras iniciativas importantes foram também estruturadas para sistematização de disponibilização de dados e indicadores sobre a pandemia, sendo esses o Painel Nacional covid-19 no Conselho Nacional de Secretários

33 Corresponde ao período de tempo padrão para agrupar óbitos e outros eventos epidemiológicos, sendo resultado de um consenso internacional. A divisão dos 365 dias do ano em 52 ou 53 semanas epidemiológicas constitui o chamado calendário epidemiológico, sendo contadas de domingo a sábado, com a primeira semana do ano sendo a que contém o maior número de dias de janeiro e a última a que contém o maior número de dias de dezembro. Fonte: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/saude/semanaepidemio.pdf>

de Saúde (<https://www.conass.org.br/painelconasscovid19/>) (Ferré e col. 2021) e o Consórcio de Veículos de Imprensa, iniciativa que envolveu o G1, O Globo, Extra, Estadão, Folha e UOL (G1, 28 jan. 2023).

O primeiro Boletim foi publicado em um cenário adverso, em que o apagão de dados fez parte de um contexto mais amplo em relação aos aspectos políticos e sociais que envolveram a resposta do governo brasileiro à pandemia até o ano de 2022. Como destacado no Relatório Final do Grupo Técnico de Saúde, da Comissão de Transição Governamental 2022 (Comissão de Transição Governamental, 2022), esse contexto foi caracterizado por falta de coordenação nacional e recusa do governo federal em apoiar estados e municípios na adoção de medidas não farmacológicas no enfrentamento da pandemia; de dados insuficientes e imprecisos sobre a doença (testagem, hospitalizações, óbitos, de incidência de covid longa), que afetaram gravemente a capacidade de resposta à pandemia; do negacionismo combinado com a adoção de estratégias de comunicação pública marcadas pela desinformação, *fakenews* e pela desmobilização da sociedade para o processo de vacinação.

METODOLOGIA

A metodologia adotada tomou como referência indicadores propostos nos documentos de referência da OMS *Considerations for implementing and adjusting public health and social measures in the context of covid-19* (WHO, 2020c) e iniciativas de cientistas em disponibilizar publicamente e de modo fácil indicadores que subsidiassem a tomada de decisões, como *covid Act Now* (<https://covidactnow.org>), considerando a disponibilidade de dados públicos e que pudessem ser acompanhados durante a pandemia. Os indicadores-chave foram: média móvel de casos e óbitos por covid-19; incidência e mortalidade de covid-19; incidência de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG); óbitos, internações clínicas e em UTIs por grupos etários; taxa de ocupação de leitos UTI adultos no SUS; evolução da taxa de vacinação (primeira dose e doses de reforço); testes e positividade; Índice de Permanência Domiciliar, este último tendo como referência a proposta de Barreto e col (2021).

Os indicadores seguiram a lógica descrita no Quadro 1, e os boletins com análises combinaram regularmente a inclusão de temas importantes durante a pandemia, como: situação dos trabalhadores de saúde; povos indígenas e covid-19; favelas; população idosa; educação e saúde na pandemia; equidade

em saúde; renda e trabalho; políticas públicas e impactos sociais; vacinação; entre outros.

Quadro 1 - Dimensões e indicadores adotados pelo Observatório COVID-19 Fiocruz

Dimensão dos indicadores e da pandemia	Exemplos de dados & indicadores	Políticas & ações do setor saúde para redução dos riscos	
Exposição	Índice de permanência domiciliar (IPD)	- Reduzir exposição das pessoas e propagação do vírus por meio de medidas não farmacológicas	Políticas e ações sociais Identificação de situações de vulnerabilidade social Apoio social aos grupos vulneráveis
Infecção	Dados sobre testagem	- Reduzir infecção de pessoas através de vacinas - Vigilância da saúde para reduzir circulação de infectados, com ampliação de testagem, busca ativa e isolamento dos casos suspeitos e monitoramento e quarentena de contatos -	
Adoecimento	Notificação de casos	- Identificação dos grupos de risco por profissionais da Estratégia Saúde da Família e redução da vulnerabilidade por comorbidades dando continuidade aos tratamentos	
Agravamento	Internações em leitos enfermarias e UTIs	- Medidas para adequação da oferta de leitos, insumos para o tratamento, quantitativo de profissionais de saúde e condições de trabalho para segurança dos pacientes e trabalhadores	
Óbitos	Declaração de óbito	- Medidas de suporte social para as famílias com maior vulnerabilidade social e apoio psicossocial e em saúde mental	

Fontes: Observatório Covid-19 Fiocruz 2020 (6 meses de pandemia) e 2021 (500 mil mortes no Brasil)

Esse conjunto multidimensional de indicadores se encontra disponível no site do Observatório Covid-19, no eixo Cenários Epidemiológicos, e tiveram como base sistemas de monitoramento já existente na Fiocruz, sendo esses o Infogripe (<https://info.gripe.fiocruz.br/>) que se encontrava no ar desde 2017, contendo dados sobre internação hospitalar por casos graves (Síndrome Respiratória Aguda Grave) e o Monitoracovid-19 (<https://bigdata-covid19.icict.fiocruz.br/>), estruturado em resposta à pandemia e entrando no ar em abril de 2020, contendo um conjunto amplo de dados e informações, além de casos e óbitos. Outros dados e indicadores, como Taxa de Ocupação de Leitos UTI, eram coletados semanalmente e manualmente em cada uma das secretárias de saúde dos estados e capitais do país.

O monitoramento com análises dos indicadores estados e regiões publicadas regularmente em boletins, visava oferecer um panorama dos diferentes cenários epidemiológicos, com subsídios para gestores, profissionais de saúde e sociedade de modo geral. A produção de informações foi combinada a uma estratégia ativa de comunicação, envolvendo a divulgação dos boletins por meio da Coordenação de Comunicação Social e Agência Fiocruz de Notícias, com uma ampla rede de meios de comunicação (rádios, TVs, jornais e revistas diversas, desde os de grande circulação até outros mais regionais e locais) e

redes sociais. Essa combinação de produção de informações com estratégias de comunicação permitiu o amplo acesso aos boletins e análises realizadas, tornando os boletins do Observatório Covid-19 Fiocruz uma das principais referências de informação para ação durante a pandemia no Brasil, chegando aos diferentes públicos interessados (gestores de governos estaduais e municipais, do legislativo e judiciário, profissionais de saúde e outras instituições envolvidas na resposta à pandemia, empresários, ONGs, movimentos sociais e sociedade geral).

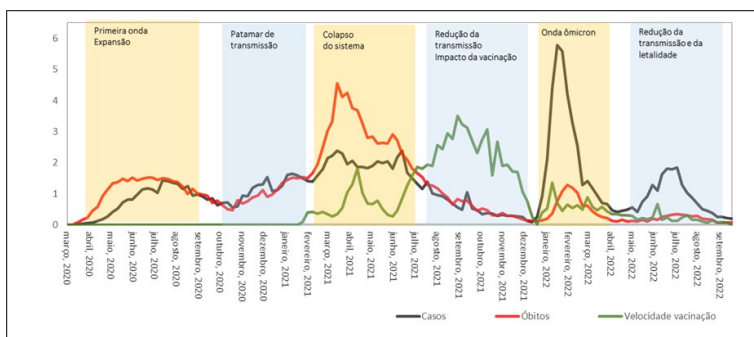
Ao todo, foram publicados 63 boletins, sendo 34 boletins quinzenais, 24 boletins extraordinários (publicação que passou a ser feita a partir de março de 2021, quando o indicador referente à taxa de ocupação de leitos passou a demonstrar um cenário crítico e de colapso do sistema de saúde, combinado com números cada vez mais elevados de médias diárias de casos e óbitos), 5 boletins especiais (6 meses da pandemia, 500 mil óbitos, balanço 2020, retrospectiva 2021, 2 anos de ESPII).

ANÁLISE DA PANDEMIA POR MEIO DOS BOLETINS DO OBSERVATÓRIO

Para uma melhor compreensão da evolução da pandemia por meio dos boletins, realizamos uma síntese demarcando diferentes fases. Tomamos como principais referências o

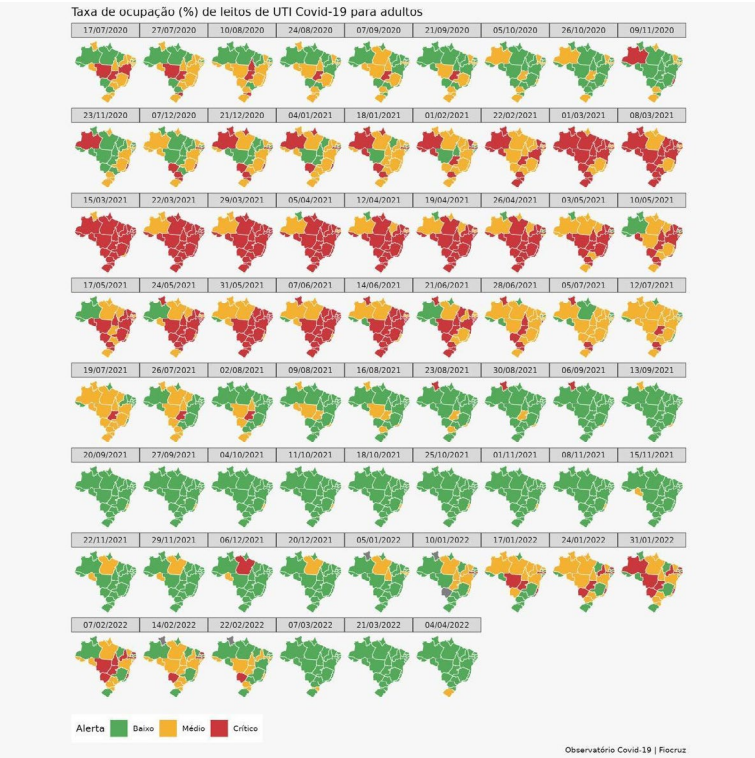
Boletim Especial - Balanço de dois anos da pandemia covid-19 - janeiro de 2020 a janeiro de 2022 (Observatório Covid-19 Fiocruz, 2022) além do artigo de Barcellos e Xavier (2022). Embora para o conjunto de boletins tenham sido produzidos muitos tipos de gráficos e mapas procurando sistematizar os indicadores de modo inteligível para os diferentes públicos, procuramos sintetizar a análise para este capítulo nas Figuras 1 e 2, focando a evolução das infecções, casos, agravamento e óbitos, bem como as capacidades de respostas considerando as taxas de ocupação de leitos UTI.

Figura 1 - variação relativa da incidência (casos novos), mortalidade (óbitos) e velocidade da vacinação, normalizados segundo a média e desvio padrão dos indicadores para todo o período. Março de 2020 a setembro 2022



Fonte: Autoria própria.

Figura 2 – Taxa de Ocupação de Leitos UTI covid-19
no Brasil – julho 2020 a abril 2022



Fonte: Autoria própria.

Primeira onda e expansão da transmissão das capitais
para as cidades menores (fevereiro a julho de 2020)

Durante a fase inicial da pandemia, os relatórios ainda
não estavam sendo divulgados, com o esforço concentrado em

Comunicados Técnicos e Documentos indicando os grandes perigos apresentados pelos vírus e doença, além da necessidade de implementação das medidas não medicamentosas e salvaguarda dos profissionais de saúde, bem como a aquisição de insumos essenciais para o tratamento. Esse estágio foi marcado pela entrada do vírus SARS-CoV-2 e pela identificação do aumento significativo dos casos de SRAG nas primeiras semanas epidemiológicas de 2020, sendo mais prevalentes em indivíduos acima de 60 anos. Na primeira semana de março, o InfoGripe já havia identificado um crescimento de casos que ultrapassava o limite pré-epidêmico; a partir da segunda metade do mês, a taxa de incidência de SRAG já indicava um nível de intensidade muito alto. Durante essa fase, houve uma disseminação da transmissão de metrópoles e grandes cidades em direção a áreas periféricas, pequenas cidades e regiões rurais, evidenciando um movimento gradual de interiorização. Esse processo foi mais lento do que o observado em outros países, começando em fevereiro e continuando até maio de 2020. O ritmo e o volume foram inferiores aos casos de SRAG, o que sugeria uma subnotificação acentuada e uma falta de testes para diagnóstico.

Nesse estágio inicial, foi declarada a Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional (ESPIN) (Portaria nº 188, de 3 de fevereiro de 2020 Ministério da Saúde), estabelecendo o

Centro de Operações de Emergência em Saúde Pública para Infecção Humana pelo Novo Coronavírus (COE-nCoV) como mecanismo nacional para a gestão coordenada da resposta à emergência, com funções de planejamento, organização, coordenação, articulação com os gestores estaduais, distritais e municipais do SUS, e a disseminação de informações à população sobre a pandemia. Foram dados os primeiros passos importantes para o monitoramento e vigilância da pandemia. No entanto, também houve esforços diversos e pouco coordenados para uma melhor organização das ações da Atenção Primária em Saúde nos municípios. Da mesma forma, não houve sincronização na aquisição de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e ventiladores, em um contexto de grande competição entre países, bem como na expansão de leitos clínicos e de UTI, tanto no setor público quanto no setor privado. Nesse ponto, as desigualdades estruturais já estavam evidentes, especialmente com mais de 90% dos municípios carecendo de recursos para o tratamento de casos graves de covid-19, principalmente na Região Norte do país.

Nesse período, apesar da aceitação inicial da população das medidas não medicamentosas (uso de máscaras e distanciamento físico), houve uma diminuição gradual dessa estratégia, que foi desacreditada de maneira organizada e sistemática como medida essencial para reduzir a exposição

e proteger a comunidade. Isso foi contribuído pela ausência de campanhas governamentais coordenadas e articuladas em todos os níveis (federal, estadual e municipal), e de combate às chamadas fake news. Foram registradas grandes filas de espera para internação em UTI e uma alta incidência de óbitos devido à falta de acesso ou acesso tardio aos cuidados de alta complexidade. Isso ocorreu mesmo após uma expansão significativa no número de leitos de UTI SRAG/covid-19, incluindo a abertura de diversos hospitais de campanha no país. Entre abril e maio, no município de Manaus, único no estado do Amazonas com capacidade para oferecer cuidados hospitalares de alta complexidade, ocorreu o primeiro e grave colapso do sistema de saúde no país.

Assim como em outros países, nesse estágio inicial, os profissionais de saúde sofreram um impacto significativo, com aumento de casos, sobrecarga de trabalho e dificuldades no manejo da doença, cuja fisiopatologia ainda não era suficientemente compreendida.

Entre junho e agosto, ocorreu uma sincronização da transmissão no país. A queda contínua na adoção das medidas não medicamentosas foi seguida pelo aumento gradual de casos, positividade de testes, internações e óbitos, que se estabilizaram em um patamar elevado. Foi o primeiro período caracterizado por um alto patamar na mortalidade, com cerca

de 1.000 óbitos diários (média móvel). As situações mais críticas de taxas de ocupação de leitos de UTI foram pontuais, especialmente em alguns estados da Região Centro-Oeste e Sul do país. Como resultado, foram observados momentos de aumento de óbitos, mesmo fora de hospitais, o que foi identificado por um forte excesso de mortalidade.

Nesse período, também começou a ser observado um aumento no número de casos e óbitos entre gestantes, uma situação diferente da relatada pela China e países da Europa até então. É importante mencionar que o excesso de mortalidade materna era maior do que o excesso de mortalidade geral no país. Isso foi um forte indício de que a covid-19 não apenas era a causa direta do óbito de gestantes e puérperas, mas também uma causa indireta, ao criar obstáculos para a assistência ao ciclo gravídico-puerperal no Brasil. A partir desse contexto de aumento dos casos e óbitos chegando ao patamar de mil óbitos diários (média móvel), aumento da mortalidade afetando alguns grupos populacionais por descontinuidade e desassistência em saúde (gestantes) e apagão de dados do Ministério da Saúde é que foi tomada a decisão de passar a publicar Boletins do Observatório Covid-19 Fiocruz.

Transição entre primeira e segunda ondas (agosto a outubro de 2020)

O período entre julho e agosto foi caracterizado por uma relativa diminuição no número de casos e mortes, com diversos governos estaduais e municipais implementando medidas isoladas de distanciamento físico e social e uso de máscaras, sem uma coordenação nacional e regional. A partir de outubro, especialmente em novembro, os casos começaram a aumentar novamente, com o maior impacto nas taxas de ocupação de leitos de UTI concentrado nas regiões Sul, Centro-Oeste e novamente no estado do Amazonas (consulte a série histórica de mapas na Figura 2).

Apesar de variações geográficas - com alguns estados e municípios registrando, em determinados momentos, maior número de casos, internações, taxas de ocupação de leitos de UTI e óbitos -, ao longo da maior parte de 2020, a média de idade das internações em UTI foi superior a 60 anos, e a idade média dos óbitos sempre esteve acima desse limite, afetando principalmente os idosos e pessoas com comorbidades. Essa maior vulnerabilidade no Brasil e no mundo foi crucial para recomendar que esses grupos fossem considerados prioritários para receber a primeira dose da vacina contra a covid-19, com os profissionais de saúde envolvidos no combate à pandemia.

Diante do cenário de reversão das tendências de queda de casos e óbitos a partir de outubro de 2020, o Observatório passou a adotar como uma das estratégias de comunicação a seleção de temas importantes durante a pandemia e que afetavam, de modos distintos, os diferentes grupos sociais e populacionais. Essa estratégia foi importante no sentido de contribuir para jogar mais luz sobre os temas que estavam sendo considerados mais relevantes ao longo da pandemia.

No Boletim das SE 42 e 43 de 2020 (11 a 24 de outubro de 2020), o tema escolhido foi o das interfaces entre educação e saúde na pandemia, com uma discussão sobre o complexo retorno às aulas presenciais, que demandava o necessário e urgente debate e participação dos diferentes atores no nível municipal e local das escolas, assim como a sua interface com as ações de vigilância em saúde nesses contextos. Ainda no mês de outubro, foi publicado o *Boletim Observatório Covid-19 após 6 meses de pandemia no Brasil* (Observatório Covid-19 Fiocruz, 2020). Esse tipo de boletim tinha como objetivo permitir um balanço de mais longo prazo sobre a evolução da pandemia ao longo dos meses, uma vez que a grande parte dos boletins abordava como tema central os cenários epidemiológicos, considerando no máximo até as duas SE anteriores. Além dessa análise de mais longo prazo, esse boletim também trouxe diversos temas, tanto relacionados

à situação do sistema de saúde e seus trabalhadores como às situações de diferentes grupos sociais e populacionais, tais como: trabalhadores da saúde frente à covid-19; povos indígenas; populações nas favelas; idosos.

Segunda onda (novembro de 2020 a junho de 2021)

Em novembro de 2020, já se tornava bastante nítido o cenário de início de uma “segunda onda” de transmissão. Contribuíram para essa situação dois processos importantes: por um lado, a flexibilização das medidas não farmacológicas e de restrição à mobilidade, especialmente nos meses de novembro e dezembro de 2020, coincidindo com a temporada de verão e as celebrações de final de ano e férias; por outro lado, a identificação da introdução de uma nova cepa do vírus SARS-CoV-2, em novembro, no Amazonas, a cepa Gama, mais contagiosa e patogênica do que as cepas anteriores.

Foi nesse contexto que ocorreu o rápido crescimento e a predominância da cepa Gama, atingindo o pico em abril de 2021, com números muito elevados de casos e mortes de março a junho, alcançando picos de até quatro mil mortes por dia em duas ocasiões e em torno de três mil (média móvel). Essa fase foi caracterizada pelo colapso do sistema de saúde e pela ocorrência de crises sanitárias localizadas, combinando falta de equipamentos, de insumos para UTI e esgotamento

da equipe de saúde. Os meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021 foram marcados por taxas críticas de ocupação de leitos de UTI para adultos no SUS, principalmente em estados das regiões Norte e Sul.

O estado do Amazonas, onde a cepa Gama foi identificada, foi palco de intensa resistência às medidas de restrição à mobilidade em dezembro de 2020, com a organização de protestos contrários. Foi também onde ocorreu um novo colapso do sistema de saúde, com pacientes falecendo devido à falta de acesso aos cuidados necessários e, mesmo quando hospitalizados, devido à falta de oxigênio. A crise no Amazonas foi um alerta para a crise e o colapso do sistema de saúde que se espalharia por todo o país, detectado logo no início de março, quando o Boletim de 2 de março de 2021 apontou que “Pela primeira vez, desde o início da pandemia, verifica-se, em todo o país, o agravamento simultâneo de diversos indicadores, como o crescimento do número de casos, de óbitos, a manutenção de níveis altos de incidência de SRAG, alta positividade de testes e a sobrecarga de hospitais” (Observatório Covid-19 Fiocruz, 2020a).

Durante o período compreendido entre fevereiro e maio de 2021, devido à grande necessidade existente, foi possível notar um aumento significativo na quantidade de leitos de UTI destinados a pacientes com Síndrome Respiratória Aguda

Grave (SRAG) ou covid-19. No entanto, como ocorreu em momentos anteriores, exceto em certas regiões metropolitanas como Salvador e Fortaleza, houve falta de uma coordenação nacional eficaz para promover campanhas integradas, visando à implementação de medidas de proteção não medicamentosas em todo o país. Foi nesse cenário que a Agência Fiocruz de Notícias publicou em seu portal e divulgou amplamente o Boletim Extraordinário de 16 de março de 2021 com o título *Observatório Covid-19 aponta maior colapso sanitário e hospitalar da história do Brasil* (Observatório Covid-19 Fiocruz, 2020b), acompanhado de um vídeo com a série histórica que circulou amplamente nas redes sociais e foi divulgado nos principais jornais do país e em diversos outros países.

A campanha de imunização contra a covid-19 no Brasil teve início em 17 de janeiro de 2021. Inicialmente, havia uma quantidade limitada de doses disponíveis (6,2 milhões), e somente a partir de março o país conseguiu obter um volume adequado para acelerar o processo de vacinação (27,5 milhões). No entanto, esse progresso não foi suficiente em termos de quantidade e velocidade para conter o rápido aumento e alto número de casos, hospitalizações e mortes, assim como a crise e colapso do sistema de saúde, que afetou o país entre março e junho. Portanto, apesar de contar com um Programa Nacional de Imunizações com mais de 40 anos de experiência

na disponibilização de vacinas seguras e eficazes para todos os grupos populacionais destinados, a escassez de doses no início do processo, com a divergência nos calendários de vacinação e nos critérios de priorização de grupos entre os estados e municípios, resultou em atrasos e prejudicou a busca por vacinas em outras regiões para a administração das segundas doses. Não foi possível evitar a crise sanitária, mas foi possível observar o impacto positivo do processo de vacinação, que ajudou a diminuir o número de casos graves, hospitalizações (tanto em enfermarias quanto em UTIs) e mortes, especialmente entre os idosos.

Entre maio e junho de 2021, a média e a mediana de idade das internações clínicas, UTIs e mortes estiveram abaixo dos 60 anos, marcando o fim dessa fase como um período de rejuvenescimento da pandemia no país. Esse fenômeno foi gradual e ocorreu simultaneamente à retomada das atividades de trabalho presenciais. Portanto, se houve uma redução proporcional de casos graves e fatais entre os idosos devido à vacinação, também houve um aumento absoluto no número de casos entre adultos na população economicamente ativa com maior circulação nas ruas e transportes coletivos e ainda não vacinados.

Os impactos positivos da campanha da vacinação (junho a dezembro de 2021)

Junho de 2021 representou uma fase de transição, caracterizada pela queda progressiva do número de casos, casos graves e mortes (consulte a Figura 1), resultando em um alívio perceptível no sistema de saúde. Simultaneamente, à medida que a variante Delta se expandia e se tornava predominante, foi possível observar a eficácia da imunização na redução da propagação e, especialmente, da gravidade dos casos de covid-19, levando à diminuição das taxas de ocupação de leitos de UTI covid-19 para adultos (consulte a Figura 2). A redução na taxa de positividade dos testes também indicou uma menor disseminação do vírus SARS-CoV-2 como resultado da vacinação, que já havia alcançado 20% da população com duas doses. Portanto, foi viável reduzir a média móvel diária de mortes para valores próximos aos observados na primeira fase, que giravam em torno de mil óbitos.

Em setembro, com 40% da população elegível vacinada, o Brasil registrou uma média diária de 500 mortes. Em novembro, já com 60% da população vacinada, a média diária de óbitos era de cerca de 250. No final de dezembro, com 76% da população vacinada com a primeira dose, a média diária de óbitos foi em torno de 95, aproximando-se dos números dos primeiros meses da pandemia.

A Ômicron, a terceira onda e especulações sobre o fim pandemia (fim de 2021 e primeiros meses de 2022)

Uma nova “onda” de propagação teve início entre o final de dezembro de 2021 e o começo de janeiro de 2022, coincidindo com o período festivo, o verão, as férias, a flexibilização das medidas de restrição à mobilidade e a introdução no território nacional da variante Ômicron, que rapidamente se tornou predominante. Esse período também foi marcado por uma epidemia de vírus Influenza A em diversos municípios, resultando em um aumento nos casos de SRAG. Paralelamente, durante várias semanas, houve uma interrupção na recepção de dados de vigilância (período conhecido como o segundo apagão de dados), o que comprometeu a monitoração e análise da evolução da pandemia. Nessa fase, observou-se um rápido crescimento no número de casos, acompanhado de um aumento na positividade dos testes, em uma velocidade muito superior às primeiras ondas, além do aumento das taxas de ocupação de leitos de UTI covid-19 para adultos, mesmo com a gradual reativação de leitos que haviam sido desativados. Isso resultou em um aumento no número de mortes, embora em proporções menores, com taxas de mortalidade e letalidade mais baixas do que nas fases anteriores.

No Brasil, houve uma grande preocupação devido ao aumento da transmissão comunitária da variante Ômicron,

que elevou significativamente o número de casos desde dezembro de 2021, com o pico de casos e mortes ocorrendo entre o final de janeiro e o início de fevereiro de 2022, conforme pode ser observado na Figura 1. Embora a vacinação tenha evitado que as hospitalizações e mortes aumentassem na mesma proporção que os casos, o repentino aumento de pacientes inevitavelmente sobrecarregou os serviços de saúde, impactando as taxas de ocupação de leitos de UTI (ver Figura 2). As internações durante esse período foram consistentemente mais altas entre os idosos em comparação com os adultos. No entanto, também foi observado um crescimento preocupante nas internações de crianças, uma vez que esse foi o último grupo a iniciar a vacinação, já em 2022, tornando-os o segmento populacional mais vulnerável naquele momento.

Após dois anos, em um contexto de rápida disseminação de uma nova variante, a comunidade científica buscava prever cenários epidemiológicos que indicassem o término da pandemia da covid-19. Logo no início da pandemia em 2020, projeções apontavam para a probabilidade de termos, até 2025, um cenário de ressurgências, considerando-se, entre outras coisas, o potencial de introdução de novas variantes e resposta imune da população (Kissler *et al.*, 2020). No início de 2022, com muitos países tendo grande parte de sua

população vacinada com as vacinas (primeira dose e doses de reforço), mesmo com os picos epidêmicos no contexto da Ômicron, iniciavam-se debates sobre qual momento da pandemia estávamos vivendo e se caminhávamos para o seu fim (Murray, 2022; Maciel e col., 2022; Adam, 2022), com a transição da caracterização da doença de pandemia para a endemia.

No Observatório, o aprendizado com o monitoramento de um conjunto de indicadores ao longo de dois anos, com análises e publicação de boletins, inclusive os de alerta e alarme sobre o colapso do sistema de saúde, deixou muito nítido como cada fase da pandemia revelava novos desafios.

Aprendemos que se o novo vírus, Sars-Cov-2 constituía uma ameaça, suas mutações (maior ou menor transmissibilidade com maior ou menor patogenicidade) não podiam ser compreendidas fora dos contextos sociais, econômicos e políticos que determinaram as capacidades de respostas e redução de riscos, envolvendo: aquisição de vacinas e campanhas de vacinação; organização do sistema de saúde para vigilância em saúde e cuidados em saúde até o agravamento com disponibilidade de leitos UTIs; adoção de medidas não farmacológicas combinadas com políticas econômicas e sociais.

Esses contextos foram determinantes para alguns indicadores centrais para o controle da pandemia, como o percentual de pessoas que completaram o protocolo de esquema vacinal em relação à covid-19 no mundo, revelando imensas desigualdades e vulnerabilidades. Nos países africanos, não havia chegado a 1/3 no início de 2023, alcançando 2/3 nos países das Américas, Europa ou Ásia. No nível nacional, a Nota técnica *A vacinação contra covid-19: histórico, desigualdades e problemas* (Monitoracovid-19, 2021) já apontava em 2021 as dificuldades regionais de avanço na vacinação no país e as desigualdades na cobertura vacinal, principalmente em estados do Centro-Oeste, Norte e Nordeste. No *Boletim Especial - Balanço de dois anos da pandemia covid-19 - janeiro de 2020 a janeiro de 2022* (Observatório Covid-19 Fiocruz, 2022) demonstrava-se a desigual evolução da cobertura vacinal, considerando-se o IDH-Municipal, com uma diferença de 20% entre os municípios com IDH muito alto e os com IDH baixo.

Foi nesse contexto de incertezas e debates sobre o fim da pandemia que, em abril de 2022, o Ministério da Saúde declarou o encerramento da ESPIN em decorrência da infecção humana pelo novo coronavírus (2019-nCoV) (MS, 2022). Somente um ano depois, na 15ª do Comitê de Emergências da OMS, em 5 de maio de 2023, declarou que a covid-19 seria

considerada uma doença estabelecida e problema de saúde em curso, não constituindo mais uma pandemia (WHO, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até o fim de dezembro de 2022, a pandemia totalizava 6,69 milhões de mortes no mundo, com o Brasil sendo um dos epicentros, com 662.802 mil mortes³⁴. A pandemia sem dúvida constituiu um desastre global, e nos 809 dias entre a declaração do início da ESPIN, em 3 de fevereiro de 2020, e a de encerramento, pelo governo brasileiro, em 19 de abril de 2022, houve uma média diária de 819 mortes, como se, durante mais de dois anos, tivéssemos um número médio de mortes diárias próximo ao desastre que atingiu a Região Serrana (Rio de Janeiro), em 12 de janeiro de 2011, que teve oficialmente registradas 918 mortes (Freitas e col., 2012).

Para além dos casos e óbitos imediatos documentados, é reconhecido que as repercussões do desastre desencadeado pela pandemia da covid-19 não se limitam apenas aos eventos imediatos e localizados, mas demandam uma consideração dos efeitos de longo prazo e generalizados após a pandemia sobre as condições de vida e saúde. Esses efeitos também não podem ser abordados de forma isolada e ocasional, mas devem ser vistos como um perigo sistêmico no qual crises e

34 Fonte: <https://ourworldindata.org/>

desastres se interligam em um efeito em cadeia, exacerbando as condições de vulnerabilidade atuais e futuras, tornando-se mais intrincados e tendo um impacto muito mais significativo nas condições de vida e saúde dos menos favorecidos e vulneráveis, além de criar um terreno propício para a ocorrência de novos e diversos desastres no futuro.

Segundo conclusões do painel independente estabelecido pela OMS para avaliação da preparação e resposta global à pandemia (IPPPR, 2021), os sistemas de vigilância e alerta para emergências de saúde pública e pandemias, em níveis nacional, regional e global, devem ser redesenhados. Durante a pandemia, parte do mundo vivenciou um universo de compartilhamento de dados e informações em ritmo acelerado, com plataformas e ferramentas digitais abertas para monitoramento e alerta, combinando uma grande quantidade de sinais provenientes de notícias, rumores e redes sociais, além do intercâmbio científico para sistematização, análise e interpretação.

No Brasil, ao contrário, tivemos, por duas vezes, durante a pandemia, o apagão de dados do Departamento de Informática do SUS (DATASUS), com falta generalizada de informações sanitárias e falhas na gestão que afetavam diretamente as capacidades de enfrentamento da pandemia, em um contexto de dados insuficientes e imprecisos combinadas com estratégias

de comunicação pública marcadas pela desinformação e *fakenews* (Comissão de Transição Governamental, 2022).

Foi nesse contexto adverso que foi desenvolvido o trabalho do Observatório Covid-19 Fiocruz e do monitoramento da pandemia, com informação para ação, por meio dos seus boletins, durante dois anos. O grande diferencial da Fiocruz não se deveu somente às plataformas de dados e informações já existentes e criadas durante a pandemia nem à produção regular de análises da situação da pandemia por meio de boletins, mas o de conectar um conjunto restrito de indicadores e de fácil entendimento para análises, tendo como público um conjunto amplo de atores (meios de comunicação, gestores, profissionais de saúde, ONGs, cidadãos) a partir de uma estratégia ativa de comunicação por meio do Portal Fiocruz e da Agência Fiocruz de Notícias, bem como das redes sociais.

Acreditamos que esse esforço tenha efetivamente contribuído para melhorias de muitas estratégias de enfrentamentos nos estados e municípios, bem como nas instituições e empresas. Seu potencial poderia ter sido muito maior se não estivéssemos diante de um governo que adotou políticas e estratégias deliberadas, formais e informais, de não se enfrentar a pandemia com base em dados e indicadores, bem como na ciência produzida nas instituições de pesquisas, como a Fiocruz, e universidades. Essa experiência e os cenários

vivenciados revelam ainda mais a importância das instituições de pesquisas não só na produção de dados e informações, mas também de conhecimentos e formas de compreensão mais amplas das situações de pandemias e desastres.

REFERÊNCIAS

ADAM, D. Will omicron end the pandemic? Here's what experts say. **Nature**, [s. l.], v. 602, n. 7.895, p. 20-21, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35102287/>. Acesso em: 24 set. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SAÚDE COLETIVA. Nota Técnica: Apagão de Dados no enfrentamento à pandemia de covid-19.

Abrasco, 9 jun. 2020. Disponível em: <https://abrasco.org.br/nota-tecnica-apagao-de-dados-no-enfrentamento-a-pandemia-de-covid-19/>. Acesso em: 24 set. 2024.

BARRETO, I. C. H. C. *et al.* Colapso na saúde em Manaus: o fardo de não aderir às medidas não farmacológicas de redução da transmissão da covid-19. **Saúde Em Debate**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 131, p. 1.126-1.139, 2021. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/1862>. Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. Comissão de Transição Governamental. **Relatório do Grupo Técnico de Saúde: Produto 2 - Relatório Final**. Brasília, DF, dez. 2022. Disponível em: https://redeaps.org.br/wp-content/uploads/2023/01/GT-Saude_Relatorio-Final1.pdf. Acesso em: 13 jan. 2023.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 188, de 3 de fevereiro de 2020**. Declara Emergência em Saúde Pública de importância Nacional (ESPIN) em decorrência da Infecção Humana pelo novo Coronavírus (2019-nCoV). 2020. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2020/prt0188_04_02_2020.html. Acesso em: 4 fev. 2020.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 913, de 22 de abril de 2022.** Declara o encerramento da Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional (ESPIN) em decorrência da infecção humana pelo novo coronavírus (2019-nCoV) e revoga a Portaria GM/MS nº 188, de 3 de fevereiro de 2020. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-913-de-22-de-abril-de-2022-394545491>. Acesso em: 13 set. 2022.

CASTRO, R. Covid-19: nota técnica aponta agravamento da pandemia. **Fio Cruz**, 3 mar. 2021a. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/covid-19-nota-tecnica-aponta-agravamento-da-pandemia>. Acesso em: 3 mar. 2021.

CASTRO, R. Observatório Covid-19 aponta maior colapso sanitário e hospitalar da história do Brasil. **Fio Cruz**, 17 mar. 2021b. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/observatorio-covid-19-aponta-maior-colapso-sanitario-e-hospitalar-da-historia-do-brasil>. Acesso em: 16 mar. 2021.

COVID-19: make it the last pandemic. **The Independent Panel**, c2024. Disponível em: <https://theindependentpanel.org/about-the-independent-panel/>. Acesso em: 15 maio 2021.

CRIADO PARA divulgar dados sobre covid, consórcio de veículos de imprensa chega ao fim Grupo se uniu após governo Bolsonaro tentar dificultar acesso a números da doença. **G1**, 28 jan. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/bemestar/coronavirus/noticia/2023/01/28/criado-para-divulgar-dados-sobre-covid-consorcio-de-veiculos-de-imprensa-chega-ao-fim.ghtml>. Acesso em: 28 Jan. 2023.

DISASTER RISK Reduction Terminology. **UNDRR**, 2020a. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology>. Acesso em: 18 mar. 2020.

ESTRADA, C. D.; NÓBREGA, L. Covid-19: balanço de dois anos da pandemia aponta vacinação como prioridade. **Fiocruz**, 9 fev. 2022. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/covid-19-balanco-de-dois-anos-da-pandemia-aponta-vacinacao-como-prioridade>. Acesso em: 18 set. 2022.

FERRÉ, F. *et al.* O papel tripartite na divulgação de dados e óbitos por covid-19 e a atuação do Conass. In: FREITAS, C.M.; BARCELLOS, C.; VILLELA, D.A.M. (ed.). **Covid-19 no Brasil: cenários epidemiológicos e vigilância em saúde**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2021. p. 215-227. (Informação para ação na covid-19 series). Disponível em: <https://books.scielo.org/id/zx6p9/pdf/freitas-9786557081211-16.pdf>. Acesso em: 24 set. 2024.

FIOCRUZ. **Boletim Observatório Covid-19 após 6 meses de pandemia no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2020. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/44059/boletim_covid_6meses.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 15 set. 2022.

FREITAS, C. M. *et al.* Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Cien. Saude Colet.**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 1.577-1.586, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/3YPnvszHvbSWHmJWLbPDWMM/#>. Acesso em: 24 set. 2024.

FREITAS, C. M.; SILVA, I. V. M.; CIDADE, N. C. Covid-19 as a global disaster: challenges to risk governance and social vulnerability in Brazil. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 23, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200115vu-2020L3ID>. Acesso em: 24 set. 2024.

KISSLER, S. M. *et al.* Projecting the transmission dynamics of SARS-CoV-2 through the postpandemic period. **Science**, [s. l.], v. 368, n. 6.493, p. 860-868, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32291278/>. Acesso em: 24 set. 2024.

MACIEL, E. L. *et al.* Are we near the end of the pandemic? **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [s. l.], v. 55, p. e0233, 2022.

MASKREY, A.; JAIN, G.; LAVELL, A. **The Social Construction of Systemic Risk: Towards an Actionable Framework for Risk Governance**. Geneva: United Nations Office of Disaster Risk Reduction, 2022. Disponível em: <https://www.undrr.org/media/80361/download>. Acesso em: 3 jul. 2021.

MONITORACOV-19. Mapas de tendência. **Fiocruz**, 2021. Disponível em: https://bigdata-covid19.icict.fiocruz.br/nota_tecnica_25.pdf. Acesso em: 3 jul. 2021.

MURRAY, C. J. L. Covid-19 will continue but the end of the pandemic is near – Comment. **The Lancet**, [s. l.], v. 399, n. 10.323, p. 417-419, 2022. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(22\)00100-3/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(22)00100-3/fulltext). Acesso em: 24 set. 2024.

PILAR, A. F.; CASTRO, R. Boletim destaca marco de 500 mil mortes por covid-19 no Brasil. **FioCruz**, 28 jun. 2021. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/boletim-destaca-marco-de-500-mil-mortes-por-covid-19-no-brasil>. Acesso em: 17 set. 2022.

PUBLIC HEALTH criteria to adjust public health and social measures in the context of COVID-19: annex to considerations in adjusting public health and social measures in the context of COVID-19. **World Health Organization**, 12 maio 2020c. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332073>. Acesso em: 12 maio 2022.

STATEMENT ON the fifteenth meeting of the IHR (2005)

Emergency Committee on the COVID-19 pandemic. **World Health Organization**, 5 maio 2023. Disponível em: [https://www.who.int/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-\(covid-19\)-pandemic](https://www.who.int/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-(covid-19)-pandemic). Acesso em: 5 maio 2023.

STATEMENT ON the second meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-nCoV). **World Health Organization**, 2020a. Disponível em: [https://www.who.int/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov)). Acesso em: 1 fev. 2020.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Prevention saves lives! Covid-19 key messages and communication campaign. **UNDRR**, 2020b. Disponível em: <https://www.undrr.org/sites/default/files/2020-04/UNDRR%20COVID-19%20Comms%20Strategy%20EXTERNAL.pdf?startDownload=true>. Acesso em: 1 abr. 2025.

WHO DIRECTOR-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19. **World Health Organization**, 11 mar. 2020b. Disponível em: <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>. Acesso em: 12 mar. 2020.

14

REMOTE SENSING ANALYSIS OF RIVERBANK EROSION (FALLEN LANDS – “TERRAS CAÍDAS”) IN THE AMAZON

Beatrice Mika Saito

Vitor Vieira Vasconcelos

Íris Celeste Nascimento Bandeira

Sheila Gatinho Teixeira

Dianne Danielle Farias Fonseca

INTRODUCTION

The processes of wear, sedimentation and degradation of soil and subsoil caused by erosion are events that involve

exchanges of matter and energy, and that occur naturally, but that can be potentially altered by human actions. The set of degradative methods includes weathering, mechanical, and chemical activities of water (Silva *et al.*, 2009); and can be characterized by fluvial, pluvial, coastal, and glacial erosion, among others (Watson; Basher, 2006). The phenomenon of “fallen lands” (terras caídas) in the Amazon River region can be classified as a type of fluvial erosion, however, it has peculiar qualities regarding its processes about which there is still no detailed knowledge (Bandeira *et al.*, 2018, 2021). The natural peculiarities that equatorial regions present mostly due to high rainfall and high temperatures, facilitating the development of considerable chemical weathering that favors the production of sediments, which leads to intense processes of deposition/removal of the same (Bandeira *et al.*, 2018). Carvalho (2006) based on analyses of fallen lands in municipality of Itacoatiara (Amazonas state), reported that the concepts of corrosion, abrasion and cavitation, commonly used for describing riverbank erosion in technical studies, are not suitable to understand the processes involved in the fallen land processes in Amazon. Another significant characteristic is that these processes happen not only in the flood period, but also during the gradual recession of the river level after the flood season (Magalhães, 2011).

In the watersheds of the Amazon region, the fallen lands are recurrent, where approximately 69,000 people who live on the banks of the river are at high and very high risk of this process (Bandeira *et al.*, 2021). Among the impacts on riverine communities, are the destruction of roads, light poles, harbors, anchored boats, fences, and riverine traditional toilets, loss of land property extension, change of residence, agricultural losses, death risk, river navigation risks, difficulties of boarding and onboarding from boats, continuous reconstruction of stairs at the river banks, and risks and difficulties for household chores such as washing clothes at the river, (Carvalho, 2006; Magalhães *et al.*, 2011; Cruz; Azevedo Filho, 2017). Mello e Araújo (2013) report that riverine communities have developed adaptation methods, such as houses that can be moved away from riverside, by rolling over logs. However, despite these measures, damages and losses are frequent in their communities.

This phenomenon has been recorded with greater frequency and intensity—but not exclusively—in white water (muddy) rivers, with large sedimentary loads (Bandeira *et al.*, 2018). It was also found that the morphological conditions of the Amazon River are known for large gravitational mass movements in its fluvial ravines, analogous to those frequently observed in the mountainous regions of Brazil (Bandeira *et*

al., 2018). Thus, the phenomenon of fallen lands is associated with the removal of material from the bottom, undermining, and landslide processes, which is peculiar when compared to other types of fluvial erosion (Silva, 2009). One of the hypotheses of triggering or potentiating processes for this phenomenon would be human activities such as deforestation and irregular land occupation (Watson; Basher, 2006), although the great amplitude and intensity of the natural processes of the Amazon fluvial dynamics must be considered. In a study of soil analysis, it was found that because the deposited material is fragile, large indentations in the morphology of the margins are produced after meeting water (Bandeira *et al.*, 2021). Some factors already raised in the literature, which can influence these erosive phenomena, are the texture and mineralogy of the soils; flow, sediment load, width, sinuosity and bathymetry of rivers; wind speed for wave formation; slope of the margins; hydrostatic pressure on the floodplain, seismic events with reactivation of geological faults, and tidal influence at river mouths (Carvalho, 2006; Carvalho *et al.*, 2009; Bandeira *et al.*, 2018).

Although there are preliminary studies on the phenomena of fallen lands, little is known about how and why these erosions occur and, for that, an in-depth field survey would be necessary to examine the possible factors for the occurrence

of this phenomenon. However, one of the challenges for a thorough verification would be the unpredictability of the places of occurrence and the difficulty of access to these places. Due to this, remote sensing and spatial analysis become relevant as they allow a spatial survey of the areas with the highest occurrence of river erosion, which can be discussed in view of the other environmental and social characteristics of each local context.

In this respect, the Global Surface Water Explorer (GSWE) is a platform that maps and provides statistics on the location and changes over time of the world's surface waters from 1984 to 2018, using images from the LANDSAT series (Pekel *et al.*, 2016). The GSWE georeferenced databases are separated into surface water coverage, monthly water recurrence in certain regions, and areas of river erosion between 1984 and 2018, among others. Calculating changes in water surface location and constancy is feasible with the GSWE validated dataset in a temporally consistent way, and also locally relevant because of the 30 m spatial resolution (Pekel *et al.*, 2016).

1.1 Objectives

This study aims to analyze the phenomenon of the fallen lands in the Amazon region using remote sensing databases, with the purpose of evaluating possible areas susceptible

to riverbank erosion, identifying their environmental and occupation characteristics, and reflecting on strategies to improve the quality of life of the population which suffers from these disasters. In this way, it is intended to help guide and improve public policies for disaster risk reduction and for land use and occupation planning of these areas.

2 METHODS

The spatial database used to verify the occurrence of fallen lands in the Amazon River was the GSWE (Pekel *et al.*, 2016), with QGIS software. Satellite images were then verified using the Google Earth Pro tool.

Based on the GSWE spatial database of fluvial change from 1984 to 2018, three classes were filtered: New permanent (areas of riverbed where there was previously dry land), Seasonal to permanent (areas of annual flooding where there was previously non-floodable dry land), and Ephemeral permanent (areas that became riverbed in the studied period, but later returned to dry land). The selection of these classes refer to areas where the extent of water surface of rivers is altered and, therefore, of possible riverbank erosion. The pixels of these classes were transformed from raster to vector (polygonization) and a point was then placed in the center of each polygon with information about the area of the polygon.

Therefore, this study focused only on the phenomenon of river erosion, and not on deposition.

Studies were carried out observing the expansion polygons of the riverbed to remove those referring to mining areas, hydroelectric plants, and regions of human intervention in the fluvial channel. In this initial analysis, we also began to analyze the characteristics of eroded areas, such as type of soil, vegetation, water color, width and curvature of the river, and geology, with the objective of analyzing which characteristics are most recurrent in the phenomenon of fallen lands.

Subsequently, a kernel map (commonly called heat map) weighted by the area of the river erosion polygons was produced to detect the places with the highest occurrence of riverbank erosion. In this way, polygons with greater area contribute more, proportionally, to the mapped kernel intensity. The quartic function kernel map was produced using a radius of 10,000 meters. This radius was chosen to better visualize the regions with the highest intensity of fluvial erosion.

Finally, five areas were chosen in the spots with the highest occurrence of river erosion, and they were analyzed in the Google Earth Engine base with Landsat satellite images taken from 1984 to 2020 and visualized through the historical series available on the Google Earth Pro platform. These areas were

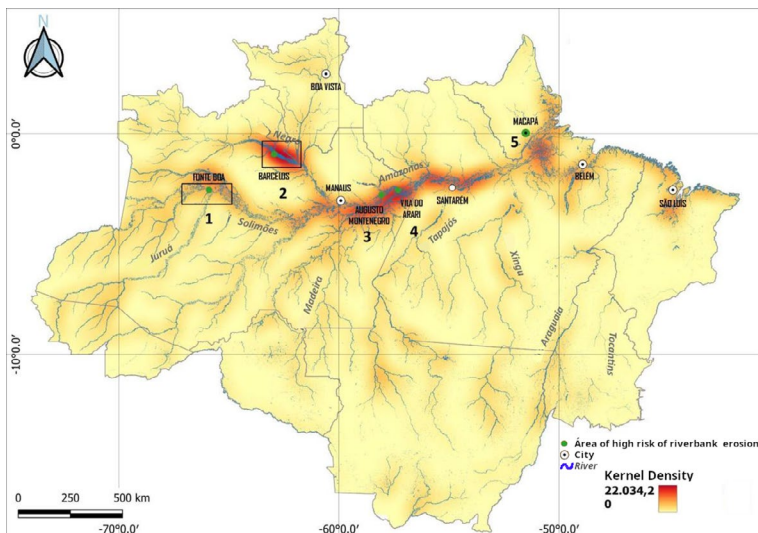
analyzed in greater detail in relation to their fluvial, geological and occupation characteristics.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The map with the permanent rivers superimposed on the kernel map is shown in Figure 1, where there are also identifications of the nuclei of human occupation closest to the fluvial erosion events. It is important to point out that some erosion areas shown in Figure 1 are predominantly black water (as in the Municipality of Barcelos, on the Negro River), in contrast to what is mentioned by the study carried out in 2018 by the Brazilian Geological Service (Bandeira *et al.*, 2018) which indicates greater frequency and intensity in white water rivers (muddy) with large sediment loads. Possibly, these areas of fluvial erosion in black water rivers were not recorded in previous studies because they are sparsely inhabited. It is noteworthy that the Brazilian Geological Service (Bandeira *et al.*, 2018) developed risk mapping of inhabited areas and not susceptibility to river erosion of all riverbeds. In this context, another contrast is the high number erosion disasters recorded in inhabited areas of the Purus and Madeira rivers in other studies (Labadessa, 2011; Freitas; Albuquerque, 2012), but which were not as prominent in the kernel mapping of this study.

REMOTE SENSING ANALYSIS OF RIVERBANK EROSION (FALLEN LANDS – "TERRAS CAÍDAS") IN THE AMAZON

Figure 1 - Location and kernel map of riverbank erosion areas in the Brazilian Amazon. Areas: (1) Rio Solimões between Jutai and Uarini, (2) Extensional fault in Rio Negro, (3) District of Augusto Montenegro, (4) Island of Arari Village, (5) City of Macapá.



Fonte: prepared by the authors.

Area 1, consisting of Figures 2 and 3, covers a region with several villages with constant exposure to erosion along the Solimões River, from the city of Jutai to Uarini. The entire Area 1 encompasses 186.05 km² of eroded riverbanks from 1984 to 2018, i.e., a rate of 5.32 km²/year. Solimões is a white water river (high sediment load) with meandering characteristics, in which the water body changes continuously over the years due to erosion in its concave margin (outside the

meander) and deposition of sediments in its convex margins (interior of the meander) (Stevaux; Latrubesse 2017). In this context, houses built on the concave margins, especially in this highlighted section, are at great risk of fluvial erosion; especially due to the sandy and poorly cohesive river banks of the Içá formation (Maia; Marmos, 2010). An example is the municipality of Jutai, which has already experienced fallen lands phenomena (Teixeira, 2010) (Figure 4).

Another more complex case, in Area 1, is the city of Fonte Boa which is located on a stretch of the river where a meander is being abandoned, and the new channel, in its widening process, reaches the banks of the city. The intense processes of fluvial erosion on fallen lands, with a retreat of 330 meters from 1984 to 2018 (27.05 km² of eroded riverbank, i.e., 0.77 km²/year), led the inhabitants to nickname Fonte Boa as “the city that the riverbank erosion took away” (Holanda; Torres, 2015, 2018). The erosion process has been so intense that the estimated population of the city has decreased from 22,817 in the 2010 Census to 16,409 people in 2021, according to the IBGE (2021).

The entire north bank of the Solimões River in Area 1 (left bank from upstream [west] to downstream [east]) is part of the Mamirauá Sustainable Development Reserve (RDS – Reserva de Desenvolvimento Sustentável). In this context, it is

important that the management plan of this conservation unit discourages the occupation of the margins that demonstrate erosive processes in Figures 2 and 3. The conservation unit council has the potential to become an essential resource for raising awareness and decision making to reduce the risk of occupation in these sensitive stretches of the Solimões River, which reached retreats of up to 1.6 km in length from 1984 to 2018. Specific future analyses differentiating the erosion rate in each stretch of the river could better detail the respective occupation risks in the RDS management plan.

Figure 2 - Erosion polygons of Area 1 (Solimões River) in December 1984 (1a). the red areas are the ones that would be eroded up to 2018.



Fonte: modified by the authors from Google Earth image.

REMOTE SENSING ANALYSIS OF RIVERBANK EROSION (FALLEN
LANDS – “TERRAS CAÍDAS”) IN THE AMAZON

Figure 3 - Erosion polygons of Area 1 in December 2020 (1b). The red areas are the ones that have been eroded up to 2018.



Fonte: modified by the authors from Google Earth image.

Figure 4 - Fluvial erosion on the edge of the Solimões River, city of Jutai. Photographer: Sheila Gatinho Teixeira (2010).

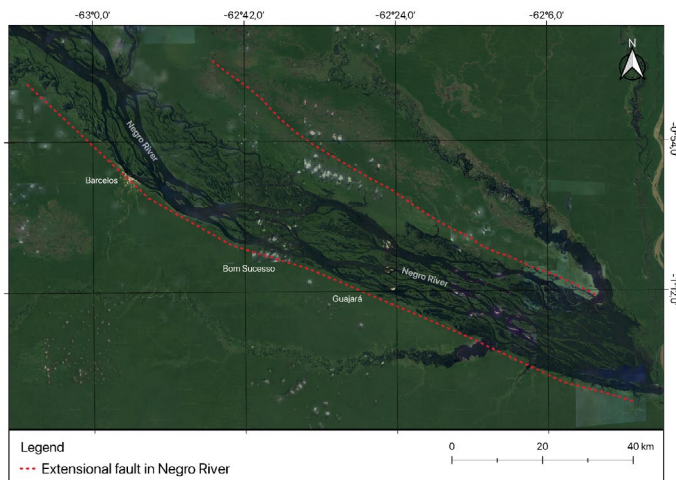


Fonte: Sheila Gatinho Teixeira (2010).

Figure 5 shows Area 2 where the separation of two tectonic blocks generated an extensional fault (Maia; Marmos, 2010). The gap created is being filled by unconsolidated sandy sediments from the Içá formation (Maia; Marmos, 2010). This sedimentation pattern, combined with strong seasonal variations in the flow of the Negro River, generates the anastomosed fluvial pattern, braided channels, which constantly change their position after each flood period (Ashmore, 2013). This is the reason why this area has the highest kernel intensity of fluvial erosion in the Amazon region (Figure 1), with 59.3 km² of fluvial erosion from 1984 to 2018 within the extensional gap, in a rate of 1.69 km²/year. Therefore, the occupation and, especially, the construction of infrastructure on the fluvial islands of this stretch of the Negro River is inadvisable, due to the potential for fluvial erosion. The occupations on the margins of the fault zone also present a risk of fluvial erosion, due to the low cohesion of the sandy riverbanks of the Içá formation. The city of Barcelos already has recorded incidences of fluvial erosion known as fallen lands (Teixeira, 2010) (Figure 6). Other areas of extensional faults in the Legal Amazon, such as the stretch of the Araguaia River on Bananal Island, were also characterized as anastomosed patterns with frequent channel changes (Valente; Latrubesse, 2012).

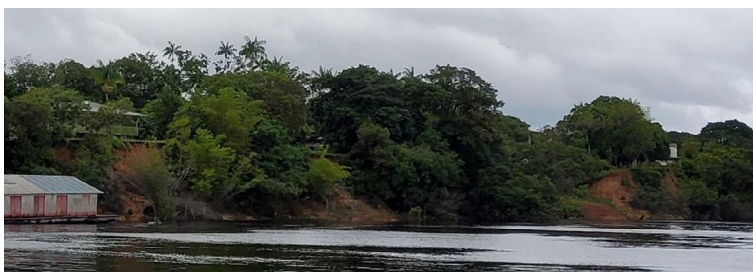
REMOTE SENSING ANALYSIS OF RIVERBANK EROSION (FALLEN LANDS – “TERRAS CAÍDAS”) IN THE AMAZON

Figure 5 - Negro River extensional fault in December 2020. The red lines correspond to the fault margins (Maia; Marmos, 2010).



Fonte: prepared by the authors.

Figure 6 - Collapse of riverbanks near riverside dwellings, in Barcelos (AM).



Fonte: Iris Bandeira (2021).

The stretch of the Amazon River between Manaus and Santarém also presents meandering patterns with high intensity of fluvial erosion (Figure 1). The riverbanks in this section come from the Alter do Chão formation, presenting soils with saprolitic horizons of low cohesion (MAIA; MARMOS, 2010). In this stretch of the Amazon River, two emblematic cases were chosen: Augusto Montenegro (Area 3), and Vila do Arari (Area 4). Close to the Augusto Montenegro district (Area 3, Figures 7 and 8) it is possible to see the change in the territory from the year 1984 to 2020, reaching a retreat of 1.4 km from the riverbank in the most critical stretches, reaching 7.4km² of eroded riverbank area (0.21 km²/year) in its right margin next to the district. A point to be highlighted is the danger to the inhabitants of this district because of the erosion that starts in the southwest and has been advancing to the northeast and that has already reached the fringes of Augusto Montenegro. If it maintains this rhythm of increasing river erosion, Augusto Montenegro risks being wiped off the map in the coming decades.

REMOTE SENSING ANALYSIS OF RIVERBANK EROSION (FALLEN
LANDS – “TERRAS CAÍDAS”) IN THE AMAZON

Figure 7 - Erosion polygons (red lines) in a 1984 (December) Landsat image of the region near Augusto Montenegro (Amazon River).



Fonte: modified by the authors from Google Earth image.

Figure 8 - Erosion polygon (red lines) in a 2020 (December) Landsat image of the region near Augusto Montenegro (Amazon River).



Fonte: modified by the authors from Google Earth image.

Arari Village (Area 4) is located on a river island, and as it can be seen in Figures 9 and 10, it is an area where many fluvial changes occur. In the fluvial islands of the Amazon River, there is a pattern of erosion on the upstream banks of the islands and deposition on the downstream banks. In this way, the islands slowly “walk” downstream. In the case of the island of Arari Village, there are sparse riverside occupations around the entire island, but over the years several houses were eroded on the upstream bank of the island, which lost 4.73km^2 due to fluvial erosion ($0.13\text{km}^2/\text{year}$) between 1984 and 2018, including a 900-meter retreat from the bank in the closest point to the village core.

The agricultural use of the land around these residences on the upstream banks may also be accelerating the fluvial erosion process on the island. This case demonstrates the need for planning the occupation of the Amazonian fluvial islands to discourage land occupation on the upstream margins of these islands.

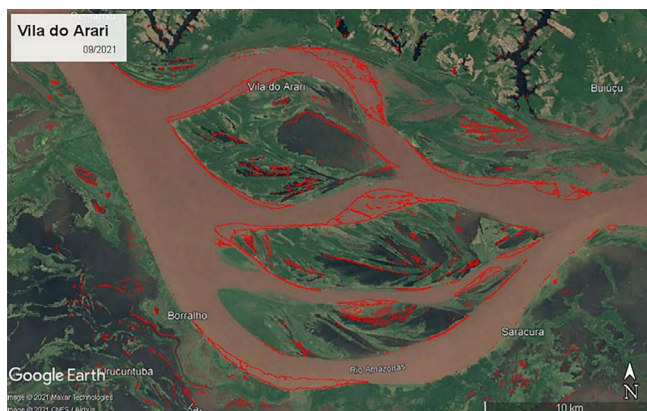
REMOTE SENSING ANALYSIS OF RIVERBANK EROSION (FALLEN
LANDS – “TERRAS CAÍDAS”) IN THE AMAZON

Figure 9 - Erosion polygons (red lines) in a 1984 (December)
Landsat image of Arari Village (Amazon River).



Fonte: modified by the authors from Google Earth image.

Figure 10 - Erosion polygons (red lines) in 2021 (September)
Landsat image of Arari Village (Amazon River).

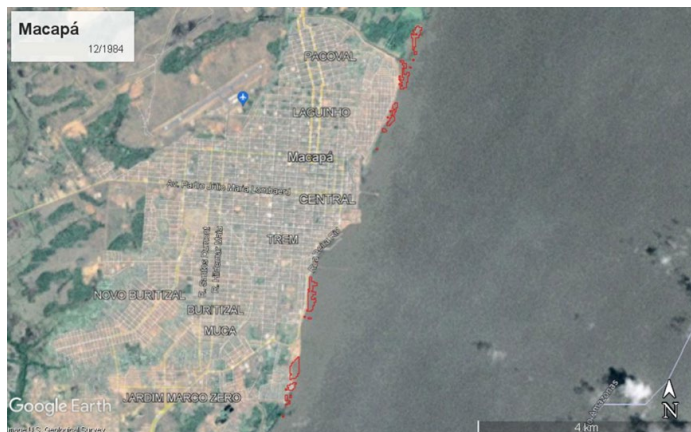


Fonte: modified by the authors from Google Earth image.

Near the mouth of the Amazon River, the erosion pattern occurs on both banks of the river, and not only on the concave banks, as in the upstream stretches. In fact, there is a thin shore, approximately 100 to 150 meters wide, with frequent and interspersed erosion and deposition events over the years, on both sides of the river, possibly related to the tidal influence. It is, therefore, a transition between river and coastal erosion processes, referred to as estuarine erosion by Teixeira et al. (2019), in the great Amazonian rivers. The city of Macapá, crossed by the Equator line, where the Amazon River passes in front of the municipality, suffers the effects of the erosion phenomenon along its banks (Figures 11 and 12). As we can compare between the two images from 1984 and 2020, the small polygons of riverbank erosion have a propensity to grow, and over the years, eroded the Macapá river margin (0.2 km^2 from 1984-2018, i.e., $0.006 \text{ km}^2/\text{year}$). Although the eroded strips are not as wide as in previous case studies, the fact that it is a densely populated state capital, estimated at 155,303 inhabitants in 1989, which increased to 522,357 inhabitants in 2021 (IBGE, 2021), means that it becomes a relevant area due to the exposure of housing and infrastructures.

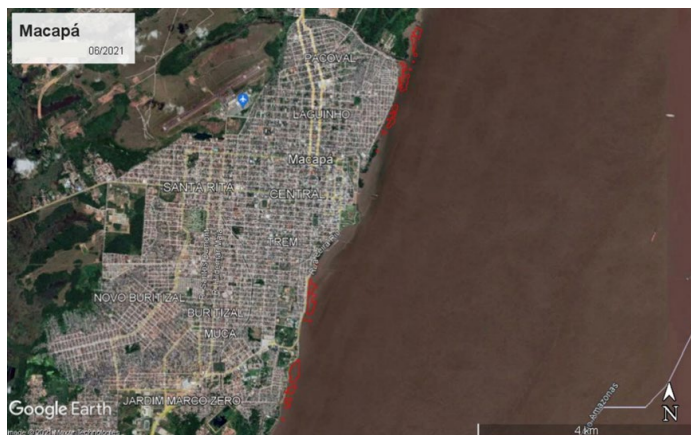
REMOTE SENSING ANALYSIS OF RIVERBANK EROSION (FALLEN
LANDS – “TERRAS CAÍDAS”) IN THE AMAZON

Figure 11 - Erosion polygons in the city of Macapá
(Amazon River) in 1984 (December).



Fonte: modified by the authors from Google Earth image.

Figure 12 - Erosion polygons in the city of
Macapá (Amazon River) in 2021 (June).



Fonte: modified by the authors from Google Earth image.

4 CONCLUSIONS

Based on the data collected and analysis of the satellite images, it is evident that more in-depth studies are needed to understand the fallen lands phenomenon of erosion, as the existing rivers in the Amazon region are extensive and have unique characteristics in each river section. Different peculiarities of fluvial erosion are evident, with sandbanks, river islands and riverbanks moving over the years through related processes of erosion and deposition and showing areas where there are great possibilities for new erosive phenomena to occur.

The cartographic products presented in this article are relevant to assess the feasibility and location of future infrastructure works, as well as the expansion of new areas of occupation, and even risk assessment of existing occupations, bringing opportunities to seek improvement in the quality of life of the Amazon riverine population who is dependent on the river. The present study can help in the efficiency of public policies for risk and disaster reduction, warning about potential accidents that may happen and assist in decision-making for future projects to be carried out in each highlighted point or area. In this context, we summarize, in Table 1, a set of indicators that could be used to evaluate the risks regarding fluvial erosion in Amazon, departing from

the findings of Bandeira et al. (2021) and updating with the discussion presented in this chapter.

Table 1 – Indicators of fluvial erosion risk

Dimensions	Indicators
Susceptibility	Indications of Instability
	Riverbank erosion rate (in area of fluvial erosion / year, or riverbank retreat / year)
	Fluvial geomorphology (river sinuosity)
	Riverflow speed
	Granulometry of the riverbank soil
	Waves and tide
	Vegetation type
Vulnerability	Distance from the house to the riverbank.
	Economic losses in case of change of location due to erosion / year
	Population density near susceptible areas of riverbank erosion
	Deaths by riverbank erosion / year
	People affected by riverbank erosion / year

Fonte: prepared by the authors.

This methodology can also be easily replicated in other regions with a high risk of riverbank erosion. In areas where greater intensity of fluvial erosion is detected by the kernel map, it is recommended that more detailed studies be carried out analyzing annual erosion rates, as well as specific characteristics that enhance erosion, such as river hydrodynamics, changes in land cover, and local variations in soils.

Funding

We thank Universidade Federal do ABC for funding this research.

REFERENCES

- ASHMORE, P. Morphology and dynamics of braided rivers. *In*: SHRODER, J.; WOHL, E. (ed.). **Treatise on Geomorphology**. San Diego, CA: Academic Press, 2013. p. 289-312.
- BANDEIRA, I. C. N. *et al.* Terras caídas: Fluvial Erosion or Distinct Phenomenon in the Amazon? **Environmental Earth Sciences**, [s. l.], v. 77, n. 222, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7405-7>. Acesso em: 24 set. 2024.
- BANDEIRA, I.C.N. *et al.* Fluvial erosion risk analysis: an Amazon study case. **Geonorte**, [s. l.], v. 12, n. 39, p. 1-25, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2021.V.12.N.39.01.25>. Acesso em: 24 set. 2024.
- CARVALHO, J. A. L. **Terras caídas e consequências sociais**: Costa do Miracauera-Paraná da Trindade, município de Itacoatiara-AM, Brasil. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.
- CARVALHO, J. A. L. *et al.* Episódio de Terras Caídas no Rio Amazonas: caso Costa da Águia, Parintins–Am. *In*: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18., 2009, Campo Grande. **Anais** [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios>. Acesso em: 8 jan. 2015.
- CRUZ, E.; AZEVEDO FILHO, J. D'A. M. **O fenômeno das terras caídas**: uma mudança natural na paisagem e suas implicações aos moradores da comunidade da Barreira do Andirá no município de Barreirinha AM. Universidade do Estado do Amazonas, 2017. Disponível em: <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/handle/riuea/696>. Acesso em: 29 abr. 2023.

FREITAS, F. T.; ALBUQUERQUE, A. R. Análise temporal sobre as “terras caídas” no médio Solimões/Coari (AM) (temporal analysis about “fallen land” in the Middle Solimões/Coari, Amazonas- Brazil). **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 129-140, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/RM2012.1125.0010>. Acesso em: 24 set. 2024.

HOLANDA, Y. L.; TORRES, I. C. O. Vivido e o lembrado na brincadeira de boi-bumbá na cidade que o barranco levou. In: CONGRESSO PAN-AMERICANO DE HISTÓRIA ORAL. 3., 2015, Parintins. **Anais** [...]. Parintins: [s. n], 2015. Disponível em: https://www.norte2015.historiaoral.org.br/resources/anais/12/1445029710_ARQUIVO_ARTIGOENCONTROHIST.ORAL2015.pdf. Acesso em: 21 fev. 2022.

HOLANDA, Y.L., TORRES, I.C. O terreiro, a escola e a arena: espaços de sociabilidade na festa do boi-bumbá fonteboense. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE FOLKCOMUNICAÇÃO, 19., 2018, Parintins. **Anais** [...]. Parintins: Universidade Federal do Amazonas UFAM, 2018. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/folkcom2018/trabalho/54484>. Acesso em: 21 fev. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da População** (2021). Estimativas da população. 2021. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 21 fev. 2022.

LABADESSA, A. S. “Terras caídas”, as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO. **Geoingá**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 45-61, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/geoinga.v3i1.49156>. Acesso em: 24 set. 2024.

MAGALHÃES, R. C. **As características físicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas do solo e sua susceptibilidade ao processo de terras caídas: Comunidade do Divino Espírito Santo Iranduba/AM.** 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

MAGALHÃES, R. C. *et al.* Análise Geográfica Sobre Erosão De Margens E Movimentos De Massa Na Comunidade Do Divino E. Santo – Am (Brasil). **Revista Geográfica de América Central**, [s. l.], v. 2, p. 1-17. 2011. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibp-cajpcgclclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744820601.pdf>. Acesso em: 24 set. 2024.

MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas.** Manaus: CPRM, 2010.

MELLO, C. F; ARAÚJO, N. J. S. Costa do Arapapá, rio Solimões (AM), erosão/sedimentação e o modo de vida do amazônida. *In: ENCUESTRO DE SABERES TERRITORIALES LATINO-AMERICANOS*, 14., 2013, Lima. **Anais [...]**. Lima: EGAL, 2013.

PEKEL, J. F. *et al.* High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, [s. l.], v. 540, p. 418-422, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature20584>. Acesso em: 24 set. 2024.

SILVA, P. *et al.* **Manual Técnico de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2009. <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24913.pdf>. Accessed 22 February 2022

STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

TEIXEIRA, S. G. Risco Geológico. *In*: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. p. xx. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16624>. Acesso em: 24 set. 2024.

TEIXEIRA, S. G.; BANDEIRA, I. C. N.; FONSECA, D. D. F. Erosões estuarinas na costa nordeste do Estado Pará. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 16., 2019, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: Núcleo Norte (SBG-NO), 2019. Disponível em: http://arquivos.sbg-no.org.br/BASES/ANAIS_16_Simposio_Geologia_da_Amazonia.pdf. Acesso em: 24 set. 2024.

VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: the Bananal Basin, Central-Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [s. l.], v. 356, p. 62-74, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.10.002>. Acesso em: 24 set. 2024.

WATSON, A. J., BASHER, L. R. **Stream Bank erosion**: a Review of Processes of Bank failure, Measurement and Assessment techniques, and Modelling Approaches. Motueka: Integrated Catchment Management Program Report Series. 2006.

SEÇÃO 5 - INDICADORES DE CAPACIDADE DE RESPOSTA AOS DESASTRES



15

CONSTRUÇÃO METODOLÓGICA DO ÍNDICE DE AUTOSSALVAMENTO PARA COMUNIDADES À JUSANTE DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO

José Cláudio Junqueira

Francisco Bizzotto Gomes

Natália Maria de Oliveira

INTRODUÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO

A temática sobre segurança de barragens é um dos assuntos de considerável interesse entre profissionais da área e do meio acadêmico no Brasil. Recentemente, devido aos dois últimos desastres relacionados ao rompimento de barragens ocorridos em Minas Gerais, nas cidades de Mariana, em 2015, e Brumadinho, em 2019, houve o aumento exponencial de

medidas adotadas pelos órgãos governamentais responsáveis. As temáticas associadas à gestão do risco relacionados às barragens foram largamente pesquisadas e discutidas em inúmeros eventos acadêmicos, como simpósios, seminários e *webinars*. As consequências ambientais e sociais nas duas ocasiões foram de extrema gravidade, cada uma com sua peculiaridade, em termos de impactos sociais e ambientais (Mello; Sandroni; Guidicini, 2021).

Conforme levantamento realizado por Reis *et al.* (2020), a organização internacional não governamental International Commission on Large Dams (ICOLD) possui um catálogo de 59.071 barragens de categoria “grande” no mundo que, segundo seus critérios, corresponde a estruturas de 15 m ou mais de altura, ou então entre 5 e 15 m, que retêm um volume superior a 3 milhões de m³ de água. A instituição registrou cerca de 300 desastres com grandes represas com diversas finalidades ao longo da história, e Zhang *et al.* (2007), no trabalho publicado no Primeiro Simpósio Internacional de Segurança e Risco Geotécnico, apontam mais de 900 casos registrados na literatura, excluindo a China.

A partir de consulta realizada no Sistema Nacional de Segurança de Barragens (SNISB, 2022) da ANA, o Brasil possui 23.305 barragens, dos mais diversos usos, cadastradas, sendo 893 registradas como Contenção de Rejeitos de Mineração.

Foram identificados 250 eventos de rompimento de barragens de rejeitos de minério entre os anos de 1910 e 2019, sendo que grande parte ocorreu entre os anos de 1960 e 1980, principalmente na América do Norte e na Europa. A partir da década de 1990, os casos de rompimento diminuem, em virtude do avanço das técnicas de construção civil e da rigidez dos critérios de segurança em vários países; além disso, a partir do século XXI, os desastres com barragens se intensificam na América do Sul e na Ásia (Reis *et al.*, 2020).

A partir do estudo de Tschiedel *et al.* (2019), que compilou outros estudos acadêmicos, bem como relatórios da ANA e da Defesa Civil de Minas Gerais, desde 1950 foram documentados 39 casos de rompimentos de barragens no Brasil, sendo que 51% somente na década de 2010. Nesse contexto de grande quantitativo de estruturas, de impactos com severidades gravíssimas e de materialização histórica dos eventos, faz-se urgente a evolução no gerenciamento para redução dos riscos de desastres com barragens, considerando todo o rol de ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil.

Estudos referentes à segurança de barragens, sobretudo em relação à análise de riscos geotécnicos, são realizados utilizando metodologias diversas, como a Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA); a Análise por Árvore de Eventos

(ETA); Análise Árvore por Falhas (FTA); os Diagramas de Localização, Causa e Indicadores de Falhas (LCI); os Índices de Risco; os Estudos de Perigo e Operabilidade (HAZOP) e a Simulação de Monte Carlo (Viana, 2015).

De forma sintética, a FMEA trata-se de uma metodologia de avaliação de processos que busca falhas e as reconhece em relação às suas causas e efeitos. O *Event Tree Analysis* – ETA, a partir de um primeiro evento, busca estabelecer relações, com o objetivo de mapear as falhas e o modo como acontecem, podendo, assim, descobrir seus efeitos. A FTA é similar ao ETA, diferenciando-se somente pela lógica de orientação da construção e apresentação da árvore. A primeira se orienta verticalmente e a segunda, horizontalmente (Almeida *et al.*, 2006).

Os Diagramas de Localização, Causa e Indicadores de Falhas – LCI e Índices de Risco, assim como o FMEA, são metodologias de avaliação de risco qualitativa. Os Índices de Risco são considerados como uma metodologia simples de análise, sendo desenvolvidos especificamente para sua finalidade, atendendo os objetivos específicos do projeto (Melo; Fusaro, 2015). Já as metodologias de Estudos de Perigo e Operabilidade (HAZOP) e Simulação de Monte Carlo fornecem ao gestor uma série de resultados possíveis. A primeira apresenta uma análise de desvios em relação a valores de

grandezas diversas estabelecidos como normais e, a segunda, apresenta resultados possíveis a partir de diferentes cenários a ela apresentados.

O Índice de Autossalvamento para comunidades na jusante de barragens de mineração (IASS), cuja metodologia é apresentada neste capítulo, enquadra-se como uma análise de risco sendo um Índice de Risco. De acordo com Caldeira (2008, p. 125-126), a aplicação da avaliação de risco por meio do índice de risco implica a adoção de uma lista de procedimentos, tais como (I) a definição dos objetivos da análise; (II) a seleção de um conjunto de descritores, geralmente, agrupados por classes, que tenham em conta as condições externas, características da barragem e as consequências potenciais associadas ao risco; (III) atribuição de uma classificação, considerando uma mesma escala de valores para cada um dos descritores escolhidos; (IV) a definição de pesos de acordo com sua respectiva importância relativa; (V) a definição da regra de agregação; e (VI) a definição da expressão de cálculo do índice de risco com base nos índices parciais de cada classe.

A metodologia adotada, com o auxílio da aplicação do método *Delphi*, seguiu os passos atribuídos por Caldeira (2008). Os descritores selecionados são apresentados como indicadores, agrupados em cinco subíndices temáticos, Hidrogeotécnico, Social, Territorial, de Gestão e Institucional.

Foram atribuídos pesos e as fórmulas de cálculo adotadas são responsáveis pela agregação dos indicadores a seus respectivos subíndices, e estes ao IASS.

Conceitualmente, pontua-se que o presente capítulo busca incrementar os estudos e ferramentas relacionados à gestão do risco de desastres, sendo que Avila e Mattedi (2017) trazem uma síntese conceitual ao descreverem que o perigo³⁵ só se transforma em desastre a partir da existência da variável humana, assim como o impacto está ligado à vulnerabilidade da população impactada. Neste estudo, assim como em Pinho *et al.* (2019), a vulnerabilidade³⁶ é medida pela análise da dificuldade que uma população possui para a realização do deslocamento em situação de fuga (capacidade de resposta ao desastre), sendo considerados principalmente aspectos relacionados à infraestrutura presente nos territórios e nas rotas de fuga (saneamento básico, iluminação pública, condições das vias e dos Pontos de Encontro, presença de órgãos de defesa civil, localização das edificações na mancha de

35 Situação em que está ameaçada a existência de uma pessoa ou de uma coisa; risco. “perigo”, in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2021, <https://dicionario.priberam.org/perigo> [consultado em 19-10-2021].

36 A vulnerabilidade pode ser entendida como um conceito de múltiplas abordagens, mas sempre aplicada considerando a vulnerabilidade de algo ou alguém a uma ameaça. Cardona (2012) apresenta um conceito multidimensional, no qual a vulnerabilidade engloba aspectos físicos, sociais, econômicos, ambientais e institucionais. No presente artigo refere-se à vulnerabilidade das pessoas à mancha de inundação de barragens de rejeito.

inundação), bem como as condições de mobilidade e percepção do risco (idade, gênero, deficiências físicas e participação em treinamentos e simulados, entre outros).

Cardona (2012) explica que o risco de desastres³⁷ se refere à possibilidade de efeitos adversos no futuro. Isso deriva da interação de processos sociais e ambientais, ou seja, da combinação de perigos físicos com as vulnerabilidades das pessoas expostas. No mesmo sentido, o autor reforça ainda que o risco é determinado não apenas pelo clima ou eventos perigosos, mas também pela exposição e pela vulnerabilidade a esses perigos. Portanto, a efetiva gestão dos riscos de desastres depende de uma compreensão rigorosa de exposição e da vulnerabilidade, bem como de uma avaliação adequada de alterações nessas dimensões.

Neste sentido, o objetivo de desenvolvimento e aplicação do IASS é a criação de uma ferramenta que auxilie nos processos de gestão do risco de desastres em territórios potencialmente afetados por manchas de inundação de barragens de rejeito de mineração. A partir desse índice, espera-se contribuir para o conhecimento da situação estrutural e social das populações expostas a diferentes níveis de risco, demarcando estatisticamente e espacialmente vulnerabilidades

37 O risco de desastre é produto de três aspectos, quais sejam: a severidade ou frequências das ameaças, a exposição e a vulnerabilidade. (UNDRR, 2019)

e potencialidades socioterritoriais. No presente capítulo, analisam-se os resultados obtidos para o recorte territorial de 11 Zonas de Autossalvamento (ZAS)³⁸ de barragens de rejeitos de mineração localizadas no Brasil, especificamente no estado de Minas Gerais. A localização e os nomes das barragens não serão aqui apresentados devido à solicitação da empresa responsável pelas barragens e visando manter a privacidade das informações sensíveis e em atendimento à Lei Geral de Proteção de Dados, porém, registra-se a facticidade dos dados utilizados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE

O presente capítulo está dividido em duas partes que, de forma cronológica, representam os passos de elaboração do IASS, sendo I – Desenvolvimento e testagem da metodologia e II - Revisão/atualização do Índice de Autossalvamento – IASS. A primeira fase do projeto ocorreu entre os anos de 2019 e 2020. O índice inicialmente foi denominado Índice de Vulnerabilidade em Zona de Autossalvamento – IVZAS. Assim como o IASS, o IVZAS variava em uma escala de 0 a 1,

38 As manchas de inundação são divididas em Zonas de Autossalvamento (ZAS) e Zonas de Segurança Secundária (ZSS), sendo a ZAS trecho do vale na jusante da barragem em que não haja tempo suficiente para intervenção das autoridades competentes em situação de emergência, conforme mapa de inundação; e ZSS o trecho constante do mapa de inundação não definido como ZAS. (Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020).

porém, de forma negativa. Quanto mais próximo de 1, maior era a vulnerabilidade da população. A partir da segunda fase do projeto, desenvolvida entre os anos de 2020 e 2021, adotou-se a nomenclatura de Índice de Autossalvamento – IASS que, diferentemente do IVZAS, quanto maior a proximidade do resultado a 1, maior seria a capacidade de autossalvamento da população. Importante informar que a alteração da nomenclatura do índice considerou também aspectos conceituais, tendo em vista que foram incorporados ao sistema indicadores de risco (Risco Hidrodinâmico) no seu cálculo. Tendo em vista que o risco contém a vulnerabilidade, e não o contrário, procedeu-se à alteração.

Insta salientar que o presente projeto desenvolveu metodologia de cálculo sem precedentes no que se refere a conceitos, valores de comparação e benchmarks. As bibliografias consultadas, incluindo o arcabouço normativo, trouxeram informações que auxiliaram a definição de alguns dos indicadores, mas, de forma geral, não foram encontrados dados ou informações de vulnerabilidade sociais ou territoriais relacionados a recortes espaciais ou cenários de crise para subsidiar o estabelecimento de fórmulas de cálculos dos indicadores e índices.

Desenvolvimento e testagem

Para definição dos potenciais indicadores e subíndices, foi realizada uma sessão de brainstorming na qual participaram especialistas das áreas de engenharias, segurança, geotecnologia, geotecnia, geografia, serviço social e ciências sociais, totalizando 13 participantes sob responsabilidade de empresa de consultoria em engenharia, geotecnia e análise socioterritorial. Os especialistas foram definidos conforme atribuições dentro da empresa e, principalmente, considerando as experiências acadêmicas e técnicas nos temas que envolveram o desenvolvimento do índice.

O objetivo central era definir indicadores de vulnerabilidade para evacuação de comunidades em áreas de autossalvamento de barragens de mineração. Como resultado, foram sugeridos 46 indicadores que, durante a sistematização do projeto, foram distribuídos em cinco grandes grupos: sociais (13), territoriais (12), gestão/planejamento (9), hidrogeotécnicos (2) e institucionais (10).

O painel de especialistas Delphi foi a metodologia aplicada no intuito de avaliar o grau de importância dos indicadores propostos. Cada indicador sugerido foi avaliado na escala de “Muito importante”, “Importante”, “Moderadamente importante”, “Pouco importante” e “Sem importância”, a

qual, para fins estatísticos, foi convertida em valores de 5 a 1 seguindo a ordem apresentada. O somatório dos valores obtidos por cada indicador foi utilizado para definição de seu peso. (Tabela 1).

Tabela 1: Pesos relativos dos indicadores em função dos valores obtidos

Valores obtidos	Peso relativo
Intervalo entre 61 a 65	7
Intervalo entre 56 a 60	6
Intervalo entre 51 a 55	5
Intervalo entre 46 a 50	4
Intervalo entre 41 a 45	3
Intervalo entre 36 a 40	2
Valores < 35	1

Fonte: Autoria própria.

A calibração do modelo foi uma etapa seguinte necessária para o desenvolvimento da metodologia, pois se tornou imprescindível que cada indicador sugerido e ponderado pelos especialistas fosse avaliado em relação à disponibilidade de dados. É importante ressaltar que os indicadores, para retratarem tendências e serem ferramentas efetivas de gestão, devem ser relativamente fáceis de calcular, considerando principalmente as fontes dos dados e a periodicidade de sua disponibilização. Nesse processo, alguns indicadores foram

desconsiderados devido à indisponibilidade imediata aos dados.

As informações utilizadas para composição dos indicadores agrupados como sociais possuíam como fonte de dados principal o levantamento de dados sociais (cadastro social) realizado pela empresa responsável pela administração e gestão das barragens. Entre outras informações pessoais, o cadastro abarcou informações de composição familiar, perfil social e de saúde dos entrevistados.

Os indicadores do grupo hidrogeotécnico possuíam como fonte de dados principal os produtos do estudo de Dam Break também realizado pela empresa responsável pelas estruturas de rejeito, além das informações sobre o nível de segurança da barragem fornecidas pela Agência Nacional de Mineração – ANM (2020).

Os dados referentes aos indicadores de gestão e institucionais possuíam como fonte áreas internas da mineradora, como o percentual de área da ZAS que possuía sinalização de rotas de fuga e a realização de fiscalização pela Agência Nacional de Mineração - ANM.

Aspectos territoriais, que compuseram o Índice Territorial, como a disponibilidade de iluminação pública, abastecimento de água e rede de esgoto, foram coletados do Censo

Demográfico 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Após a calibração do modelo, iniciou-se a definição de como seria realizada sua normalização. Essa etapa consistiu em colocar diferentes indicadores e índices na mesma escala de análise. Dessa maneira os valores foram normalizados para ficarem entre Zero (Menor Vulnerabilidade) e um (Maior Vulnerabilidade). Os indicadores foram calculados para dois recortes geográficos, sendo o primeiro as edificações cadastradas até 10 m de cada ZAS e o outro para a ZAS das barragens, como pode ser visto nas Equações 1 e 2.

Equação 1

$$\text{Indicador ZAS} = \frac{\text{quantidade de pessoas}^1 \text{ em uma determinada vulnerabilidade}}{\text{Máximo de pessoas da ZAS}}$$

$$\text{Indicador Pontual} = \frac{\text{quantidade de pessoas}^1 \text{ em uma determinada vulnerabilidade}}{\text{Máximo de pessoas na Edificação}}$$

Para normalizar os subíndices, foram utilizados os resultados dos indicadores calculados, os pesos de cada indicador e o valor de normalização de cada subgrupo, sendo o último o valor máximo que a soma dos pesos vezes os indicadores poderiam alcançar. Dessa forma, o índice de cada subgrupo foi calculado conforme a Equação 3:

Equação 2

$$\textit{Indices individuais} = \frac{\sum_1^n a_n * p_n}{VN}$$

Sendo:

n = número de indicadores por Índice

a = Indicador

p = Peso do indicador

VN = Valor de Normalização

O indicador IVSZAS foi calculado pela média dos quatro subgrupos normalizados, conforme a Equação 4:

Equação 3

$$\textit{Indicador de vulnerabilidade final} = \frac{\sum_1^n \textit{Ind}_n}{n}$$

Sendo:

n = número total de índices considerados

Ind = Índice

Os testes iniciais obtidos a partir da aplicação das fórmulas de cálculo foram sistematizados espacial e estatisticamente. Tanto o ponto das edificações como a área da ZAS foram classificadas de acordo com a Tabela 2:

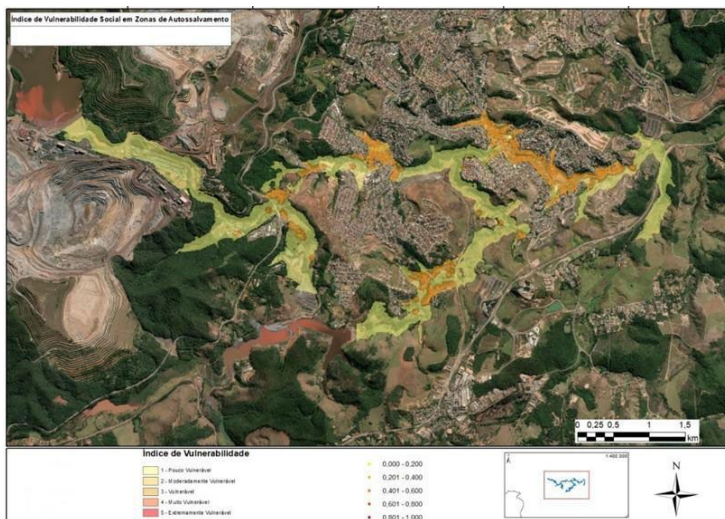
Tabela 2: Classificação IVZAS

Índice de Vulnerabilidade	Mínimo	Máximo	Grau de Vulnerabilidade
Pouco vulnerável	0,000	0,200	1
Moderadamente vulnerável	0,201	0,400	2
Vulnerável	0,401	0,600	3
Muito vulnerável	0,601	0,800	4
Extremamente vulnerável	0,801	1,000	5

Fonte: Autoria própria.

Os testes iniciais e análises foram importantes para a seleção das barragens de rejeito com comunidades na jusante que seriam abarcadas pela metodologia. Somente aquelas que possuíam levantamento de dados sociais finalizado e dados de estudo de Dam Break disponíveis foram utilizadas. De um total de 24 estruturas de contenção de rejeitos, 11 possuíam as informações necessárias para aplicação da metodologia. Para elas foi realizado o mapeamento com os resultados pontuais e regionais (Figura 1).

Figura 1 – Teste inicial IVSZAS



Fonte: Autoria própria.

WorkShop e Painel de especialistas - **Delphi**

Após a testagem e revisão dos indicadores, realizou-se um *workshop* para debater e consultar especialistas de áreas correlacionadas às temáticas analisadas em relação aos resultados alcançados até aquele momento. A realização do *workshop* contou com a participação de 16 especialistas na primeira sessão e 30 especialistas na segunda. Foram levantadas possibilidades de novos indicadores e sugerida a exclusão de outros. Participaram especialistas da área de mineração e segurança

de barragens responsáveis pelas estruturas de contenção de rejeitos estudadas.

Ao final do *workshop* chegou-se a 32 indicadores divididos entre os subíndices como segue:

- a) hidrogeotécnico – 3 indicadores;
- b) social – 9 indicadores;
- c) territorial – 9 indicadores;
- d) gestão – 4 indicadores;
- e) institucional – 7 indicadores.

Após essa nova rodada de discussão sobre os indicadores, realizou-se uma aplicação da metodologia *Delphi*. Essa metodologia é baseada em um processo sistemático de consulta a especialistas da área de interesse para auxílio na tomada de decisões e pertinência entre as variáveis (Santos, 2010; Linstone; Turoff, 2020). A consulta avaliou a capacidade de autossalvamento da população em cada uma das situações apresentadas pelos diferentes indicadores, variando em uma escala de “Muito Baixa”, “Baixa”, “Moderada”, “Alta” e “Muito Alta”. Foram consultados 121 especialistas entre consultores técnicos, membros da academia e profissionais que atuam nas áreas de meio ambiente, segurança e gestão de riscos. A escolha dos especialistas se deu a partir da afinidade da área de atuação profissional com a temática abordada pelo índice.

Participaram engenheiros, geógrafos, cientistas sociais, entre outros. A consulta foi realizada por meio de formulário do *Google Forms* e enviada de forma padronizada por meio de correio eletrônico. O formulário de consulta ficou disponível durante um período de 15 dias.

Fórmulas de cálculo e modelagem espacial

As fórmulas utilizadas para cálculo dos subíndices e IASS foram aplicadas considerando o peso atribuído a cada um dos indicadores. Os valores de normatização utilizados foram o total de pessoas (T) ou o valor máximo possível a ser atingido individualmente ou por um grupo de faixas de indicador ou indicadores.

Para o cálculo do Subíndice Hidrogeotécnico, foi aplicada a fórmula:

$$\text{HGEO} = (\text{TC} + \text{RH} + \text{NS}) / 13,5$$

Onde:

$$\text{TC} = [(a*1,5) + (b*2,0) + (c*2,5) + (d*3,0) + (e*3,5) + (f*4,5)] / T$$

$$\text{RH} = [(g*1,5) + (h*1,5) + (i*2,0) + (j*2,5) + (k*3,5) + (l*4,0)] / T$$

$$\text{NS} = (m*2,0) + (n*3,5) + (o*4,0) + (p*5,0)$$

Para o cálculo do Subíndice Social, foi aplicada a fórmula:

$$\text{SOCI} = (\text{IDA} + \text{FIS} + \text{ESC} + \text{POP}) / 13,5$$

Onde:

$$\text{IDA} = 2,0 - \{[(a*1,5) + (b*2,0)] / T\}$$

$$\text{FIS} = 11,5 - \{[(c*1,5) + (d*2,0) + (e*1,5) + (f*2,0) + (g*1,5)] / T\}$$

$$\text{ESC} = [(h*1,5) + (i*1,5) + (j*2,0)] / T$$

$$\text{POP} = (k*3,5) + (l*3,0) + (m*2,5)$$

Para o cálculo do Subíndice Territorial, foi aplicada a fórmula:

$$\text{TERR} = (\text{PTR} + \text{INF} + \text{SAP}) / 32,0$$

Onde:

$$\text{PTR} = (3,0 + 2,0) - \{[(a*3,0) + (b*2,0)] / T\}$$

$$\text{INF} = [(c*3,0) + (d*3,0) + (e*3,0) + (f*4,5) + (g*4,5)] / T$$

$$\text{SAP} = (h*5,0) + (i*4,0)$$

Para o cálculo do Subíndice de Gestão, foi aplicada a fórmula:

$$\text{GEST} = (\text{TRE} + \text{APS}) / 19,0$$

Onde:

$$\text{TRE} = [(a*5,0) + (b*5,0)] / T$$

$$\text{APS} = (c*4,5) + (d*4,5)$$

Para o cálculo do Subíndice Institucional, foi aplicada a fórmula:

$$\text{INST} = [(a*4,0) + (b*4,5) + (c*4,0) + (d*4,0) + (e*4,5) + (f*5,0) + (g*5,0)] / 31,0$$

As fórmulas apresentadas foram aplicadas à modelagem digital elaborada no *software ArcGis* a partir da ferramenta *model builder*. Além de permitir a obtenção de resultados tanto em formato tabular como vetorial e *raster*, a modelagem digital oferece maior eficiência ao processo. A preparação das entradas de dados passou por procedimentos manuais e automatizados. Além dos procedimentos de padronização e tabulação, foram elaboradas modelagens auxiliares para consolidação dos dados de entrada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao final da aplicação da primeira etapa do método *Delphi*, obteve-se uma adesão geral de 43,8%. Detalhando esse dado por grupo, os profissionais atuantes nas áreas de interesse tiveram uma adesão de 52,3%, consultores externos, 20% e membros da academia, 4%. Já para a segunda etapa, que se refere à revisão individual por cada um dos especialistas de sua própria avaliação inicial, adicionando a argumentação da média geral obtida por indicador, obteve-se adesão de 22,6%.

Para quantificação dos resultados, a escala que varia de “Muito Baixa” a “Muito Alta” foi convertida em valores numéricos que variam de 1 a 5 respectivamente. A média de resultados por indicador foi considerada como seu peso de cálculo. (Quadro 1).

Quadro 1 - Relação de indicadores por subíndice, código utilizado para escrita da fórmula e peso relativo

Subíndice	Indicador		Código - fórmula	Pesos revisados
Hidrogeotécnico	Tempo de Chegada	TC <= 5 minutos	a	1,5
		TC > 5 e <= 10 minutos	b	2
		TC > 10 e <= 15 minutos	c	2,5
		TC >15 e <= 30 minutos	d	3
		TC > 30 min e <= 1 hora	e	3,5
		TC > 1 hora	f	4,5
	Risco Hidrodinâmico	Risco Hidrodinâmico H5 e H6	g/h	1,5
		Risco Hidrodinâmico H4	i	2
		Risco Hidrodinâmico H3	j	2,5
		Risco Hidrodinâmico H2	k	3,5
		Risco Hidrodinâmico H1	l	4
	Nível de Segurança	Nível de segurança 3	m	2
		Nível de segurança 2	n	3,5
		Nível de segurança 1	o	4
Sem emergência		p	5	

CONSTRUÇÃO METODOLÓGICA DO ÍNDICE DE AUTOSSALVAMENTO
PARA COMUNIDADES À JUSANTE DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO

Subíndice	Indicador		Código - fórmula	Pesos revisados
Social	Idade < 5 anos e >= 80 anos		a	1,5
	Idade entre 65 e 80 anos		b	2
	Cadeirante		c	1,5
	Com outras dificuldades de locomoção		d	2
	Com PETs na residência		e	3
	Com doenças crônicas		f	3
	Com deficiência visual, auditiva e/ou mental		g	2
	Escolaridade	Não alfabetizada	h	3
		Alfabetizada ou com ensino fundamental	i	3,5
		Com ensino médio ou superior	j	4
	Total de pessoas	De 1 a 1000 pessoas na ZAS	k	3,5
		De 1001 a 3000 pessoas na ZAS	l	3
		Mais de 3001 pessoas na ZAS	m	2,5
Territorial	Estar em edificações com mais de 5 pessoas		a	3
	Estar em um local onde o tempo de chegada da mancha seja menor que o tempo de deslocamento da pessoa até um ponto seguro		b	2
	Sistema de abastecimento de água		c	3
	Sistema de rede de esgoto		d	3
	Coleta de lixo		e	3
	Energia Elétrica		f	4,5
	Rede de iluminação pública		g	4,5
	Sinalização para fuga		h	5
	Ausência de locais com elevado afluxo de pessoas		i	4

CONSTRUÇÃO METODOLÓGICA DO ÍNDICE DE AUTOSSALVAMENTO
PARA COMUNIDADES À JUSANTE DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO

Subíndice	Indicador	Código - fórmula	Pesos revisados
Gestão	Participar de capacitação para evacuação	a	5
	Participar de simulado para evacuação	b	5
	Disponibilidade para abrigo temporário imediato	c	4,5
	Disponibilidade de serviços para primeiros socorros	d	4,5
Institucional	Barragem com Licença de Operação válida	a	4
	Todas condicionantes da Licença de Operação cumpridas	b	4,5
	Fiscalização semestral do órgão estadual ambiental	c	4
	Fiscalização semestral do IBAMA	d	4
	Fiscalização semestral da ANM	e	4,5
	Existência de Defesa Civil no município	f	5
	Existência de Plano de Contingência Municipal	g	5

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos para o IASS foram classificados a partir de faixas pré-definidas, de acordo com o apresentado pela Tabela 3:

Tabela 3: Faixas de classificação do Índice de Autossalvamento - IASS

CAPACIDADE DE AUTOSSALVAMENTO - IASS		
Capacidade	Início intervalo	Final intervalo
Muito alta	0,9	1,0
Alta	0,8	0,89
Moderada	0,6	0,79
Baixa	0,4	0,59
Muito Baixa	<0,4	

Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, a definição das faixas de classificação foi elaborada utilizando o método estatístico de quartis. Devido à escala de classificação utilizada para aplicação do método Delphi foi necessária adequação, alterando, assim, para cinco classes, considerando que o intervalo do IASS se encontra entre 0 e 1 e sua divisão em intervalos iguais seria de 0,2 pontos. Todavia, admitiu-se que o intervalo referente aos resultados da capacidade de autossalvamento “Muito Baixa” fosse mais conservador, abarcando duas partes, ou seja, 0,4 pontos. Os intervalos “Baixa” e “Moderada” possuem intervalo de 0,2 pontos. Para os intervalos “Alta” e “Muito Alta” também foi adotada uma medida conservadora na qual variam somente em 0,1 pontos. Acredita-se que a adoção dessas medidas conservadoras reduza as possibilidades de equívocos com

relação ao atestado de capacidade de autossalvamento da população.

A Tabela 4 apresenta os resultados quantitativos obtidos por índice temático e, na coluna final, o Índice de Autossalvamento – IASS, por estrutura. A partir dos dados apresentados verifica-se que, em relação aos indicadores do Subíndice Hidrogeotécnico, as estruturas de I e X, ambas com nível de emergência classificado como “Nível 1”, além de IX e VII, são as estruturas com menor capacidade de autossalvamento em relação a esses aspectos.

Em relação ao Subíndice Social, por exemplo, têm-se as estruturas V, VII e XI como aquelas com piores resultados, indicando a presença de pessoas possivelmente com maior dificuldade de locomoção e/ou um adensamento de pessoas que necessitam de uma mobilização considerável para atendimento e realizações de ações necessárias em emergência. Os resultados do Subíndice Territorial por estrutura evidenciam que seu percentual de aproveitamento é crítico em considerável parte das ZAS analisadas. Porém percebe-se que as estruturas de I, II e III possuem os piores resultados em relação aos aspectos territoriais, o que contribuiu em considerável parte para que sua capacidade de autossalvamento obtivesse o pior resultado entre todas as analisadas.

Tabela 4: Resultados por índice temático e
índice geral por estrutura analisada

Estrutura	Índice Hidrogeotécnico	Índice Social	Índice Territorial	Índice Gestão	Índice Institucional	IASS
I	0,61	0,84	0,31	0,00	0,29	0,41
II	0,80	0,86	0,31	0,00	0,29	0,45
III	0,86	0,86	0,31	0,00	0,29	0,46
IV	0,88	0,84	0,42	0,00	0,29	0,49
V	0,76	0,81	0,60	0,00	0,29	0,49
VI	0,81	0,92	0,48	0,00	0,29	0,50
VII	0,75	0,82	0,67	0,00	0,29	0,50
VIII	0,99	0,84	0,42	0,00	0,29	0,51
IX	0,75	0,84	0,68	0,00	0,29	0,51
X	0,68	0,88	0,81	0,00	0,29	0,53
XI	0,78	0,82	0,84	0,00	0,29	0,55

Fonte: Autoria própria.

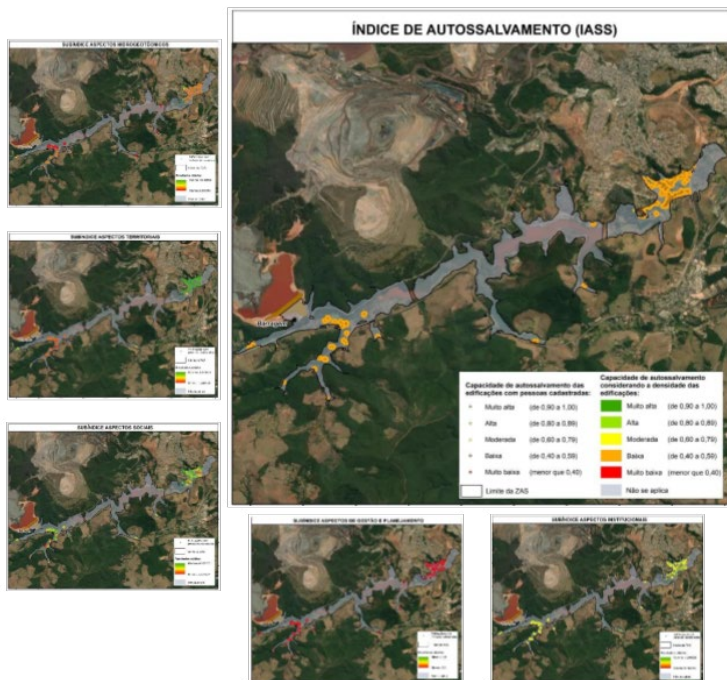
Os subíndices de Gestão e Institucional resultaram respectivamente em valores zerados e iguais para todas as estruturas. Ambos possuem indicadores cuja coleta foi de responsabilidade da empresa contratante que, até o final da aplicação desta metodologia, não havia disponibilizado os dados. Tendo em vista que todos os indicadores propostos a partir da metodologia desenvolvida são considerados importantes para uma análise socioterritorial com viés crítico embasando a tomada de decisão estratégica, ainda que sem

dados de entrada, os indicadores dos dois subíndices foram adicionados à modelagem digital. De forma geral, o subíndices de Gestão e Institucional contribuíram para que os todos os resultados do IASS fossem classificados como “Baixo”.

Os resultados espaciais da modelagem apresentam a classificação do território das ZAS relativos aos subíndices e IASS, indicando que quanto maior o IASS, maior a capacidade de autossalvamento das comunidades na jusante das barragens nas ZAS. Assim, essa ferramenta permite o detalhamento e comparação entre as vulnerabilidades presentes no território em um mesmo tempo, indicando quais indicadores apresentam fragilidades e necessitam de intervenção para melhor desempenho do IASS.

O acompanhamento do IASS de uma determinada ZAS, ao longo do tempo, com as intervenções nas fragilidades dos indicadores, se traduziria em verdadeiro processo de PDCA (*Plan, Do, Chek and Act*) que resultaria em significativas reduções de riscos de desastres nas ZAS.

Figura 6 – Especialização dos resultados dos Subíndices Hidrogeotécnico, Territorial, Social e Índice de Autossalvamento - IASS



Fonte: Autoria própria.

Em relação às experiências de aplicação do painel de especialistas disponíveis na literatura, observa-se que o percentual de respondentes na primeira rodada do método Delphi vem sendo objeto de reduções ao longo do tempo. Para Wright e Giovinazzo (2000), a abstenção variava de 30 a 50% na primeira rodada. Vimieiro e Lange (2009), utilizando o

método Delphi em sua pesquisa, obtiveram 47,6% de retorno na primeira rodada. Santiago e Dias (2012), pesquisadoras da Universidade Federal da Bahia, ao aplicarem o método Delphi para elaborarem uma matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos, em 2012, ao considerarem uma amostra de 55 especialistas, obtiveram apenas 27,3% de respondentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do projeto do Índice de Autossalvamento - IASS envolveu várias etapas de aplicação metodológica que se mostraram promissoras para garantia de alcance dos objetivos propostos. As etapas que contaram com envolvimento de especialistas de origens interdisciplinares, *workshop* e painel de especialistas Delphi foram essenciais para o embasamento teórico e empírico sobre as situações de autossalvamento e uma definição horizontal e participativa sobre os caminhos a serem seguidos.

A aplicação do método Delphi se mostrou promissora para a identificação de indicadores que possuam potencial para contribuir para que o IASS atinja seu propósito de forma clara e objetiva.

A modelagem de dados espacial em parte considerável foi automatizada, porém, depende de pré-processamento de

alguns conjuntos de dados, principalmente para alimentar indicadores que possuem como fonte de informação dados secundários.

Como resultado da modelagem, foram disponibilizados para a empresa contratante:

- *Shapefile* de pontos com a localização das edificações cadastradas e classificadas pela metodologia do IASS;
- *Shapefile* de polígonos contendo as áreas de concentração das edificações por classificação do IASS;
- Arquivo *Raster* contendo a classificação em áreas da ZAS de acordo com a densidade de pontos e seus respectivos resultados quanto ao IASS;
- Seis mapas para cada barragem analisada contendo cada um a representação espacial de um dos cinco indicadores (Hidrogeotécnico, Social, Territorial, Institucional e de Gestão) e um mapa com a representação espacial do Índice de Autossalvamento – IASS.

Visando ao aperfeiçoamento da ferramenta, além de alterações no instrumental de pesquisa do cadastramento social, visando coletar a totalidade das informações em campo, sugere-se novas reflexões de indicadores socioeconômicos que possam demonstrar aspectos de caracterização territorial, como aspectos produtivos e econômicos, entre outros, para

melhor compreensão do espaço analisado. A possibilidade de classificação de áreas dentro da ZAS não ocupadas por assentamentos humanos, como forma de auxílio no gerenciamento público e privado do território, é uma das possibilidades de análise futura para serem incorporadas ao IASS.

Todavia, conclui-se que o IASS se apresenta como uma promissora ferramenta de planejamento para os gestores de barragens de rejeitos de mineração, ao indicar, a partir de vários indicadores, maior ou menor capacidade de autossalvamento das comunidades situadas na jusante nas Zonas de Autosalvamento – ZAS e sua relação com o risco do rompimento das barragens.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. **SNISB**, [2022?]. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/inicio>. Acesso em: out. 2022.

ALMEIDA, D. A. *et al.* Gestão do Conhecimento na análise de falhas: mapeamento de falhas através de sistema de informação. **Revista Produção**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 171-188, jan./abr. 2006.

AVILA, M. R. R.; MATTEDI, M. A. Desastre e território: a produção da vulnerabilidade a desastres na cidade de Blumenau/SC urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 187-202, maio/ago. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/4Hw-F7WR7HWypVjbqyNVGbkP/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Dispõe sobre a alteração da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14066.htm. Acesso em: 7 maio 2023.

CALDEIRA, L. M. M. S. **Análises de riscos em geotecnia**: aplicação a barragens de aterro. Lisboa: LNEC, 2008.

CARDONA, O. D. *et al.* Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: FIELD, C. B. *et al* (ed.). **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 (IPCC)**. Cambridge, UK: Cambridge University, 2012. p. 65-108.

CARMO, F. F. D. *et al.* Fundão tailings dam failure: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 145-151, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.002>. Acesso em: 25 set. 2024.

REIS, M. O. *et al.* Panorama dos rompimentos de barragens de rejeitos de minério no mundo. **Caderno de Geografia**, [s. l.], v. 30, n. 61, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ana-Moura-38/publication/343769372_Panorama_dos_rompimentos_de_barragens_de_rejeito_de_minerio_no_mundo_Panorama_of_ore_tailings_dam_disasters_in_the_world/links/5f3e875c458515b72931f34f/Panorama-dos-rompimentos-de-barragens-de-rejeito-de-minerio-no-mundo-Panorama-of-ore-tailings-dam-disasters-in-the-world.pdf. Acesso em: 25 set. 2024.

GOMES, L. E. O. *et al.* **The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 120, n. 1-2, p. 28-36, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X17303636>. Acesso em: 25 set. 2024.

HATJE, V. *et al.* The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 7, n. 10.706, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-11143-x>. Acesso em: 25 set. 2024.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE. **Monitoramento da Pluma de Sedimentos
Proveniente da Barragem de Fundão**. Vitória: ICMBio, 2017.

LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. **The Delphi Method**: techniques and
applications. 2002.

MELLO, F. M.; SANDRONI, S. S.; GUIDICINI, G. **Lições aprendidas
com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil**.
Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021. *E-book*.

MELO, A. V.; FUSARO, T. C. Avaliação de métodos de análise de
riscos aplicados a barragens. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE
GRANDES BARRAGENS, 2015, 30., Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz
do Iguaçu: [s. n], 2015.

RIBEIRO, J. C. J. **Indicadores Ambientais**: avaliando a política de
meio ambiente no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: SEMAD,
2006.

SÁNCHEZ, L. E. *et al.* **Os impactos do rompimento da Barragem
de Fundão**: o caminho para uma mitigação sustentável e resiliente.
Gland, Suíça: UICN, 2018.

SANTOS, A. A. **Geoprocessamento Aplicado à Identificação
de Áreas de Fragilidade Ambiental no Parque Estadual da
Serra do Rola Moça**. 2010. 39 f. Monografia (Especialização
em Geoprocessamento) – Departamento Cartografia, Instituto
de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-953QZL?mode=full>. Acesso em: 25 set. 2024.

TSCHIEDEL, A. F. *et al.* Barragens e rompimentos: compilação histórica nacional e internacional. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338430855_BARRAGENS_E_ROMPIMENTOS_COMPILACAO_HISTORICA_NACIONAL_E_INTERNACIONAL_DAMS_AND_DAM_BREAKING_NATIONAL_AND_INTERNATIONAL_HISTORICAL_COMPILATION. Acesso em: 22 set. 2022.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Annual Report**. Geneva, Switzerland, 2019. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/undrr-annual-report-2019>. Acesso em: 10 abr. 2023.

VIANA, L. F. V. **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens** [manuscrito]: auxílio ao processo de tomada de decisão. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2025.

VIMIEIRO, G. V.; LANGE, L. C. Utilização do método Delphi para definição dos fatores intervenientes no desempenho de unidades de triagem e compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. DELPHI: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 12, p. 54-65, abr./jun. 2000. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001173053>. Acesso em: 25 set. 2024.

ZHANG, L. M.; XU, Y.; JIA, J. S. Analysis of earth dam failures - A database approach. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GEOTECHNICAL SAFETY & RISK, 1., 2007, Shanghai. **Anais** [...]. Shanghai: ISGSR, 2007. p. 293-302. Disponível em: <https://www.issmge.org/publications/publication/analysis-of-earth-dam-failures-a-data-base-approach>. Acesso em: 20 set. 2022.

16

OS DESASTRES E A CARTA HUMANITÁRIA: variáveis para o desenvolvimento de indicadores e o aperfeiçoamento das ações de socorro e assistência

George Luiz Pereira Santos

Lucas Barbosa e Souza

1 – INTRODUÇÃO

A ocorrência de desastres ambientais não é exclusividade do mundo contemporâneo. Esses eventos têm acompanhado a humanidade ao longo dos tempos. Inundações, escorregamentos, terremotos e incêndios florestais são alguns exemplos de um variado conjunto de fenômenos cujas consequências afetam, de forma negativa, parcela significativa da população mundial. Isso acontece em função de danos e prejuízos de

magnitudes variadas, capazes de atingir a ordem econômica e social das localidades afetadas.

O termo “ambiental” em detrimento do “natural”, utilizado para qualificar essa modalidade de desastre, é pertinente no sentido de seu caráter híbrido e multidimensional, pois existem componentes naturais e sociais que, associados, contribuem para que esses eventos ocorram ou se agravem (Mendonça; Buffon, 2021).

A eclosão desses eventos tem relação direta com a probabilidade de ocorrerem (riscos), com os agentes causadores (ameaça) e com a exposição da população (vulnerabilidade). Juntos, esses elementos conduzem à ocorrência do desastre ou, em outras palavras, concretizam uma possibilidade por meio da ação de uma ameaça sobre um grupo vulnerável (Souza; Zanella, 2010).

Ainda que os desastres acompanhem a humanidade há muito tempo, na atualidade esses eventos estão ocorrendo de maneira mais frequente e intensa. Eventos extremos, sob a ótica hidrológica, geológica, meteorológica e climatológica, estão cada vez mais presentes no cenário mundial. Estudos têm demonstrado que as mudanças climáticas globais, combinadas com o momento geológico atual, conhecido como antropoceno (Lewis *et al.*, 2015), revelam-se como condições propícias para a ocorrência de desastres ambientais. Paralelamente, atrelada

às condições de pobreza e de ocupação de áreas susceptíveis, a vulnerabilidade se acentua, somando-se perigosamente à ampliação das ameaças. Nesse sentido, torna-se necessária a adoção de políticas e estratégias de ação, em escala global, regional e local, com o objetivo de fazer frente à ocorrência desses eventos, reduzindo os riscos e minimizando os impactos.

Os instrumentos existentes em escala global, sob a liderança da Organização das Nações Unidas (ONU), apresentaram-se inicialmente pela Década Internacional de Redução dos Desastres Naturais (DIRDN) e pela Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIDR). Em processo evolutivo, os marcos de Hyogo e de Sendai surgiram para estabelecer diretrizes que reforçam os processos de Redução de Riscos de Desastres (RRD).

No Brasil, com a ocorrência de desastres deflagrados por processos naturais em diversos estados da Federação, distribuídos nas cinco macrorregiões, a Proteção e a Defesa Civil, em seus processos de fortalecimento e aperfeiçoamento contínuos, tiveram como marco significativo a Lei Federal nº 12.608/2012. Nessa legislação, buscou-se como escopo principal reforçar a gestão de riscos e integrar o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, sem deixar, contudo, de ressaltar as ações de socorro e assistência como elementos primordiais na minimização dos impactos dos desastres ambientais.

De acordo com a legislação citada, as ações estão baseadas em dois aspectos globais: A Gestão de Riscos (GR) e a Gestão de Desastres (GD). A primeira envolve aspectos voltados para prevenção, mitigação e preparação. A segunda está relacionada com as condutas voltadas para resposta e recuperação. Sabe-se que os processos de prevenção, mitigação e preparação são norteadores na busca pela Redução de Riscos de Desastres. A Gestão de Riscos deve e precisa exercer o protagonismo frente ao cenário de ameaças, vulnerabilidades e riscos, pois a prevenção é o caminho para a menor ocorrência de desastres. Contudo, não existe risco zero.

Se existe risco, é preciso preparação para o enfrentamento do que pode ocorrer. Em circunstâncias de desastres, as ações de resposta e de recuperação são cruciais para a minimização de seus efeitos negativos. Dotados de aspetos complexos e dinâmicos, os desastres exigem medidas estratégicas de cunho sistêmico e integrado. Ações de socorro e assistência humanitária conectadas em todos os níveis (institucional, comunitário, governamental e não governamental), de maneira efetiva, podem significar o sucesso ou o fracasso na garantia dos direitos fundamentais das pessoas afetadas por desastres. No cenário de ocorrência de desastres, em que as ações de resposta (socorro e assistência humanitária) devem acontecer efetivamente, instrumentos estratégicos que orientem essas

ações tornam-se preponderantes para o bom andamento dos trabalhos, de forma coordenada.

Em que pese a existência já consolidada de um arcabouço teórico sobre Defesa Civil, no caso brasileiro, a Carta Humanitária (CH) surge como alternativa de cooperação e colaboração que fortalece sobremaneira o desenvolvimento dessas ações, com o objetivo fundamental de garantir a dignidade das pessoas afetadas por desastres. Para melhor qualificar e garantir uma resposta adequada aos desastres, a Carta Humanitária contempla um conjunto de indicadores que permite uma condizente mensuração do desempenho dos segmentos envolvidos nas ações de socorro e assistência. Tais indicadores auxiliam, de maneira objetiva, os processos de tomada de decisão por parte dos segmentos que desempenham suas atribuições nesses complexos cenários.

Nesse contexto, o presente capítulo tem como objetivo geral realizar uma análise, à luz da Carta Humanitária e de outros instrumentos pertinentes, sobre o conjunto de indicadores necessários ao aperfeiçoamento das ações de socorro e assistência, por parte dos atores envolvidos, com vistas à minimização dos impactos dos desastres. Especificamente, pretende-se: (I) realizar uma abordagem analítica para adaptação dos indicadores de resposta a desastre apresentados na Carta Humanitária, com vistas à seleção de variáveis e

finalidades de adaptação; e (II) propor variáveis úteis de socorro e assistência humanitária que possam subsidiar a criação de indicadores de resposta, considerando a ocorrência de inundações lentas e graduais em Rio Branco (AC) e em contextos similares. No escopo deste trabalho, não se pretende criar um indicador ou um conjunto de indicadores, de forma específica, mas contribuir com a sugestão de variáveis que subsidiem a concepção de tais elementos de mensuração, de forma qualificada.

A construção do texto foi baseada em pesquisa bibliográfica e documental, apoiada na interpretação qualitativa e na discussão dos referenciais e amparos teórico-metodológicos selecionados, com destaque para a própria Carta Humanitária. Espera-se, desse modo, contribuir com o aperfeiçoamento das ações de socorro e assistência humanitária em circunstância de desastres no Brasil e com a produção de literatura nessa área temática.

2 - O SOCORRO E A ASSISTÊNCIA HUMANITÁRIA NO CENÁRIO DE DESASTRES

O desastre, seja ele uma inundação, uma enxurrada, um deslizamento ou outra modalidade qualquer, ao eclodir, causa impactos negativos na localidade atingida, em maior ou em menor grau. A depender da magnitude do evento e

das condições de vulnerabilidade local, haverá necessidade premente de auxílio, ou seja, de resposta adequada, por meio de ações de socorro e assistência, em um primeiro momento. Em seguida, haverá a necessidade de desenvolver ações de recuperação, visando à retomada das condições de normalidade no local. Essa normalidade é relativa e pode variar para cada família e para o conjunto de uma localidade.

O Marco de Sendai, que define estratégias e diretrizes para a redução de riscos de desastres e para o seu enfrentamento, destacou como quarta prioridade o aprimoramento da preparação para uma resposta eficaz, bem como o aperfeiçoamento das ações de recuperação, reabilitação e reconstrução (UNISDR, 2015).

As ações de prevenção e de mitigação precisam ocupar um papel de protagonismo no cenário da Redução de Riscos de Desastre (RRD). A busca pela não ocorrência de desastres deve ser contínua, como vetor de políticas públicas em escala global, regional e local. Contudo, como o próprio termo esclarece, o foco é a “redução” e não a “eliminação”, uma vez que, ao longo dos tempos, tem-se demonstrado que não existe a possibilidade de se anular completamente os riscos. Ou seja, por menor que seja a probabilidade, a chance de um desastre ocorrer sempre constituirá algum nível de risco. Podem existir eventos mais ameaçadores que outros, como um fenômeno

climático excepcional, além de áreas ou localidades mais vulneráveis que outras, por sua incapacidade de suportar tais eventos (Souza; Zanella, 2010). Assim, o risco estará presente, em maior ou em menor grau, a depender da conjunção e da força de seus componentes.

Portanto, é necessário que ambas as frentes sejam trabalhadas em paralelo: a Redução de Riscos de Desastres, como estratégia prioritária e incessante; e a Resposta, representada por ações de socorro e assistência humanitária, de recuperação, reabilitação e reconstrução, visando à minimização de suas consequências. Essa dinâmica faz com que se estabeleçam processos de resiliência adequados, preparando a localidade afetada para a possibilidade de uma nova ocorrência no futuro.

Castro (1999) apresenta, no contexto da resposta aos desastres, ações baseadas no combate, socorro e assistência, definindo com clareza a conduta dos órgãos e equipes responsáveis por uma fase tão sensível e de crucial importância na minimização dos impactos e consequências advindas de um desastre. Os elementos componentes nessa fase do desastre encontram o devido amparo operacional descrito em condutas constantes em doutrinas de Defesa Civil, a exemplo do Manual de Planejamento em Defesa Civil – Vol 2 (Castro, 1999) e apresentam sinergia com os aspectos preconizados na Carta Humanitária. O referido manual é referência para

o desenvolvimento das atividades de Proteção e Defesa Civil no Brasil.

A seguir (quadro 1), estão demonstradas as principais ações a serem desenvolvidas para o combate, socorro, assistência e reabilitação do cenário adequados face à ocorrência de um desastre, conforme descrito em Castro (1999).

Quadro 1 - Síntese de ações de combate, socorro, assistência e reabilitação de cenário em circunstância de desastres

AÇÕES DE RESPOSTA EM DESASTRES			
Combate	Socorro	Assistência	Reabilitação
- Isolamento das áreas de risco. - Evacuação das populações em risco. - Controle direto dos sinistros.	- Busca, salvamento e rasgate de feridos. - Primeiros Socorros. - Atendimento pré-hospitalar - Atendimento médico-cirúrgico de urgência.	- Atividades logísticas. - Atividades de assistência e promoção social. - Atividades de promoção, proteção e recuperação da saúde.	- Vigilância das condições de segurança global da população. - Reabilitação dos serviços essenciais. - Reabilitação das áreas deterioradas e das habitações.

Fonte: Castro (1999)

O quadro 1 mostra, de forma sucinta, as ações de combate, socorro, assistência e de reabilitação a serem desenvolvidas quando houver a eclosão de um desastre. Logicamente, todas essas ações principais se desdobram em várias outras secundárias, mas não menos importantes, formando uma vigorosa rede de procedimentos. As derivações dessas atividades principais dependem da magnitude, da modalidade do desastre e da capacidade de gestão da localidade frente ao impacto desse evento.

Representadas basicamente por quatro eixos, as ações de resposta, conforme o quadro 1, definem o que deve ser feito de imediato (combate e socorro) e no decorrer (assistência e reabilitação), em função do impacto e de seus desdobramentos. No eixo de combate, são desencadeadas ações de isolamento das áreas, evacuação das populações, segurança das áreas sinistradas e controle direto dos sinistros. O socorro compreende a busca, salvamento e resgate, associados às ações de manutenção da saúde (primeiros socorros, atendimento pré-hospitalar e médico-cirúrgico). Essas ações são preponderantes para a preservação da vida e manutenção da integridade física dos atingidos. Em seguida, retirá-las de uma situação de perigo e conduzi-las para um local seguro (abrigo), realizando o transporte adequado.

Ainda do quadro 1, as ações de assistência definem os procedimentos logísticos, de promoção social e da saúde, servem de suporte fundamental para as vítimas. Ao serem atingidas por um desastre, as pessoas sofrem perdas significativas, necessitando de apoio adequado que garanta os direitos fundamentais e a manutenção de suas necessidades básicas para a sobrevivência. Assim, receber e acolher essas pessoas, proporcionando o amparo devido às circunstâncias de fragilidade, significa fortalecer a dignidade humana em um momento sensível e de grandes perdas. A depender da magnitude de um desastre, a assistência humanitária necessita empregar operações logísticas em escala global, nacional, regional ou local. Para o atendimento das demandas sociais básicas, torna-se crucial, para a minimização do sofrimento humano, saber o que é necessário, qual é a quantidade necessária e o momento necessário, além de quem, exatamente, apresenta cada tipo de necessidade (Burcu *et al.*, 2008).

Por fim, o quadro 1 mostra as ações de reabilitação dos cenários com foco na segurança global da população, a reabilitação dos serviços essenciais, das áreas deterioradas e das condições de habitação. Promover ações de socorro e assistência humanitária em circunstância de desastres requer o emprego de grandes estruturas compostas por diversos atores, materiais e equipamentos que sejam condizentes com

as demandas geradas pela localidade e pelas pessoas afetadas; envolve esforços de grande magnitude e engajamento. Os desastres exigem processos de preparação em larga escala, pois as necessidades das pessoas atingidas são crescentes e emergenciais (Oliveira, 2009).

Em contrapartida, a experiência vivida com o desastre poderá contribuir para uma maior resiliência, seja no âmbito individual, seja no coletivo. Juntamente com a redução de riscos, a construção da resiliência compõe aspecto fundamental das políticas sobre desastres (UNISDR, 2015), ainda que ocorram em momentos distintos.

A redução de riscos deve ocorrer nos momentos de normalidade. Já a construção da resiliência acontece quando uma localidade sofre com o impacto de um desastre, absorve-o, recupera-se e adapta-se frente às suas consequências e efeitos, buscando a preservação da vida e a restauração das estruturas existentes (UNDRR, 2019). Assim, a resiliência parte de um evento que ocorreu, e quanto mais adequada e pertinente for a resposta, melhor será a internalização da resiliência, a partir das lições aprendidas por parte da localidade e, principalmente, das pessoas acometidas pelos efeitos negativos de um desastre.

Logo, os indicadores das ações de socorro e assistência em circunstâncias de desastres podem se constituir referências

que permitem avaliar a capacidade de resposta e a resiliência na comunidade afetada. Do mesmo modo, esses indicadores podem demonstrar fragilidades que tornam aquela localidade ainda mais vulnerável à ocorrência de desastres futuros.

3 - OS INDICADORES DE RESPOSTA

O desenvolvimento das ações de resposta engloba, necessariamente, os aspectos de socorro e assistência humanitária. Portanto, na ocorrência de desastre, em um primeiro plano, é necessário garantir a sobrevivência e a integridade das pessoas acometidas pelos impactos, muitas vezes destruidores. Assim, as ações de socorro requerem estruturas de pessoal e de material especializadas, visando salvaguardar a vida, removendo as pessoas que estão expostas ao perigo para, em seguida, estabelecê-las em local seguro, garantindo que suas necessidades humanas sejam atendidas.

Conforme Almeida (2012), indicadores e metodologias descrevem ferramentas e formatos a serem aplicados em processos de avaliação da vulnerabilidade e que podem ser transpostos para as questões de resposta. Essa transposição permite adequar, usando uma mesma metodologia, indicadores e critérios que, mesmo distintos no tempo (durante um desastre), no espaço (onde ocorre) e na tipologia (qual

desastre) do que está sendo avaliado, informações qualificadas no cenário do desastre.

Ao estudar indicadores de risco de desastres no Brasil, Almeida *et al.* (2016) reforçam a sua importância, considerando seu potencial para visualizar e comunicar diferentes níveis de exposição, vulnerabilidades e riscos. Um pouco mais além, tais instrumentos contribuem para uma maior representatividade do cenário de desastres a fim de que os gestores desses eventos possam decidir de maneira qualificada e assertiva diante de uma situação de crise.

Independente do momento em que a sua aplicação se torne necessária, seja na redução de riscos (prevenção e mitigação), seja na minimização das consequências de seus impactos (resposta), a demanda pela formulação de indicadores revela-se premente. O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres (Brasil, 2012) mapeou 821 municípios em situação de riscos de desastres no país. Conforme estudo elaborado por Saito *et al.* (2019), identificou-se a situação de exposição à ocorrência de deslizamentos, inundações e enxurradas em 479 municípios brasileiros. Dessa forma, se há exposição e vulnerabilidade, o desastre pode ocorrer e o seu gerenciamento é necessário. Em tal cenário, indicadores colaboram para a redução dos riscos, mas também contribuem na otimização das ações de socorro e assistência.

3.1 A Carta Humanitária, suas normas e indicadores

A Carta Humanitária (CH) é um dos componentes do que atualmente se denomina ESFERA, anteriormente chamado de PROJETO ESFERA – 1997, oriundo da iniciativa de organizações não governamentais e pelo movimento da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho. Em sua filosofia de criação, a ESFERA possui duas diretrizes básicas: (I) as pessoas afetadas por catástrofes ou conflitos têm o direito à vida com dignidade e, conseqüentemente, o direito à assistência; e (II) devem ser tomadas as providências possíveis para aliviar o sofrimento humano decorrente de catástrofes e conflitos (Sphere Association, 2018).

Uma das referências em que se baseia o presente trabalho, a Carta Humanitária (CH) é o instrumento norteador que orienta a assistência humanitária de modo a promover a manutenção da vida e da dignidade humana, em circunstância de desastres ao redor do mundo. Tem uma aplicação generalista, compatível com uma diversidade de desastres, em suas diferentes dimensões. Em se tratando do Brasil, o referido instrumento pode contribuir para o aprimoramento das ações de resposta em circunstância de desastre, considerando a dimensão do país e a diversidade de comportamentos quanto aos riscos; poderá também ser empregado juntamente com outras referências já existentes e consolidadas, inclusive

aquelas consideradas doutrinas no campo da Defesa Civil, a exemplo de Castro (1999).

A base desse instrumento (CH) é o princípio da proteção e o estabelecimento das condições mínimas essenciais que vão desde as ações de socorro e assistência até os aspectos da prestação de contas, unindo os aspectos humanitários e da transparência na execução das ações. Na localidade afetada por um desastre, as normas, os princípios e as diretrizes constantes na Carta Humanitária podem ser aplicadas pela estrutura de resposta (socorro e assistência) envolvida na minimização das consequências dos impactos. Seu caráter flexível e abrangente permite a adequação necessária a qualquer modalidade de desastre, sua magnitude e tempo de duração. Assim, acredita-se que, em consonância com referenciais já existentes e aplicados em nível nacional, a CH (com suas normas e indicadores) complementa e ajuda na construção desses elementos qualificadores de mensuração das ações pertinentes às consequências de desastres. O quadro 2 contempla, de forma suscita, a estrutura da ESFERA e seus componentes.

Quadro 2 – Síntese da Carta Humanitária (princípios e normas)

ESFERA CARTA HUMANITÁRIA	
Princípios de Proteção	Norma Humanitária Essencial
- Melhorar a segurança e a dignidade das pessoas e evitar expô-las a mais danos. - Assegurar o acesso das pessoas à ajuda imparcial, de acordo com a necessidade e sem discriminação. - Auxiliar as pessoas a se recuperarem de efeitos físicos e psicológicos decorrentes de ameaça de violência real, coerção ou privação intencional. - Ajudar as pessoas a reinvidicar seus direitos.	- Abastecimento de água, saneamento e promoção de higiene. - Segurança alimentar e nutrição. - Alojamento e assentamento. - Saúde.

Fonte: Autoria própria, a partir de Sphere Association (2018).

Conforme observado no quadro 2, a Carta Humanitária estabelece, basicamente, dois eixos norteadores: Princípios de Proteção e Norma Humanitária Essencial. O primeiro, em que pese o foco mais voltado aos conflitos bélicos ou outra forma de ameaça armada, pode ser adaptado para os processos necessários à proteção das pessoas em circunstâncias de desastres. O segundo delineia seguimentos básicos necessários que conduzem a uma assistência humanitária digna e

que proporcione a manutenção da vida e das necessidades fundamentais das pessoas afetadas por desastres.

A Carta Humanitária dispensa aos indicadores um papel importante, pois eles permitem o monitoramento, a avaliação, a prestação de contas e a aprendizagem. Os indicadores medem o cumprimento dos compromissos/ações preconizados, impulsionando a aprendizagem e o aperfeiçoamento (Sphere Association, 2018), além de convergirem para processos de comparação sob a ótica espacial (em outros lugares) e temporal (em outros momentos). Conforme os objetivos a serem alcançados nas aferições de desempenho das atividades desenvolvidas, a Carta Humanitária separa os indicadores em três grupos: indicadores de progresso, indicadores de processo e indicadores de metas. Os indicadores de progresso verificam se um requisito mínimo foi atingido durante o processo de assistência humanitária; os indicadores de processo fornecem a unidade de medida para monitorar a o alcance da norma; e os indicadores de metas são objetivos específicos e quantificáveis que representam o mínimo abaixo do qual uma meta não pode ser considerada alcançada.

É notório que a norma humanitária possui elementos norteadores robustos para a execução das ações de assistência às pessoas afetadas. Contudo, observaram-se lacunas de ações necessárias no momento do impacto do desastre, no instante

de sua eclosão, que se traduzem em ações de resposta, ou seja, no socorro propriamente dito.

O detalhamento dessas lacunas não faz parte do escopo deste capítulo, entretanto, é necessário contextualizar que o referido instrumento não menciona ações de socorro propriamente ditas, como aquelas voltadas para a busca, resgate e salvamento em geral. Assim, verifica-se que, entre os dois componentes da resposta, a assistência humanitária surge com maior ênfase. É válido ressaltar que as ações de resposta estão diretamente ligadas aos aspectos geográficos, políticos, sociais, econômicos e ambientais no contexto da localidade afetada.

A formulação dos indicadores deve passar por uma análise inicial sob a ótica de três variáveis sociodemográficas: densidade, diversidade e dinâmica. A densidade refere-se à disposição dos arranjos de infraestrutura, habitações, leis e culturas distribuídas em uma determinada área. A diversidade compõe os aspectos sociais, culturais, étnicos, religiosos e econômicos de grupos que vivem e convivem próximos uns aos outros. A dinâmica envolve a fluidez e a variabilidade, apresentando mudanças rápidas nas relações socioambientais (Sphere Association, 2018).

Baseada nesses aspectos, a Carta Humanitária estabelece diretrizes e princípios no que diz respeito ao direito à vida

com dignidade, ao direito de receber ajuda humanitária e ao direito à proteção e segurança. Em circunstância de desastre, a ajuda humanitária exerce um papel relevante sob a ótica da dignidade humana. Nesse princípio, constam as ações a serem desenvolvidas para a garantia de condições adequadas, garantindo: o acesso ao abastecimento de água, saneamento e promoção da higiene; segurança alimentar e nutrição; alojamento e assentamento; e saúde.

A seguir, as tabelas 1, 2, 3 e 4 trazem um panorama sobre cada uma dessas quatro ações essenciais (denominadas de eixos), necessárias aos padrões mínimos para a manutenção da vida das pessoas com dignidade, em circunstância de desastre. Para melhor compreensão, torna-se necessária uma breve explicação sobre as tabelas. As normas possuem um caráter qualitativo e denotam um padrão mínimo a ser alcançado quanto ao atendimento das demandas sociais em situação de crise. Os indicadores-chave são os parâmetros de cumprimento das normas e das ações promovidas, ou seja, em que medida, dentro dos padrões aceitos, estão sendo realizadas (Sphere Association, 2018). Ambos têm sua gênese nos princípios humanitários regidos pela CH.

Tabela 1: Abastecimento de água, saneamento e promoção da higiene (Eixo 1)

EIXO	AÇÃO	NORMA	INDICADOR-RES-CHAVE
1- Abastecimento de água, saneamento e promoção da higiene (WASH)	1- Promoção da higiene	3	17
	2- Abastecimento de água	2	9
	3- Gestão de dejetos	3	7
	4- Controle de vetores	3	4
	5- Gestão de resíduos sólidos	3	6
	6- Wash em surtos de doenças e ambientes de saúde	1	3
Total	6	15	46

Fonte: Autoria própria, a partir de Sphere Association (2018)

A tabela 1 descreve as ações (seis) e a quantidade de normas (quinze) e indicadores-chave (quarenta e seis) relativos às questões de abastecimento de água, saneamento e promoção da higiene (WASH – termo em inglês que significa água, saneamento e higiene). Nesse eixo, as ações estão divididas em seis componentes: promoção da higiene, abastecimento de

água, gestão de dejetos, controle de vetores, gestão de resíduos sólidos e WASH em surtos de doenças e ambientes de saúde. Dessas ações derivam as normas e indicadores-chave que verificam o desempenho das normas, dos processos e das metas para esse eixo. Como exemplos de indicadores-chave de abastecimento de água, saneamento e promoção da higiene (WASH), constantes na Carta Humanitária, estão: porcentagem de famílias afetadas que descrevem corretamente medidas para prevenir doenças relacionadas a WASH; porcentagem da renda familiar utilizada na compra de itens de higiene para necessidades prioritárias identificadas; entre outros.

Tabela 2: Segurança alimentar e nutrição (Eixo 2)

EIXO	AÇÃO	NORMA	INDICADORES-CHAVE
2- Segurança alimentar e nutrição	1- Avaliações	2	4
	2- Gestão da nutrição	2	7
	3- Deficiência de micronutrientes	1	2
	4- Alimentação de bebês e crianças	2	6
	5- Segurança alimentar	1	4
	6- Ajuda alimentar	4	19
	7- Meio de subsistência	2	8
Total	7	14	50

Fonte: Autoria própria, a partir de Sphere Association (2018)

A tabela 2 mostra o eixo 2 (segurança alimentar e nutrição), com suas respectivas ações (sete) e quantitativos de normas (14) e de indicadores-chave (50). A segurança alimentar e a nutrição desempenham um importante papel para a sobrevivência das pessoas afetadas por desastre. Dentre os diversos indicadores-chave constantes na Carta Humanitária para o eixo da segurança alimentar e nutrição, pode-se destacar: utilização de protocolos padronizados para analisar a segurança alimentar, os meios de subsistência e as estratégias de

enfrentamento; utilização de protocolos normatizados para avaliar a desnutrição e identificar suas causas.

Tabela 3: Alojamento e assentamento (Eixo 3)

EIXO	AÇÃO	NORMA	INDICADOR-CHAVE
3- Alojamento e assentamento	1- Planejamento	1	2
	2- Localização do assentamento	1	4
	3- Espaço habitacional	1	3
	4- Artigos domésticos	1	5
	5- Assistência técnica	1	5
	6- Segurança da posse	1	3
	7- Sustentabilidade ambiental	1	5
Total	7	7	27

Fonte: Autoria própria, a partir de Sphere Association (2018)

As questões voltadas para o alojamento e assentamento (eixo 3) estão descritas na tabela 3. Nesse eixo, as ações baseiam-se no planejamento, localização e planejamento

do assentamento, espaço habitacional e artigos domésticos, assistência técnica, segurança da posse e sustentabilidade ambiental. Derivadas das ações, as sete normas e os vinte e sete indicadores-chave definem o que deve ser feito nesse eixo. Para o eixo Alojamento e assentamento constante na Carta Humanitária, pode-se destacar, dentre outros, os seguintes indicadores-chave: atendimento do plano de alojamento e assentamento às necessidades essenciais da população beneficiária e acordo com a população e com as autoridades competentes; porcentagem de alojamentos e/ou assentamentos com acesso seguro a serviços essenciais em um período de tempo ou a distância aceitáveis; porcentagem de pessoas que estão recebendo ajuda de alojamento e que se sentem seguras nele.

Tabela 4: Saúde (eixo 4)

EIXO	AÇÃO	NORMA	INDICADORES-CHAVE
4- Saúde	1- Sistemas de saúde	5	19
	2- Doenças transmissíveis	4	12
	3- Saúde da criança	2	8
	4- Saúde sexual e reprodutiva	3	13
	5- Cuidados de lesão e trauma	1	4
	6- Saúde mental	1	6
	7- Doenças não-transmissíveis	1	4
	8- Cuidados paliativos	1	3
Total	8	18	69

Fonte: Autoria própria, a partir de Sphere Association (2018)

O quarto eixo (tabela 4) da Carta Humanitária define as questões do setor de saúde e norteia como devem se comportar os agentes desse segmento para a promoção de importantes ações (oito) em uma localidade acometida por um desastre. Esse eixo está subdividido em: sistemas de saúde; doenças transmissíveis; saúde da criança; saúde sexual e reprodutiva; cuidados de lesão e trauma; saúde mental; doenças não

transmissíveis; e cuidados paliativos. As dezoito normas e os sessenta e nove indicadores-chave realizam a condução e efetivação das atividades necessárias nesse seguimento da assistência humanitária. Pela quantidade de indicadores, é possível verificar a circunstância de desastre. Nesse eixo, a Carta Humanitária apresenta uma série de indicadores-chaves, dentre eles: porcentagem da população capaz de acessar cuidados primários de saúde em até uma hora a pé de suas residências; número de agentes comunitários de saúde para cada 1.000 pessoas; porcentagem de unidades de saúde com remédios essenciais; se a incidência de doenças transmissíveis importantes está estável ou não aumenta em relação ao nível anterior à crise.

No tocante à prestação de serviços essenciais a uma população afetada por desastres, a Carta Humanitária traz um conjunto de procedimentos e de indicadores dotados de grande relevância para a minimização das consequências de um desastre e para a redução da possibilidade de surgimento de novos problemas e conflitos, em função do não atendimento das necessidades básicas dessas pessoas em situação de extrema fragilidade. No total, são quatro eixos, vinte e oito ações, cinquenta e quatro normas e cento e noventa e dois indicadores-chave que buscam o atendimento às demandas sociais emergentes e a promoção da dignidade das pessoas

afetadas por desastres. Em escala mundial, é um instrumento amplamente utilizado para o atendimento às vítimas de conflitos e em situações de desastres, quando existem vidas em situação de vulnerabilidade e necessidade de atendimento às suas demandas essenciais.

Em que pese serem ainda incipientes os trabalhos sobre indicadores relacionados à gestão de riscos e de desastres no Brasil, Ciccoti *et al.* (2020) realizaram estudo sobre indicadores de resiliência comunitária. O estudo dividiu os indicadores em seis dimensões: social, econômica, infraestrutura, ambiental, institucional e capital social, totalizando cento e dois indicadores. As dimensões aplicadas e a quantidade de indicadores propostos revelam a complexidade em se lidar com os desastres e seus desdobramentos. Avaliar o progresso, mensurar o desempenho, definir mudanças de estratégias e estabelecer diretrizes e objetivos dependem da leitura que é feita dos cenários dos desastres, e tal leitura é facilitada pelos indicadores (Cutter *et al.*, 2010). Entre os grandes objetivos que refletem a importância dos indicadores, está o fato de tais instrumentos permitirem o acesso a informações qualificadas, visando à tomada de decisão condizente com a adequada gestão do desastre, na busca da minimização de suas consequências (Cardona, 2008).

Na Carta Humanitária, em função da extensa quantidade de ações, normas e, em especial, indicadores-chave em cada eixo, torna-se improvável a abrangência de todo o seu conteúdo no escopo de um capítulo. De um modo amplo, observou-se ser um poderoso instrumento, contudo, ainda pouco mencionado na literatura sobre gestão de riscos e de desastres, motivo pelo qual se apresentam algumas de suas linhas gerais, com destaque para o papel dos indicadores.

Tem-se verificado que grande parte dos estudos sobre indicadores voltados às questões de desastres concentra-se no âmbito da Gestão de Riscos. Trata-se de uma ênfase justificada pelo protagonismo desse aspecto, que envolve ações de prevenção, mitigação e preparação, em fases anteriores ao desastre. Entretanto, ainda que alguns indicadores de Gestão de Riscos também possam permear a Gestão de Desastres, existem, no segundo, importantes especificidades inerentes às questões de Resposta (socorro e assistência), não abarcadas pela Gestão de Riscos. A esse respeito, apresenta-se adiante um exemplo para o emprego de variáveis, a partir de situações vividas na cidade de Rio Branco (AC), em circunstância de desastre, na modalidade de inundação.

4 - O EXEMPLO DE RIO BRANCO (AC) E A PROPOSTA DE VARIÁVEIS PARA A FORMULAÇÃO DE INDICADORES

Inundações sucessivas ocorreram na cidade de Rio Branco, capital do estado do Acre, entre os anos de 2009 e 2015. Com ênfase em 2015, considerado um evento histórico e o maior que se tem registro, Dolman et al. (2018) descreveram danos entre duzentos e seiscentos milhões de reais como consequências desse desastre. Essas inundações conferiram ao primeiro autor deste capítulo um aprendizado em gestão de desastres, por sua atuação junto à Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil da referida capital. Assim, as ações de socorro e de assistência à população afetada pelas inundações do Rio Acre, em Rio Branco, propiciaram conhecimentos baseados na gestão integrada do desastre. Ainda que, naquele momento, inexistissem parâmetros para avaliação do trabalho realizado, a exemplo daqueles propostos pela Carta Humanitária, é possível, na atualidade, examinar as situações vividas e os aprendizados à luz de variáveis que contribuam para a formulação de indicadores.

Com a contribuição baseada nas ações e condutas constantes no Plano de Contingência Operacional de enchente para a Cidade de Rio Branco (Prefeitura Municipal de Rio Branco, 2019), é possível pensar em variáveis de resposta

(socorro e assistência) voltadas para uma tomada de decisão qualificada diante de uma situação emergencial, geradora de alta demanda social. Preliminarmente, na qualidade de variáveis, esses atributos podem fomentar a criação de indicadores (após submetidos aos tratamentos matemáticos, processos de cálculos relacionados aos parâmetros, dimensões que proporcionem o surgimento efetivo de um indicador).

Tais sugestões, ainda no campo das variáveis e que podem servir de fontes aplicáveis à criação de indicadores, seguem os pressupostos constantes na Carta Humanitária (Sphere Association, 2018), em Almeida (2012) e em Ciccoti *et al.* (2020), adotando a premissa de conduta em casos de inundações lentas e graduais e a existência de abrigo público temporário, sob a responsabilidade do poder público local. Trata-se de algumas variáveis específicas, a título de ilustração, mas que podem contribuir para uma melhor ação frente às demandas, permitindo fazer uma análise sobre as necessidades dos afetados *versus* as disponibilidades de recursos humanos, materiais e equipamentos para o condizente atendimento.

Além do que está preconizado nas referências citadas, as variáveis têm alinhamento com o estabelecido no Plano de Contingência Operacional para enchentes em Rio Branco (Prefeitura Municipal de Rio Branco, 2019). O referido instrumento não possui parâmetros inseridos em seu escopo.

Entretanto, seu conteúdo permite, a partir das condutas das instituições e órgãos envolvidos nas ações de resposta, vislumbrar caminhos para a elaboração de indicadores.

A seguir, o quadro 3 apresenta a sugestão de variáveis de resposta a desastres, pontualmente voltadas para inundações, construídas a partir da conexão e das interfaces entre a Carta Humanitária (Sphere Association, 2018), Almeida (2012), os indicadores de resiliência comunitária (Ciccoti *et al.*, 2020) e o Plano de Contingência Operacional para enchentes, baseados em um escopo operacional das ações.

Quadro 3 – Proposta de variáveis de resposta (Socorro e Assistência)

PROPOSTA DE VARIÁVEIS DE RESPOSTA (SOCORRO E ASSISTÊNCIA)	
Pressupostos:	
1- Inundação lenta e gradual	
2- Existência de abrigo público temporário	
Socorro	Assistência
- Quantidade de equipes de retirada/ transporte em relação às solicitações.	- Quantidade de pessoas para recebimento e acolhida em relação à quantidade de socorridos.
- Quantidade de pessoas pra retirada/ transporte em relação às solicitações.	- Quantidade de equipes de recebimento/acolhida por famílias socorridas.
- Quantidade de barcos em relação às solicitações.	- Quantidade de espaços habitacionais por demanda de afetados.

- Quantidade de caminhões em relação às solicitações.	- Quantidade de banheiros por pessoas acolhidas.
- Vias acessíveis aos locais.	- Quantidade de banheiros por PCD (pessoa com deficiência) acolhidas.
- Quantidade de edificações afetadas em relação àquelas localizadas na área de risco.	- Quantidade de bebedouros por pessoas acolhidas.
- Quantidade de NUDEC's existentes por bairros em áreas de risco e bairros afetados.	- Quantidade de chuveiros por pessoa acolhida.
- Quantidade de equipes de vistoria por bairros/áreas afetadas.	- Quantidade de equipes técnicas por famílias acolhidas (acompanhamento familiar).
	- Espaço para cultos religiosos.

Fonte: Autoria própria

As sugestões de variáveis constantes no quadro 3 descrevem, de maneira sucinta, o comportamento do binômio necessidades x disponibilidades em um cenário de desastre do tipo inundação lenta e gradual, um dos pressupostos formulados para contextualizar a demanda social existente. Outro fator adotado como pressuposto é a existência de abrigo temporário, administrado pelo poder público local. O quadro está dividido em dois eixos, visando facilitar a compreensão de que as ações ocorrem em momentos distintos, sendo o socorro (no local de ocorrência do desastre) a fase inicial, e a assistência a continuidade dessas ações (no abrigo).

No eixo das ações de socorro, as variáveis sugeridas demonstram-se pertinentes às demandas que surgem no sentido do atendimento às solicitações de retirada e transporte das famílias e caracterizam-se pela importância da existência de uma estrutura condizente com a necessidade do direcionamento dos atingidos para um local seguro. A quantidade e a qualidade definidas pelas variáveis propostas contribuem para a diminuição do tempo de resposta em um momento sensível e fortalecem a segurança durante a fase de impacto do desastre.

As variáveis constantes no eixo da assistência estabelecem, também dentro da relação necessidades x disponibilidades, o que é imprescindível e o quanto se precisa para o atendimento das famílias afetadas, no local onde é realizado o abrigo. No abrigo, suprir as necessidades básicas (água, comida, alojamento e saúde) é primordial e, se efetuados de maneira condizente com as demandas, tais serviços podem contribuir para evitar situações de crise dentro do ambiente utilizado para o acolhimento, acarretando conflitos entre administração e as famílias abrigadas. Deve-se considerar que as famílias sofreram perdas e isso gera fragilidades de ordem afetiva e material. Suprir, ainda que minimamente as suas necessidades, irá contribuir para a redução dessas consequências negativas.

Assim, as necessidades (retirada, transporte, abrigo e acompanhamento) traduzem-se pelas demandas das famílias atingidas. As disponibilidades são representadas pelos recursos (humanos, materiais, equipamentos e suprimentos) por parte do poder público para atender a essas demandas.

Ações de socorro e assistência devem ocorrer com a participação de pessoas capacitadas e habilitadas, bem como com a existência de materiais, equipamentos e suprimentos necessários para a retirada/transporte e o recebimento/acolhida das famílias no abrigo. Este, por sua vez, deve estar devidamente estruturado com as condições mínimas para receber os atingidos. As variáveis auxiliam a mensurar e a avaliar se os recursos e suprimentos encontram-se a partir do nível mínimo, suficientes para propiciar o atendimento condizente nesses dois momentos cruciais em circunstâncias de desastres.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo buscou realizar uma análise a respeito dos indicadores de resposta em circunstância de desastres, baseados em ações de socorro e assistência. Procurou-se enfatizar o exame dos indicadores constantes na Carta Humanitária (CH), documento que norteia os aspectos da ajuda humanitária para vítimas de desastres. Foi verificado que os elementos

constantes no referido documento apresentam qualidades, pertinências e contextualizações relativas à mensuração do desempenho, ao acompanhamento de ações e ao auxílio nas tomadas de decisões sob a ótica da gestão de desastres e seus desdobramentos.

Ao final, com base nos referenciais empregados e a partir de aprendizados adquiridos em processos de gestão de desastres na cidade de Rio Branco (AC), foram propostas algumas variáveis de resposta, aplicáveis no contexto de inundações. São elementos capazes de auxiliar no fortalecimento da gestão desse tipo de evento, a partir da possibilidade de se fomentar indicadores, após os devidos tratamentos relacionados aos parâmetros, cálculos e demais atributos que os adequem a essa condição.

O texto ora apresentado não se pretende exaustivo, mas almeja tão somente ampliar a discussão sobre o papel e o desenho de indicadores, com base nas variáveis apresentadas, para a gestão de desastres (essencialmente ações de resposta), em se tratando de um tema ainda pouco explorado na literatura brasileira sobre a ocorrência desses eventos. É desnecessário dizer que ainda há muito o que se avançar nesse campo interdisciplinar e de extrema relevância social, sobre o qual incide a responsabilidade de inúmeros atores e instituições.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. Q. **Riscos Ambientais e Vulnerabilidades nas Cidades Brasileiras**: conceitos, metodologias e aplicações. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/109207/ISBN9788579832895.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 dez. 2022

ALMEIDA, L. Q.; 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. 251-271, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.04.007>. Acesso em: 25 set. 2024.

BRASIL. **Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres**. 2012. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/plano_nac_risco.pdf. Acesso em: 8 nov. 2022.

BURCU, B.; BEAMON, B. M.; SMILOWITZ, K. Last Mile Distribution in Humanitarian Relief. **Journal of Intelligent of Transportation System**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 51-63, 2008. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15472450802023329>. Acesso em: 25 set. 2024.

CARDONA, O. D. **Indicators of disaster risk and risk management**: Program for Latin America and the Caribbean: summary report = In- dicadores de riesgo de desastre y gestión de riesgos: Programa para América Latina y el Caribe: informe resumido. Washington, DC: Inter-American Development Bank, 2008. Disponível em: https://www.ipcc.ch/apps/nj-lite/srex/nj-lite_download.php?id=6132. Acesso em: 20 nov. 2022.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Planejamento em Defesa Civil.**

Brasília, DF: Imprensa Nacional. 1999. v. 2.

CICCOTTI, L. *et al.* Construção de Indicadores de Resiliência Comunitária aos Desastres no Brasil: Uma Abordagem Participativa. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo. v. 23. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/b3mhGHX5bvVH5zCnmncg6nn/?lang=pt&-format=pdf>. Acesso em: 8 nov. 2022.

CUTTER S. L.; BURTON, C. G.; EMRICH, C. T. Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. **J Homeland Secur Emerg Manag**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1-22, 2010. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.2202/1547-7355.1732/html>. Acesso em: 25 set. 2024.

DOLMAN, D. I. *et al.* Re-thinking socio-economic impact assessments of disasters: The 2015 flood in Rio Branco, Brazilian Amazon. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 31, p. 212-219, 2018. Disponível em: <https://research.wur.nl/en/publications/re-thinking-socio-economic-impact-assessments-of-disasters-the-20>. Acesso em: 25 set. 2024.

LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the anthropocene. **Nature**, [s. l.], v. 519, n. 7.542, p. 171-180, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature14258>. Acesso em: 25 set. 2024.

MENDONÇA, F.; BUFFON, E. A. M. Riscos Híbridos. *In*. MENDONÇA, F. (org.). **Riscos Híbridos: concepções e perspectivas socioambientais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. (Cap. I).

OLIVEIRA, Marcos de. **Gerenciamento de Desastres**. Livro Texto do Projeto Gerenciamento de Desastres - Sistema de Comando de Operações / Marcos de Oliveira. – Florianópolis: Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO BRANCO. **Plano de contingência operacional de enchente**. Coordenadoria Municipal de Defesa Civil, 2019. Disponível em: <http://portalcgm.riobranco.ac.gov.br/portal/wp-content/uploads/2015/02/PLANO-DE-CONTING%C3%8ANCIA-OPERACIONAL-DE-ENCHENTE-2019.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SAITO, S. M. *et al.* Urban population exposed to risks of landslides, floods and flash floods in Brazil. **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 31, 2019. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/46320>. Acesso em: 25 set. 2024.

SOUZA, L. B; ZANELLA, M. E. **Percepção de riscos ambientais: teoria e aplicações**. Fortaleza: Edições UFC. 2010.

SPHERE ASSOCIATION. **The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response**. Geneva: Switzerland: fourth edition, 2018. Disponível em: www.spherestandards.org/handbook. Acesso em: 25 set. 2024.

ZERVAAS, D. Words into Action Guidelines: Implementation guide for local disaster risk reduction and resilience strategies - A companion for implementing the Sendai Framework target E (2018 - Public consultation version). **Reliefweb**, mar. 2018. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/words-action-guidelines-implementation-guide-local-disaster-risk-reduction-and>. Acesso em: 12 jan. 2022.

UNITED NATIONS. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**. Sendai: United Nations, 2015. Disponível em: https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf. Acesso em: 17 ago. 2022.

17

INDICADORES DE RESPONSABILIDADE DO PODER PÚBLICO POR INUNDAÇÃO:

uma análise a partir da jurisprudência do
Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul

Fernanda Dalla Libera Damacena

1. INTRODUÇÃO

Por definição legal, desastre é o resultado de evento adverso decorrente de ação natural ou antrópica sobre cenário vulnerável que cause danos humanos, materiais ou ambientais e prejuízos econômicos e sociais (Brasil, 2020) Pode ser súbito quando desencadeado por eventos adversos de início abrupto, resultando em danos imediatos ou de rápida evolução; ou gradual, nas oportunidades em que é desencadeado por eventos adversos de agravamento lento e progressivo, resultando

em danos crescentes ao longo do tempo. Evento adverso é o fenômeno potencial desencadeador do desastre, de origem natural ou tecnológica.

A presença marcante da palavra “danos” nessas definições introdutórias dá o tom da razão pela qual cabe ao Direito a observação dos desastres. Quando tecnológico, de regra, a dúvida sobre a não naturalidade do evento e, portanto, potencial imputação de responsabilidade, tanto do público, quando do privado, é menor, tendo em vista a maior facilidade de identificação dos envolvidos. A situação torna-se um pouco mais complexa no caso de uma chuva torrencial da qual decorre uma inundação com uma série de prejuízos ou mesmo perda de vidas.

A expressão “desastre deflagrado por processos naturais” deve ser utilizada com parcimônia e analisada em cada caso concreto, pois induz à crença de que em qualquer circunstância não há que se falar em responsabilidade. Em geral, desastres decorrem de fenômenos naturais, mas que impactam locais ou comunidades vulneráveis e expostas a risco. Não há desastre sem vulnerabilidade (ambiental, econômica, social, cultural etc) (Cutter, 2012; Damacena, 2017). Assim, não é a chuva que mata e causa perdas e danos, mas a mudança da sua frequência (inclusive por contribuição humana por conta das mudanças

climáticas) e a realidade do cenário que ela impacta. Isso é que define o desastre e sua magnitude.

A partir dessas considerações, a desnaturalização do desastre é um movimento internacional capitaneado pelas ciências sociais (Ksenia; Jason, 2019) que tem conscientizado inclusive o cidadão acerca do direito a não ser vítima de desastre.

O Brasil é palco de inúmeros eventos hidrológicos como as inundações, mais comuns em algumas regiões como no Sul. Nos últimos 5 anos houve um aumento no número de demandas no poder judiciário postulando pedidos de indenização por perdas e danos decorrentes de eventos extremos, sobretudo inundações, tendo o poder público (em geral municípios) no pólo passivo da ação.

Frente a essa realidade, o presente capítulo busca elucidar quais são os principais indicadores de responsabilidade do poder público por inundação, expressos nas decisões do Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul no período de 2017 a 2022.

Organizado em quatro sessões, sendo a primeira e a última, respectivamente, introdução e considerações finais, a pesquisa está estruturada em abordagem teórica, metodológica e análise de resultados.

2. ABORDAGEM TÉORICA

Com perdas totais de cerca de US\$ 270 bilhões e seguro de aproximadamente US\$ 120 bilhões (US\$ 120 bilhões no ano anterior), 2022 juntou-se a série de anos recentes com altas perdas devido ao aumento tanto da frequência, quanto da magnitude de eventos extremos (UNDRR, 2023).

Um dos últimos relatórios (Brasil, 2020) de danos materiais decorrentes de desastre no Brasil (1995-2019) aponta perdas e danos na casa de R\$ 333,36 bilhões. O estado do Rio Grande do Sul está entre os cinco com as maiores somas de prejuízos, ficando em quinto lugar entre os estados brasileiros em termos de danos materiais e infraestrutura, e sétimo em danos em habitações. Estima-se que entre 2020 e 2023 essas posições possam ter sido alteradas, tendo vista as recentes inundações na região.

Há alguns anos esta realidade tem mudado a crença de que perdas e danos decorrentes de eventos como inundação, seca, deslizamento, vendavais, dentre outros, são obra do divino. A sociedade está informada de que não é natural ter a casa inundada todo anos por décadas, ou mesmo morrer soterrado por falta de medidas de mitigação em área de risco conhecida há tempos pelo poder público.

A consciência social e jurídica, bem como o avanço da ciência a respeito da participação humana nesses episódios tem evoluído a passos largos. Como o Direito é um catalisador de demandas e expectativas sociais, a litigiosidade envolvendo eventos extremos, com consequentes perdas e danos, hoje, faz parte da rotina dos tribunais brasileiros. Nasce uma nova espécie de litígio que conforme defendemos desde 2013, liga-se ao direito a não ser vítima de desastre, e de ser tutelado por um ramo específico do Direito, voltado à orientação da governança e gestão pública e privada em matéria de riscos e desastres.

A evolução tecnológica e comunicacional exaltando a reiterada ocorrência de eventos, com prejuízos de toda ordem, tem colocado os deveres de atuação do poder público no processo de implementação das políticas públicas em outro patamar no Brasil. A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, instituída pela Lei nº 12.608/12 (Brasil, 2012), representa uma das mais relevantes em termos ambientais, econômicos e sociais, pois desastres impactam no desenvolvimento econômico das regiões atingidas e têm como reflexo a afronta a direitos humanos.

Políticas públicas são ações desenvolvidas pelo poder público para garantir e colocar em prática direitos que são previstos na Constituição Federal e em outras leis. (Faria, 2012). São medidas e programas criados pelos governos para garantir

o bem-estar da população. Além desses direitos, outros que não estejam na lei podem vir a ser garantidos através de uma política pública. Isso pode acontecer com direitos que, com o passar do tempo, sejam identificados como uma necessidade da sociedade. Durante muito tempo acreditou-se ser impossível postular uma indenização por prejuízos decorrentes de uma chuva torrencial. Hoje existe esta possibilidade e a cada dia ela ganha contornos mais claros, conforme se verificará na sequência.

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, como o próprio nome diz, abrange as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil. Suas diretrizes, objetivos e competências estão direcionados a garantir o bem-estar da população em caso de risco e de desastre. Uma das consequências deste último caso são as perdas e danos que, em geral, têm como vítima o cidadão. O instituto jurídico que acolhe situações como estas no Brasil é o da responsabilidade civil, que pode ser pública ou privada.

A possibilidade de responsabilidade do poder público, objeto deste capítulo, pode ser contratual ou extracontratual. No caso de inundações, a hipótese é de responsabilização é a extracontratual, que depende da comprovação do preenchimento dos critérios legais típicos dessa espécie de

responsabilidade. No caso dos desastres, embora essa perspectiva não venha sendo claramente abordada por boa parte dos julgados no Brasil, além dos requisitos legais do instituto da responsabilidade civil, cabe a análise sobre a observância ou não dos deveres presentes na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e suas posteriores regulamentações.

As competências dos entes federados em matéria de gerenciamento de risco e de desastre estão presentes nos artigos 6º ao 9º da Lei 12.608/12. O artigo 8º, incisos I a XV, representa os deveres do município, do qual é parte a proteção e defesa civil local. É fato que cada uma das competências legais mereceria um escrito específico,³⁹ mas para os fins a que se propõe este capítulo, cabe lembrar que por definição legal: “é dever da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de desastre. Essas medidas poderão ser adotadas com a colaboração de entidades públicas ou privadas e da sociedade em geral”. E mais, a incerteza quanto ao risco de desastre não constituirá óbice para a adoção das medidas preventivas e mitigadoras da situação de risco”. Assim, o artigo 2º, §§ 1º e

39 Sobre necessidades e capacidades das defesas civis municipais ver: Diagnóstico de Capacidades e Necessidade Municipais em Proteção e Defesa Civil, estudo realizado pelo Projeto Elos, disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/diagnostico-de-capacidades-e-necessidade-municipais-em-protecao-e-defesa-civil>. Acesso em: 10 fev. 2023.

2º da Lei 12.608/12, acima descrito, traz um dever de proteção que quando descumprido dá margem à responsabilização.

Ao contrário do que pode parecer, essa não é uma questão simples, mas bastante técnica e interdisciplinar, que hoje já conta com um arcabouço normativo e investigação doutrinária específicos internacionalmente e no Brasil. Esta pesquisa está alicerçada por um referencial teórico que se caracteriza pela capacidade de aprimorar a reflexão do fenômeno jurídico e sua relação com a gestão de riscos e de desastres. Nesse sentido, a matriz teórica deste estudo está alicerçada na Teoria da Ciência Social dos Desastres (Dynes, 2000; Kreps, 1998; Porfiriev, 1995; Gilbert, 1995; Dombrowsky, 1995; Quarantelli, 2005) complementada pelos aportes epistemológicos do Direito dos Desastres (Farber et al., 2010; Chen, 2011; Lyster, 2016; Gomes, 2012; Farber, 2016; Carvalho; Damacena, 2013; Damacena, 2018).

A opção pela Teoria da Ciência Social dos Desastres explica-se por ser um dos nascedouros da evolução de compreensão do conceito de desastre no mundo, que passa ser entendido como um fenômeno que têm origem na sociedade. Acredita-se e defende-se que o desastre decorre de escolhas feitas em sociedade, sejam elas públicas, sejam privadas sejam público-privadas, e é um dos fatores de maior indução de desigualdade já conhecidos (Damacena, 2018).

Autores que trabalham com noções de risco (Farber, 2013; Viscusi et al., 2012; Flint et al., 2005; Giddens, 1999; Posner, 2004; De Giorgi, 2009; Luhmann, 1992) seus elementos e com o paradigma da complexidade (Morin, 2007; Capra, 2003; Rocha, 1994) complementam a matriz teórica da pesquisa. A noção de risco em matéria de desastre tem como um de seus vetores a contribuição para orientações políticas e tomadas de decisão, possuindo grande ênfase na regulação e integração do conhecimento científico voltado ao gerenciamento de risco e de desastre.

Quando as tomadas de decisões desconsideram ações prévias e mitigatórias em matéria de riscos potencialmente catastróficos a possibilidade do desastre aumenta. Quando ele ocorre e gera prejuízos, nasce o debate e a busca por alternativas de reparação. Conforme se verificará no tópico 2 deste capítulo, atualmente, já é possível identificar os parâmetros de responsabilização adotados pelo poder judiciário em diversos contextos de desastres. A identificação dos relacionados à inundação decorreu da metodologia que segue.

3. METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO

A pesquisa sobre a observância do direito em relação ao desastre demanda referencial teórico e metodologias que sustentem raciocínios complexos e não lineares. Precisa ser

analisada levando em consideração diversos atores, argumentos, práticas e políticas dentro das configurações em que ocorre, sobretudo a local. Esse propósito só pode ser alcançado a partir de uma metodologia não reducionista, fundada sobre teorias que aceitem o debate do caos e da complexidade

O paradigma da complexidade¹⁹, em sua dimensão ontológica, ensina que a realidade não é previsível, linear, ordenada e determinada, mas ao contrário, resulta de situações caóticas, desordenadas. “Caracteriza-se como sendo difusa, indeterminada, imprevisível, produto da dialética ordem-desordem que caracteriza os sistemas complexos”.²⁰ Todos estes aspectos são os elementos que possibilitam, dentre outras questões, evolução e adaptação das estruturas jurídicas a novos paradigmas, capazes de estabilizarem novíssimas necessidades sociais com o caso do gerenciamento do risco e do desastre.

O levantamento dos dados do presente estudo foi realizado por meio de pesquisa on line, no site do Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul, (<https://www.tjrs.jus.br/novo/>), utilizando-se de palavras-chaves voltadas a identificação de indicadores de responsabilidade e seus fundamentos.⁴⁰

40 O público em geral pode pesquisar julgados pelo site mencionado ou de qualquer tribunal de justiça do Brasil. Basta usar a ferramenta pesquisa de jurisprudência. Mas o acesso à íntegra dos processos só pode ser realizado por advogado.

A metodologia do estudo considerou como relevantes casos julgados em grau recursal (segunda instância), sendo a maioria recursos de apelação, cujo polo passivo da demanda era o poder público (representado por municípios do estado), e o polo ativo um cidadão atingido por inundação. Ficaram excluídos da pesquisa órgãos administrativos e outros de investigação que levantam questões de direito ou fato sobre compensação por desastre.

Por uma questão de espaço, os indicadores mencionados na presente pesquisa representam uma pequena amostra de mais de 30 decisões analisadas por ano, ao longo de 5 anos.

Esta pesquisa representa a continuidade de um trabalho iniciado em 2011. O destaque para as decisões do ano de 2017-2018 ao longo do texto justifica-se pelo fato de este período representar um momento em que se observam interessantes ponderações e divergências, o que contribuiu para o aprimoramento dos critérios de decisão. Além disso, representa uma fase que antecede ao ano de 2019, oportunidade em que alguns entendimentos começam a ser pacificados e, posteriormente, foram se consolidando, conforme se pode verificar em decisões mais atuais.

3. FUNDAMENTOS E INDICADORES DE RESPONSABILIDADE DO PODER PÚBLICO POR INUNDAÇÃO SEGUNDO O TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO RIO GRANDE DO SUL

Ao longo dos últimos 5 anos cada vez tem se consolidado a responsabilidade do poder público por episódios de inundação. Ressalta-se que cada caso concreto deve ser analisado por um especialista, na medida de sua especificidade. Portanto, nem toda inundação gera responsabilidade do poder público, mas alguns indicadores já existem neste sentido.

Durante o período de análise, observa-se que autores e teorias da responsabilidade civil aplicadas ao poder público, do direito administrativo e constitucional têm servido de base para as decisões. Raramente se observa menção ao arcabouço normativo próprio ou à doutrina específica em matéria de desastre.

Durante um bom tempo, mais especificamente até 2018, os julgados oscilam entre a adoção de duas teorias: responsabilidade subjetiva (requer a demonstração da culpa do ente público) e objetiva (independente de culpa). Ambas, contudo, adotam a teoria do risco administrativo, que admite excludentes de responsabilidade (como caso fortuito, força

maior e culpa exclusiva da vítima), em detrimento da teoria do risco integral, que não as admite.

A primeira (subjettiva) versa sobre a responsabilidade pela falta do serviço (*faute du service*), que demanda a demonstração de culpa da administração no momento da prestação. Nesse caso deverá o demandante fazer prova de que serviço não existe, foi mal prestado ou em tendo sido prestado, foi insuficiente ou tardio. Essa linha de raciocínio aparece atrelada à doutrina (Mello, 2008) que argumenta ser a responsabilização do Estado cabível em caso de descumprimento do dever legal que lhe impunha obstar o ato lesivo, e que a caracterização do ilícito depende de a possibilidade do agente estatal impedir o dano atuando de maneira diligente (Apelação Cível Nº 70075211607, 2017).

A segunda entende que a responsabilidade civil extracontratual do Estado por omissão decorre do descumprimento de um dever jurídico de agir sendo, em regra, objetiva (independentemente da presença de culpa), constitucionalmente consignada no artigo 37, parágrafo 6º, da CRFB/88, sempre que demonstrada a existência de nexo causal entre o dano sofrido e o fato, consistente em qualquer conduta estatal - comissiva ou omissiva (Cahaly, 2014; Freitas, 2012).

A aplicabilidade prática da matéria pode ser vislumbrada frente a uma série de casos concretos como, por exemplo, a de

um grupo de pessoas que pretendiam uma indenização por danos morais em razão do alagamento de suas residências decorrente do transbordamento de um Arroio no município após forte chuva. Entendeu o Tribunal (Recurso Cível Nº 71007279235, 2018)⁴¹ que omissão quanto à realização de obras para a regularização do fluxo hídrico de um córrego ocasionou o transbordamento do Arroio, causando inundações nas áreas próximas e alagamentos nas residências (Recurso Cível Nº 71007112709, 2017).

Em outras situações fáticas de rompimento de dique e alagamento de residência o entendimento da Corte foi no sentido de que o ente municipal é responsável pela operação e manutenção do Sistema de Proteção contra cheias da cidade, e que o rompimento da infraestrutura cinza, que ocasionou o alagamento da residência encontrava-se na esfera daqueles atos passíveis de serem evitados pelo Município, já que não decorrente de causa excludente de responsabilidade (Recurso Cível Nº 71006476907, 2017).

Desde 2017 pode-se observar o crescimento de decisões que responsabilizam o poder público por omissão, portanto, não aceitando a alegação de aplicando das excludentes de

41 No mesmo sentido os seguintes julgados: Recurso Cível Nº 71007257546, julgado em: 22/02/18. Recurso Cível Nº 71007279284, julgado em: 22/02/18. Recurso Cível Nº 71007106214, julgado em: 10/11/17. Recurso Cível Nº 71007096258, julgado em 10/11/17.

caso fortuito e força maior. A justificativa para tanto é a variável previsibilidade, inclusive com alusão às mudanças climáticas. De acordo com mais de um julgado “a ocorrência de temporal não configura caso fortuito ou força maior capaz de afastar a responsabilidade do Município, já que se trata de fato previsível e que vem ocorrendo cada vez com mais frequência por conta das mudanças climáticas” (Apelação Cível Nº 70074652272, 2017)⁴². Nesse sentido, em um caso concreto, o entendimento foi o que ao poder público incumbia a adoção medidas de adequação da sua rede pluvial, pois fatos semelhantes vêm ocorrendo há muitos anos, sem uma solução concreta e adequada.

Por outro lado, durante um período, em caso de danos causados por omissão do poder público, as decisões enfatizam a necessidade da imperiosa distinção entre omissão específica da omissão genérica (Apelação Cível Nº 70075259168, 2018).⁴³ É dizer, haverá omissão específica quando o Estado estiver na condição de garante (ou de guardião) e por omissão sua cria situação propícia para a ocorrência do evento em situação em que tinha o dever de agir para impedi-lo; a omissão estatal se

42 No mesmos sentido: Apelação Cível Nº 70068476753, julgado em: 30/03/17. Apelação Cível Nº 70072591779, julgado em: 29/06/17. Apelação Cível, Nº 70082800384, julgado em: 27/05/20. Recurso Cível, Nº 71008140394, julgado em: 13/12/22. Recurso Cível, Nº 71010094662, julgado em: 30/03/22.

43 No mesmo sentido: Apelação Cível Nº 70074652272, julgado em: 27/09/17. Apelação Cível Nº 70069991248, julgado em: 31/05/17.

erige em causa adequada de não se evitar o dano. Em outras palavras, a omissão específica pressupõe um dever especial de agir do Estado, que, se assim não o faz, a omissão é causa direta e imediata de não se impedir o resultado. Em contrapartida, a omissão genérica tem lugar nas hipóteses em que não se pode exigir do Estado uma atuação específica; quando a Administração tem apenas o dever legal de agir em razão, por exemplo, do seu poder de polícia (ou de fiscalização), e por sua omissão concorre para o resultado. Em suma, no caso de omissão é necessário estabelecer a distinção entre estar o Estado obrigado a praticar uma ação, em razão de específico dever de agir, ou ter apenas o dever de evitar o resultado. Caso esteja obrigado a agir, haverá omissão específica e a responsabilidade será objetiva; será suficiente para a responsabilização do Estado a demonstração de que o dano decorreu da sua omissão. No caso da omissão genérica, a responsabilidade é subjetiva, havendo necessidade de prova da culpa (Apelação Cível Nº 70073160731). O resultado prático deste alerta é que nos casos de reconhecimento da de omissão genérica o ônus da prova da vítima torna-se um pouco mais complexo.

3.1 Razoabilidade, do desincentivo a comportamentos de risco e os limites do erário

Em contrapartida aos entendimentos mencionados, algumas decisões ponderam o outro lado da balança, e ao analisarem o potencial de responsabilização agregam novos indicadores que alertam para a importância do princípio da razoabilidade, do desincentivo a comportamentos de risco e os limites do erário.

Esses entendimentos divergem em alguns pontos dos anteriormente mencionados. Assim, importante notar que para algumas decisões, embora a regra seja a responsabilidade objetiva (artigo 37, § 6º, CF/88), quando se cuida de responsabilidade por omissão estatal, incide a responsabilidade subjetiva, com aferição de culpa. Precedentes das Cortes Superiores. Em situações assim, deve-se perquirir se era ou não de se esperar a atuação do Estado, se havia ou não o dever de agir; pois, do contrário, se corre o risco de, na perspectiva da socialização dos prejuízos, elevar o ente público ao patamar de um segurador universal (Apelação Cível Nº 70076076538, 2018).⁴⁴

44 No mesmo sentido: Apelação Cível Nº 70075697151, julgado em: 13/12/17. Apelação Cível Nº 70074652272, julgado em: 27/09/17. Apelação Cível Nº 70070755491, julgado em: 12/07/17.

As decisões neste sentido também seguem orientação fixada pelo Recurso Extraordinário nº 841.526/RS (STF, 2016) que também pontua que o fato de a Administração Pública responder objetivamente pelos danos causados a terceiros em decorrência de falha na prestação de serviço público não significa adoção da teoria do risco integral, pois é consensual que o ordenamento jurídico brasileiro acolhe a teoria do risco administrativo para fundamentar a responsabilidade dos entes públicos, quer por atos comissivos, quer por omissivos (Apelação Cível Nº 70076173277).⁴⁵

Outros julgados propõe uma reflexão diferenciada a partir de argumentos que levam em consideração critérios financeiros, orçamentários, de custo-benefício e ponderação de impacto em outras políticas públicas. Elas reiteram pressupostos, requisitos e elementos da responsabilidade civil como: conduta (comissiva ou omissiva), dano e nexo de causalidade, além do nexo de imputação (que será a culpa, em se tratando de responsabilidade subjetiva, risco ou a ideia de garantia, quando se tratar de responsabilidade objetiva). Todavia, desenvolvem o raciocínio de que não se pode olvidar que o Estado, em qualquer de suas entidades federativas, não produz riqueza ou simplesmente arrecada dinheiro da sociedade para usá-lo no interesse público. Assim, “toda e

45 No mesmo sentido: *Apelação Cível Nº 70075697151*, julgado em: 13/12/17.

qualquer responsabilização de um ente público significa, na verdade, que se está repartindo o ônus financeiro por toda a sociedade, que é o locus em que as riquezas são produzidas. Dinheiro público, portanto, não é *res nullius*, mas sim dinheiro de todos, devendo haver justificativa razoável, portanto, para a responsabilização do ente público” (Apelação Cível Nº 70071772768, 2017). De acordo com o argumento, imputar ao Estado o dever de indenizar por todo e qualquer dano decorrente de inundação ocasionada por chuvas exige condições financeiras suficientes para tanto, o que tem se mostrado não ser uma realidade dos municípios gaúchos. Nesse sentido, não seria razoável destinar verbas inexistentes, de um precário orçamento, para remediar males passados, em casos que não sejam derivados de uma ação ou específica omissão do ente público. Do contrário, inumeráveis e dramáticos problemas no país, que exigem pesados investimentos na área social (saúde e educação) ficam ainda mais desassistidos.

Por essa linha de raciocínio, a responsabilização do município deve estar mais atrelada a evidenciadas omissões específicas, como, por exemplo, a ausência de desobstrução de bueiros ou qualquer outro mecanismo de escoamento das águas, ou retirada de materiais que estejam represando águas, etc. Ou, ainda, “se restar demonstrado a razoabilidade de alguma obra pública que pudesse evitar ou reduzir

o alagamento, por exemplo, mas desde que haja uma análise de razoabilidade em termos de “custo e benefício” (Apelação Cível Nº 70071772768, 2017).

Ademais, para imposição de obrigação de fazer e não fazer ao ente público, algumas decisões ponderam a necessidade ter em mente que, em se tratando de *faute du service*, não se pode exigir do Poder Público um comportamento acima dos padrões de eficiência do serviço público. Ou seja, para se configurar a responsabilidade por omissão do Estado, há de existir a possibilidade de ele agir conforme o seu dever. Por essa razão, em um dos julgados (Apelação Cível Nº 70067655373, 2017)’ ao desprover a apelação, o órgão entendeu não ser possível estabelecer relação causal entre o serviço público prestado de forma atrasada com os danos sofridos pelos demandantes, pois os danos teriam ocorrido mesmo que o arroio, na época da inundação de sua residência, já estivesse mais profundo e largo.

Tais decisões tem como base o entendimento a respeito de que tem que se tratar de uma conduta que seja exigível da Administração e, também, possível. Essa possibilidade só pode ser examinada diante de cada caso concreto. Tem aplicação, no caso, o princípio da reserva do possível, que constitui aplicação do princípio da razoabilidade: o que seria razoável exigir do Estado para impedir o dano. Ao Estado é

que cabe demonstrar que agiu com diligência, que utilizou os meios adequados e disponíveis e que, se não agiu, é porque a sua atuação estaria acima do que seria razoável exigir; se fizer essa demonstração, não incidirá a responsabilidade (Di Pietro, 2009).

Além de ponderar o déficit das contas públicas tendo em conta a eficácia de outros direitos fundamentais, o tribunal tem destacado a necessidade do desincentivo a comportamentos de risco e, principalmente, do risco moral. Nessa linha, é possível extrair passagens como esta: “salvo prova clara de uma omissão injustificada do município, é absolutamente descabido que, faltando dinheiro para questões tão prioritárias, se pretenda condenar entes públicos a pagar casa nova a quem edifica em locais naturalmente alagadiços” (Apelação Cível Nº 70071772768, 2017).

3.2 Uniformização de entendimento das Turmas Recursais Reunidas

Desde 2019, quanto aos corriqueiros episódios de alagamento e inundação residencial, as Turmas Recursais Reunidas uniformizaram o entendimento de que a responsabilidade civil estatal, nos casos de omissão, genérica ou específica, em hipótese de alagamentos e inundações, é objetiva, ressalvada a prova, pelo ente público, de rompimento do nexos causal

entre a omissão e o dano experimentado pelo particular. Uma das alegações recorrentes nesta espécie de ação tem sido a de que seria impossível o ente municipal estar preparado para uma quantidade tão grande de chuva em pouco tempo, o que conduziria à circunstância de aplicação de força maior ou caso fortuito, circunstância em que haveria a exclusão do dever de indenizar (Incidente de Uniformização de Jurisprudência, Nº 71008591331, 2019)

De acordo com o entendimento uniformizado das turmas, “em que pese se admita a ocorrência de expressiva precipitação pluviométrica na ocasião, não se pode enquadrar tais situações nas noções de caso fortuito ou de força maior, uma vez que os problemas de transbordamento e insuficiência de drenagem são corriqueiros, previsíveis e, ainda que o ente tenha adotado medidas, é cediço que foram insuficientes, uma vez que não conseguiram evitar o ocorrido” (Incidente de Uniformização de Jurisprudência, Nº 71008591331, 2019).

3.3 Dano moral

Além da indenização por danos materiais, muitas das ações envolvendo sobretudo episódios de inundação têm tido procedente o pedido de danos morais, que possuem natureza compensatória. Ou seja, para amenizar a dor, o sofrimento, humilhação, concede-se à vítima do fato indenização

pecuniária. O fundamento dessa espécie de indenização tem sido o artigo 5º da Constituição Federal, que prevê a indenização por danos morais nos incisos V e X, assegurando a honra e imagem do ser humano como direito fundamental; bem como no artigo 1º da Lei Maior, que apresenta como princípio fundamental a dignidade da pessoa humana, visivelmente atingida quando violada a honra do cidadão e acarretado dano.

Embasado em entendimento doutrinário, os julgados têm entendido tratar-se de dano moral *in re ipsa*, “que deriva inexoravelmente do próprio fato ofensivo, de modo que, provada a ofensa está demonstrado o dano moral à guisa de uma presunção natural, uma presunção que decorre das regras da experiência comum” (Filho, 2020; Recurso Cível nº 71010482842, 2022).⁴⁶

No entanto, para arbitramento do dano moral, é comum encontrar nas decisões o dever de ter-se sempre em conta o parâmetro da proporcionalidade, tanto na perspectiva da proibição do excesso, como da proibição da insuficiência.

No momento da definição do quantum indenizatório, os critérios costumam ser os tradicionalmente adotados pelas ações indenizatórias, quais sejam: a condição social da autora,

46 No mesmo sentido: Recurso Cível nº 71010255552, Turmas Recursais. Relator: Quelen Van Caneghan, Julgado em: 30/08/2022.

o potencial econômico do réu, a gravidade do fato, o caráter punitivo-pedagógico da reparação e os parâmetros adotados pela corte em casos semelhantes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os julgados apresentados ao longo deste capítulo representam uma amostra das hipóteses em que a responsabilidade do poder público por inundação é possível no entendimento do Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul.

Em fevereiro de 2023 é possível dizer que:

- i) a responsabilidade civil do poder público, nos casos de omissão, genérica ou específica, em hipótese de alagamentos e inundações, é objetiva;
- ii) em que pese se admita a ocorrência de expressiva precipitação pluviométrica na ocasião, não se pode enquadrar tais situações nas noções de caso fortuito ou de força maior, uma vez que os problemas de transbordamento e insuficiência de drenagem são corriqueiros, previsíveis;
- iii) quando for o caso, o dano moral tem sido considerado *in re ipsa*, mas sua quantificação deve ter por base a proporcionalidade, tanto na perspectiva da proibição do excesso, como da proibição da insuficiência.

iv) princípio da reserva do possível, que constitui aplicação do princípio da razoabilidade; o desincentivo a comportamentos de risco e os limites do erário; critérios financeiros, orçamentários, de custo-benefício e ponderação de impacto em outras políticas públicas, desincentivo a comportamentos de risco, principalmente, do risco moral são indicadores pautados durante o período de análise e seguem sendo considerados em alguns julgados. Considerando a expectativa científica de novos eventos extremos para o Rio Grande do Sul, acredita-se que esses indicadores poderão ganhar novos contornos com o passar dos próximos anos, com impacto em diversas áreas do direito.

Os indicadores de responsabilidade por danos materiais e morais apresentados ilustram a atuação do poder judiciário, um dos atores do processo de fortalecimento da governança, prevista como prioridade 2 do Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030. Política pública serve para atender grandes demandas sociais. Quando a política existe, mas não é observada, tampouco implementada, abre-se a possibilidade de questionamento perante o poder judiciário.

Apesar de os julgados analisados dizerem respeito a respostas desse poder no que tange a perdas e danos individuais, às condenações servem tanto como um alerta, quanto

orientação de conduta àqueles que estão na gestão da máquina pública, no que tange às tomadas de decisões em matéria de gerenciamento de risco e de desastre.

O direito que tutela a gestão do risco e de desastres é destinado a proteger as pessoas e seus bens, saúde, meios de vida e bens de produção, bem como seu patrimônio cultural e ambiental, além de promover e proteger todos os direitos humanos, incluindo o direito ao desenvolvimento sustentável. A má gestão e governança de uma política compromete as demais.

À sociedade, por expressa definição legal, e em num exercício de participação democrática pela cobrança da implementação das políticas públicas locais, cabe unir-se ao poder executivo com o objetivo de encontrar alternativas voltadas à redução de riscos e de desastre. É tempo de fazer a pergunta: quem é o poder público, afinal?

REFERÊNCIAS

- BANCO MUNDIAL. **Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil (2014-2019)**. 2. ed. Florianópolis: FAPEU, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-se-dec/danos_e-prejuizos-versao_em_revisao.pdf. Acesso em: 15 fev. 2023.
- BRASIL. **Decreto nº 10.593, de 24 de dezembro de 2020**. Dispõe sobre a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil e sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Informações sobre Desastres. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10593.htm. Acesso em: 15 fev. 2023.
- BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico de Capacidades e Necessidade Municipais em Proteção e Defesa Civil**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/diagnostico-de-capacidades-e-necessidade-municipais-em-protecao-e-defesa-civil>. Acesso em 10 fev. 2023.
- CAHALY, Y. S. **Responsabilidade civil do estado**. São Paulo: Malheiros, 2014.
- CAPRA, F. Alfabetização ecológica: o desafio para a educação do século 21. **Meio ambiente no século**, [s. l.], v. 21, n. 21, p. 18-33, 2003.
- CARVALHO, D. W.; DAMACENA, F. D. L. **Direito dos Desastres**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2013.
- CAVALIERI FILHO, S. **Programa de Responsabilidade Civil**. São Paulo: Atlas, 2020.

CHEN, J. Modern Disaster Theory: Evaluating Disaster Law as a Portfolio or Legal Rules. **Emory International Law Review**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 1.122-1.143, 2011. Disponível em: <https://scholarlycommons.law.emory.edu/eilr/vol25/iss3/4/>. Acesso em: 26 set. 2024.

CHMUTINA, K.; VON MEDING, J. A Dilemma of Language: “Natural Disasters” in Academic Literature. **Int. J. Disaster Risk Sci.**, [s. l.], v. 10, p. 283-292, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00232-2>. Acesso em: 26 set. 2024.

CUTTER, S. L. **Hazards vulnerability and environmental justice**. New York: Routledge, 2012.

DAMACENA, F. D. L. **Direito dos desastres e compensação climática o Brasil**: limites e possibilidades. Rio de Janeiro: Lumen Iuris, 2018.

DAMACENA, F. D. L. *et al.* **Temas emergentes em jurisprudência, ética e justiça ambiental no século XXI**. São Paulo: instituto o direito por um planeta verde, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320566742_A_INJUSTICA_POR_TRAS_DO_DESASTRE_E_O_PAPEL_DO_DIREITO_NA_REDUCAO_DA_VULNERABILIDADE. Acesso em: 15 fev. 2023.

DE GIORGI, R. **The risk of risk society and limits of law**. [S. l.]: Sociologia del diritto, 2009.

LUHMANN, N. **Sociologia del riesgo**. México: Universidade Iberoamericana; Universidad de Guadalajara, 1992.

DI PIETRO, M. S. Z. **Direito Administrativo**. São Paulo: Atlas, 2009.

DOMBROWSKY, W. R. Again and Again: Is a Disaster What We Call a 'Disaster'? **International Journal of Mass Emergencies and Disasters**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 241-254, 1995. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/028072709501300303>. Acesso em: 26 set. 2024.

QUARANTELLI, E. L. (ed.). **What is a disaster?** a dozen perspectives on the question. Nova York: Routledge, 2005.

DYNES, R. R. The Dialogue Between Voltaire and Rousseau on the Lisbon Earthquake: The Emergence of a Social Scientific View. **Environmental Law Journal of Mass emergencies & Disasters**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 97-115, 2000. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/028072700001800106>. Acesso em: 26 set. 2024.

FARBER, D. Disaster law and emerging issues in Brazil. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 2-15, 2012. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5007566.pdf>. Acesso em: 26 set. 2024.

FARBER, D. *et al.* **Disaster Law and Policy**. New York: Aspen publishers, 2010.

FARBER, D. A. Catastrophic Risk, Climate Change, and Disaster Law. **Asia Pacific Journal of Environmental Law**, [s. l.], v. 16, p. 37-54, 2013. Disponível em: <https://lawcat.berkeley.edu/record/1125796?v=pdf>. Acesso em: 26 set. 2024.

FARBER, D. A.; CHEN, J. **Disasters and the law: Katrina and beyond**. [S. l.]: Aspen Publishers, 2006.

FLINT, C. G.; LULOFF, A. E. Natural resource-based communities, risk, and disaster: An intersection of theories. **Society and Natural Resources**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 399-412, 2005. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08941920590924747>. Acesso em: 26 set. 2024.

FREITAS, J. **Sustentabilidade: direito ao futuro**. Belo Horizonte: Fórum, 2012.

GIDDENS, Anthony. Risk and responsibility. **The modern law review**, [s. l.], v. 62, n. 1, p. 1-10, 1999. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1097071>. Acesso em: 26 set. 2024.

GILBERT, C. Studying disaster: a review of the main conceptual tools. **International Journal of Mass Emergencies and Disasters**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 231-240, 1995.

KREPS, G. A. Disaster as systemic event and social catalyst. In: QUARANTELLI, E.L. (ed.). **What is a Disaster?** London: Routledge, 1998. p. 31-55.

LYSTER, R. **Climate justice and disaster law**. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.

GOMES, C. A. **Direito das catástrofes naturais**. Coimbra: Almedina, 2012.

MELLO, C. A. B. **Curso de direito administrativo**. São Paulo: Malheiros, 2008.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: sulina, 2007.

PIMENTA DE FARIA, C. A. **Implementação de Políticas Públicas: teoria e Prática**. Minas Gerais: PUCMINAS, 2012.

PORFIRIEV, B. N. Disaster and disaster areas: methodological issues of definition and delineation. **International Journal of Mass Emergencies and Disasters**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 285-304, 1995.

POSNER, R. A. **Catastrophe**: risk and response. Great Clarendon: oxford university press, 2004.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70075211607**. Décima Câmara Cível. Relator: Jorge Alberto Schreiner Pestana. Julgado em: 14 dez. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70074652272**. Quinta Câmara Cível. Relator: Jorge André Pereira Gailhard. Julgado em: 27 set. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70068476753**. Sexta Câmara Cível. Relator: Luís Augusto Coelho Braga. Julgado em: 30 mar. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70072591779**. Sexta Câmara Cível. Relator: Luís Augusto Coelho Braga. Julgado em: 29 jun. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível, Nº 70082800384**. Quinta Câmara Cível, Tribunal de Justiça do RS, Relator: Jorge André Pereira Gailhard, Julgado em: 27 maio 2020.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70075259168**. Quinta Câmara Cível. Relator: Jorge André Pereira Gailhard. Julgado em: 28 mar. 2018.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70074652272**. Julgado em: 27 set. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70069991248**. Julgado em: 31 maio 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70071772768**. Nona Câmara Cível. Relator: Eugênio Facchini Neto. Julgado em: 29 mar. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70071772768**. Nona Câmara Cível. Relator: Eugênio Facchini Neto. Julgado em: 29 mar. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70067655373**. Nona Câmara Cível. Relator: Túlio de Oliveira Martins. Julgado em: 26 jul. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70076076538**. Nona Câmara Cível. Relator: Carlos Eduardo Richinitti. Julgado em: 21 mar. 2018.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70074652272**. Quinta Câmara Cível. Relator: Jorge André Pereira Gailhard. Julgado em: 27 set. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70068476753**. Sexta Câmara Cível. Relator: Luís Augusto Coelho Braga. Julgado em: 30 mar. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70072591779**. Sexta Câmara Cível. Relator: Luís Augusto Coelho Braga. Julgado em: 29 jun. 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70082800384**. Quinta Câmara Cível. Relator: Jorge André Pereira Gailhard, Julgado em: 27 maio 2020.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70075259168**. Quinta Câmara Cível. Relator: Jorge André Pereira Gailhard. Julgado em: 28 mar. 2018.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70069991248**. Julgado em: 31 maio 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70073160731**. Quinta Câmara Cível. Relator: Jorge Luiz Lopes do Canto. Julgado em: 28 jun 2017.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Apelação Cível Nº 70076173277**. Nona Câmara Cível. Relator: Eugênio Facchini Neto. Julgado em: 28 fev. 2018.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. Incidente Conhecido e Uniformizado o Entendimento, Por Maioria, Com Edição de Enunciado. **Incidente de Uniformização de Jurisprudência, Nº 71008591331**. Turmas Recursais da Fazenda Pública Reunidas, Turmas Recursais, Relator: Laura de Borba Maciel Fleck, Julgado em: 19/12/19.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71007279235**. Turma Recursal da Fazenda Pública. Relatora: Thais Coutinho de Oliveira. Julgado em: 22/02/18.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71007257546**. Julgado em: 22/02/18. Recurso Cível Nº 71007279284, julgado em: 22/02/18. Recurso Cível Nº 71007106214, julgado em: 10/11/17.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71007112709**. Segunda Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais. Relator: Mauro Caum Gonçalves, julgado em: 28/09/17.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71006476907**. Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais. Relatora: Thais Coutinho de Oliveira. Julgado em: 16/02/17.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível, Nº 71008140394**. Terceira Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais, Relator: Laura de Borba Maciel Fleck, Julgado em: 13/12/22. Recurso Cível, Nº 71010094662, Segunda Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais, Relator: Rute dos Santos Rossato, Julgado em: 30/03/22.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível, Nº 71010482842**. Segunda Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais, Relator: Daniel Henrique Dummer, Julgado em: 30/08/2022. Recurso Cível nº 71010255552, Turmas Recursais. Relator: Quelen Van Caneghan, Julgado em: 30/08/2022.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71007279235**. Turma Recursal da Fazenda Pública. Relatora: Thais Coutinho de Oliveira. Julgado em: 22/02/18.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71007257546**. Julgado em: 22/02/18.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71007279284**. Julgado em: 22/02/18.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71007106214**. Julgado em: 10/11/17. Recurso Cível Nº 71007096258, julgado em 10/11/17.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71007112709**. Segunda Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais. Relator: Mauro Caum Gonçalves, julgado em: 28/09/17.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível Nº 71006476907**. Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais. Relatora: Thais Coutinho de Oliveira. Julgado em: 16/02/17.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível, Nº 71008140394**. Terceira Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais, Relator: Laura de Borba Maciel Fleck, Julgado em: 13/12/22.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul. **Recurso Cível, Nº 71010094662**. Segunda Turma Recursal da Fazenda Pública, Turmas Recursais, Relator: Rute dos Santos Rossato, Julgado em: 30/03/22.

ROCHA, Leonel Severo. Direito, complexidade e risco. **Sequência**: Estudos Jurídicos e Políticos, [s. l.], v. 15, n. 28, p. 1-14, 1994. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/49618210_Direito_complexidade_e_risco. Acesso em: 26 set. 2024.

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL. **Recurso Extraordinário 841.526 Rio Grande do Sul**. Relator: Felix Fux. Repercussão Geral. Mérito. Brasília, DF, 30 mar. 2016.

UNDRR. Disaster losses and statistics. **Prevention web**, [2023]. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/understanding-disaster-risk/disaster-losses-and-statistics#Disasterlossdatasources>. Acesso em: 14 fev. 2023.

VISCUSI, W. K.; ZECKHAUSER, R. J. **Addressing Catastrophic Risks: Disparate Anatomies Require Tailored Therapies.** [S. l.]: University of Pennsylvania Press, 2012.

SEÇÃO 6 - INDICADORES DE RESILIÊNCIA AOS DESASTRES



18

ÍNDICE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA A DESASTRES: aplicação em duas tipologias urbanas brasileiras

Wanda Maria Risso Günther

Mariana Gutierrez Arteiro da Paz

Júlia Alvez Menezes

Diego Bogado Tomasiello

Gustavo Felipe Balué Arcoverde

Maria Eugênia Gimenez Boscov

INTRODUÇÃO

Os desastres estão cada vez mais atrelados às mudanças climáticas pela convergência entre forças naturais e vulnerabilidades sociais que, a partir da ocorrência de eventos como deslizamentos, secas e enchentes, superam a capacidade humana de

resistir (Marengo et al., 2020). Por isso, as estratégias de gestão do risco de desastre com foco na prevenção e minimização dos efeitos adversos são construídas de modo a identificar e desenvolver as capacidades comunitárias, as quais formam arcabouço para a resiliência comunitária (UNISDR, 2017; Ciccotti *et al.*, 2020).

O conceito de resiliência é diverso, mas apresenta como cerne a capacidade de um sistema de resistir e se recuperar de um perigo de forma oportuna e eficiente (UNISDR, 2017), sendo mais recentemente tratado sob a perspectiva de também ser capaz de aprender e se transformar a partir de um evento danoso (IPCC, 2022). Dessa forma, o conceito de resiliência apresenta um aspecto dinâmico e envolve as dimensões social, econômica e ambiental, de modo que a resiliência comunitária ganha um atributo a mais: além de buscar restaurar as condições originais antes do desastre, busca também evoluir por meio do aprendizado e transformação.

Considerando que a resiliência comunitária tem se consolidado como elemento essencial na gestão de desastres, a avaliação do grau de resiliência de uma comunidade, assim como o fornecimento de métricas para que os gestores tenham condições de definir prioridades na tomada de decisão em sua competência de gestão, são importantes para a gestão de desastres (Ciccotti *et al.*, 2020; Cutter, 2010), tanto preventivamente

como em sua adaptação. Embora a importância da resiliência comunitária aos desastres seja reconhecida, ainda não há metodologia globalmente definida para sua mensuração (Ciccotti *et al.*, 2020).

O objetivo deste trabalho é dar prosseguimento à construção colaborativa de um índice de resiliência comunitária, em continuidade ao trabalho de Ciccotti *et al.* (2020), o qual levantou, de forma sistemática e participativa, um conjunto de 101 indicadores para seis dimensões (social, econômica, ambiental, institucional, capital social e infraestrutura). A aplicação dos resultados deste trabalho é realizada em dois contextos metropolitanos brasileiros, com perfis socioambientais, condições climáticas e tipos de eventos extremos diferenciados, possibilitando discussão comparativa tanto da aplicação do índice em si, quanto da resiliência comunitária a desastres. Foram selecionadas a Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento do Polo Petrolina e Juazeiro (RIDE), no Semiárido, e a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), na região Sudeste do país. O capítulo está organizado da seguinte forma: contextualização teórica da evolução do termo resiliência, desenvolvimento da compreensão do termo resiliência comunitária, metodologia empregada para a construção do Índice de Resiliência Comunitária: materiais e métodos; e a apresentação do Índice de Resiliência

Comunitária, geral e temático, aplicado a ambos os contextos brasileiros estudados.

RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DOS DESASTRES

Publicações do Assessment Report 6 (AR6) do *International Panel of Climate Change* (IPCC) entre 2021 e 2022 apresentam dados atuais sobre a intensificação das mudanças climáticas e projeções alarmantes, como a antecipação do aumento da temperatura global previamente projetada (IPCC, 2021); e a crescente “injustiça climática”, ou seja, as camadas mais vulneráveis da população sofrem impactos mais severos e mais frequentes (IPCC, 2022). Houve também maior relação entre o aumento da ocorrência dos eventos climáticos extremos - como secas, tempestades e chuvas intensas - e as mudanças climáticas (IPCC, 2021).

No Brasil, destacam-se observações e projeções de perturbações climáticas em todo o país, com destaque ao aumento de extremos de seca nas regiões Nordeste e Norte e aumento de extremos de precipitação mais concordante nas regiões Sul e Sudeste (MCTI, 2020). No semiárido brasileiro, a seca é um fenômeno crônico, coincidindo com indicadores sociais desfavoráveis. Em contraposição, a região Sudeste apresenta

os melhores patamares de desenvolvimento humano do país, sendo os eventos hidrológicos os mais comuns.

Publicações e sistemas de alerta de desastres no Brasil destacam os desastres associados a processos naturais como os de maior alerta e ocorrência (Cunha; Marengo; Alvalá *et al.*, 2018; UFSC, 2012). Nos anos de 1991 e 2010 as principais ocorrências de desastres no país foram as secas e estiagem, sendo grande parte na região Nordeste (UFSC, 2012). A região brasileira que apresentou maior número de eventos e de óbitos por desastres foi o Sudeste, especialmente por ocorrência de inundações bruscas (UFSC, 2012). Não obstante, os determinantes climáticos, as características socioeconômicas locais e a organização social podem ser importantes fatores para lidar com os eventos extremos, diminuindo o nível de impacto ou desastre climático.

Embora não exista uma forma universal de caracterizar as inter-relações entre os sistemas naturais e humanos, a resiliência, a capacidade adaptativa, a adaptação e a vulnerabilidade ganharam força nas últimas décadas como termos complementares que auxiliam a compreender essa relação (Smit *et al.*, 2006). A resiliência pode ser considerada uma propriedade mais ampla do sistema ao traduzir o quanto ele é capaz de manter sua estrutura e organização básicas após um choque. A capacidade adaptativa é mais focada

nas habilidades, estratégias sociais e técnicas de indivíduos e grupos que são direcionadas para responder às mudanças socioambientais, contribuindo para a resiliência. As forças que influenciam a capacidade de adaptação do sistema são os condutores ou determinantes da capacidade adaptativa, os quais podem ser locais (exemplo laços familiares) ou refletirem condições socioeconômicas e políticas mais gerais (exemplo seguridade social) (Smit *et al.*, 2006). Vulnerabilidade compreende a fragilidade de indivíduos, famílias, comunidades e países em lidar com choques, riscos e outras contingências, o que pode ser pensado como o oposto da capacidade adaptativa, em um continuum misto de adaptação e vulnerabilidade.

Considerando o exposto, estratégias de gestão de desastres construídas considerando as capacidades comunitárias, o que pressupõe sua identificação e desenvolvimento, têm maior chance de sucesso, por promoverem a organização e a participação da comunidade no gerenciamento dos eventos, resultando em redução de danos e maior sustentabilidade. Esta é a base do conceito de resiliência comunitária, que trata da capacidade de um sistema comunitário exposto a algum risco de lidar com os efeitos de um perigo, desde resistir e acomodar-se aos efeitos até sua recuperação, de modo que suas estruturas e funções básicas sejam preservadas ou restauradas.

Atualmente o conceito pode se estender a melhorias decorrentes de aprendizado com eventos anteriores.

De acordo com Warner (2018), na medida em que ocorre um evento extremo em local onde existe vulnerabilidade social, tem-se uma alta chance de desencadear um desastre. Essa citação está alinhada ao conceito de desastre apresentado no Documento da Estratégia Internacional para a Redução dos Riscos de Desastres (EIRD) da ONU (UNISDR) como uma séria interrupção no funcionamento de uma comunidade com impactos que excedem sua capacidade de enfrentamento, sendo resultado da combinação de exposição ao perigo, condições de vulnerabilidade e incapacidade de lidar com as consequências negativas.

Os impactos dos desastres podem incluir perdas de vidas e efeitos negativos no bem-estar físico, mental e social humano, assim como danos à propriedade, destruição de ativos, perda de serviços, perturbação social e econômica e degradação ambiental. Logo, “desastres resultam em impactos socioambientais e econômicos negativos, constituindo importante problema de saúde ambiental” (Ciccotti *et al.*, 2020). As estratégias de gestão com foco na prevenção e na minimização dos efeitos adversos são construídas de modo a identificar e desenvolver as capacidades comunitárias (UNISDR, 2009;

Warner, 2018; Ciccotti *et al.*, 2020), o que pressupõem conhecer essas capacidades, ou seja, a resiliência comunitária.

A resiliência comunitária é frequentemente compreendida como uma capacidade do sistema social se organizar e trabalhar em conjunto em direção a um objetivo comum (Berkes; Ross, 2013, p. 6). Norris *et al.* (2008) apresentam essa capacidade como um processo, que conecta outros dois componentes: as capacidades adaptativas, compreendidas por ele como recursos com atributos dinâmicos; e a adaptação após a adversidade. Portanto, essas capacidades da comunidade de “resistir, acomodar-se e recuperar-se” levam em conta as medidas antes e durante os momentos de necessidade, em relação aos eventos de risco potencial (UNISDR, 2009).

A capacidade de adaptação e a adaptação após a perturbação ou adversidade na realidade resultam de um conjunto de diversas capacidades, que para Norris *et al.* (2008) são o desenvolvimento econômico, capital social, informação e comunicação, e competência comunitária que, juntas, oferecem estratégias para lidar com os desastres. Neste conceito, mais do que um elemento para conhecer a realidade, a capacidade de adaptação é resultado de um conjunto de elementos e propostas para o fortalecimento da comunidade e uma estratégia para promover resposta pronta e eficaz em situação de desastre associado a um processo natural ou tecnológico

(Norris *et al.*, 2008). Nesse sentido, o Índice aqui apresentado tem o objetivo de não apenas subsidiar um diagnóstico para gestores públicos, mas também direcioná-los a estratégias e ações, especialmente em áreas suscetíveis a desastres. A seguir, serão apresentadas as etapas metodológicas da elaboração do Índice de Resiliência Comunitária.

INDICADORES DE VULNERABILIDADE E RESILIÊNCIA

Compreender como as comunidades diferem em relação aos danos que ameaças podem potencialmente afligi-las, bem como os recursos e estratégias disponíveis para se recuperarem, é fundamental para ajudar no planejamento e recuperação de desastres (Bergstrand *et al.*, 2015). A vulnerabilidade social e a resiliência da comunidade contribuem para esse tipo de avaliação, pois embora sejam vistas como conceitos separados, estão muitas vezes conectados (Cutter *et al.* 2010). Essa conexão conceitual foi observada na prática em trabalho de Bergstrand *et al.* (2015), no qual a vulnerabilidade e a falta de resiliência ocorreram simultaneamente de forma muito frequente em diversos condados norte-americanos. Entretanto os autores mencionam que algumas exceções, como condados de alta vulnerabilidade social e resiliência da comunidade, reforçam a ideia de que existem distinções

conceituais entre vulnerabilidade e resiliência que ensejam a necessidade de considerar os termos de maneira distinta, ainda que relacionada. De fato, uma revisão sistemática da literatura apontou a falta de clareza sobre risco e resiliência como uma das principais razões pelas quais se dá a confusão de termos como capacidade adaptativa, resiliência e vulnerabilidade, apesar do esforço empenhado para operacionalizar tais conceitos (Mochizuki *et al.*, 2018).

Como indicado por Birkman (2006) para a vulnerabilidade, mas que pode ser transposto para a resiliência, a complexidade do conceito requer redução dos dados potenciais a um conjunto de indicadores e critérios importantes que facilitam sua estimativa. Indicadores são ferramentas essenciais para identificar, medir e operacionalizar esses conceitos. Entretanto, como demonstrado anteriormente, vulnerabilidade e resiliência são conceitos multidimensionais e muitas vezes mal definidos, tornando difícil determinar uma metodologia de medição universal ou reduzi-los a uma única e distinta equação.

Koliou *et al.* (2020), em revisão sistemática da literatura, mostraram como cientistas sociais tentaram situar teórica e conceitualmente a resiliência dentro do contexto mais amplo da pesquisa sobre desastres e riscos naturais, colocando a vulnerabilidade da comunidade e a recuperação de desastres

como conceitos chave da resiliência dos sistemas sociais. Percebe-se a fusão de conceitos relacionados à resiliência como vulnerabilidade, capacidade da comunidade e recuperação com a organização de indicadores por categorias de infraestrutura, social, econômica, institucional e estratégia de recuperação (Jordan; Javernick-Will, 2012). No mesmo sentido, metodologias para medir a resiliência também foram desenvolvidas usando indicadores compostos de capacidades sociais, econômicas, institucionais, de infraestrutura e comunitárias - BRIC (Baseline Resilience Indicators for Communities) (Cutter *et al.*, 2010), assim como, partindo de um conjunto de indicadores de capacidade adaptativa econômica e social, com base em indicadores populacionais acessíveis (Sherrieb *et al.*, 2010). Outros estudos abrangem mais dimensões, tal qual o método aqui apresentado, como o modelo proposto por Cimellaro *et al.* (2016), que incorpora as dimensões de população e demografia, meio ambiente e ecossistemas, serviços governamentais, infraestrutura física, estilo de vida, desenvolvimento econômico e capital sociocultural.

De fato, quantificar resiliência e vulnerabilidade por meio da agregação de métricas teoricamente justificadas tornou-se uma abordagem popular para auxiliar na tomada de decisões (Bakkensen *et al.* 2017). Porém, a relevância do indicador para estimar uma determinada qualidade ou característica

de um sistema decorre da interpretação que se faz sobre o indicador e sua relação com os fenômenos de interesse (Gallopín, 1997). Isso facilita que indicadores utilizados para mensurar vulnerabilidade e resiliência acabem sendo, eles mesmos, intercambiáveis em sua aplicação e dependam, principalmente, do conceito empregado pelo autor. Infraestrutura, por exemplo, é um tema sensível para ambos os conceitos (Koliou *et al.*, 2020).

CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA: MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Para testar o índice de resiliência em áreas com histórico de diferentes desastres climatológicos, foram selecionadas para o estudo duas regiões de interesse: a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e a Região de Desenvolvimento Integrado Petrolina-Juazeiro (RIDE). A RMSP é uma das maiores metrópoles do mundo, com população estimada em 21.367.348 habitantes, densidade de 2.688 habitantes/km² e alto grau de urbanização (98,8%) (SEADE, 2022). Apesar de ser uma das regiões mais ricas do país, com IDH de 0,794 (Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, 2020), a falta de planejamento e de infraestrutura sanitária adequada levam à insuficiência de disponibilidade hídrica de qualidade e

expõem a região tanto a situações de seca como de inundações, alagamentos e movimentos de massa (Marengo *et al.*, 2020). A RIDE, localizada na porção fisiográfica submédica da bacia do rio São Francisco, é formada por oito municípios, sendo quatro do estado da Bahia e os demais do estado de Pernambuco. Com população estimada de 686.410 habitantes, baixa densidade populacional (20,5 hab/km²) e cerca de 70% dessa população vivendo nas cidades (IBGE, 2012), a RIDE é uma grande exportadora de produtos de fruticultura irrigada, responsável por impulsionar a economia do semiárido do Nordeste (Lima; Sousa, 2017). No entanto, está exposta a situações de seca e apresenta nível de desenvolvimento humano médio (0,660) (Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas de construção do índice foram adaptadas de Nardo *et al.* (2008) e seguiram os seguintes passos: i) Framework teórico; ii) Seleção dos indicadores e das variáveis que os alimentam; iii) Tratamento e normalização; iv) Análise multivariada; v) Agregação; e vi) Produção dos índices temáticos e geral. A definição do framework teórico iniciou-se com a delimitação do conceito de resiliência comunitária no contexto de desastres trazido por Cicotti *et al.*

(2020), o qual vem sendo aprimorado de forma incremental. A partir do framework, a seleção de indicadores ocorreu de forma participativa, por meio da técnica Delphi aplicada a especialistas e chegou-se a 101 indicadores de resiliência comunitária a desastres (Ciccotti *et al.*, 2020), considerados importantes para tratar da resiliência comunitária. Para a aplicação dos indicadores que resultaram da pesquisa anterior (101), foram consultadas bases de dados de órgãos do governo como o Censo Demográfico de 2010 (IBGE), além de fundações, institutos e centros de pesquisa, assim como grupos de mapeamento voluntário e ONGs, com o objetivo de alimentar a maior quantidade disponível de indicadores, o que resultou na possibilidade de se trabalhar com 44 desses indicadores.

Na etapa de tratamento e normalização, foram eliminadas informações desnecessárias e compatibilizadas as unidades de representação das informações tabulares e espaciais dos dados por meio do software estatístico R Studio, utilizando o mínimo-máximo. Tratados os dados, foi possível calcular 44 dos 101 indicadores propostos por Ciccotti *et al.* (2020), sendo necessário, algumas vezes, combinar informações de diversas bases de dados. Após calcular os indicadores possíveis e consolidar o banco de dados, os indicadores foram normalizados. A análise multivariada das variáveis foi realizada em três rodadas

de análise de correlação. A interpretação desta análise se deu pelos agrupamentos temáticos, de modo a observar possíveis redundâncias em variáveis com altos valores de correlação (acima de 0,7). Dessa forma, foram descartados 7 indicadores ao final dessas três rodadas, ficando-se com 37 indicadores (Quadro 1). A todos os indicadores foi mantido peso 1.

Quadro 1 - Lista de variáveis e indicadores que compuseram o índice, por dimensão e fontes

Dimensão	Variáveis e indicadores	Fonte (ano)
Social	% da população sem algum tipo de deficiência	IBGE (2010)
	% da população com acesso a internet	IBGE (2010)
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	IBGE (2010)
	% dos domicílios com cobertura do Programa de Saúde da Família	DATASUS (2010)
	Cobertura vacinal de crianças com até 4 anos de idade	DATASUS (2019)
	Existência de Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional	DATASUS (2020)
Econômica	% da população ocupada (18 anos ou mais)	IBGE (2010)
	Índice de Gini Inverso	IBGE (2010)

ÍNDICE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA A DESASTRES:
aplicação em duas tipologias urbanas brasileiras

Dimensão	Variáveis e indicadores	Fonte (ano)
Infraestrutura	Número de serviços públicos de atendimento à saúde por mil habitantes Número de leitos em hospitais públicos por mil habitantes Número de serviços públicos de apoio psicossocial por mil habitantes % de domicílios não situados em aglomerados subnormais % de domicílios ligados à rede pública de abastecimento de água % de domicílios ligados à rede pública de esgoto ou com fossa séptica % de domicílios atendidos por coleta de resíduos sólidos % de domicílios com energia elétrica Existência de disposição final adequada para resíduos sólidos urbanos municipais Número de profissionais de saúde de nível superior ocupados em estabelecimentos públicos de saúde por mil habitantes Número de vias de acesso ao município por 100 km² Existência de sistema de drenagem de água pluviais	DATASUS (2022) DATASUS (2022) DATASUS (2022) IBGE (2010) IBGE (2010) IBGE (2010) IBGE (2010) IBGE (2010) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008) DATASUS (2022) OpenStreet-Map (2022) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008)
Ambiental	% do território com superfície permeável % do território com cobertura florestal % da população que não vive em áreas de risco de desastres geo-hidrológicos % das áreas de preservação permanente sem ocupação	MapBiomass (2021) MapBiomass (2021) CPRM (2018) e IBGE (2010) FBDS (2022)

ÍNDICE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA A DESASTRES:
aplicação em duas tipologias urbanas brasileiras

Dimensão	Variáveis e indicadores	Fonte (ano)
Institucional	Existência de carta geotécnica de aptidão à urbanização Existência de mecanismos de controle e fiscalização do uso do solo para evitar ocupação em áreas suscetíveis aos desastres Existência de Zona Especial de Interesse Social (legislação específica ou parte integrante do Plano Diretor) Existência de Código de Obras (legislação específica ou parte integrante do plano diretor) Adesão ao programa Cidades Resilientes com a criação de estrutura institucional para dar suporte à implementação do programa, envolvendo as diversas pastas Existência de legislação sobre zoneamento ou uso e ocupação do solo Existência de Planos Municipais de Contingência para os principais riscos ambientais do município Existência de Plano Municipal de Redução de Riscos Existência de programa habitacional para realocação de população de baixa renda ocupante de área de risco Existência de Coordenação Municipal de Proteção e Defesa Civil Existência de unidade de corpo de bombeiros	MUNIC (2017) MUNIC (2017) MUNIC (2015) MUNIC (2015) S2iD (2022) MUNIC (2015) MUNIC (2017) MUNIC (2017) MUNIC (2017) MUNIC (2017) MUNIC (2017)
Capital Social	Número de organizações civis por mil habitantes Número de agentes comunitários de saúde por mil habitantes	IPEA (2020) DATASUS (2022)

Fonte: Autoria própria.

Na etapa de agregação, os indicadores foram agrupados nas seis dimensões identificadas no framework teórico (social, econômica, infraestrutura, ambiental, institucional e capital social), para os municípios de ambas as áreas de estudo. Para cada dimensão foi calculado um índice temático. Os diversos índices temáticos foram agregados para compor o índice geral, por meio da somatória das seis dimensões normalizadas e,

posteriormente, foi realizada a normalização desses valores (Eq. 1).

$$G_{\text{geral nor } i} = \frac{G_{\text{geral max}}}{G_{\text{geral min}}} G_{\text{geral } i} - G_{\text{geral min}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: $I_{G_{\text{geral norm } i}}$ é o índice geral de resiliência comunitária normalizada do município i .

$I_{G_{\text{geral } i}}$ é o índice de resiliência geral de resiliência comunitária do município i ;

$I_{G_{\text{geral min}}}$ é o valor mínimo de resiliência comunitária encontrado para o conjunto de municípios da RMSP e RIDE;

$I_{G_{\text{geral max}}}$ é o valor máximo de resiliência comunitária encontrado para o conjunto de municípios da RMSP e RIDE.

Neste momento não foram atribuídos pesos para os indicadores ou para os índices temáticos. Ainda que os indicadores apresentados não sejam iguais em importância, a escolha por um modelo aditivo simples se justifica por : i) o estudo ser ainda exploratório, no qual não há estimativas de impacto na capacidade de resiliência comunitária quanto a danos, perdas ou exposição a riscos para todas as variáveis selecionadas, seja em âmbito nacional seja em âmbito local, que serviriam de base para a atribuição de pesos; e ii) metodologia mais simples facilita a construção do índice geral e a compreensão inicial

dos aspectos que definem a resiliência comunitária das áreas estudadas. O score do índice geral e das dimensões variam na escala de 0 e 1, com as classes: 0 a 0,2 muito baixo; 0,21 a 0,4 baixo; 0,41 a 0,6 médio; 0,61 a 0,8 alto e 0,81 a 1 muito alto. Ao final, com o objetivo de ilustrar e compartilhar os resultados do estudo, foi desenvolvida uma plataforma de visualização com base no software livre R, por meio do pacote Shiny, que permite interação dos usuários com a representação visual e exploração dos índices de resiliência comunitária dos municípios.

ÍNDICE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA GERAL E TEMÁTICOS PARA DOIS CONTEXTOS BRASILEIROS

A distribuição espacial dos valores dos índices geral e por dimensão para a RMSP e para a RIDE é apresentada, respectivamente, nas Figuras 1 e 2. Uma primeira observação interessante trata das diferenças regionais entre o Semiárido e o Sudeste - os municípios da RMSP apresentaram valores maiores para o índice geral de resiliência do que os municípios da RIDE. Entretanto, a distribuição do índice geral mostrou-se bastante dispersa entre os municípios da RMSP, sendo um pouco mais homogêneo para a RIDE. Os municípios de Barueri/SP (1,0) e Juazeiro/BA (0,64) sobressaíram-se

com muito alto e médio desempenho na RMSP e RIDE, respectivamente. No outro espectro destacaram-se Pirapora do Bom Jesus/SP (0,28) e Casa Nova/BA (0,0) com valores *baixo* e *muito baixo*, respectivamente (Figura 3).

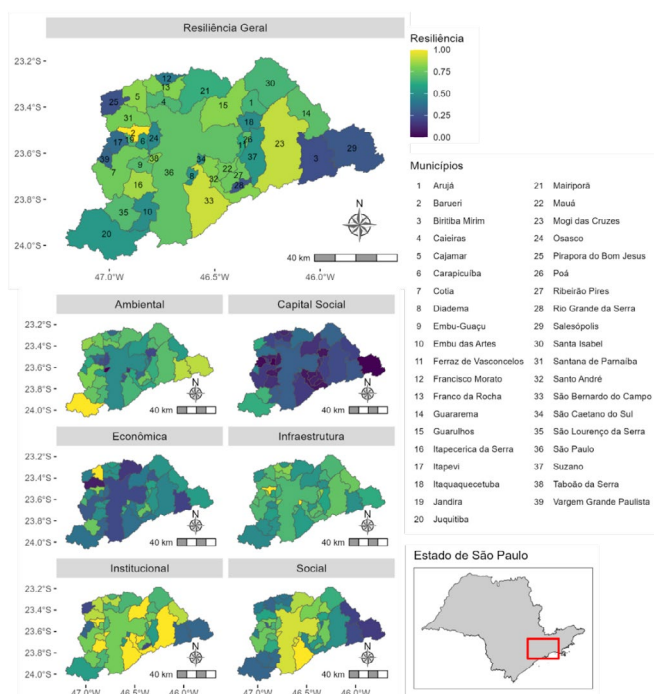
Avaliando cada dimensão que compõe o índice geral, é possível identificar padrão semelhante. De forma desagregada, observa-se, nas dimensões social, econômica, infraestrutura e institucional, tendência dos municípios da RIDE apresentarem valores condizentes com as classes *baixo* e *muito baixo*, enquanto nas dimensões ambiental e capital social a lógica se inverte - a RMSP concentra os valores referentes às classes mais baixas, com os municípios da RIDE exibindo valores na classe *média* em direção às classes *alta* e *muito alta*.

Nas dimensões econômico e infraestrutura chama a atenção os municípios considerados polo que apresentam valores desses índices inferiores àqueles apresentados por municípios de pequeno porte. Cidades com população maior determinam áreas de influência regional que garantem significativa oferta de determinados serviços, concentrando um conjunto de atividades e infraestrutura. Entretanto, Petrolina/PE e Juazeiro/BA, na RIDE, e São Paulo, na RMSP, apresentaram valores na classe *baixa* para a dimensão econômica. Essas diferenças podem ser explicadas pelos indicadores que compuseram cada

ÍNDICE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA A DESASTRES: aplicação em duas tipologias urbanas brasileiras

dimensão e que refletem a configuração socioambiental do Sudeste e do Semiárido.

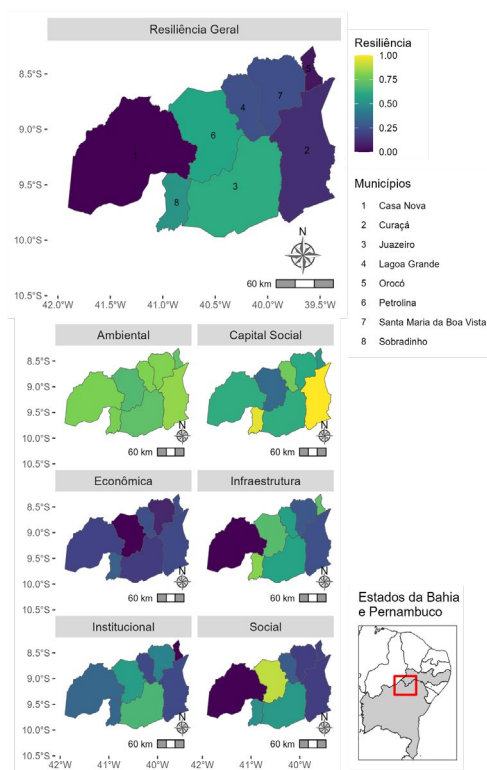
Figura 1 - Índice de Resiliência Comunitária a desastre temático e geral, por município da Região Metropolitana de São Paulo.



Fonte: Autoria própria.

ÍNDICE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA A DESASTRES:
aplicação em duas tipologias urbanas brasileiras

Figura 2 - Índice de Resiliência Comunitária a desastre temático e geral, por município da Região de Desenvolvimento Integrado de Petrolina-Juazeiro.



Fonte: Autoria própria.

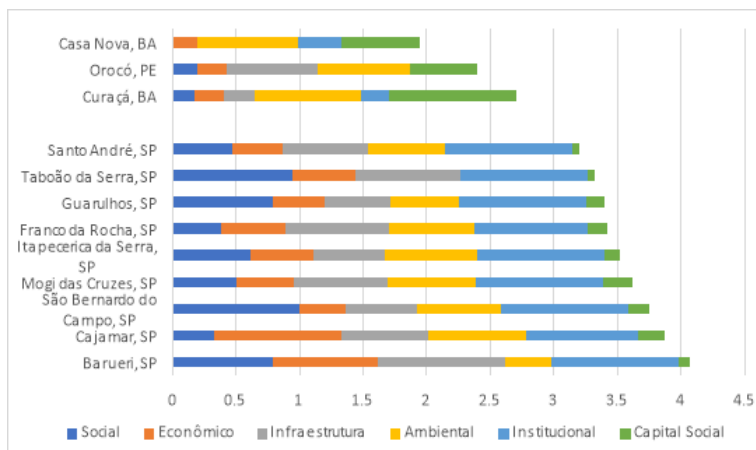
O componente capital social teve relevância maior para os municípios da RIDE, por conta de políticas sanitárias com ênfase em aspectos sociais, tal como a Estratégia Saúde da Família, que resulta em um número maior de agentes de

saúde pela população. O município de Casa Nova/PE, por exemplo, apresentou melhor desempenho para capital social, enquanto que seu desempenho para infraestrutura foi zero. Por outro lado, o município de São Bernardo do Campo/SP apresentou um ótimo desempenho para infraestrutura e baixo para capital social.

Uma breve análise desses dois municípios permite observar que os aspectos que influenciaram negativamente o desempenho de Casa Nova/PE foram: social, infraestrutura, econômico e institucional. Para São Bernardo do Campo, o desempenho positivo foi puxado pelos índices: social, institucional e econômico. Especificamente, São Bernardo do Campo já sofreu muito com o impacto de desastres, especialmente em eventos relacionados com chuvas intensas. Desde os anos 2010, esse município vem realizando ações institucionais ativamente, o que trouxe boa resposta para os impactos desses eventos climáticos, na lógica de prevenção de desastres (Krauss, 2021), porém pautados, ainda, na individualização do risco e em ações institucionais e não comunitárias (Sulaiman, 2018). Por outro lado, o município de Casa Nova/BA, que apresentou o menor índice de resiliência e tem como principal ameaça climática as secas recorrentes, destaca-se, contraditoriamente, por sofrer com inundações relacionadas à Barragem de Sobradinho durante a abertura das comportas (Albano, 2018).

ÍNDICE DE RESILIÊNCIA COMUNITÁRIA A DESASTRES:
aplicação em duas tipologias urbanas brasileiras

Figura 3 - Índices temáticos para os municípios com índice geral *muito ruim* ou *muito bom*



Fonte: Autoria própria.

Se por um lado a RMSP representa a mais complexa e diversificada região do país em termos sociais, econômicos e demográficos, com grande extensão territorial e intensa mobilidade pendular motivada pelo trabalho (IPEA, 2013), por outro, sua rápida expansão urbana desdobra-se em iniquidades espaciais de renda, moradia e serviços públicos urbanos, gerando cenários de deterioração socioambiental associados a mudanças tecnológicas, crescimento populacional e urbanização que culminam em múltiplas exposições (Cumming *et al.*, 2014) e vulnerabilidades. Já na RIDE, há escassez de investimentos em aspectos chave, que se apresentam mais

bem desenvolvidos em outras partes do país, como educação, emprego e renda, saúde, produção rural familiar e acesso à água, que poderiam contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população local (Menezes *et al.*, 2021). Com o paradigma da convivência com o semiárido, a atuação de organizações civis fomentou o desenvolvimento de tecnologias e processos de gestão relativos à produção e à organização social no campo, visando à segurança hídrica e alimentar da população, reativando o capital ecológico e expandindo o capital social por meio de trajetórias de inovação técnica e sócio-organizacional (Petersen; Silveira, 2017).

Considerando o exposto, é compreensível que os municípios da RIDE tenham apresentado valores superiores aos da RMSP na temática capital social, que também levou em conta os agentes de saúde, profissionais selecionados a partir do pertencimento à comunidade. No mesmo sentido, o desempenho superior dos municípios da RIDE em relação aos da RMSP na dimensão ambiental justifica-se pelas condições avaliadas no índice, como superfícies permeáveis, cobertura florestal e população vivendo em áreas de risco de inundação/escorregamento. É sabido que os desastres geo-hidrológicos são questões mais relevantes para o Sudeste do país do que para o Semiárido (UFSC, 2012), além disso, as superfícies impermeáveis da RMSP são maiores devido ao seu alto grau

de urbanização. Logo, incrementar os dados ambientais com indicadores sobre a população exposta aos desastres decorrentes de movimento de massa, inundação e seca pode auxiliar a verificar se o padrão se mantém.

Uma análise pormenorizada também pode ser conferida na Figura 2 para os municípios que apresentaram valor do Índice Geral *muito baixo* (Casa Nova/BA, Orocó/PE e Curaçá/BA) ou *muito alto* (Barueri, São Bernardo do Campo, Mogi das Cruzes), permitindo identificar padrões e diferenças intra e inter-regionais. Entende-se que o perfil de resiliência comunitária a desastre de cada município é definido por seu desempenho nas seis dimensões avaliadas pelo índice geral e que essa primeira análise facilita o diagnóstico dos aspectos que ensejam atenção ou aperfeiçoamento de ações voltadas para a redução do risco de desastres e incremento da resiliência.

Todos os municípios com valor muito baixo no índice geral encontram-se localizados na RIDE, entretanto, observa-se que as dimensões que mais fortalecem a resiliência comunitária são: ambiental para Casa Nova/BA; capital social para Curaçá/BA; e infraestrutura e ambiental para Ocoró/PE. Por outro lado, também se observam valores zerados nesses três municípios para as dimensões: social e infraestrutura (Casa Nova/BA); econômico (Curaçá/BA); e institucional (Orocó/

PE). Cabe lembrar que o valor zero não implica ausência, mas sim o desempenho mais baixo em comparação com os demais municípios avaliados.

No outro extremo há nove municípios da RMSP com valor de índice geral *muito alto* (acima de 0,8) cujos perfis de resiliência são bastante distintos. Mais da metade deles (Barueri, São Bernardo do Campo, Mogi das Cruzes, Itapeverica da Serra, Cajamar, Guarulhos, Taboão da Serra, Santo André e Franco da Rocha) apresentou valor máximo para a dimensão institucional, indicando capacidade instalada de planejamento e preparação para desastres. Por outro lado, dentre esses mesmos municípios, Taboão da Serra apresentou valor *zero* para o tema ambiental, enquanto Barueri obteve valor máximo também para infraestrutura, mas quase zerou na temática capital social (0,09). O município de São Paulo ainda surpreende ao apresentar desempenho *médio* na dimensão infraestrutura, mesmo sendo a maior cidade do país. No entanto, a desigualdade social presente no município de São Paulo advém da complexidade política e institucional e resulta em inequidades em diversas tipologias de infraestrutura, tais como acessibilidade, mobilidade e saneamento básico. Tal fato explica médias gerais diferenciadas entre situações encontradas em distritos ou bairros de áreas centrais - mais bem providas de infraestrutura urbana - e áreas periféricas,

nas quais a informalidade ainda se faz presente, assim como o não acesso a diversos serviços e infraestrutura (Alvez; Paz; Fracalanza; 2021; Slovic *et al.*, 2019).

Como observado em diversos aspectos desta análise, a capacidade de resposta dos municípios estudados, avaliada por meio do Índice de Resiliência Comunitária a Desastres, assim como dos Índices Temáticos, apresentou coerência em relação às peculiaridades regionais ambientais, climáticas, socioeconômicas e político-institucionais. Portanto, esse instrumento tem a capacidade de sintetizar aspectos que podem contribuir para aumentar a resiliência comunitária na escala municipal. Por outro lado, em municípios maiores, como os dois polos da RIDE e da RMSP, observou-se nivelamento de indicadores que mascaram as realidades diversas dentro das cidades, o que indica necessidade de aplicar o índice, também, em escalas maiores, tais como distritos ou bairros, para maior captação da realidade local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de diferenças perceptíveis entre o desempenho do Índice em ambas as regiões estudadas, o que permitiu evidenciar que a RMSP apresenta melhor índice geral e em muitos dos temáticos, verifica-se que a RIDE Juazeiro-Petrolina apresentou maior homogeneidade entre seus municípios e

melhor desempenho para os índices temáticos ambiental e capital social. Por outro lado, as dimensões que se relacionam com aspectos econômicos e/ou que demandam investimentos, como as dimensões: econômica, infraestrutura e institucional, a RMSP apresenta-se com melhores índices. Destaca-se o fato de que nenhuma das regiões apresentou desempenho *muito bom* para a dimensão econômica.

O índice desenvolvido aportou resposta suficiente em relação ao observado nas regiões estudadas, revelando-se promissor. No entanto, algumas etapas metodológicas podem ser realizadas para aprimorá-lo e validá-lo. Para o aprimoramento, recomenda-se que o banco de dados seja atualizado sempre que houver disponibilidade em bancos de dados de referência, tais como o Censo e outras pesquisas do IBGE e a Plataforma AdaptaBrasil MCTI. Além do aprimoramento do banco de dados para a escala municipal, recomenda-se um estudo de caso para aplicação do índice em escala intraurbana, de modo a compreender com mais acurácia a resiliência comunitária em escalas locais. No entanto, pela complexidade do modelo proposto para este índice, seria necessária coleta de dados de forma híbrida, com a busca de dados secundários, quando disponíveis na escala do estudo, complementados com dados primários, levantados junto aos gestores municipais e instituições locais.

A apresentação visual dos indicadores facilitou evidenciar as diferenças regionais. Quanto à capacidade de comunicação, a plataforma de visualização espacial possibilita além da visualização do índice por município, a hierarquização e priorização de áreas com necessidade de desenvolvimento de políticas públicas de redução de danos. Os resultados, portanto, permitem avaliar a situação da resiliência comunitária aos desastres relacionados às mudanças climáticas de metrópoles brasileiras com diferentes condições ambientais, climáticas e socioeconômicas, além de disponibilizar um instrumento metodológico para auxílio no planejamento, avaliação de políticas públicas e tomada de decisão.

Em continuidade ao estudo, aprimoramento sequencial importante é a atribuição de pesos para indicadores, índices temáticos e/ou índice geral, em função de peculiaridades regionais, socioeconômicas e climáticas, para balizar o índice, conferir mais precisão aos indicadores e índice de resiliência comunitária a desastres e retratar com maior fidelidade a realidade de dada região ou localidade. Exemplo da importância dessa atribuição são casos como o de Barueri e Santo André que se destacaram entre os municípios de melhor índice geral. No entanto, Santo André tem histórico de ocorrência e recorrência de desastres geo-hidrológicos, logo, espera-se que este município apresente maior capacidade de lidar com estes

eventos. Por outro lado, o município de São Paulo também se destaca nos mesmos tipos de desastres e não apresenta desempenho *muito alto* para infraestrutura urbana. Os pesos auxiliam a dar mais importância para casos com histórico de certos tipos de desastres. De forma complementar, destaca-se a relevância de realizar uma análise de sensibilidade do índice, pois ao se verificar seu comportamento com ou sem algumas variáveis/indicadores, cujas contribuições são reconhecidas para o sistema, contribuir-se-á para a validação do índice de resiliência comunitária.

REFERÊNCIAS

- ALBANO, M. L. C. Barragem de Sobradinho e a inundação da cidade de Casa Nova/BA: uma (outra) narrativa a respeito do “desenvolvimento” no sertão baiano. *In: ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM CIÊNCIAS SOCIAIS -ANPOCS*, 42., 2018, Caxambu. **Anais [...]**. Caxambu: [s. n] 2018.
- ALVES, E. M; PAZ, M. G.A.; FRACALANZA, A. P. Green gentrification and environmental injustice: a discussion based on the new Pinheiros River Program, São Paulo, Brazil. **Front Sustain Cities**, [s. l.], v. 3, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2021.683660/full>. Acesso em: 27 set. 2024.
- ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. Consulta. **AtlasBR**, [2022?]. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em: 3 jun. 2022.
- BAKKENSEN, L. A. *et al.* Validating resilience and vulnerability indices in the context of natural disasters. **Risk anal.**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 982-1.004, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/risa.12677>. Acesso em: 27 set. 2024.
- BERGSTRAND, K. *et al.* Assessing the relationship between social vulnerability and community resilience to hazards. **Soc Indic Res**, [s. l.], v. 122, n. 2, p. 391-409, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29276330/>. Acesso em: 27 set. 2024.
- BERKES, F., ROSS, H. Community resilience: toward an integrated approach. **Soc Nat Resour**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 5-20, 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08941920.2012.736605>. Acesso em: 27 set. 2024.

- CICCOTTI, L. *et al.* Construção de indicadores de resiliência comunitária aos desastres no Brasil: uma abordagem participativa. **Ambient soc.** São Paulo, v. 23, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/b3mhGHX5bvVH5zCnmncg6nn/>. Acesso em: 27 set. 2024.
- CUMMING, G.S. *et al.* Implications of agricultural transitions and urbanization for ecosystem services. **Nature**, [s. l.], v. 515, p. 50-7, 2014. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature13945>. Acesso em: 27 set. 2024.
- CUNHA, A. P. *et al.* **Secas e seus Impactos no Brasil** 2018. Número 1, Janeiro 2019. CEMADEN, São José dos Campos, SP. 19 p. Disponível em: http://www.cemaden.gov.br/wpcontent/uploads/2019/01/Boletim_Anual_SECAS_CEMADEN_MCTIC.pdf. Acesso em: 25/01/2023.
- CUTTER, S.L.; B., CHRISTOPHER G.B.; EMRICH, C. Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. **J Homel Secur Emerg Manag**, [s. l.], v. 7, n. 1, 2010. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.2202/1547-7355.1732/html>. Acesso em: 27 set. 2024.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Seade População**. [2023]. Disponível em: <https://populacao.seade.gov.br/>. Acesso em: 2 jun. 2022.
- GALLOPIN, G. Indicators and their use: information for decision making, *In*: MOLDAN, B.; BILLHARZ, S. (ed.). **Sustainability Indicators, Report on the Project on Indicators of Sustainable Development**, Wiley, Chichester. 1997. p. xx

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Technical Summary. In: PÖRTNER *et al.* (ed.). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2023. p. 37-118.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Technical Summary **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2021. p. 33-144.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Cidades e comunidades sustentáveis. **IPEA**, [2019]. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html> Acesso em: 19 nov. 2020.

JORDAN, E.; JAVERNICK-WILL, A. Measuring community resilience and recovery: a content analysis of indicators. **Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World**. 2012. p. 2.190-2.199.

KOLIQU, M. *et al.* State of the research in community resilience: progress and challenges. **Sustain Resilient Infrastructure**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 131-151, jan. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31080883/>. Acesso em: 27 set. 2024.

DE LIMA, R. J.; DE SOUSA, E. P. Desenvolvimento rural dos municípios da Região Integrada Petrolina (PE) - Juazeiro (BA). **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**, [s. l.], v. 14, n. 23, p. 1-18, 2017. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/ccsa/article/view/2317>. Acesso em: 27 set. 2024.

MARENGO, J. A. *et al.* Changing trends in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo: causes and impacts. **Front. Clim.**, [s. l.], v. 2, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/climate/articles/10.3389/fclim.2020.00003/full>. Acesso em: 27 set. 2024.

MARENGO, J. A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **An. Acad. Bras. Cienc.**, [s. l.], v. 90, n. 2, p. 1.973-1.985, 2018. Supl. 1. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/i/2018.v90n2suppl1/>. Acesso em: 27 set. 2024.

MENEZES, J. A. *et al.* Analyzing spatial patterns of health vulnerability to drought in the BRAZILIAN semiarid region. **Int J Environ Res Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 12, p. 6.262, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34207877/>. Acesso em: 27 set. 2024.

MOCHIZUKI, J. *et al.* An overdue alignment of risk and resilience? a conceptual contribution to community resilience. **Disasters**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 361-391, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/disa.12239>. Acesso em: 27 set. 2024.

NARDO, M. *et al.* **Handbook on Constructing Composite Indicators- Methodology and User Guide**. Paris: OECD Publications, 2008.

NORRIS, F. H. *et al.* Community resilience as a metaphor, theory, set of capabilities, and strategy for disaster readiness. **Am. Journal of Community Psychol.**, [s. l.], v. 41, n. 1-2, p. 127-150, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10464-007-9156-6>. Acesso em: 27 set. 2024.

PETERSEN, P. F.; SILVEIRA, L. M. Agroecology, public policies and labor-driven intensification: alternative development trajectories in the Brazilian semi-arid region. **Sustain**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 535, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/4/535>. Acesso em: 27 set. 2024.

KRAUSS, T. A. Trabalho de prevenção a desastres de SBC é premiado como a melhor prática do país pelo Ministério do Meio Ambiente 2021. **ABC DO ABC**, mar. 2012. Disponível em: <https://www.abcdoabc.com.br/sao-bernardo/noticia/trabalho-prevencao-desastres-sbc-premiado-como-melhor-pratica-pais-pelo-ministerio-meio-ambiente-2828>. Acesso em: 27 set. 2024.

SHERRIEB, K.; NORRIS, F. H.; GALEA, S. Measuring capacities for community resilience. **Soc Indic Res**, [s. l.], v. 99, n. 2, p. 227-247, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11205-010-9576-9>. Acesso em: 27 set. 2024.

SLOVIC, A. D. *et al.* The long road to achieving equity: job accessibility restrictions and overlapping inequalities in the city of São Paulo. **J Transp Geogr**, [s. l.], v. 78, p. 181-193, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692318308469>. Acesso em: 27 set. 2024.

SULAIMAN, S. N. Educação para prevenção de desastres: a persistência do conhecimento tecnocientífico e da individualização do risco. **Territorium**, [s. l.], v. 25, n. 11, p. 19-30, 2018. Disponível em: https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_25-2_2. Acesso em: 27 set. 2024.

UFSC. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**: volume Brasil; Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012.

UNISDR. UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction**. Geneva: UNISDR, 2009. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>. Acesso em: 25 jan. 2023.

UNITED NATIONS. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**. Genebra: UNISDR, 2015. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 25 jan. 2023.

SULAIMAN, S. N.; JACOBI, P. R. (org.). **Melhor prevenir**: Olhares e saberes para a redução de risco de desastre. São Paulo: IEE-USP, 2018. p. 12-22.

19

UM SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS INSTITUCIONAIS DA RESILIÊNCIA DE CIDADES

*Cynthia Carneiro de Albuquerque
Suassuna*

1. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta um sistema de indicadores e o índice de Resiliência Institucional de Cidades brasileiras (IRCi), que foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os aspectos institucionais da resiliência de cidades brasileiras frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos, notadamente inundações, enxurradas e enchentes.

As áreas urbanas estão expostas aos impactos das mudanças climáticas e aos riscos de desastres e nas próximas décadas, segundo o IPCC (2014), os eventos extremos induzidos pelo clima devem aumentar, expondo os grandes centros urbanos a desastres socioambientais de grande magnitude. A intensificação de fenômenos extremos de chuvas registrados nas últimas duas décadas no Brasil reforça a necessidade de desenvolvimento de instrumentos de gerenciamento de riscos e desastres.

A Estratégia Internacional para Redução de Riscos e Desastres (UNISDR, 2009) recomendou que, em um contexto de crescente alarme devido às mudanças climáticas e um aumento do risco de desastres, os países signatários melhorassem o processo de aprendizagem, as capacidades institucionais básicas, estabelecessem e modificassem as legislações e marcos de suas políticas. O mesmo organismo internacional em 2011 ratificou a necessidade de reforçar a resiliência das comunidades, culminando com a campanha mundial para a redução de desastres, “Cidades Resilientes”, centrada em questões relativas à governança local e aos riscos urbanos.

A utilização do conceito de resiliência é estratégia compatível com os objetivos de redução dos riscos de desastres climáticos, e por essa razão o sistema de indicadores desenvolvido

utilizou como base o conceito de resiliência (resiliência de cidades), com foco nos aspectos institucionais. No entanto, apesar da abundante literatura sobre resiliência, há relativamente poucos estudos sobre a medição real da resiliência a desastres ou sobre o desenvolvimento de estruturas e índices de medição de resiliência (Hang *et al.*, 2018).

A construção de indicadores é tarefa que está em consonância com as recomendações legais e certamente faz parte das ações de adaptações não estruturais que devem ser implementadas pelas cidades. A identificação das vulnerabilidades ou da capacidade de resiliência pode ser feita a partir de indicadores. Esse tipo de instrumento pode apoiar a tomada de decisões e nas definições de prioridades nas ações de adaptação, mitigação, enfrentamento e convivência com os impactos decorrentes das mudanças climáticas.

A Política Nacional de Mudanças Climáticas (Lei nº 12.187/2009) prescreve que os processos e práticas sejam, entre outras coisas, orientados a identificar vulnerabilidades e adotar medidas de adaptação adequadas (art.5º, VI), e apresenta os indicadores de sustentabilidade como um dos seus instrumentos (6, XVI).

É importante ressaltar que os indicadores são instrumentos utilizados para avaliar situações, planejar intervenções e apoiar a tomada de decisões e, considerando as dificuldades

que gestores e planejadores urbanos estão enfrentando para salvaguardar os ambientes humanos, tanto naturais como construídos diante da complexidade e vulnerabilidades das cidades brasileiras, um sistema de indicadores para avaliar os aspectos institucionais da resiliência de cidades se encaixam no contexto das ações de adaptação voltadas para a promoção de informações, podendo ser uma boa ferramenta de auxílio à gestão na implementação de políticas públicas preventivas.

A utilização do sistema de indicadores poderá contribuir para a avaliação da atuação das instituições ligadas à questão dos riscos, para a melhoria dos instrumentos legais e de apoio ao planejamento e para o aumento e previsão recursos financeiros, humanos e tecnológicos aplicados nesta área. Com estas informações os gestores e a população podem buscar mecanismos para melhorar as políticas públicas de redução de desastres e aumentar a resiliência do município, podendo funcionar como um instrumento de gestão como também um instrumento de controle social.

Este artigo está estruturado em quatro seções: a introdução, a metodologia, os resultados e discussões e as considerações finais. A seção dos resultados e discussões teve como título *A construção do sistema de indicadores para avaliação da resiliência institucional de cidades* e foi subdividida em oito tópicos, sendo eles: pressupostos teóricos, pressupostos

empíricos, etapas da construção do sistema de indicadores, definição dos indicadores, definição das variáveis e escalas (operacionalização), construção dos subíndices, construção do índice de resiliência de cidades: aspectos institucionais, e a versão final dos sistema de indicadores.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa se propôs a estudar os aspectos institucionais da resiliência de cidades frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos para identificar os indicadores adequados para aferir o grau de resiliência institucional de cidades brasileiras frente a eventos hidrológicos (enchentes, enxurradas e inundações). O intuito foi identificar as dimensões, os temas, os aspectos, os subaspectos e os indicadores que viabilizem a mensuração da resiliência de cidades, partindo da teoria e da realidade fática.

A questão central que conformou o problema foi: como se avaliam os aspectos institucionais da resiliência de cidades frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos? Essa questão central desdobra-se em outras questões, que também nortearam a pesquisa: Quais são os aspectos institucionais da cidade resiliente, seus atributos e variáveis? Quais os aspectos institucionais que foram apontados como mais relevantes para a resiliência de cidades brasileiras que

foram atingidas por eventos hidrológicos extremos (o caso de Barreiros – PE)? Quais os indicadores adequados para medir os aspectos institucionais da cidade resiliente? É possível construir um índice? Como selecionar os indicadores mais relevantes e validar o sistema de indicadores? Como avaliar os resultados da aplicação dos indicadores, como validar os subíndices e índices?

Assim, o objeto teórico da pesquisa foi a construção teórico-metodológica e operacional de um sistema de indicadores e seu respectivo índice que fosse capaz de mensurar os aspectos institucionais da resiliência de uma cidade frente a eventos hidrológicos extremos. E o objeto empírico foi o desastre ocorrido no município de Barreiros, situado em Pernambuco em junho de 2010.

Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de indicadores para avaliar os aspectos institucionais da resiliência de cidades brasileiras frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos, notadamente inundações/enxurradas e enchentes. Além de desenvolver um índice de Resiliência de Cidades, com foco nos aspectos institucionais (IRCi).

Objetivos Específicos

- Identificar os aspectos institucionais da resiliência de cidades brasileiras frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos;
- Identificar os aspectos institucionais mais relevantes para a resiliência de cidades brasileiras frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos, com base na experiência concreta em uma cidade brasileira que sofreu um desastre (Barreiros-PE);
- Propor uma estrutura teórica, metodológica e operacional de um sistema de indicadores, com foco nos aspectos institucionais da cidade resiliente frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos e submeter o sistema de indicadores à avaliação de especialistas e pessoas em posições chave.

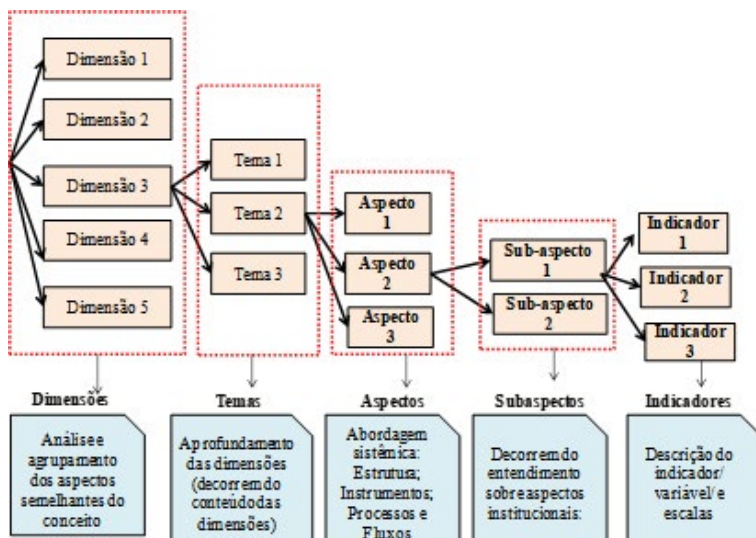
Para a construção do objeto teórico foi realizada uma revisão da literatura nacional e internacional contemplando todos os conceitos envolvidos no objeto de pesquisa, entre eles: resiliência; resiliência urbana; desastres; redução de risco de desastres; adaptação às mudanças climáticas resiliência a desastres; dimensões da resiliência; dimensão institucional; indicadores de resiliência urbana.

Com relação ao objeto empírico foi feita uma pesquisa exploratória contemplando uma experiência concreta, ocorrida

na cidade de Barreiros, em Pernambuco, que, em junho de 2010 foi atingida por um evento hidrológico extremo. Nesta pesquisa, buscou-se identificar os aspectos institucionais mais relevantes para a resiliência desta cidade.

Depois de estruturar o arcabouço teórico e empírico para entender o problema da resiliência das cidades frente a desastres, mergulhou-se em outra etapa que foi a construção do sistema de indicadores para medir os aspectos institucionais da resiliência das cidades. Para a construção desse sistema de indicadores, Cecilia Wong (2006) recomenda que, o primeiro passo seja definir o conceito base, o contexto político e a racionalidade analítica para a utilização dos indicadores para depois construir-se a estrutura analítica do sistema de indicadores em que o conceito-chave seja desagregado e a teia de relações seja construída com a definição das dimensões, dos temas, dos aspectos e dos subaspectos, conforme ilustra a figura 1.

Figura 1 - Representação do processo de construção de indicadores



Fonte: adaptado de Cohen e Franco (1993, *apud* Vasconcelos, 2009 p. 293)

O modelo lógico da pesquisa contemplou quatro etapas: a primeira foi a revisão da literatura nacional e internacional acerca dos conceitos chave envolvidos na questão de pesquisa. A segunda etapa foi a realização de uma pesquisa exploratória em Barreiros – PE, município costeiro, localizado na Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco, onde em junho do ano de 2010 ocorreu um desastre decorrente de um evento hidrológico extremo. As duas primeiras etapas forneceram os pressupostos teóricos e empíricos para a consolidação do conceito base para a construção do sistema de indicadores. Na

terceira etapa foi construída a rede de relações do sistema de indicadores com a definição das dimensões, temas, aspectos e subaspectos.

Na quarta etapa foram definidos os indicadores, que foram submetidos à avaliação por especialistas e pessoas em posições-chaves, que selecionaram os indicadores mais relevantes para os objetivos propostos. Nesta etapa também foram definidas as escalas numéricas dos indicadores, os subíndices e o índice de resiliência de cidades, em seus aspectos institucionais.

3. A CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA INSTITUCIONAL DE CIDADES

A revisão da literatura sobre os aspectos institucionais da resiliência de cidades frente a eventos extremos no contexto das mudanças climáticas levou a um conjunto de pressupostos que foram utilizados, juntamente com os achados da pesquisa exploratória, para construir o arcabouço lógico do sistema de indicadores de resiliência de cidades frente a eventos hidrológicos extremos.

3.1 Pressupostos Teóricos

2. Por que desenvolver um sistema de indicadores?

A discussão sobre a construção de indicadores se encaixam no contexto das ações de adaptação não estruturais voltadas para a promoção de informações, uma vez que são instrumentos que podem auxiliar os gestores municipais nesta tarefa de preparar as cidades para o enfrentamento de situações de perigo e torná-las mais resilientes. A Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) apresenta no art. 6, XVI os indicadores de sustentabilidade como um dos seus instrumentos.

3. Por que usar o conceito de resiliência?

O conceito de resiliência é utilizado em diferentes ciências e se aplica a sistemas adaptativos complexos, tais como os sistemas ecológicos, socioecológicos e sociais. Aparece no contexto do desenvolvimento sustentável como necessidade de as sociedades aumentarem suas capacidades de adaptação em situações nas quais ocorrem rápida evolução para manter o *status quo* frente a desastres (Munn, 1992).

A Política Internacional de Redução de Riscos de Desastres e a Política de Adaptação às Mudanças Climáticas identificam a resiliência como conceito chave para o desenvolvimento de políticas a serem adotadas pelos países signatários. A Estratégia Internacional para Redução dos riscos de desastres em 2007 destacou a necessidade de que fossem formuladas políticas sobre o tema das mudanças climáticas e identificadas

as sinergias entre as recomendações do Marco de Hyogo e da Convenção sobre as Mudanças Climáticas. Recomendou também que os países signatários atentassem sobre a necessidade de que as organizações da sociedade civil e estabelecessem os nexos entre as atividades da redução de risco de desastres e as atividades da adaptação às mudanças climáticas.

4. Por que utilizar o conceito de Cidade Resiliente (UNISRD, 2012) como um conceito ponte na definição das dimensões do sistema de indicadores proposto?

A cidade resiliente (UNISRD, 2012) é definida como aquela:

- 5) Onde a população participa, decide, planeja junto com as autoridades, tendo em conta suas capacidades e recursos;
- 6) Possui um administrador público competente e responsável que garanta uma urbanização sustentável com a participação de todos;
- 7) É onde muitos desastres são evitados em função de que toda sua população vive em residências e bairros providos de infraestrutura adequada (abastecimento de água, saneamento básico, eletricidade, drenagem e estradas em boas condições) e serviços básicos (escolas, coleta de lixo, serviços de emergência). Suas estruturas atendem aos padrões de construção e não geram a

necessidade de ocupação desordenada em áreas de encosta, ou sujeitas a inundação.

- 8) Entende seus riscos e desenvolve um forte trabalho de educação com base nas ameaças e vulnerabilidades a que seus cidadãos estão expostos.
- 9) Toma medidas de prevenção e preparação a desastres com objetivo de proteger seus bens – pessoas, residências, mobiliários, herança cultural e capital econômico – e está preparada para minimizar perdas físicas e sociais decorrentes de eventos climáticos extremos.
- 10) Realiza investimentos necessários em redução de riscos e é capaz de se organizar antes, durante e depois de um desastre.
- 11) Está apta a restabelecer rapidamente seus serviços básicos, bem como retomar sua atividade social, institucional e econômica depois de um desastre.
- 12) Entende que as mudanças climáticas também devem ser consideradas em seu planejamento urbano.

Este conceito *apresenta, de forma descritiva, as condições reais de uma cidade resiliente, fornecendo pistas importantes para a definição do arcabouço lógico do sistema de indicadores, daí a ideia de utilizá-lo como conceito ponte na definição das dimensões do sistema de indicadores. A elevação do*

nível de resiliência tem sido uma abordagem utilizada por vários países quando se tem em mente o desenvolvimento de estratégias de adaptação e enfrentamento frente aos impactos previstos das mudanças climáticas.

O Índice DRIB - Indicadores de Risco de Desastres no Brasil - fornece uma ferramenta para ajudar a avaliar, visualizar e comunicar diferentes níveis de exposição, vulnerabilidade e risco no Brasil. Resultados deste estudo, a partir do Índice DRIB, mostraram que o risco está fortemente imbricado com as condições socioeconômicas e culturais e com a vida cotidiana normal, bem como com a atuação das instituições estatais que lidam com a Redução do Risco de Desastres (RDR), ou seja, a vulnerabilidade (Almeida; Welle; Birkmann, 2016, p. 251).

Aumentar a capacidade institucional de uma cidade frente a eventos extremos diz respeito ao desenvolvimento de processos de prevenção, enfrentamento e recuperação com a participação dos diversos atores sociais, entre eles o poder público, as organizações privadas e os cidadãos em geral que deverão ter acesso a informações, recursos materiais e humanos destinados a proporcionar um ambiente seguro e sustentável para todos.

3.2 Pressupostos Empíricos

Seguindo a estratégia metodológica, foi realizada uma pesquisa exploratória em Barreiros -PE, cidade que foi impactada severamente por um evento extremo ocorrido em junho de 2010 alcançando a extensa rede hidrográfica e atingindo os estados de Pernambuco e de Alagoas.

O município de Barreiros está localizado na Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco, distante 107,7 Km da capital do Estado, tem uma área de 233,372 Km² e altitude de 22m. É um município que faz parte do Setor Sul da zona costeira do Estado de Pernambuco, conforme definição da Lei 14.258 de 23 de dezembro de 2010 que regulamenta a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro, Barreiros (art. 2º § 2º, III).

O município de Barreiros, além de ser costeiro, tem sua sede totalmente inserida na bacia do Rio Una, como se visualiza na Figura 2, encontra-se localizado em uma região da bacia do rio Una denominada Grupo de Bacias GL 4 e GL 5, que tem relevo do tipo planície, com cotas altimétricas inferiores a 100m, correspondente à faixa costeira (CONDEPE – FIDEM, 2006).

A experiência empírica ratificou os achados teóricos sobre os aspectos institucionais da resiliência de uma cidade frente

a eventos hidrológicos extremos e destacar os seguintes pressupostos empíricos:

- O envolvimento da população com o poder público na construção e implantação de políticas públicas de prevenção e enfrentamento de desastres é fator fundamental para o desenvolvimento da resiliência de uma cidade frente a desastres;
- Investimentos financeiros em prevenção e enfrentamento de desastres são fundamentais e devem estar previstos nas leis orçamentárias (PPA, LDO, LOA)⁴⁷ para que possam ser executados pelo poder público municipal;
- A educação e preparação da população para a compreensão das situações de risco bem como a participação popular nas instâncias colegiadas de decisão são fatores fundamentais para desenvolver resiliência de uma cidade;
- A organização da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil é fator fundamental para a resiliência. Essa organização pressupõe a existência de pessoas treinadas para ações preventivas, de resposta e recuperação, além da

47 Siglas: PPA (Plano Plurianual); LDO (Lei de Diretrizes orçamentárias); LOA (Lei Orçamentária Anual)

existência de equipamentos e rotinas definidas para emergências;

- A resiliência de uma cidade também está ligada aos mecanismos de controle do uso e da ocupação do solo, bem como à gestão do meio ambiente, aos mecanismos de acesso à moradia, ao saneamento básico, nele inseridos o abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem e destinação adequada dos resíduos sólidos. Também se verificou a importância da existência de recursos humanos, técnicos e financeiros para a efetivação das ações de fiscalização ambiental, de controle urbano, com vistas a garantir o cumprimento da legislação ambiental e urbanística e o uso adequado do solo urbano, evitando ocupações ilegais e assim reduzindo vulnerabilidades.

Com os pressupostos teóricos e empíricos foi possível tecer a rede de relações e construir o sistema de indicadores.

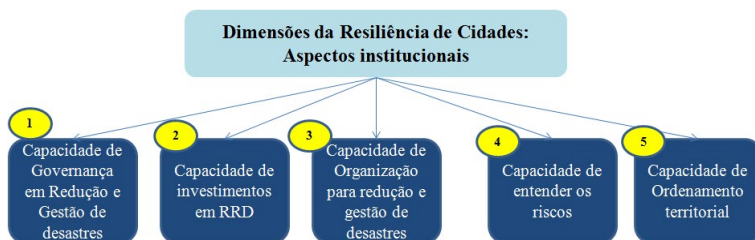
3.3 Etapas da Construção do Sistema de Indicadores

A construção da estrutura analítica do sistema de indicadores foi feita a partir da discussão teórica, dos resultados da pesquisa exploratória, bem como, da literatura técnica da Defesa Civil, da legislação pertinente à matéria além dos

conceitos de apoio: o de cidade resiliente e o de vulnerabilidades institucionais.

As **dimensões** do sistema de indicadores foram criadas a partir da análise e reflexão das características de uma cidade resiliente, que está fortemente relacionada a governança, a capacidade de organização dos espaços ocupados, a capacidade de entendimento acerca dos riscos, a capacidade de investimentos em redução de riscos de desastres e a capacidade de organização para prevenção e enfrentamento de desastres, como ilustra a figura 2.

Figura 2 - Dimensões do sistema de indicadores



Fonte: autoria própria

Os **temas** foram definidos por meio de um aprofundamento das dimensões, sendo assim feito através de um processo de interpretação do significado das dimensões.

Para a definição dos **aspectos**, recorreu-se à teoria dos sistemas, uma vez que um sistema de indicadores não se

explica isoladamente, pois é desenvolvido em uma lógica sistêmica. Capra (2000) concebe o mundo como uma rede de relações que se estabelecem considerando os critérios seguintes fundamentais para um sistema: o padrão, a estrutura e o processo. O padrão, como sendo configuração de relações que determina as características essenciais do sistema; a estrutura, como sendo a incorporação física do padrão de organização do sistema, e o processo, como sendo a dinâmica envolvida na incorporação contínua do padrão de organização do sistema.

A fim de trazer para o plano concreto e identificar padrões, estruturas, processos e fluxos que conformam o sistema urbano e seu arcabouço institucional para o enfrentamento de desastres decorrentes de eventos extremos, a Lei 12.608/12 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil definiu competências para os entes federativos, cabendo aos municípios várias competências, entre elas a execução de tarefas de prevenção, enfrentamento e resposta aos desastres.

Para cada ação de competência do Município, foram identificadas as estruturas, os instrumentos, os processos e os fluxos (de recursos financeiros, humanos e técnicos).

Os subaspectos do sistema de indicadores foram definidos a partir das categorias do conceito de vulnerabilidades institucionais, que estão relacionadas à ineficiência de uma sociedade e suas instituições, em sua capacidade de regular,

fiscalizar, controlar e mitigar riscos, sendo exemplos visíveis deste tipo de vulnerabilidade: a falta de legislação ou o seu não cumprimento, a falta de recursos técnicos ou humanos, ou ainda, o desequilíbrio de forças nos processos decisórios em que os interesses dos grupos sociais dominantes na sociedade, muitas vezes envolvendo os próprios geradores de risco, se sobrepõem aos das populações e trabalhadores expostos, excluídos do acesso às informações e às decisões vitais para um amplo e efetivo gerenciamento dos riscos (Porto, 2007).

As categorias utilizadas no sistema de indicadores foram três: a atuação das instituições e órgãos responsáveis pela prevenção e mitigação dos riscos; os instrumentos legais e de apoio à gestão que são necessários para a prevenção e para a redução dos riscos de desastres; e os recursos financeiros, tecnológicos e humanos aplicados na redução e gestão de riscos de desastres.

3.4 A definição dos indicadores

Para medir os aspectos institucionais da cidade resiliente, a orientação foi encontrar *indicadores que*:

- Medissem a atuação das instituições envolvidas no papel de redução e gerenciamento de riscos de desastres, bem como nas instituições afins;

- Identificassem a existência e a adequação de instrumentos legais e de planejamento e gestão de riscos;
- Avaliassem a adequação dos instrumentos de participação popular;
- Identificassem a existência e a adequação de instrumentos de apoio à previsão de recursos orçamentários voltados para a redução e a gestão de riscos de desastres em áreas afins;
- Avaliassem a abrangência das despesas com projetos específicos em redução e gestão de risco de desastres;
- Medissem a capacidade de articulação interinstitucional com o setor público;
- Medissem a capacidade de articulação interinstitucional com o setor privado/comunidade;
- Medissem a organização municipal para o recebimento de recursos para ações de resposta e reconstrução;
- Identificassem a capacidade de organização para a prevenção de desastres, para as emergências e desastres, para a resposta a desastres;
- Medissem a abrangência da comunicação e das informações sobre desastres;

- Avaliassem a abrangência dos treinamentos/capacitações para as emergências e os desastres;
- Avaliassem a abrangência de programas e as ações de gerenciamento de riscos de deslizamentos;
- Medissem a capacidade institucional em programa de habitações de interesse social e em programas de habitação;
- Avaliassem a abrangência de programas e de ações de gerenciamento de riscos de deslizamentos, das informações cadastrais, das áreas beneficiadas por programa de regularização fundiária.

Os indicadores foram definidos e organizados de acordo com a seguinte lógica: o nome do indicador, a descrição (o que mede), a variável que o determina, a escala e a fonte. O sistema de indicadores da cidade resiliente, em sua primeira versão, contemplava 54 indicadores em cinco dimensões. Esta primeira versão do sistema de indicadores foi submetida à avaliação de especialistas e de pessoas em posições-chave, passando a 52 indicadores na sua versão final. No tópico 3.8 é apresentada a versão final do sistema de indicadores nos quadros 3, 4, 5, 6, e 7.

3.5 A definição das variáveis e das escalas (operacionalização)

Os fenômenos sociais e humanos sempre apresentam atributos que descrevem suas características. De forma simplificada, uma “variável consiste em qualquer atributo de um fenômeno classificável em duas ou mais categorias” (Vasconcelos, 2009, p. 231).

Um conceito operacional pode ser um objeto, processo, agente, fenômeno, problema etc. Para transformar um conceito operacional em variável, é necessário atribuir-lhe valores, porém, esses valores podem ser: quantidades, qualidades, características, magnitudes, traços etc., que se alteram em cada caso particular e são totalmente abrangentes e mutuamente exclusivos (Lakatos; Marconi, 2003).

Todos os indicadores desenvolvidos para o sistema “cidade resiliente” tiveram uma variável associada. Essas variáveis foram definidas como *conceitos operacionais*, pois representavam processos, problemas e objetos. Para cada uma variável foi associada uma escala de valores entre 0 e 4, em que o zero correspondia à inexistência de instrumentos de controle social. Para cada instrumento existente, adiciona-se o valor 1 e ao final soma-se os valores, conforme ilustra o exemplo no Quadro 1. O valor máximo para cada variável é 4.

Quadro 1 - Exemplo de escala de valores de uma variável

Escala	Pontos
Não existe mecanismo de controle social	0
Existência de debates e audiências públicas sobre saneamento	1
Existência de consulta pública sobre saneamento	1
Existência de Conferência nas cidades sobre saneamento e	0
Existência de órgão colegiado	0
TOTAL	2

Fonte: autoria própria

O processo foi o mesmo para todos os indicadores, sendo as variáveis definidas a partir da literatura técnica e das legislações referentes a cada dimensão.

3.6 A construção dos Subíndices

Na construção dos indicadores há um processo de desagregação do conceito- chave para o qual se está buscando definir os indicadores. De forma contrária, para se chegar aos índices o caminho é o inverso, ou seja, é realizado um processo de agregação, seguindo-se a teia lógica das relações.

Nesta construção duas etapas foram fundamentais: a *ponderação* e a *normalização*. A ponderação, em matemática, é a atribuição de um peso utilizado para aumentar (multiplicar) determinadas grandezas, o que faz com que elas adquiram maior ou menor relevância. Portanto, a etapa de ponderação

é o momento em que são definidos os pesos das dimensões do sistema de indicadores.

No caso do sistema de indicadores de Resiliência de cidades: aspectos institucionais, todas as dimensões foram consideradas iguais, isto é, todas tiveram peso 1, e assim a mesma relevância dentro do sistema de indicadores. A justificativa para essa decisão decorreu das seguintes razões:

A primeira justificativa que se apresenta é a de que se trata de um sistema que para medir os aspectos institucionais e esses decorrem de determinações constitucionais, de instrumentos legais que respaldam os indicadores de todas as dimensões. Desta forma, acredita-se que todas devem ter pesos iguais;

O sistema foi definido a partir do conceito complexo de cidade resiliente, em que estão presentes várias características de uma cidade resiliente frente a desastres; entretanto, nenhuma menção é feita sobre a preponderância de uma característica sobre a outra;

Não foi encontrada na literatura nenhuma referência sobre outro sistema de indicadores semelhante, no qual se faça menção à maior relevância de uma dimensão sobre a outra;

Considerando-se a possibilidade de fazer um Delphi com especialistas para identificar se existia alguma dimensão mais relevante que outra, identificou-se outra dificuldade

de ordem técnica: cada dimensão do sistema demandava um perfil diferente de profissional, com formação técnica e experiências profissionais diferentes, o que poderia gerar visões tendenciosas e comprometer o instrumento.

No sistema em tela, todos os indicadores tinham uma escala que variava de 0 a 4. Para que o índice fosse compatível padrão de índices existentes, que variam entre 0 e 1, como exemplo, o IDH, a escala foi normalizada para valores entre 0 e 1, conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Normalização da escala

Escala	Valores normalizados	Observações
0	0,00	Valor mínimo
1	0,25	
2	0,50	
3	0,75	
4	1,00	Valor ideal

Fonte: autoria própria

O processo de **normalização** decorre da necessidade de harmonizar as escalas, e para isso, converte-se a escala existente para os valores desejados.

3.7 A construção do índice de cidade resiliente (ICR/aspectos institucionais)

O Índice de Resiliência institucional de Cidades é uma medida resumida da resiliência institucional de uma cidade frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos. Foi desenvolvido com o objetivo de oferecer uma ferramenta de avaliação e de gestão aos municípios brasileiros no cumprimento de políticas públicas de redução de riscos de desastres. O índice avalia o grau de resiliência da cidade frente a desastres decorrentes de eventos hidrológicos extremos e é calculado pela média aritmética dos subíndices (cinco subíndices), uma vez que foi atribuído peso 1 a todas as dimensões do sistema.

O índice possibilita uma visão sintética das dimensões do sistema, viabilizando a percepção sobre a situação do município nas cinco dimensões.

3.8 A Versão Final do Sistema de Indicadores Cidade Resiliente: aspectos institucionais

Encerrada a etapa das validações, feitas as exclusões e as inclusões, o sistema definitivo apresenta 52 indicadores, distribuídos em cinco dimensões, conforme os Quadros 2, 3, 4, 5, 6.

UM SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS
INSTITUCIONAIS DA RESILIÊNCIA DE CIDADES

Quadro 2 - DIMENSÃO 1 - Capacidade de Governança
em redução e gestão de desastres

DIMENSÃO	TEMA	ASPECTO	SUB-ASPECTO	INDICADOR
GOVERNANÇA EM REDUÇÃO E GESTÃO DE DESASTRES	Capacidade da gestão pública	CAPACIDADE DA ADM PÚBLICA DE GERENCIAR POLÍTICA DE REDUÇÃO E GESTÃO DE DESASTRES	Atuação do Órgão Municipal da Defesa Civil	ATUAÇÃO ADEQUADA da COMDEC (Coordenadoria Municipal de Defesa Civil)
			Atuação dos Órgãos municipais (afins c/ a questão da gestão e redução de riscos)	ATUAÇÃO ADEQUADA do Órgão ambiental
				ATUAÇÃO ADEQUADA do Órgão de controle urbano
		Cobertura dos instrumentos de Proteção das áreas de risco	Cobertura <u>legal</u> das áreas de risco e suscetíveis à inundações e deslizamentos	GRAU DE COBERTURA LEGAL DO PLANO DIRETOR para áreas de risco e suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos
				GRAU DE COBERTURA LEGAL DA LEI DE PARCELAMENTO DO SOLO para proteção de áreas de risco e suscetíveis à inundação e deslizamentos
		Capacidade de Articulação Interinstitucional com setor público	Cobertura de Consórcios PÚBLICO (União/ Estado/ Intermunicipal) em atividades relacionadas com redução de riscos enchentes e deslizamentos	GRAU DE COBERTURA DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS em atividades relacionadas ao MEIO AMBIENTE/ À HABITAÇÃO/ AO SANEAMENTO/ AO DESENVOLVIMENTO URBANO
			Cobertura de Consórcios ADMINISTRATIVO (União/ Estado/ Intermunicipal) em atividades relacionadas com redução de riscos enchentes e deslizamentos	GRAU DE COBERTURA DE CONSÓRCIOS ADMINISTRATIVOS em atividades relacionadas ao MEIO AMBIENTE/ À HABITAÇÃO/ AO SANEAMENTO/ AO DESENVOLVIMENTO URBANO
	Capacidade de participação das instituições não governamentais	Capacidade de Representação social das instituições não governamentais	Capacidade de Representação da Sociedade Civil nos conselhos de (meio ambiente/ saneamento/habitação)	GRAU DE REPRESENTAÇÃO DA SOCIEDADE CIVIL no Conselho de Meio Ambiente
			ORGANIZAÇÃO de NUDEC	GRAU DE REPRESENTAÇÃO DA SOCIEDADE CIVIL no Conselho de DEFESA CIVIL
		Adequação dos instrumentos de participação popular	Atuação Adequada dos Conselhos	GRAU DE ORGANIZAÇÃO de NUDEC
				ATUAÇÃO ADEQUADA do Conselho de Meio Ambiente
				ATUAÇÃO ADEQUADA do Conselho de HABITAÇÃO
				ATUAÇÃO ADEQUADA do Conselho de SANEAMENTO
		Capacidade de articulação Interinstitucional com o setor privado / comunidade	ABRANGÊNCIA DOS MECANISMOS DE CONTROLE SOCIAL para saneamento	ATUAÇÃO ADEQUADA do Conselho de DEFESA CIVIL
			COBERTURA DOS CONVÊNIOS COM SETOR PRIVADO nas áreas de MEIO AMBIENTE/ HABITAÇÃO/ SANEAMENTO / DESENVOLVIMENTO URBANO	GRAU DE ABRANGÊNCIA DOS MECANISMOS DE CONTROLE SOCIAL EM SANEAMENTO
		Capacidade de articulação Interinstitucional com o setor privado / comunidade	ABRANGÊNCIA DO APOIO do setor privado e/ ou da comunidade nas áreas de MEIO AMBIENTE/ HABITAÇÃO/ SANEAMENTO/ DESENVOLVIMENTO URBANO	GRAU DE COBERTURA DOS CONVÊNIOS COM o setor privado
				GRAU DE ABRANGÊNCIA DO APOIO do setor privado e/ ou da comunidade nas áreas de meio ambiente/ habitação/ saneamento/ desenvolvimento urbano

Fonte: autoria própria

UM SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS
INSTITUCIONAIS DA RESILIÊNCIA DE CIDADES

Quadro 3 - DIMENSÃO 2 - Capacidade de Investimentos em RRD

DIMENSÃO	TEMA	ASPECTO	SUB-ASPECTO	INDICADOR
RECURSOS FINANCEIROS para Ações de Redução e Gestão de Desastres	RECURSOS MUNICIPAIS	PREVISÃO DE RECURSOS PARA Redução e Gestão de risco de desastres	ADEQUAÇÃO DA PREVISÃO de recursos para ações de redução e gestão de risco de desastre	GRAU DE ADEQUAÇÃO DA PREVISÃO de PROGRAMAS/PROJETOS em redução e/ou gestão de RISCOS de desastres NO PLANO PLURIANUAL (PPA)
				Grau de adequação das PRIORIDADES/METAS na LDO (Lei de Diretrizes Orçamentárias) voltadas para redução e gestão de riscos de desastres e áreas afins (habitação; saneamento; drenagem)
				Grau de adequação da PREVISÃO ORÇAMENTÁRIA na (LOA) - lei orçamentária anual, voltadas para redução e gestão de riscos de desastres e áreas afins (habitação; saneamento; drenagem)
		Existência de Despesas Municipais com PROJETOS e ações para Redução e Gestão de risco de desastre	ABRANGÊNCIA DAS DESPESAS COM Projetos específicos em Redução e Gestão de Risco de Desastres	GRAU DE ABRANGÊNCIA DAS DESPESAS COM Projetos específicos em GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES
	RECURSOS EXTERNOS	RECURSOS DE FUNDOS MUNICIPAIS	ADEQUAÇÃO DO FUNDO de contingência para recuperação pós- desastres	GRAU DE ORGANIZAÇÃO MUNICIPAL para RECEBIMENTO de recursos para AÇÕES DE RESPOSTA E RECONSTRUÇÃO
		Transferências OBRIGATÓRIAS da União/Estado AÇÕES DE RESPOSTA A DESASTRES	ORGANIZAÇÃO MUNICIPAL para recebimento de recursos para ações de RESPOSTA E RECONSTRUÇÃO	GRAU DE ORGANIZAÇÃO MUNICIPAL para RECEBIMENTO de recursos para AÇÕES DE RESPOSTA E RECONSTRUÇÃO
			CAPACIDADE INSTITUCIONAL PARA HABILITAÇÃO DE Cartão DE PAGAMENTO de Defesa Civil	GRAU DE CAPACIDADE INSTITUCIONAL PARA HABILITAÇÃO EM CARTÃO DE PAGAMENTO DE DEFESA CIVIL

Fonte: autoria própria

UM SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS
INSTITUCIONAIS DA RESILIÊNCIA DE CIDADES

Quadro 4 - DIMENSÃO 3 - Capacidade de organização
para a redução e a gestão de desastres

DIMENSÃO	TEMA	ASPECTO	SUB-ASPECTO	INDICADOR
Capacidade de ORGANIZAÇÃO para REDUÇÃO E GESTÃO DE DESASTRES	Capacidade de Organização em Períodos de normalidade	Capacidade de organização na Prevenção de desastres	Adequação dos Estudos de ameaças e vulnerabilidades	ADEQUAÇÃO DO Plano municipal de redução de riscos
				ADEQUAÇÃO do Plano de Contingência ou Emergência para casos de desastres ambientais
			Cobertura dos Instrumentos de gerenciamento de riscos	GRAU DE ABRANGÊNCIA DOS INSTRUMENTOS de apoio ao gerenciamento de riscos decorrentes de inundações e deslizamentos
			Abrangência dos Cadastros de Recursos Humanos e materiais para acionamento em momentos de crise	GRAU DE ABRANGÊNCIA DE CADASTROS DE RECURSOS MATERIAIS (Veículos/ Comunicações)
		Capacidade de organização para emergências e desastres		GRAU DE ABRANGÊNCIA DE CADASTROS DE RECURSOS HUMANOS
			Capacidade em monitoramento e alarme e alerta	Grau de abrangência do Sistema de alerta e alarme de enchentes ADEQUAÇÃO de sistema de MONITORAMENTO (recebimento organização e comunicação de dados hidrometeorológicos)
	Capacidade de Organização em Períodos de Anormalidade	Capacidade de Resposta a Desastres	Abrangência dos serviços de saúde	GRAU DE ABRANGÊNCIA DE ATENÇÃO BÁSICA À SAÚDE GRAU DE ABRANGÊNCIA DOS SERVIÇOS DE URGÊNCIA MÉDICA
			Capacidade em ações de busca/salvamento	GRAU DE ADEQUAÇÃO DE MAPAS DE VIAS de acesso ao município e aos distritos
			Capacidade de Administrar abrigos	CAPACIDADE DE ORGANIZAÇÃO DE EQUIPE DE BUSCA E SALVAMENTO. CAPACIDADE DE ORGANIZAÇÃO DE ABRIGOS TEMPORÁRIOS
			Capacidade de Organização para Coleta/distribuição/controle de suprimentos	CAPACIDADE DE ORGANIZAÇÃO DE ARMAZENAGEM/DISTRIBUIÇÃO E CONTROLE DE SUPRIMENTOS
			Capacidade de organização para restabelecimento de serviços essenciais	CAPACIDADE DE ORGANIZAÇÃO DE EQUIPE DE RESTABELECIMENTO DE SERVIÇOS ESSENCIAIS

Fonte: autoria própria

UM SISTEMA DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS
INSTITUCIONAIS DA RESILIÊNCIA DE CIDADES

Quadro 5 - DIMENSÃO 4 - Capacidade de Entender os Riscos

DIMENSÃO	TEMA	ASPECTO	SUB-ASPECTO	INDICADOR
Capacidade de Aprendizado	Comunicação e Informações Públicas sobre desastres	Abrangência da comunicação	ABRANGÊNCIA da Comunicação sobre ações preventivas	GRAU DE ABRANGÊNCIA DA COMUNICAÇÃO SOBRE AÇÕES PREVENTIVAS frente a eventos hidrológicos extremos
			ABRANGÊNCIA da Comunicação sobre AÇÕES EMERGENCIAIS	GRAU DE ABRANGÊNCIA da Comunicação sobre AÇÕES EMERGENCIAIS
		ABRANGÊNCIA DAS INFORMAÇÕES Municipais	ABRANGÊNCIA DAS INFORMAÇÕES da PREFEITURA SOBRE REDUÇÃO/GESTÃO risco de DESASTRES para a população	GRAU DE ABRANGÊNCIA DAS INFORMAÇÕES sobre redução e gestão de desastres da Prefeitura para a POPULAÇÃO
	Educação e sensibilização para Redução de risco e gestão de risco	Campanhas Educativas	Abrangência das campanhas educativas	GRAU DE ABRANGÊNCIA das campanhas educativas
		Exercícios de SIMULAÇÃO	Abrangência dos exercícios de simulação	GRAU DE ABRANGÊNCIA de Exercícios de simulação de desastres
	Treinamento/capacitação para emergências e desastres	Treinamento para Emergências e desastres	Abrangência do treinamento para emergência e desastres	GRAU DE ABRANGÊNCIA DO TREINAMENTO em EMERGENCIAS E DESASTRES decorrentes de enchentes e deslizamentos
		Capacitação resposta a desastre	Abrangência da capacitação dos profissionais de saúde (SUS)	GRAU DE ABRANGÊNCIA DA CAPACITAÇÃO DOS PROFISSIONAIS DA SAÚDE (SUS) em resposta à desastre

Fonte: autoria própria

Quadro 6 - DIMENSÃO 5: Capacidade de Ordenamento Territorial

DIMENSÃO	TEMA	ASPECTO	SUB-ASPECTO	INDICADOR
ORDENAÇÃO DOS ESPAÇOS (ocupados)	Capacidade institucional	Capacidade Institucional em Habitações de Interesse social	Institucionalização do Programa municipal do da HIS	GRAU DE INSTITUCIONALIZAÇÃO DO Programa de Habitação de Interesse Social no Município
		Capacidade Institucional em Habitação	Institucionalização Municipal da habitação	GRAU DE INSTITUCIONALIZAÇÃO DA POLÍTICA MUNICIPAL DA HABITAÇÃO
			Cobertura dos instrumentos legais para a aprovação e implantação de loteamentos novos	Grau de Cobertura legal para aprovação e implantação de loteamentos novos
			ABRANGÊNCIA de Programas e ações na área de habitação	GRAU DE ABRANGÊNCIA de Programas e ações na área da habitação
	Capacidade Técnica	Programas de gerenciamento de áreas de risco	ABRANGÊNCIA DE PROGRAMAS E AÇÕES DE GERENCIAMENTO DE RISCOS de deslizamentos	GRAU DE ABRANGÊNCIA de Programas ou ações de gerenciamento de riscos de deslizamentos e recuperação ambiental de caráter preventivo
		Controle das Ocupações irregulares	ABRANGÊNCIA DAS INFORMAÇÕES CADASTRAIS	GRAU DE ABRANGÊNCIA DAS INFORMAÇÕES CADASTRAIS de famílias interessadas em programas habitacionais
			ABRANGÊNCIA De ÁREAS BENEFICIADAS por Programa de regularização fundiáriaRegularização fundiária	GRAU DE ABRANGÊNCIA DE ÁREAS BENEFICIADAS por Programa de regularização fundiária

Fonte: autoria própria

Considerações Finais

A presente artigo objetivou apresentar o processo de desenvolvimento de um sistema de indicadores e seu respectivo índice (IRCi) para avaliação da resiliência institucional de cidades frente aos impactos causados por eventos extremos, notadamente inundações/enxurradas e enchentes.

O sistema de indicadores da resiliência de cidades (aspectos institucionais) foi idealizado para ser de ampla aplicabilidade, pois foi montado a partir das competências municipais atribuídas em legislação federal e por esta razão válidas, em caráter geral, para todos os municípios. Dos 52 indicadores que compõem o sistema, 17 (32,69%) são dados secundários, ou seja, encontram-se disponíveis em bancos de dados como o MUNIC (Perfil dos Municípios Brasileiros), do IBGE, o Cidade@, também do IBGE, além do banco de dados do SUS (Sistema Único de Saúde). Os outros 35 (67,31%) indicadores são dados primários, coletados diretamente nos órgãos municipais envolvidos na gestão de riscos municipal.

No contexto das mudanças climáticas e da redução de desastres, os dados locais são fundamentais, pois a maioria das informações sobre esses assuntos ainda estão no âmbito global. O sistema foi operacionalizado em uma planilha Excel com todas as fórmulas definidas para efetuar automaticamente os cálculos e gerar os subíndices e o índice, possibilitando a elaboração de gráficos dos indicadores, subíndices e do índice.

O conceito utilizado como ponto de partida foi o de cidade resiliente (UNISDR, 2012) que apresenta detalhadamente as características de uma cidade resiliente, fornecendo pistas para encontrar os indicadores mais relevantes para a avaliação dos aspectos institucionais da resiliência urbana. Outro conceito

utilizado foi o de vulnerabilidades institucionais, denominado conceito de apoio, pois, a partir dele, foram identificadas as categorias institucionais da resiliência usadas no sistema.

A partir da decisão metodológica de realizar uma pesquisa exploratória em Barreiros – PE, cidade atingida por um evento extremo em 2010, aumentou-se a percepção e aprimoramento do processo de identificação dos indicadores.

Os indicadores de resiliência institucional e seu respectivo índice vem sendo utilizado em projetos de pesquisa, vinculados ao CNPq e à Universidade Católica de Pernambuco. Os municípios do Setor Núcleo Metropolitano (Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata, Camaragibe e Moreno) e os do Setor Sul (Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Sirinhaém, Rio Formoso e Barreiros) foram estudados com resultados apresentados, conforme quadro 8. Os municípios do setor norte estão sendo objetos de pesquisa (Goiana, Itamaracá, Igarassu, Araçoiaba, Abreu e Lima, Paulista, Itapissuma e Itaquitinga).

Quadro 7 - Índice de Resiliência de cidades (aspectos institucionais)

Municípios	IRCi
Recife	0,74
Olinda	0,34
Jaboatão dos Guararapes	0,76
Camaragibe	0,37
Barreiros	0,64
Ipojuca	0,41
Rio Formoso	0,47
Cabo de Santo Agostinho	0,55

Fonte: autoria própria

A lei federal 12.608/12 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil atribuiu aos municípios várias obrigações, entre elas: a obrigação de incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal; identificar e o mapear as áreas de risco de desastres; fiscalizar as áreas de risco de desastres para vedar novas ocupações irregulares nessas áreas; e informar a população acerca das áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres.

Diante do aumento da frequência e da intensidade dos eventos extremos e seus impactos sobre as cidades, a utilização deste sistema de indicadores e seu respectivo índice (IRCi) poderá apoiar a gestão municipal de cidades brasileiras para o

conhecimento de situações reais e para a tomada de decisões
mais rápidas e seguras.

Referências

- ALMEIDA, L.; 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. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420916300644?casa_token=vXp4x7r10TsAAAAA:ydrPrNci63C-J5206VzNDWIIHgkc7izZ-WO-vEh2eBXEleeDDIm5yMPQXy0OUG-mIPEf-0MIHFTrI. Acesso em: 27 set. 2024.
- BRASIL, **Lei no 12.608 de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 27 set. 2024.
- CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 1996.
- CONDEPE/FIDEM. **Rio Una, GL 4 e GL 5**. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco, Recife, p. 85, 2006.
- LAM, S. N. et al. A synthesis of disaster resilience measurement methods and índices. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v. 31, p. 844-855, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420918304618?via%3Dihub>. Acesso em: 30 set. 2024.

IPCC. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.

Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade.

Lisboa: IPMA, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg2_spmport-1.pdf. Acesso em: dez. 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos da metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MUNN, R. E. Towards Sustainable Development. **Atmospheric**

Environment. [s. l.], v. 26, n. 15, p. 2.725-2.731, 1992. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0960168692900078>.

Acesso em: 30 set. 2024.

PORTO, M. F. S. **Uma ecologia política dos riscos: princípios para integrarmos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2007.

ALMEIDA, L.; WELLE, T; BIRKMANN, J . Disaster risk indicators in Brazil: Aproposal based on the world risk index. **Internacional Journal of Disaster Risk Reduction**, [s. l.], v.17, p. 251-272, 2016.

Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420916300644?casa_token=vXp4x7r10TsAAAAA:ydrPrNci63C-J5206VzNDWIIHgkc7izZ-WO-vEh2eBXE1eeDDIm5yMPQXy0OUG-mIPEf-0MIHFTrI. Acesso em: 27 set. 2024.

BRASIL, **Lei no 12.608 de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, 1979, 8.239, de 5 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccvil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em: 30 set. 2024.

UNISDR. **Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters.** Hyogo: International Strategy for Disaster Reduction, 2005. Disponível em: <https://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for-action-english.pdf>. Acesso em: 30 set. 2024.

UNISDR. Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. **ReliefWeb logo**, 31 dez. 2009. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/2009-unisdr-terminolog%C3%ADa-sobre-reducci%C3%B3n-del-riesgo-de-desastres>. Acesso em: 30 set. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **Como Construir Cidades Mais Resilientes: Um Guia para Gestores Públicos Locais**, Genebra: Nações Unidas, 2012. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/26462_guia gestores publicosweb.pdf. Acesso em: 30 set. 2024.

VASCONCELOS, E. M. **Complexidade e Pesquisa Interdisciplinar: epistemologia e metodologia operativa**. 4. ed. Petropolis: Vozes, 2009.

WONG, C. **Indicators for urban and regional planning: the enterplay of policy and methods**. New York: Routledge, 2006.

20

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

Viviana Maura dos Santos

Ricardo José Matos de Carvalho

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

Carla Almeida Vivacqua

INTRODUÇÃO

Os desastres infligem grandes prejuízos às sociedades em todo o mundo. No entanto, de acordo com relatos públicos feitos por agentes e gestores de órgãos públicos de proteção e defesa civil (OPDCs) do Brasil, em eventos científicos e profissionais,

palestras, cursos, reuniões de trabalho, projetos de pesquisa e, mais recentemente, em grupo de WhatsApp, pudemos constatar que a grande maioria destes órgãos não dispõem de instrumentos, a exemplo de um sistema de indicadores, para avaliar seu potencial de desempenho resiliente.

Para a UNDRR (2017), resiliência é “a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade, exposto a riscos, resistir, absorver, adaptar-se e recuperar-se dos efeitos de um perigo de maneira tempestiva e eficiente, inclusive, por meio da preservação e restauração de suas estruturas e funções básicas essenciais”.

Apesar dos diversos estudos sobre resiliência comunitária (Cutter *et al.*, 2008; Cutter *et al.*, 2010; Dasgupta; Shaw, 2015; Yoon *et al.*, 2015; Horney *et al.*, 2016), há uma carência de estudos que abordam a resiliência das organizações públicas responsáveis pelo gerenciamento de riscos e desastres de uma cidade. Realizar uma gestão que facilite o desempenho resiliente dessas organizações é fundamental, uma vez que quando a comunidade é atingida por catástrofes, as próprias organizações de defesa civil podem ser impactadas de forma negativa e impossibilitadas de fornecer os bens e serviços aos quais se propõem (Sadiq; Graham, 2016).

Lee *et al.* (2013) desenvolveram uma ferramenta para medir e comparar a resiliência de organizações no intuito

de identificar os pontos fortes e fracos de resiliência e ajudar as organizações a compreender quão resilientes são, para que possam desenvolver estratégias de melhoria. Chan *et al.* (2014) desenvolveram um estudo sobre a priorização de indicadores de resiliência a desastres, no intuito de melhorar as estratégias governamentais de prevenção de desastres em uma área urbana. Jacob *et al.* (2012) basearam-se nos conceitos da Engenharia de Resiliência para propor um método de desenvolvimento de indicadores e uma ferramenta para avaliar a resiliência organizacional. Labaka *et al.* (2015) disponibilizaram um quadro sobre as políticas de resiliência que devem ser implementadas por organizações responsáveis por infraestruturas críticas (ICs) com o objetivo de melhorar o nível de resiliência dessas organizações. O *Instituto de Estudios Ambientales (IDEA)* da Colômbia desenvolveu um sistema de indicadores, de escala nacional, que tinha como finalidade “proporcionar aos tomadores de decisão de cada país acesso a informações relevantes que lhes permitam identificar e propor ações efetivas de gestão de riscos, considerando aspectos macroeconômicos, sociais, institucionais e técnicos” (BID, 2015, p. 2).

Esses estudos, entretanto, não retratam de forma específica e efetiva os OPDCs municipais. Dada a importância dos OPDCs municipais na redução de riscos de desastres,

este artigo tem como objetivo apresentar o processo de desenvolvimento do sistema de indicadores de resiliência organizacional (SIREs) dos OPDCs municipais, que pode ser aplicado no sentido de avaliar o desempenho resiliente de cada OPDC, frente aos riscos e desastres e, com isso, identificar suas fragilidades e potencialidades e definir melhorias que permitam fortalecer este desempenho, continuamente. Este sistema baseou-se na conjugação de sistemas de indicadores de resiliência existentes e de novos indicadores construídos a partir das demandas de OPDCs municipais.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema de indicadores de resiliência organizacional foi dividido em três fases e várias etapas, conforme ilustra a Figura 1. É importante ressaltar que as 3 fases do desenvolvimento têm métodos e resultados distintos.

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

Figura 1 – Procedimento metodológico



Fonte: Autoria própria.

Fase I - Construção teórica

Nesta fase, foi realizada uma revisão da literatura, através de três buscas na base de dados eletrônica *Scopus*, com as seguintes palavras-chave, respectivamente: *resilience indicators and disasters* (Busca 1), *resilience measurement and disasters* (Busca 2) e *resilience index and disasters* (Busca 3). O Tabela 1 ilustra os resultados das referidas buscas.

Tabela 1: Delimitação inicial da amostra

Busca	Estudos identificados com palavras-chaves	Artigos resultantes após filtro por tipo de documento (artigo)
Busca 1	170	122
Busca 2	83	54
Busca 3	175	123
Total	428	299

Fonte: Autoria própria.

Por conseguinte, realizou-se a leitura dos títulos e dos resumos dos 299 artigos. “Dimensão”, “categoria” ou “fator” foram termos utilizados pelos respectivos autores para classificar os indicadores de resiliência em seus manuscritos. Definiram-se os seguintes critérios para a seleção dos artigos:

- a) Critério 1 – Selecionar os artigos sobre indicadores para avaliação de resiliência de comunidades inseridas num contexto de desastre;
- b) Critério 2 – Selecionar os artigos sobre indicadores para avaliação de resiliência de organizações inseridas em um contexto de desastre ou de crise.

Foram descartados artigos que não dispunham de indicadores aplicáveis a uma OPDC. Ao término deste processo 11 artigos foram selecionados para leitura detalhada. Em seguida, recorreu-se, também, à pesquisa bibliográfica em

documentos referentes a conferências mundiais das Nações Unidas sobre Redução de Riscos de Desastres (RRD) (UNDRR, 2015; UNISDR, 2005) e à legislação do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) (Brasil, 2012).

Fase II - Validação multiprofissional

Essa validação deu-se por meio da validação de conteúdo proposta por Polit e Beck (2006). Para tanto, construiu-se um questionário com os 47 indicadores resultantes da Fase I, que, em seguida, foi submetido à avaliação de 11 especialistas, formados por gestores e pessoas que ocupavam posições-chaves em OPDCs no Brasil (Quadro 1).

Quadro 1 - Número de validadores por OPDC

Região do País	Número de validadores	Cargo (s) no OPDC
Sudeste	1	Coordenador municipal
Nordeste	2	Gerente geral de engenharia; Gerente geral de atenção social
Nordeste	3	Coordenador municipal; Diretor operacional; Diretor de Minimização de desastres
Nordeste	4	Secretário municipal; Secretária municipal adjunta; Diretora da Defesa Civil; Chefe operacional
Sul	1	Coordenador técnico

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

Região do País	Número de validadores	Cargo (s) no OPDC
Total	11	

Fonte: Autoria própria.

Para as validações atribuíram-se graus de utilização e importância para os indicadores, ou seja, para cada indicador o especialista deveria responder a duas perguntas: 1) "Você utilizaria o indicador x.x?"; 2) "Qual a importância do indicador x.x?". Para isso, foi utilizada uma escala *Likert* de 3 opções de respostas: para utilização (R1-Não utilizaria; R2-Utilizaria parcialmente; R3-Utilizaria totalmente) e para importância (R1-Pouco importante; R2-Importante; R3-Muito importante) (Jacoby; Matell, 1971).

Os participantes desta fase receberam, por e-mail, o questionário de validação e as instruções para respondê-lo. Após o preenchimento, os questionários foram devolvidos e as respostas foram analisadas da seguinte forma: primeiramente, realizou-se uma análise quantitativa e, em seguida, uma análise qualitativa dos dados, no intuito de verificar se essas análises eram complementares ou excludentes.

Fase III – Avaliação da resiliência organizacional em 4 OPDCs municipais

a Fase III correspondeu a estudos de caso, que tiveram como objetivo avaliar, por meio do sistema de indicadores resultante da Fase II, o potencial de desempenho resiliente organizacional de quatro OPDCs de quatro cidades brasileiras. Para manter o anonimato dos órgãos avaliados, estes serão identificados aqui como OPDC1, OPDC2, OPDC3 e OPDC4.

Apenas um dos estudos de caso foi realizado presencialmente, aplicando-se o questionário de avaliação da resiliência organizacional diretamente com o gestor do OPDC4. Para o OPDC1, OPDC2 e OPDC3, os questionários foram enviados por e-mail e respondidos pelos respectivos gestores que aceitaram participar da pesquisa.

A formulação do questionário baseou-se na Ferramenta de Referência de Resiliência (*Resilience Benchmarking Tool*), proposta pelo Programa de Pesquisa de Organizações Resilientes do ano de 2012 (*Resilient Organisations Research Programme*, 2012). Adotou-se uma escala *Likert* de 4 pontos (1-Discordo Totalmente, 2-Discordo Parcialmente, 3-Concordo Parcialmente, 4-Concordo Totalmente) para avaliar o grau de concordância e/ou discordância de cada gestor a respeito das afirmativas apresentadas pelas métricas

de cada indicador-métrica do Quadro 4, ou seja, os gestores dos respectivos OPDCs deveriam informar se os referidos órgãos não atendiam ao indicador-métrica (por meio da opção de resposta 1-Discordo Totalmente); se não atendiam naquele momento, mas o órgão já estava implementando medidas para atender ao indicador-métrica (por meio da opção de resposta 2-Discordo Parcialmente); se atendiam de forma parcial (por meio da opção 3-Concordo Parcialmente); ou se atendiam totalmente ao indicador-métrica (por meio da opção 4-Concordo Totalmente). Essas respostas deveriam ser dadas pelos gestores com base no que realmente acontecia em sua organização, com relação às fases do ciclo de gestão em proteção e defesa civil.

O questionário proposto neste estudo é autoavaliativo, uma vez que o resultado da avaliação reflete a percepção dos gestores sobre sua própria organização. Sendo assim, é importante que as respostas dadas pelos gestores sejam fidedignas ao que realmente ocorre no OPDC em que atuam, para que o diagnóstico sobre a resiliência da organização possibilite a autoaprendizagem referente ao potencial de desempenho resiliente do seu próprio OPDC. A autoaprendizagem permite que a organização identifique suas fragilidades e potencialidades de resiliência e, assim, promova melhorias nos planejamentos, nos programas e nas ações, em todas as

fases do ciclo de gestão em proteção e defesa civil, tendo em vista a melhoria contínua da resiliência organizacional no enfrentamento de riscos e desastres.

RESULTADOS

Resultados da fase I – Construção teórica

A partir da análise aprofundada dos indicadores resultantes da revisão da literatura e da pesquisa bibliográfica, foi desenvolvida a primeira versão do SIRES, composta de 50 indicadores. Esses indicadores foram classificados de acordo com as quatro fases do ciclo de gestão de riscos de desastres Fase I - Prevenção e Mitigação; Fase II – Preparação; Fase III - Resposta; Fase IV – Recuperação. Além disso, a revisão de literatura possibilitou evidenciar indicadores reativos (*lagging indicators*) (26) e preditivos (*leading indicators*) (24).

O sistema de indicadores obtido a partir da revisão da literatura foi submetido a uma validação de conteúdo por um grupo de estudiosos formado por quatro professores e pesquisadores na área de RRD, vinculados a Universidades e Institutos de pesquisa brasileiros. A partir da avaliação e validação dos indicadores foi definido um sistema com 47 indicadores conforme apresentado no Quadro 2

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

Quadro 2 - SIRES após a primeira fase da metodologia.

Fases	Indicador	Adaptado de	Natureza
I – Prevenção e Mitigação	1.1 - Levantamento e atualização de informações sobre vulnerabilidade, perigos ou ameaças e riscos da cidade	Carreño et al. (2007); Horney et al. (2016)	Reativo
	1.2 - População coberta	Cutter et al. (2010)	Preditivo
	1.3 - Retirada prévia de pessoas de áreas de risco	Carreño et al. (2007)	
	1.4 - Informação pública	Horney et al. (2016)	
	1.5 - Sistemas de alerta e alarme	Carreño et al. (2007); Chan et al. (2014); Engle et al. (2014)	
	1.6 - Base de dados	Carreño et al. (2007)	
	1.7 - Investimento alocado para RRD	Dasgupta e Shaw (2015)	
	1.8 - Fundos de reserva para o fortalecimento institucional	Carreño et al. (2007)	
	1.9 - Reuniões públicas	Horney et al. (2016)	
	1.10 - Experiência em resposta a desastres	Cutter et al. (2008)	
	1.11 - Uso da Tecnologia	Chan et al. (2014)	
	1.12 - Relação interinstitucional, multisetorial	Carreño et al. (2007); Dasgupta e Shaw (2015)	
	1.13 - Estímulo e apoio a iniciativas de inovação e criatividade	Engle et al. (2014)	
	1.14 Tomada de decisão delegada aos funcionários	Engle et al. (2014)	
	1.15 Liderança forte e boa gestão	Engle et al. (2014)	
	1.16 Avaliação contínua das estratégias e planos de trabalho	Engle et al. (2014)	
	1.17 Padronização de processos	Cutter et al. (2008)	
	1.18 Estabilidade do emprego	Engle et al. (2014)	
	1.19 Proatividade	Engle et al. (2014)	
	1.20. Projetos e obras	Legislação SINPDEC (Brasil, 2012)	

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

	1.21 Relação com órgãos vinculados ao SINPDEC no âmbito municipal	Legislação SINPDEC (Brasil, 2012)	
	1.22 Fornecimento de informações ao CEMADEN	Legislação SINPDEC (Brasil, 2012)	
	1.23 Tempo previsto até início da resposta	Bruneau et al. (2003)	
	1.24 Comunicação de Risco	Dasgupta e Shaw (2015)	
	1.25 Articulação com as comunidades vulneráveis	Cutter et al. (2014); Carreño et al. (2007)	
	1.26 Plano de Contingência	Horney et al. (2016), Legislação SINPDEC (Brasil, 2012)	
	1.27 Provisão de recursos Emergenciais	Dasgupta e Shaw (2015)	
	1.28 Diretrizes ou Plano para a recuperação	Horney et al. (2016), Carreño et al. (2007)	
II- Preparação	2.1 Números de agentes de proteção e defesa civil	Cutter et al. (2008)	
	2.2 Capacitação das comunidades vulneráveis	Cutter et al. (2008), Cutter et al. (2014), Carreño et al. (2007)	
	2.3 Capacitação de comunidades escolares, hospitalares e de unidades de saúde	Cutter et al. (2008), Carreño et al. (2007)	
	2.4 Capacitação dos agentes	Cutter et al. (2008), Engle et al. (2014)	
	2.5 Treinamento simulados em RRD	Cutter et al. (2008), Engle et al. (2014), Dasgupta e Shaw (2015)	
	2.6 Cenário de treinamento	Autores	
	2.7 Tempo de chegada da equipe ao local do desastre	Bruneau et al. (2003)	

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

III- Resposta	3.1 Recursos humanos e materiais para manter as ações	Bruneau et al. (2003)	
	3.2 Mobilização de outros agentes de resposta envolvidos	Chan et al. (2014)	
	3.3 Sistemas ou tecnologias	Chan et al. (2014), Carreño et al. (2007)	
	3.4 Briefing	Autores	
	3.5 Lições aprendidas	Autores	
IV- Recuperação	4.1 Padrões de construção emergencial	Cutter et al. (2008)	
	4.2 Fundos para Emergências	Dasgupta e Shaw (2015)	
	4.3 Continuidade do plano de operações	Cutter et al. (2008)	
	4.4 Prioridades de recuperação	Engle et al. (2014)	
	4.5 Número de reuniões públicas	Horney et al. (2016)	
	4.6 Atualização dos planos	Horney et al. (2016)	
	4.7 Monitoramento do progresso das ações	Horney et al. (2016)	

Fonte: Autoria própria.

Resultados da fase II- Validação multiprofissional

Resultados da análise quantitativa da validação multiprofissional

A análise quantitativa dos dados deu-se pelos gráficos de mosaico referentes aos dados das respostas da validação multiprofissional. Nos gráficos de mosaico, os 47 indicadores são identificados por número (1.1 até 4.7), de acordo com cada Fase. Foram construídos dois gráficos de mosaico: o primeiro correspondeu às respostas sobre utilização dos indicadores e

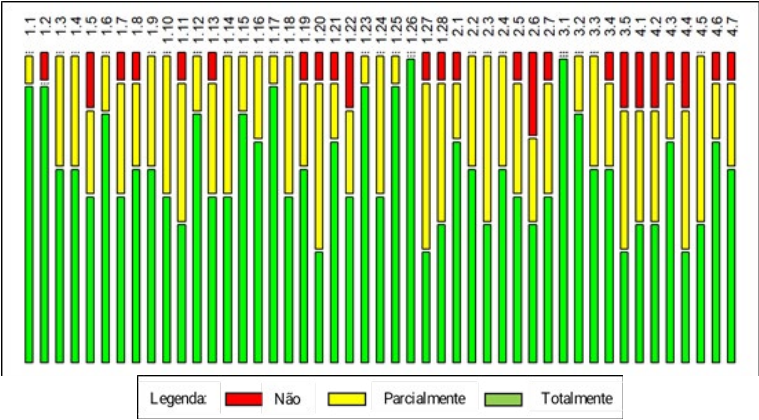
está ilustrado na Figura 2. O segundo retratou as respostas sobre a importância dos indicadores e está ilustrado na Figura 3. Para a construção dos gráficos, utilizou-se o software R, que é um ambiente de software livre utilizado em computação estatística para a construção de gráficos (R Core Team, 2017).

O gráfico de mosaico, ilustrado na Figura 2, é interpretado da seguinte forma: para cada indicador existiram 3 opções de respostas para o quesito de utilização (Não utilizaria o indicador; Utilizaria parcialmente o indicador; Utilizaria totalmente o indicador). Desse modo, a altura de cada coluna no gráfico da Figura 2 é proporcional à quantidade total de respostas que o respectivo indicador obteve, de acordo com as opções (R1-Não; R2-Parcialmente e R3- Totalmente). De uma forma geral, a Figura 2 mostra que, na validação sobre a utilização dos indicadores, o maior número das respostas dos especialistas se deu para a opção “Totalmente”, seguido da opção “Parcialmente” e, por conseguinte, da opção “Não”.

Para o gráfico de mosaico, ilustrado pela Figura 3, a interpretação se dá de forma similar: para o quesito de importância de cada indicador proposto, existiram três opções de respostas (R1-Sem importância; R2-Importante e R3-Muito importante). Desse modo, a altura de cada coluna é equivalente ao número total de respostas que o indicador correspondente recebeu para cada uma dessas 3 opções. A Figura 3 ilustra

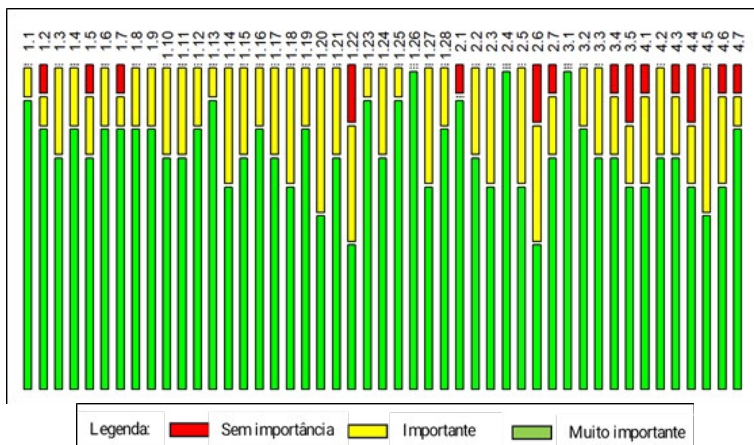
que, da mesma forma que para o quesito de utilização, a maioria dos indicadores, ao serem avaliados de acordo com sua importância, recebeu maior número de respostas para a opção “Muito importante”, seguido pela opção “Importante” e, em menor número, pela opção de resposta “Sem importância”.

Figura 2 - Gráfico Mosaico para o julgamento sobre a utilização dos Indicadores



Fonte: Autoria própria.

Figura 3 - Gráfico Mosaico para o julgamento
sobre a importância dos Indicadores



Fonte: Autoria própria.

A análise dos dados revelou que existiu uma tendência de respostas dos validadores para as perguntas formuladas sobre utilização (tendência para a resposta “totalmente”) e importância (tendência para a opção “muito importante”). Evidenciou-se que, por ser um sistema de indicadores inédito, que engloba todas as fases do ciclo de gestão em proteção e defesa civil, e pelo fato de os OPDCs, nos quais esses profissionais atuam, não disporem, até então, de um sistema de indicadores, como este aqui proposto, a maioria dos indicadores apreciados pelos respondentes foi bem aceita.

Entretanto, tendo em vista essa tendência e a importância de se levar em conta as sugestões e experiência dos validadores, percebeu-se que apenas a representação estatística dos dados não seria suficiente para julgar e definir quais indicadores iriam compor o sistema final. Destarte, uma análise qualitativa dos dados se fez necessária para complementar a análise quantitativa, ou seja, levar em conta as observações apresentadas pelos especialistas a respeito de determinados indicadores.

Resultados da análise qualitativa da
validação multiprofissional

Baseando-se nos resultados e na discussão evidenciada no tópico anterior, foram estabelecidos alguns critérios para o julgamento das respostas dos especialistas:

- i. Foram mantidos no sistema os indicadores cujas somas das respostas sobre utilização (Parcialmente e Totalmente) e importância (Importante e Muito importante) tiveram percentual $\geq 70\%$, escolhido pelos autores, a partir dos resultados da análise quantitativa e da necessidade de conceber um sistema com o menor número possível de indicadores.
- ii. Para os indicadores que tiveram uma ou mais respostas negativas para utilização (Não) e/ou importância (Sem

importância), nos casos de exclusão ou modificação do indicador, considerou-se com maior relevância os comentários e justificativas de gestores e pessoas em posições-chaves com experiência mais consolidada em proteção e defesa civil.

Após a análise qualitativa das respostas, diversas alterações foram feitas: realizou-se a unificação de alguns indicadores que se sobrepunham e, baseado nos comentários e sugestões dos especialistas, foram excluídos alguns indicadores, criados outros e alteradas numerações e nomenclaturas ou descrições de indicadores (ver Quadro 4).

O sistema resultante da análise qualitativa da validação multiprofissional apresentou 34 indicadores: Prevenção e Mitigação (16 indicadores), Preparação (11 indicadores), Resposta (4 indicadores) e Recuperação (3 indicadores). Isto sugere que os profissionais de RRD consultados dão uma importância bem maior às fases de prevenção, mitigação e preparação do que às fases de recuperação, em que vários órgãos são mobilizados, muitas vezes sem a participação dos OPDCs, e de resposta, em que eles mais atuam diretamente, na atual conjuntura. Diferentemente do sistema de indicadores inicial obtido na Fase I, o sistema de indicadores de resiliência organizacional resultante da Fase II possui um número bem

maior de indicadores preditivos (21) do que reativos (13), conforme apresentado no Quadro 4.

A validação dos indicadores pelos especialistas evidenciou que os órgãos de proteção e defesa civil de cidades diferentes possuem suas particularidades. Em muitos casos, os respondentes afirmavam que não utilizariam determinado indicador porque este não se aplicava ao contexto daquela região, por apresentarem singularidades de riscos de desastres e da estrutura, cultura organizacional e sistema de gestão dos OPDCs. Entretanto, em alguns casos, o indicador foi mantido, uma vez que, diante da diversidade de riscos e eventos extremos com os quais os OPDCs de diversas partes do Brasil lidam, cada OPDC pode decidir sobre quais indicadores utilizar, de acordo com a sua realidade local. Neste sentido, pode-se dispor de um sistema composto por uma diversidade de indicadores, que é flexível para aplicações localizadas, considerando os diferentes contextos.

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

Fases	Indicador	Métrica	Natureza
1. Prevenção e mitigação	Indicador 1.1 - Levantamento e atualização de informações sobre vulnerabilidade, perigos ou ameaças e riscos da cidade	A instituição realiza levantamentos, monitoramento e atualização de informações sobre os riscos de desastres da cidade.	Preditivo
	Indicador 1.2 - Retirada prévia de pessoas de áreas de risco	A Instituição realiza ações de retirada prévia de pessoas de suas moradias localizadas em áreas de riscos.	Preditivo
	Indicador 1.3 - Informação pública	A instituição possui meios próprios de divulgação funcionando, tais como sites oficiais, Facebook, folhetos para envolver o público durante os esforços de planejamento para a redução de riscos de desastres, bem como, divulga regularmente, informações relativas a riscos de desastres, operações em curso e operações previstas.	Reativo
	Indicador 1.4 - Sistemas de alerta e alarme	A instituição dispõe de sistemas de alerta e alarme instalados, funcionando durante 24 h/dia.	Reativo
	Indicador 1.5 - Base de dados	A instituição possui banco de dados para armazenamento das informações relativas aos riscos de desastres e registro de dados sobre desastres, danos e perdas decorrentes.	Reativo
	Indicador 1.6 - Fundos de reserva para o fortalecimento institucional	A instituição possui fundos de reservas para o fortalecimento institucional e os recursos disponíveis para investimento na estrutura e organização interna da instituição têm sido suficientes.	Reativo
	Indicador 1.7 - Profissionais com experiência	A instituição possui funcionários (agentes, gestores) com vasta experiência em proteção e defesa civil (mínimo 5 anos).	Reativo

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

Indicador 1.8 - Uso de tecnologia	A instituição possui profissionais habilitados para o uso de novas tecnologias (softwares, aplicativos de alertas e monitoramento, drones, tecnologias de resgate) para a prevenção dos impactos decorrentes de desastres.	Reativo
Indicador 1.9 - Relação interinstitucional, multisetorial	A instituição planeja as ações de RRD com outras instituições, órgãos públicos, líderes políticos e demais setores/segmentos da sociedade (membros das comunidades vulneráveis, comunidade em geral, voluntários como Cruz Vermelha, universidades, conselhos profissionais, instituições religiosas, instituições privadas, Organizações não-governamentais-ONGs, etc.).	Preditivo
Indicador 1.10 - Estímulo e apoio a iniciativas de inovação e criatividade	A instituição estimula e apoia os funcionários a praticar suas capacidades de inovação e criatividade para ajudar nos processos de planejamento e estratégia.	Preditivo
Indicador 1.11 - Tomada de decisão delegada aos funcionários	A instituição adota um processo de tomada de decisão participativa e a chefia delega a tomada de decisão ao corpo técnico.	Preditivo
Indicador 1.12 - Satisfação dos subordinados	As tomadas de decisão são cumpridas com satisfação pelos subordinados.	Reativo
Indicador 1.13 - Padronização de processos	A instituição utiliza protocolos de ações padronizados, como planos, programas, formulários e relatórios.	Preditivo
Indicador 1.14 - Estabilidade do emprego	A instituição possui no seu quadro de pessoal maior número de agentes e gestores com cargo efetivo em proteção e defesa civil do que em cargo temporário.	Reativo
Indicador 1.15 - Solicitação de obras aos órgãos competentes	A instituição demanda obras de prevenção e recuperação aos órgãos/secretarias competentes.	Preditivo

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

	Indicador 1.16 - Articulação com prefeitos e líderes comunitários	O órgão municipal de proteção e defesa civil (ou COMPDEC) se articula, direta ou indiretamente com o prefeito e com líderes comunitários para desenvolver, implementar e realizar as políticas municipais de proteção e defesa civil no município.	Preditivo
2. Preparação	Indicador 2.1- Promoção da educação sobre desastres e de ações para formação de núcleos comunitários de PDC em comunidades vulneráveis	A instituição realiza reuniões, palestras de sensibilização e campanhas educativas, a fim de envolver a comunidade no processo de reflexão sobre a problemática dos riscos de desastres. Além disso, promove ciclos de capacitação para formação e manutenção dos Núcleos Comunitários de Proteção e Defesa Civil - NUPDECs.	Preditivo
	Indicador 2.2 - Plano de contingência de resposta a desastres	A instituição possui um Plano de Contingência para respostas a desastres que envolveu na sua elaboração e teste, a participação de membros de instituições e órgãos públicos, membros de comunidades vulneráveis, acadêmicos, membros de instituições voluntárias e de setores privados.	Reativo
	Indicador 2.3 - Comunicação de risco	A instituição possui um plano de comunicação e bom relacionamento com a comunidade e a imprensa.	Reativo
	Indicador 2.4- Plantão de equipes	A instituição mantém equipes em plantão de 24h em todos os dias do ano.	Preditivo
	Indicador 2.5 - Capacitação das comunidades vulneráveis	A instituição realiza treinamentos e exercícios simulados de preparação com a participação das comunidades vulneráveis, para realizar as respostas aos desastres.	Preditivo
	Indicador 2.6 - Capacitação de comunidades escolares, hospitalares de unidades de saúde, de organizações da indústria e do comércio	A instituição realiza treinamentos e exercícios simulados de preparação com a participação dos membros de comunidades escolares, hospitalares, de unidades de saúde, de organizações da indústria e do comércio.	Preditivo

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

	Indicador 2.7 - Capacitação dos agentes	A instituição propicia a participação dos agentes de proteção e defesa civil em programas de capacitação para a resposta aos desastres, realizando regularmente, treinamentos e exercícios simulados.	Preditivo
	Indicador 2.8 - Realismo do cenário de simulação	Os simulados de campo e de mesa são realizados com cenários que refletem realismo aos participantes.	Reativo
3. Resposta	Indicador 2.9 - Reserva para assistência humanitária emergencial	Indicador 2.9 - Reserva para assistência humanitária emergencial	Reativo
	Indicador 2.10 - Participação na definição de diretrizes de recuperação	Indicador 2.10 - Participação na definição de diretrizes de recuperação	Preditivo
	Indicador 2.11 - Avaliação contínua das estratégias e planos de trabalho	A instituição revisa os planos e estratégias e os atualiza/reformula com base nas experiências vividas.	Preditivo
	Indicador 3.1 - Recursos humanos e materiais para manter as ações	Durante as ações de resposta a instituição empreende esforços para utilizar recursos humanos e materiais (veículos, equipamentos, ferramentas e máquinas) pré-definidos no Plano de Contingência.	Preditivo
	Indicador 3.2 - Sistemas e tecnologias	A instituição utiliza sistemas ou tecnologias de alerta e alarme que cobrem as áreas de riscos. Além disso, conta com tecnologias/equipamentos e pessoas capacitadas para acessar áreas de difícil acesso.	Reativo
	Indicador 3.3 - Briefing	A equipe de resposta se reúne no início e durante a resposta para repassar (baseado no plano de contingência) os detalhes e ajustar, quando necessário, as ações de respostas.	Preditivo
	Indicador 3.4 - Lições aprendidas	A equipe se reúne ao final da resposta para avaliar as ações e compará-las com o que foi previsto e compartilha as lições aprendidas.	Preditivo

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE INDICADORES DE
RESILIÊNCIA PARA ORGANIZAÇÕES GOVERNAMENTAIS DE
GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES NO BRASIL

4. Recuperação	Indicador 4.1 - Influência em planos e normas de recuperação	A instituição procura influenciar os planos e normas de recuperação e reconstrução da infraestrutura e edificações afetadas para que os órgãos competentes adotem padrões de construção/reconstrução melhor do que os de antes do desastre.	Preditivo
	Indicador 4.2 - Mobilização para garantir recursos financeiros	A instituição se mobiliza para garantir recursos financeiros destinados à recuperação e reconstrução de áreas afetadas.	Preditivo
	Indicador 4.3 - Reuniões com a comunidade e órgãos responsáveis pela recuperação e reconstrução a desastres	A instituição promove ou participa de reuniões com a comunidade afetada e com os órgãos responsáveis pela recuperação e reconstrução, para influenciar nas decisões, de maneira que estes considerem os princípios de redução de riscos de desastres.	Preditivo

Fonte: Autoria própria.

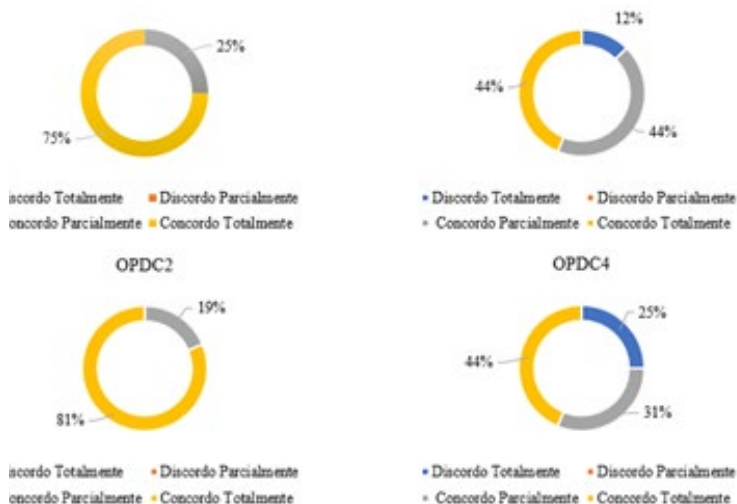
RESULTADOS DA FASE III - AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA ORGANIZACIONAL EM 4 OPDCs MUNICIPAIS

Esta seção diz respeito aos resultados e discussões relativos à aplicação do SIREs nos estudos de caso com 4 OPDCs, considerando as fases do ciclo de gerenciamento de riscos de desastres.

Resultado para a Fase I – Prevenção e Mitigação

Os resultados da autoavaliação dos gestores dos OPDCs, para a Fase I, estão ilustrados na Figura 4.

Figura 4 - Resultados dos OPDCs na Fase I



Fonte: Autoria própria.

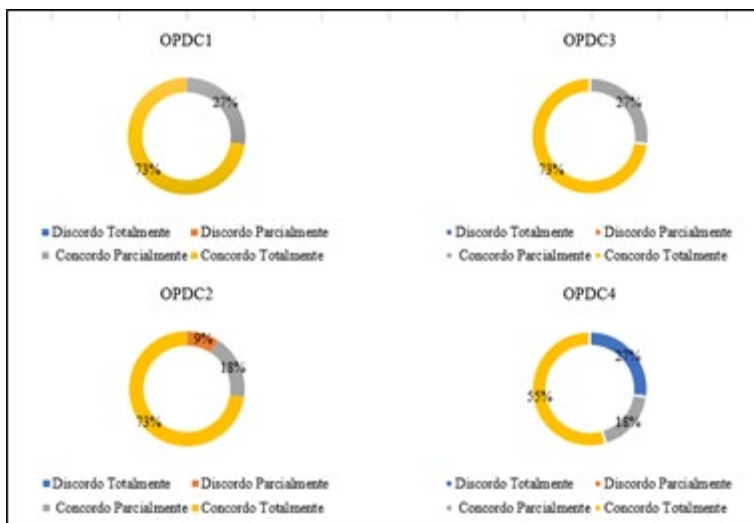
Conforme a Figura 4, relativa à Fase I, para o gestor do OPDC1, 75% dos indicadores-métricas eram totalmente atendidos e 25%, eram parcialmente atendidos. Para o gestor do OPDC2, 81% dos indicadores-métricas de resiliência da Fase I do referido sistema eram totalmente atendidos e 19% eram atendidos de forma parcial. De acordo com o gestor do OPDC3, 44% dos indicadores-métricas de resiliência eram totalmente atendidos pelo órgão, 44% eram parcialmente atendidos e 12% não eram atendidos. Segundo o gestor do OPDC4, 44% dos indicadores-métricas eram totalmente

atendidos pelo OPDC4, sendo 31% atendidos de forma parcial e 25% não eram atendidos.

Resultado para a Fase II – Preparação

Os resultados da autoavaliação dos OPDCs para a Fase II estão ilustrados na Figura 5. Para os gestores dos OPDC1 e OPCD3, 73% dos indicadores-métricas eram atendidos em sua totalidade e 27% eram atendidos de forma parcial. Para o gestor do OPDC2, a organização atendia totalmente a 73% dos indicadores-métricas, atendia de forma parcial 18% e com relação aos 9% dos indicadores-métricas cujo gestor discordou parcialmente, significa dizer a organização não os atendia, mas já estava desenvolvendo planos para atendê-los. De acordo com o gestor do OPDC4, o órgão atendia totalmente a 55% dos indicadores-métricas, atendia de forma parcial 18% e não atendia a 27% indicadores-métricas.

Figura 5 - Resultados dos OPDCs na Fase II

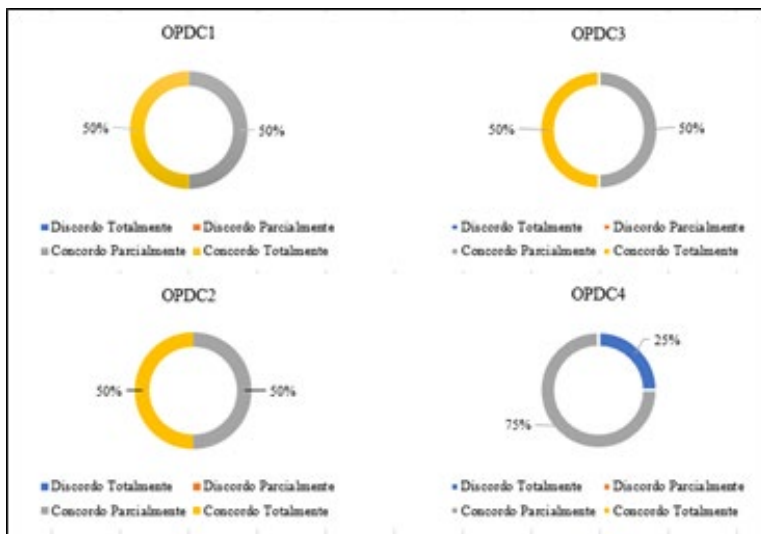


Fonte: Autoria própria.

Resultado para a Fase III – Resposta

Os resultados da autoavaliação dos OPDCs na Fase III estão ilustrados na Figura 6. De acordo com esta figura, para os gestores dos órgãos OPDC1, OPDC2 e OPDC3, essas organizações atendiam totalmente a 50% dos indicadores-métricas e atendiam de forma parcial a 50%. Para o gestor do OPDC4, o órgão atendia parcialmente a 75% dos indicadores-métricas e não atendia a 25%.

Figura 6 - Resultados dos OPDCs na Fase III

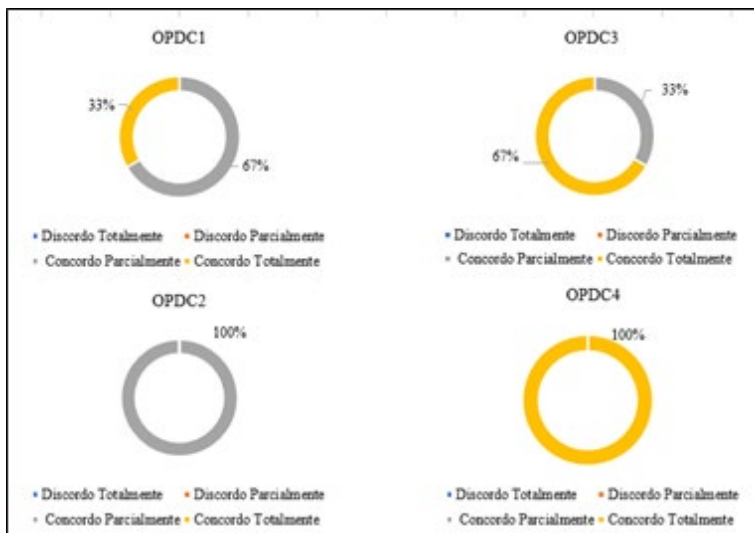


Fonte: Autoria própria.

Resultado para a Fase IV – Recuperação

Os resultados da autoavaliação dos OPDCs na Fase IV estão ilustrados na Figura 7. De acordo com o gestor do OPDC1, a organização atendia totalmente a 33% dos indicadores-métricas e atendia parcialmente a 67%. Para o gestor do OPDC2, a organização atendia parcialmente a 100% dos indicadores-métricas. Para o gestor do OPDC3, o órgão atendia totalmente a 67% dos indicadores-métricas e atendia de forma parcial a 33%. Para o gestor do OPDC4, o órgão atendia totalmente a 100% dos indicadores-métricas propostos.

Figura 7 - Resultados dos OPDCs na Fase IV



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

Os estudos evidenciados na literatura científica sobre indicadores de resiliência, propõem, em sua maioria, ferramentas voltadas para mensuração da resiliência de comunidades. Nos casos em que esses estudos tratavam da avaliação da resiliência organizacional, nenhum deles tratou, especificamente, de organizações municipais que lidam com a gestão de riscos e desastres nem avaliam o potencial de desempenho resiliente dessas organizações no enfrentamento de riscos e desastres.

O SIREs desenvolvido neste estudo possibilita o conhecimento aprofundado das potencialidades e fragilidades dos órgãos de proteção e defesa civil e, assim, da sua resiliência no enfrentamento dos riscos e desastres. Este sistema, portanto, pode ajudar os OPDCs no processo de tomada de decisão, no planejamento e na implementação de programas, diretrizes e ações que podem contribuir para a redução de riscos e desastres nas cidades em que atuam.

A mensuração da resiliência por meio da autoavaliação da instituição ou órgão, pelos próprios gestores, pode não refletir a total realidade desses órgãos, pois pressupõe-se que esse tipo de avaliação é aplicado com sucesso em organizações “maduras” que possuem uma consciência de autoaprendizagem. Em termos práticos, alguns municípios do Brasil não contam com órgãos de proteção e defesa civil, e, em muitas localidades, esses órgãos ainda estão buscando uma estruturação política e organizacional para implementar as políticas de proteção e defesa civil municipais.

De um modo geral, as limitações aqui descritas não eliminam as contribuições deste trabalho. Sob o ponto de vista teórico, o estudo possibilitou o preenchimento da lacuna existente na literatura sobre a ausência de indicadores de resiliência voltados para organizações que lidam com a gestão de riscos e desastres no Brasil. Sob o ponto de vista prático,

disponibiliza um instrumento para avaliação da resiliência que foi validado, aplicado e que ajuda o conhecimento, por parte dos OPDCs, das suas deficiências e reais capacidades de resiliência, auxiliando-os nas tomadas de decisão e no estabelecimento de estratégias no sentido de melhorar continuamente suas respectivas resiliências.

Vale ressaltar, no entanto, que a gestão de riscos de desastres, em sua concepção e execução, não diz respeito apenas a atividades relacionadas à proteção e defesa civil, mas envolve outras áreas e órgãos das esferas federal, estadual, municipal e internacional, bem como as comunidades vulneráveis a desastres.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação do SIRES em mais OPDCs de cidades pertencentes a todas as regiões brasileiras, sendo possível se estabelecer comparações mais abrangentes. Propõe-se também o estabelecimento de escores ou pesos para os indicadores, com definição de faixas ou níveis de resiliência (fracamente resiliente, pouco resiliente, resiliente, muito resiliente, fortemente resiliente, por exemplo), possibilitando, de forma quantitativa, avaliar e atribuir graus de resiliência individuais para cada instituição. E, ainda, a elaboração ampliada do SIRES para a avaliação

interinstitucional da resiliência organizacional, considerando a atuação conjunta dos diversos órgãos na gestão de riscos de desastres.

REFERÊNCIAS

BID. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. **Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos**: programa para América Latina y el Caribe: Bolivia. Banco Interamericano de Desarrollo. 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.608/2012**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm. Acesso em: 20 fev. 2022.

BRUNEAU, M. et al. A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. **Earthquake Spectra**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 733-752, 2003. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1193/1.1623497>. Acesso em: 30 set. 2024.

CARREÑO, M. L.; CARDONA, O. D.; BARBAT, A. H. A disaster risk management performance index. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 41, 1-20, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-006-9008-y>. Acesso em: 30 set. 2024.

CHAN, S. L.; WEY, W. M.; CHANG, P. H. Establishing Disaster Resilience Indicators for Tan-sui River Basin in Taiwan. **Social Indicators Research**, [s. l.], v. 115, p. 387-418, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11205-012-0225-3>. Acesso em: 30 set. 2024.

CUTTER, S. L.; ASH, K. D.; EMRICH, C. T. The geographies of community disaster resilience. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 29, p. 65-77, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014001459>. Acesso em: 30 set. 2024.

CUTTER, S. L. et al. A place based model for understanding community resilience to natural disasters. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 18, p. 598-606, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378008000666>. Acesso em: 30 set. 2024.

CUTTER, S. L.; BURTON, C. G.; EMRICH, C. T. Disaster Resilience Indicators for Benchmarking Baseline Conditions. **Journal of Homeland Security and Emergency Management**, [s. l.], v. 7, p. 14, 2010. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.2202/1547-7355.1732/html>. Acesso em: 30 set. 2024.

DASGUPTA, R.; SHAW, R. An indicator based approach to assess coastal communities' resilience against climate related disasters in Indian Sundarbans. **Journal Coast Conserv**, [s. l.], v. 19, p. 85-101, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11852-014-0369-1>. Acesso em: 30 set. 2024.

ENGLE, N. L. et al. Towards a resilience indicator framework for making climate-change adaptation decisions. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s. l.], v. 19, p. 1.295-1.312, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-013-9475-x>. Acesso em: 30 set. 2024.

GRABOWSKI, M. et al. Leading indicators of safety in virtual organizations. **Safety Science**, [s. l.], v. 45, n. 10, 1.013-1.043, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753506001263>. Acesso em: 30 set. 2024.

HALE, A.; HEIJER, T. Defining Resilience. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (ed.). **Resilience engineering, concepts and precepts**. Aldershot: Ashgate, 2006. p. 35-40.

HORNEY, J. et al. Developing indicators to measure post-disaster community recovery in the United States. **Disasters**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 124-149, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/disa.12190>. Acesso em: 30 set. 2024.

JACOB, G.; ORLANDO, J.; CARVALHO, P. V. R. de. A program to support the construction and evaluation of resilience indicators. **Work**, [s. l.], v. 41, p. 2.810-2.816, 2012. supl. 1. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22317145/>. Acesso em: 30 set. 2024.

JACOBY, J.; MATELL, M. S. Three-point likert scales are good enough. **Journal of Marketing Research**, [s. l.], v. 8, p. 495-500, 1971. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/record/1972-31405-001>. Acesso em: 30 set. 2024.

LABAKA, L.; HERNANTES, J.; SARRIEGI, S. J. A framework to improve the resilience of critical infrastructures. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 102-116, 2015. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJDRBE-07-2014-0048/full/html>. Acesso em: 30 set. 2024.

LEE, A. V.; VARGO, J.; SEVILLE, E. Developing a Tool to Measure and Compare Organizations' Resilience. **Natural Hazards Review**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 29-41, 2013. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29NH.1527-6996.0000075>. Acesso em: 30 set. 2024.

MEYER, D.; ZEILEIS, A.; HORNIK, K. The Strucplot Framework: Visualizing Multi-way Contingency Tables with vcd. **Journal of Statistical Software**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 1-48, 2006. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v017i03>. Acesso em: 30 set. 2024.

POLIT, D. F.; BECK, C. T. The Content Validity Index: Are You Sure You Know What's Being Reported? Critique and Recommendations. **Research in nursing & health**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 489-497, 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16977646/>. Acesso em: 30 set. 2024.

RESILIENCE. **UNDRR**, 2017. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology/resilience>. Acesso em: 22 abr. 2023

SADIQ, A. A.; GRAHAM, J. D. Exploring the Predictors of Organizational Preparedness for Natural Disasters. **Risk Analysis**, [s. l.], v. 36, n. 5, p. 1.040-1.053, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26332326/>. Acesso em: 30 set. 2024.

SENDAI FRAMEWORK for Disaster Risk Reduction 2015-2030. **UNDRR**, [2023]. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 30 abr. 2023

THE R FOUNDATION for Statistical Computing. **R-project**, 2017. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 10 jan. 2018.

YOON, D. K.; KANG, J. E.; BRODY, S. D. A measurement of community disaster resilience in Korea. **Journal of Environmental Planning and Management**, [s. l.], v. 59, n. 3, p. 436-460, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09640568.2015.1016142>. Acesso em: 30 set. 2024.

